

primljen: 23.01.2023.
korigovan: 11.02.2023.
prihvaćen: 28.02.2023.

UDK : 627.131:551.583(497.11)

izvorni naučni rad

OCENA PROSEČNIH GODIŠNJIH PROTOKA U BUDUĆIM KLIMATSKIM USLOVIMA – STUDIJA SLUČAJA U SLIVU JUŽNE MORAVE

Nikola Đokić¹
Borislava Blagojević²
Slaviša Trajković³

Rezime

U radu se razmatra uticaj klimatskih promena na srednje vode u gornjem i srednjem toku Južne Morave za dvadeset hidrološki izučениh slivova. Osmotreni podaci i podaci predviđenih vrednosti padavina i temperatura za razmatrano područje dobijeni su iz regionalnog klimatskog modela EBU-POM i globalnog klimatskog modela EC-Earth3-Veg. Razmatra se promena srednjih voda kroz četiri različita perioda predikcije i četiri scenarija. Korišćena je metoda Langbajna koja omogućava praćenje promene prosečnih protoka kroz promenu padavina i temperatura u višegodišnjem periodu. Rezultati se značajno razlikuju u zavisnosti od razmatranih scenarija i perioda predviđanja, ali svakako ukazuju na značajnu tendenciju opadanja prosečnih protoka, koja će biti izraženija idući ka kraju XXI veka.

Ključne reči: klimatske promene, srednje vode, metoda Langbajna, EBU-POM, EC-Earth3-Veg

ASSESSMENT OF MEAN FLOWS UNDER FUTURE CLIMATE CONDITIONS - A CASE STUDY IN THE JUŽNA MORAVA RIVER BASIN

Abstract

The paper discusses the impact of climate change on the mean flow for twenty gauged catchments in the upper and middle basin of the Južna Morava River. Gauged and predicted precipitation and temperature data for the considered territory were obtained from the regional climate model EBU-POM and the global climate model EC-Earth3-Veg. The change in mean flows is considered through four different prediction periods and four scenarios. The method of Langbein is used for mean flow estimation, which enables monitoring the change in mean flows through changes in precipitation and temperatures over a long period. The results differ significantly depending on the considered scenarios and the prediction period, indicating a significant decreasing tendency in mean flows, that will be more pronounced towards the end of the XXI century.

Key words: Climate Change, Mean Flows, Method of Langbein, EBU-POM, EC-Earth3-Veg

¹ Student DAS, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, nikolavdjokic995@gmail.com

² Docent dr, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, borislava.blagojevic@gaf.ni.ac.rs

³ Prof. Dr, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, slavisa.trajkovic@gaf.ni.ac.rs

1. UVOD

Danas postoje brojne indikacije koje ukazuju na globalnu narušenost klime, što dovodi u pitanje bezbednost čovečanstva [1]. Izmenjeni klimatski uslovi prisutni su i u Srbiji, a sektor voda je njima posebno pogođen [2]. Prethodni problem se bazirao na nepostojanju dovoljnog broja dostupnih i javnih podataka o promenama klime koje bi bilo moguće uzeti u obzir prilikom raznih analiza i projektovanja. Sada je moguće koristiti mnoge dostupne izvore – globalne i/ili regionalne klimatske modele, koji pokrivaju različite teritorije, imaju različite rezolucije i koji obuhvataju promenu različitih bioklimatskih parametara u određenom vremenskom opsegu sa kratkim vremenskim korakom. Klimatski modeli poseduju različite prostorne i vremenske rezolucije koje utiču na mogućnosti sagledavanja izučavanih pojava, o čemu je razmatrano u više istraživanja [3-5]. U okviru ovog rada korišćeni su podaci iz regionalnog klimatskog modela (RKM) EBU-POM (Eta Belgrade University-Prinstone Ocean Model) [6] i baze podataka World Clim (WC) [7], iz koje su korišćeni podaci globalnog klimatskog modela (GKM) EC-Earth3-Veg [8].

Sadašnja i buduća situacija u pogledu raspoloživih količina vode, može se prikazati preko različitih pokazatelja. Jedan od njih jeste prosečna godišnja količina domicilnih voda po stanovniku, koja je za Srbiju procenjena na 1700 m³ [2], čime se Srbija svrstava u vodom najsiromašnije države Evrope. Drugi pokazatelji odnose se na vodnost rečnog sliva, od kojih je najčešće korišćena veličina prosečni protok u višegodišnjem periodu, određen na osnovu analize dovoljno dugih nizova izmerenih srednjih dnevnih protoka. Ovakav pristup moguće je sprovesti za profile u kojima se vrše merenja/osmatranja protoka (izučeni slivovi). Na lokacijama na kojima nema osmatranja, primenjuju se metode za neizučene slivove. U nedavnim istraživanjima objavljenim za teritoriju Srbije [9-12], ispitivano je korišćenje metode Langbajna za ocenu srednjih voda, kada su ulazni podaci dobijeni sa digitalnih karata. Ova empirijska metoda za određivanje prosečnih protoka u profilima neizučenih slivova, kao ulazne podatke koristi prosečne godišnje padavine i temperaturu na razmatranom slivu. Istraživanja urađena za profile hidroloških stanica (HS) u periodima u kojima se raspolagalo podacima osmatranja, ukazala su na neophodnost kalibrisanja parametra θ koji figuriše u Langbajnovoj metodi, kako bi se dobila bolja ocena srednjih voda u neizučenim slivovima na teritoriji Srbije [9-12].

