

## ANALIZA SREDNJIH VODA U SRBIJI NA OSNOVU DIGITALNIH KARATA PADAVINA I TEMPERATURA

Jovan BLAGOJEVIĆ, Jasna PLAVŠIĆ  
Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet

Samir ĆATOVIĆ  
Republički hidrometeorološki zavod, Beograd

Andrijana TODORVIĆ  
Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet

### REZIME

U radu je sprovedena analiza prosečnog oticaja u Srbiji metodama za neizučene slivove na 46 izabrana profila sa slivnim površinama do 1000 km<sup>2</sup> na kojima postoje podaci merenja protoka vode. Primenjena je metoda Turka i metoda Langbajna, koje kao ulazne podatke koriste srednje temperature i prosečne godišnje padavine na slivu. Ulazni podaci za proračune u ovom radu dobijeni su korišćenjem digitalnog repozitorijuma CarpatClim, u kome se podaci nalaze u rasterskom formatu prostorne rezolucije oko 10 km x 10 km i pokrivaju period 1961-2010. Izučeni slivovi su tretirani kao neizučeni i izračunati srednji protoci su upoređeni sa izmernenim srednjim protocima. Analize su pokazale da je poželjna kalibracija parametara u metodi Langbajna kako bi se došlo do pouzdanih ocena srednjih voda.

**Ključne reči:** srednje vode, neizučeni slivovi, metoda Turka, metoda Langbajna, rasterski klimatološki podaci.

### 1. UVOD

Srednje vode predstavljaju važnu odliku hidrološkog režima vodotoka i ukazuju na vodnost slivnog područja. Analizom srednjih voda dobijaju se pokazatelji oticaja koji se koriste u rešavanju mnogih zadataka u vodoprivredi i hidrotehnici. Procena prosečnih količina vode koje se mogu očekivati u nekom profilu vodotoka se može dati na osnovu analiza niza izmerenih vrednosti protoka. Takav pristup zahteva postojanje hidrološke stanice u profilu od interesa sa dovoljno dugom vremenskom serijom podataka o izmernenim protocima. Međutim, ukoliko to nije slučaj i hidrološka stanica ne postoji, sliv

je hidrološki neizučen. Tada se koriste jednostavni generalizovani modeli koji daju mogućnost da se procene prosečni protoci (Isailović i sar., 2007).

U radu Jankovića (2015) ispitana je primenljivost primene dve metode, metode Turka i Langbajna, za određivanje srednjeg višegodišnjeg oticaja na području Srbije. Ove dve metode se zasnivaju na klimatološkim podacima, pa su relativno jednostavne za primenu. Janković (2015) je ove metode primenio na 17 manjih izučenih slivova u Srbiji i sproveo verifikaciju rezultata dobijenih metodama Turka i Langbajna. Na osnovu dobijenih rezultata zaključio je da su obe metode primenljive uz određene korekcije, ali je dao prednost primeni metode Langbajna zbog nešto boljeg slaganja sa izmernenim podacima.

U primeni ove dve metode za ocenu prosečnog oticaja kao ulazni podaci koriste se prosečne višegodišnje padavine i temperature na slivu. Ovi ulazni parametri se mogu dobiti nekom vrstom prostornog osrednjavanja (npr. Tisenovim poligonima) na osnovu podataka sa više kišomernih i klimatoloških stanica na slivu i njegovoj okolini.

U okviru projekta CarpatClim (Szalai et al., 2013) prikupljeni su podaci o velikom broju klimatoloških podataka za područje Karpata za period 1961-2010. Uz ekstenzivnu kontrolu podataka, popunjavanje nizova i pažljivu interpolaciju, u ovom projektu su formirane klimatološke digitalne karte za područje Karpata. Postojanje ovakvih podloga ima potencijal za primenu u hidrologiji, a naročito u primeni opisanih metoda Turka i Langbajna za procenu prosečnog oticaja na neizučnim slivovima.

Cilj ovog rada je da se utvrdi primenljivost metoda Turka i Langbajna na malim neizučenim slivovima uz korišćenje rasterskih podataka o padavinama i temperaturama iz projekta CarpatClim. Rasterski podaci o prosečnim padavinama i temperaturama iz baze CarpatClim su u ovom radu korišćeni da se odrede prosečne vrednosti na izabranim slivovima. Slivovi koji su odabrani za proračune su u prirodnom režimu, površine do 1000 km<sup>2</sup>. Ocena primenljivosti razmatranih metoda na neizučenim slivovima data je na osnovu poređenja izmerenih srednjih protoka sa rezultatima proračuna metodama Turka i Langbajna sprovedenih na izučenim slivovima.

## 2. METODOLOGIJA

### 2.1 Metoda bilansa prema Turku

Veličine koje se uzimaju u obzir pri razmatranju bilansa pomoću ove metode su: padavine kao ulaz u sistem, gubici koje u potpunosti čini evapotranspiracija i otcaj kao izlaz iz sistema. Jednačina bilansa glasi:

$$P_0 = D_0 + Q_0 \tag{1}$$

gde su  $P_0$  prosečne padavine na slivu,  $D_0$  prosečni gubitak vode na slivu (evapotranspiracija) i  $Q_0$  prosečni otcaj (sve veličine se izražavaju u mm). Sve prosečne veličine treba da budu izračunate za dovoljno dug, reprezentativan period koji uključuje i sušne i vodne godine. Time se uvodi pretpostavka da veličina  $\pm \Delta Q_0$ , koja predstavlja promenu zapremine na slivu usled iscrpljivanja ili dopunjavanja podzemnih voda, teži nuli. Za izračunavanje gubitka se primenjuje formula Turka (Janković, 2015):

$$D_0 = P_0 \cdot \left(0.9 + \frac{P_0^2}{L^2}\right)^{-0.5} \tag{2}$$

Veličina  $L$  u gornjoj formuli se određuje kao:

$$L = 0.5 \cdot T_0^3 + 25 \cdot T_0 + 300 \tag{3}$$

gde je  $T_0$  prosečna temperatura na slivu izražena u °C. Da bi izraz (2) bio dimenziono korektan, može se smatrati da se parametar  $L$  izražava u mm, iako u fizičkom smislu  $L$  nema tumačenje. Kombinovanjem izraza (1) i (2) može se eksplicitno napisati izraz za proračun sloja otcaja  $Q_0$  u mm:

