

METODA FULERA I METODA FILA I ŠTAJNERA ZA DOBIJANJE TRENUTNIH GODIŠNJIH MAKSIMUMA PROTOKA – UTICAJ NA OCJENU KVANTILA VELIKIH VODA

Anica MILANOVIĆ¹, Milorad MITRIĆ¹, Petar PRAŠTALO¹, Borislava BLAGOJEVIĆ², Vladislava MIHAILOVIĆ³

¹ Univerzitet u Banjoj Luci - Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet

² Univerzitet u Nišu - Građevinsko-arhitektonski fakultet

³ Univerzitet u Beogradu - Šumarski fakultet

REZIME

Osnovni pristup prilikom određivanja kvantila velikih voda na izučanim slivovima je statistička analiza maksimalnih godišnjih protoka. Prisustvo srednjih dnevnih protoka u nizovima maksimalnih godišnjih protoka je posljedica nedostatka osmotrenih trenutnih maksimuma u pojedinim godinama na većini hidroloških stanica u regionu, tako da se statistička analiza uglavnom sprovodi na mješovitim nizovima koji se sastoje dijelom od srednjih dnevnih protoka, a dijelom od trenutnih maksimuma. Cilj ovog rada je 1) prikaz dvije metode za dobijanje trenutnih maksimuma kada ne postoje njihove osmotrene vrijednosti i 2) utvrđivanje uticaja zamjene srednjih dnevnih protoka trenutnim maksimumima na ocjenu kvantila velikih voda, u postupku statističke analize na nizovima formiranim metodom godišnjih maksimuma. Prikazani su i upoređeni kvantili velikih voda ocjenjeni iz nizova u kojima su trenutni maksimumi koji nedostaju sračunati pomoću metoda: Fulera, Fila i Štajnera, Sangala i nagiba hidrograma. Rezultati za posljednje dve metode su preuzeti iz prethodnog istraživanja i korišteni su radi poređenja primjenjenih metoda. Razmatrana je primjenljivost i efikasnost metoda sa stanovišta: (i) ocjene trenutnih maksimuma (metoda Fulera i metoda Fila i Štajnera) i (ii) ocjene kvantila velikih voda (sve četiri metode). Rezultati na izučavanim stanicama pokazuju da novije metode, metoda Fila i Štajnera i metoda nagiba hidrograma, daju nešto bolje rezultate u odnosu na metode Fulera i Sangala.

Ključne reči: srednji dnevni protoci, trenutni maksimumi, metoda Fulera, metoda Fila i Štajnera, kvantili velikih voda.

1. UVOD

Neophodne podloge za mnoštvo zadataka iz oblasti vodoprivrede i hidrotehnike predstavljaju rezultati hidrološke analize u okviru koje se ocjenjuju kvantili velikih voda. Najčešći pristup prilikom razmatranja velikih voda kod hidrološki izučanih slivova u praksi, predstavlja statistička analiza maksimalnih godišnjih protoka. Pouzdanost analize zavisi prije svega od raspoloživih (ulaznih) podataka. Međutim, nizovi godišnjih maksimuma, formirani od podataka objavljenih u hidrološkim godišnjacima [1], često sadrže mješovite podatke, pri čemu dio podataka čine srednji dnevni protoci, a dio trenutni maksimumi. Problem mješovitih podataka većinom se ogleda u tome što se u danu pojave maksimalnog protoka, srednji dnevni protoci mogu značajno razlikovati od trenutnih maksimuma [2].

Kod upravljanja rizikom od poplava i projektovanja hidrotehničkih konstrukcija, kako bi se izbjeglo potcjenjivanje kvantila velikih voda, preporuka je da se za formiranje nizova godišnjih maksimuma koriste trenutni maksimumi [3]. Stoga su razvijene različite metode za dobijanje trenutnih maksimuma iz srednjih dnevnih protoka. U literaturi postoje tri grupe metoda [3]. Prva grupa se zasniva na traženju odnosa između trenutnih maksimuma i srednjih dnevnih protoka uglavnom u zavisnosti od fizičkih/morfoloških karakteristika sliva, ali i dugoročnih osobina kiša. Ovoj grupi metoda pripada Fulerova metoda predložena 1912. godine. Druga grupa metoda koristi hidrološke modele, razdvajanje komponenti oticaja i mašinsko učenje [4], [5]. Treća grupa metoda izražava trenutne maksimume kao funkcije srednjih dnevnih protoka u tri uzastopna dana – prije, na dan i poslije pojave trenutnog maksimuma, čime se uvodi uticaj oblika hidrograma

poplavnog talasa. Metoda Fila i Štajnera pripada ovoj grupi metoda, a predstavlja poboljšanu Sangalovu metodu, dok je metoda nagiba hidrograma predložena kao unapređenje obe metode u istraživanju Čena i saradnika [3]. Istraživanje je obuhvatilo četiri metode za dobijanje trenutnih maksimuma na 144 hidrološke stanice na teritoriji Ajove u SAD, gdje Sangalova metoda uglavnom precjenjuje vrijednosti trenutnih maksimuma, Fulerova ih potcjenjuje, dok metoda Fila i Štajnera daje dobre rezultate za slivove veće od 500 km², nešto slabije za slivove površine između 100 km² i 500 km² i loše rezultate za slivove manje od 100 km². Najbolji rezultati dobijeni su metodom nagiba hidrograma, gde je na tri četvrtine razmatranih slivova, greška računskih trenutnih maksimuma u odnosu na osmotrene u opsegu +/- 10%. Opšti zaključak je da se kod ove, treće grupe metoda za dobijanje trenutnih maksimuma, učinak svih metoda smanjuje sa smanjenjem površine sliva [3].

Analizirajući uticaj mješovitih nizova podataka na ocjenu kvantila velikih voda u slivu rijeke Save, Blagojević i saradnici [6] primjenili su Sangalovu metodu na po četiri profila hidroloških stanica iz Bosne i Hercegovine i Srbije. Rezultati su ukazali da su razlike u ocjenjenim kvantilima ne samo posljedica primjenjene metode za dobijanje trenutnog maksimuma, već je u nekim slučajevima veći uticaj obima podataka koji nedostaju u nizovima, kao i broja donjih izuzetaka u nizovima za statističku analizu izvršenu prema procedurama Biltena 17 b i Biletina 17 c [6]. Zbog toga je u istraživanju koje su sproveli Đokić i saradnici [2] za teritoriju Srbije, odabrano 17 hidroloških stanica koje imaju približno potpune nizove podataka. Pripadajući slivovi su male i srednje površine (od 96 km² do 9396 km²), a sam cilj istraživanja je bio analiza uticaja prisustva srednjih dnevnih protoka u nizovima godišnjih maksimuma na ocjenu kvantila velikih voda, kada su trenutni maksimumi dobijeni Sangalovom metodom i metodom nagiba hidrograma. Istraživanje je pokazalo da i u domaćim uslovima Sangalova metoda daje veće kvantile velikih voda u odnosu na one koji se dobijaju metodom nagiba hidrograma.

U nastavku istraživanja prikazanom u ovom radu, na istim podacima za teritoriju Srbije [2] su primenjene metoda Fulera i metoda Fila i Štajnera, ocjenjeni su kvantili velikih voda i analizirani rezultati dobijeni prema sve četiri metode [7], radi njihovog poređenja i davanja preporuka za primjenu u praksi.

