

UTICAJ KLIMATSKIH FAKTORA NA KVALITET VODOTOKOVA POMORAVLJA

IMPACTS OF CLIMATE FACTORS ON THE WATER QUALITY OF A POMORAVLJE RIVERS

IZVOD

Cilj rada je da se novim metodološkim pristupom na primeru slivova Pomoravlja prezentuju rezultati istraživanja koji pokazuju uticaj unutargodišnje neravnomernosti proticaja malovodnog i viševodnog perioda na kvalitet vodotokova. Osnovni klimatski faktori, temperatura vazduha i padavine predstavljeni su normalizovanim odstupanjem od standardne klimatološke normale N61-90 za period 1951-2020. godina. Metodom ponderisane aritmetičke sredine faktorom proticaja analiziran je indikator *Serbian Water Quality Index* za period 2001-2020. godina za malovodni i viševodni period na nivou slivova reka Južne, Zapadne i Velike Morave. Ovako sračunat sezonski indikator $_{SWQI}_{RB}$ reprezentuje razlike u kvalitetu na nivou slivova Pomoravlja.

Ključne reči: Klimatske promene, *Serbian Water Quality Index*

ABSTRACT

The aim of this paper is to present the results of studies that show the impact of uneven flow of lowflow and highflow period on the quality of the catchment with the new methodological approach on Pomoravlje catchment case study. The main climate factors, air temperature and precipitation are presented with normalized deperature from standard climatological normals N61-90, for the period 1951-2020. Indicator *Serbian Water Quality Index* is analyzed for the period 2001-2020 for lowflow and highflow period at the catchments Južna Morava, Zapadna Morava and Velika Morava with the method of pondered arithmetic mean with flow factor. Seasonal indicator $_{SWQI}_{RB}$ calculated in this way represents the differences in the quality on the Pomoravlje catchment.

Key words: Climate change, *Serbian Water Quality Index*

1. UVOD

Globalna kriza vode je već danas međunarodni problem i odražava se u obezbeđenju osnovnih potreba stanovništva, pre svega u južnoj hemisferi planete, ali vodni resursi kao ograničavajući faktor razvoja postaju važna stavka u planiranju i najrazvijenih zemalja severne hemisfere. Neravnomernost tokova vode u vremenu je karakteristika u svim oblastima sveta, što veoma utiče na pouzdanost obezbeđenja godišnjih količina namenjenih različitim korisnicima. Evropa poseduje svega 8% svetskih obnovljivih slatkovodnih

resursa, a istovremeno učestvuje sa 15% u ukupnoj svetskoj potrošnji vode. Dostupnost kvalitetne vode značajno varira između pojedinih evropskih zemalja i između pojedinih regiona u istoj zemlji. Objavljeni rezultati pri najgorim uslovima sezone nestašice vode u Evropi za 2019. godinu pokazuju da se dvadesetak evropskih slivnih područja, uglavnom na Mediteranu, suočava sa problemima vodnog stresa izraženo indeksom eksploatacije vode ($WEI+ > 20\%$). Od zemalja koje se nalaze na skali vodnog stresa sa najznačajnijim stepenom nestašice bile su Kipar (124%), Malta (74,9%), Grčka (70,2%), Portugalija (66%), Italija (57%), Španija (47,2%), sledi

Nebojša Veljković, Milorad Jovičić, Mila Petković

Ministarstvo zaštite životne sredine/ Agencija za zaštitu životne sredine, Žabljačka 10a, 11160 Beograd
autor za korespondenciju: nebojsa.veljkovic@sepa.gov.rs



Rumunija koja se nalazi na granici vodnog stresa (23,5%). Srbija se na toj listi u statusu raspoloživosti vodom nalazi u zoni umerenog nedostatka izraženo indeksom eksploatacije vode WEI+ 5,3% i bliže je zoni država sa visokom raspoloživošću u vodnim resursima (*Water scarcity conditions in Europe*, 2023). Tako za evropske vode u ovom vremenu klimatskih promena, što je u prethodnom veku bilo rezervisano za južnu hemisferu, opominjuće zvuči konstatacija da je „voda najizrabljiviji, najzloupotrebljavani i najpotcenjeniji resurs na svetu“ (Giljen, 2021). Ova ocena je izneta u knjizi koja govori o tome kako će se najači trendovi današnjice sudariti i preoblikovati budućnost sveta.

Problem u Srbiji se dodatno zaoštrava nepovoljnim odnosom količina domicilnih i tranzitnih voda što dodatno usložnjava uslove održivog korišćenja vode kao obnovljivog resursa. Na teritoriji Srbije se formira protok od oko 16 milijardi m³ domicilnih voda, što iznosi svega 8% od ukupnog oticaja sa teritorije Srbije. Odnos domicilnih količina vode i broja stanovnika daje specifičnu raspoloživost sopstvenih površinskih voda od oko 1.500 kubnih metara po stanovniku godišnje što nas svrstava u siromašnija područja Evrope. Međutim, situacija je još nepovoljnija kada se uzme u obzir prostorna i vremenska neravnomernost proticaja, a posebno dugo trajanje malih voda. Poznavanje malih voda je od posebnog značaja za zaštitu kvaliteta vodotokova jer u tom periodu oni imaju najmanju sposobnost samoprečišćavanja. Mesečne male vode 95%-ne obezbeđenosti na pojedinim profilima reka u slivu Južne, Zapadne i Velike Morave spuštaju se na samo oko 6-15% od prosečnih vrednosti proticaja, što uslove održivog korišćenja voda čini izuzetno složenim. Za Srbiju je karakteristično da domicilnih voda ima najmanje tamo gde su potrebe najveće, a to je Vojvodina. Ovo su delovi zemlje sa najrazvijenijom industrijom i prehrambenom proizvodnjom i poljoprivredom koja je skoncentrisana oko najvećih administrativnih centara.