$$Q_0 = P_0 \cdot \left(0.1 + \frac{P_0^2}{L^2}\right)^{-0.5} \tag{4}$$

### 2.2 Metoda Langbajna

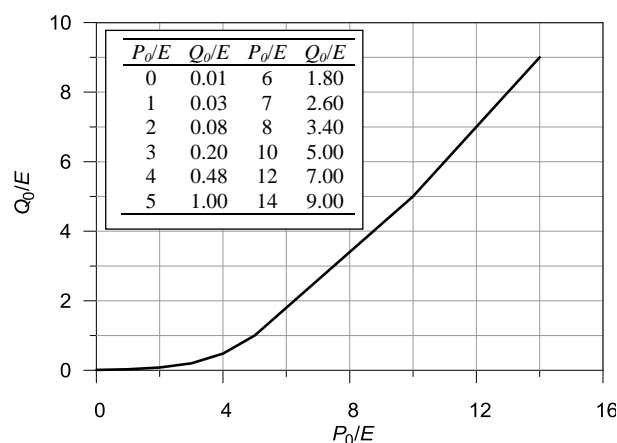
Metoda Langbajna koristi iste ulazne podatke kao i metoda Turka: prosečne padavine na slivu  $P_0$  i prosečnu temperaturu na slivu  $T_0$ . Srednji višegodišnji sloj otcaja sa sliva  $Q_0$  dobija se iz sledeće zavisnosti:

$$\frac{Q_0}{E} = f\left(\frac{P_0}{E}\right) \tag{6}$$

gde je  $P_0$  prosečna visina padavina,  $Q_0$  prosečan sloj otcanja na slivu i  $E$  tzv. temperaturni faktor. Za  $P_0$  i  $T_0$  unete u cm i °C,  $E$  se računa pomoću formule:

$$\log E = 0,027 \cdot T_0 + \Theta \tag{7}$$

Član  $\Theta$  u gornjoj formuli je originalno dat kao vrednost  $\Theta = 0.886$ , ali on može biti i kalibrisan u odnosu na izmerene podatke (što je kasnije prikazano). Zavisnost (7) definisana je tabelarno (Janković, 2015) i prikazana je na slici 1.



Slika 1. Zavisnost  $Q_0/E$  od  $P_0/E$  u metodi Langbajna.

U ovom radu za metodu Langbajna su korišćene tri varijante za parametar  $\Theta$ :

- originalna vrednost  $\Theta = 0.886$ ,
- kalibrisana vrednost parametra  $\Theta$ , jedinstvena za sve slivove, koja daje najbolje slaganje računatih i izmerenih vrednosti na svim razmatranim profilima hidroloških stanica, i
- kalibrisane vrednosti parametra  $\Theta$  koja daje najbolje slaganje računatih i izmerenih vrednosti na profilima hidroloških stanica koji pripadaju glavnim slivovima tj. oblastima. Za analizu po oblastima, razmatrani slivovi su podeljeni u pet grupa: Južna Morava, Zapadna Morava, Velika Morava, Sava i istočna Srbija (Timok i pritoke Dunava). Reke Pčinja i Dragovištica nisu svrstane u neku od grupa (videti tabelu 2).

Tabela 2. Spisak obrađenih hidroloških stanica.

Sliv	Stanica	Reka	A (km <sup>2</sup> )	Raspoloživost podataka		Q <sub>sr</sub> (m <sup>3</sup> /s)
				Period	Broj godina	
V. Morava	Čuprija	Ravanica	162.8	1958-1985; 1987-2016	58	0.70
V. Morava	Donja Šatornja	Jasenica	83.6	1960-2016	57	0.62
V. Morava	Smed. Palanka	Jasenica	496	1961-1996; 1998-2016	55	1.84
V. Morava	Smed. Palanka	Kuburšnica	743.2	1962-1979; 1981-2005; 2008-2016	52	1.72
J. Morava	Vranjska banja	Banjska	108.3	1964-2016	53	0.84
J. Morava	Tupalovce	Kozarska	98.1	1961-2016	56	1.46
J. Morava	Svođe	Lužnica	318	1961-2004; 2006-2014	53	2.72
J. Morava	Magovo	Toplica	180	1958; 1960; 1962-1992; 2006; 2008-2016	43	1.64
J. Morava	Merčez	Lukovska	112.6	1953-1992; 2006, 2008; 2011-2016	48	1.50
J. Morava	Visoka	Kosanica	370	1960-2016	57	1.99
J. Morava	Strazimirovci	Jerma	95	1961-2016	56	0.76
J. Morava	Radikine Bare	Kutinska	205	1958-1970; 1977-2016	53	1.28
J. Morava	Gornja Toponica	Toponička	202	1962-2004; 2007-2016	53	1.04
J. Morava	Pepeljevac	Toplica	986	1951-2016	66	7.16
Z. Morava	Požega	Skrapež	630	1952-2000; 2005-2014; 2016	60	5.11
Z. Morava	Ivanjica	Moravica	475	1925-1935; 1950-2002	64	6.63
Z. Morava	Rokci	Nošnica	164.2	1991-2016	26	2.12
Z. Morava	Guča	Bjelica	239	1961-2010; 2013-2016	54	2.70
Z. Morava	Prijevor	Kamenica	201	1961-1986; 1988-2015	54	2.06
Z. Morava	Gornja Gorevnica	Čemernica	143	1966-1977; 1994-1998; 2000-2016	34	1.26
Z. Morava	Preljina	Čemernica	625	1960-2016	57	3.98
Z. Morava	Brđani	Dičina	208	1966-1980; 1983-2015	48	1.61
Z. Morava	Biljanovac	Jošanica	265	1956-2016	61	3.40
Z. Morava	Devići	Studenica	191.4	1964-2016	53	2.95
Z. Morava	Mlanča	Studenica	310	1963-2015	53	4.79
Z. Morava	Ušće	Studenica	540	1954-2016	63	7.19
Z. Morava	Bogutovac	Lopatnica	115.8	1960-2015	56	1.91
Z. Morava	Brus	Rasina	213	1959-2016	58	2.39
Lim	Bistrica	Bistrica	79	1961-1985; 1989-1992; 1994-2016	52	1.35
Lim	Prijepolje	Mileševka	155	1968-2016	49	1.46
Kolubara	Bogovađa	Ljig	679	1955-2016	62	4.67
Kolubara	Belo Polje	Obnica	185	1953-2016	64	1.83
Kolubara	Mionica-Paštrić	Ribnica	104	2004-2014 / 1957-2003	58	1.19
Kolubara	Koceljava	Tamnava	208	1957-1974; 1979-2016	56	1.00
Kolubara	Ub	Ub	214	1960-1974; 1977-2016	52	1.06
Drina	Zavlaka	Jadar	313	1960-2016	57	3.06
Drina	Lešnica	Jadar	959	1960-2016	57	8.11
Sava	Rakovica	Topčiderska	138	1959-1994; 1996-2002; 2004-2016	46	0.55
Sava	Valjevo	Kolubara	340	1957-2016	60	3.60
Pritoke Dunava	Kula	Vitovnica	243	1966-2016	51	1.09
Pritoke Dunava	Crnajka	Crnajka	96	1965-2016	52	0.62
Pritoke Dunava	Crnajka	Šaška	236	1966-2016	51	1.64
Timok	Rgošte	Svrljiški Timok	618	1953-2006; 2010-2016	61	3.51
Pritoke Dunava	Kučevo	Pek	849.5	1954-2016	63	7.16
Vardar	Barbace	Pčinja	457	1953-1975; 1977-1986; 1990-2002; 2004-2010; 2014-2016	56	3.76
Struma	Ribarce	Dragovištica	687.5	1964-2016	55	4.63