2. METODOLOGIJA

2.1 Raspoloživi podaci

Razmatrani podaci za 16 HS koji su korišteni za ovo istraživanje su preuzeti iz istraživanja koje su sproveli Đokić i saradnici [2] i prikazani u Tabeli 1. Redoslijed stanica je formiran prema pripadnosti slivovima većih rijeka.

Podaci na kojima je zasnovano ovo istraživanje su:

- Srednji dnevni i karakteristični protoci na profilima sa 16 HS i to od godine početka osmatranja do 2019. godine [1],
- Osnovne informacije o razmatranim hidrološkim stanicama i nizovima podobnim za statističku analizu, gdje su pojedini nizovi skraćeni radi postizanja homogenosti,
- Rezultati statističke analize za sljedeće nizove: mješovite $Q_{IDF\&MDF}$, srednjih dnevnih protoka Q_{MDF} , trenutnih maksimuma dobijenih Sangalovom metodom Q_{IDF-S} , trenutnih maksimuma dobijenih metodom nagiba hidrograma Q_{IDF-NH} .

Referentni nizovi su sastavljeni od mješovitih podataka protoka ($Q_{IDF\&MDF}$), a formirani su metodom godišnjih maksimuma za jednu kalendarsku godinu. Ovi nizovi su odabrani za referentne nizove, zato što bi se u praksi analiza velikih voda upravo na njima sprovodila [2].

2.2 Metoda Fulera

Metoda Fulera ima sljedeći oblik jednačine za dobijanje trenutnih maksimuma [5]:

$$Q_{IDF} = Q_{MDFmax} (1 + aA^b) \quad (1)$$

gdje su korišćene oznake:

Q_{IDF} – trenutni maksimum (m³/s),

Q_{MDFmax} – maksimalni srednji dnevni protok (m³/s),

A – površina sliva (km²),

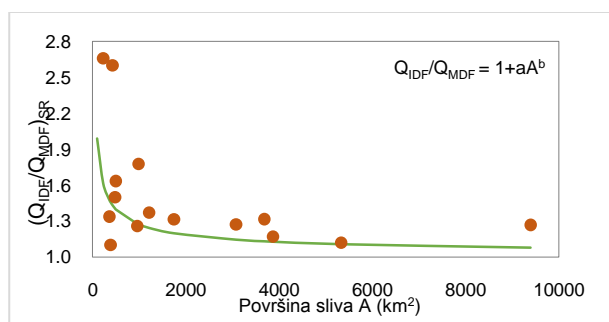
a i b – regionalno zavisni koeficijenti.

Vrijednosti koeficijenata a i b određene su na osnovu odnosa osmotrenih trenutnih protoka i srednjih dnevnih protoka na dan pojave trenutnih maksimuma, kao i površine sliva. Dobijene vrijednosti ovih koeficijenata u istraživanju su $a= 12.44$ i $b= -0.56$ i korišćene su za računanje trenutnih maksimuma u onim godinama u kojima je ostala zabilježena vrijednost maksimalnog srednjeg dnevnog protoka umjesto trenutnog maksimuma.

Tabela 1. Karakteristike HS i njihovih nizova za statističku analizu (SA) (preuzeto iz [2])

R.br.	Stanica	Šifra	Površina sliva [km ²]	Godine osmatranja			Ukupno podataka	Period za SA	Ukupno podataka za SA	Donji prag precepcije (m ³ /s)
				početak	bez podataka	sa nepotpunim podacima				
1	Jaša Tomić	42401	5334	1961	-	-	59	1961-2019	59	-
2	Crnajka	42760	96	1965	-	-	55	1974-2019	46	-
3	Gamzigrad	42914	1213	1950	2009, 2010	1987, 1991, 1993, 2000, 2001, 2008	68	1966-2019	52	24.08
4	Donja Kamenica	42935	360	1955	1997		64	1977-2019	42	6.50
5	Priboj	45842	3684	1962	1993	2011, 2012, 2015, 2016	57	1962-2019	57	210.70
6	Lešnica	45892	959	1960	-	-	60	1983-2019	37	-
7	Ćemanov most	45917	385	1971	1996, 2012	1980, 1998, 2011	47	1971-2019	47	5.10
8	Majur	47035	427	1961	-	-	59	1987-2019	33	-
9	Kratovska stena	47101	3077	1927	1944, 1977	1985, 2016, 2017, 2018	91	1927-2019	91	99.40
10	Leskovac	47665	500	1948	1983, 1984		70	1976-2019	42	3.70
11	Korvingrad	47750	9396	1948	-	-	72	1964-2019	56	-
12	Pepeljevac	47850	986	1951	-	-	69	1977-2019	43	-
13	Dimitrovgrad	47910	482	1959	-	-	61	1959-2019	61	-
14	Pirot	47920	1745	1951	1985		68	1977-2019	42	24.00
15	Bračevci	47937	227	1961	-	-	59	1961-2019	59	-
16	Niš	47990	3870	1951	1988		68	1962-2019	57	46.00

Na slici 1, prikazan je dobijeni odnos trenutnih maksimuma i srednjih dnevnih protoka u zavisnosti od površine sliva, pri čemu je radi preglednosti za svaku stanicu nanijeta srednja vrijednost navedenog odnosa protoka, a izostavljena je vrijednost za HS Crnajka na kojoj je $(Q_{IDF}/Q_{MDF})_{SR}=6.66$.



Slika 1. Odnos trenutnih maksimuma i srednjih dnevnih protoka u zavisnosti od površine sliva dobijen prema metodi Fulera na razmatranim stanicama

2.3 Metoda Fila i Štajnera

Metoda Fila i Štajnera polazi od sljedeće jednačine za dobijanje trenutnih maksimuma [5]:

$$Q_{IDF} = aQ_{MDFmax} + b(Q_{MDFsuc} + Q_{MDFpre}) \quad (2)$$

u koju autori uvode korekcionni faktor k za dobijanje konačnog oblika jednačine

$$Q_{IDF} = \frac{aQ_{MDFmax} + b(Q_{MDFsuc} + Q_{MDFpre})}{k} \quad (3)$$

gdje je:

Q_{IDF} – trenutni maksimum (m³/s),

Q_{MDFmax} – maksimalni srednji dnevni protok (m³/s),

Q_{MDFpre} – srednji dnevni protok dan prije zabilježenog maksimalnog srednjeg dnevnog protoka (m³/s),

Q_{MDFsuc} – srednji dnevni protok dan nakon zabilježenog maksimalnog srednjeg dnevnog protoka (m³/s),

a i b – regresioni koeficijenti,

k – korekcionni faktor.

