

OCENA KVANTILA VELIKIH VODA IZ NEPOTPUNIH NIZOVA OSMATRANJA NA VEĆIM SLIVOVIMA U SRBIJI PRIMENOM PRAGOVA PERCEPCIJE

Borislava BLAGOJEVIĆ * Vladislava MIHAILOVIĆ ** i Nikola ĐOKIĆ *

* Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

** Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu

REZIME

Koncept pragovala percepcije uveden u okviru novih preporuka za ocenu velikih voda u SAD – Biltenu 17c, namenjen je predstavljanju protoka u godinama bez podataka osmatranja. U radu se na uzorku od 9 stanica sa potpunim nizom osmatranja na teritoriji Srbije, utvrđuje pogodnost korišćenja tri visine donjeg praga percepcije, na osnovu karakteristika nepotpunih nizova. Ispitano je ukupno 160 nizova. Nepotpuni nizovi su formirani na tri načina, izostavljanjem podataka od jedne do dvadeset godina u kontinuitetu, na različitim mestima u osmotrenom nizu. Rezultati upućuju na malu osetljivost na visinu primenjenih donjih pragovala percepcije svih ocenjenih kvantila velikih voda na ispitivanim stanicama na Dunavu, Savi i Velikoj Moravi. Kod četiri ispitivane stanice srednje površine sliva (1000-8000 km²), kvantili velikih voda su uglavnom potcenjeni. Za stanice sa identifikovanim donjim izuzecima, bez obzira na površinu sliva, bolji rezultati su dobijeni za niži donji prag percepcije.

Ključne reči: kvantili velikih voda, nepotpuni niz, pragovala percepcije, Bilten 17c, srednji i veliki slivovi

1. UVOD

Hidrološke podloge za većinu projekata iz oblasti vodoprivrede i hidrotehnike obuhvataju analizu verovatnoće pojave velikih voda. Kada su u pitanju izučeni slivovi, odnosno lokacije hidroloških stanica (HS), najrasprostranjenija metoda u hidrotehničkoj praksi je statistička analiza nizova godišnjih maksimuma. Pouzdanost ove analize zavisi, pre svega, od ulaznih podataka. Provera samih podataka merenja i osmatranja, deo je standardne, sveobuhvatne analize, koju sprovodi Republički hidrometeorološki zavod Srbije (RHMZS), referentna ustanova za održavanje

fonda hidroloških podataka i informacija na teritoriji države [1], [2].

Nizovi maksimalnih godišnjih protoka u profilima HS, formiraju se od po jedne vrednosti iz svake godine osmatranja. Da bi se sproveda statistička analiza ekstrema, formirani nizovi podvrgavaju se proveru ispunjenosti uslova za analizu. U praksi se često ignoriše jedan vid utvrđivanja reprezentativnosti niza, tj. kontrole kvaliteta podataka, u pogledu: 1) celovitosti - potpunosti (da li u periodu rada stanice nedostaju podaci za neke godine) i 2) konzistentnosti (da li niz čine sve trenutne vrednosti na dan pojave maksimalnog protoka ili su za neke godine zamenjene srednje dnevnim protokom).

Problem nepotpunih nizova podataka svih vremenskih rezolucija odavno je poznat, tako da postoji niz metoda i tehnika za rešavanje ovog problema. Iz grupe metoda kojima se vrši popunjavanje konkretnim vrednostima, najjednostavnije su zasnovane na uspostavljanju regresionih zavisnosti sa susednim stanicama, dok su napredne npr. modeli dinamičke regresije [3]. Rezultati nedavnih istraživanja iz ove grupe metoda, prikazuju dobre rezultate i jednostavnim kombinovanjem strogo lokalnog proseka sa srednjom vrednošću uzorka [4]. Posebnu grupu metoda čine one koje se bave korekcijom statističkih parametara, odnosno, metode koje se oslanjaju na regionalnu analizu [5]. Jasno je da je za njihovu primenu potreban veliki obim podataka osmatranja. Imajući u vidu da se u praksi obično ocenjuju velike vode na jednoj stanici, zahtevani obim podataka za primenu ovih grupa metoda je neracionalan sa stanovišta vremena potrebnog za obradu i analize, kao i cene potrebnih podataka u tom slučaju.

Nedavna revizija Preporuka za ocenu velikih voda u SAD-u, pod nazivom Bilten 17C (B17C) [6], uvodi koncept pragovala percepcije koji se može koristiti za

predstavljanje podataka koji nedostaju u nizu. Prvenstveno je namenjen osvetljavanju situacije u periodu između pojave istorijskog maksimuma i početka sistematskog osmatranja (rada stanice). Zahvaljujući uvedenom poboljšanju ocene parametara teorijske raspodele verovatnoća pomoću algoritma očekivanih momenata (Expected Moments Algorithm – EMA) u kombinaciji sa Hirš-Štedingerovim (Hirsh-Stedinger) izrazom za kompromisnu verovatnoću, moguće je ulazne podatke zadati i preko intervala, a ne isključivo kao konkretnu vrednost (tačku). Pravilno postavljanje pragova percepcije podrazumeva posedovanje predstave o protoku koji nedostaje, a obično se dobija iz javnih dokumenata, novina, razgovora sa očevicima ili modeliranjem tragova velikih voda (fizički dokazi), a naročito iz fondova podataka različitih službi za hidrološku delatnost.

U našim uslovima, inženjeri u praksi po pravilu nemaju resurse (vreme, finansijska sredstva) za opsežnu terensku istragu poplavnih događaja, posebno kada se radi o analizi za jednu stanicu. Iako B17C ne preporučuje izvođenje informacija o pragovima percepcije iz raspoloživog niza podataka (ili njegovih karakteristika), najlogičniji put za definisanje pragova percepcije, kod analize za jednu stanicu u odsustvu potrebnih informacija, upravo je iz osmotrenog niza.

Prethodno istraživanje na jednoj stanici velike površine sliva sa dugim nizom osmatranja [7], pokazalo je da su od četiri razmatrane visine, za donji prag percepcije pogodne dve: prosečna vrednost i maksimalni protok nepotpunog niza. Analizirano je 7 slučajeva nepotpunih nizova s obzirom na dužinu i vreme pojave perioda bez podataka, koji su dali 56 podvarijanti nizova postavljanjem donjeg praga percepcije. Veličina procentualne greške karakterističnih kvantila velikih voda nije prelazila 6% ni za povratni period 1000 godina.

Istraživanje prikazano u ovom radu obuhvata 9 HS u Srbiji, sa potpunim nizovima godišnjih maksimuma, srednje do velike površine slivnog područja. Za svaku ispitivanu stanicu su formirani nepotpuni nizovi brisanjem podataka iz određenih perioda u kontinuitetu. Tako je za svaku stanicu dobijeno više varijanti nizova (7 ili 8) koji su podvrgnuti statističkoj analizi velikih voda u programskom paketu HEC-SSP [8]. U periodima u kojima nedostaju podaci postavljano je za svaki niz po dve, a kod nekih nizova i tri visine donjeg praga percepcije. Ukupan broj ispitanih nizova je 160.

Cilj istraživanja je utvrđivanje mogućnosti za izbor visine donjeg praga percepcije zasnovanog na statistikama nepotpunog niza, pri statističkoj analizi velikih voda za jednu stanicu velike ili srednje površine sliva.

2. METODOLOGIJA

2.1 Izbor stanica

Podaci korišćeni u istraživanju su prikupljeni iz javno dostupnih izvora. U GIS okruženju su predstavljani bitni podaci o velikim vodama u profilima HS iz osmatračke mreže površinskih voda Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije (RHMZS) [9]. GIS projekat je formiran na osnovu podataka iz Programa monitoringa statusa voda za 2020. godinu [10], poslednjeg javno dostupnog Operativnog plana za odbranu od poplava [11] i analizom podataka o maksimalnim godišnjim protocima iz Hidroloških godišnjaka [12]. Hidrološke stanice izabrane su na osnovu sledećih kriterijuma:

1. Stanica ima potpuni niz podataka o maksimalnim godišnjim protocima u periodu od osnivanja stanice do 2019. godine.
2. Vreme od najave do vrha talasa velikih voda je veće od 1 dan.