Cilj ovog istraživanja je da se na osnovu podataka iz dva klimatska modela prati promena prosečnih godišnjih protoka u višegodišnjem periodu u skladu sa promenom padavina i temperatura, za koje se vrše različite projekcije u budućnosti, trenutno do 2100. godine. Izabrana oblast izučavanja je gornji i srednji sliv reke Južne Morave, na kojoj će se srednje vode ocenjivati metodom Langbajna. Istovremeno će se kalibrisati vrednosti parametra θ jednačine u profilima HS u izučavanoj oblasti.

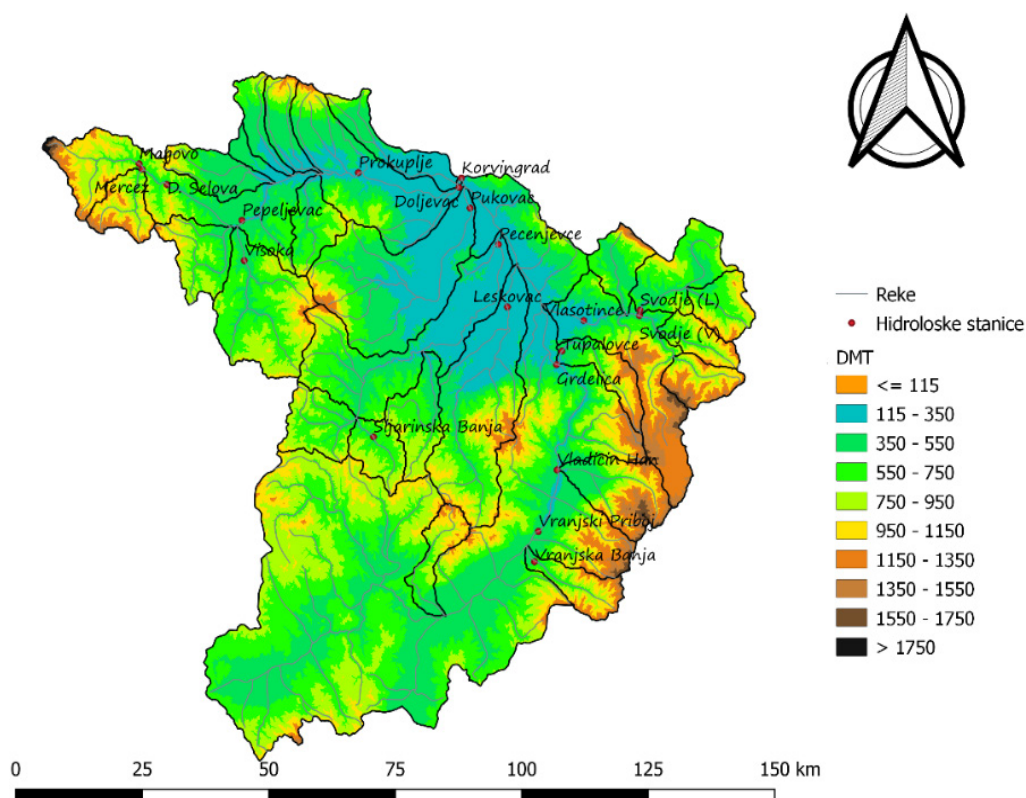
Prema Izveštaju o uticaju klime na vodoprivredu i vodne resurse iz 2020. godine [13], generalno će doći do smanjenja dostupnosti vode, a oblast Južne Morave je u tome posebno izdvojena. Predviđa se da će u periodu 2071-2100 doći do značajnog smanjenja protoka, pogotovu na reci Toplici (i do 40%) u odnosu na period 1961-1990.

2. METODOLOGIJA

2.1. Područje istraživanja

Za ispitivanje uticaja klimatskih promena na srednje vode izabran je gornji i srednji deo sliva Južne Morave, (Slika 1). Istražvanje je podeljeno u dve faze. U prvoj fazi [14,15], pripremljene su podloge za drugu fazu. Epilog prve faze je sledeći:

- Izabrano je 20 HS na području ispitivanja (Slika 1, Tabela 1),
- Izvršeno je razgraničenje rečnih slivova do profila HS,
- Pripremljeni su klimatski podaci (padavine i temperature) iz dva klimatska modela za četiri dvadesetogodišnja perioda u budućnosti.



