

Maksimalna trajanja malovodnih perioda na malim i srednjim slivovima Srbije

Stevan Prohaska¹

Jasna Plavšić²

Samir Čatović³

Vladislava Bartoš Divac⁴

Ognjen Prohaska⁵

Aleksandra Ilić⁶

Srdan Marjanović⁷

Dragutin Pavlović⁸

APSTRAKT: Maksimalna trajanja malovodnih perioda, koje se prikazuju u ovom radu, preuzeta su iz nove monografije „Prosečni protoci i male vode na srednjim i malim slivovima Srbije”, čija je izrada u toku, a koju zajednički realizuju Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ i Republički hidrometeorološki zavod Srbije uz učešće Građevinskog fakulteta iz Beograda i Građevinsko-arhitektonskog fakulteta iz Niša. Bazni podaci koji su korišćeni su zvanični podaci Republičkog hidrometeorološkog zavoda sa 82 profila hidroloških stanica na srednjim i malim slivovima na teritoriji Srbije južno od Save i Dunava. Pri tome su korišćene sve raspoložive vremenske serije srednjednvnih i minimalnih godišnjih protoka. Periodi obrade su bili od početka rada određene hidrološke stanice do zaključno sa 2018. godinom. U ovom radu daje se samo prikaz rezultata obrada jedne od osnovnih karakteristika malovodnih perioda, a to su maksimalna trajanja malovodnih perioda u funkciji repernih protoka i verovatnoće pojave, kao i njihova unutargodišnja zastupljenost. Prikazani su osrednjeni rezultati za razmatrane slivove i za celu teritoriju Republike Srbije.

Ključne reči: male vode, malovodni periodi, trajanje malih voda, trajanje malovodnih perioda, statistička analiza

Maximum low flow durations in small and medium Serbian watersheds

ABSTRACT: Maximum low flow durations, presented in this paper, are taken from the new book on “Mean and low flows in small and medium watersheds in Serbia”, which is jointly under development by the “Jaroslav Černi” Institute for Water Resources Management and Republic Hydrometeorological Service of Serbia with participation of the University of Belgrade – Faculty of Civil Engineering and University of Niš – Faculty of Civil Engineering and Architecture. Basic data from 82 hydrological stations in small and medium-sized watersheds within Serbia south of the Danube and the Sava rivers are provided by Republic Hydrometeorological Service. All available data on daily and absolute annual minimum flows from the start of operation and 2018 are used in the analysis. This paper presents a part of the results relating maximum low flow durations to characteristic thresholds and probability of occurrence, as well as their seasonal distribution. The results are averaged over individual watersheds and for the territory of Serbia.

Keywords: low flows, low flow duration, statistical analysis

¹ Prof. dr Stevan Prohaska, Institut za vodoprivredu “Jaroslav Černi”, redovni profesor u penziji, stevan.prohaska@jcerni.rs

² Prof. dr Jasna Plavšić, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, jplavsic@grf.bg.ac.rs

³ Vladislava Bartoš Divac, Institut za vodoprivredu “Jaroslav Černi”, vladislava.bartos@jcerni.rs

⁴ Samir Čatović, Republički hidrometeorološki zavod Srbije, samir.catovic@hidmet.gov.rs

⁵ Ognjen Prohaska, Institut za vodoprivredu “Jaroslav Černi”, ognjen.prohaska@jcerni.rs

⁶ Asist. Aleksandra Ilić, Univerzitet u Nišu – Građevinsko-arhitektonski fakultet, aleksandra.ilic@gaf.ni.ac.rs

⁷ Srdan Marjanović, Republički hidrometeorološki zavod Srbije, srdjan.marjanovic@hidmet.gov.rs

⁸ Doc. dr Dragutin Pavlović, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, dpavlovic@grf.bg.ac.rs

1 Uvodne napomene

Jedna od osnovnih karakteristika malih voda je trajanje malovodnih perioda ispod određenih, unapred definisanih, repernih protoka, kako sa gledišta učestalosti i trajanja, tako i sa stanovišta unutargodišnje raspodele i zastupljenosti. Ove karakteristike malih voda, odnosno malovodnih perioda su veoma bitne, pre svega za potrebe vodosnabdevanja, navodnjavanja, zaštite voda i proizvodnje hidroenergije. Nažalost, u našoj dosadašnjoj hidrološkoj praksi ovim karakteristikama malih voda nije posvećivano dovoljno pažnje. Većina do sada izvršenih analiza malih voda u našoj zemlji, a i šire u svetu, obuhvatala je samo statističko-probabilističke analize serija minimalnih godišnjih i minimalnih srednjih mesečnih protoka i proračun trajanja malih voda. Analizi trajanja malovodnih perioda do sada nije posvećivana odgovarajuća pažnja. U ovom radu autori su primenili sveobuhvatan pristup počevši od klasičnih analiza minimalnih godišnjih i minimalnih srednjih mesečnih protoka do sveobuhvatnih analiza neprekidnih trajanja malih voda, odnosno malovodnih perioda za reperne protoke različitih trajanja, određene sa prosečnih višegodišnjih krivih trajanja protoka.