Koeficijenti a i b su regresioni koeficijenti, čije vrijednosti iznose 0.8 i 0.25 redom, a Fila i Štajner su ih nazvali regionalnim, zato što su ih dobili za područje

Kanade. Međutim i drugi autori su koristili identične vrijednosti u svojim istraživanjima na različitim kontinentima i za različite prostorne obuhvate, uključujući SAD [3], Brazil [5], Iran [4] i Španiju [8], gdje su takođe preuzeli i predloženi izraz Fila i Štajnera za korekcionni faktor k u originalnom obliku [3]:

$$k = 0.9123[(Q_{MDF_{suc}} + Q_{MDF_{pre}})/2Q_{MDF_{max}}] + 0.3620. \quad (4)$$

Ovo istraživanje sprovedeno je na isti način, korišćenjem tih istih vrijednosti koeficijenta a i b u jednačini (3) i izraza (4) za korekcionni faktor k .

2.4 Statistička analiza

Kvantili velikih voda dobijeni su statističkom analizom sprovedenom prema metodologiji Biltena 17c u softverskom paketu HEC-SSP [9], u svemu prema pristupu primjenjenom u prethodnim istraživanjima [2], [6], [10]. Kvantili se prema ovoj metodologiji ocenjuju na osnovu teorijske raspodjele vjerovatnoće log-Pirson tip 3 (LPT3), koja odgovara statističkim osobinama formiranih nizova u pogledu veličine koeficijenta asimetrije i gornje granice raspodjele. Statistička analiza je sprovedena na nizovima u kojima su trenutni maksimumi koji nedostaju sračunati po prikazanim metodama i označeni:

- Q_{IDF-F} – IDF prema metodi Fulera,
- Q_{IDF-FS} – IDF prema metodi Fila i Štajnera.

Statistička analiza je prema tome, sprovedena na nizovima koji se u potpunosti sastoje od trenutnih maksimuma, od kojih su dio osmotrene-zabilježene vrijednosti, a dio računске. Kvantili odabrani za poređenje su oni koji su najzastupljeniji u praksi, sljedećih vjerovatnoća prevazilaženja: 0.02, 0.01, 0.005, 0.002 i 0.001.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1 Poređenje osmotrenih i računskih trenutnih maksimuma

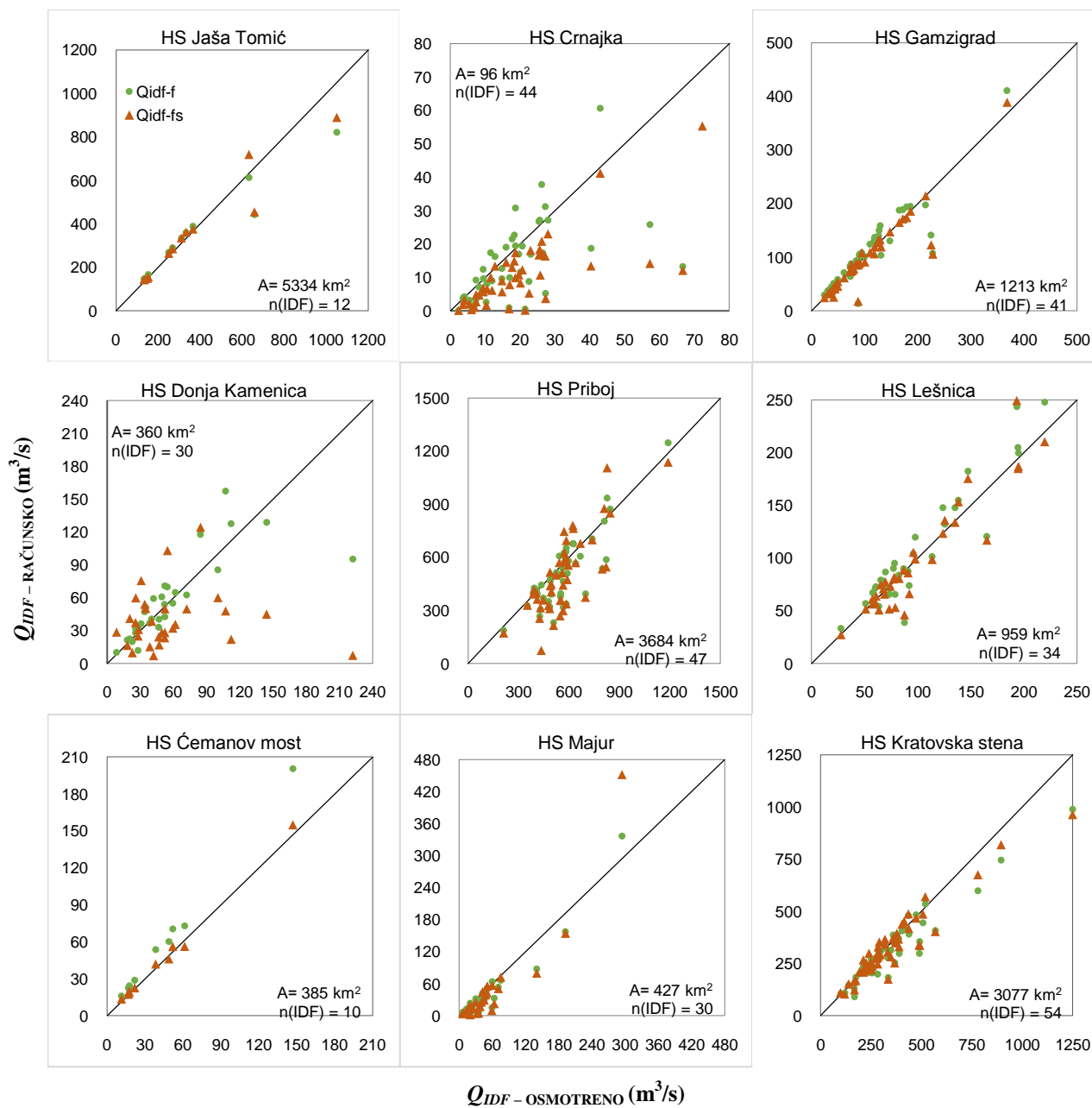
Efikasnost metode Fulera i metode Fila i Štajnera analizirana je tako što su ove metode korištene za dobijanje računskih trenutnih maksimuma u onim godinama u kojima postoje osmotreni trenutni maksimumi [3]. Zatim su računski trenutni maksimumi u odnosu na osmotrene dati i na Q-Q dijagramima prikazanim Slici 2 i ocjenjeni preko srednje apsolutne greške (MAE) i srednje apsolutne procentualne greške ($MAPE$) (Tabela 2).

