

primljen: 20.01.2023.
korigovan: 28.02.2023.
prihvaćen: 01.03.2023.

izvorni naučni rad

UDK : 556.53:551.583(497.11)

PRIPREMA KLIMATOLOŠKIH PODLOGA ZA OCENU PROSEČNIH PROTOKA U USLOVIMA BUDUĆE KLIME U SLIVU JUŽNE MORAVE

Nikola Đokić¹, Borislava Blagojević²

Rezime: Digitalne karte padavina i temperatura vazduha su bitan rezultat simulacije klime za hidrološke analize kroz klimatske modele. U radu se obrađuju rasterski podaci jednog regionalnog klimatskog modela (EBU-POM) i jednog globalnog modela (EC-Earth3-Veg). Cilj rada je formiranje podloga za ispitivanje uticaja klimatskih promena na srednje vode u gornjem i srednjem toku Južne Morave. Istraživanjem je obuhvaćen način prenošenja rasterskih podataka koji predstavljaju vrednosti prosečnih godišnjih padavina i temperatura na područje dvadeset slivova do profila hidroloških stanica u periodu 1970-2100. godina. Korišćene su različite tehnike u GIS okruženju radi razgraničenja slivova i usklađivanja vremenskih i prostornih podloga. Verifikacija podataka dobijenih iz dva klimatska modela izvršena je na osnovu osmotrenih vrednosti na lokacijama klimatoloških stanica. Rezultati ukazuju da globalni klimatski model, zbog bolje prostorne rezolucije, daje nešto bolje rezultate u periodu verifikacije u odnosu na regionalni model, koji pak ima bolju vremensku rezoluciju.

Ključne reči: rasterski klimatološki podaci, srednja godišnja temperatura vazduha, godišnja suma padavina, EC-Earth3-Veg, EBU-POM, sliv Južne Morave

PREPARATION OF RASTER CLIMATE DATA FOR ESTIMATING MEAN FLOWS IN THE FUTURE CLIMATE CONDITIONS IN THE JUŽNA MORAVA RIVER BASIN

Abstract: Digital maps of precipitation and air temperature are an important result of climate simulation for hydrological analyses obtained by climate models. The raster data from one regional climate model (EBU-POM) and one global model (EC-Earth3-Veg) are used in this research. The research goal is to create data for investigating the impact of climate change on mean flows in the upper and middle reaches of the Južna Morava river basin. This research includes investigating raster data representing values of average annual precipitation and temperature transfer models to twenty catchments of hydrological stations in the period 1970-2100. Various techniques were used in the GIS environment for catchment delineation, and harmonization of temporal and spatial data sources. The verification of the data obtained from the two climate models was done according to gauged data at climatological stations. The results indicate that the global climate model, due to its better spatial resolution, gives somewhat better results in the verification period compared to the regional model, which in turn has a better temporal resolution.

Key words: Raster Climatological Data, Mean Annual Air Temperature, Annual Precipitation Sum, EC-Earth3-Veg, EBU-POM, The Južna Morava River Basin

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

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

1 UVOD

Klimatske promene se sve češće pominju u javnosti s obzirom na njihov sve izraženiji negativan uticaj na prirodu i društvo. Dokazano je da su one najčešće izazvane ljudskom aktivnošću [1]. Posledice promene klime se primarno odnose na povećanje temperature vazduha usled povećanja koncentracija ugljen-dioksida (CO₂) u atmosferi zbog korišćenja fosilnih goriva, što dalje povećava efekat staklene bašte. Neke od posledica povećanja temperature su topljenje glečera, porast nivoa mora i intenzivnija pojava ekstremnih meteoroloških i hidroloških događaja [2].

Klimatske promene imaju dve komponente: prostornu i vremensku. Obe komponente su nelinearne i prikazuju se preko srednjih vrednosti, ekstrema ili drugih pokazatelja meteoroloških uslova u nekom vremenskom opsegu na određenoj lokaciji ili teritoriji [3]. Prostorna komponenta ima značajnu ulogu u analizi režima rečnog toka na nekom slivu, s obzirom da su uslovi formiranja oticaja promenljivi po površini sliva i zbog drugih činioca, npr. reljefa, pedoloških i geoloških karakteristika tla.

Pređašnje upravljanje vodama bilo je konzervativno jer se oslanjalo isključivo na istorijske podatke, pri čemu se pretpostavljala njihova stacionarnost kroz vreme. Novi pristup uzima u obzir promenljive klimatske podatke u procesu planiranja i projektovanja vodoprivrednih sistema [4], kroz kompleksne modele.

Kompleksni (klimatski) modeli koriste različite izvore i podatke u cilju praćenja klimatskih promena. Svi klimatski modeli (globalni i regionalni) imaju određenu dozu neizvesnosti u proceni promene klime – modeli nisu savršeni. Nesavršenost pre svega proizilazi iz nedovoljne spoznaje ponašanja svih procesa koji utiču na komponente klime. Kako se mnogi parametri modela ne mogu predvideti sa sigurnošću, definisani su različiti scenariji kako bi se približno definisao mogući raspon klimatskih promena [5].

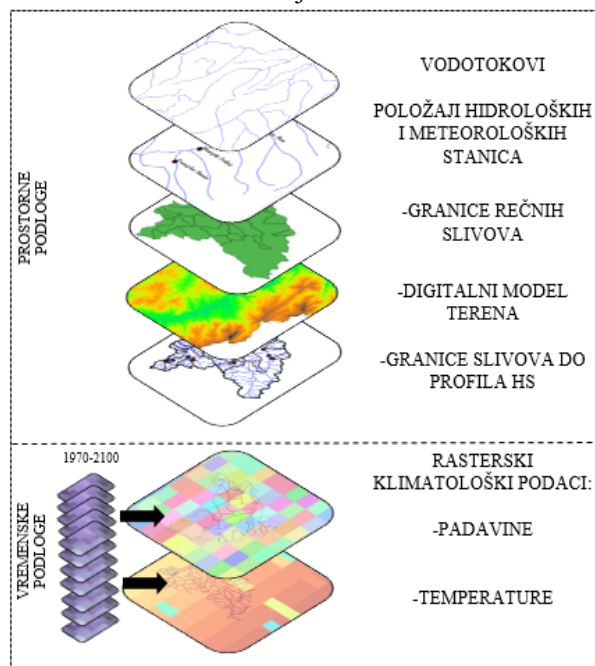
Globalni klimatski modeli (GKM) imaju generalno grubu rezoluciju, zbog čega se kod razmatranja određenih, manjih područja, koriste regionalni klimatski modeli (RKM), koji u osnovi imaju bolju rezoluciju [6]. Prvobitni GKM imali su veliku rezoluciju 150-300 km, čime je bilo onemogućeno vršenje ispitivanja klimatskih promena na regionalnom i lokalnom nivou [7].

