

MALE VODE NA MALIM I SREDNJIM SLIVOVIMA SRBIJE

Prof. dr Stevan Prohaska*, Prof. dr Jasna Plavšić**,
Doc. dr Dragutin Pavlović**, Samir Čatović***, Srđan
Marjanović***, Vladislava Bartoš Divac*, Ognjen Prohaska*,
Aleksandra Ilić****, Doc. dr Andrijana Todorović**

* *Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“*, stevan.prohaska@cerni.rs

** *Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet*

*** *Republički hidrometeorološki zavod Srbije*

**** *Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš*

REZIME

U radu se prikazuju rezultati statističke analize izabranih parametara malih voda na malim i srednjim slivovima u Srbiji nastali tokom izrade nove monografije „Prosečni protoci i male vode na malim i srednjim slivovima Srbije”, 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. Osnovna ideja je da se na odabranim srednjim i malim slivovima u Srbiji definišu osnovne kvantitativne karakteristike prosečnih protoka i malih voda. Bazni podaci koji su korišćeni su zvanični podaci Republičkog hidrometeorološkog zavoda sa 132 profila hidroloških stanica na srednjim i malim slivovima na teritoriji Srbije južno od Save i Dunava. Pri tome su korišćene sve raspoložive vremenske serije srednjednevnih i minimalnih godišnjih protoka. Periodi obrade su bili od početka rada određene hidrološke stanice do zaključno sa 2018. godinom.

U ovom radu dat je grafički prikaz rezultata obrade osnovnih karakteristika malih voda i to: minimalnih srednjemesečnih protoka verovatnoće pojave 95%, kao i minimalnih godišnjih protoka verovatnoće pojave 1%.

KLJUČNE REČI: male vode, mali i srednji slivovi, minimalni srednjemesečni protok, minimalni godišnji protok, statistička analiza.

LOW FLOWS IN MEDIUM AND SMALL BASINS IN SERBIA

ABSTRACT:

The paper presents the results of the statistical analysis of selected low flow indicators in medium and small Serbian basins obtained within the scope of a new monograph "Mean and low flows in medium and small basins of Serbia", which is being prepared jointly by the Water Institute "Jaroslav Černi" and the Republic Hydrometeorological Service of

Serbia, with the participation of the Faculty of Civil Engineering of Belgrade and the Faculty of Civil Engineering and Architecture of Nis. The basic idea is to provide principal quantitative characteristics of mean and low flows in selected medium and small basins in Serbia. The data used in the analysis are the official data provided by the Republic Hydrometeorological Service at 132 stream gauges in medium and small basins in the territory of Serbia, south of the Sava and Danube Rivers. Thereby, all the available time series of mean daily and annual minimum flows were used. The processing periods are from when the certain gauging station started operating to the end of 2018.

This paper presents only the results of the basic low flow indicators, such as the minimum mean monthly flows of the 95% probability of exceedance, as well as the annual minimum flows of the 1% probability of non-exceedance.

KEY WORDS: low flows, small and medium basins, minimum mean monthly flow, annual minimum flow, frequency analysis.

UVODNE NAPOMENE

Dosadašnje analize malih voda na hidrološkim stanicama Republičkog hidrometeorološkog zavoda (RHMZ) Srbije nisu sprovedene po istoj metodologiji, već je metodologija birana zavisno od potreba korisnika analiza. Sve analize za potrebe projektovanja vršene na osnovu podataka RHMZ, za koje je kasnije Zavod, u postupku prikupljanja vodoprivrednih uslova izdavao mišljenje. Većina do sada izvršenih analiza obuhvatala je samo statističko-probabilističke analize serija minimalnih godišnjih protoka i proračun trajanja malih voda. Prostorni obuhvat za koji je vršena većina sprovedenih analiza odgovarao je prostornom obuhvatu projekta. Obrade malih voda na nivou cele Srbije sprovedene su i povremeno inovirane u Institutu za vodoprivredu „Jaroslav Černi”, u RHMZ Srbije i u akademskoj zajednici (pre svega na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu). Ipak, prirodna varijabilnost hidrološkog režima, kao i potencijalni uticaj klimatskih promena, zahtevaju stalno inoviranje procena raspoloživih vodnih resursa, pa i malih voda. U takvim okolnostima Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi” je, u okviru programa rada na naučnom projektu koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja uvrstio temu „Analiza karakteristika malih voda na malim i srednjim slivovima Srbije”. Deo preliminarnih rezultata ovih analiza prikazan je u ovom radu.