Raspored tačaka na dijagramima na Slici 2 prikazuje koliko su ove dvije metode pouzdane za dobijanje

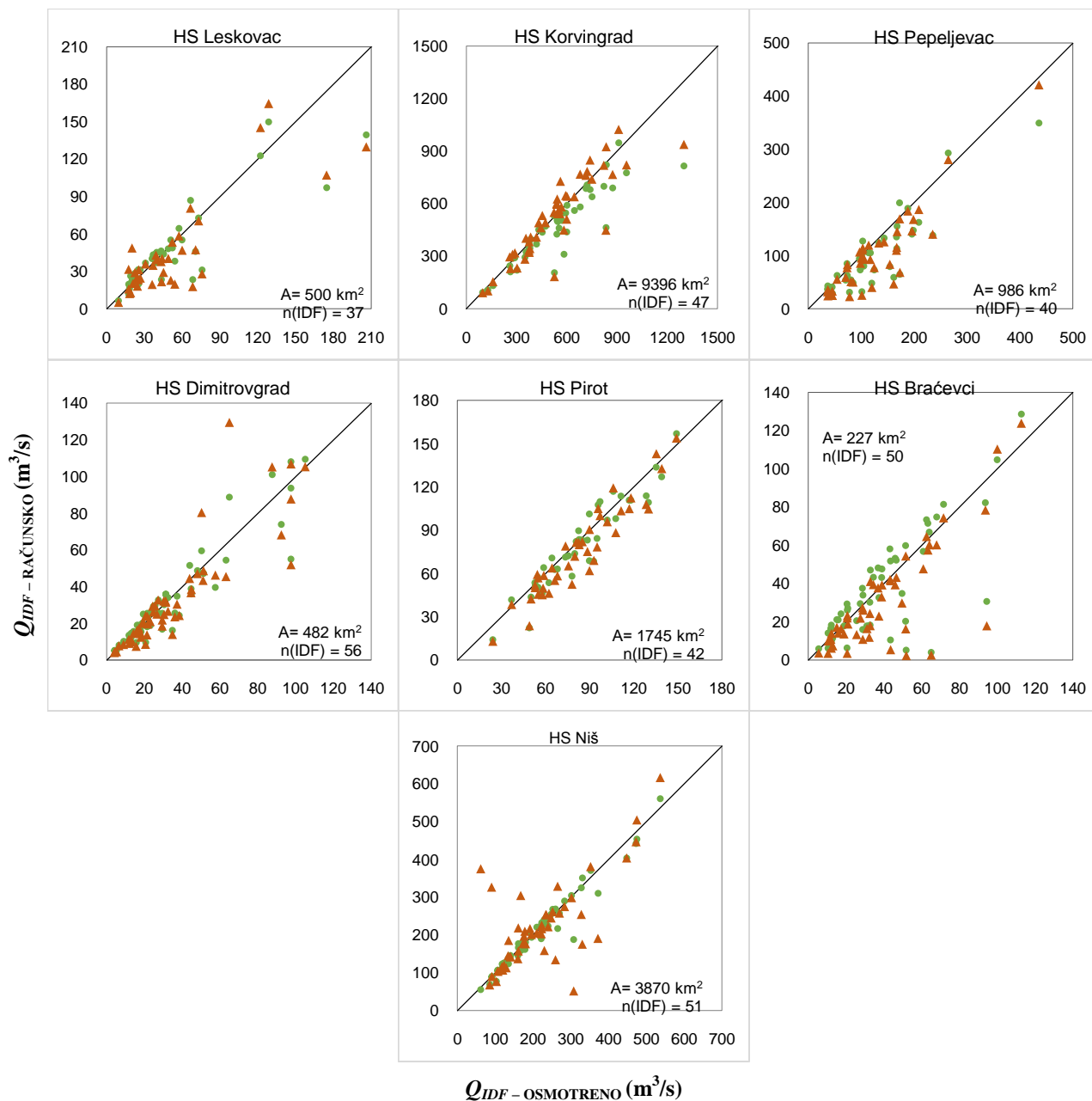
trenutnih maksimuma. Malo rasipanje tačaka oko dijagonale ukazuje na efikasnost i obrnuto, veliko rasipanje tačaka na neefikasnost. Podaci koji se nalaze iznad dijagonale su precjenjene vrijednosti, dok su oni ispod dijagonale potcjenjene vrijednosti trenutnih maksimuma. Na dijagramima su takođe prikazane površine slivova i broj podataka na kojima je vršena analiza, koji odgovara broju osmotrenih trenutnih maksimuma, $n(IDF)$.

U Tabeli 2 su date ocjene efikasnosti metode Fulera i Fila i Štajnera, pomoću četiri mjere za svaku stanicu. Kroz vrijednost nagiba linije linearne regresije može se steći opšti uvid u tendenciju metode da daje precjenjene (>1) ili potcjenjene vrijednosti (<1). Vrijednosti koeficijenta determinacije veće od 0.9 ($R^2 > 0.9$) pokazuju da se većina varijanse osmotrenih trenutnih maksimuma može objasniti računskim modelima. Srednja apsolutna greška (MAE) i srednja apsolutna procentualna greška ($MAPE$) omogućavaju procjenu efikasnosti primjenjenih metoda. Na dvije stanice, Jaša Tomić i Čemanov most, pokazalo se da mali udio podataka o osmotrenim trenutnim maksimumima (Tabela 2) omogućava da se većina varijanse osmotrenih trenutnih maksimuma može objasniti računskim modelima primjenjenih metoda. Na ovima stanicama je $MAPE$ do 10%, osim na stanici Čemanov most za metodu Fulera. Zanimljivo je takođe da je $MAPE$ u istim granicama i za stanicu Pirot, jedinu stanicu kod koje su u originalnom nizu postojali svi trenutni maksimumi (dakle, cijeli niz je zamijenjen računskim maksimumima), gdje nagib linije linearne regresije ukazuje da obe metode daju rezultate saglasne osmotrenim, a koeficijent determinacije je na granici 0.9.

Kada je površina sliva u pitanju, uglavnom se za manje površine slivova javlja veće rasipanje podataka oko dijagonale ($MAPE$ opada sa površinom sliva), dok je za veće površine slivova ($>1000 \text{ km}^2$) veoma dobro slaganje ($MAPE$ do 10%), osim za stanice Priboj i Niš (Tabela 2). U većini slučajeva, Fulerova metoda daje bolje slaganje sa osmotrenim vrijednostima. Najveće rasipanje podataka oko dijagonale je kod HS Crnajka (Slika 2), koja ima najmanji analizirani sliv od 96 km^2 . Ovdje su trenutni maksimumi potcjenjeni kod obe metode, a naročito metodom Fila i Štajnera. Obe metode generalno potcjenjuju vrijednosti trenutnih maksimuma, gledano prema vrijednostima nagiba linije linearne regresije (Tabela 2), na 11 od 15 stanica su vrijednosti potcjenjene kod obe metode. Nisu registrovani slučajevi da jedna metoda potcjenjuje, a druga precjenjuje trenutne maksimume.



Slika 2. Uporedni prikaz osmotrenih i računskih trenutnih maksimuma prema metodi Fulera (zeleni krugovi, Q_{IDF-F}) i Fila i Štajnera (crveni trouglovi, Q_{IDF-FS}). Za svaku stanicu je prikazana površina sliva (A) i broj osmotrenih trenutnih maksimuma ($n(IDF)$).



Slika 2.-nastavak Uporedni prikaz osmotrenih i računskih trenutnih maksimuma prema metodi Fulera (zeleni krugovi, Q_{IDF-F}) i Fila i Štajnera (crveni trouglovi, Q_{IDF-FS}). Za svaku staciju je prikazana površina sliva (A) i broj osmotrenih trenutnih maksimuma ($n(IDF)$).

Najveće potcjenjivanje vrijednosti trenutnih maksimuma je kod metode Fila i Štajnera na HS Donja Kamenica ($MAPE=62\%$, $R^2=0$). Tačke na $Q-Q$ dijagramima (Slika 2) za HS Dimitrovgrad u donjem dijelu (za manje protoke) leže blizu dijagonale, s tim što su računski protoci uglavnom nešto manji od

osmotrenih. Za veće protoke postoje značajnija odstupanja računskih od osmotrenih vrijednosti. Dobro slaganje metoda se vidi na dijagramu prikazanom za HS Gamzigrad gdje su podaci grupisani oko dijagonale, a postoji tendencija blagog potcjenjivanja vrijednosti trenutnih maksimuma.