Slika 1. Gornji srednji sliv Južne Morave sa prikazom reljefa, položajem HS i granicama rečnih slivova

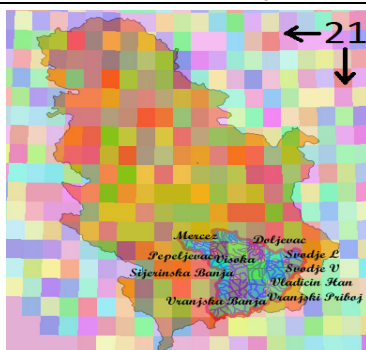
Tabela 1. Spisak razmatranih slivova do profila HS

| Redni broj | Hidrološka stanica | Površina sliva A (km ²) | Reka | Slivno područje |
|------------|--------------------|-------------------------------------|--------------|-----------------|
| 1 | Magovo | 180 | Toplica | Južna Morava |
| 2 | Donja Selova | 353 | Toplica | |
| 3 | Pepeljevac | 986 | Toplica | |
| 4 | Prokuplje | 1774 | Toplica | |
| 5 | Doljevac | 2083 | Toplica | |
| 6 | Merćez | 112.6 | Lukovska | |
| 7 | Svođe V. | 350 | Vlasina | |
| 8 | Vlasotince | 972 | Vlasina | |
| 9 | Svođe L. | 318 | Lužnica | |
| 10 | Leskovac | 500 | Veternica | |
| 11 | Pečenjevce | 891 | Jablanica | |
| 12 | Pukovac | 561 | Pusta | |
| 13 | Visoka | 370 | Kosanica | |
| 14 | Koringrad | 9396 | Južna Morava | |
| 15 | Sijarinska Banja | 95 | Banjska | |
| 16 | Tupalovce | 98.1 | Kozarska | |
| 17 | Vranjska Banja | 108.3 | Banjska | |
| 18 | Vladičin Han | 3052 | Južna Morava | |
| 19 | Vranjski Priboj | 2775 | Južna Morava | |
| 20 | Grdelica | 3782 | Južna Morava | |

2.2 Klimatski modeli

2.2.1 Regionalni klimatski model

Ocena uticaja klimatskih promena na srednje vode u gornjem i srednjem delu sliva Južne Morave sprovedena je na osnovu rezultata simulacija RKM EBU-POM. Ovaj model u potpunosti obuhvata teritorije Srbije i Crne Gore i deo teritorija zemalja sa kojima se pomenute države graniče. Model raspolaže podacima za period od 1951. do 2100. godine. Za ovaj period moguće je preuzeti dnevne i/ili mesečne vrednosti prosečnih, minimalnih i maksimalnih temperatura, kao i ukupnu visinu padavina. Predikcija je sprovedena za dva različita klimatska scenarija – A1B i A2. Klimatski scenario A1B predviđa umeren intenzitet, a scenario A2 jači intenzitet klimatskih promena. U okviru ovog istraživanja korišćeni su podaci o mesečnim prosečnim temperaturama i sumama padavina za referentni period, s tim da je obuhvaćen period od 1970. godine (radi poređenja sa podacima iz WC) i period predikcije. Preuzeti podaci mogu se učitati u rasterskoj formi rezolucije od 1 ugaonog stepena, što odgovara veličini piksela od približno 30x30km, koji se sastoje od 21 reda i 21 kolone (Slika 2).



Slika 2. Ilustracija rasterskih podataka o mesečnim temperaturama preuzetih iz EBU-POM RKM za teritoriju Republike Srbije

2.2.2 Globalni klimatski model

Podaci GKM preuzeti su iz javno dostupne baze klimatskih podataka World Clim 2.1, koja je objavljena januara 2020. godine. Iz ove baze moguće je preuzeti podatke 23 GKM i četiri različita scenarija projektovanih socioekonomskih globalnih promena do 2100. godine (*Shared Socio-economic Pathways* (SSPs): SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP4-6.0, i SSP5-8.5. Scenariji su nabrojani idući od onog koji predviđa najmanji intenzitet ka onom koji predviđa najveći intezitet klimatskih promena. Baza WC sadrži podatke visoke prostorne rezolucije (najbolja dostupna rezolucija je 30 ugaonih sekundi, što odgovara veličini piksela od približno 1x1km). Pored visoke prostorne rezolucije, WC raspolaže i sa 19 bioklimatskih varijabli. U prvoj fazi ovog istraživanja prilikom verifikacije padavina i temperatura dobijenih za dva razmatrana klimatska modela sa osmotrenom vrednostima, ustanovljeno je da podaci iz WC daju nešto bolje rezultate.

2.3 Metoda Langbajna

Metoda Langbajna [11] koristi podatke o prosečnim temperaturama i prosečnim godišnjim padavinama na slivovima u dužem periodu. Prosečni godišnji oticaj dobija se na osnovu sledeće veze:

$$Q_0/E = f (P_0/E) \quad (1)$$

pri čemu je:

Q_0 – prosečni oticaj sa sliva,

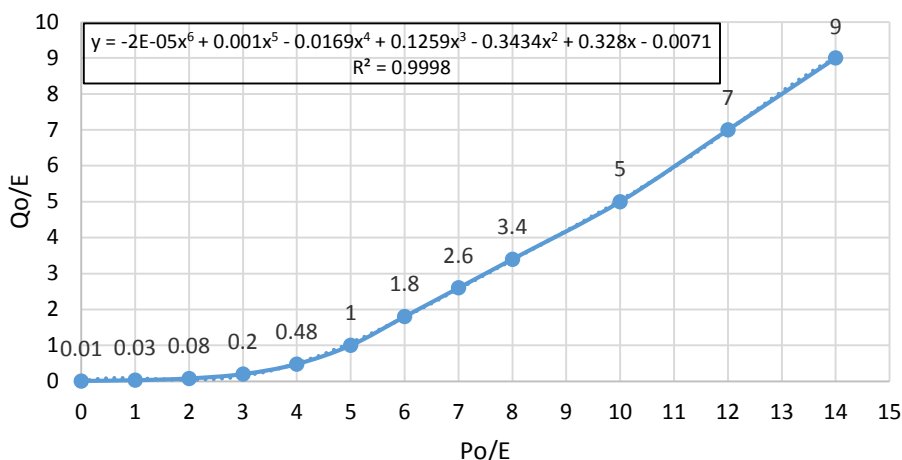
P_0 – prosečna godišnja visina padavina na slivu,

E – temperaturni faktor, čija se vrednost dobija prema sledećem izrazu:

$$\text{Log } E = 0,027 * T_0 + \theta \quad (2)$$

U jednačinama (1) i (2) vrednost padavina figuriše u cm, te se i sloj oticaja dobija takođe u cm.

Na slici 3 grafički je prikazana zavisnost (1), sa jednačinom korišćenom prilikom proračuna odnosa Q_0/E za različite vrednosti odnosa P_0/E . Vrednost x u jednačini datoj na slici predstavlja odnos P_0/E , a y predstavlja odnos Q_0/E .



Slika 3. Zavisnost Q_o/E od P_o/E u metodi Langbajna

U formuli za proračun temperaturnog faktora E figuriše parametar Θ koji u opštem slučaju ima vrednost 0,886. Međutim, ova vrednost je dobijena na osnovu podataka sa područja SAD, a rezultati sprovedenih istraživanja za slivove koje se nalaze na teritoriji Republike Srbije [9-12] pokazali su da je potrebno korigovati vrednosti ovog parametara kako bi se dobile bolje ocene srednjih voda za naše područje. Shodno tome, u ovom radu je sprovedena kalibracija ovog parametara na osnovu izmerenih prosečnih protoka u profilima HS.

Vrednost prosečnog godišnjeg protoka Q_{sr} dobija se množenjem dobijenog sloja oticaja prema metodi Langbajna sa površinom sliva A , i deljenjem sa vremenskim intervalom od jedne godine:

$$Q_{sr} (\text{m}^3/\text{s}) = Q_o (\text{m}) * A (\text{m}^2) / T_{god} (\text{sec}) \quad (3)$$

2.4 Podaci o prosečnim godišnjim protocima

U našim uslovima, retko se raspoložuje potpunim nizovima osmotrenih podataka. Prekidi u nizovima predstavljaju problem koji dobija na snazi zavisno od dužine prekida. Na osnovu podataka iz hidroloških godišnjaka [16] ustanovljeno je da 8 HS ima neprekidne nizove prosečnih protoka, dok 12 HS ima prekide u razmatranom periodu od 1970. do 2000. godine (Tabela 2).

Najveći broj podataka nedostaje za HS Vranjska Banja (51,6 %) Magovo, Donja Selova, Pepeljevac, Vlasotinca, Svođe/Lužnica i Doljevac.

Da bi se istraživanje sprovedelo za celo područje, podaci koji nedostaju dopunjeni su primenom metode Langbajna na osnovu podataka iz RKM. Rezultati dobijeni za stanice kod kojih je izvršeno takvo popunjavanje, posmatraće se nadalje sa oprezom, u odnosu na rezultate sa stanica koje raspolažu svim osmotrenim podacima.

EBU-POM pruža podatke o temperaturama i padavinama za svaku godinu u periodu od 1951. do 2100. godine, mada je zbog prilagođavanja podacima iz WC započeto sa analizom od 1970. godine. Ova činjenica je omogućila da se za

referentni period (1970-2000) uzmu samo godine kada ima podataka o prosečnim godišnjim protocima. Za taj period su sračunate prosečne vrednosti temperature i ukupnih godišnjih padavina, što je dalje omogućilo proračun prosečnog višegodišnjeg protoka primenom metode Langbajna za određenu HS.

Tabela 2. Raspoloživost prosečnih godišnjih protoka u periodu od 1970. do 2000. godine