### 2.3 Raspoloživi podaci

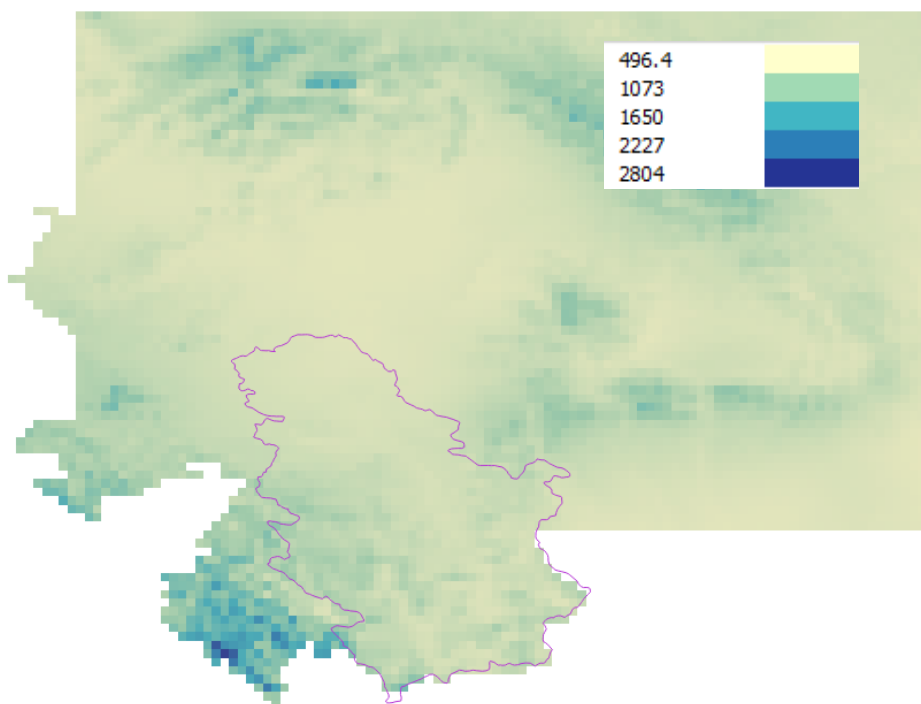
U ovom radu metode Turka i Langbajna primenjene su na izučene slivove u cilju verifikacije ovih metoda na prostoru Srbije. Za ovu proveru na raspolaganju su bili podaci o prosečnom oticaju sa 46 slivova u Srbiji površine do 1000 km<sup>2</sup>, dobijeni od Republičkog hidrometeorološkog zavoda. Spisak razmatranih slivova je dat u tabeli 2, gde su naznačeni periodi raspoloživih podataka. Godine sa nepotpunim podacima nisu uzimane u obzir. U proseku, dužina niza izmerenih podataka iznosi 54 godine. Nizovi nisu istih dužina i ne pokrivaju isti period osmatranja, a takođe različito pokrivaju period 1961-2010 za koji postoje temperature i padavine u bazi CarpatClim. Prema Jankoviću (2015), pošto se srednji višegodišnji protok kao i podaci o temperaturi i padavinama određuju za dovoljno dug period, za analize njihovih međusobnih zavisnosti nije neophodno da budu određeni za isti period vremena.

U odnosu na rad Jankovića (2015), u ovom radu je uzeto u obzir 13 slivova od ukupno 17 koje je Janković (2015) analizirao (slivovi do profila Svođe na Vlasini i Bosilegrad na Ljubatskoj nisu uzeti u obzir jer se njihov

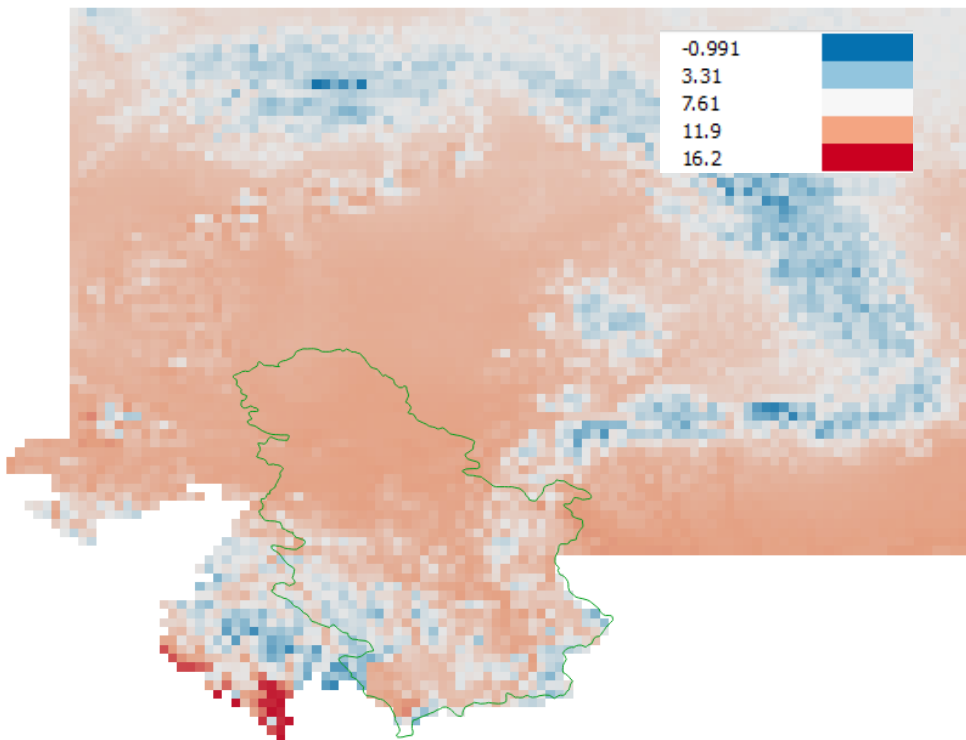
režim ne može smatrati prirodnim zbog prevođenja voda u hidroenergetskom sistemu Vlasina, za profil Donja Kamenica na Trgoviškom Timoku raspoloživi izmereni niz je imao samo 19 podataka, a za profil Beli Potok na Veternici se nije raspolagalo granicom sliva).