Podaci koji su korišćeni za proračun navedenih karakteristika malovodnih perioda su zvanični podaci RHMZ za 82 hidrološke stanice slivnih površine manjih od 1000 km², južno od Save i Dunava. Korišćene su raspoložive vremenske serije srednjednevni i minimalnih godišnjih protoka na hidrološkim stanicama RHMZ Srbije. Periodi obrade su bili različiti, od početka rada određene hidrološke stanice zaključno sa 2018. godinom. U ovom radu prikazani su rezultati koji su uprosečeni za slivove Velike Morave, Drine, Dunava, Egejskog mora, Zapadne Morave, Južne Morave, Kolubare, Nišave, Timoka i Toplice i za celu teritoriju Republike Srbije.

U osnovi rad na ovom projektu podržao je RHMZ Srbije, obezbeđujući zvanične podatke, a sa Institutom „Jaroslav Černi” učestvuje u izradi mnogo šire monografije „Prosečni protoci i male vode Srbije na malim i srednjim slivovima”. Eksperti iz RHMZ učestvuju u realizaciji celokupnog projekta, zajedno sa ekspertima sa Građevinskog fakulteta u Beogradu i Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu.

2 Primenjena procedura proračuna osnovnih karakteristika malovodnih perioda

Za potrebe definisanja razmatranih karakteristika trajanja malih voda, njihove unutargodišnje raspodele i procentualne zastupljenosti korišćeni su srednjednevni protoci iz baze RHMZ Srbije. Proračun krivih trajanja, na osnovu kojih su određeni reporni protoci $Q(\Theta)$, gde je Θ trajanje izraženo u procentima u odnosu na celu godinu, izvršen je korišćenjem srednjednevni protoka. Kao reporni protoci usvojeni su protoci trajanja $\Theta = 50, 60, 70, 80, 90$ i 95% .

Za sve reperne protoke $Q(\Theta)$, izdvojeni svi malovodni periodi u godini tokom kojih su protoci u reci manji od repernih, $Q(t) < Q(\Theta)$ i određene njihove dužine, izražene u danima. Za svako razmatrano trajanje protoka formirane su serije:

- ukupnih godišnjih trajanja malovodnih perioda $D(T)$, određeni kao zbir trajanja svih malovodnih perioda tokom godine i
- maksimalnih godišnjih trajanja malovodnih perioda $D_{\max}(T)$.

Formirane su i serije početaka t_p i krajeva t_k malovodnih perioda maksimalnih trajanja po godinama (od – do dana):

t_p – početni trenutak kada je $Q(t) \leq Q(\Theta)$

t_k – krajnji trenutak kada je $Q(t) \leq Q(\Theta)$.

Na osnovu ovih serija sračunate su prosečne višegodišnje vrednosti učestalosti (zastupljenosti) broja dana sa maksimalnim trajanjima malovodnih perioda i njihove odgovarajuće integralne (sumarne) krive zastupljenosti.

Integralne krive zastupljenosti koriste se za definisanje intervala poverenja unutar kojih se, sa određenim verovatnoćama može očekivati pojava malovodnih perioda. Definisani su 90%, 80% i 50% intervali poverenja.

Za sve definisane serije maksimalnih godišnjih trajanja malovodnih perioda (u danima) sračunate su verovatnoće pojave. Pri tome su korišćeni sledeći zakoni raspodele: Pirson III, Log Pirson III, Gumbelova, dvoparametarska Vejbulovala, dvoparametarska i troparametarska log-normalna. Kvalitet prilagođavanja je testiran pomoću χ^2 testa, testa Kolmogorov-Smirnov i $n\omega^2$ testa. Usvojene su one raspodele koje su na osnovu testova saglasnosti i vizuelne ocene pokazale najbolje prilagođavanje.

Rezultati dobijeni za 82 hidrološke stanice, zbog obimnosti, grupisani su i prikazani kao prosečni za pomenute slivove i za teritoriju Srbije južno od Save i Dunava.