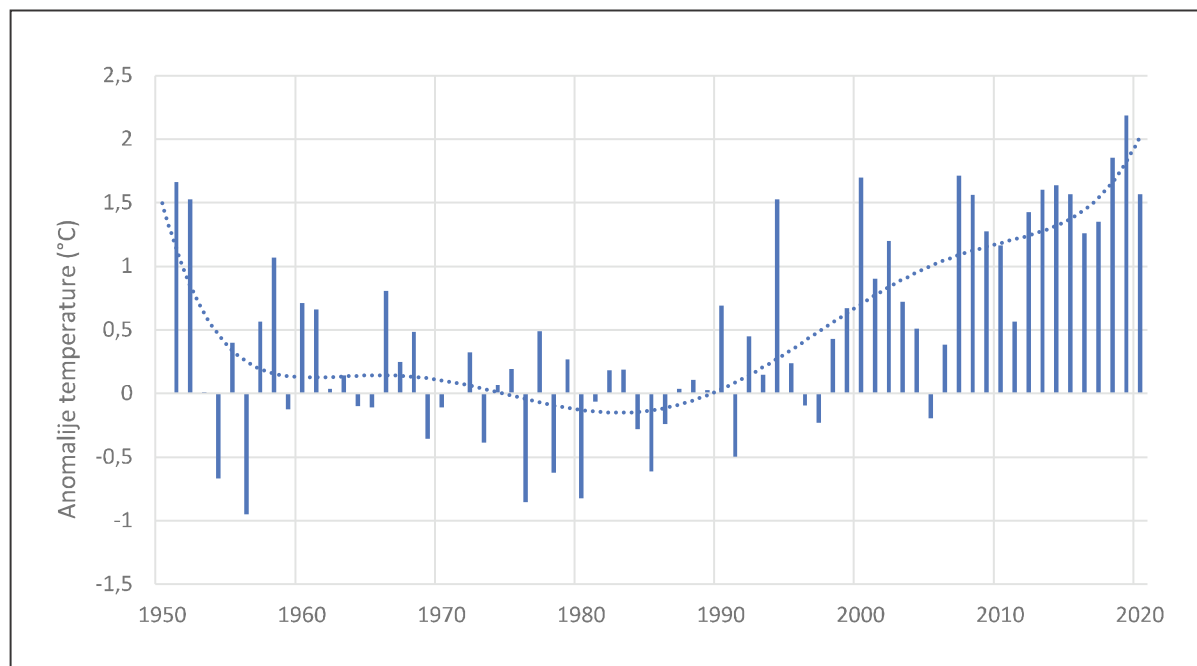
Predmet ovog rada je analiza promene kvaliteta reka Pomoravlja (slivova Južne, Zapadne i Velike Morave) i uticaja klimatskih faktora na režimske karakteristike proticaja. Malovodni (jun–decembar) i viševodni (januar–maj) unutargodišnji ciklus je analiziran za period 1961-1990. i 1991-2020. godina. Cilj rada je da se novim metodološkim pristupom na primeru slivova Pomoravlja prezentuju rezultati istraživanja koji pokazuju uticaj unutargodišnje neravnomernosti proticaja malovodnog i viševodnog perioda na kvalitet vode reka Pomoravlja za dve dekade – prva od 2001-2010. i druga od 2011-2020. godine.

2. KLIMATSKE KARAKTERISTIKE I REŽIM POVRŠINSKIH VODA U SLIVU POMORAVLJA

Generalno na količine i kvalitet površinskih voda u slivu utiču prirodni činioci, a najintenzivnije geografski položaj, reljef zemljišta, temperatura vazduha, padavine i razni antropogeni uticaji. Sliv reka Pomoravlja (Južne, Zapadne i Velike Morave) približno se nalazi između 42° 28' i 44° 43' severne geografske širine i 19° 33' i 23° 00' geografske dužine. Na ovoj teritoriji se sreću raznoliki tipovi reljefa, od nizijske oblasti u zoni uliva Velike Morave u Dunav (oko 70 m.n.m) do brdovitih terena i dolina idući na jug i planinskih oblasti u zapadnim, južnim i istočnim delovima. Sliv reka Pomoravlja obuhvata površinu od 37.444 km² (od čega je 1.237 km² u Bugarskoj i 44 km² u Makedoniji), što čini 42,38% od površine Srbije i predstavlja najznačajniji vodoprivredni potencijal. Pojedine doline reka Pomoravlja, od najvećih doline Zapadne Morave i Nišave do niza manjih, pružaju se meridijalno pa zato prodori hladnog vazduha sa severa prema jugu u velikoj meri ublažavaju termičke razlike u regionu slivova. Najveći deo regiona Pomoravlja pripada klimi umerenog pojasa sa raspodelom temperature vazduha uslovljenom uglavnom reljefom, a manje uticajem geografske širine.

Za analizu klimatskih faktora koji utiču na vodni bilans slivova Pomoravlja korišćeni su podaci temperature i padavina sa sinoptičkih meteoroloških stanica u Smederevskoj Palanci, Kragujevcu, Čupriji, Požegi, Kraljevu, Kruševcu, Dimitrovgradu, Leskovcu i Vranju. Posmatrana su srednja odstupanja od standardne klimatološke normale (za referentni period od 1961. do 1990. godine) za ceo region Pomoravlja (https://www.hidmet.gov.rs/data/klimatologija_static/latin/Klima_Srbije.pdf). Podaci obuhvataju period od 70 godina – od 1951. do 2020. godine (slika 1).

U periodu od 1951., kada počinje niz obrađenih podataka, do početka osamdesetih godina prošlog veka, uočava se opadajući trend temperatura, pri čemu je najveće odstupanje od normale 1956. godine, kada je srednja temperatura regiona Pomoravlja 1°C manja od normale. Od sredine osamdesetih godina do 2020. godine srednje temperature vazduha pokazuju rastući trend, koji je posebno izražen poslednjih deset godina. Najveće pozitivne anomalije srednje godišnje temperature zabeležene su 2019., kada je srednja temperatura vazduha u regionu Pomoravlja bila 2,2 °C viša od normale, zatim 2018. i 2007. godina, sa 1,9 °C i 1,7 °C, respektivno. Ovo je imalo za posledicu i povećanje temperature vode