Tabela 2. Ocjene efikasnosti metode Fulera (F) i Fila i Štajnera (FS) za dobijanje trenutnih maksimuma na razmatranim stanicama. Sivom bojom je naznačen manji udio osmotrenih trenutnih maksimuma na dvije stanice, kao i sedam stanica površine sliva od 500 km² i manje.

R.br.	Stanica	Površina sliva [km ²]	Ukupno podataka za SA	Broj trenutnih maksimuma (IDF) u nizu za SA	Udio trenutnih maksimuma u nizu za SA [%]	Nagib linije linearne regresije		Koefficient determinacije - R ²		Srednja apsolutna greška (m ³ /s) MAE*		Srednja apsolutna procentualna greška (%) MAPE**	
						F	FS	F	FS	F	FS	F	FS
1	Jaša Tomić	5334	59	12	20	0.7177	0.8166	0.9421	0.9248	52.02	47.75	10.67	9.22
2	Crnajka	96	46	44	96	0.7045	0.4838	0.4824	0.5108	7.95	9.55	37.91	47.37
3	Gamzigrad	1213	52	41	79	0.9203	0.8918	0.8248	0.845	18.02	10.79	16.18	8.78
4	Donja Kamenica	360	42	30	71	0.646	0.0049	0.5999	0.00007	14.80	34.70	22.78	62.20
5	Priboj	3684	57	47	82	1.003	1.0609	0.7058	0.6084	83.36	113.20	14.70	20.23
6	Lešnica	959	37	34	92	1.0944	1.0366	0.8878	0.8819	14.97	11.43	15.21	10.76
7	Ćemanov most	385	47	10	21	1.3526	1.0368	0.9954	0.9939	13.95	3.14	32.80	8.81
8	Majur	427	33	30	91	1.0341	1.2986	0.9271	0.8654	14.05	19.62	30.55	36.21
9	Kratovska stena	3077	91	54	59	0.7635	0.7825	0.9071	0.8996	43.96	41.87	11.20	10.87
10	Leskovac	500	42	37	88	0.6878	0.7239	0.7686	0.7005	11.72	15.82	19.46	29.91
11	Korvingrad	9396	56	47	84	0.7459	0.8662	0.8051	0.7834	76.13	70.64	12.79	12.49
12	Pepeljevac	986	43	40	93	0.7985	0.902	0.7782	0.8131	32.32	29.31	24.62	23.78
13	Dimitrovgrad	482	61	56	92	0.9295	0.9628	0.872	0.773	5.98	7.58	16.95	19.43
14	Pirot	1745	42	42	100	0.9991	0.9966	0.9004	0.8905	5.59	7.30	8.15	10.30
15	Bračevci	227	59	50	85	0.8459	0.8293	0.6045	0.6132	11.53	11.12	30.17	27.92
16	Niš	3870	57	51	89	0.953	0.745	0.9509	0.5086	14.76	45.49	6.50	29.72

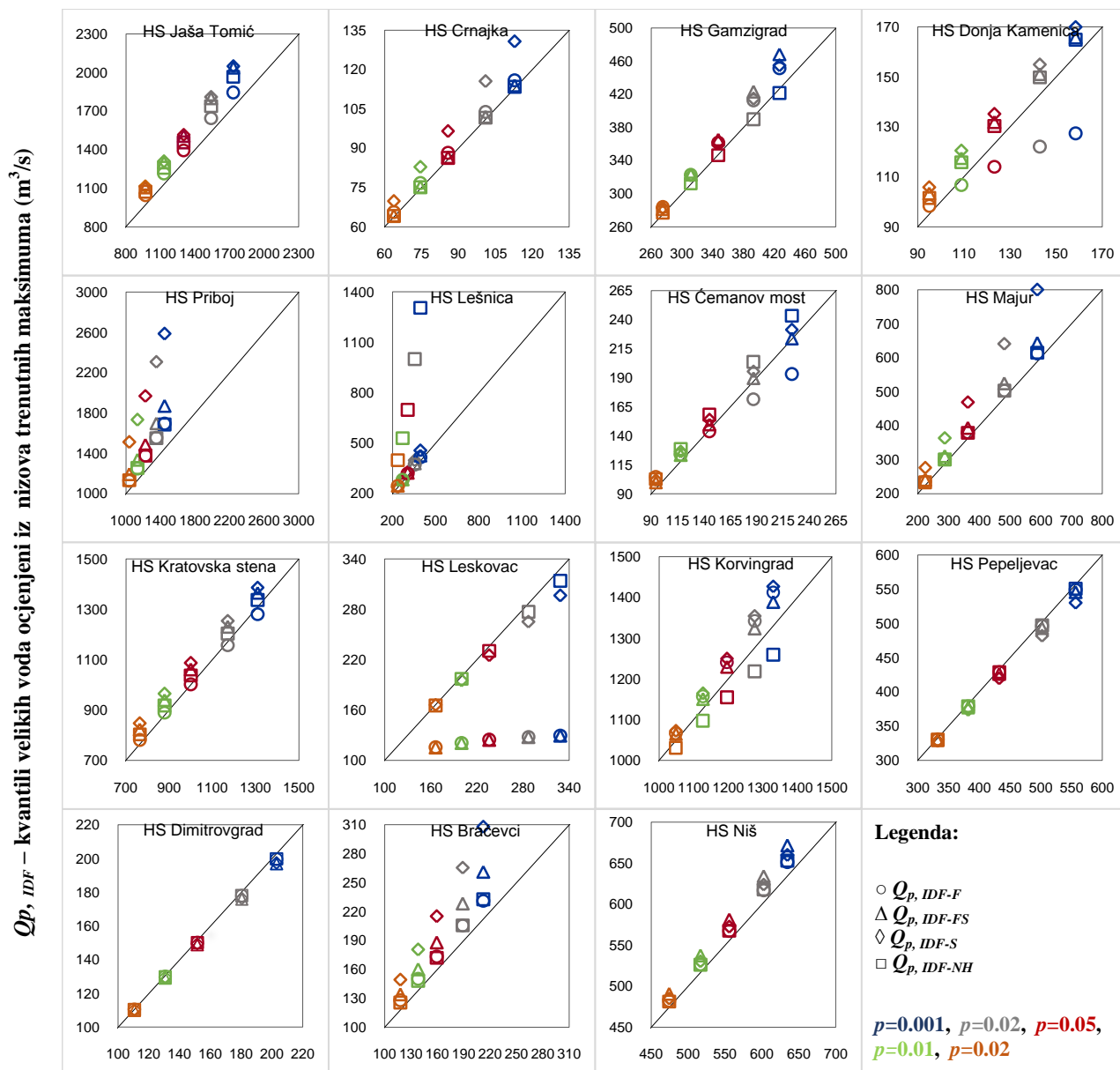
* MAE = $(\sum_{i=1}^n |Q_{IDFosm(i)} - Q_{IDFrac(i)}|) / n$