U ovom radu razmatrani su rasterski podaci koji predstavljaju vrednosti prosečnih godišnjih padavina i temperatura dobijenih iz jednog GKM i jednog RKM. Prvi model obuhvata podatke iz poslednjeg, šestog, a drugi iz četvrtog izveštaja [1, 19] Međunarodnog panela o klimatskim promenama (IPCC). Prenošenje rasterskih podataka iz ovih klimatskih modela na nivo rečnog sliva, prikazano je za dvadeset slivova u gornjem i srednjem toku Južne Morave, čije se površine kreću u opsegu od 95 do 9396 km². Cilj istraživanja je formiranje podloga i utvrđivanje pogodnosti razmatranih klimatoloških modela za ispitivanje uticaja klimatskih promena na prosečne vode u pogledu pouzdanosti ulaznih podataka – podloga. Istraživanje je urađeno u GIS okruženju, zbog postojanja brojnih GIS aplikacija razvijenih ciljno za primenu u hidrologiji, te je npr. moguće izvršiti ekstrapolaciju podataka dobijenih merenjem u tačkama (profili hidroloških, klimatskih i meteoroloških stanica) na šira područja, primenom odgovarajućih algoritama [8].

2 METODOLOGIJA

2.1 PREGLED RASPOLOŽIVIH PODLOGA I PODATAKA

Istraživanje je urađeno na podlogama i podacima koji se mogu pronaći u javno dostupnim izvorima. Slika 1 ilustruje prostorne i vremenske podloge korišćene u ovom istraživanju.



Slika 8 – Digitalne podloge korišćene u istraživanju

Podloge koje su korišćene u ovom radu sistematizovane su u tabeli 1.

Tabela 1 – Pregled podloga korišćenih u istraživanju

Vrsta podloge	Model podataka	Period	Naziv podloge	Izvor
Prostorna	Vektorski	-	Rečna mreža Republike Srbije	[9]
Prostorna	Vektorski	-	Položaji hidroloških (HS) i klimatoloških stanica (KS)	[9], [10]
Prostorna	Vektorski	-	Granice rečnih slivova	[9]
Prostorna	Rasterski	-	Digitalni model terena	[11]
Vremenska	Rasterski	1970-2100	Višegodišnje padavine i temperature iz baze klimatoloških podataka World Clim, za globalni klimatski model EC-Earth3-Veg	[12]
Vremenska	Rasterski	1970-2100	Mesečne padavine i temperature iz regionalnog klimatskog modela EBU-POM	[13]
Vremenska	Numerički	1970-2000	Osmotrene padavine i temperature za 6 KS	[9]

2.2 PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je urađeno za područje slivova u gornjem i srednjem delu sliva Južne Morave, oblasti

na teritoriji Republike Srbije koja je najviše izložena klimatskim promenama [14].

U tabeli 2 dat je spisak dvadeset razmatranih slivova do profila hidroloških stanica (HS) obrađenih u ovom istraživanju.

Tabela 2 – Spisak razmatranih slivova do profila HS

Redni broj	Hidrološka stanica	Površina sliva A (km ²)	Reka
1	Magovo	180	Toplica
2	Donja Selova	353	Toplica
3	Pepeljevac	986	Toplica
4	Prokuplje	1774	Toplica
5	Doljevac	2083	Toplica
6	Merčez	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	Korvingrad	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

2.3 RAZGRANIČAVANJE REČNIH SLIVOVA DO PROFILA HIDROLOŠKIH STANICA

Nivo prostorne obrade podataka u istraživanju jeste rečni sliv u profilu HS. Razgraničenje (delineacija) rečnih slivova urađena je u programskom paketu Quantum GIS verzija 3.16 (QGIS) kroz sledeće korake:

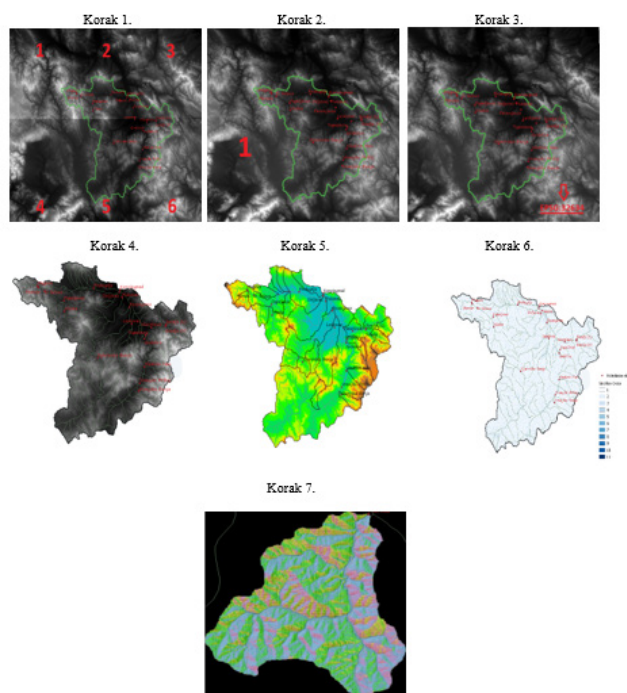
1. Preuzimanje DMT. Podacu su preuzeti iz javno dostupnog izvora [11] preko dodatka za QGIS *SRTM Downloader*;
2. Spajanje preuzetih karata. Korišćena je funkcija *Build Virtual Raster*;
3. Promena projekcije. Preuzeta rasterska slika je preprojektovana preko opcije *Warp*, u ciljnu projekciju WGS 84 / UTM zona 34N (EPSG:32634);
4. Ograničavanje područja na gornji i srednji tok Južne Morave. Korišćena je opcija *Clip raster by mask layer*;
5. Korekcija anomalija DMT. Upotrebljen je alat *Fill Sinks (wang & liu)* [15]. U ovom koraku je adekvatnim izborom boja i klasa stvorena i predstava reljefa terena;
6. Prepoznavanje rečne mreže. Alatom *Strahler Order* (Stralero rang vodotoka) određeni su pikseli kojima se voda drenira sa slivova – vodotokovi;
7. Određivanje podslivova. Dobijanje podslivova i rečne mreže u vektorskom obliku sprovedeno je funkcijom *Channel Network and Drainage Basins* iz paketa *Saga*;
8. Automatska delineacija sliva. Korišćenjem funkcije *Upslope Area* izvršeno je izdvajanje pripadajućeg sliva do profila HS.