| Redni broj | Hidrološka stanica | Površina sliva A (km ²) | Godine bez podataka/nepotpuni podaci | Broj godina bez podataka/ sa nepotpunim podacima | Procentualni nedostatak podataka |
|------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|----------------------------------|
| 1 | Magovo | 180 | 1993-2000 | 8 | 25,8 |
| 2 | Donja Selova | 353 | 1994-2000 | 7 | 22,6 |
| 3 | Pepeljevac | 986 | 1991,1994-2000 | 8 | 25,8 |
| 4 | Prokuplje | 1774 | 1993-1996 | 4 | 12,9 |
| 5 | Doljevac | 2083 | 1998-2000 | 6 | 19,4 |
| 6 | Merćez | 112,6 | 1993-2000 | 8 | 25,8 |
| 7 | Svođe V | 350 | | 0 | 0,0 |
| 8 | Vlasotince | 972 | 1994-2000 | 7 | 22,6 |
| 9 | Svođe L | 318 | 1994-2000 | 7 | 22,6 |
| 10 | Leskovac | 500 | 1997-2000 | 4 | 12,9 |
| 11 | Pečenjevce | 891 | | 0 | 0,0 |
| 12 | Pukovac | 561 | | 0 | 0,0 |
| 13 | Visoka | 370 | | 0 | 0,0 |
| 14 | Korvingrad | 9396 | | 0 | 0,0 |
| 15 | Sijarinska Banja | 95 | | 0 | 0,0 |
| 16 | Tupalovce | 98,1 | | 0 | 0,0 |
| 17 | Vranjska Banja | 108,3 | 1970-1981, 1990, 1998-2000 | 16 | 51,6 |
| 18 | Vladičin Han | 3052 | 1999-2000 | 2 | 6,5 |
| 19 | Vranjski Priboj | 2775 | 1979-1981 | 3 | 9,7 |
| 20 | Grdelica | 3782 | | 0 | 0,0 |

Nakon toga izvršena je kalibracija parametra Θ u metodi Langbajna, kako bi se dobila 'stvarna' vrednost osmotrenog prosečnog protoka za taj period. Dalje je sa kalibrisanim parametrom Θ sračunat svaki prosečni godišnji protok koji nedostaje koristeći podatke iz EBU-POM-a samo za tu godinu za koju isti nedostaje

2.5 Kalibracija i verifikacija parametra Θ

Kalibracija parametra Θ izvršena je za period 1970-2000, posebno za regionalni a posebno za globalni klimatski model.

Nakon kalibracije parametra Θ izvršena je i njegova verifikacija na protocima za period 2001-2020. Verifikacija je sprovedena za podatke iz modela EBU-POM.

Verifikacija za globalni model nije sprovedena, zato što globalni model sadrži za taj period samo podatke o padavinama.

3. REZULTATI

U ovom radu je polazište identično istraživanju [11], a to je da svaki izučeni sliv ima svoju sopstvenu vrednost parametra Θ , koja kroz jednačinu Langbajna omogućava da se dobije ista vrednost prosečnog protoka kao ona koja je dobijena na osnovu osmatranja u profilu HS.

Kalibrisane vrednostima parametra Θ dobijene na osnovu podloga iz klimatskih modela u ovom istraživanju i radovima [9, 11] prikazane su u tabeli 3.

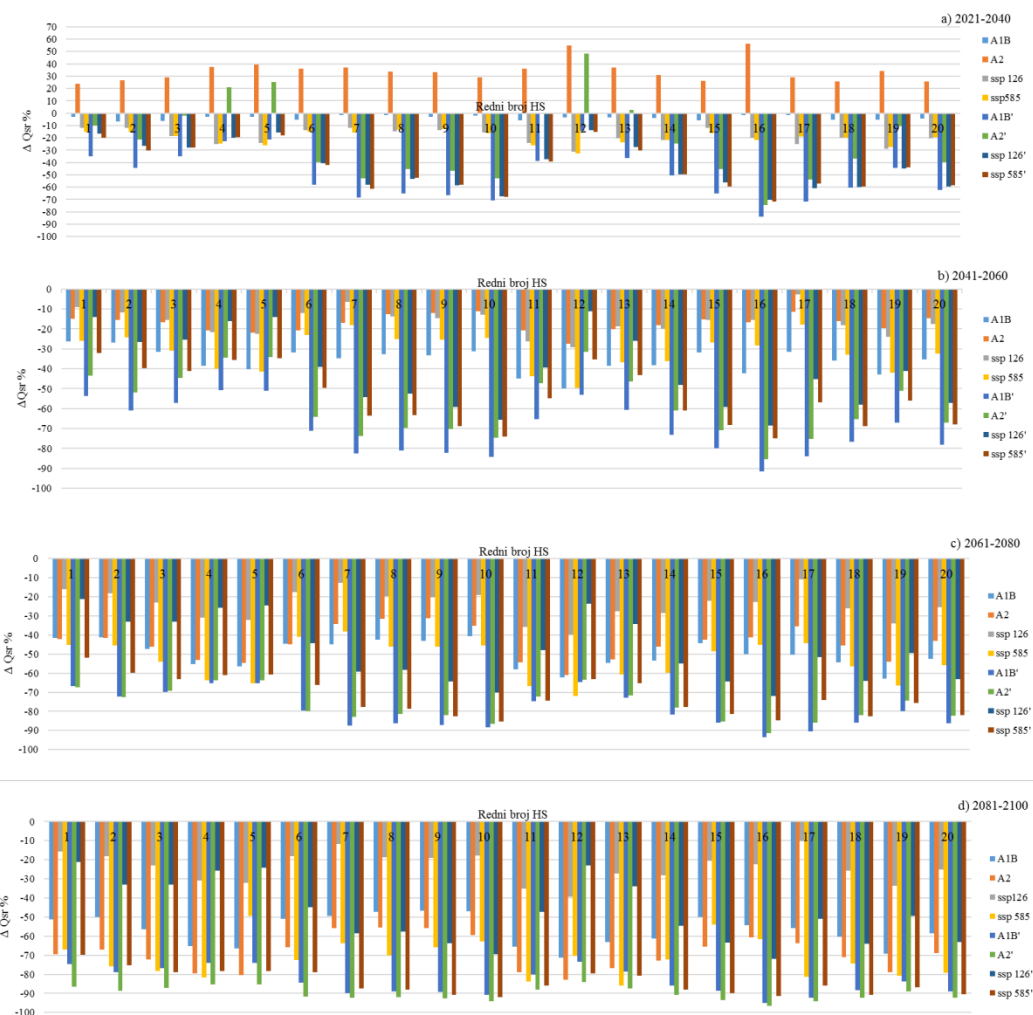
Tabela 3. Vrednosti parametra Θ prema različitim rezultatima istraživanja. Istaknute su pouzdane stanice kod kojih postoje svi podaci osmatranja protoka