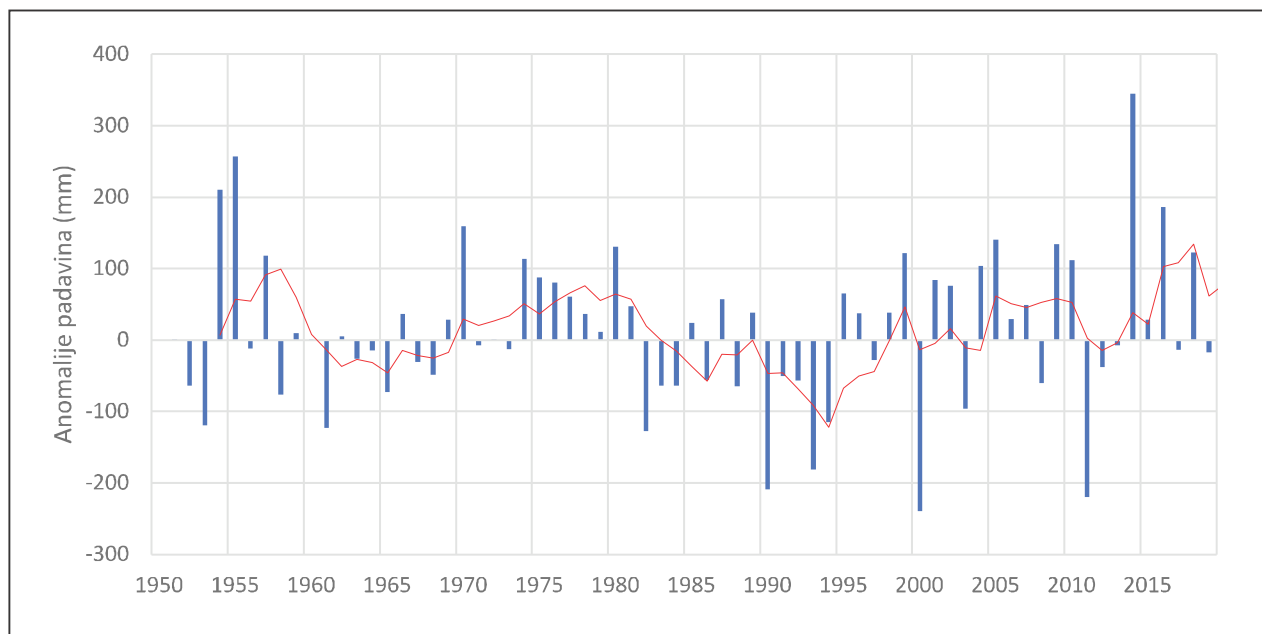
lika 1. Srednje odstupanje temperature od normale u regionu Pomoravlja

reka Pomoravlja posmatrano u dve dekade – u prvoj od 2001-2010. i drugoj od 2011-2020. godine. Prosečna temperatura vode u Zapadnoj Moravi na profilu Jasika u periodu 2001-2010. godina bila je 12,1 °C da bi u periodu 2011-2020. iznosila 12,9 °C – povećanje za 0,8 °C. Na izlaznom profilu reka Pomoravlja, Velikoj Moravi na profilu Ljubičevski most u periodu 2001-2010. godina temperatura vode je bila 13,3 °C dok je u periodu 2011-2020. iznosila 13,9 °C – povećanje za 0,6 °C.

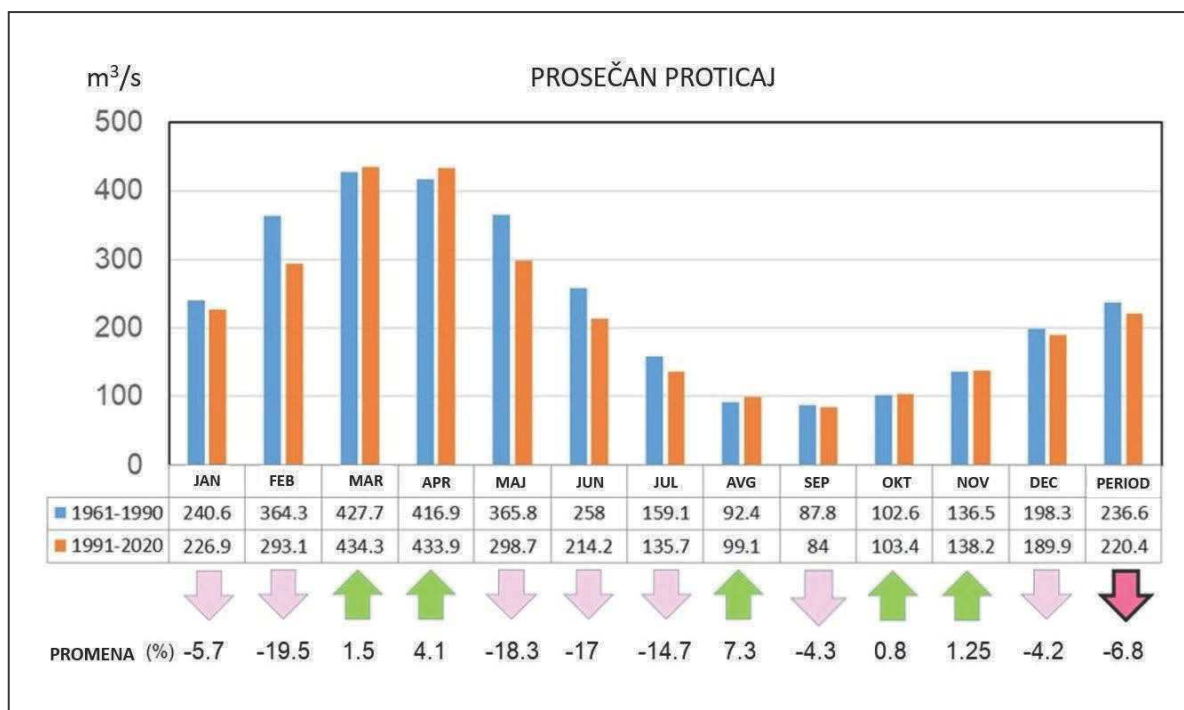
Za razliku od temperature, padavine imaju dosta izraženije oscilacije, s obzirom na to da zavise od karakteristika reljefa i atmosferskih procesa, a ova nepravilna raspodela padavina uočljiva je i u regionu Pomoravlja (slika 2). Za referentni klimatološki period, od 1961. do 1990. godine, najmanja godišnja suma padavina je u Nišu i Leskovcu - oko 600 mm, zatim do 650 mm u Smederevskoj Palanci, Kragujevcu, Čupriji, Kruševcu, Dimitrovgradu i Vranju, dok je u ovom regionu najveća godišnja suma padavina u Požegi i Kraljevu- oko 750 mm. Za posmatrani period od 1951. do 2020. godine, srednje godišnje sume padavina za ceo region pokazuju izražene oscilacije. Najveća negativna anomalija je zabeležena 2000. godine, sa 240 mm manjom godišnjom sumom padavina za region, zatim 2011. sa 220 mm i 1990. sa 209 mm. Najizraženija pozitivna anomalija je 2014. sa 345 mm većom godišnjom sumom padavina od normalne, a u poslednjih deset godina su i 2016., sa 186 mm i 2018, sa 123 mm.

