

# Utjecaj hidrološko-klimatskih pokazatelja na ekološke vrijednosti Regionalnog parka Mura-Drava

S. Rotim<sup>a\*</sup> i L. Tadić<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Srednja škola Ilok, Matije Gupca 168, 32 236 Ilok

<sup>b</sup>Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet, Vladimira Preloga 3, 31 000 Osijek

Ovo djelo je dano na korištenje pod  
Creative Commons Attribution 4.0  
International License



5<sup>th</sup> ZORH  
CONFERENCE

## Sažetak

Područje uz rijeku Muru i Dravu proglašeno je Regionalnim parkom 2011. godine da bi se zaštitila prirodna močvarna staništa (npr. poplavne šume, napuštena meandri korita rijeka), kao i vrste koje ih nastanjuju. Pored hidrotehničkih zahvata provedenih u povijesti, u novije vrijeme posljedice klimatskih promjena predstavljaju sve važniji čimbenik u očuvanju vlažnih staništa tog područja koja ovise o hidrološkom režimu rijeke Mure i Drave. Stoga su analizirane meteorološke i hidrološke značajke tog područja u razdoblju od 1981. do 2022. odnosno od 1960. do 2024. s ciljem predikacije njihova ponašanja u narednih 10 godina. Srednje godišnje temperature zraka i količine oborina kao osnovni pokretači komponenti vodne bilance, ponajprije površinskog otjecanja opažane na postajama Varaždin i Osijek pokazuju kontinuirani porast temperatura zraka i homogenost nizova oborina bez statistički značajnog trenda. Godišnji maksimalni i minimalni protoci rijeka Mure i Drave također ne pokazuje statistički značajne promjene u promatranom razdoblju. Na nizove opažanih minimalnih i maksimalnih promjena primijenjena je metoda pokretnih srednjih vrijednosti (engl. *moving average*) s korakom od 10 godina i rezultati su pokazali da na Muri i maksimalni i minimalni godišnji protoci imaju statistički značajan trend opadanja, a na rijeci Dravi samo maksimalni godišnji protoci. Takve promjene hidroloških prilika na području Regionalnog parka u svakom slučaju nisu povoljne i u budućnosti mogu ugroziti njegove ekološke vrijednosti.

## Ključne riječi

Zaštićeno područje, hidrološki režim, klimatske promjene, okoliš

## 1. Uvod

Drava je tipična fluvio-glacijalna rijeka kod koje se izmjenjuju procesi sedimentacije u kombinaciji s tektonskim pokretima s kasnijim procesima riječne erozije. To je bila osnova za aluvijalne procese koji su stvorili brojna i raznolika staništa s velikim poplavnim područjima, močvarama, mrtvicama i strmim obalama. Rijeka Drava, desna pritoka Dunava ima duljinu od 725 km i površinu sliva od 42 240 km<sup>2</sup>. Izvor joj je u sjevernoj Italiji i teče kroz Austriju (390 km) i Sloveniju (130 km). Rijeka Drava na području RH ima duljinu od 323 km, a površina sliva iznosi 7051 km<sup>2</sup>, tvoreći veći dio granice između Hrvatske i Mađarske prije njezina uluća u rijeku Dunav, istočno od grada Osijeka.<sup>1,2</sup> Ukupna visinska razlika od ulaza u Hrvatsku do uluća iznosi 105 m, a duljina rijeke je 323 km, što daje vrlo mali uzdužni pad (prosječno 0,3 %) što je osnovni preduvjet za proces meandriranja i morfološke razvedenosti.<sup>3</sup> Rijeka Mura izvire u Austriji, na nadmorskoj visini od 1898 m, spuštajući se oko 1700 m do Prekmurja i taj gornji tok ima značajke bujičnog vodotoka: nagli porast vodostaja i protoka uslijed intenzivnih oborina, kratkotrajni vrhunac vodnog vala i velika erozijska moć. Duga je 465 km i teče kroz četiri države: Austriju, Sloveniju, Hrvatsku i Mađarsku. Često je mi-

jenjala korito zbog slabe otpornosti pleistocenskih naslaga, a današnji se tok Mure ustalio u holocenu. Te dvije rijeke pokrivaju širok raspon različitih tipova rijeka i bioregija, od alpskih krajolika do ilirskih i panonskih nizinskih elemenata.<sup>4</sup> Priobalje Mure i Drave u Hrvatskoj, što je vidljivo na slici 1, a i Mađarskoj predstavlja jednu još rijetko očuvanu oazu prirodnog okoliša u srednjoj Europi, pa je stoga i razumljivo veliko zanimanje europske i hrvatske ekološke javnosti za njegovo očuvanje.<sup>5</sup>