Slika 2 ilustruje primer primene prvih sedam koraka u opisanom postupku automatske delineacije slivova.

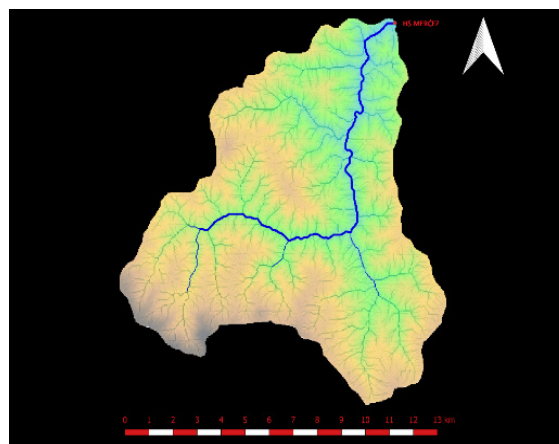
Na slici 3 prikazan je poslednji, osmi korak u procesu automatske delineacije sliva do profila HS, na primeru HS Merčez na Lukovskoj reci.

Automatska delineacija slivova u QGIS-u nije bila moguća za sve razmatrane HS u ovom istraživanju, zbog slabijih karakteristika korišćenog računara u odnosu na konfiguracije koje se koriste za zahtevnije obrade slika. Konkretno, istraživanje je sprovedeno na Lenovo ideapad 300 računaru sa sledećim osnovnim karakteristikama: hard disk (500 GB HDD), procesor (Intel Pentium Quad Core), RAM memorija 4GB (4GB (4GB x 1) DDR3L 1600MHz SDRAM),

grafička kartica (nVidia GeForce 920M sa 1GB DDR3).



Slika 9 - Primer sprovedenog postupka automatskog razgraničenja sliva do profila HS po koracima 1-7



Slika 10 - Automatski razgraničen rečni sliv do profila HS Merčez

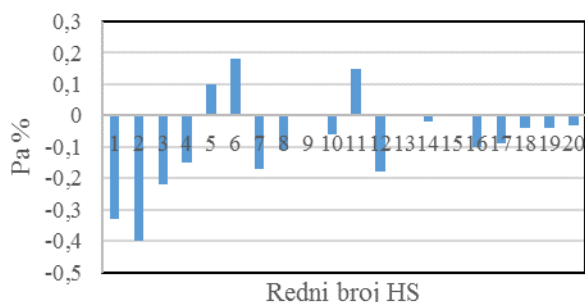
U slučajevima kada nije bilo moguće uraditi automatsko razgraničenje slivova, urađeno je standardno ('ručno') razgraničenje digitalizacijom vododelnice na osnovu DMT. Provera dobijenih granica slivova izvršena je poredjenjem njihovih površina sa podacima iz baze RHMZ-a (Slika 4). Na slici 5 su prikazani svi slivovi HS na izučavanom području. Ručna, pa u nekim slučajevima i

automatska delineacija slivova ponavljana je više puta jer i pored DMT nije lako odrediti granice slivova u zoni oko samih HS. Radi poređenja razlike dobijenih površina korišćena je procentualna razlika površina (Pa) dobijena prema sledećoj formuli:

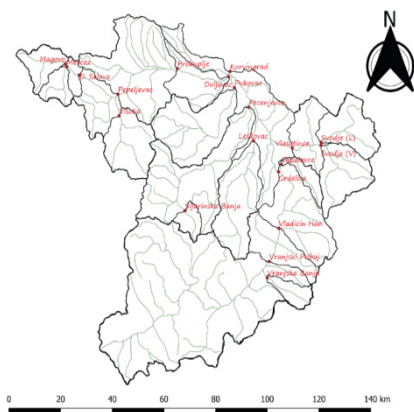
$$Pa = \frac{A_{SRAC} - A_{RHMZ}}{A_{RHMZ}} * 100\% \quad (1)$$

pri čemu je:

- A_{SRAC} površina dobijena razgraničenjem sliva do profila HS,
- A_{RHMZ} površina iz baze RHMZ-a.



Slika 11 – Procentualne razlike dobijenih površina slivova



Slika 12 - Granice slivova do profila HS na izučavanom području gornjeg i srednjeg toka sliva Južne Morave

U slučaju HS Svođe na Lužnici (tabela 2, br. 9), HS Sijarinska Banja na Banjskoj reci (tabela 2, br. 15) i HS Visoka na Kosanici (tabela 2, br.13), dobijene su identične površine kao i one koje su u bazi RHMZ. Višestrukom obradom i površine ostalih stanica svedene su približno na površine iz baze RHMZ. Vrednosti procentualnih razlika površina kreću se u opsegu od 0.18% do -0.4% i ukazuju na zanemarljiva odstupanja koja ne mogu imati uticaj na konačne rezultate istraživanja.

2.4 SVOĐENJE KLIMATOLOŠKIH PODATKA NA NIVO SLIVA

2.4.1 Globalni klimatski model

WC je baza globalnih klimatskih podataka visoke prostorne rezolucije. U istraživanju je korišćena verzija 2.1, objavljena januara 2020 [12]. Ova baza sadrži 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.