Podaci koji su korišćeni za proračun malih voda su zvanični podaci Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije sa hidroloških stanica za 82 slivna područja južno od Save i Dunava, čije su slivne površine manje od 1000 km². 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.

Rad na ovom naučnom 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.

TIPOVI IZVRŠENIH HIDROLOŠKIH OBRADA MALIH VODA

Osnova za analizu malih voda Srbije u ovom radu su raspoložive zvanične vremenske serije srednjednvnih protoka i minimalnih godišnjih protoka na 82 sliva južno od Save i Dunava.

U okviru naučno-istraživačke teme „Analiza karakteristika malih voda na malim i srednjim slivovima Srbije” obrađene su dve podteme:

1. Definisanje osnovnih karakteristika malih voda na odabranim slivovima.
2. Definisanje procedure za određivanje karakteristika malih voda na hidrološki neizučenicim slivovima.

Težište ovoga rada usmereno na prvu podtemu, koja se sastoji od sledećih delova:

- 1.1 Karakteristike malih voda na odabranim slivovima
 - 1.1.1 Minimalni srednjemesečni protoci
 - 1.1.2 Minimalni godišnji protoci
 - 1.1.3 Trajanje malih voda
 - 1.1.4 Unutargodišnja struktura pojave malovodnih perioda
- 1.2 Računske vrednosti minimalnih srednjemesečnih i minimalnih godišnjih protoka na odabranim slivnim područjima.
- 1.3 Kontinuirano trajanje malih voda za karakteristična trajanja i trajanje za karakteristične protoke
- 1.4 Autokorelacija i kroskorelaciona struktura serija minimalnih srednjemesečnih protoka.

Zbog ograničenosti prostora, u ovom radu su samo grafički prikazani rezultati proračuna verovatnoća minimalnih srednjemesečnih protoka za verovatnoću pojave 95% i minimalnih godišnjih protoka za verovatnoću pojave 99%, u vidu karte modula oticaja, i dat je komentar vodnosti u periodima malih voda na razmatranim slivovima.

REZULTATI PRORAČUNA MALIH VODA NA SREDNJIM I MALIM SLIVOVIMA SRBIJE JUŽNO OD SAVE I DUNAVA

S obzirom na to da je krajnji cilj svih analiza ocena raspoloživih vodnih resursa i malih voda, kako bi to bilo omogućeno, svi rezultati su unificirani i svedeni na jedinicu slivne površine-tj. predstavljeni su u vidu modula oticaja q_{min} (oticaja po jedinici površine sliva, L/s/km²), koji, u suštini, predstavlja kvantitativnu karakteristiku izdašnosti sliva:

$$q_{min} = \frac{Q_{min}}{F} \cdot 1000 \text{ (L/s/km}^2\text{)}$$

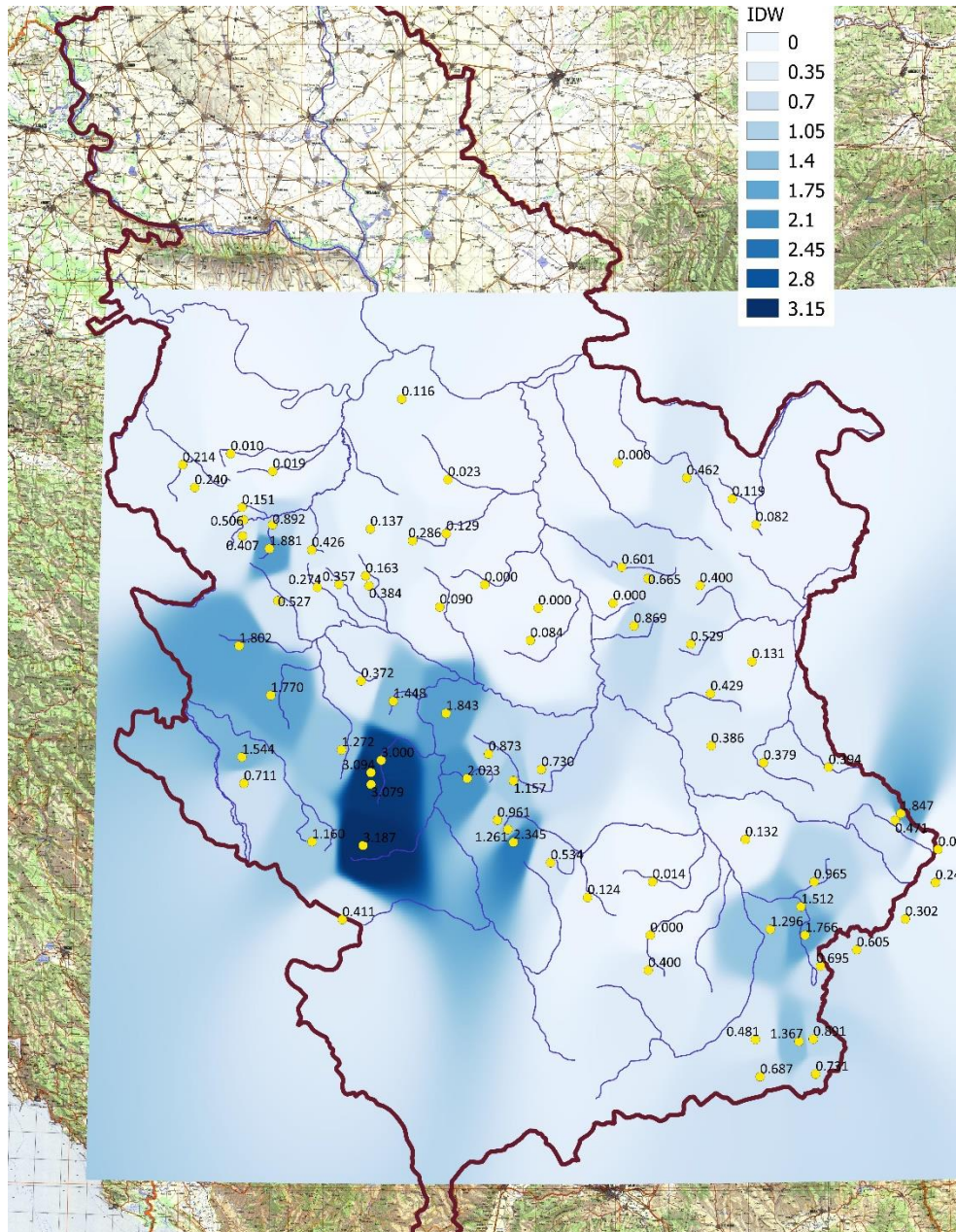
(1)

gde su:

Q_{min} – računski protok malih voda (m³/s)

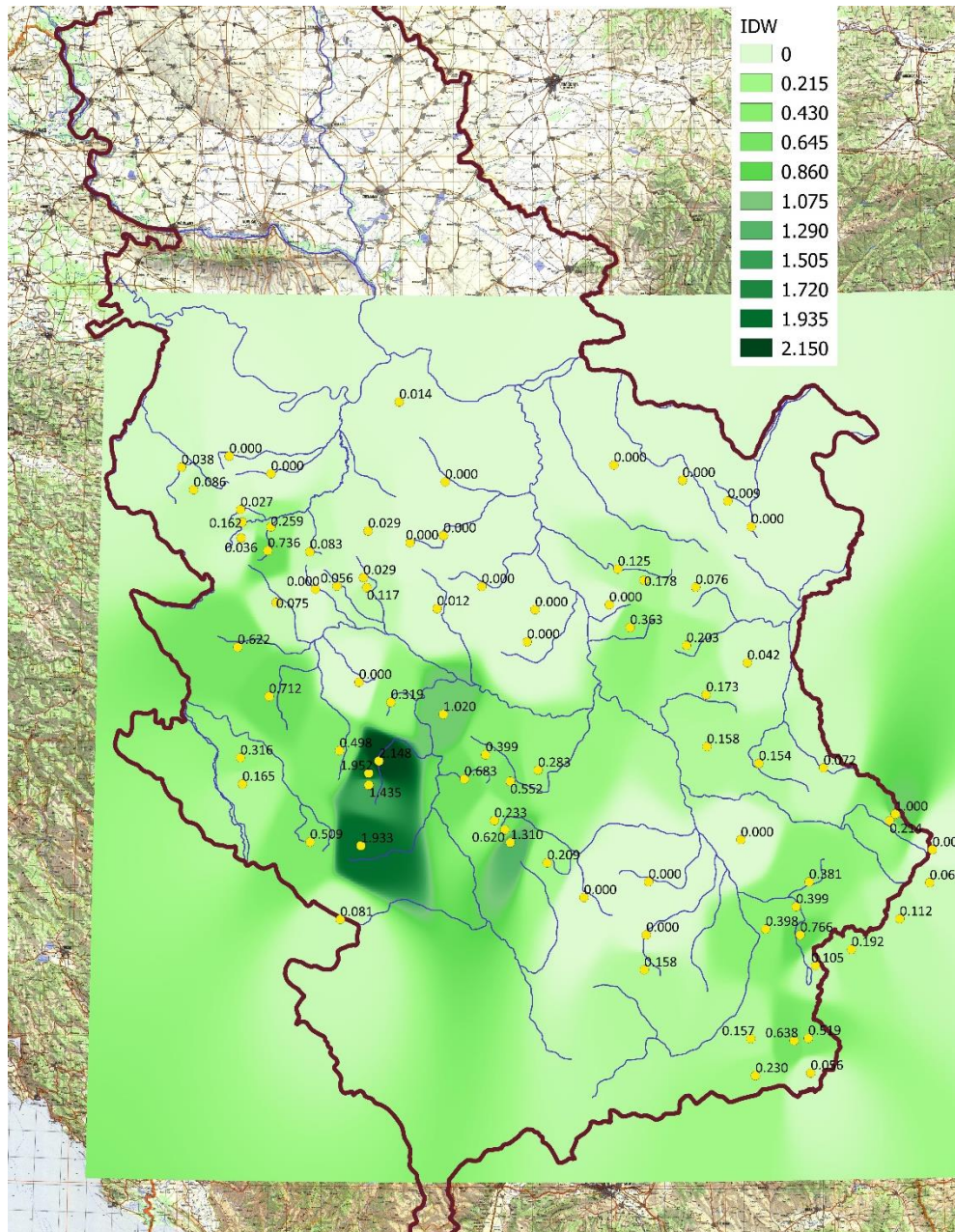
F - površina sliva (km²)