3 Postupak određivanja osnovnih karakteristika malovodnih perioda

Za sve hidrološke stanice i za sve verovatnoće repernih protoka, primenom navedenih teorijskih raspodela, određene su računске vrednosti ukupnih trajanja malovodnih perioda. Zatim su, za usvojene računске vrednosti, formirane serije za karakteristične verovatnoće pojave. Razmatrane su verovatnoće pojave $p=1\%$, 2% , 5% , 10% ; 50% , 80% , 90% i 95% . Za te serije istim postupkom određene su računska maksimalna ukupna trajanja malovodnih perioda u danima – $T_{max}(\tilde{p})$ za verovatnoće pojave $\tilde{p}=1\%$, 2% , 5% , 10% ; 50% , 80% , 90% i 95%) koja se odnose na celu teritoriju Republike Srbije južno od Save i Dunava.

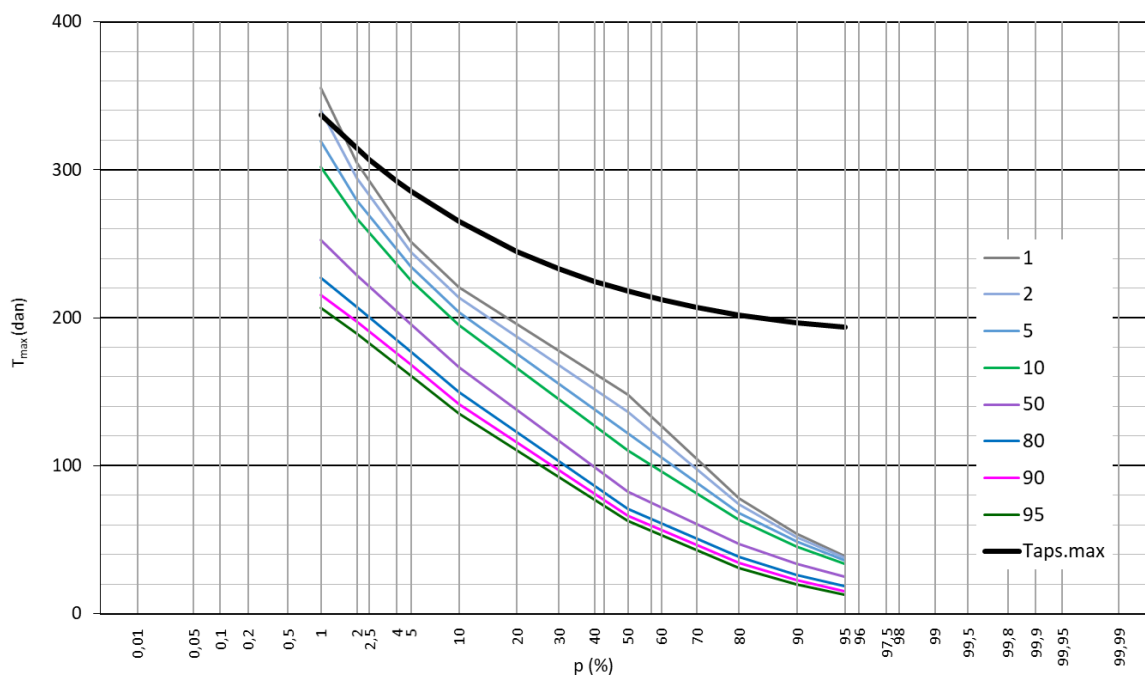
Računske vrednosti apsolutno najdužih trajanja određena su za sve verovatnoće repernih protoka, na osnovu jednog podatka za svaku hidrološku stanicu. Na taj način dobijene su računске vrednosti apsolutno najdužih trajanja malovodnih perioda $T_{aps,max}(p)$ za sve razmatrane reperne protoke.