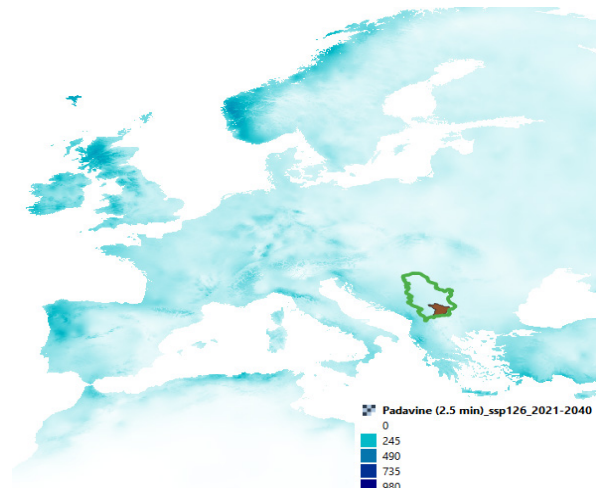
Rasterske podloge koje se mogu preuzeti sa stranice WC, dostupne su u prostornim rezolucijama izraženim u minutima (') i sekundama (") stepena geografske dužine i širine: 10', 5', 2,5', i 30''. Najbolju rezoluciju predstavljaju gridovi od po 30'' (~1 km²), međutim, ovi fajlovi su veoma obimni (više GB memorije) i zahtevaju bolje performanse računara kako bi se manipuliralo njima. Iz tog razloga, odabrana je nešto slabija, ali zadovoljavajuća rezolucija od 2,5' (~21 km²).

Pored podataka o prosečnim mesečnim temperaturama i ukupnim mesečnim padavinama, ova baza sadrži i podatke o 19 bioklimatskih varijabli. Predikcija je izvršena za četiri dvadesetogodišnja perioda:

1. Od 2021. do 2040,
2. Od 2041 do 2060,
3. Od 2061 do 2080,
4. Od 2081 do 2100.

Vrednosti padavina (mm) i temperatura (°C) na nivou sliva za različite periode, dobijene su korišćenjem alata *Zonal Statistics* u QGIS-u, preko čijeg algoritma se vrši proračun različitih statistika za podatke date u rasterskoj formi, preklapljenim sa granicama slivova u vektorskom obliku. Na ovaj način, automatski se dobijaju osrednjene vrednosti analiziranih parametara po slivovima.

WC je podatke o vrednostima klimatskih parametara koje se predviđaju u budućnosti preuzeo na osnovu CMIP6 (*Coupled Modelling Intercomparison project, phase 6*) aktuelnog u poslednjem, šestom Izveštaju IPCC [19], dok je razlaganje podataka (*engl. downscaling*), odnosno dobijanje podataka više iz podataka niže rezolucije, kao i popravka pristrasnosti (*engl. Bias correction*) urađena sa World Clim v2.1. Na slici 6 prikazan je primer rasterskog sloja podataka preuzetih iz WC.



Slika 13 - Grafički prikaz prognoziranih ukupnih godišnjih padavina izraženih u milimetrima za područje Evrope za period 2021-2040 (izvor: [12]). Zelenom bojom je označeno područje Srbije, a braon bojom izučavano područje

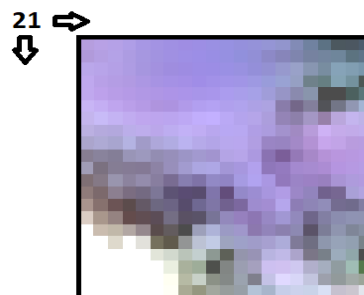
2.4.2 Regionalni klimatski model

Regionalni klimatski model EBU-POM (Eta Belgrade University-Prinstone Ocean Model) [13] u potpunosti obuhvata teritorije Srbije i Crne Gore i deo teritorija okolnih zemalja. Predikcija buduće klime je sprovedena za dva različita klimatska scenarija – A1B i A2, prema četvrtom izveštaju Međunarodnog panela o klimatskim promenama (IPCC) [1]. Klimatski scenario A1B predstavlja umeren, a A2 scenario jačeg intenziteta. Ova podela je sprovedena na osnovu predviđenih koncentracija gasova staklene bašte. Podaci o padavinama i temperaturi su u NetCDF formatu, dostupni za dva perioda – period od 1951 do 2000 godine na osnovu kojih je sproveden eksperiment (referentni period) i period predikcije od 2001. do 2100. godine. Za ove periode moguće je preuzeti dnevne i/ili mesečne vrednosti prosečnih, minimalnih i maksimalnih temperatura, kao i ukupnu visinu padavina.

Za ovo istraživanje, preuzeti su mesečni podaci prosečnih temperatura i visina padavina za referentni period, počevši od 1970. godine, kako bi se napravilo poređenje sa podacima iz WC, i za ceo period predikcije, do 2100. godine. Preuzeti podaci se mogu učitati u rasterskoj formi u vidu grida sastavljenog od 421 polja, odnosno od 21 reda i 21 kolone (slika 7), rezolucije 0.25° x 0.25°.

S obzirom da je potrebno dobiti vrednosti temperatura i padavina po slivovima, potrebno je izvršiti preklapanje polja i slivova koji su dati u vektorskom obliku, kao što je učinjeno sa podacima iz WC. Međutim, u slučaju EBU-POM ovaj postupak

nije bilo moguće sprovesti zbog specifične organizacije podataka u vremenskim opsezima – bendovima (engl. Band).



Slika 14 - Prikaz mesečnih podataka o temperaturi preuzetih iz EBU-POM-a u rasterskoj formi

Za razliku od rešenja primenjenog u radu [16] gde je formirana rasterska maska površine sliva koja se sastoji od vrednosti 0 van sliva i 1 unutar njega, a zatim su dobijani podaci za sliv množenjem rastera temperatura ili padavina sa rasterom sliva, ovde je korišćen dodatak u QGIS-u pod nazivom *Value Tool*. Odabirom određenog piksela, dobija se tabelarni prikaz svih bendova, odnosno svih podataka o mesečnim vrednostima padavina i temperatura. Podaci su zatim izvoženi u Excel i dalje obrađivani u njemu - sračunate su prosečne vrednosti za različite periode koje poseduje svaki od piksela. Svođenje podataka za sliv urađeno je precizno: GIS funkcijom *Overlap Analysis*, određen je procenat učešća svakog piksela u odgovarajućoj površini sliva, a zatim su u Excelu prosečne vrednosti padavina i temperatura svakog piksela množene njegovim učešćem u površini sliva i sumirane za konačni rezultat.