Drugi kriterijum je primenjen da bi se eliminisale stanice kod kojih je statistička analiza ekstrema osetljiva na prisustvo srednje dnevni protoka u nizu. Stanice sa manjom površinom sliva od 1000 km², kod kojih se analiza velikih voda zasniva na mešovitom nizu srednje dnevni i trenutni protoka, mogu dati značajno potcenjene, ali i precenjene kvantile velikih voda [13]. Kriterijum je definisan pod pretpostavkom da vreme od najave do vrha talasa iz Operativnog plana [11] odgovara vremenu podizanja hidrograma velikih voda. Ovde treba napomenuti da korišćen Operativni plan ne sadrži podatke o vremenu od najave do vrha talasa za sve stanice mreže površinskih voda RHMZS, tako da je preliminarno izabrano 10 stanica za istraživanje, koje su zadovoljile oba kriterijuma (Tabela 1).

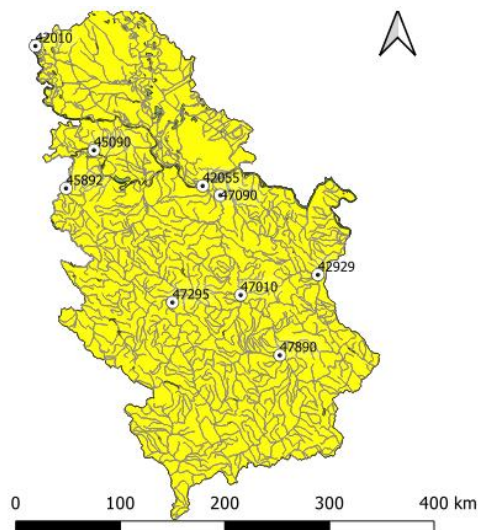
2.2 Testiranje nizova osmatranja i formiranje nepotpunih nizova

Nizovi osmotrenih protoka na 10 preliminarno odabranih stanica su podvrgnuti testiranju podobnosti za statističku analizu. Dužina nizova je u svim slučajevima veća od 50 godina, što je ne samo zahtev reprezentativnosti, već i mogućnosti utvrđivanja postojanja trenda [14]. Testiranja su obavljena uobičajenim testovima homogenosti, uključujući i trend:

z-test, F-test (alternativno, Levenov test), Man-Vitni i Man-Kendal test. Rezultati testiranja pokazali su da su četiri stanice podobne za statističku analizu na nizovima u celom periodu rada stanice, pet stanica na skraćenim nizovima (odsečen je početak niza), a jedna stanica nije podobna za statističku analizu bez dodatnih intervencija na nizu, tako da je eliminisana (Tabela 1, poslednja kolona). Lokacije 9 stanica na kojima je ovo istraživanje zasnovano, prikazane su na slici 1.

Tabela 1. Osnovni podaci o preliminarno razmatranim stanicama

Šifra	HS	Površina sliva (km ²)	Osnovni niz (period osmatranja)	Zaključak testiranja podobnosti niza
42010	Bezdan	210250	1950-2019	podoban
42055	Smederevo	525820	1946-2019	podoban
45090	S. Mitrovica	87996	1926-2019	podoban
45920	Draževac	3588	1951-2019	odbačen
45892	Lešnica*	959	1960-2019	podoban
47010	Varvarin	31548	1948-2019	skraćen
47090	Lj. Most	37320	1948-2019	skraćen
47890	Doljevac	2052	1954-2019	skraćen
47295	L. Lakat	7818	1948-2019	skraćen
42929	Zaječar*	2150	1950-2019	skraćen



Slika 1. Lokacije hidroloških stanica na kojima je rađeno istraživanje

Nepotpuni nizovi su formirani izbacivanjem podataka iz osnovnog niza na dva načina:

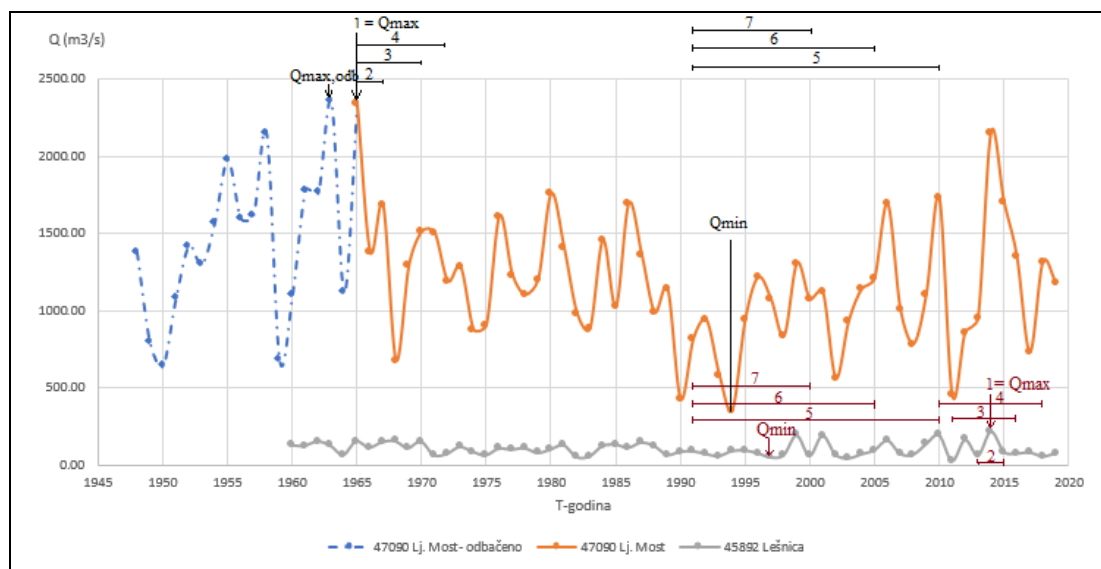
1. Izbacivanjem maksimalno zabeleženog protoka u nizu, a zatim povećavanjem perioda bez podataka oko maksimalnog zabeleženog protoka u referentnom nizu, tako što je izbačeno redom: 5%, 10% i 15% podataka osnovnog niza. Oznake ovih nizova su od 1 do 4 (Tabela 2).
2. Brisanjem podataka iz istih hronoloških perioda za sve stanice: 1991-2010, 1991-2005 i 1991-2000. Ovi nizovi su označeni brojevima od 5 do 7 (Tabela 2).

Tabela 2. Oznake nepotpunih nizova, informacije o referentnom nizu i izbačenim podacima na svim razmatranim stanicama.

Oznaka niza	42010 Bezdan/Dunav (1950-2019, $n_0=70$)			42055 Smederevo/Dunav (1946-2019, $n_0=74$)			45090 Sr. Mitrovica/Sava (1926-2019, $n_0=94$)		
	izbačeno			izbačeno			izbačeno		
	br. god.	% n_0	period	br. god.	% n_0	period	br. god.	% n_0	period
1	1	1,4	2013	1	1,4	2006	1	1,1	2014
2	4	5	2011-2014	4	5	2004-2007	5	5	2012-2016
3	7	10	2010-2016	7	10	2003-2009	10	10	2009-2018
4	11	15	2008-2018	11	15	2001-2011	14	15	2005-2018
5	20	29	1991-2010	20	27	1991-2010	20	29	1991-2010
6	15	21	1991-2005	15	20	1991-2005	15	21	1991-2005
7	10	14	1991-2000	10	14	1991-2000	10	14	1991-2000

Tabela 2.-nastavak Oznake nepotpunih nizova, informacije o referentnom nizu i izbačenim podacima na svim razmatranim stanicama. Sivom bojom su označene stanice skraćenih nizova u odnosu na osmotrene, radi dobijanja nizova podobnih za statističku analizu.