4 Prikaz osnovnih karakteristika malovodnih perioda

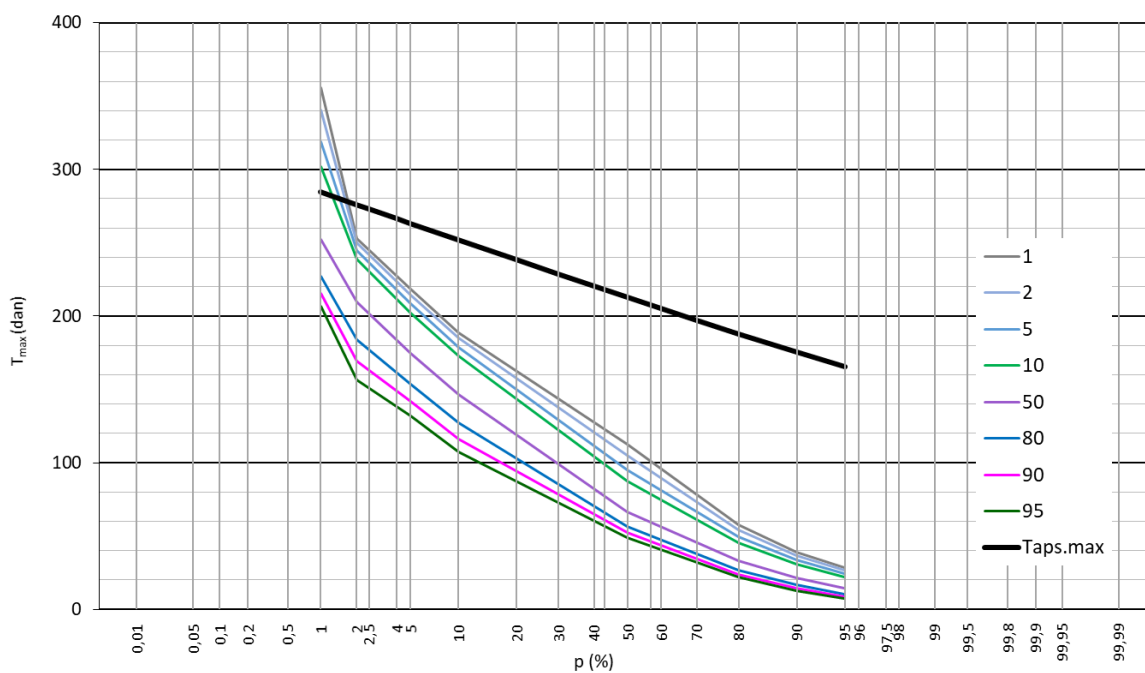
Osnovne karakteristike malovodnih perioda - računске vrednosti maksimalnih ukupnih trajanja malovodnih perioda i računске vrednosti apsolutno najdužih trajanja malovodnih perioda na teritoriji Srbije južno od Save i Dunava prikazane su grafički na slikama 1-4 i numerički u tabeli 1.

Poređenjem računskih vrednosti maksimalnih ukupnih trajanja malovodnih perioda $T_{max}(\tilde{p})$ i teorijskih vrednosti apsolutno maksimalnih trajanja malovodnih perioda na hidrološkim stanicama konstatuje se da je samo za reporni protok $Q(50\%)$ teorijska vrednost stogodišnje protoke apsolutnog maksimuma veća od odgovarajuće teorijske vrednosti kumulativnog maksimalnog trajanja malovodnih perioda. U svim ostalim razmatranim slučajevima teorijske vrednosti apsolutno maksimalnih trajanja malovodnih perioda su veće od odgovarajućih teorijskih vrednosti maksimalnog ukupnog trajanja.

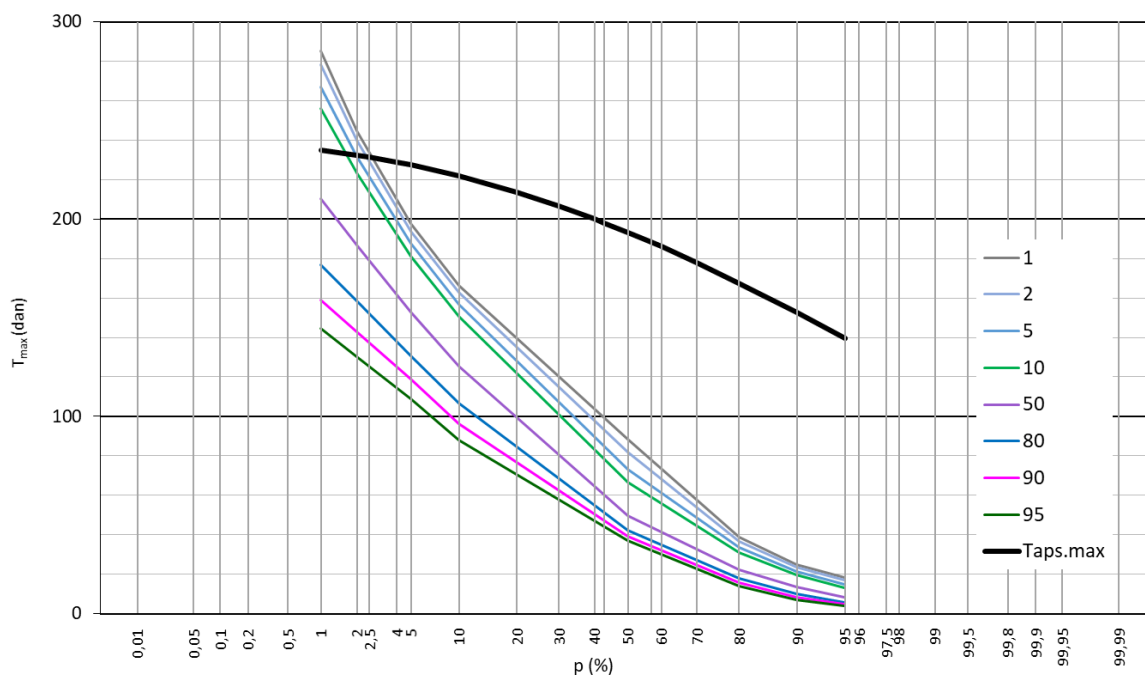
Prikazani rezultati računskih vrednosti maksimalnih ukupnih trajanja malovodnih perioda ukazuju na njenu veliku prostornu heterogenost. Tako na primer, za reporni protok $Q(50\%)$, stogodišnje maksimalno trajanje malovodnih perioda na teritoriji Republike Srbije južno od Save i Dunava, kreće se u intervalu od 355 dana, za verovatnoću $p=1,0\%$, do 39 dana, za verovatnoću $p = 95\%$. Za donju granicu 95% intervala poverenja stogodišnje maksimalno trajanje malovodnih perioda na razmatranj teritoriji Republike Srbije očekuje se u intervalu od 252 dana za verovatnoću $p=1,0\%$, do 39 dana za verovatnoću $p = 95\%$.