Ovde treba naglasiti da su ranija istraživanja pokazala da se sa teritorije Srbije prosečno izgubi putem evapotranspiracije oko 75% padavina, odnosno da otiče samo 25% padavina (Isailovic i Srna P., 2001). Za slivove regiona Pomoravlja najmanje oticanje od bruto padavina je u slivu Velike Morave i iznosi svega 17%, sledi sliv Južne Morave sa 29%, i najveće oticanje je 33% sa sliva Zapadne Morave. Kakve negativne efekte prethodno izneto ima na zapreminu godišnjeg vodnog bilansa, kao karakteristiku određenog slivnog područja, najbolje prezentuje pokazatelj prosečni proticaj. Zato su na bazi osmatranja i merenja na najnižvodnijoj hidrološkoj stanici Ljubičevski Most u slivu Pomoravlja sračunati srednje mesečni proticaji i urađen histogram za izabrane periode koji to ubedljivo potvrđuju (slika 3).

Analiza prosečnog proticaja je urađena za dva trodecenijska niza, period 1961-1990. godina i period 1991-2020. godina, da bi se uočila veza vodnog režima i uticaja klimatskih karakteristika u istom periodu (*Hidrološki godišnjak - površinske vode*, RHMZ, 1961-2020). Histogram višegodišnjih mesečnih proticaja na hidrološkoj stanici Ljubičevski most jasno pokazuje da su u ova dva trodecenijska perioda manji srednji mesečni proticaji u januaru, februaru, maju, junu, julu, septembru i decembru, dok su srednje mesečni proticaji viši u martu, aprilu, avgustu, oktobru i novembru mesecu. Pri tom su opadajući mesečni proticaji prilično izraženiji od rastućih. Analiza pokazuje da je višegodišnji prosečni proticaj



Slika 2. Srednje odstupanje godišnje sume padavina od normale za region Pomoravlja



Slika 3. Prosečni proticaji na hidrološkoj stanici Ljubičevski most

u periodu od 1991-2020. godine manji za 6,8% u odnosu na period od 1961-1990. godine. Rezultati ove analize ne ukazuju samo na smanjenje vodnosti reka Pomoravlja, već i karakteristiku režima sa izraženim sezonama bogatijim i siromašnijim vodom. U tom smislu su metodom normalizovanog odstupanja mesečnih vrednosti proticaja u toku godine određena dva kalendarska perioda - malovodni (jun-decembar) i viševodni (januar-maj).

Vodni resursi Pomoravlja nastaju na našoj teritoriji i mogu se u potpunosti kontrolisati sa gledišta količina i kvaliteta. Ova karakteristika vodnog režima moravskog sistema Srbije ukazuje na značaj primene kompozitnog indikatora *Serbian Water Quality Index* kojim se mogu metodološki sintetizovati pokazatelji kvaliteta reka slivova i regionalne unutargodišnje neravnomernosti proticaja za potrebe složenijih analiza.

3. ANALIZA KVALITETA VODOTOKOVA POMORAVLJA METODOM s SERBIAN WATER QUALITY INDEX_{RB}

Za ocenu kvaliteta površinskih voda korišćen je fond podataka RHMZ i Agencije za zaštitu životne sredine (RHMZ, 2001-2011. i Agencija za zaštitu životne sredine, 2011-2020). Dosadašnja istraživanja i objavljeni rezultati indikatora *Serbian Water Quality Index* (SWQI) pokazuju da se primenom ove metode može dobiti sveobuhvatna predstava stanja kvaliteta površinskih voda sa analizom trenda (*Izveštaj o stanju životne sredine u Republici Srbiji 2006-2023*, Agencija za zaštitu životne sredine). Ovom metodom deset odabranih parametara (zasićenost kiseonikom, BPK₅, amonijak, pH vrednost, oksidi azota, fosfati, suspendovne materije, temperatura, provodljivost i koliformne bakterije) svojim kvalitetom (q_i) reprezentuju osobine površinskih voda svodeći ih na jedan indeksni broj. Udeo svakog od deset odabranih parametara na ukupni kvalitet vode nema isti relativni značaj, zato je svaki od njih dobio svoju težinu (w_i) i broj bodova prema udelu u ugrožavanju kvaliteta. Sumiranjem proizvoda (q_i x w_i) dobija se indeks 100 kao idealan zbir udela kvaliteta svih parametara. Kvalitet voda je na osnovu ove skale prema nameni i stepenu kvaliteta razvrstan u pet opisnih indikatora (tabela 1).

Tabela 1. Numerički i opisni indikator kvaliteta površinskih voda *Serbian Water Quality Index*

	Numerički indikator	Opisni indikator	Boja
Serbian Water Quality Index	100 - 90	Odličan	
	84 - 89	Veoma dobar	
	72 - 83	Dobar	
	39 - 71	Loš	
	0 - 38	Veoma loš	