Kao ulazni podaci za proračun korišćene su padavine i temperature za period 1961-2010, preuzete iz baze CarpatClim. Ovi podaci su dati u rasterskom formatu sa horizontalnom rezolucijom od 0,1° x 0,1°, što grubo odgovara elementima veličine 10 x 10 km<sup>2</sup>. Digitalne karte pokrivaju geografske širine od 44° do 50° i geografske dužine od 17° do 27°, ali ne u celosti (pokrivaju delove teritorija Srbije, Crne Gore, Republike Srpske, Mađarske, Slovačke, Rumunije i Ukrajine). Na osnovu godišnjih podataka iz baze CarpatClim izračunate su prosečne godišnje padavine i srednje temperature u periodu 1961-2010 (slike 2 i 3).

Zbog relativno grube prostorne rezolucije, izvršeno je poređenje podataka iz baze CarpatClim sa podacima osmatranja na izabranim klimatološkim stanicama u Srbiji, preuzetih iz klimatoloških godišnjaka RHMZ.

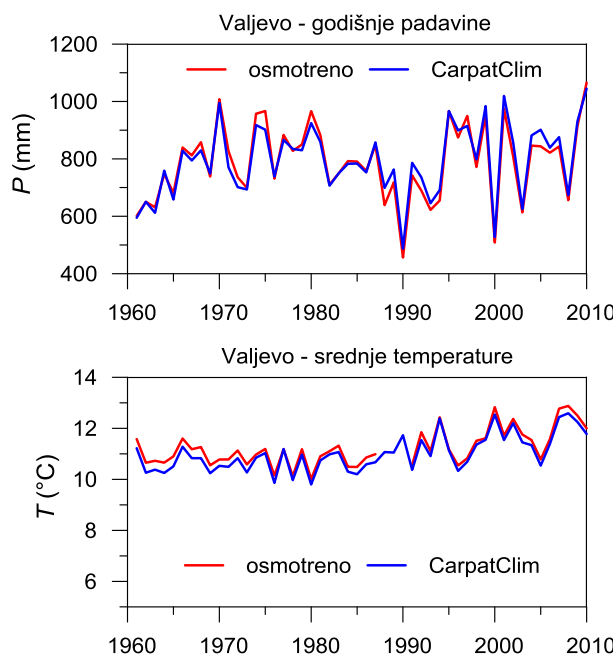


Slika 2. Prosečne godišnje padavine za 1961-2010 iz baze CarpatClim

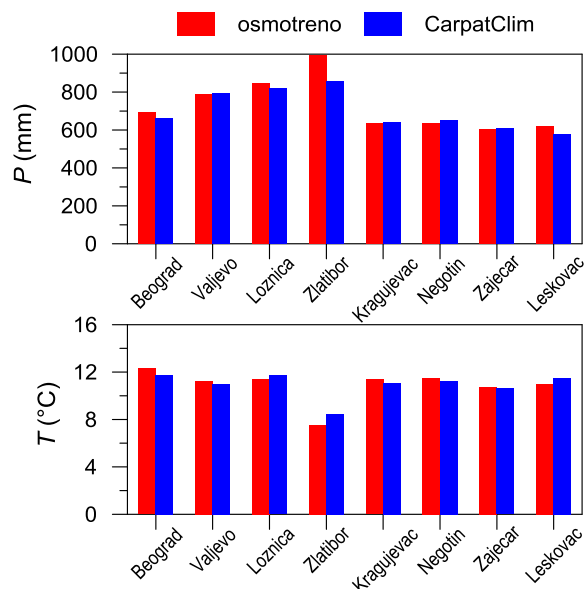


Slika 3. Srednje temperature za 1961-2010 iz baze CarpatClim

Na slici 4 je izdvojen grafički prikaz vremenskih serija godišnjih podataka za stanicu Valjevo radi ilustracije. Sa ove slike se može videti da se godišnje padavine i srednje godišnje temperature iz projekta CarpatClim u ćeliji rastera u kojoj se nalazi stanica Valjevo dobro slažu sa osmotrenim podacima na ovoj stanici. Kako se kao ulazni podaci u razmatranim metodama koriste prosečne višegodišnje vrednosti, odstupanja kojih ima u pojedinim godišnjim vrednostima generalno ne dovode u pitanje dobro slaganje prosečnih višegodišnjih vrednosti. Na slici 5 dat je uporedni prikaz prosečnih temperatura i padavina sračunatih na osnovu nizova osmotrenih podataka na izabranim stanicama i na osnovu podataka iz odgovarajuće ćelije rastera u bazi CarpatClim. Jedina stanica na kojoj se vidi značajnije odstupanje je stanica Zlatibor, na kojoj su osmotrene padavine veće a temperature niže od onih iz projekta CarpatClim. Ovo odstupanje je posledica velike nadmorske visine stanice kao jedne tačke u ćeliji rastera, dok podatak iz baze CarpatClim predstavlja prosečnu vrednost za ćeliju rastera veličine 10 x 10 km u kojoj se nalazi ova stanica. Na osnovu ove verifikacije zaključeno je da se podaci iz baze CarpatClim mogu smatrati validnim za proračun prosečnih padavina i temperatura u višegodišnjem periodu.



Slika 4. Poređenje osmotrenih godišnjih padavina (gore) i temperatura (dole) sa podacima iz baze CarpatClim za lokaciju na meteorološke stanice Valjevo.

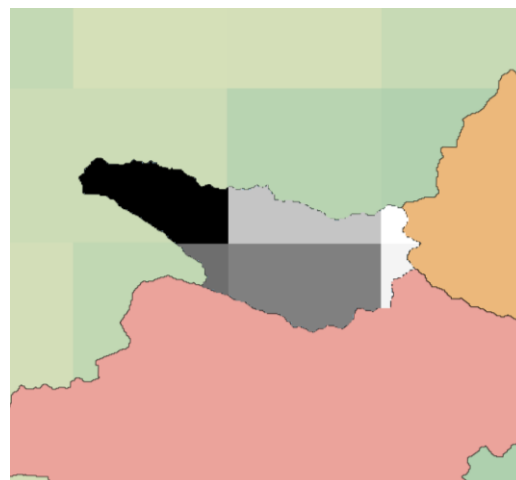


Slika 5. Poređenje osmotrenih prosečnih godišnjih padavina (gore) i srednjih temperatura (dole) sa podacima iz baze CarpatClim na lokacijama nekoliko meteoroloških stanica.