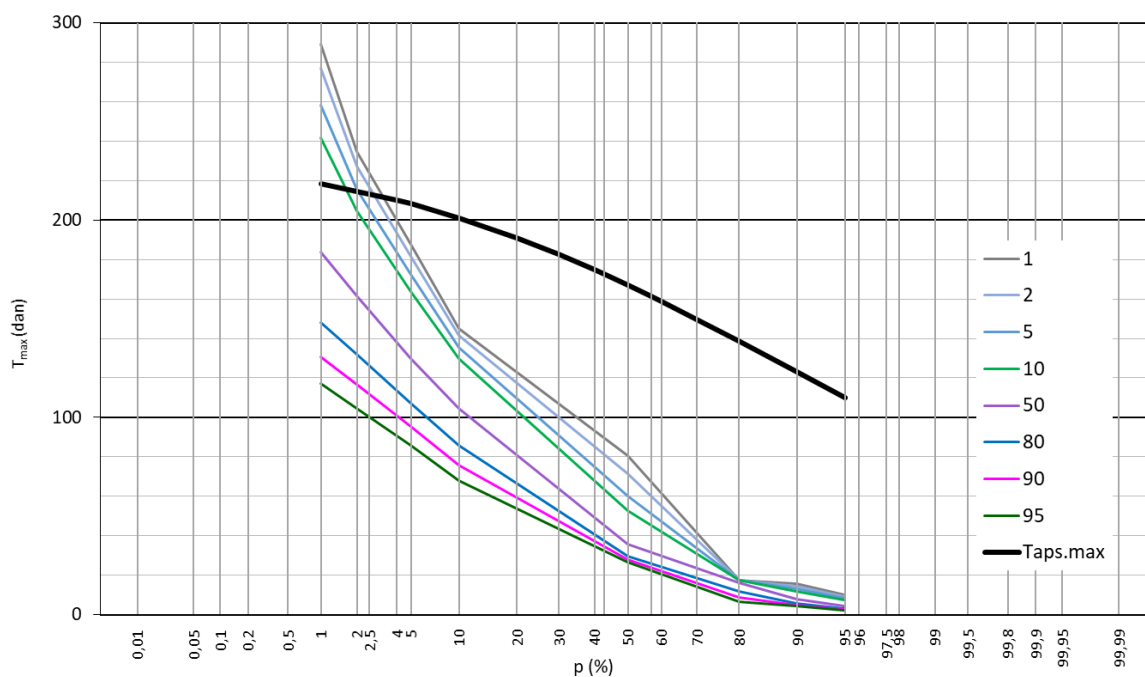
Slika 1. Računska maksimalna ukupna trajanja malovodnih perioda $T_{max}(\tilde{p})$ (dan) karakterističnih verovatnoća $p(\%)$ na hidrološkim stanicama za reperne protoke $Q(50\%)$