Kvalitet vode na pojedinačnim mernim stanicama reka u slivu pored antropogenih uticaja zavisi i od hidroloških uslova. Kod izračunavanja srednje vrednosti indikatora SWQI rečnog sliva za hidrološki ciklus (sezonski) potrebno je uzeti u obzir i uticaj proticaja na mernim stanicama sliva sa kojih se osrednjava kvalitet. Reka sa većim proticajem ima veći uticaj na opšti nivo kvaliteta celog sliva. Zbog toga je metodološkim pristupom usvojena metoda ponderisanja indikatora SWQI_{1-k} sa svake stanice, uzimajući u obzir proticaje sa svake pripadajuće merne stanice. Indikator SWQI_{1-k} za svaku mernu stanicu se ponderiše (vaga) *ponderacionim faktorom*

proticaja, koji se dobija iz odnosa proticaja date merne stanice i odgovarajućeg proticaja na izlaznom profilu sliva. Na ovaj način se izračunavanjem srednje vrednosti kvaliteta sliva metodom ponderisanja kvalitetu vode dodeljuje proticaj kao odgovarajući faktor važnost. Formula za izračunavanje indikatora SEASONAL (S) SWQI_{(RB) RIVER BASIN} postupkom ponderisane aritmetičke sredine biće:

$$sSWQI_{RB} = \frac{SWQI_1 \times \alpha_1 + SWQI_2 \times \alpha_2 + \dots + SWQI_i \times \alpha_i + \dots + SWQI_k \times \alpha_k}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i + \dots + \alpha_k} = \frac{\sum_{i=1}^k SWQI_i \times \alpha_i}{\sum_{i=1}^k \alpha_i}$$

gde je:

$sSWQI_{RB}$ sezonski indikator kvaliteta vode rečnog sliva,

SWQI_{1-k} indikator kvaliteta vodotoka na mernim stanicama sliva, a

α_{1-k} ponderacioni faktor proticaja.

Ovako sračunat $sSWQI_{RB}$ za ceo rečni sliv uzima u obzir odgovarajuće važnosti pojedinih proticaja na mernim stanicama, tako što proticaj kao relativni ponder pokazuje odgovarajući udeo pojedinačnog proticaja sa te merne stanice na kvalitet rečnog sliva kao celine. Za određivanje mogućeg trenda promene kvaliteta (rastući, opadajući, beznačajan) korišćen je neparametrijski Mann-Kendall test (<https://real-statistics.com/time-series-analysis/time-series-miscellaneous/mann-kendall-test/>). Ova metoda omogućuje testiranje hipoteze o postojanju trenda zajedno sa neparametrijskom Sen'S metodom za ocenu nagiba (intenziteta) trenda. Sen'S-ovom metodom za neparametrijsku ocenu nagiba izračunavaju se nagibi svih parova vremenskih tačaka, a zatim se prosek (medijana) ovih nagiba koristi kao ocena ukupnog nagiba (*Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners*, 2006).

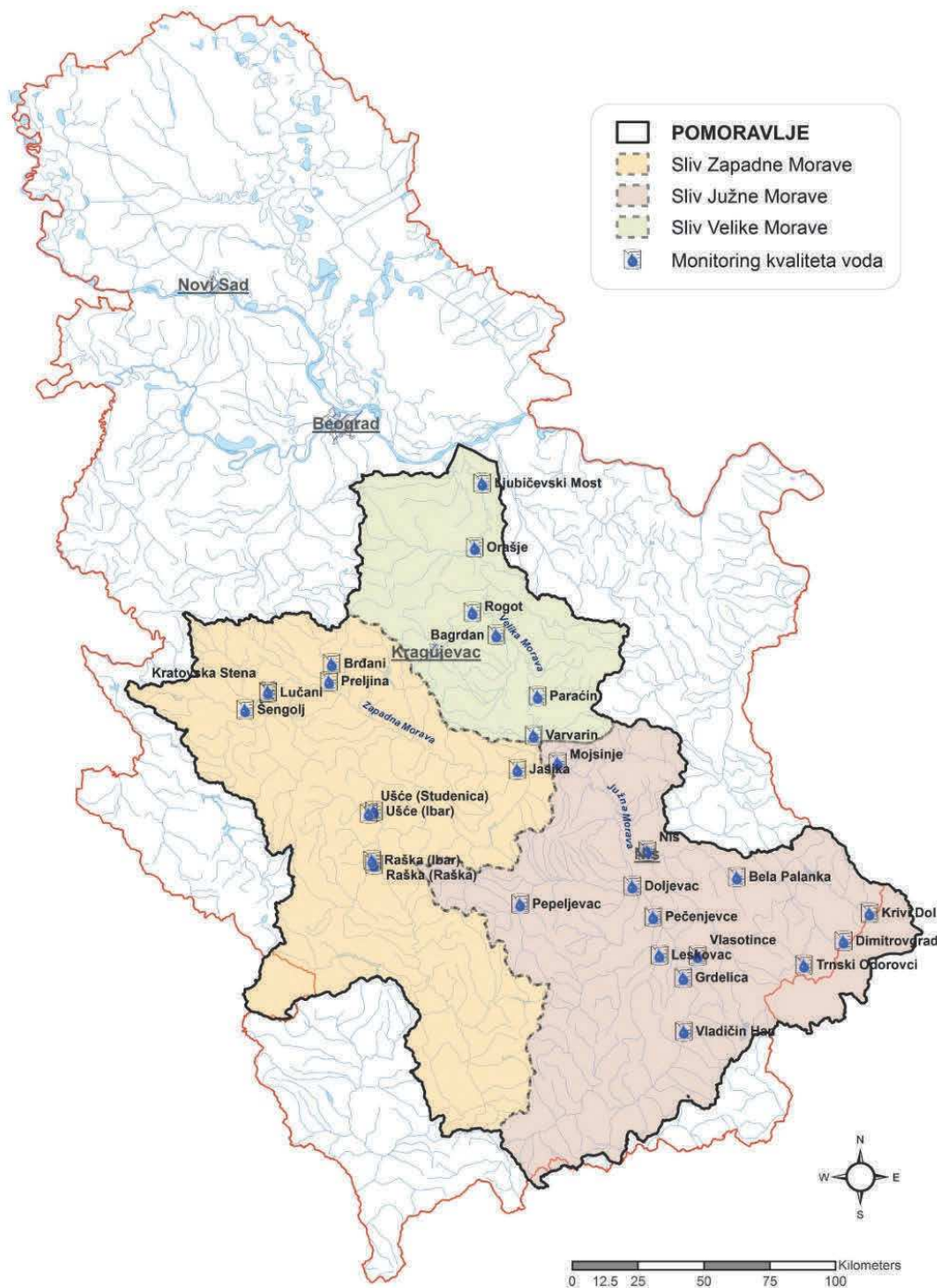
Istraživanje obuhvata analizu kvaliteta vode reka Pomoravlja sa slivova Južne, Zapadne i Velike Morave korišćenjem fonda podataka RHMZ Srbije za period 2001-2011. godina i Agencije za zaštitu životne sredine za period 2012-2020. godina. Za proračun su korišćeni podaci o kvalitetu voda uzorkovanih u proseku jednom mesečno prema odgovarajućim parametrima metode *Serbian Water Quality Index* i sračunat indikator SWQI_{1-k} za svako merno mesto na mesečnom nivou. Prema kriterijumu reprezentativnosti definisane su stanice koje u dvadesetogodišnjem periodu imaju neprekinuti niz monitoringa kvaliteta, čime ispunjavaju uslov za proračun trenda metodom Mann-Kendall testa:



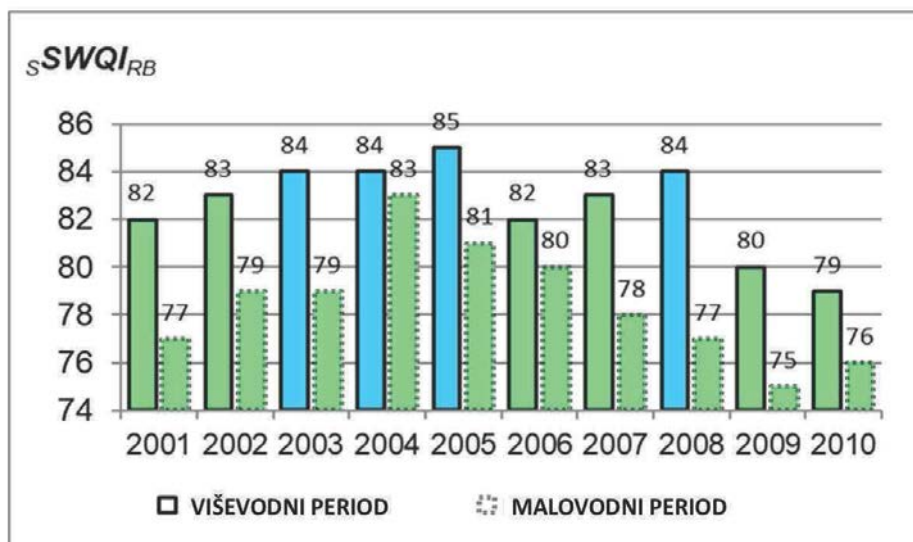
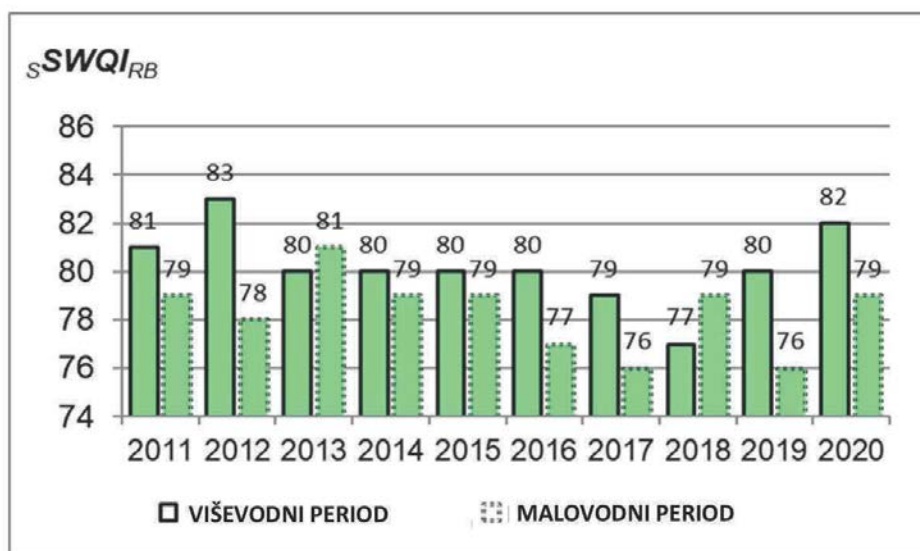
Bagrdan (V. Morava), Ljubičevski most (V. Morava), Raška (Ibar), Mojsinje (J. Morava), Dimitrovgrad (Nišava), Niš (Nišava) i Trnski Odorovci (Jerma) (slika 4). Osim toga lokacije ovih profila dobro odražavaju uzvodne promene kvaliteta vode, reprezentujući kvalitet vode sliva reka Pomoravlja.

Postupkom *ponderisane aritmetičke sredine* korišćenjem odgovarajuće formule sračunat je

sezonski indikator kvaliteta vode rečnog sliva ${}_5SWQI_{RB}$ za malovodni (jun-december) i viševodni (januar-maj) period. Rezultati istraživanja su prezentovani na histogramima gde su na ordinati predstavljene vrednosti sezonskog indikatora kvaliteta vode rečnog sliva ${}_5SWQI_{RB}$ (slika 5, 6). Sezonski indikator ${}_5SWQI_{RB}$ za slivove reka Pomoravlja pokazuje jasno izraženu razliku vrednosti između malovodnog (jun-december) i viševodnog perioda (januar-maj).



Slika 4. Region Pomoravlja sa slivovima Južne, Zapadne i Velike Morave i mrežom stanica za monitoring kvaliteta vode

Slika 5. Vrednosti sezonskog indikatora kvaliteta vode ${}_S\text{SWQI}_{RB}$ sliva reka Pomoravlja u periodu 2001-2010.Slika 6. Vrednosti sezonskog indikatora kvaliteta vode ${}_S\text{SWQI}_{RB}$ sliva reka Pomoravlja u periodu 2011-2020.

Analiza srednjih vrednosti sezonskog indikatora kvaliteta vode ${}_S\text{SWQI}_{RB}$ pokazuje da je u tridesetogodišnjem periodu kvalitet vode reka sliva Pomoravlja u viševodnoj i malovodnoj sezoni bio veoma dobar (tabela 2). Značajno je napomenuti da je kvalitet generalno opao u dekadi

2011-2020. u odnosu na dekadu 2001.-2010. godina, i to za 3 indeksna poena ${}_S\text{SWQI}_{RB}$ u viševodnom periodu i za 1 indeksni poen ${}_S\text{SWQI}_{RB}$ u malovodnom periodu. Trend promene kvaliteta je u oba perioda bio beznačajan, odnosno nije bilo ni značajnih poboljšanja ni pogoršanja.