#### 2.4 Primena GIS-a za proračun prosečnih padavina i temperatura na slivovima

Određivanje prosečnih padavina i temperatura na slivovima sprovedeno je u GIS okruženju, korišćenjem rasterskih podataka o padavinama i temperaturama i vektorskih podataka o granicama slivova. Za manipulaciju i obradu digitalnih prostornih podataka korišćen je program QGIS. To je GIS aplikacija otvorenog koda koja omogućava vizuelizaciju, upravljanje, uređivanje i analizu geopodataka.

Sve podloge su dovedene u istu projekciju (WGS84). Granice slivova, koje su bile na raspolaganju u vektorskom formatu, transformisane su u rastere sa ćelijama veličine 0,001° x 0,001°. U rasteru koji predstavlja sliv, pikseli na slivu imaju vrednost 1, a izvan sliva 0. Ovo omogućava da se množenjem rastera temperatura ili padavina sa rasterom sliva dobiju izdvojeni podaci na samom slivu. Primer izdvajanja podataka iz baze CarpatClim na slivu prikazan je na slici 6. Prosečna vrednost padavina ili temperature na slivu dobija se kao jedan od statističkih parametara vezanih za podatke u rasteru.



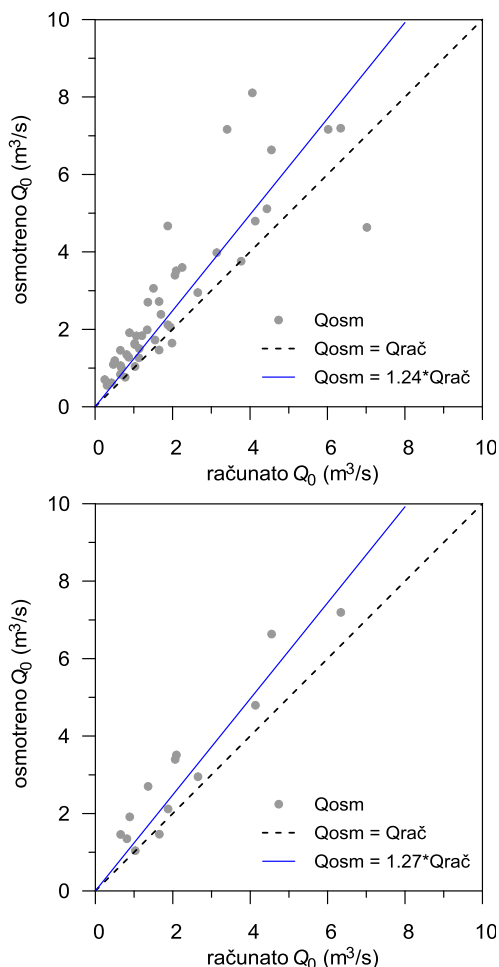
Slika 6. Primer preklapanja rastera sa padavinama iz baze CarpatClim sa slivom reke Banjske do stanice Vranjska banja.

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

#### 3.1 Metoda Turka

Za teritoriju Srbije i za korišćene ulazne podatke, metoda Turka generalno daje srednje protoke koji su manji od izmerenih vrednosti. Na slici 7 gore prikazano je poređenje računatih protoka po metodi Turka sa izmerenim vrednostima za sve razmatrane slivove. Linearnom regresijom, uz uslov da prava prolazi kroz koordinatni početak, dobijeno je da vrednosti sračunate metodom Turka treba množiti koeficijentom 1.24 da bi se dobile izmerene vrednosti protoka. Koeficijent determinacije  $R^2$  za ovu regresionu zavisnost iznosi 0.715. Drugim rečima, srednje protoke procenjene metodom Turka treba povećati za 24% kako bi u proseku rezultati ove metode bili uporedivi sa izmerenim vrednostima.

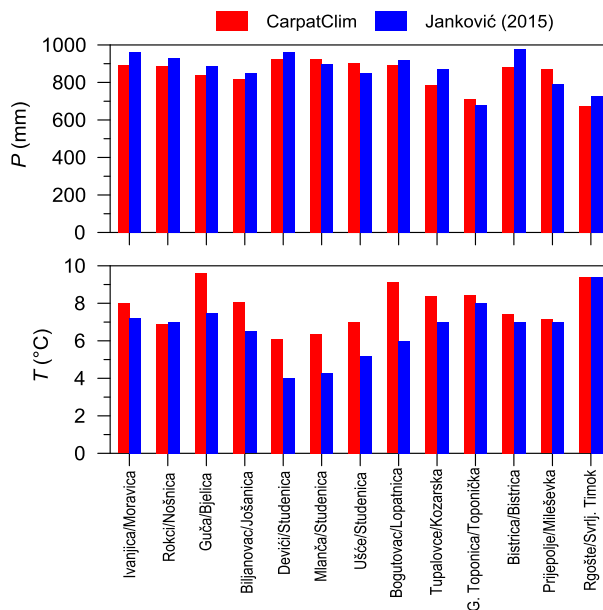
Navedeni rezultati pokazuju lošije slaganje srednjih protoka po metodi Turka nego u radu Jankovića (2015), u kome je faktor korekcije znatno manji (1.031) uz znatno bolje slaganje na koje ukazuje koeficijent determinacije od  $R^2 = 0.969$ . Na slici 7 dole izdvojeni su rezultati iz ovog rada za 13 slivova koje je analizirao i Janković (2015), gde se vidi da je faktor korekcije sličan kao za sve slivove (1.267) uz koeficijent determinacije od  $R^2 = 0.879$ . Ovakve razlike su posledica donekle različitih prosečnih padavina i veoma različitih srednjih temperatura koji su korišćeni u ovom radu i u radu Jankovića (2015), što je ilustrovano na slici 8.



Slika 7. Odnos sračunatog srednjeg protoka po metodi Turka i izmerenih vrednosti za razmatranih 46 slivova (gore) i 13 slivova (dole).