2.5 VERIFIKACIJA KLIMATOLOŠKIH PODATKA

Verifikacija podataka o temperaturi i padavinama dobijenim iz WC i klimatskog modela EBU-POM sprovedena je poređenjem osmotrenih vrednosti u tačkama klimatoloških stanica (KS) sa vrednostima u ćelijama gridova u okviru kojih se nalaze KS.

U pogledu padavina, analizirani su osmotreni podaci i podaci iz klimatoloških modela na 6 KS za period od 1980 do 1982 godine (Prokuplje, Babušnica, Bujanovac, Kukavica, Vlasotince i Predejane). U istom periodu, analizirane su i osmotrene temperature vazduha i one dobijene iz klimatskog modela EBU-POM. Verifikaciju podataka o temperaturama vazduha za slučaj GKM (WC), nije bilo moguće sprovesti za ovaj period, s obzirom da je iz WC moguće jedino preuzeti srednju vrednost za

period 1970-2000 po kalendarskim mesecima (januar, februar...). Zbog toga je verifikacija za WC sprovedena sumarno za period 1970-2000 i upoređena sa odgovarajućim vrednostima iz klimatskog modela EBU-POM.

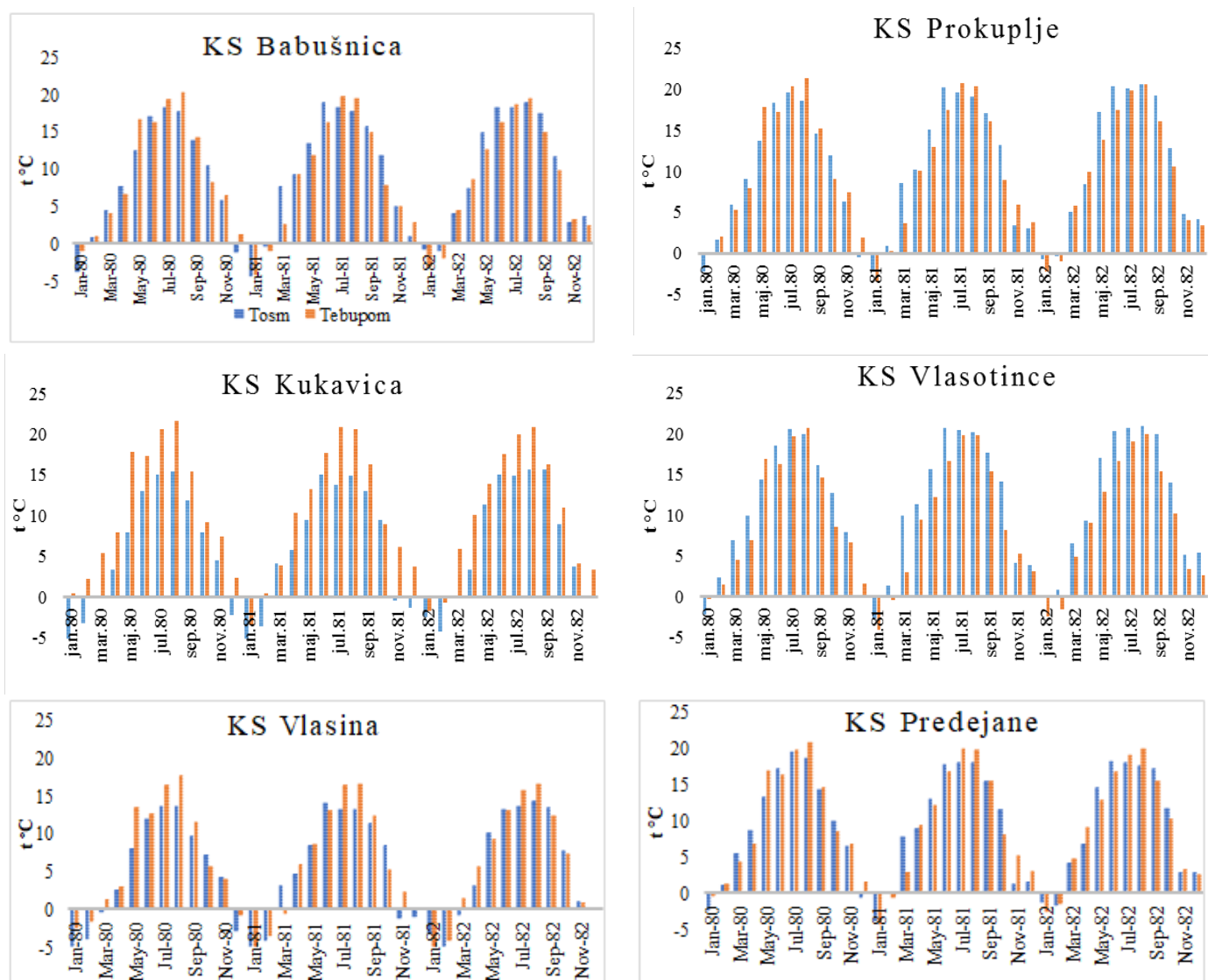
3 REZULTATI

3.1 KLIMATOLOŠKI PODACI NA LOKACIJAMA KLIMATOLOŠKIH STANICA

Rezultati verifikacije podataka o padavinama na 6 KS za period od 1980 do 1982 godine prikazani su na slici 8. U istom periodu, uporedni prikaz osmotrenih temperatura vazduha i onih dobijenih iz klimatskog modela EBU-POM, dat je na slici 9.