Slika 2. Računska maksimalna ukupna trajanja malovodnih perioda $T_{max}(\tilde{p})$ (dan) karakterističnih verovatnoća $p(\%)$ na hidrološkim stanicama za reperne protoke $Q(60\%)$



Slika 3. Računska maksimalna ukupna trajanja malovodnih perioda $T_{max}(\tilde{p})$ (dan) karakterističnih verovatnoća $p(\%)$ na hidrološkim stanicama za reperne protoke $Q(70\%)$



Slika 4. Računska maksimalna ukupna trajanja malovodnih perioda $T_{max}(\tilde{p})$ (dan) karakterističnih verovatnoća $p(\%)$ na hidrološkim stanicama za reperne protoke $Q(80\%)$

Tabela 1. Vrednosti ukupnih maksimalnih trajanja malovodnih perioda $T_{max}(\tilde{p})$ (dan) za karakteristične verovatnoće maksimalnih trajanja malovodnih perioda $p(\%)$ na hidrološkim stanicama za repere protoke $Q(\Theta)$

Reperni protok Θ	Verovatnoća $p(\%)$	Verovatnoća $\tilde{p}(\%)$							
		1	2	5	10	50	80	90	95
Q(50%)	1	355	340	319	302	252	227	216	207
	2	325	294	275	267	229	207	197	189
	5	252	245	234	225	196	177	168	161
	10	221	214	204	195	167	150	142	135
	50	148	137	122	111	83	71	66	63
	80	79	74	68	63	47	38	34	31
	90	54	52	49	45	34	26	23	20
	95	39	38	36	33	26	19	15	13
	$T_{aps,max}$	337	314	286	265	218	202	197	194
Q(60%)	1	285	282	275	268	233	204	187	172
	2	253	250	245	239	209	184	169	157
	5	218	214	208	202	175	154	142	132
	10	188	185	179	173	147	112	112	107
	50	112	105	95	87	66	56	52	49
	80	57	54	49	45	33	27	24	22
	90	39	37	33	31	22	17	14	12
	95	28	27	25	22	14	10	8.5	7.1
	$T_{aps,max}$	284	276	263	252	213	188	175	165
Q(70%)	1	285	278	267	255	210	177	159	145
	2	245	240	232	223	186	158	143	130
	5	198	194	187	181	153	131	113	109
	10	166	163	157	151	126	107	96	88
	50	89	82	73	67	50	42	39	37
	80	39	37	33	31	22	18	16	14
	90	25	24	22	20	13	10	8.3	7.1
	95	18	17	15	13	8.4	5.7	4.6	3.8
	$T_{aps,max}$	235	232	227	222	193	168	153	140
Q(80%)	1	289	277	258	242	184	148	131	117
	2	235	227	216	205	161	132	117	105
	5	188	182	172	164	130	107	95	86
	10	145	142	136	130	105	86	76	68
	50	81	71	65	52	36	30	28	26
	80	17	17	17	17	16	12	8.7	6.3
	90	16	14	13	12	7.7	5.8	4.9	4.3
	95	9.9	9.2	8.1	7.2	4.5	3.0	2.5	2.0
	$T_{aps,max}$	218	215	208	201	167	139	123	110

Analogni rezultati za repere protok Q(80%) ukazuju da se stogodišnje maksimalno trajanje malovodnih perioda na istoj teritoriji kreće u intervalu od 289 dana, za verovatnoćom $p=1,0\%$, do 10 dana, za verovatnoću $p = 95\%$. Za donju granicu 95% intervala poverenja stogodišnje maksimalno trajanje malovodnih perioda na razmatranoj teritoriji Republike Srbije očekuje se u intervalu od 180 dana za verovatnoću $p=1,0\%$, do 10 dana za verovatnoću $p = 95\%$. I za ostale verovatnoće \tilde{p} dobijaju se veoma slični rezultati.

Unutargodišnja zastupljenost pojave maksimalnih trajanja malovodnih perioda, za različite repere protoke $Q(\Theta)$ predstavljena je preko prosečnih višegodišnjih vrednosti broja dana sa protocima ispod repernih po mesecima i preko procentualne zastupljenosti po mesecima u odnosu na celu godinu. Za sve razmatrane hidrološke stanice formirane su integralne krive procentualne zastupljenosti broja malovodnih dana tokom godine. Ove krive su zatim osrednjene za deset razmatranih slivova, odnosno za teritoriju Republike Srbije južno od Save i Dunava.