Kako bi se stekao uvid u njihov prostorni raspored, rezultati statističke analize serija minimalnih srednjemesečnih i minimalnih godišnjih protoka prikazani su na karti kao moduli oticaja. Kartiranje je sprovedeno prostornom interpolacijom vrednosti dobijenih na lokacijama hidroloških stanica metodom recipročnih rastojanja (engl. *inverse distance weighting*, IDW). Ovi rezultati prikazani su na slikama 1 i 2. Slika 1 prikazuje module oticaja za minimalne godišnje protoke verovatnoće pojave 99%. Na slici 2 prikazani su moduli oticaja za minimalne srednjemesečne protoke verovatnoće pojave 95%. Računski minimalni srednjemesečni protok verovatnoće pojave 95% se u Srbiji i dalje često koristi kao standard za karakterizaciju malih voda. Ovi karte treba da posluže za kvalitativno sagledavanje prostornog rasporeda karakterističnih malih voda, a ne kao kvantitativni podatak (zbog nedostatka stanica izvan granica Srbije, prostorna interpolacija ne daje pouzdane vrednosti u obodnim područjima). Numerički prikaz ovih rezultata, kao i detaljan prikaz rezultata ostalih obrada malih voda, saglasno navedenom sadržaju, biće dat u konačnoj verziji monografije: „Prosečni protoci i male vode na malim i srednjim slivovima u Srbiji”. Očekuje se da će ta monografija biti završena i štampana u 2021. godini.



Slika 1. Karta modula otcajaja minimalnih godišnjih protoka verovatnoće pojave 99% na srednjim i malim slivovima u Srbiji južno od Save i Dunava u L/s/km²,

Figure 1. Map of the specific runoff of the annual minimum flows of the 1% probability of non-exceedance in small and medium basins in Serbia south of the Sava and the Danube Rivers in L/s/km²



Slika 2. Karta modula oticaja minimalnih srednjemesečnih protoka verovatnoće pojave 95% na malim i srednjim slivovima u Srbiji južno od Save i Dunava u $L/s/km^2$,

Figure 2. Map of the specific runoff of the minimum mean monthly flows of the 95% probability of exceedance in small and medium basins in Serbia south of the Sava and the Danube Rivers in $L/s/km^2$

ZAKLJUČAK

Na osnovu prikazanih rezultata analiza minimalnih srednjemesečnih i minimalnih godišnjih protoka na malim i srednjim slivovima u Srbiji južno od Save i Dunava, može se zaključiti sledeće:

- Računski moduli oticaja minimalnih srednjemesečnih i minimalnih godišnjih protoka karakterističnih verovatnoća pojave kreću se u veoma širokom dijapazonu, i to:
 - o moduli minimalnih godišnjih protoka obezbeđenosti 99% kreću se u dijapazonu od 0,00 do 2,15 L/s/km²,
 - o moduli minimalnih srednjemesečnih protoka 95%-ne obezbeđenosti kreću se u dijapazonu od 0,00 do 3,19 L/s/km².
- Sa gledišta vodnosti u periodima malih voda najvodnije su reke: Raška, Studenica, Lukovska reka, Jošanica, Gradac, Visočica nizvodno od ušća pritoke Braćevačke reke i reka Ribnica u slivu Zapadne Morave.
- Reke koje potpuno presušuju, odnosno gde su oba modula oticaja malih voda jednaka nuli su: Belica, Ravanica, Jablanica (sliv Južne Morave - pri ušću) i reka Visočica uzvodno od ušća pritoke Braćevačke reke.
- Manji stepen presušivanja, odnosno modul oticaja 100-godišnjeg minimalnog godišnjeg protoka jednak nuli, imaju sledeće reke: Jasenica, Kubršnica, Lugomir, Pek, Crnajka, Belica, Kamenica, Pusta reka, Tamnava, Ub, Kutinska i Kosanica.
- Generalno se može zaključiti da je proces formiranja malih voda na razmatranoj teritoriji Republike Srbije veoma heterogen po prostoru, što se može videti na priloženim kartama prostornog rasporeda karakterističnih malih voda. Postoje zone sa veoma izraženom vodnošću malih voda, a to su planinski regioni u Zapadnoj Srbiji, nešto manje u Istočnoj Srbiji i u slivu Gradca (pritoke Kolubare). Znatno su zastupljeniji predeli sa manjom izdašnošću malih voda u kojima neke reke neretko presušuju. To su uglavno pritoke Velike Morave, ravničarskog dela
- reke Kolubare, reke Leskovačke kotline, reke neposrednog sliva Dunava u široj zoni Đerdapske klisure, kao i reke koje dolaze sa teritorije Bugarske.

S obzirom na to da se na osnovu rezultata analize dva karakteristična pokazatelja malih voda, minimalnih godišnjih protoka verovatnoće pojave 99% i minimalnih srednjemesečnih protoka verovatnoće pojave 95% došlo do zaključka da je njihov raspored na profilima stanica malih i srednjih slivova u Srbiji veoma heterogen, dalje analize režima malih voda moraju se usmeriti ka traženju veze različitih karakterističnih protoka malih voda sa drugim faktorima koji utiču na hidrološki režim na pojedinim profilima. Takve analize bi dalje omogućile da se dođe do zaključaka i preporuka o načinu određivanja merodavnih računskih malih voda za potrebe planiranja i projektovanja hidrotehničkih objekata i vodoprivrednih sistema.

Zahvalnica

Predstavljeni rezultati i analize su predmet istraživanja naučnog projekta. Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja na pruženoj finansijskoj pomoći i podršci.

LITERATURA:

- Prohaska S.: Hidrološke karakteristike vodnih tokova od značaja za njihovo uređenje od poplava, II deo – Male vode, Vodoprivreda br. 159-160, str. 29-36, 1996.
- Prohaska S., Ristić V., Srna P.: Merodavne male vode Srbije sa aspekta zaštite vodotoka, Zaštita voda '96, str. 15-21, Ulcinj 1996.
- Prohaska S., Nikić Z., Ristić V.: Regionalizacija malih voda, malih i srednjih slivova u Srbiji – hidrogeološki pristup, XII Jugoslovenski simpozijum o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, str. 273-280, Novi Sad 1999.
- Prohaska S., Hidrologija – I Deo, Rudarsko-geološki fakultet, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi”, Republički hidrometeorološki zavod Srbije, str.1-505, Beograd, 2003.
- Vukmirović V., Vukmirović A., Male vode - karakteristika prijemne sposobnosti vodotoka. „Zaštita voda '88“, Dojran, 1988.
- Vukmirović V., Pavlović D., Male vode na rekama i zaštita vodotoka, „Zaštita voda '95“, Tara, 1995.
- Vukmirović V., Plavšić J., Stohastička analiza malih rečnih voda za potrebe zaštite vodotoka. „Zaštita voda '96“, Ulcinj, str. 261-266, 1996.
- Vukmirović V., Plavšić J., Analiza malih rečnih voda metodom pikova. Vodoprivreda, 28 (3-4), str. 175-180, 1996.
- Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi” i Republički hidrometeorološki zavod Srbije: Monografija „Prosečni protoci i male vode na malim i srednjim slivovima Srbije”, izrada u toku