| Redni broj | Reka | Stanica | Površina sliva (km ²) | Parametar Θ | | | |
|------------|---------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------|--------|--------------|
| | | | | Podloga | | [9] | [11] |
| | | | | EBU-POM | WC | | |
| 1 | Toplica | Magovo | 180 | 0,74 | 0,838 | 0,862* | 0,864 |
| 2 | Toplica | Donja Selova | 353 | 0,703 | 0,808 | | / |
| 3 | Toplica | Pepeljevac | 986 | 0,763 | 0,829 | | 0,867 |
| 4 | Toplica | Prokuplje | 1774 | 0,838 | 0,888 | | / |
| 5 | Toplica | Doljevac | 2083 | 0,844 | 0,894 | | / |
| 6 | Lukovska | Merćez | 112,6 | 0,623 | 0,732 | | 0,751 |
| 7 | Vlasina | Svođe V | 350 | 0,579 | 0,675 | | 0,837 |
| 8 | Vlasina | Vlasotince | 972 | 0,582 | 0,696 | | / |
| 9 | Lužnica | Svođe L | 318 | 0,565 | 0,656 | | 0,795 |
| 10 | Veternica | Leskovac | 500 | 0,588 | 0,663 | | / |
| 11 | Jablanica | Pečenjevce | 891 | 0,815 | 0,853 | | / |
| 12 | Pusta | Pukovac | 561 | 0,877 | 0,919 | | / |
| 13 | Kosanica | Visoka | 370 | 0,809 | 0,868 | | 0,896 |
| 14 | Južna Morava | Korvingrad | 9396 | 0,745 | 0,804 | | / |
| 15 | Banjska | Sijarinska Banja | 95 | 0,642 | 0,718 | | 0,856 |
| 16 | Kozarska | Tupalovce | 98,1 | 0,451 | 0,597 | | 0,676 |
| 17 | Banjska | Vranjska Banja | 108,3 | 0,651 | 0,785 | | 0,936 |
| 18 | Južna Morava | Vladičin Han | 3052 | 0,709 | 0,753 | | / |
| 19 | Južna Morava | Vranjski Priboj | 2775 | 0,813 | 0,854 | | / |
| 20 | Južna Morava | Grdelica | 3782 | 0,696 | 0,756 | | / |

*Prosečna (regionalna) vrednost Θ za sliv Južne Morave

U radu [9] obrađeno je deset HS (Vranjska banja, Tupalovce, Svođe, Magovo, Merčez, Visoka, Strazimirovci, Radikine Bare, G. Toponica, Pepeljevac) sa sliva Južne Morave ali prikazana je samo prosečna (regionalna) vrednost Θ za grupu stanica, ne i za svaku HS ponaosob. U radu [11] su grafički prikazane vrednosti Θ na lokacijama HS. Nisu obrađene sve stanice kao u ovom istraživanju.

Rezultati ocene prosečnih protoka u budućem periodu prikazani su na slici 4.



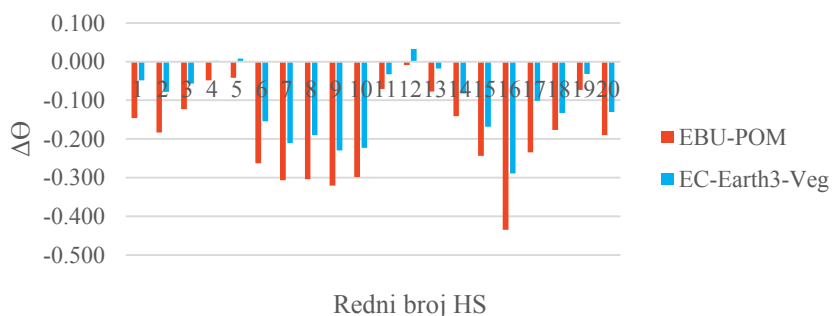
Slika 4. Procentualne razlike prosečnih protoka u četiri dvadesetogodišnja perioda u budućnosti u odnosu na referentni period 1970-2000

Rezultati ocene prosečnih godišnjih protoka na slici 4 su dati preko procentualnih razlika prosečnih protoka za četiri perioda predviđanja, u odnosu na referentni period 1970-2000. Prosečni protoci su određeni za dve varijante vrednosti parametra θ u Langbajnovoj metodi: 1) kalibrisanu i 2) originalnu Langbajnovu vrednost (0,886). Radi razlikovanja, kod protoka dobijenih originalnim θ , pored scenarija dodata je oznaka ' (npr. A2'). U okviru jednog dijagrama obuhvaćene su vrednosti dobijene za četiri različita scenarija, tj. po dva za oba

klimatska modela, dakle, osam grupa podataka. Pozitivne vrednosti ukazuju na povećanje protoka u odnosu na referentni period, negativne, na smanjenje.