** MAPE = $100 \times (\sum_{i=1}^n |(Q_{IDFosm(i)} - Q_{IDFrac(i)}) / Q_{IDFosm(i)}|) / n$

3.2 Ocjena kvantila velikih voda

Kvantili velikih voda ocjenjeni su iz nizova osmotrenih maksimalnih godišnjih protoka i nizova gdje su srednji dnevni protoci zamijenjeni računskim vrijednostima trenutnih protoka dobijenim metodom Fulera i metodom Fila i Štajnera. Pored toga, u svrhu poređenja rezultata, prikazani su i kvantili velikih voda ocijenjeni iz nizova

gdje su trenutni maksimumi dobijeni metodom Sangala i metodom nagiba hidrograma, preuzeti iz istraživanja [2]. Na Slici 3, kvantili velikih voda pet karakterističnih vjerovatnoća prevazilaženja je naznačeno različitim bojama, a metode za dobijanje računskih trenutnih maksimuma, različitim oznakama. Dijagrami su prikazani za sve HS osim za HS Pirot, kod koje postoje svi osmotreni trenutni maksimumi.



$Q_{p, IDF\&MDF}$ – kvantili velikih voda ocjenjeni iz mješovitih, referentnih nizova (m^3/s)

Slika 3. Uporedni dijagrami kvantila velikih voda ocjenjenih iz četiri niza u odnosu na osmotreni, mješoviti niz $Q_{IDF\&MDF}$

Iz prikazanih dijagrama na Slici 3, mogu se uočiti četiri grupe rezultata, tj. stanica, prema odnosu svih kvantila dobijenih iz nizova trenutnih maksimuma prema četiri razmatrane metode ($Q_{p, IDF}$) i odgovarajućih kvantila iz mješovitog niza ($Q_{p, IDF\&MDF}$):

1. Izraženo je $Q_{p, IDF} > Q_{p, IDF\&MDF}$ (HS Jaša Tomić, Priboj, Bračevci i Niš);
2. Ima većih ali i približno jednakih kvantila $Q_{p, IDF} \geq Q_{p, IDF\&MDF}$ (HS Crnajka, Gamzigrad, Lešnica, Majur i Kratovska stena);

3. Manji su i približno jednaki $Q_{p,IDF} \leq Q_{p,IDF\&MDF}$ (HS Leskovac, Pepeljevac i Dimitrovgrad);
4. Ima i većih i manjih $Q_{p, IDF}$ u zavisnosti od metode kojom je formiran niz trenutnih maksimuma (HS Donja Kamenica, Čemanov most i Korvingrad).

Među stanicama iz prve, druge i četvrte grupe, svi kvantili koji imaju izrazito veće vrijednosti u odnosu na ostale su dobijeni iz nizova metodom Sangala za stanice: Crnajka (IDF=96%), Priboj (82%), Majur (91%) i Bračevci (85%), a prema metodi nagiba hidrograma HS Lešnica (92%). Nasuprot tome su stanice četvrte grupe, gde se kvantili izdvajaju zbog izrazito manjih vrednosti u slučaju primjene metode Fulera na HS Donja Kamenica (71%), Čemanov most (21%, male vjerovatnoće neprevazilaženja) i Leskovac (88%), Fila i Štajnera na HS Leskovac, a za metodu nagiba hidrograma kod HS Korvingrad (84%).

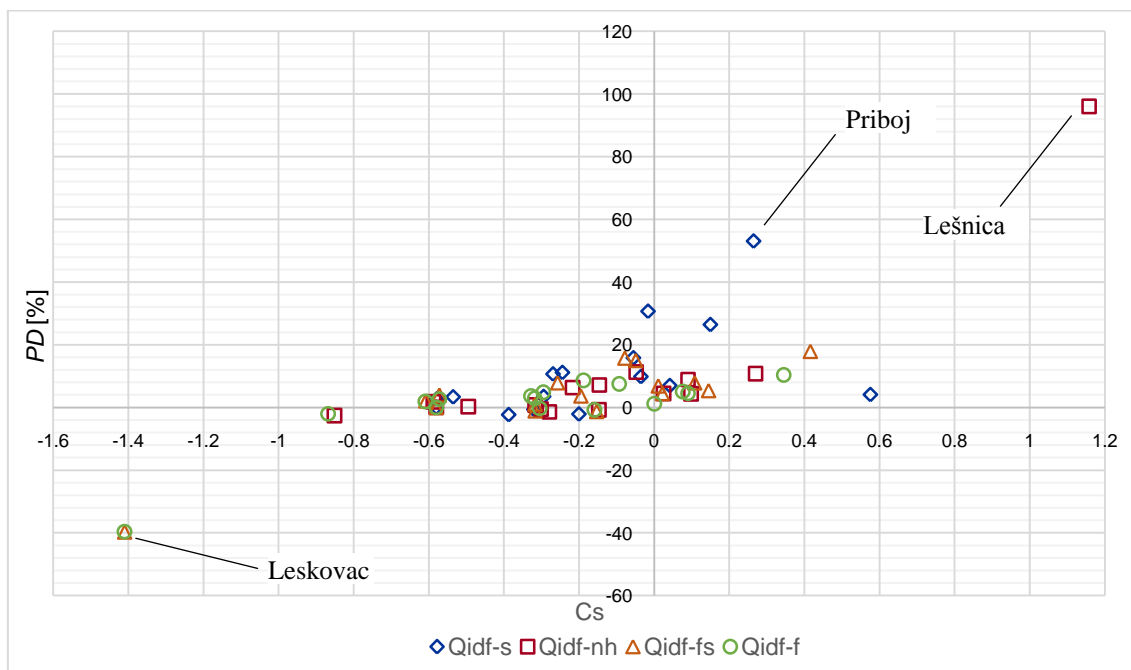
Dvije stanice iz treće grupe su zanimljive zbog vrlo bliskih vrijednosti svih razmatranih kvantila onima iz mješovitog niza, uz neznatno potcjenjivanje vrijednosti kvantila: HS Pepeljevac i HS Dimitrovgrad. Doduše, kod ovih stanica je visoka zastupljenost osmotrenih

trenutnih maksimuma u nizu (93% na HS Pepeljevac i 92% HS Dimitrovgrad), pa bi trebalo pogledati koje su konkretne godine u pitanju kada nedostaju trenutni maksimumi i da li se prema tome može očekivati povećanje ocijenjenih kvantila.