### 3.2 Metoda Langbajna

Poređenje računatih protoka po originalnoj metodi Langbajna sa vrednošću parametra  $\Theta = 0.886$  prikazano je na slici 9 gore za sve razmatrane slivove. Ovako primenjena metoda Langbajna takođe generalno daje manje srednje protoke od izmerenih vrednosti. U ovom slučaju linearnom regresijom je dobijeno da vrednosti sračunate metodom Langbajna treba, u proseku, množiti koeficijentom 1.109 da bi odgovarale izmerenim. Za ovu regresionu zavisnost koeficijent determinacije  $R^2$  iznosi 0.877 i ukazuje na bolje slaganje sračunatih i izmerenih protoka u odnosu na metodu Turka.

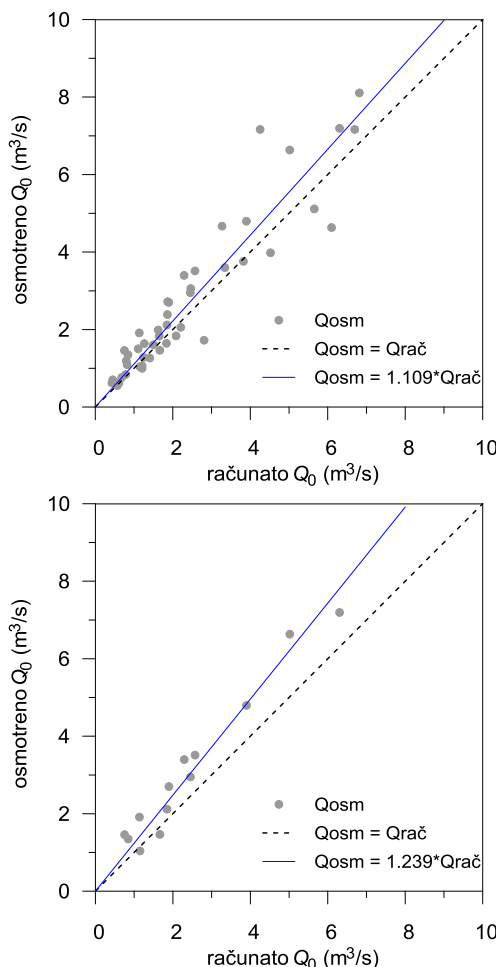


Slika 8. Poređenje prosečnih padavina i temperatura na 13 slivova u ovom radu prema podacima iz baze CarpatClim i iz rada Jankovića (2015).

Prikazani rezultati po metodi Langbajna imaju lošije slaganje nego u radu Jankovića (2015), gde je slaganje bilo bolje ( $R^2 = 0.992$ ) i faktor korekcije bio nešto povoljniji (1.083). Kada se iz rezultata ovog rada izdvoji 13 slivova koje je analizirao Janković (2015), prikazanih na 9 dole, dobija se nešto bolje slaganje sa koeficijentom determinacije od  $R^2 = 0.953$ , ali sa znatno većim faktorom korekcije od 1.239.

Prethodni rezultati ukazuju da je rasipanje veće za veće slivove, odnosno da bi se korekcijom parametra  $\Theta$  u zavisnosti od površine sliva možda postigli bolji rezultati. Za svaki sliv je zato određen optimalni parametar  $\Theta_0$  sa kojom je izračunati protok jednak izmerenom i analizirana je njegova korelacija sa površinom sliva (slika 10). Međutim, ne uočava se nikakva pravilnost u ovoj zavisnosti koja bi pomogla da se parametar  $\Theta$  za neizučene slivove oceni na osnovu površine sliva.

Druga varijanta metode Langbajna koja je razmatrana jeste varijanta sa kalibrisanom vrednosti parametra  $\Theta$  za sve razmatrane slivove. U pokušaju da se parametar  $\Theta$  dobije optimizacijom u odnosu na koeficijent determinacije  $R^2$  u linearnoj regresiji između računatih i izmerenih srednjih protoka pokazalo se da se koeficijent determinacije ne menja znatno sa promenom parametra  $\Theta$  i da se ne može izdvojiti njegova optimalna vrednost.



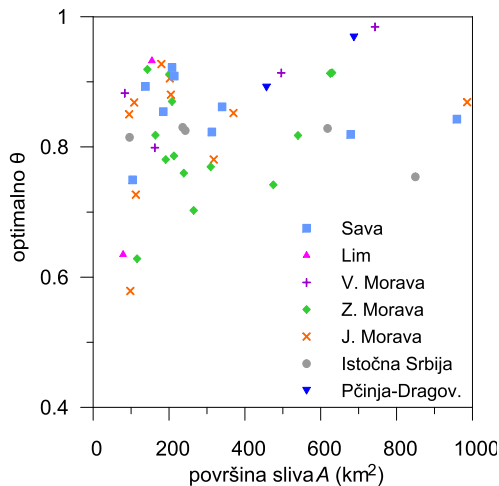
Slika 9. Odnos sračunatog srednjeg protoka po metodi Langbajna sa  $\Theta = 0.886$  i izmerenih vrednosti za razmatranih 46 slivova (gore) i 13 slivova (dole).

Zaključeno je da više ima smisla odrediti jedinstvenu vrednost za parametar  $\Theta$  sa kojom nema potrebe za korekcijom rezultata proračuna, tj. sa kojom bi nagib regresione prave između računatih i izmerenih srednjih protoka bio 1 ( $Q_{osm} = Q_{rač}$ ). Metodom najmanjih kvadrata za ocenu koeficijenta pravca u regresionoj zavisnosti  $y = a \cdot x$  dobija se:

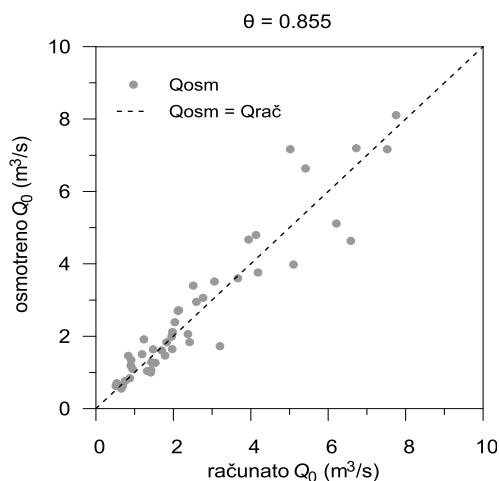
$$a = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2} \tag{8}$$

gde niz  $x_i$  predstavlja protoke računate metodom Langbajna, a niz  $y_i$  izmerene protoke. Uz uslov da je  $a = 1$ , parametar  $\Theta$  je određen korišćenjem modula Solver u programu MS Excel.