4. DISKUSIJA

Razlike koje su se pojavile u pogledu vrednosti parametra Θ (Tabela 3) su očekivane, zbog različitih referentnih perioda u ovom istraživanju i u radu [11] kao i različitih izvora podataka. Sve vrednosti Θ iz ovog istraživanja su manje u odnosu na vrednosti u radu [11] na HS za koje su prikazane, pri čemu su bliže vrednosti dobijene na osnovu podloga iz klimatskog modela EC-Earth3-Veg (WC) u odnosu na EBU-POM. Na slici 5 su prikazane razlike parametra Θ u odnosu na originalnu vrednost (0,886).



Slika 5. Razlika vrednosti korigovanih parametara Θ u odnosu na originalnu vrednost

Najveće razlike vrednosti su se javile za HS Tupalovce (br. 16), gde kalibrisana vrednost Θ iznosi 0,451 kod EBU-POM, a kod globalnog modela, 0,597. Ova HS ima sve osmotrene podatke i spada u pouzdane stanice. Evidentno je sa prethodnog dijagrama (Slika 5) da su veće razlike Θ dobijene za podatke iz RKM. Najmanje razlike bile su kod HS Prokuplje (br. 4), HS Doljevac (br. 5) i HS Pukovac (br. 12). Skoro u svim slučajevima parametar Θ ima nižu vrednost u odnosu na originalnu (0,886).

Na osnovu razmatranja razlika protoka u odnosu na period 1970-2000, prikazanih na slici 4, evidentno je da svi razmatrani scenariji ukazuju na smanjenje količina raspoložive vode na razmatranom području posle 2041. godine. Jedino povećanje javlja se u periodu 2021-2040 (Slika 4a) prema RKM za scenario A2, kada se prosečan višegodišnji protok ocenjuje koristeći kalibrisanu vrednost parametra Θ i njegovu originalnu vrednost - oznaka A2'. U ovom periodu najveće su i razlike između dva razmatrana modela. Najveća promena očekuje se za HS Visoka za period 2081-2100 i iznosi -85%, a malo niže vrednosti dobijaju se za HS Pečenjevce i Pukovac (-83%), HS Prokuplje (-81%), kada se sagledaju samo vrednosti protoka dobijenih sa kalibrisanom vrednošću Θ .

Za slučajeve kada je korišćena originalna vrednost Θ , dobijene su najveće procentualne razlike protoka za sva četiri perioda predikcije, pri čemu tu prednjače vrednosti iz RKM EBU-POM (A1B' i A2'). Rezultati ovog istraživanja u skladu su sa zaključkom da se na slivu reke Toplice očekuje veliki deficit protoka [13], s tim da rezultati ovog istraživanja ukazuju na znatno veći problem. Najmanje promene očekuju se za HS Sijarinska Banja i HS Tupalovce (stanice najmanje pripadajuće površine sliva), ali su i one značajne.

U slučaju ocene protoka na osnovu podataka o padavinama i temperaturi dobijenih na osnovu GKM, za scenario SSP1-2.6 ne dobija se konstantno smanjenje protoka idući ka 2100. godini, kao što je u ostalim scenarijima bio slučaj.

5. ZAKLJUČAK

Ocnom srednjih voda dobija se uvid u vodnost sliva. Analiza prosečnih protoka je uopšte važna u vodoprivredi i hidrotehnici, s obzirom da se rezultati takve analize koriste prilikom sagledavanja optimalnog rada sistema i dimenzionisanja određenih objekata.

Količina raspoložive vode u budućim klimatskim uslovima, ispitivana je u ovom istraživanju preko promene prosečnog godišnjeg protoka u višegodišnjem periodu. Metoda Langbajna za ocenu prosečnih godišnjih protoka izabrana je zbog svoje jednostavnosti - uključuje samo dva ulazna parametra, padavine i temperaturu vazduha. U istraživanju su korišćeni rezultati simulacije buduće klime pomoću dva klimatska modela od mnogih koji su danas javno dostupni. Time je omogućen i bliži uvid u ponašanje parametra Θ metode Langbajna, koji je već podvrgnut preispitivanju za teritoriju Srbije, pogotovu u karstnim predelima, što se jasnije može videti u radu [8], kojim je obuhvaćena veća teritorija.