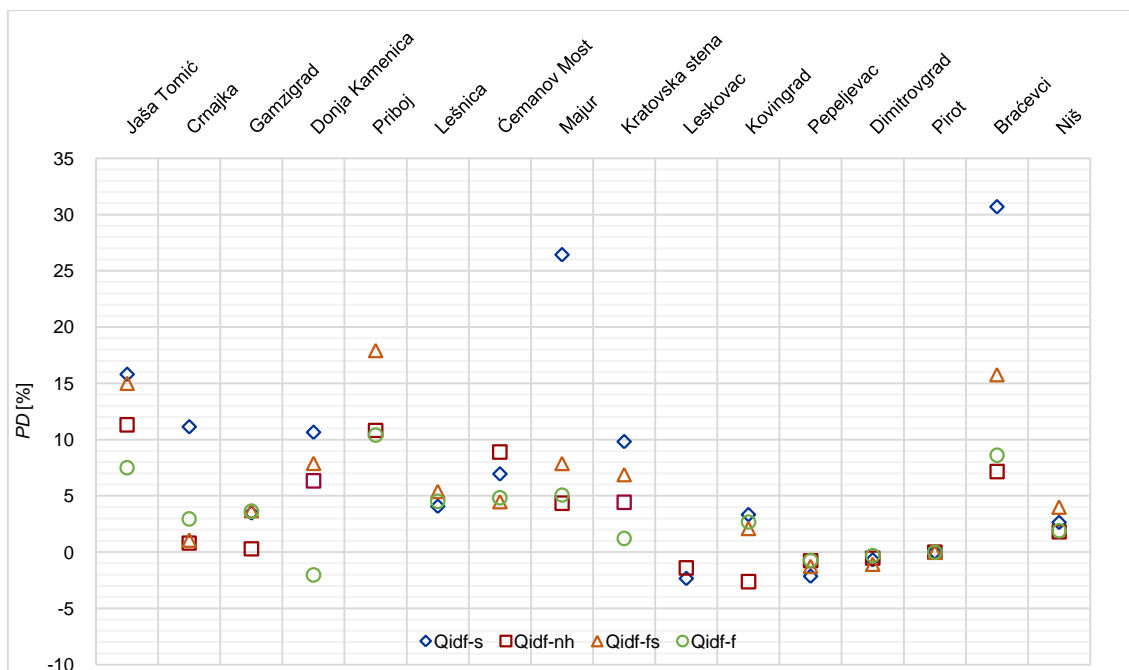
Neke naznake o očekivanjima u pogledu veličine kvantila iz različitih nizova mogu se dobiti na osnovu statističkih osobina nizova, prije svega na osnovu promjene koeficijenta asimetrije niza. Dijagram na Slici 4 ilustruje odnos koeficijenata asimetrije različitih nizova i dobijene procentualne razlike stogodišnjih kvantila u odnosu na mješoviti niz. Procentualna razlika kvantila (PD) je ovdje određena za svaku vjerovatnoću neprevazilaženja posebno, prema izrazu:

$$PD = 100 \cdot [(Q_{p,IDF} - Q_{p,IDF\&MDF}) / Q_{p,IDF\&MDF}]. \quad (5)$$

Positivne vrijednosti procentualnih razlika ukazuju da su dobijene veće vrijednosti kvantila u odnosu na one koje su dobijene za mješovite nizove, a negativne, da su dobijene manje. Na Slici 5, koja dopunjuje Sliku 4, za svaku razmatranu stanicu su prikazane procentualne razlike kvantila stogodišnje velike vode u odnosu na referentni niz.



Slika 4. Procentualne razlike (PD) ocjena kvantila stogodišnje velike vode u odnosu na mješoviti niz i odgovarajuće vrijednosti koeficijenta asimetrije niza iz koga su dobijeni kvantili. Dopunjeno na osnovu [1].



Slika 5. Procentualne razlike (PD) ocjena kvantila stogodišnje velike vode na svim HS u odnosu na mješoviti niz. Na dijagramu nisu prikazane razlike po sve četiri metode za tri stanice koje su izvan prikazanog opsega: HS Lešnica (96.1% za $Q_{0.01, IDF-NH}$), HS Priboj (53.1% za $Q_{0.01, IDF-S}$) i HS Leskovac (-39.6% za $Q_{0.01, IDF-F}$, i -39.7% za $Q_{0.01, IDF-FS}$).

Najveće razlike kvantila stogodišnje velike vode javile su se kod kod HS Lešnica korišćenjem niza Q_{IDF-NH} (96.1%), kod HS Priboj za niz Q_{IDF-S} (53.1%), te kod HS Leskovac za niz Q_{IDF-F} (-39.6%) i za niz Q_{IDF-FS} (-39.7%). Radi preglednosti, na dijagramu na Slici 5 su izostavljene ove procentualne razlike kvantila. Na ovoj slici su grupisane jedna uz drugu stanice koje pripadaju slivovima većih rijeka, ali sa dijagrama se ne vidi da postoji regionalna povezanost rezultata, tj. ne može se reći da se za sve stanice koje pripadaju istom slivu izdvaja neka od metoda kao najbolja ili najlošija.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu su prikazane metoda Fulera i metoda Fila i Štajnera za dobijanje trenutnih maksimuma protoka. Analiza efikasnosti metoda je urađena poređenjem osmotrenih i računskih trenutnih maksimuma vizuelno, preko Q-Q dijagrama i pomoću četiri mjere odstupanja. Uticaj predstavljenih metoda na ocjenu kvantila velikih voda razmatran je poređenjem sa kvantilima ocijenjenim i iz nizova formiranih drugim dvjema metodama, Sangalovom i metodom nagiba hidrograma, s obzirom na površinu sliva, udio osmotrenih trenutnih

maksimuma u nizu godišnjih maksimuma i koeficijent asimetrije nizova.

Fulerova metoda koristi maksimalni srednji dnevni protok za dobijanje trenutnih maksimuma, površinu sliva i dva regionalno zavisna koeficijenta. Poteškoća u ovoj metodi je određivanje regionalnih koeficijenata koji se dobijaju na osnovu odnosa osmotrenih trenutnih maksimuma i srednjih dnevnih protoka. Za to postoje dva razloga, od kojih je prvi udio osmotrenih trenutnih maksimuma u nizu, a drugi, broj stanica za koje je potrebno imati podatke da bi se dobila pouzdana zavisnost. S obzirom na to da se radi o regionalno zavisnim koeficijentima, postavlja se pitanje primjene na pojedinim stanicama. Ovdje su analizirani podaci sa šesnaest HS koje se nalaze u Srbiji, sa pripadajućim slivovima male i srednje veličine, tako da bi trebalo dodatno analizirati iskoristivost dobijenih vrijednosti koeficijenata u Fulerovoj metodi za širi region, pa i za druge stanice u istom regionu. Pored toga, smatra se da metoda Fulera potcjenjuje trenutne maksimume [3], dok je u ovom istraživanju u četiri slučaja prouzrokovala i najmanje kvantile velikih voda.

Metoda Fila i Štajnera za dobijanje trenutnih maksimuma koristi srednje dnevne protoke, kao i protoke dan prije i dan poslije pojave maksimalnog srednjeg dnevnog protoka, uz dva regresiona koeficijenta i korektivni faktor koji je sličan faktoru baze u Sangalovoj metodi [3]. Kako su originalne vrijednosti regresionih koeficijenata i korektivnog faktora koristili i drugi istraživači za različita područja, te su vrijednosti usvojene i u ovom radu. Metoda se može primijeniti izolovano, samo za jednu stanicu, što je čini jednostavnijom za korištenje od Fulerove metode u domaćim uslovima. Kvantili velikih voda koji se dobijaju na osnovu nizova u kojima su trenutni maksimumi koji nedostaju dobijeni metodom Fila i Štajnera, ne daju kvantile koji su znatno veći od kvantila dobijenih na osnovu nizova prema ostalim metodama, a zabilježen je jedan slučaj u kome daje značajno manje kvantile, uz metodu Fulera.