Slika 1 – Priobalje Mure i Drave (detalj)<sup>6</sup>

Fig. 1 – Riverside areas of the Mura and Drava (close-up)<sup>6</sup>

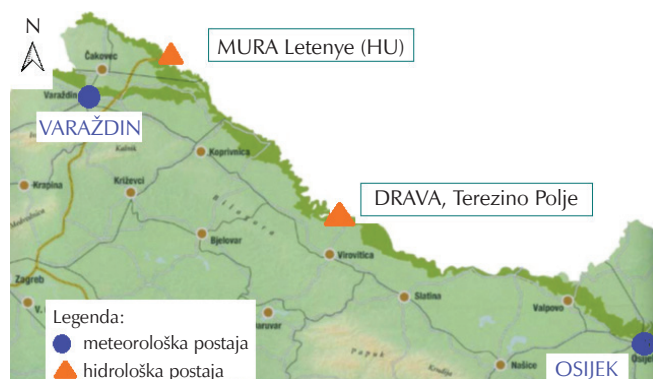
\* Autor za dopisivanje: Stela Rotim, univ. spec. oecol.

E-pošta: [srotim2@gmail.com](mailto:srotim2@gmail.com)

**Napomena:** Rezultati ovog istraživanja predstavljeni su na 5. međunarodnoj ZORH konferenciji – susretu znanstvenika, stručnih djelatnika i studenata na temu zaštite okoliša u Republici Hrvatskoj (5. ZORH konferencija), održanoj od 9. do 11. travnja 2025. na Kemijsko-tehnološkom fakultetu Sveučilišta u Splitu

Vlada Republike Hrvatske je početkom veljače 2011. proglasila područje uz rijeke Muru i Dravu Regionalnim parkom, a ono se proteže na 83 km donjega toka Mure te na

323 km srednjega i donjega toka Drave kao i poplavno područje formirano duž njihovih tokova sve do ušća Drave u Dunav i ukupno obuhvaća 877 km<sup>2</sup>, na pet županija (Međimursku, Varaždinsku, Koprivničko-križevačku, Virovitičko-podravsku i Osječko-baranjsku županiju). Na slici 2 označene su meteorološke i hidrološke postaje relevantne za analizu hidrološko-klimatoloških pokazatelja.



Slika 2 – Zaštićeno područje Regionalnog parka Mura-Drava s označenim relevantnim meteorološkim i hidrološkim postajama<sup>7</sup>

Fig. 2 – Protected area of Mura-Drava Regional Park showing relevant meteorological and hydrological stations<sup>7</sup>

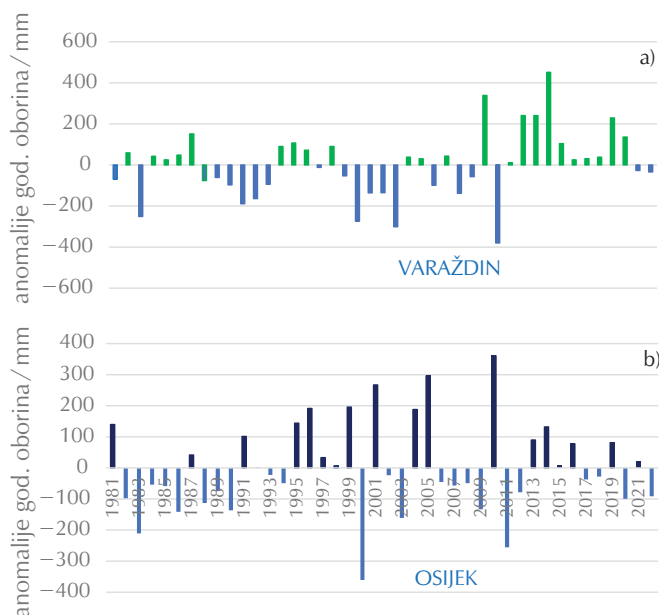
Očuvane prirodne obale Mure i Drave, zajedno sa svojim biljnim i životinjskim svijetom, tvore prepoznatljiv nizinski krajobraz rubnog dijela Panonske nizine, a svojom prirodnom dinamikom te rijeke stvaraju cijeli niz staništa. Unutar parka zaštićena su prirodna močvarna staništa (npr. poplavne šume, mrtvi rukavci, napuštena korita rijeka), kao i vrste koje ih nastanjuju.<sup>8</sup> Važnu ulogu kao staništa imaju i travnjaci, cretovi i visoke zeleni, posebno prirodne livade. Na cjelokupnom području Regionalnog parka Mura-Drava prema podatcima iz crvenih knjiga biljnih i životinjskih vrsta zabilježeno je preko 1800 vrsta živih organizama, od kojih su najbrojnije biljke, preko 900 različitih vrsta vaskularne flore, od kojih su 104 vrste strogo zaštićene ili se nalaze na Crvenom popisu RH, zatim kukci i leptiri te ptice, vodozemci i dabrovi.<sup>9</sup>