Oznaka niza	45892 Lešnica/Jadar (1960-2019, $n_0=60$)			47010 Varvarin/V. Morava (1963-2019, $n_0=57$)			47090 Lj. Most/V. Morava (1965-2019, $n_0=55$)		
	izbačeno			izbačeno			izbačeno		
	br. god.	% n_0	period	br. god.	% n_0	period	br. god.	% n_0	period
1	1	1.7	2014	1	1.8	2014	1	1.8	1965
2	3	5	2013-2015	3	5	2013-2015	3	5	1965-1967
3	6	10	2011-2016	6	10	2011-2016	6	10	1965-1970
4	9	15	2010-2018	9	15	2010-2018	8	15	1965-1972
5	20	33	1991-2010	20	35	1991-2010	20	36	1991-2010
6	15	25	1991-2005	15	26	1991-2005	15	27	1991-2005
7	10	17	1991-2000	10	18	1991-2000	10	18	1991-2000
Oznaka niza	47890 Doljevac/Toplica (1965-2019, $n_0=55$)			47295 Lop. Lakat/Ibar (1956-2019, $n_0=64$)			42929 Zaječar/B. Timok (1960-2019, $n_0=60$)		
	izbačeno			izbačeno			izbačeno		
	br. god.	% n_0	period	br. god.	% n_0	period	br. god.	% n_0	period
1	1	1.8	1979	1	1.6	1979	1	1.7	2010
2	3	5	1978-1980	3	5	1978-1980	3	5	2009-2011
3	6	10	1977-1982	6	10	1977-1982	6	10	2008-2013
4	8	15	1975-1984	10	15	1974-1985	9	15	2006-2014
5	20	36	1991-2010	20	31	1991-2010	20	33	1991-2010
6	15	27	1991-2005	15	23	1991-2005	15	25	1991-2005
7	10	18	1991-2000	10	15	1991-2000	10	17	1991-2000



Slika 2. Pozicioniranje izbačenih delova referentnog niza pri formiranju različitih varijanti nepotpunih nizova oznaka 1-7.

Na primeru stanica 47090 Ljubičevski Most i 45892 Lešnica, Slika 2 ilustruje oznake nepotpunih nizova saglasno izbačenim podacima iz referentnog niza.

Na pet stanica, formirani su nepotpuni nizovi za specijalne slučajeve, koji su posebno prikazani u Tabeli 3. Radi se o nizovima u kojima su eliminisani protoci koji odgovaraju koti vanredne odbrane od poplava u profilu stanice. Ovi nizovi nose oznaku 8.

Tabela 3. Izbačeni podaci za specijalan slučaj – prevazilaženje kote vanredne odbrane od poplava – niz 8

Stanica	Niz 8		
	izbačeno		
	br. god.	% n_0	period
42010 Bezdan/ Dunav (1950-2019, $n_0=70$)	5	7	1965, 2002, 2006, 2010, 2013
45090 Sr. Mitrovica/ Sava (1926-2019, $n_0=94$)	12	12	1932, 1940, 1944, 1952, 1962, 1965, 1970, 1974, 1981, 1999, 2010, 2014
47010 Varvarin/ V. Morava (1963-2019, $n_0=57$)	1	1.8	2014
47090 Lj. Most/ V. Morava (1965-2019, $n_0=55$)	2	4	1965, 2014
47890 Doljevac/ Toplica (1965-2019, $n_0=55$)	3	5	1965, 1976, 1979

2.3 Statistička analiza

Analiza verovatnoće pojave velikih voda na potpunim – referentnim nizovima i pripremljenim nepotpunim nizovima, urađena je pomoću softverskog paketa HEC-SSP [8] izborom opcije za primenu analize prema B17C. Za poređenje rezultata su odabrani karakteristični povratni periodi kvantila velikih voda, najčešće korišćeni u hidrotehničkoj praksi: 50, 100, 200, 500 i 1000 godina, a za meru neizvesnosti ocene kvantila 90%-ni interval poverenja, izborom granica 5% i 95%. Pored rezultata proračuna prikazanim po etapama analize u izveštaju (ekstenzija *rpt*), osnovni rezultati se prikazuju i tablično – na ekranu i sadrže odabrane kvantile sa gornjom i donjom granicom poverenja, varijansom ocene kvantila prema EMA, statistike niza i zabeležene pojave, kao što je broj izuzetaka. Broj donjih izuzetaka identifikovan višestrukim Grubs-Bekovim testom je beležen podatak za sve nizove, zbog uticaja na ocenu kvantila [15]. Naime, HEC-SSP registruje

potencijalno uticajne donje izuzetke i ocenu kvantila radi na bazi zasečenog niza – bez donjih izuzetaka. Postoji opcija za izmenu definisanog praga za donje izuzetke, koja ovde nije korišćena.

Naknadno, van softvera, računata je relativna procentualna greška kvantila ocenjenih iz nepotpunih nizova u odnosu na kvantile ocenjene iz referentnog niza (oznaka niza '0').

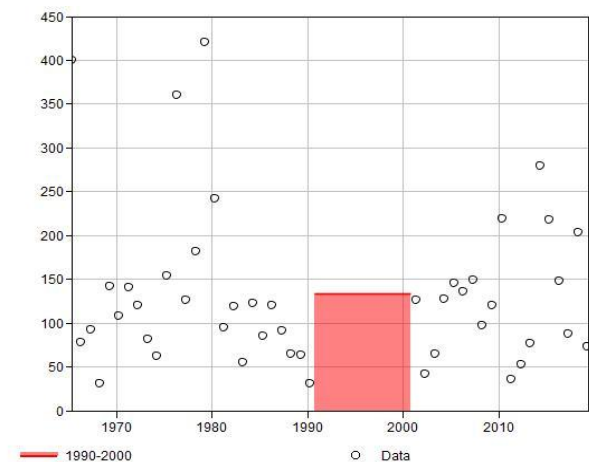
2.4 Izbor pragova percepcije

Prilikom rada u paketu HEC-SSP, u fazi definisanja ulaznih podataka, treba postaviti dva praga percepcije za godine bez osmatranja: donji i gornji, koji odražavaju opseg u kome bi se našao protok da je registrovan. Preporuke o postavljanju pragova [8] obuhvataju situacije 'premošćavanja' perioda od procenjenog istorijskog maksimuma do početka sistematskog osmatranja ili perioda posle ukidanja stanice, izostanak osmatranja u toku rada stanice, kao i korišćenja karakteristika instrumenta za registrovanje maksimalnog nivoa vode (*crest gage*) itd. Zajedničko za sve predviđene namene pragova percepcije je postojanje sistematizovanih i javno dostupnih informacija o poplavama i detaljima potrebnim da bi se ovi pragovi definisali za svaku godinu bez osmotrenog protoka. Donju granicu treba postaviti na najmanji protok koji je mogao biti registrovan da je osmatranja bilo, a ukoliko uopšte nema načina da se ta procena izvrši, kao donja granica se može postaviti 'beskonačno', što je najmanje poželjna opcija.

U svim varijantama ovog istraživanja, za podatke koji su izbačeni, za gornji prag je odabrana vrednost beskonačno, dok su za donji birane varijante: 'i' - srednja vrednost nepotpunog niza, ili 'ii' - maksimum nepotpunog niza. Predstava ulaznih podataka u jednom od nepotpunih nizova uz pragove percepcije, prikazana je na Slici 2, za niz u kom nedostaje period od 1991. do 2000. godine.

Vrednost donjeg praga percepcije, oznake 'iii', predstavlja specijalni slučaj, primenjen u dve situacije:

- Na stanicama na kojima je formiran niz 8, pri čemu je za vrednost donjeg praga usvojena vrednost protoka koja odgovara koti vanredne odbrane od poplava,
- kada je niz skraćen, a maksimalni protok u periodu rada stanice ostao je u odbačenom delu niza. Tada je referentni niz 'popunjen' do godine pojave maksimalnog protoka, postavljanjem donjeg praga percepcije iste veličine - visine.



Slika 3. Predstava podataka niza 7-i na stanici 47890 Doljevac. Iz referentnog niza 1965-2019, izbačen je period 1991-2000 i predstavljen pragom percepcije (i) koji odgovara prosečnoj vrednosti preostalog niza.