Na ovaj način dobijena je vrednost parametra  $\Theta = 0.855$ , a koeficijent determinacije u ovom slučaju iznosi  $R^2 = 0.887$  (slika 11). U odnosu na varijantu proračuna sa originalnom vrednošću parametra  $\Theta = 0.886$ , koeficijent determinacije je malo povećan (sa 0.877 na 0.887), pri čemu je jednostavnije koristiti vrednost parametra  $\Theta = 0.855$  jer u tom slučaju nije potrebna korekcija rezultata proračuna.



Slika 10. Optimalne vrednosti parametra  $\Theta$  u zavisnosti od površine sliva.



Slika 11. Odnos sračunatog srednjeg protoka po metodi Langbajna sa  $\Theta = 0.855$  i izmerenih vrednosti.

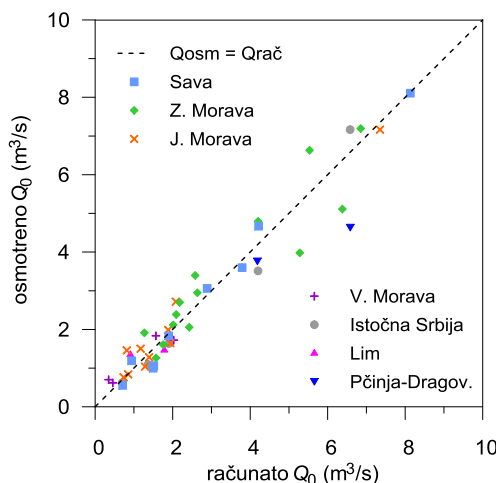
Treća razmatrana varijanta za primenu metode Langbajna je obuhvatila ocenu parametra  $\Theta$  po grupama glavnih slivova. Slivovi su podeljeni u 5 grupa, dok dve stanice na Limu i dve stanice na Pčinji i Dragovišćici



nisu učestvovala u ovoj analizi. Primenjen je isti kriterijum kao u prethodnoj varijanti, tj. da nagib regresione prave između računatih i izmerenih srednjih protoka bude 1. U tabeli 3 prikazane su grupe stanica i dobijene vrednosti parametra  $\Theta$  za svaku grupu. Po pravilu, vrednosti parametra  $\Theta$  su manje od originalne vrednosti  $\Theta = 0.886$ . Optimalne vrednosti  $\Theta$  za grupu Sava (koja obuhvata stanice na Jadru, Kolubari i Topčiderskoj reci) i za grupu stanica u slivu Zapadne Morave veoma su slične (0.842 i 0.845). Vrednost  $\Theta = 0.862$  za grupu stanica na Južnoj Moravi je najbliža originalnoj vrednosti, dok je najveća razlika za grupu Istočna Srbija/Pritoke Dunava (stanice u slivovima Mlave, Peka, Porečke reke i Timoka) za koju optimalni parametar  $\Theta$  iznosi 0.784. Rezultat dobijen za Veliku Moravu može se odbaciti kao nepouzdan jer je određen na osnovu samo četiri stanice sa velikim odstupanjima. Rezultati proračuna metodom Langbajna korišćenjem koeficijenta  $\Theta$  za pojedine grupe prikazani su na slici 12.

Tabela 3. Vrednost parametra  $\Theta$  određen po grupama slivova.

Grupa	Broj stanica	Parametar $\Theta$
Sava (Jadar, Kolubara, Topčiderska r.)	9	0.842
Z. Morava	16	0.845
J. Morava	10	0.862
Istočna Srbija/Pritoke Dunava	5	0.784
V. Morava	4	0.941



Slika 12. Odnos sračunatog srednjeg protoka po metodi Langbajna sa parametrom  $\Theta$  po grupama i izmerenih vrednosti.

Metoda Langbajna, sa parametrom  $\Theta$  kalibrisanim po grupama daje bolje rezultate nego u prethodnim varijantama. Koeficijent determinacije  $R^2$  u ovoj varijanti iznosi 0.943, što je veće od  $R^2 = 0.877$  za varijantu originalne vrednosti parametra  $\Theta = 0.886$  i od  $R^2 = 0.887$  za varijantu vrednosti parametra  $\Theta = 0.855$ . U ovoj varijanti četiri stanice nisu svrstane u grupe za koje je optimizovan parametar  $\Theta$ ; ako se srednji protok na tim stanicama računa vrednošću parametra  $\Theta = 0.855$ , ne dolazi do značajnog pogoršanja slaganja izmerenih i računatih vrednosti za svih 46 slivova (tada je  $R^2 = 0.924$ ).

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu prikazanih rezultata proračuna prosečnog oticaja metodama Turka i Langbajna sa originalnim parametrom  $\Theta = 0.886$ , može se zaključiti da metoda Turka ima veće rasipanje rezultata proračuna u odnosu na metodu Langbajna i generalno daje ocene srednjeg protoka koje su manje od izmerenih vrednosti. Takođe, potrebna korekcija rezultata proračuna je veća kod metode Turka (24%) u odnosu na originalnu metodu Langbajna (11%). Iz ovih razloga, prednost se može dati metodi Langbajna. Ovakav zaključak je u skladu sa zaključcima Jankovića (2015).

Za primenu metode Langbajna za teritoriju Srbije utvrđeno je da generalno daje rezultate bliže izmerenim vrednostima ukoliko je parametar  $\Theta$  manji od originalnog. Na osnovu rezultata proračuna i kalibracije parametra  $\Theta$  na 46 izučenih slivova površine do 1000 km<sup>2</sup>, može se dati preporuka za korišćenje vrednosti parametra  $\Theta = 0.855$  za male neizučene slivove u Srbiji, bez potrebe za korekcijom rezultata proračuna.

Grupisanjem stanica u veće slivove i određivanjem parametra  $\Theta$  za svaku grupu došlo se do zaključka da se vrednost kalibrisanog parametra  $\Theta$  kreće, bez većih odstupanja, oko spomenute vrednosti  $\Theta = 0.855$ . Izuzetak je istočna Srbija, gde su kalibrisane vrednosti parametra  $\Theta$  po pravilu niže u odnosu na ostale grupe. Kako se do ovog zaključka došlo na osnovu rezultata proračuna sa pet stanica u ovoj oblasti, nije data preporuka za korišćenje kalibrisane vrednosti  $\Theta = 0.784$  na teritoriji istočne Srbije. Ipak, ova oblast mogla bi da bude predmet daljeg istraživanja u pogledu primenljivosti metode Langbajna, jer način podele na grupe slivova (regione) može da utiče na rezultate (Blagojević i sar., 2010; Blagojević i Plavšić, 2013).