Unatoč očuvanim prirodnim značajkama, rijeke Mura i Drava pretrpjele su ljudske utjecaje u posljednja dva stoljeća, poput reguliranja korita rezanjem meandra i smanjenjem duljine rijeke, izgradnje nasipa, vađenja šljunka i pijeska te izgradnje hidroelektrana.<sup>10</sup> Osim uzvodnih hidroelektrana u Sloveniji i Austriji, na rijeci Dravi su u razdoblju od 1975. do 1990. izgrađene tri hidroelektrane, Varaždin (1975.), Čakovec (1983.) i Dubrava (1990.). Gubitak i fragmentacija staništa smatraju se važnim čimbenicima koji ugrožavaju bioraznolikost u zaštićenim područjima. Gubitak staništa može dovesti do smanjenja površina staništa, što rezultira posljedičnim problemima poput smanjenog bogatstva vrsta.<sup>11</sup> Stoga se buduća stopa gubitka bioraznolikosti mora smanjiti kroz dobro planirane sustave zaštićenih područja.<sup>12</sup> Zaklada 'EuroNatur' rano je preuzela inicijativu i 1990. godine započela ambiciozni projekt spašavanja jedinstvenog riječnog krajolika Drave, koji je nakon tride-

setak godina zaključen Odlukom Komisije za svjetsku baštinu UNESCO-a, (15. rujna 2021. godine), o proglašenju jedinstvenog rezervata biosfere Mura-Drava-Dunav, koji se proteže kroz pet zemalja (Austriju, Sloveniju, Mađarsku, Hrvatsku i Srbiju).<sup>13</sup> Prisutni su i antropogeni utjecaji koji su različitim hidrotehničkim građevinama izazvani s ciljem poboljšanja sustava obrane od poplava i ne mogu se zanemariti, ali uvođenjem zaštite područja uz Muru i Dravu ne očekuje se njihovo daljnje jačanje. Posljednjih desetljeća veća opasnost prijeti od klimatskih promjena i njihova utjecaja na promjene količina oborina, povećanje temperatura zraka, a samim time i na promjenu cjelokupne vodne bilance (evapotranspiraciju, otjecanje i infiltraciju, odnosno perkolaciju vode u tlo). Da postoje promjene u komponentama vodne bilance, potvrdila su brojna istraživanja, a jedno od njih je i analiza zasnovana na podatcima s područja Osijeka koja pokazuju da se u razdoblju od gotovo 100 godina (1900. – 1995.) uočavaju statistički značajna povećanja potencijalne i stvarne evapotranspiracije, smanjenje površinskog otjecanja i sadržaja vode u tlu.<sup>14</sup>