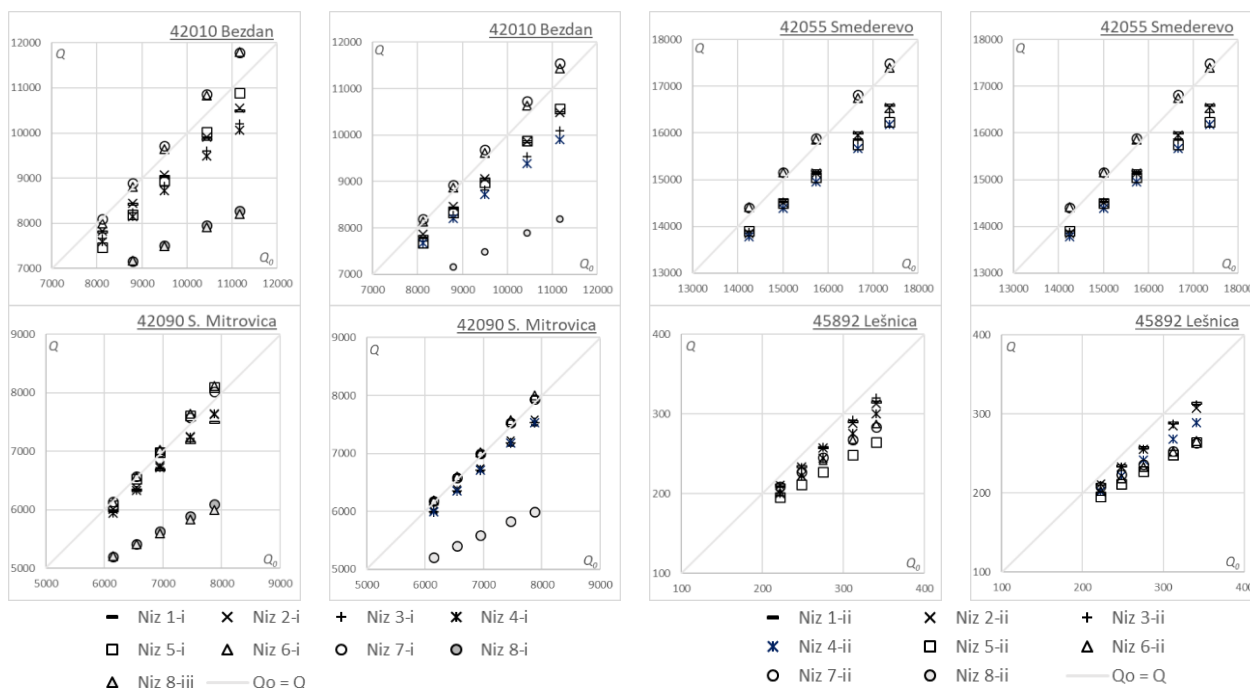
3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1 Ocene kvantila velikih voda

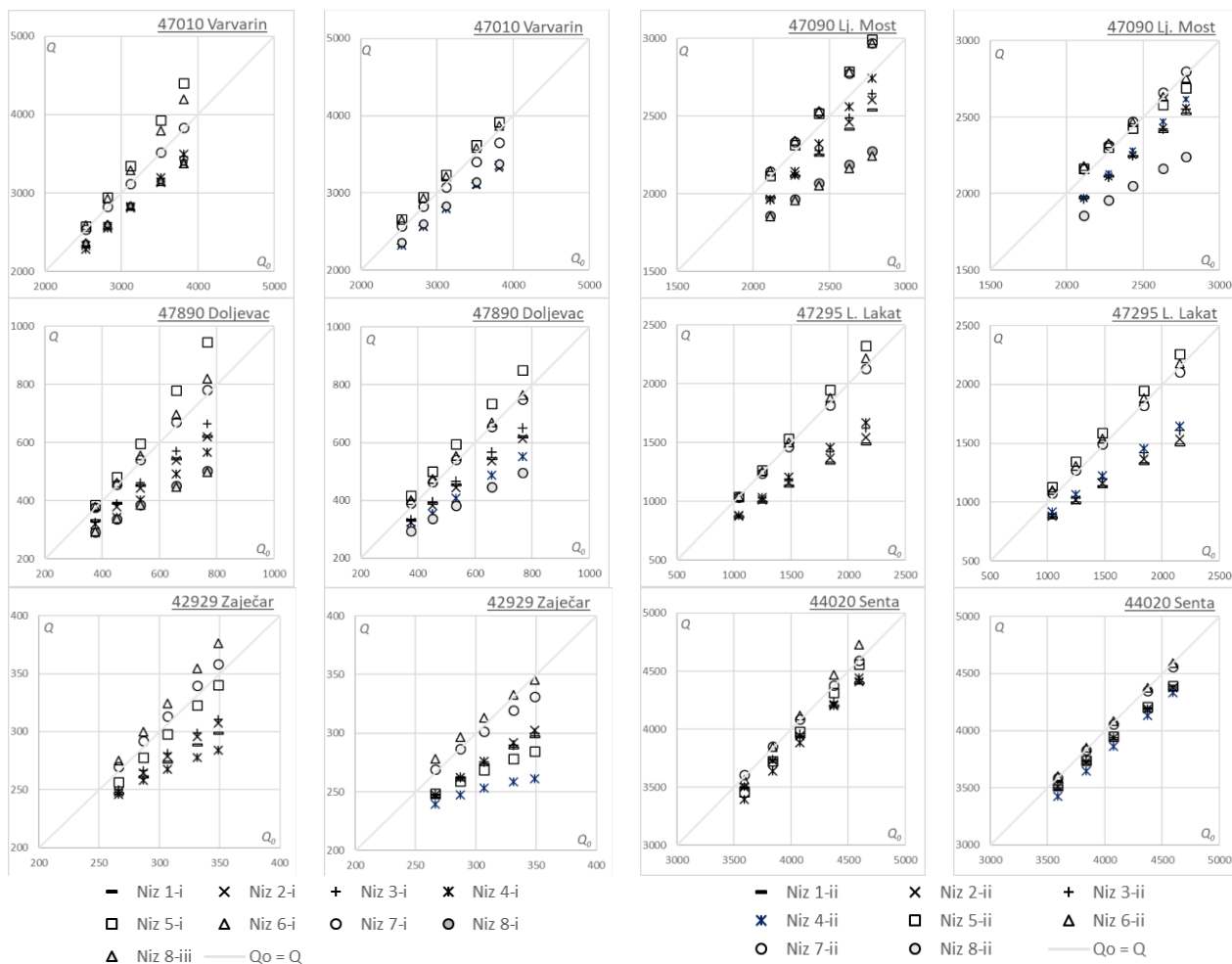
Veličine dobijenih ocena kvantila velikih voda iz referentnog niza (Q_0) i nepotpunih nizova (Q),

prikazane su na dva načina na slikama 4 i 5. Slika 4 prikazuje pojedinačno za svaku stanicu ocene kvantila iz nepotpunih nizova u odnosu na referentni niz putem Q_0-Q dijagrama i služi za sticanje opšeg utiska o rezultatima za oba primenjena praga percepcije: vrednosti iznad dijagonale predstavljaju precenjene, a ispod, potcenjene vrednosti. Za svaku stanicu na levom dijagramu, dati su rezultati dobijeni postavljanjem donjeg praga 'i', a na desnoj 'ii'. Slika 5 daje bliži uvid o vrednosti ocenjenih kvantila Q u odnosu na Q_0 . Odnosi Q/Q_0 su prikazani po povratnim periodima i vrstama nepotpunih nizova.

Iz ovih prikaza, može se zaključiti da su generalno potcenjene vrednosti kvantila iz nepotpunih nizova 1-4 za oba primenjena praga percepcije, a za niz 8, značajno potcenjene za sva tri praga. Jedina stanica kod koje su svi razmatrani kvantili iz svih varijanti nepotpunih nizova potcenjeni je 45892 Lešnica. Kod ove stanice, preklapaju se periodi izbačenih podataka kod svih razmatranih nizova (Slika 2). Međutim, takva situacija se javlja na još 5 stanica sa višestruko većom površinom sliva, a ocene kvantila variraju i u smislu potcenjivanja i precenjivanja. Preliminarno se može zaključiti da je površina sliva jedan od faktora koji treba uzeti u razmatranje kod definisanja donjeg praga percepcije.



Slika 4. $Q-Q_0$ dijagrami razmatranih kvantila velikih voda 5 povratnih perioda (redom, odozdo na gore, od 50 do 1000 godina) ocenjenih iz nepotpunih nizova za donji prag percepcije i (levo) i ii (desno), prikazani u okviru jedne stanice.



Slika 4.-nastavak $Q-Q_0$ dijagrami kvantila velikih voda 5 povratnih perioda (redom, odozdo na gore, od 50 do 1000 godina) ocenjenih iz nepotpunih nizova za donji prag percepcije i (levo) i ii (desno), u okviru jedne stanice. Podaci za 44020 Senta preuzeti iz [7].