Na osnovu podataka o maksimalnim trajanjima malovodnih perioda u pojedinim godinama i prikazanih sumarnih krivih zastupljenosti (numerički i grafički) na svim hidrološkim stanicama definisani su intervali poverenja IP-90%, IP-75% i IP-50% unutar kojih se sa navedenim verovatnoćama može očekivati pojava malovodnih perioda. Definisani intervali poverenja predstavljaju prosečne vrednosti prikazanih integralnih krivih za razmatrane reperne protoke.

Kumulativni pregled prosečnih višegodišnjih vrednosti integrala poverenja pojave malovodnih perioda za celu razmatranu teritoriju Republike Srbije južno od Save i Dunava dat je u tabeli 2.

Tabela 2. Prosečne višegodišnje vrednosti početka i kraja pojave malovodnih perioda za različite intervale poverenja po slivovima i za celu teritoriju Republike Srbije južno od Save i Dunava

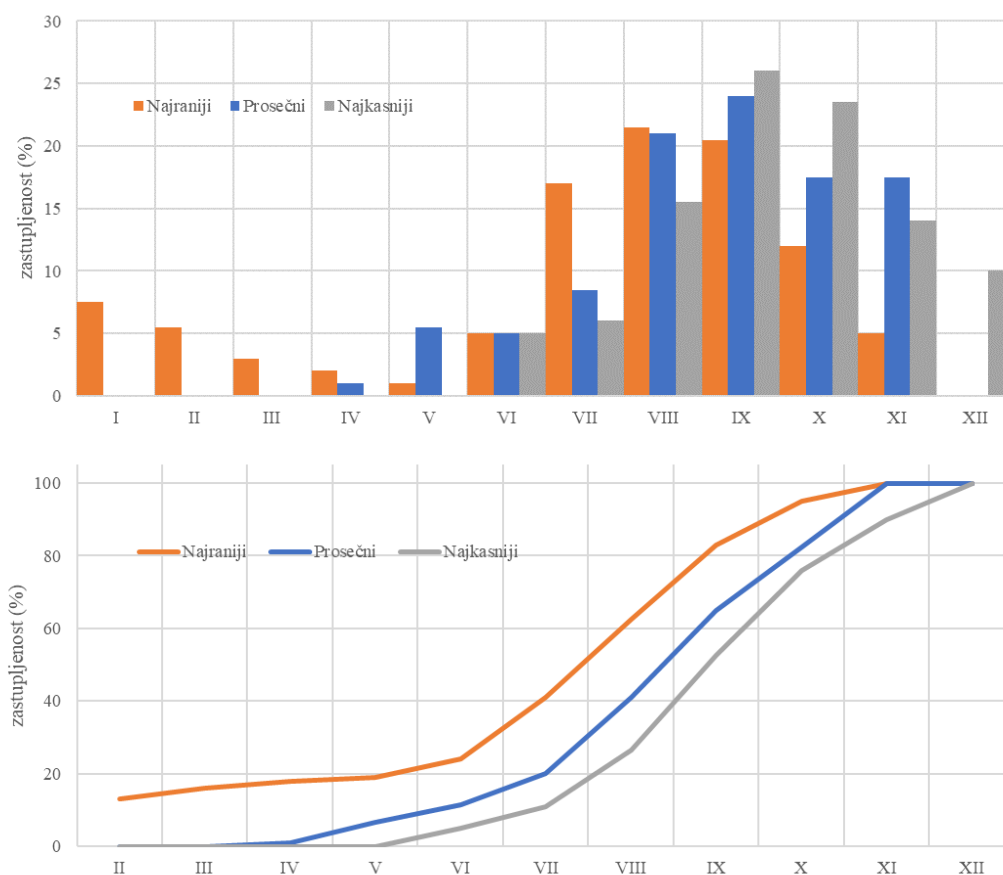
No. sliva	Sliv	Intervali poverenja IP					
		IP-90%		IP-75%		IP-50%	
		od	do	od	do	od	do
1	Velika Morava	18.V	23.XI	8.VII	27.X	28.VIII	9.X
2	Drina	26.V	1.XI	11.VII	8.XI	6.VIII	17.X
3	Dunav	3.VI	21.XI	6.VII	24.XI	31.VII	7.X
4	Egej	11.VI	30.XI	11.VII	7.XI	8.VIII	14.X
5	Zapadna Morava	11.IV	1.XII	30.VI	11.X	6.VIII	18.X
6	Južna Morava	4.V	2.XII	10.VII	9.XI	6.VIII	17.X
7	Kolubara	18.IV	27.XI	9.VII	1.XI	4.VIII	17.X
8	Nišava	15.V	3.XII	11.VII	12.XI	10.VIII	19.X
9	Timok	15.VI	27.XI	15.VII	4.XI	3.VIII	20.X
10	Toplica	24.VI	27.XI	21.VII	8.XI	12.VIII	14.X
Datum pojave	Srednji	21.V	15.XI	10.VII	5.XI	10.VIII	15.X
	Najraniji	19.I	30.X	16.II	5.X	2.VII	21.IX
	Najkasniji	2.VII	15.XII	6.VIII	23.XI	22.VIII	27.XI