Prema Köppenovoj klasifikaciji klime, područje Regionalnog parka Mura-Drava karakterizira umjereno topla vlažna klima s toplim ljetom gdje srednja temperatura zraka najtoplijeg mjeseca ne prelazi 22 °C.<sup>15</sup> Za to područje karakteristična su topla ljeta, a maksimalne količine oborina su u toplom dijelu godine. No niža nadmorska visina i otvorenost istočnim vjetrovima doprinose također ponekad i suhom i vrućem ljetu, a ponekad i izrazito hladnom zimskom vremenu.<sup>16</sup> Na najjužnijem dijelu sliva Mure godišnje količine oborina kreću se od 1250 do 1500 mm, opadaju prema istoku i na ušću Mure u Dravu iznose 800 mm. Slično opadanje količina oborina javlja se i na slivu Drave gdje je raspon srednjih godišnjih oborina između 1530 mm i 660 mm.<sup>17</sup> Maksimalne mjesečne oborine pojavljuju se u mjesecu lipnju, a minimalne u siječnju i veljači, dok se snijeg može pojaviti u razdoblju od listopada do travnja. Intenzivne ljetne kiše mogu uzrokovati poplavne valove na nizinskim pritokama Drave, nakon čega često slijede sušna razdoblja.<sup>18</sup> Analize nizova srednjih godišnjih temperatura zraka mjerenih na 26 meteoroloških stanica u Hrvatskoj pokazuju statistički značajan porast temperature zraka koji počinje 1988. godine, na 57,7 % stanica, a srednje godišnje povećanje temperatura zraka je 0,844 °C.<sup>19</sup>

Meteorološki i hidrološki parametri su pokretači odnosa komponenti vodne bilance kao i njihove prostorne distribucije. Oba parametra ključna su za osnovne komponente bilance voda. S obzirom na relativno uski pojas uz rijeke Dravu i Muru, hidrološki režim tih rijeka značajno definira egzistenciju Regionalnog parka prirode Mura-Drava. Klimatske promjene generirale su razvoj brojnih metoda i scenarija za predviđanje promjena ponajprije oborina i temperatura zraka u bližoj i daljoj budućnosti s ciljem ostvarenja što bolje prilagodbe potencijalnih promjenama na određenom području u specifičnim geomorfološkim, hidrološkim, topografskim i vegetacijskim uvjetima.<sup>20</sup> Sva-ki sliv ili njegova manja prostorna jedinica je jedinstvena i ovisna o njegovom obliku, padovima terena, uporabi zemljišta i naravno antropogenim utjecajima i građevinama koje egzistiraju na tom području, a isto tako su jedinstveni i odnosi između fizikalnih karakteristika područja i vremenskih trendova godišnjih oborina, evapotranspiracije i površinskog otjecanja.<sup>21</sup>



Slika 3 – Anomalije godišnjih količina oborina na području: a) Varaždina i b) Osijeka

Fig. 3 – Annual precipitation anomalies in: a) Varaždin, and b) Osijek

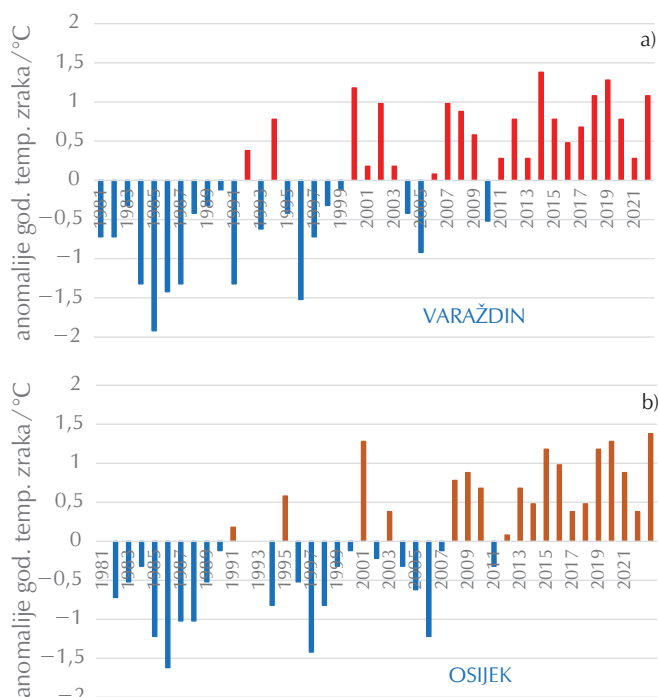
Kao reprezentativne meteorološke postaje odabrane su postaje Varaždin ( $46^{\circ} 16' 58,0''$ ;  $16^{\circ} 21' 50,0''$ ) i Osijek ( $45^{\circ} 30' 08,1''$ ;  $18^{\circ} 33' 42,1''$ ), a analizirano vremensko razdoblje je 1981. – 2022. godine. Slika 3 prikazuje anomalije godišnjih količina oborina u odnosu na srednju godišnju oborinu razdoblja od 42 godine. Srednja godišnja oborina istog razdoblja za Varaždin iznosi 860 mm, a za Osijek 677 mm.