Sveobuhvatnim razmatranjem rezultata sprovedenog istraživanja ističu se sledeći zaključci:

- Uticaj promene padavina i temperature u budućnosti na promenu srednjih voda u gornjem i srednjem toku Južne Morave je značajan,
- GKM EC-Earth3-Veg, model bolje prostorne rezolucije, dao je kalibrisane vrednosti parametra Θ u Langbajnovoj metodi, koje više odgovaraju vrednostima u dosadašnjim istraživanjima, u odnosu na model EBU-POM,
- Na rezultate ocene srednjih voda metodom Langbajna značajan uticaj ima preciznost kalibracije parametra Θ ,
- Evidentne su velike razlike dobijenih prosečnih godišnjih protoka u zavisnosti od razmatranog scenarija, što može predstavljati problem prilikom donošenja odluka koja se odnose na buduće sisteme i objekte.

IZJAVA

Rad je delom finansiran iz sredstava Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije TR37005. Autori se zahvaljuju anonimnim recenzentima na korisnim primedbama koje su doprinele kvalitetu rada.

LITERATURA

- [1] Slobodan Milutinović: **Priručnik za planiranje prilagođavanja na izmenjene klimatske uslove u lokalnim zajednicama u Srbiji**. *Stalna konferencija gradova i opština Srbije*, Beograd 2018.
- [2] Tina Dašić, Branislav Đorđević, Jasna Plavšić: **Upravljanje vodama u uslovima klimatskih promena**: https://grafar.grf.bg.ac.rs/bitstream/handle/123456789/2534/bitstream_9740.pdf?sequence=1&isAllowed=y (03.06.2022.)

- [3] Maclean, I. M.: **Predicting future climate at high spatial and temporal resolution.** *Global change biology*, 26(2), 1003- 1011, 2020.
- [4] Abou Rafee, S. A., Uvo, C. B., Martins, J. A., Machado, C. B., & Freitas, E. D.: **Land Use and Cover Changes versus climate shift: Who is the main player in river discharge? A case study in the Upper Paraná River Basin.** *Journal of Environmental Management*, 309, 114651, 2022.
- [5] Zheng, Y., & Weng, Q.: Modeling the effect of climate change on building energy demand in Los Angeles county by using a GIS-based high spatial-and temporalresolution approach. *Energy*, 176, 641-655, 2019.
- [6] <http://haos.ff.bg.ac.rs/climatedb-srb/model.html> (01.06.2022.)
- [7] https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6_clim2.5m.html (05.06.2022.)
- [8] <http://www.ec-earth.org/> (15.06.2022.)
- [9] Jovan Blagojević, Jasna Plavšić, Samir Čatović, Andrijana Todorović: **Analiza srednjih voda u Srbiji na osnovu digitalnih karata padavina i temperatura.** *VODOPRIVREDA* 0350-0519, Vol. 50, No. 294-296 p. 177-187, 2018.
- [10] Urošev Marko, Štrbac Dragoljub, Kovačević-Majkić Jelena, Plavšić Jasna, Yamashkin A. Stanislav: **Spatial distribution of specific runoff in Serbia based on rainfall-runoff relationship.** *J. Geogr. Inst. Cvijic.* 70(3), pp. 203–214, 2020.
- [11] Ognjen Prohaska, Jasna Plavšić, Stevan Prohaska, Andrijana Todorović: **Kartiranje parametra metode Langbajna za proračun srednjih voda na neizučenim slivovima na teritoriji Srbije.** *VODOPRIVREDA* 0350-0519, Vol. 51, No. 297-299 p. 99-109, 2019.
- [12] Blagojević, J., Blagojević, B., Mihailović, V., Radivojević, D. (2020) **Prediction of mean runoff in a small ungauged basin using raster climatological data.** *Bulletin of the Serbian Geographical Society.* Vol 100, No 2 (2020), p. 45-66. ISSN 0350-3593. <http://glasniksgd.rs/index.php/home/article/view/725>
- [13] Mirjam Vujadinović Mandić, Ana Vuković, Vladimir Đurđević, Dejan Đurović, Zorica Ranković-Vasić, Željko Dolijanović, Marija Ćosić, Dragan Stanojević, Aleksa Lipovac, Branislav Đorđević, Tina Dašić, Jasna Plavšić, Marijana Petrović, Dejan Stojanović, Saša Orlović, Marko Adamović, Marija Jevtić, Krunoslav Katić, Mina Petrić: **Analiza dostupnosti klimatskih i socioekonomskih informacija, uključujući klimatske podatke, podatke o rizicima i procenama pogođenosti i informacije o merama adaptacije - Nacrt.** Beograd, 2020
- [14] Đokić Nikola: **Definisanje prostornih i vremenskih karakteristika slivova hidroloških stanica u gornjem i srednjem toku Južne Morave.** Seminarski rad iz predmeta: GIS, daljinsko osmatranje i upravljanje vodom i zemljištem, DAS, *Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu*, Niš, 2022.
- [15] N. Đokić, B. Blagojević. **Priprema klimatoloških podloga za ocenu prosečnih protoka u uslovima buduće klime u slivu Južne Morave.** *Nauka+Praksa* br 25, *Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu*, Niš, 2022 (recenzija u toku)
- [16] RHMZS https://www.hidmet.gov.rs/ciril/hidrologija/povrsinske_godisnjaci.php (05.06.2022.)