Korišćenjem podataka sa integralnih krivih procentualne zastupljenosti broja malovodnih dana tokom godine sa svih razmatranih hidroloških stanica sračunata je prosečna (osrednjena) kriva za celu teritoriju Srbije. Na osnovu podataka o najranijoj i najkasnijoj pojavi malovodnih perioda na hidrološkim stanicama formirane su ekstremne integralne krive.

Diferenciranjem ovih krivih dobijene su unutargodišnje raspodele procentualne zastupljenosti maksimalnih trajanja malovodnih perioda (procentualno i kumulativno) za celu teritoriju Srbije i to za prosečni, najraniji i najkasniji datum pojave malovodnih perioda. Ovi rezultati prikazani su numerički u tabeli 3 i grafički na slici 5.

Tabela 3. Unutargodišnja i kumulativna raspodela zastupljenosti maksimalnih trajanja malovodnih perioda za prosečni, najraniji i najkasniji datum pojave

Datum pojave	Zastupljenost (%)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Prosečni	Po mesecima	0	0	0	1	5.5	5	8.5	21	24	17.5	17.5	0
	Od početka godine do kraja meseca	0	0	0	1	6.5	11.5	20	41	65	82.5	100	100
Najraniji	Po mesecima	7.5	5.5	3	2	1	5	17	21.5	20.5	12	5	0
	Od početka godine do kraja meseca	7.5	13	16	18	19	24	41	62.5	83	95	100	100
Najkasniji	Po mesecima	0	0	0	0	0	5	6	15.5	26	23.5	14	10
	Od početka godine do kraja meseca	0	0	0	0	0	5	11	26.5	52.5	76	90	100



Slika 5. Zastupljenost maksimalnih trajanja malovodnih perioda (po mesecima i kumulativno) na teritoriji Srbije za prosečni, najraniji i najkasniji datum pojave

5 Zaključak

Primenjena metodologija analize trajanja malovodnih perioda na teritoriji Republike Srbije južno od Save i Dunava, predstavlja jedan sasvim nov prilaz definisanju ove, jedne od najznačajnijih karakteristika, a koja do sada nije primenjivana u našoj hidrološkoj praksi i šire. Pored detaljne analize maksimalnih trajanja, ukupnih i apsolutno najdužih, malovodnih perioda uvedena je sveobuhvatna analiza unutargodišnje raspodele malovodnih perioda za različite reperne protoke, njihove procentualne zastupljenost i definisani su intervali poverenja koji omogućavaju sagledavanja raspona pojave malih voda (od – do u datumima) za unapred definisane verovatnoće pojave.

Rezultati koji su prikazani u ovom radu odnose se najvećim delom zbirno na celu teritoriju Republike Srbije južno od Save i Dunava, a manjim delom i na sve razmatrane slivove.

Generalni zaključak je da za sve razmatrane reperne protoke na razmatranoj teritoriji Republike Srbije postoji velika prostorna heterogenost u formiranju malovodnih perioda, kako po datumima pojave, tako i po računskim vrednostima ukupnih i apsolutno najdužih maksimalnih trajanja i po karakteru njihove unutargodišnje raspodele.

Detaljni prikaz svih ovih karakteristika po profilima razmatranih hidroloških stanica biće dat u budućoj monografiji „Prosečni protoci i male vode na srednjim i malim slivovima Srbije”, čija je izrada u toku.

Literatura

1. Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Republički hidrometeorološki zavod Srbije: Monografija „Prosečni proticaji i male vode na srednjim i malim slivovima Srbije”, izrada u toku.
2. Prohaska S.: Hidrologija I Deo, Rudarsko-geološki fakultet, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, RHMZ Srbije, str. 1-504, Beograd 2003.
3. Prohaska S.: Hidrološke karakteristike vodnih tokova od značaja za njihovo uređenje od poplava, II Deo - Male vode, Vodoprivreda br. 159-160, str, 29-36, Beograd 1996.
4. Prohaska S., Ristić V., Srna P.: Merodavne male vode Srbije sa aspekta zaštite vodotoka, „Zaštita voda '96“, str. 15-21, Ulcinj, 1996.