Positivne anomalije na području Varaždina su izrazitije i pojavljuju se početkom 21. stoljeća s iznimkom 2021. i 2022. godine, ali s vrlo malom negativnom anomalijom, što ukazuje na relativno dugo razdoblje s iznadprosječnim godišnjim oborinama. Na području Osijeka u istom tom razdoblju također dominiraju pozitivne anomalije, ali znatno manjeg intenziteta, a izmjena vlažnijih i sušnijih godina je znatno nepravilnija.

Slika 4 prikazuje anomalije srednjih temperatura zraka u odnosu na srednju godišnju temperaturu razdoblja od 42 godine. Srednja godišnja temperatura zraka istog razdoblja za Varaždin iznosi  $10,92^{\circ}\text{C}$ , a za Osijek  $11,62^{\circ}\text{C}$ .

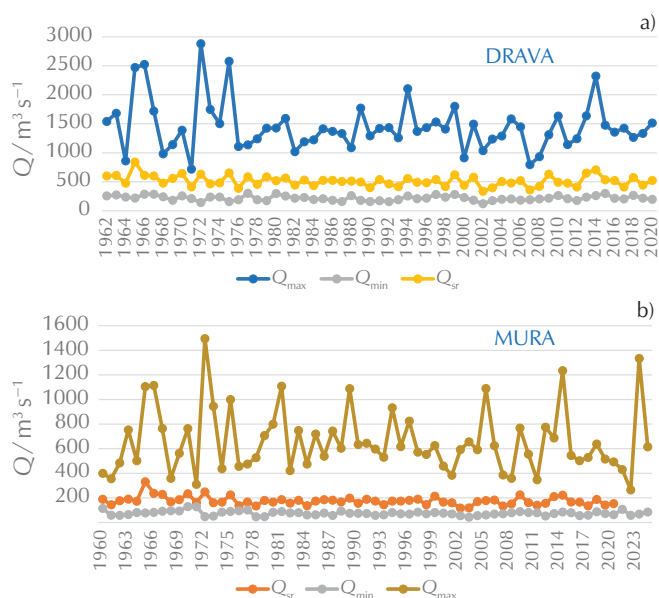
Ponašanje srednjih godišnjih temperatura zraka vrlo je konzistentno i potvrđuje rezultate prethodnih istraživanja o značajnijem porastu temperatura zraka koji započinje krajem 80-ih godina, a posljednjih 15 i više godina povećanja su redovita. Povećanje temperature ima posljedicu ubrzanje hidrološkog ciklusa, čime dolazi do prostornih i vremenskih promjena oborinskih režima i režima evapotranspiracije. Te su promjene glavni pokretač prirodnih promjena hidroloških režima.<sup>22</sup>

Posljedično, promjene u količinama oborina i temperaturama zraka moraju se odraziti i na komponente vodne bilance. Za analiziranje potencijalne ugroze Regionalnog



Slika 4 – Anomalije srednjih godišnjih temperatura zraka na području a) Varaždina i b) Osijeka

Fig. 4 – Annual mean air temperature anomalies in a) Varaždin, and b) Osijek



Slika 5 – Karakteristični godišnji protoci (Q) rijeke: a) Drave i b) Mure, za razdoblje od 1960. do 2024.

Fig. 5 – Characteristic annual discharges (Q) of: a) Mura River, and b) Drava River, for the interval 1960 – 2024

parka Mura-Drava najbitniji su protoci, odnosno hidrološki režim tih rijeka jer, kao i kod ostalih vlažnih područja (kao što je Lonjsko polje ili Kopački rit), biološka raznolikost i opstanak biljnih i životinjskih vrsta ovisi upravo o količinama vode koje ulaze u ekosustav.<sup>23</sup> Analizirani su karakteri-

stični godišnji protoci ( $Q$ ) Drave i Mure (minimalni, maksimalni i srednji) u razdoblju od 1960. do 2024. i prikazani su na slici 5. Srednji godišnji protok analiziranog razdoblja rijeke Drave iznosi  $526 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Maksimalni protok se pojavio 1972. godine i iznosio je  $2882 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , a minimum od  $121 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  zabilježen je 2002. godine.