Tabela 2. Srednje vrednosti ${}_S\text{SWQI}_{RB}$ sezonskog indikatora kvaliteta vode sliva Pomoravlja

Sliv	Indikator	${}_S\text{SWQI}_{RB}$	Trend	${}_S\text{SWQI}_{RB}$	Trend
	Period	viševodni januar – maj		malovodni juni – decembar	
Pomoravlje	2001-2010	83	beznačajan	79	beznačajan
	2011-2020	80	beznačajan	78	beznačajan



Na kvalitet površinskih voda u slivu osnovni uticaj su imale izlivenne otpadne vode iz industrijskih i komunalnih kanalizacionih sistema, ali smatramo da sezonske promene hidrološkog režima vodoprijemnika imaju dodatni uticaj i zaslužuje poseban osvrt. Diskusija bi mogla da ide u ovom pravcu. Prema podacima zvanične statistike količine izlivenih otpadnih voda iz javne kanalizacije, a najveći deo industrijskih sistema je priključen na ove sisteme, beleži poslednjih godina blago opadanje – između 0,7% i 1,3%. Prihvatimo da je ova promena konstantna. Sa druge strane, pokazatelj koji predstavlja procenat priključenih stanovnika na kanalizacioni sistem sa komunalnim postrojenjem za prečišćavanje je u poslednjih 20 godina porastao sa oko 11-12% na oko 15%, izraženo u odnosu na ukupnan broj stanovnika. Drugim rečima, za nivo naše rasprave usvojicemo da su ova dva pokazatelja konstantna, odnosno da nemaju bitan uticaj na promenu kvaliteta vodoprijemnika. U tom slučaju je osnovna promenljiva koja ima uticaja na kvalitet vode reka, u našem primeru reka sliva Pomoravlja, vodnost vodoprijemnika. Kako je naša analiza pokazala, generalno smanjenje proticaja u slivu Pomoravlja, a ono iznosi -6,8% (1961-1990/1991-2020), imalo je dominantan uticaj na smanjenje kvaliteta vode reka. Nešto veće pogoršanje kvaliteta u viševodnom periodu je posledica i dodatnog uticaja zagađenja spiranim oborinskim vodama u vodotokove, poznato je da se često difuzno zagađenje zanemaruje kod ovakvih analiza.

Diskusija dobijenih rezultata ukazuje da klimatski faktori imaju veći uticaj na kvalitet vode reka, ne isključujući i nezaobilazni značaj prečišćavanja otpadnih voda, nego što im se uobičajeno pridaje značaj. U završnom delu daćemo osnove razmatranja osmotrenih i očekivanih klimatskih promena u našim uslovima sa gledišta uticaja na kvalitet vodotokova.

4. PROJEKCIJE KLIMATSKIH PROMENA I UPRAVLJANJE VODAMA U REGIONU POMORAVLJA

U prethodnom radu koji je bio metodološka osnova za nastavak ovog istraživanja u zaključku smo naveli da „ako se budu ostvarile projekcije klimatskih promena za oblast Jugoistočne Evrope nastaviće se trend smanjenja vodnosti slivova u regionu Pomoravlja“, što „će imati za posledicu produženje trajanja malovodnog perioda i još veće smanjenje malih voda u letnjem periodu“ (Veljković et al, 2012). Prezentovani prosečni proticaji na najnižvodnijoj hidrološkoj stanici sliva Pomoravlja – Ljubičevski most, ove ranije stavove ubedljivo potvrđuju (vidi

sliku 3). Predikcije koje smo naveli pre dvanaest godina a sada ih citiramo potpuno su u skladu sa informacijama iz izveštaja namenjenog, kako je navedeno, „kreatorima politika za različite nivoe upravljanja i faze političkih formulacija kao podrška planiranju i primeni prilagođavanja na klimatske promene“ (*Adaptation in Europe*, 2013). U tom izveštaju je predstavljeno kako klimatske promene stavljaju Evropu pred izazove koje obuhvataju povećanje temperature, gubitak biodiverziteta, ekstremne oluje i poplave. U izveštaju se za region Centralne i Istočne Evrope navode sledeći predviđeni klimatski faktori koji će uticati na vodni režim: povećanje učestalosti i trajanje toplotnih talasa, smanjenje letnjih padavina i povećanje temperature vode. Pregled tih predviđenih uticaja regionalnih klimatskih promena i ranjivosti se dobro poklapaju sa rezultatima istraživanja do kojih smo došli u našem radu.

U 2024. godinu ušli smo obarajući sve klimatološke rekorde kao da se priroda utrkuje da potvrdi sve predikcije o klimatskim promenama. Prema mesečnom biltenu Republičkog hidrometeorološkog zavoda u Srbiji je februar bio daleko najtopliji u istoriji merenja, odnosno od 1951. godine, sa srednjom mesečnom temperaturom od čak 8,1 °C. Ovo je za neverovatnih 6,3 °C više u odnosu na referentni period (1991-2020). Beograd je kao prestonica prednjačio, srednja februarska temperatura popela se na 11,2 °C, što je najviše od početka merenja 1888. godine. Temperaturni prosek za Beograd od 1991. do 2020. godine za februar je iznosio samo 3,8 °C. Temperaturni rekordi su se nastavili, u prvih dvadeset dana juna u nižim predelima Srbije zabeleženo je između 8 i 13 tropskih dana sa temperaturama preko 30 °C, što je premašena brojka za očekivano topliji juli i avgust mesec. Kako je počeo juni u Srbiji tako se i završio, bio je za 3 °C topliji u odnosu na tridesetogodišnji prosek (1991-2020), sada sa rekordnom prosečnom mesečnom temperaturom od 22,8 °C. Mesec juli se u Srbiji nastavio obarajući rekorde u toplotnim talasima, čak i u „ekvatorijalnim noćima“ pojmu koji se odnosi na doba noći kada minimalna temperatura ne pada ispod 25 °C. Upravo je Beograd u noći između 12. i 13. jula doživeo „ekvatorijalnu noć“ sa izmerenim temperaturama u pojedinim delovima grada, Surčin 25,6 °C i Vračar 27,3 °C.