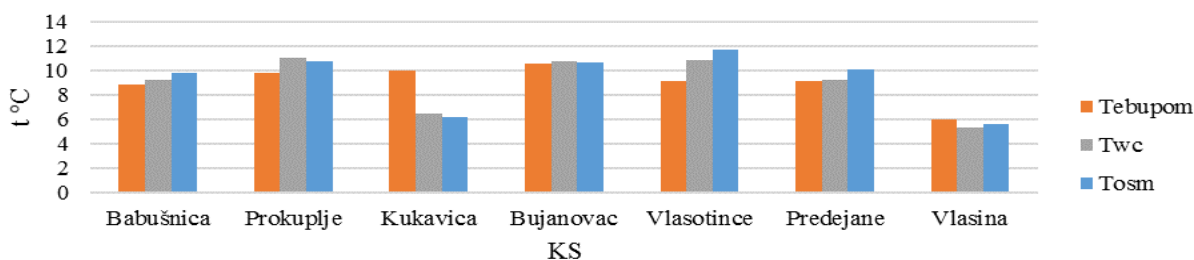
Slika 15 - Mesečne padavine za period 1980-1982 na osnovu tri različita izvora podataka



Slika 16 - Vrednosti mesečnih temperatura za period 1980-1982 na osnovu dva različita izvora podataka

Rezultati verifikacije temperature vazduha u periodu 1970-2000 prikazani su na slici 10 za GKM iz

WC baze, uz vrednosti dobijene iz RKM EBU-POM, radi poređenja rezultata .

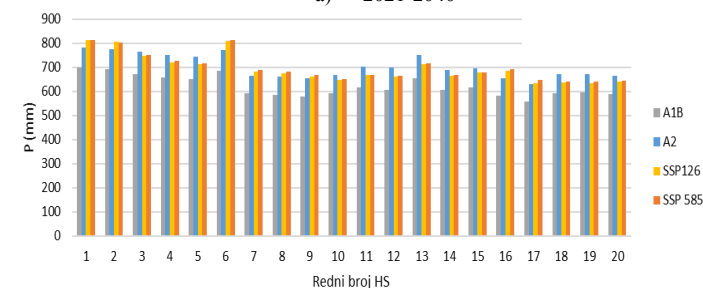


Slika 17 - Vrednosti srednjih višegodišnjih temperatura na kontrolnim KS za period 1970-2000 dobijenih iz tri različita izvora podataka

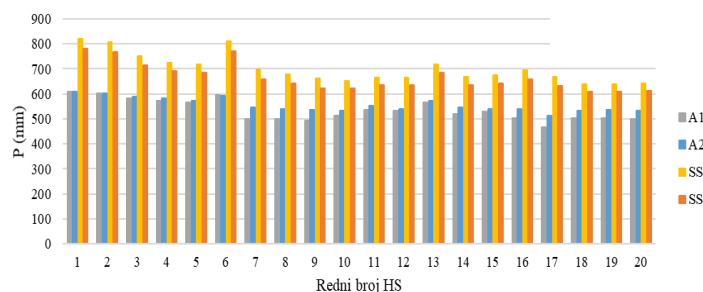
3.2 PADAVINE I TEMPERATURE U BUDUĆIM USLOVIMA NA REČNIM SLIVOVIMA

Vrednosti srednjih višegodišnjih padavina i temperatura dobijenih u istraživanju na osnovu podataka iz EBU-POM-a i podataka iz WC za 20 HS

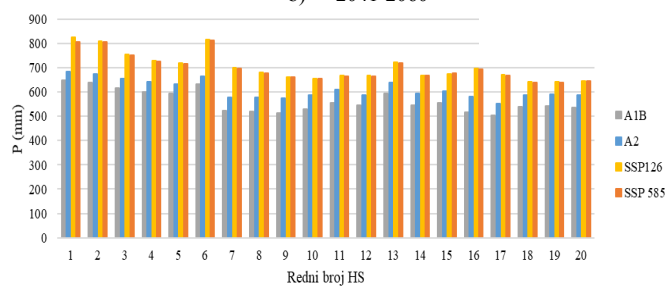
a) 2021-2040



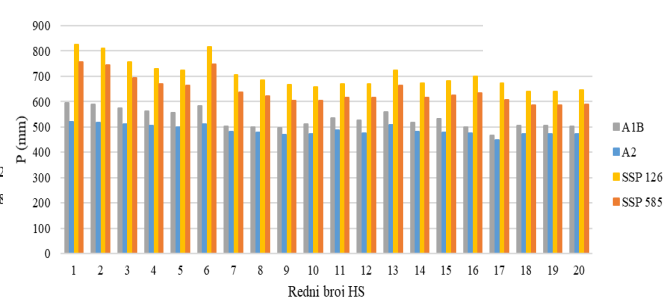
c) 2061-2080



b) 2041-2060

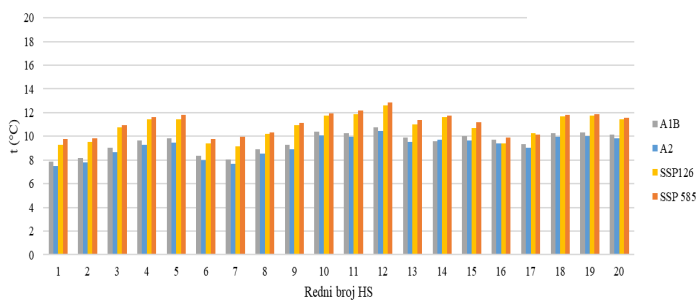


d) 2081-2100

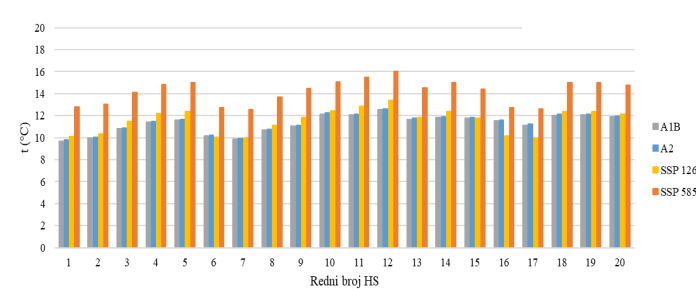


Slika 18 – Vrednosti padavina na slivovima HS dobijenih na osnovu podataka iz EBU-POM-a i WC za četiri perioda predikcije