Sangalova metoda prouzrokuje znatno veće kvantile u odnosu na druge metode za četiri stanice, a nigdje izrazito manje. Posljednja metoda iz ove grupe metoda koje uvode uticaj oblika hidrograma poplavnog talasa, metoda nagiba hidrograma, takođe može da se koristi za jednu stanicu, dok se u ovom istraživanju pokazala uravnoteženom u pogledu kvantila koji su na osnovu nje ocijenjeni, osim u dva slučaja: kada su višestruko precijenjeni kvantili dobijeni iz niza u kome se koristi (HS Lešnica) i kada je jedina koja daje kvantile manje od onih iz mješovitog niza (HS Korvingrad).

Prilikom izbora neke od razmatranih metoda, treba imati u vidu i faktore koji utiču na genezu oticaja na slivu (topljenje snijega ili kiša). Prema zaključcima istraživanja koje su sproveli Čen i sar. [3], metoda Sangala je dobra za ocjenu trenutnih maksimuma koji potiču od kiše, ali značajno ih precjenjuje u sezoni topljenja snijega. S druge strane, metoda Fila i Štajnera i metoda nagiba hidrograma su se uglavnom dobro pokazale za događaje koji su generisani različitim klimatskim uticajima.

Svakako je za preporuku uraditi statističku analizu na nizovima formiranim pomoću tri prikazane metode koje uvode uticaj oblika hidrograma poplavnog talasa korišćenjem podataka iz tri uzastopna dana, te uporediti rezultate.

Treba reći da je ovo istraživanje urađeno na osnovu ocjene kvantila iz Biltena 17c, u kome je LPT3 referentna raspodjela, tako da druge teorijske raspodjele vjerovatnoća nisu razmatrane.

Da bi bila jasnija primjenljivost ovih metoda u zavisnosti od površine sliva, broja podataka (ukupnih i osmotrenih trenutnih maksimuma) ili regiona u kojem se nalazi HS, potrebno je uraditi istraživanje sa više HS i na širem području. Međutim, čini se da rezultati koji su proizašli iz ovog rada potvrđuju tezu [3] da su novije metode, metoda Fila i Štajnera i metoda nagiba hidrograma, nešto bolje u odnosu na metode Fulera i Sangala, i to posmatrajući oba razmatrana aspekta: (i) ocjene trenutnih maksimuma; i (ii) učinak metoda pri ocjeni kvantila velikih voda.

ZAHVALNOST

Autori se zahvaljuju RHMZ Srbije na podacima ustupljenim za ovo istraživanje. Rad je dijelom finansiran iz sredstava Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije TR37005.

LITERATURA

- [1] Republički hidrometeorološki zavod Srbije (RHMZ) (-). http://www.hidmet.gov.rs/ciril/hidrologija/povrsins_ke_godisnjaci.php (Preuzeto 17.01.2022.)
- [2] Đokić, N., Blagojević, B., Mihailović, V. (2021) Postupci za dobijanje trenutnih maksimuma na osnovu mešovitih 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., Ur. Jaćimović, N., Plavšić, J. Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet, Beograd, 2021, ISBN 978-86-7518-219-1, p. 182-199
- [3] Chen, B., Krajewski, W. F., Liu, F., Fang, W., Zongxue, X. (2017) Estimating Instantaneous Peak Flow From Mean Daily Flow. *Hydrology Research*, 2017, 1474-1488.
- [4] Sadeghi Loyeh N. and A. Massah Bavani. (2021) Daily maximum runoff frequency analysis under non-stationary conditions due to climate change in the future period: Case study Ghareh Sou basin. *Journal of Water and Climate Change* 2021., 12 (5): 1910–1929
- [5] Dastorani M.T. (2013) River instantaneous peak flow estimation using daily flow data and machine-learning-based models. *Journal of Hydroinformatics* 15(4):1089.
- [6] Blagojević, B., Mihailović, V. Mulaomerović-Šeta, A. (2020) The effect of mixed peak data on

- the flood quantile estimates in a single station analysis: Case study. *Annual of the University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy Sofia*, Vol 53 Issue 1 2020. pp. 247-264. Sofia, Bulgaria.
- [7] Milanović, A., Mitrić, M. (2022) Dobijanje trenutnih maksimuma metodom Fullera i metodom Fila i Štajnera. Seminarski rad iz predmeta Stohastička hidrologija. II ciklus studija. AGGF Banja Luka
- [8] Taguas E.V., J.L. Ayuso, A. Pena, Y. Yuan, M.C. Sanchez, J.V. Giraldez, R. Pérez (2008) Testing the relationship between instantaneous peak flow and mean daily flow in a Mediterranean Area Southeast Spain, *CATENA*, Volume 75, Issue 2, Pages 129-137, ISSN 0341-8162, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.04.015>. (Preuzeto 17.09.2022.)
- [9] U.S. Army Corps of Engineers (2019) *Statistical Software Package HEC-SSP User's Manual, Version 2.2*, US Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center.
- [10] Blagojević, B., Mihailović, V., Đokić, N. (2020) Ocena kvantila velikih voda iz nepotpunih nizova osmatranja na većim slivovima u Srbiji primenom pragova percepcije. *Vodoprivreda* 0350-0519, Vol. 52 (2020) No. 306-308 p. 259-272.

METHOD OF FULLER AND METHOD OF FILL AND STEINER FOR ESTIMATING INSTANTANEOUS PEAK FLOW – AN EFFECT UPON FLOOD QUANTILE ESTIMATES

by

Anica MILANOVIĆ¹, Milorad MITRIĆ¹, Petar PRAŠTALO¹, Borislava BLAGOJEVIĆ², Vladislava MIHAILOVIĆ³

¹University of Banja Luka – Faculty of Architecture, Civil Engineering and Geodesy

²University of Niš – Faculty of Civil Engineering and Architecture

³University of Belgrade – Faculty of Forestry

Summary

Flood frequency analysis in gauged basins is usually performed on the annual flow maxima datasets. The presence of mean daily flows in the datasets of annual maxima is a consequence of ungauged instantaneous peak flow in some cases, occurring at most hydrological stations in the region, thus imposing statistical analysis on mixed datasets consisting partly of mean daily flows and partly of instantaneous peak flows. The aim of this paper is 1) to present two methods for estimating instantaneous peak flow, and 2) to assess an effect upon flood quantile estimates when mean daily flows in the annual maxima dataset are replaced by instantaneous peak flow estimates. The research included a total of sixteen hydrological stations in the territory of the Republic of Serbia. The flood quantiles are estimated

from the datasets where the missing instantaneous peak flows are estimated using the Fuller method, the Fill and Steiner method, as well as the Sangal method and the hydrograph slope method. The applicability and effectiveness of the methods were discussed from the following points of view: (i) evaluation of instantaneous peak flow estimates to gauged ones (Fuller method and Fill and Steiner method) and (ii) evaluation of the flood quantiles (all four methods). The results at the studied stations show that the newer methods, the Fill and Steiner method and the hydrograph slope method, perform better than the Fuller and Sangal methods.

Keywords: mean daily flow, instantaneous peak flow, Fuller method, Fill and Steiner method, flood quantile.