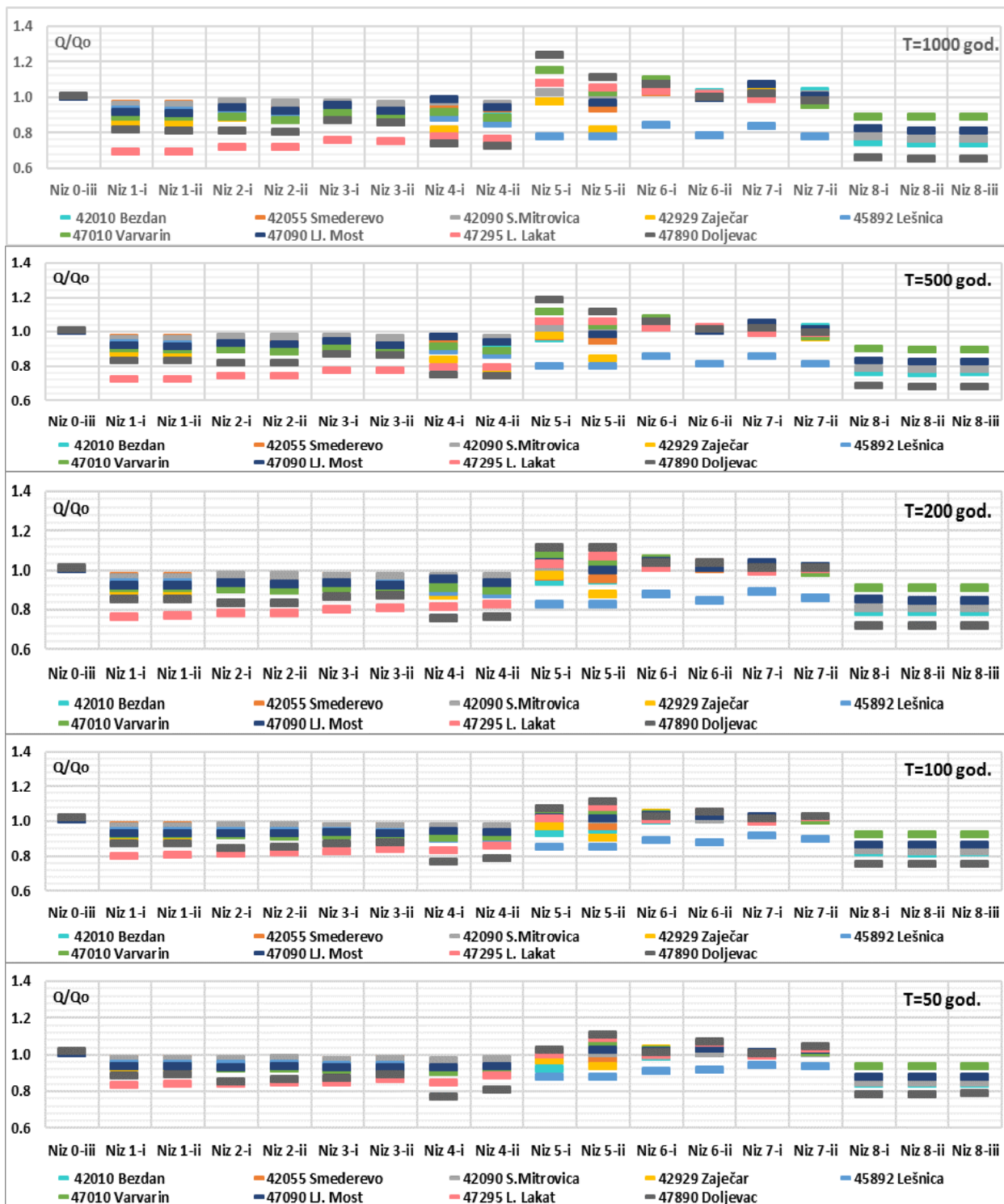
Nizovi 4, 5 i 8 pokazuju najveće varijacije odnosa ocenjenih kvantila svih povratnih perioda među stanicama (Slika 5). Dok su 4 i 5, nizovi sa najvećim procentom izbačenih podataka kod svih stanica (Tabela 2) i uticaj udela izbačenih podataka iz referentnog niza na ocenjene kvantile je očekivan, to se ne može reći za niz 8. On procentualno ima približno isto izbačenih podataka kao niz 2 za četiri razmatrane stanice, a za 47090 Sremska Mitrovića (Tabela 3), procenat izbačenih podataka nešto je veći - približno kao u nizu 3. Opseg varijacije odnosa kvantila nizova 2 i 3 kod razmatranih stanica, manji je od odgovarajućeg opsega za niz 8. Dalje, ne uočavaju se razlike u odnosu Q/Q_0 za sva tri postavljena praga percepcije kod niza 8, a svi kvantili dobijeni iz nepotpunih nizova su potcenjeni.

Kod niza 5, takođe je zanimljiva promena širine opsega u kome se kreću odnosi Q/Q_0 kroz povratne periode za

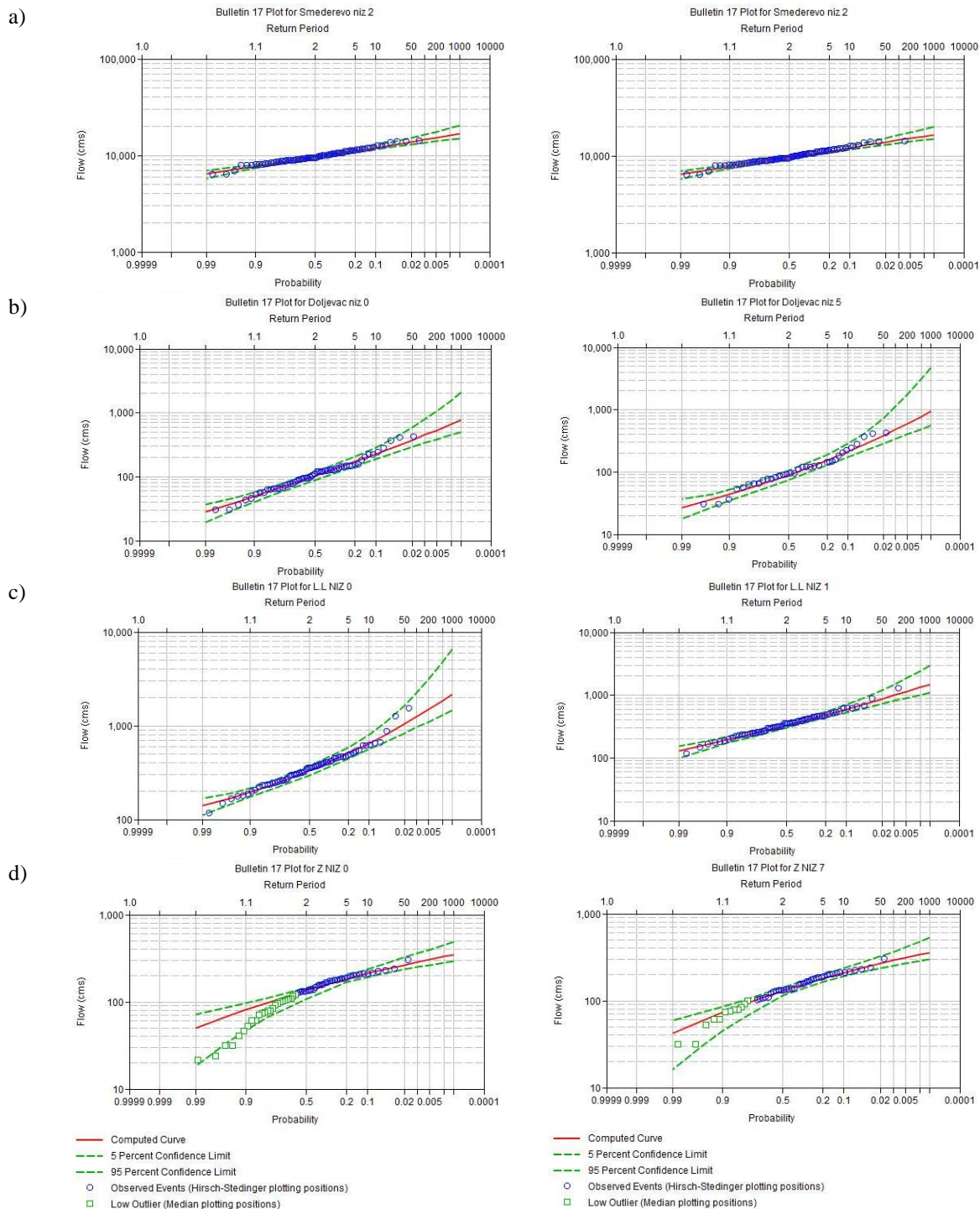
donje pragove percepcije 'i' i 'ii'. Odnosi kod kvantila dobijenih za prag 'i' variraju u znatno širem opsegu za retke događaje, ali u užem za česte. Kod praga 'ii' širina opsega postepeno se smanjuje od većih ka manjim povratnim periodima. Opseg varijacije Q/Q_0 je približno isti za povratni period 200 godina kod svih stanica u ovom slučaju (niz 5).