Na rijeci Muri srednji godišnji protok analiziranog razdoblja iznosi  $176 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Maksimalni protok se pojavio 1972. godine i iznosio je  $1495 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , a minimum od  $43 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  zabilježen je 2003. godine.

## 2. Eksperimentalni dio

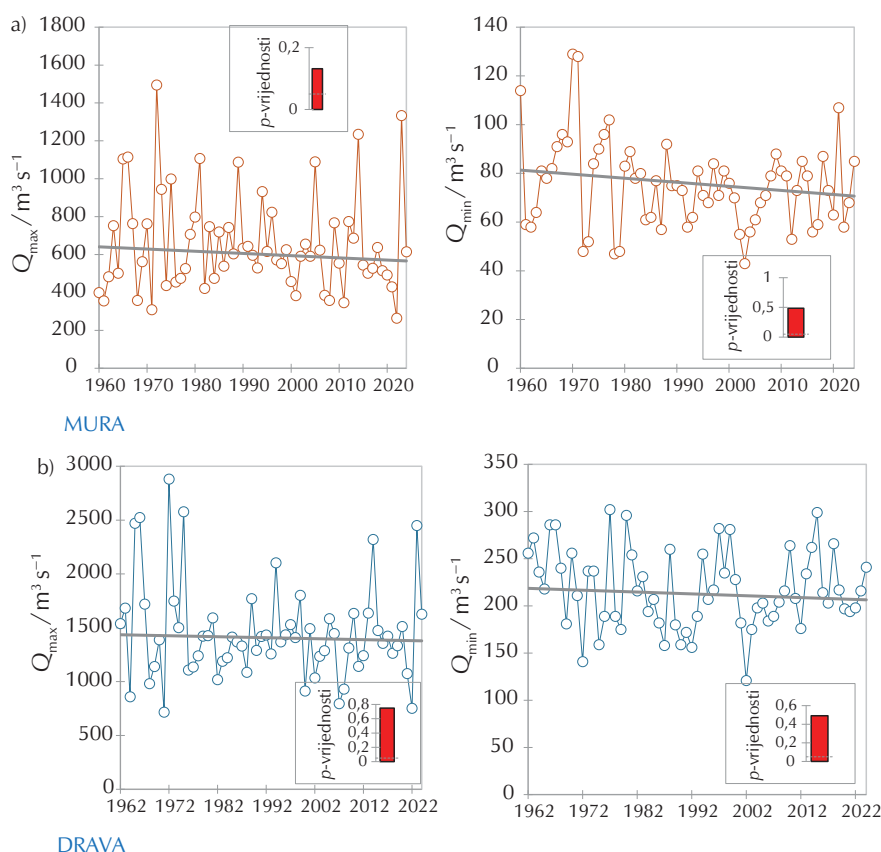
Osnovni cilj rada je predikcija hidroloških karakteristika rijeka Mure i Drave u narednih 10 godina na osnovi niza od 1960. do 2024. godine. Osnovni statistički pokazatelji nizova maksimalnih i minimalnih protoka kao što su homogenosti i trendovi niza nisu pokazali nikakve statistički značajna ponašanja. Ti testovi omogućavaju uvid u postojanje značajnije prekidne točke u nizu koja se često javlja u uvjetima klimatskih promjena. Za ispitivanje homogenosti primijenjen je standardni normalizirani trend test

(engl. *standardised normalised homogeneity test*, SNHT). Slično je i s testovima trenda, kao što je Mann-Kendallov test trenda, prema kojem također ne postoji statistički značajan opadajući ili rastući trend protoka obiju rijeka Mure i Drave (slike 6a i 6b).

Trendovi maksimalnih i minimalnih godišnjih protoka na Muri i Dravi blago su negativni (opadajući), ali nemaju statističku značajnost. Jedna od karakteristika klimatskih promjena je i povećana frekvencija ekstremnih hidroloških pojava, minimalnih i maksimalnih protoka što pokazuje povećani koeficijenti varijacije. Na slici 7 prikazani su koeficijenti varijacije godišnjih minimalnih i maksimalnih protoka rijeka Drave i Mure.