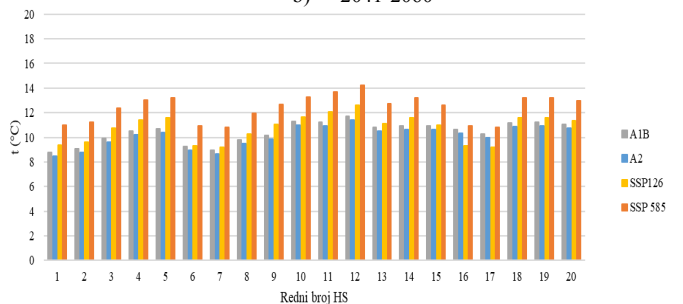
a) 2021-2040



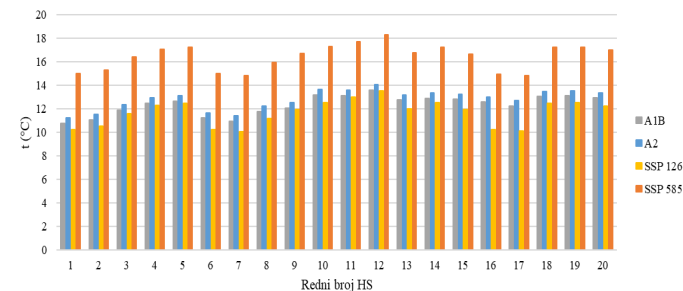
c) 2061-2080



b) 2041-2060



d) 2081-2100



Slika 19– Vrednosti temperaura na slivovima HS dobijenih na osnovu podataka iz EBU-POM-a i WC za četiri perioda predikcije

4 DISKUSIJA

Svođenje podataka o višegodišnjim padavinama i temperaturi vazduha na nivo sliva na osnovu digitalnih karata padavina i temperature, zahtevalo je opsežnu obradu podataka u GIS okruženju. U okviru GIS-a moguće je koristiti vektorske i rasterske modele podataka. Svaki od modela ima svoje prednosti i nedostatke zbog čega je često najbolje rešenje kombinovati ova dva modela. Sistematizacija prednosti i mana korišćenja vektorskih i rasterskih podataka u QGIS-u u ovom istraživanju, data je u tabeli 3 a odgovara zaključcima iz literature, npr. [17] (str. 113).

U postupku verifikacije podatka, rezultati istraživanja ukazali su na bolju saglasnost podataka iz WC sa osmotrenim vrednostima, što dolazi do izražaja kada se porede vrednosti padavina (slika 8). Razlike u temperaturama uglavnom nisu bile značajne u odnosu na osmotrene vrednosti (slika 9), osim za KS Kukavica kod EBU-POM-a (slika 10), a razlog tome može biti to što se ova stanica nalazi relativno blizu mesta sučeljavanja četiri različita piksela, te zbog njihove velike površine ova stanica ne dobija preciznu dodelu vrednosti temperatura. Razlike osmotrenih

vrednosti i onih iz klimatskih modela su prihvatljive, zato što vrednosti piksela koje se nalaze na lokacijama KS, predstavljaju vrednost za šire područje, tako da je očekivano da podloga finije prostorne rezolucije (WC) daje bolje rezultate tokom verifikacije.

Vrednosti padavina na razmatranim slivovima (slika 11 **Error! Reference source not found.**) za prvi period predikcije (2021-2040) su slične i nema scenarija koji sistematski daje manje ili veće vrednosti. Uočava se i da scenariji SSP 126 i SSP 585 iz WC daju međusobno gotovo identične vrednosti, tj. slične prognoze daju optimistički i pesimistički scenariji. Sistematske razlike među scenarijima dva klimatska modela rastu kako se ide u budućnost, tako da su razlike u četvrtom, poslednjem periodu predikcije najveće (slika 11 d)

Kod temperatura vazduha, u prvom periodu predikcije su najizraženije razlike u temperaturi među samim klimatskim modelima, dok se u preostala tri perioda predikcije (slika 12 b, c i d), vrednosti temperatura tri scenarija približavaju, tako da su u trećem i četvrtom periodu predikcije, izrazite razlike u temperaturi na slivovima dobijene jedino za pesimistički scenario (SSP126) u odnosu na ostala tri.

Tabela 3 - Prednosti i nedostaci vektorskih i rasterskih modela podataka uočeni u radu

Model	Prednosti	Nedostaci
Vektorski	<ul style="list-style-type: none"> - mali hardverski zahtevi - laka manipulacija i izmena podataka - jednostavna prostorna analiza - mogućnost korišćenja velikog broja raznih operacija 	<ul style="list-style-type: none"> - potrebno je dosta vremena za unos podataka, odnosno formiranje sloja - neke prostorne analize su teške za prikaz
Rasterski	<ul style="list-style-type: none"> - mogućnost korišćenja različitih prostornih analiza i filtriranje podataka - lako čitanje vrednosti parametara (padavina, temperatura...) neke ćelije - jednostavna struktura podataka 	<ul style="list-style-type: none"> - mnogi modeli imaju slabu prostornu rezoluciju - ćelije velikih dimenzija - mogu se javiti problemi kada se koristi vreme kao nezavisna promenljiva <ul style="list-style-type: none"> - zauzima veću memoriju - veći hardverski zahtevi

5 ZAKLJUČAK

Prikazano istraživanje je imalo za cilj da se utvrdi pogodnost dva klimatska modela za ispitivanje uticaja klimatskih promena na prosečne protoke u pogledu pouzdanosti ulaznih podataka – podloga. Radom je obuhvaćen veliki broj podataka, verifikovanih i sistematizovanih na način koji omogućava njihovu

dalju obradu u svetlu ispitivanja uticaja klimatskih promena na delu sliva Južne Morave. Istraživanje je obuhvatilo dva klimatska modela, jedan globalni (EC-Earth3-Veg) i jedan regionalni (EBU-POM) i po dva scenarija u okviru svakog modela. Razmatranje je urađeno za pet razdoblja od kojih je prvo, referentni period u kome su na raspolaganju osmotreni podaci padavina i temperatura vazduha, a četiri dvadesetogodišnja perioda daju projekcije buduće klime do 2100. godine. Razmatrane su očekivane

vrednosti temperatura i padavina za 20 slivova razgraničenih do profila HS.