3.2 Uticaj donjih izuzetaka

U referentnim i nepotpunim nizovima, nisu otkriveni gornji izuzeci. Od 9 razmatranih stanica, na četiri su otkriveni donji izuzeci. Broj otkrivenih donjih izuzetaka u nepotpunim nizovima je isti za obe varijante donjih pragova percepcije (Tabela 4). Kod stanica kod kojih su otkriveni donji izuzeci nešto bolje ocene kvantila u nepotpunim nizovima dobijaju se za niži prag percepcije - 'i'.



Slika 5. Varijansa ocene kvantila iz uzorka prema EMA postupku po povratnim periodima za referentni niz i nepotpune nizove



Slika 6. Uporedni prikaz dijagrama verovatnoće: a) 42055 Smederevo, nizovi 2- i i 2-ii, b) 47890 Doljevac nizovi 0 i 5-i, c) 47295 Lopatnica Lakat, nizovi 0 i 1- ii, d) 42929 Zaječar nizovi 0 i 7-i.

Tabela 4. Broj identifikovanih donjih izuzetaka na četiri stanice u različitim varijantama nizova

Stanica	Izuzeci	0	1	2	3	4	5	6	7	8
45892 Lešnica	donji	1	1	1	-	-	17	19	22	-
47010 Varvarin	donji	3	3	3	2	2	2	2	2	3
47090 Lj. Most	donji	6	7	7	5	5	2	2	5	7
42929 Zaječar	donji	25	25	24	23	20	15	2	12	-

3.3 Neizvesnost

Neizvesnost ocene kvantila ilustrovana je za razmatrane povratne periode u okviru nizova za sve stanice preko promene varijanse ocene logaritama kvantila prema EMA (Slika 5), a za nekoliko stanica i njihovih varijanti nepotpunih nizova i preko intervala poverenja na dijagramima verovatnoće (Slika 6).

Kod stanica kod kojih je veća neizvesnost ocene kvantila u referentnom nizu (47890 Doljevac, 47295 Lopatnica Lakat, 47010 Varvarin), u nizovima 3-7 ta se neizvesnost povećava (sa povećanjem obima izbačenih podataka), a manja je kod donjeg praga percepcije 'ii' u okviru svake varijante nepotpunog niza. Za stanicu 45892 Lešnica, neizvesnost se smanjuje, sa izbacivanjem većeg obima podataka.

Na dijagramima verovatnoća (Slika 6) mogu se uočiti posledice različitih uticaja na teorijsku krivu raspodele verovatnoće Log Pirson tip3 za odabrane stanice:

a) uticaj visine pragova i (levo) i ii (desno) na kompromisnu verovatnoću prvih članova niza (najmanja verovatnoća prevazilaženja) na stanici velike površine sliva i dugog niza osmatranja, u varijanti nepotpunog niza 2, sa 70 podataka;

b) neizvesnost krive raspodele (ocene kvantila) prema intervalu poverenja za niz 0 (levo) i 5-i (desno), kod najvećeg precenjivanja kvantila od svih nizova na svim stanicama – u nepotpunom nizu podataka na odabranoj stanici nedostaje 36% podataka referentnog niza;

c) neizvesnost krive raspodele (ocene kvantila) prema intervalu poverenja za niz 0 (levo) i 1-ii (desno), kod najvećeg potcenjivanja kvantila u svim nizovima i na svim stanicama - u nepotpunom nizu podataka na odabranoj stanici nedostaje jedan podatak - maksimalni protok iz referentnog niza;

d) uticaj donjih izuzetaka na krivu raspodele i širinu intervala poverenja u referentnom nizu 0 sa 25 identifikovanih izuzetaka i nizu 7-i (bez perioda 1991-2000), sa 12 izuzetaka.

Procentualne greške dobijene u opsegu +/-5%, mogu se smatrati potpuno prihvatljivim ocenama kvantila, kao i do +/- 10%, a takve greške su zastupljene kod pet stanica sa velikom površinom sliva od razmatranih stanica: 42010 Bezdan, 42055 Smederevo, 42090 Sremska Mitrovica, 47010 Varvarin i 47090 Ljubičevski Most (Tabela 5). Generalno, ova prihvatljiva odstupanja su registrovana na svim nepotpunim nizovima i u obe varijante donjeg praga percepcije, premda se neznatno bolji rezultati dobijaju za prag 'i'.

Kod stanica sa srednjom površinom sliva (ispod 8000 km²), javljaju se veće razlike, a najlošiji rezultati su dobijeni za 47295 Lopatnica Lakat za sve povratne periode kod nizova 1-4. Kod te stanice, najlošiji rezultati su dobijeni za izbacivanje samo jedne vrednosti u godini pojave maksimalnog protoka u periodu osmatranja. Stanica 47890 Doljevac, pokazala je najveće razlike za nizove 4 i 5, a na stanici 42929 Zaječar, najlošiji rezultat je dobijen za varijantu niza 4, praga 'ii'. 45892 Lešnica ima sistematski potcunjene kvantile iz svih nepotpunih nizova, a lošiji su rezultati dobijeni za nizove 5-7 u odnosu na nizove 1-4. Kod ove stanice je 'i' prag bolji generalno u odnosu na 'ii'.

Pored visine donjeg praga percepcije koja je fokus ovog istraživanja, bitan uticaj na pouzdanost ocene kvantila ima i obim uzorka iz koga se ocenjuju parametri raspodele. Sa tog stanovišta, kritične su dužine sledećih nepotpunih nizova, zbog broja detektovanih izuzetaka, na dve stanice:

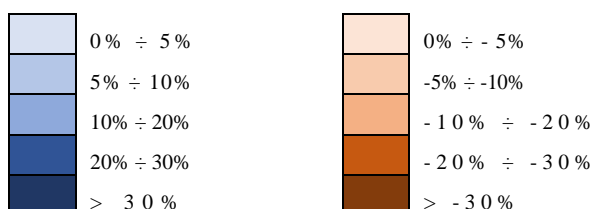
- nizovi 5, 6 i 7 na 45892 Lešnica,
- niz 5 na stanici 42929 Zaječar.