Na osnovu svih prikazanih rezultata može se zaključiti da metode daju dobre rezultate, ali primetno bolje kod metode Langbajna. Svi rezultati ukazuju da se metode mogu koristiti na neizučeniim slivovima na teritoriji Srbije uz korišćenje podataka sa digitalnog repozitorijuma projekta CarpatClim. Ne preporučuje se korišćenje metoda nad slivovima koji nisu u prirodnom režimu ili su u karstnim područjima.

Bitno je naglasiti da se ulazni podaci mogu razlikovati u zavisnosti od načina na koji su određeni i perioda iz kojeg su korišćeni podaci. U radu Jankovića (2015) za određivanje prosečnih padavina i temperatura korišćene su karte izolija, izrađene za različite periode vremena. Poređenjem rezultata Jankovića (2015) sa rezultatima u ovom radu, za iste slivove, može se videti uticaj razlike u ulaznim podacima.

U radu Langbajna (Langbein, 1962) predloženo je korigovanje zavisnosti  $Q_0/E$  od  $P_0/E$  prema sezonskom faktoru. Sezonski faktor se računa na osnovu unutargodišnjeg režima (mesečnih vrednosti) padavina i geografske širine na kojoj se nalazi sliv. Kako je Langbajn izradio metodu za prostor SAD, koje se prostiru na geografskim širinama od  $30^\circ$  do  $50^\circ$ , dok se Srbija prostire od  $41^\circ$  do  $47^\circ$  severne geografske širine, predmet daljeg istraživanja može biti uticaj sezonske korekcije na rezultate procene prosečnih protoka na teritoriji Srbije.

Primenljivost metode Langbajna uz neophodne korekcije za slivove u Srbiji omogućava i da se ova metoda primeni u analizi uticaja klimatskih promena na raspoložive vodne resurse tako što bi se u proračune ušlo sa projekcijama prosečnih godišnjih temperatura i padavina. Na taj način bi se mogle dati preliminarne ocene efekata klimatskih promena u onim analizama u kojima, zbog nedostatka podataka ili drugih ograničenja, nije moguće primeniti složenije pristupe zasnovane na razvoju hidroloških modela, kao npr. u radovima Stojkovića i sar. (2014) ili Plavšić i sar. (2017).

## ZAHVALNOST

Autori se zahvaljuju prof. dr Vladimiru Đurđeviću sa Instituta za meteorologiju Fizičkog fakulteta Univerziteta u Beogradu na sugestijama vezanim za podatke iz projekta CarpatClim, kao i Nikoli Zlatanoviću, spec. inž. građ., na pomoći oko pripreme digitalnih podloga za određivanje granica slivova. U radu su korišćeni i

rezultati istraživanja iz projekata tehnološkog razvoja TR 37010 i TR 37005 kod Ministarstva nauke i tehnološkog razvoja.

## LITERATURA

- [1] Blagojević, B., Plavšić, J. i Živković, N. (2010) Regionalizacija prosečnih voda na teritoriji Srbije. *Zbornik radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu*, br. 25, str. 1-8.
- [2] Blagojević, B., Plavšić, J. (2013) A normalized regression based regional model for generating flows at ungauged basins, *Water Science and Technology*, 68(1): 99-108.
- [3] Isailović D., Prohaska S., Majkić B. (2007) Zavisnost komponenti hidrološkog bilansa Srbije. *Vodoprivreda*, 39(5-6): 239-252.
- [4] Janković, D. (2015) O određivanju prosečnog oticanja sa neizučeniim slivova na teritoriji Srbije. *Zbornik radova 17. Savetovanja SDHI - SDH, Vršac, Srbija*. str. 816-825.
- [5] Langbein, W.B. (1962) The water supply of arid valleys in intermountain regions in relation to climate. *Bulletin of the International association of Scientific Hydrology*, Vol. 7, No. 1, pp. 34-39.
- [6] Langbein, W.B. and others (1949) *Annual runoff in the United States*, US Geological Survey, Circular 52.
- [7] Plavšić J., Dašić T., Milovanović I. (2017) Modeliranje vodoprivrednog sistema sliva Drine i analiza izabраниh razvojnih i klimatskih scenarija, *Vodoprivreda*, 49 (1-3), str. 125-13.
- [8] Stojković M., Plavšić J., Prohaska S. (2014) Dugoročne promene godišnjih i sezonskih proticaja: primer reke Save, *Vodoprivreda*, 46(1-6): 39-48.
- [9] Szalai, S., Auer, I., Hiebl, J., Milkovich, J., Radim, T., Stepanek, P., Zahradnicek, P., Bihari, Z., Lakatos, M., Szentimrey, T., Limanowka, D., Kilar, P., Cheval, S., Deak, Gy., Mihic, D., Antolovic, I., Mihajlovic, V., Nejedlik, P., Stastny, P., Mikulova, K., Nabyvanets, I., Skyryk, O., Krakovskaya, S., Vogt, J., Antofie, T., Spinoni, J. (2013) Climate of the Greater Carpathian Region. Final Technical Report. CARPATCLIM Database © European Commission - JRC, www.carpatclim-eu.org.

ASSESSMENT OF MEAN FLOWS IN SERBIA USING GRIDDED  
PRECIPITATION AND TEMPERATURE DATA

by

Jovan BLAGOJEVIĆ, Jasna PLAVŠIĆ

University of Belgrade – Faculty of Civil Engineering

Samir ĆATOVIĆ

Republic Hydrometeorological Service of Serbia, Belgrade

Andrijana TODOROVIĆ

University of Belgrade – Faculty of Civil Engineering

Summary

The paper presents a study of estimating mean flows in Serbia by using the methods for ungauged basins applied to 46 gauged basins with drainage area up to 1000 km<sup>2</sup>. The applied methods are the water balance method with Turc equation for evaporation, and the Langbein's method. Both methods use mean temperatures and mean annual precipitation over the basin as the input data. In this paper, the climatological input is obtained from the digital climatological database CarpatClim, which is provided in the grid format with horizontal resolution of about 10 km x 10 km and cover the

1961-2010 period. The gauged basins are treated as ungauged and the estimated mean flows are compared to those calculated from the observed data. The study has shown that the Langbein's method provides better results, but that it needs calibration of one of its parameters in order to provide more reliable mean flow estimates.

Key words: mean flows, ungauged catchments, Turc method, Langbein method, gridded climatological data.

Redigovano 4.11.2018.