Ovaj kratki pregled u formi meteorološkog biltena je uvodna napomena za prezentaciju izvoda iz Šestog izveštaja IPCC-a (IPCC, 2021), u kome je na osnovu više od 14 hiljada naučnih studija data dosad najopsežnija i najdetaljnija slika kako klimatske promene menjaju prirodu i šta će uslediti ako ne dođe do brze reakcije kako bi se smanjile emisije gasova staklene bašte. Izvod iz Šestog izveštaja IPCC-a koji navodimo je

„regionalna lista činjenica“ (*Regional fact sheet – Europe*) iz kojeg izdvajamo deo koji ukazuje na sledeće:

- Bez obzira na buduće nivoe globalnog zagrevanja, temperature će rasti u svim evropskim oblastima brzinom prekoračenja globalnih srednjih temperaturnih promena, slično ranijim zapažanjima (*visoka pouzdanost*).
- Učestalost i intenzitet ekstremnih vrućina nastaviće da se povećavaju bez obzira na scenario emisije gasova staklene bašte (*kritičnost*).
- Predviđeno je smanjenje padavina tokom leta na Mediteranu i širenje ka severnim regionima, istovremeno će se povećati ekstremne padavine i izazivati poplave u urbanim sredinama (*visoka pouzdanost*).

Izveštaj koji zasluhuje pažnju u smislu diskusije na prethodnu „regionalnu listu činjenica“ je *bezbednosna procena* Svetske banke o trenutnom statusu i pokretačkim faktorima budućih promena vodnog sektora Srbije. Ovaj izveštaj ukazuje na potrebu za akcijom u više oblasti, a jedna od njih je „reforma sektora voda da bi se rešila institucionalna preklapanja, zatvorile praznine i otklonile nedoslednosti u zakonskom i političkom okviru sa opštim ciljem da se poboljša upravljanje ključnim pitanjima vezanim za klimatske promene kao što su stres vode, ekstremni događaji i pravedno usmeravanje vode različitim korisnicima“ (*World Bank*, 2024).

5. ZAKLJUČAK

Tri izdvojene „evropske činjenice“ (od osam navedenih u *Regional fact sheet – Europe* iz Šestog izveštaja IPCC-a) povezane su sa rezultatima do kojih smo došli u ovom radu analizom uticaja klimatskih faktora na kvalitet vodotokova Pomoravlja. Pogotovu kako piše u Šestom izveštaju IPCC -a, da „ako ne dođe do brze reakcije kako bi se smanjile emisije gasova staklene bašte prosečna globalna temperatura će vrlo verovatno porasti za 1,5 °C u idućih 20 godina“. Iz svega iznetog dovoljno je jasno da se već ostvaruju projekcije klimatskih promena za oblast Jugoistočne Evrope i samim tim za Srbiju. To znači da će ukoliko se nastavi trend sezonskih hidroloških varijacija u slivovima regiona Pomoravlja sa smanjenjem prosečnih proticaja imati za posledicu povećanje sezonske razlike kvaliteta vode zbog smanjenja prijemnog kapaciteta vodotokova. Izražena neravnomernost vodnog režima slivova Pomoravlja se manifestuje viševodnim periodima bujičnog tipa (mart, april, avgust i novembar) i dugim periodima malih voda (januar, februar, maj,

juni, juli, septembar i decembar). Zbog izostanka prečišćavanja industrijskih i komunalnih otpadnih voda, dalje pogoršanje kvaliteta voda će imati za posledicu ugroženost principa održivog korišćenja ovog obnovljivog prirodnog resursa. Nepovoljnost vodnog režima slivova, koji će se u ovom veku pod uticajem klimatskih promena još više zaoštavati, nalaže da ključni objekti za upravljanje vodama u regionu Pomoravlja budu postojeće i novo izgrađene akumulacije sa godišnjim regulisanjem.

LITERATURA

1. *Adaptation in Europe - Addressing risks and opportunities from climate change in the context of socio-economic developments*, EEA Report No 3/2013.
2. *Data Quality Assessment: Statistical Methods for Practitioners*. 2006. USEPA, Office of Environmental Information Washington, DC 20460 EPA/240/B-06/003, USA.
3. *Hidrološki godišnjak - površinske vode*, Republički hidrometeorološki zavod Srbije, 1961-2020.
4. IPCC (2021) SIXTH ASSESSMENT REPORT Working Group I – The Physical Science Basis, Regional fact sheet – Europe. Retrived January 15, 2025, from https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/factsheets/IPCC_AR6_WGI_Regional_Fact_Sheet_Europe.pdf
5. Isailovic D., Srna P. (2001) *Hidrološki bilans površinskih voda Srbije i njegove varijacije*, Upravljanje vodama Srbije - Monografija Instituta J. Černi.
6. *Izveštaj o stanju životne sredine u Republici Srbiji 2006-2023*, Agencija za zaštitu životne sredine.
7. *Klimatske karakteristike na teritoriji Srbije*, Republički hidrometeorološki zavod Srbije, 1951-1990. https://www.hidmet.gov.rs/data/klimatologija_static/latin/Klima_Srbije.pdf
8. *Mann-Kendall Test*. Retrived January 10, 2025, from <https://real-statistics.com/time-series-analysis/time-series-miscellaneous/mann-kendall-test/>
9. Mauro. F. Giljen. (2021). 2030, Laguna.
10. *Rezultati ispitivanja kvaliteta površinskih i podzemnih voda: 2001 – 2011*, Republički hidrometeorološki zavod Srbije.
11. *Rezultati ispitivanja kvaliteta površinskih i podzemnih voda: 2012 – 2020*, Agencija za zaštitu životne sredine.
12. *World Bank (2024) Serbia - Deep Dive Water Security Assessment and Action Planning (English)*. Washington, D.C.: World Bank Group. Retrived January 10, 2025, from <http://documents.worldbank.org/curated/en/099062424121121672>
13. Veljković N., Popović T, Jović M, Dopuđa-Glišić T. (2012) *Uticaj klimatskih faktora na kvalitet vodotokova Pomoravlja - analiza metodom $SWQI_{RB}$* , Voda i sanitarna tehnika, XLII (5-6) 31-38, Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo.
14. *Water scarcity conditions in Europe (Water exploitation index plus)*, Retrived January 10, 2025, from <https://www.eea.europa.eu/ims/use-of-freshwater-resources-in-europe-1>