Tabela 5. Procentualna greška ocene kvantila u odnosu na referentni niz '0'

Stanica Šifra	Niz T (god)	0	1		2		3		4		5		6		7		
		iii	i	ii	i	ii	i	ii	i	ii	i	ii	i	ii	i	ii	
42010	1000		-6.0	-6.2	-5.6	-6.2	-8.7	-9.7	-9.9	-11.0	-2.6	-5.4	5.5	2.4	5.4	3.3	
42055			-4.2	-4.4	-4.1	-4.7	-4.3	-5.3	-5.1	-6.8	-3.1	-6.5	2.8	0.2	2.5	0.8	
42090			-4.8	-4.9	-3.1	-3.6	-3.3	-4.3	-2.9	-4.3	2.7	0.8	3.1	1.6	1.8	0.8	
45892			-7.5	-8.0	-8.3	-9.7	-6.2	-8.6	-12.0	-15.3	-22.5	-22.5	-15.6	-22.0	-16.7	-22.6	
47010			-11.1	-11.6	-11.7	-13.0	-9.4	-11.8	-8.6	-12.2	15.2	2.6	9.8	1.2	0.3	-4.5	
47090			-0.2	-8.6	-9.1	-6.3	-7.9	-4.9	-8.2	-1.4	-5.8	7.6	-3.2	6.9	-0.9	6.8	0.8
47890			0.6	-18.8	-19.1	-19.2	-19.8	-13.4	-14.9	-26.2	-27.8	23.4	11.1	7.1	-0.1	2.0	-2.2
47295				-30.8	-30.9	-28.3	-28.6	-24.7	-25.3	-22.4	-23.6	7.9	5.0	2.9	1.2	-1.3	-2.2
42929				-14.4	-14.8	-11.9	-13.3	-10.9	-14.1	-18.7	-25.2	-2.6	-18.5	7.8	-1.0	2.7	-5.1
42010		500		-5.5	-5.6	-5.1	-5.5	-8.0	-8.6	-9.1	-10.1	-4.0	-5.5	3.8	1.9	4.1	2.7
42055			-3.9	-4.0	-3.8	-4.3	-4.0	-4.7	-4.8	-6.0	-3.2	-5.5	2.2	0.5	2.0	0.9	
42090			-4.3	-4.4	-3.0	-3.3	-3.3	-3.9	-3.1	-3.9	1.7	0.7	2.2	1.4	1.3	0.8	
45892			-6.9	-7.3	-7.5	-8.6	-6.3	-8.0	-11.6	-13.9	-20.4	-20.4	-14.3	-19.2	-14.2	-19.0	
47010			-10.2	-10.5	-10.8	-11.8	-9.3	-10.9	-9.0	-11.4	11.7	3.1	7.9	1.9	0.2	-3.1	
47090			0.0	-8.2	-8.6	-6.6	-7.7	-5.5	-8.0	-2.8	-6.1	5.8	-1.9	5.6	0.0	5.4	1.1
47890			0.9	-17.2	-17.3	-18.2	-18.5	-13.4	-14.1	-25.5	-26.0	18.2	11.3	5.7	1.6	1.7	-0.6
47295				-27.7	-27.7	-25.6	-25.6	-22.7	-22.7	-20.8	-20.9	5.9	5.9	2.2	2.4	-1.2	-0.9
42929				-12.8	-13.2	-10.7	-11.9	-9.7	-12.5	-16.1	-22.0	-2.7	-16.0	7.0	0.4	2.5	-3.6
42010	200			-4.8	-4.8	-4.5	-4.6	-7.1	-7.2	-8.1	-8.2	-5.8	-5.5	1.6	1.3	2.3	2.0
42055			-3.4	-3.4	-3.5	-3.7	-3.6	-3.9	-4.4	-4.9	-3.3	-4.3	1.4	0.8	1.4	1.0	
42090			-3.7	-3.7	-2.8	-2.9	-3.3	-3.4	-3.3	-3.4	0.5	0.6	1.1	1.1	0.7	0.7	
45892			-6.2	-6.4	-6.6	-7.2	-6.3	-7.1	-11.1	-12.2	-17.4	-17.4	-12.4	-15.3	-10.9	-14.1	
47010			-8.8	-9.0	-9.7	-10.2	-9.1	-9.7	-9.4	-10.3	7.4	3.8	5.5	2.9	0.1	-1.3	
47090			0.3	-7.5	-7.8	-6.8	-7.4	-6.3	-7.6	-4.6	-6.3	3.5	-0.2	4.0	1.3	3.8	1.5
47890			1.3	-15.0	-14.9	-16.9	-16.7	-13.4	-13.0	-24.6	-23.5	11.6	11.3	3.9	3.8	1.3	1.4
47295				-23.4	-23.4	-21.9	-21.6	-19.9	-19.2	-18.6	-17.3	3.3	7.1	1.3	4.0	-0.9	0.8
42929				-10.6	-10.9	-9.1	-10.0	-8.2	-10.2	-12.7	-17.5	-2.9	-12.5	5.7	2.2	2.1	-1.6
42010		100		-4.2	-4.2	-4.0	-3.8	-6.4	-6.1	-7.3	-6.8	-7.0	-5.4	0.1	0.8	1.0	1.4
42055			-3.0	-3.0	-3.3	-3.3	-3.3	-3.3	-4.1	-4.1	-3.4	-3.4	0.8	1.0	1.0	1.1	
42090			-3.2	-3.2	-2.6	-2.5	-3.3	-3.0	-3.4	-3.0	-0.4	0.4	0.3	0.9	0.2	0.6	
45892			-5.6	-5.7	-5.9	-6.1	-6.2	-6.4	-10.6	-10.7	-14.9	-14.9	-10.9	-12.1	-8.4	-10.2	
47010			-7.8	-7.9	-8.8	-8.9	-8.8	-8.8	-9.6	-9.4	4.4	4.4	3.8	3.6	0.1	0.1	
47090			0.5	-7.0	-7.1	-6.9	-7.1	-6.8	-7.3	-5.8	-6.4	1.8	1.2	2.9	2.3	2.6	1.9
47890			1.6	-13.2	-13.1	-15.8	-15.3	-13.3	-12.1	-23.7	-21.6	7.0	11.1	2.6	5.4	0.9	2.8
47295				-20.1	-19.9	-19.0	-18.4	-17.7	-16.5	-17.0	-14.5	1.5	7.9	0.7	5.1	-0.7	2.0
42929				-9.0	-9.2	-7.9	-8.6	-7.0	-8.5	-10.1	-13.8	-3.2	-9.7	4.6	3.4	1.7	-0.2

Tabela 5. – nastavak Procentualna greška ocene kvantila u odnosu na referentni niz '0'

Stanica Šifra	Niz T (god)	0	1		2		3		4		5		6		7		
		iii	i	ii	i	ii	i	ii	i	ii	i	ii	i	ii	i	ii	
42010	50		-3.6	-3.5	-3.5	-3.1	-5.6	-5.0	-6.5	-5.4	-8.1	-5.4	-1.4	0.3	-0.2	0.8	
42055			-2.6	-2.5	-3.0	-2.8	-3.0	-2.7	-3.8	-3.2	-3.5	-2.5	0.3	1.2	0.5	1.1	
42090			-2.7	-2.7	-2.4	-2.2	-3.2	-2.6	-3.4	-2.6	-1.2	0.3	-0.5	0.7	-0.2	0.5	
45892			-5.0	-5.0	-5.1	-5.0	-6.1	-5.6	-10.0	-9.2	-12.0	-12.0	-9.2	-8.7	-5.9	-6.2	
47010			-6.8	-6.7	-7.9	-7.6	-8.5	-7.7	-9.7	-8.4	1.6	5.0	2.2	4.4	0.0	1.5	
47090			0.7	-6.4	-6.4	-6.9	-6.8	-7.2	-7.0	-6.9	-6.4	0.2	2.5	1.8	3.3	1.5	2.3
47890			1.8	-11.5	-11.2	-14.7	-13.8	-13.2	-11.2	-22.8	-19.5	2.6	10.8	1.3	6.9	0.5	4.1
47295				-16.6	-16.4	-16.0	-15.2	-15.5	-13.8	-15.3	-11.7	-0.1	8.5	0.1	6.2	-0.5	3.3
42929				-7.3	-7.4	-6.7	-7.1	-6.0	-6.8	-7.7	-10.0	-3.6	-6.8	3.3	4.4	1.3	1.2



4. ZAKLJUČAK I KOMENTARI

U okviru EMA procedure iz Biltena 17C, značajnu novinu predstavlja mogućnost uvrštavanja podataka koji iz različitih razloga nedostaju u sistematskom merenju i/ili istorijskih velikih voda. Za predstavljanje podataka koji nedostaju zadaje se opseg mogućih protoka, postavljanjem donjeg i gornjeg prag percepcije. U SAD, postoje smernice za postavljanje visine ovih pragova, prema Nacionalnom sistemu kodova za vodni informacioni sistem (National Water Information System Qualification, NWIS) [8]. S obzirom na to da kod nas nema sličnih podataka i informacija, ideja u ovom radu je bila da se ispita mogućnost za 'popunjavanje' nepotpunih nizova postavljanjem donjeg praga percepcije izvedenog na osnovu raspoloživog niza podataka. Ispitane su dve osnovne visine donjeg praga i jedan specijalni slučaj: srednja vrednost nepotpunog niza, maksimum nepotpunog niza i protok koji odgovara koti vanredne odbrane od poplava, da bi se simulirala situacija otkazivanja instrumenta pri nailasku većeg talasa velikih voda.