Verifikacija podataka o padavinama i temperaturi vazduha urađena je da bi se stekao uvid u razlike koje se mogu pojaviti kada se ovi podaci koriste za ocenu višegodišnjeg protoka u uslovima buduće klime. Rezultati su ukazali da u periodu verifikacije nema značajnih razlika u razmatranim parametrima dobijenim iz oba modela.

Postoji ipak izvesna prednost klimatskog modela EC-Earth3-Veg u odnosu na EBU-POM, pored nešto bolje uskladenosti podataka sa osmotrenim vrednostima:

- Značajno je bolja prostorna rezolucija podataka, čime je omogućena preciznija raspodela i dodela vrednosti klimatskih parametara određenim područjima (slivovima),

- Vremenski podaci su procesuirani kroz jedan bend, što omogućuje lakše i brže osrednjavanje vrednosti parametara po slivovima – poligonima.

Prednost EBU-POM modela, sa druge strane je bolja vremenska rezolucija - iz njega se mogu dobiti dnevne vrednosti padavina i temperatura kako za referentni period tako i za periode predikcije. Iz toga proizilazi da je istraživanja i predikcije moguće raditi za periode po izboru, dok se WC vezuje fiksno za četiri dvadesetogodišnja perioda predikcije. Druga prednost je značajno manja memorija koju sadrže podaci ovog modela, što proizilazi iz manje prostorne rezolucije podataka. Konačno, opšte je poznato da prednost treba dati RKM u odnosu na GKM, ukoliko postoji takva mogućost.

Posmatrajući isključivo pripremu ulaznih podataka, čini se da je prostorna rezolucija, odnosno veličina piksela jedan od najbitnijih faktora kod ovakvih istraživanja, te prilikom izbora klimatskog modela treba prvo uzeti u obzir ovaj parametar.

U okviru ovog istraživanja, formirana je baza podataka koja će omogućiti ispitivanje promene prosečnih protoka, tj. srednjih voda u uslovima buduće klime na području gornjeg i srednjem toka Južne Morave. U postupku verifikacije osmotrenih protoka i onih koji se dobijaju na osnovu ulaznih podataka iz dva razmatrana modela, moći će da se da konačna ocena pogodnosti dobijenih podloga.

Nastavak istraživanja u pravcu korišćenja globalnih klimatoloških modela mogao bi da obuhvati i različite tehnike regionalizacije pomoću kojih se donose zaključci o klimi manjeg područja na osnovu astmosferske cirkulacije koju na velikim razmerama predviđa GKM [18].

IZJAVA

Rad je delom finansiran iz sredstava Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije TR37005.

Autori se zahvaljuju anonimnim recenzentima na korisnim komentarima.

LITERATURA

- [1] IPCC: Intergovernmental Panel on **Climate Change 2007: The Scientific Basis**. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)] *Cambridge University Press*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA 2007.
- [2] <https://klima101.rs/sta-su-klimatske-promene/> (01.06.2022.)
- [3] <https://rhmrzrs.com/meteorologija/klimatologija/klimatski-modeli/> (25.05.2022.)
- [4] http://gf94.gaf.ni.ac.rs/pluginfile.php/1384/mod_resource/content/1/02%20Upravljanje%20vodama%20i%20adaptacija%20na%20klimatske%20promene.pdf (17.04.2022.)
- [5] Čedo Branković, Ivan Guettler, Lidija Srnc, Tomislav Stilinović, Josip Čorić: **Rezultati klimatskog modeliranja na sustavu HPC Velebit za potrebe izrade nacrtu Strategije prilagodbe klimatskim promjenama Republike Hrvatske do 2040. s pogledom na 2070. i Akcijskog plana (Podaktivnost 2.2.1.)**. Središnja agencija za financiranje i ugovaranje programa i projekata Europske unije (SAFU), Zagreb, 2017.
- [6] https://meteo.hr/klima.php?section=klima_modeli¶m=klima_promjene: (01.06.2022.)
- [7] Marija Sudarić: **Uticaj klimatskih promena na pojavu plamenjače vinove loze u Srbiji**. Master rad. *Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Novom Sadu*, Novi Sad, 2015.
- [8] D. Pumo, F. Lo Conti, F. Viola, L. V. Noto: **An automatic tool for reconstructing monthly time-series of hydroclimatic variables at ungauged basins**. *Environmental Modelling & Software*. 95 (2017) 381-400.
- [9] https://www.hidmet.gov.rs/latin/hidrologija/povrsinske_godisnjaci.php (30.05.2022.)
- [10] <https://geosrbija.rs/> (30.05.2022.)
- [11] <https://srtm.csi.cgiar.org/> (02.06.2022.)
- [12] https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6_clim_2.5m.html (20.05.2022.)
- [13] <http://haos.ff.bg.ac.rs/climatedb-srb/model.html> (20.05.2022.)

- [14] Branislav Đorđević, Tina Dasšić, Jasna Plavšić: **Uticaj klimatskih promena na vodoprivredu Srbije i mere koje treba preduzimati u cilju zaštite od negativnih uticaja.** *VODOPRIVREDA* 0350-0519, Vol. 52 (2020) No. 303-305 p. 39-68.
- [15] https://saga-gis.sourceforge.io/saga_tool_doc/2.2.3/ta_preprocesor_4.html (25.05.2022.)
- [16] 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 (2018) No. 294-296 p. 177-187
- [17] Shahab Fazal: **GIS basics.** *New age international publishers.* New Delhi, 2008.
- [18] Milena Jančić: **Uticaj klimatskih promena na biljnu proizvodnju.** Doktorska disertacija. *Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu.* Novi Sad, 2015.
- [19] Stockhause, M., Matthews, R., Pirani, A., Treguier, A. M., and Yelekci, O.: **CMIP6 data documentation and citation in IPCC's Sixth Assessment Report (AR6),** EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-2886, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-2886>, 2021.