Ispitivane su dve pozicije izbačenih podataka. Prva, zbog utvrđivanja uticaja na rezultate izostanka registrovanja maksimalnog protoka i perioda oko njega,

a druga, zbog mogućnosti da se nadoknade neregistrovani protoci u dužem periodu tokom koga stanica nije radila. Motiv za izbor drugog perioda je situacija sa podacima u Bosni i Hercegovini, kada većina stanica nije radila u dužem periodu, od 1991. godine.

Za sada se ne može zaključiti da li je bolja vrednost nižeg praga (srednja vrednost nepotpunog niza) ili višeg (maksimalni protok nepotpunog niza). Nešto bolje ocene kvantila dobijaju se za niži prag, međutim one nisu takve da bi se taj prag mogao preporučiti kao izbor.

Primenjene visine pragova rezultirale su generalno potcenjenim vrednostima kvantila velikih voda. Međutim, u najvećem broju slučajeva (nizova), procentualna greška u odnosu na referentni niz ne prelazi +/-10%, što ukazuje da su za većinu ispitivanih kombinacija pragova i nepotpunih nizova postignute zadovoljavajuće ocene kvantila.

Potcenjene vrednosti kvantila preovlađuju iz nepotpunih nizova kod kojih su podaci izostavljani oko maksimalnog protoka (nizovi 1-4). Očekivano, značajno potcenjene vrednosti kvantila su dobijene u slučaju nepotpunog niza iz koga su pojedinačno izbačeni

maksimalni protoci – značajni poplavni događaji (niz 8). Takođe, visine sva tri ispitana praga ovde ne utiču na ocenjene kvantile svih povratnih perioda.

Vrlo dobri rezultati su postignuti za nizove kod kojih nedostaju podaci posle 1991. godine (5, 6 i 7), osim za retke događaje (T=1000 i 500 godina) za niz 5 bez celog perioda 1991-2010.

Pri pojavi donjih izuzetaka u nizu, niži donji prag percepcije (srednja vrednost nepotpunog niza) je dao manju procentualnu grešku ocene kvantila, tako da bi u ovom slučaju moglo da se preporuči da se usvoji ova visina praga, s tim da se u budućnosti isprobaju i niže vrednosti donjeg praga percepcije.

Uopšte, izbor donjeg praga percepcije trebalo bi da bude predmet sveobuhvatnog uvida u kvalitet i obim podataka, statističke karakteristike niza itd, a najbolje bi bilo da se po ugledu na Nacionalni vodni informacioni sistem SAD i kod nas formiraju i objave takvi podaci.

Preliminarno se može zaključiti da je površina sliva jedan od faktora koji treba uzeti u razmatranje kod definisanja donjeg praga percepcije.

Kod stanica sa većom površinom sliva, ali u ispitivanim slučajevima i sa dužim nizovima osmatranja, izbor visine praga percepcije nema značajnijeg uticaja na rezultate. Dodatna istraživanja potrebna su za slivove srednje površine, kod kojih je bitan period iz koga nedostaju podaci (lokacija i dužina perioda [16]), ali i prisustvo donjih izuzetaka.

Poseban problem predstavljaju mali slivovi, zbog čega su isključeni iz ovog istraživanja, kod kojih je prvo potrebno proveriti i rešiti prisustvo srednjih dnevnih protoka u nizu ekstrema, a zatim ispitivati ponašanje različitih visina donjeg praga percepcije.

ZAHVALNOST

Autori se zahvaljuju kolegama Srđanu Marjanoviću, Dejanu Vladikoviću i Samiru Čatoviću iz RHMZ Srbije, na korisnim sugestijama i diskusijama koje su doprinele razmatranjima u ovom istraživanju.

LITERATURA

[1] – (2015) Pravilnik o sadržini, načinu vođenja i održavanja fonda zvaničnih meteoroloških i hidroloških podataka i informacija, kao i

metodama kontrole kvaliteta i verifikacije pouzdanosti podataka i načinu njihovog objavljivanja i korišćenja. Službeni glasnik Republike Srbije br. 30/2015

- [2] Blagojević B., Mihailović V., Plavšić J. (2014) Statistička analiza velikih voda na profilima hidroloških stanica: potreba za promenom pristupa, *Vodoprivreda* 0350-0519, 46 (2014): 267-272
- [3] Tencaliec, P., A.-C. Favre, C. Prieur, and T. Mathevet (2015), Reconstruction of missing daily streamflow data using dynamic regression models, *Water Resour. Res.*, 51, 9447–9463, doi:10.1002/2015WR017399.
- [4] Pappas, C., S. M. Papalexioiu, and D. Koutsoyiannis (2014), A quick gap filling of missing hydrometeorological data, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 9290–9300, doi:10.1002/2014JD021633
- [5] Ilorme F., Griffis V.W. (2013) A novel approach for delineation of hydrologically homogeneous regions and the classification of ungauged sites for design flood estimation. *Journal of Hydrology* 492:151–162
- [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] Đokić N., Blagojević B., Mihailović V. (2020) Missing data representation by perception thresholds in flood flow frequency analysis. *Abstract Proceedings. Young Researchers Conference YOURS 2020. 28th September 2020, Belgrade.* pp. 35.
- [8] 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.
- [9] Đokić, N. (2020) Primena GIS-a za vizuelizaciju podatka o maksimalnim godišnjim protocima sa analizom velikih voda na nepotpunim nizovima. Master rad. Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš. str. 89.
- [10] – (2020) Uredba o utvrđivanju godišnjeg programa monitoringa statusa voda za 2020. godinu. Službeni glasnik Republike Srbije br. 85/2020.
- [11] – (2013) Uredba o utvrđivanju operativnog plana za odbranu od poplava za 2013. godinu. Službeni glasnik Republike Srbije br. 23/2012.

- [12] http://www.hidmet.gov.rs/ciril/hidrologija/povrsinske_godisnjaci.php
- [13] 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
- [14] Kundzewicz Z. W. and Robson A. (2000): Detecting trend and other changes in hydrological data, WMO/TD-No. 1013, UNESCO and WMO, Geneva.
- [15] Blagojević B., Mihailović V., Plavšić J., (2014) Outlier treatment in the flood flow statistical analysis. Proc. Int. Conf. On Contemporary Achievements in Civil Eng., Faculty of Civil Engineering Subotica, University of Novi Sad, Subotica, Serbia, 24-25 April 2014, pp. 603-609, DOI: 10.14415/konferencijaGFS2014.081
- [16] Slater, L. and Villarini, G. (2017), On the impact of gaps on trend detection in extreme streamflow time series. International Journal of Climatology, 37(10), pp. 3976-3983. doi: 10.1002/joc.4954

FLOOD QUANTILE ASSESSMENT FROM INCOMPLETE DATASETS IN LARGE CATCHMENTS IN SERBIA USING PERCEPTION THRESHOLDS

by

Borislava BLAGOJEVIĆ*, Vladislava MIHAILOVIĆ** and Nikola ĐOKIĆ*

*University of Niš, Faculty of Civil Engineering and Architecture

**University of Belgrade, Faculty of Forestry

Summary

The concept of perception thresholds has been introduced as a part of new guidelines for flood frequency assessment in the U.S. - Bulletin 17c with intention to present missing flow data. The paper investigates the suitability of using three values as the lower perception threshold based on the characteristics of incomplete series in 9 stations in Serbia with complete datasets. A total of 160 datasets were analyzed. Incomplete datasets are formed in three ways, creating gaps from one to twenty consecutive years, at different locations in the observed dataset. The results indicate low sensitivity to the value of the applied lower

perception threshold for all estimated flood quantiles at the studied stations on the river Danube, Sava and Velika Morava (area > 30000km²). In the four examined stations of the medium catchment area (~1000-8000 km²), the underestimated flood quantiles prevail. At stations with detected low outliers, regardless of the catchment area, better results were obtained for the smaller lower perception threshold value.

Keywords: flood quantiles, data gaps, perception thresholds, Bulletin 17c, medium and large catchments

Redigovano 5.11.2020.