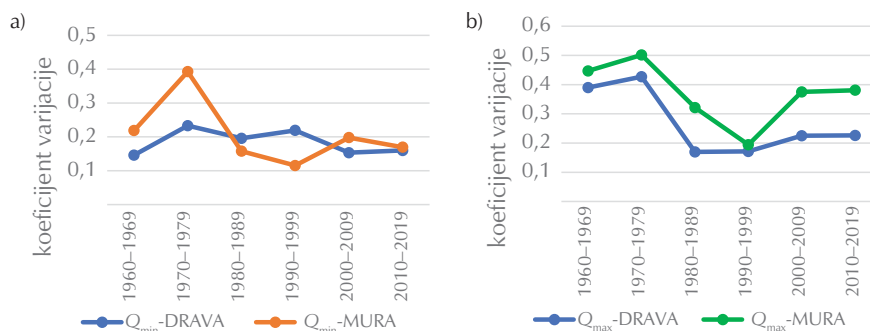
Na obje rijeke tijekom treće dekade opažanog niza protoka i minimalni i maksimalni protoci pokazuju smanjenje varijabilnosti, odnosno manje koeficijente varijacije nego u prethodne dvije dekade. Kad je 1990. godine puštena u rad posljednja od tri hidroelektrane na rijeci Dravi, ta stabilizacija varijabilnosti protoka, osobito maksimalnih posljedica je upravljanja hidrološkim režimom rijeke njihovom izgradnjom (slika 7).

Te analize ne ukazuju na izrazitije statističke promjene u hidrološkim nizovima koje se mogu povezati s klimatskim



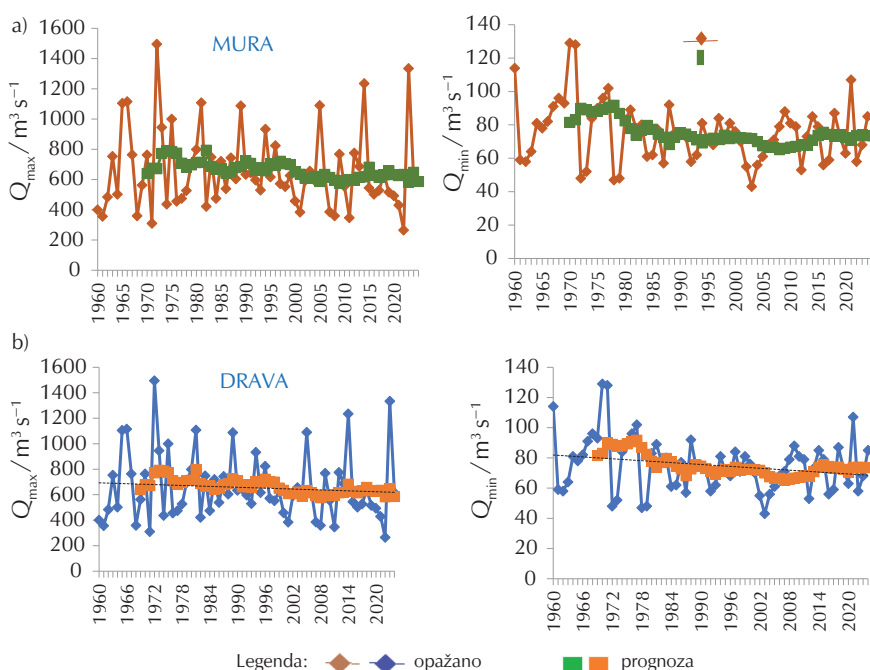
Slika 6 – Rezultati Mann-Kendallova testa trenda za maksimalne i minimalne godišnje protoke rijeka: a) Mure i b) Drave, u razdoblju 1960. – 2024. s označenim linijama trenda

Fig. 6 – Results of the Mann-Kendall trend test for maximum and minimum annual discharges of: a) Mura River, and b) Drava River, during interval 1960–2024, showing trend lines



Slika 7 – Koeficijenti varijacije: a) minimalnih godišnjih i b) maksimalnih godišnjih protoka Mure i Drave, izračunatih po dekadama u razdoblju 1960. – 2024.

Fig. 7 – Decadal coefficients of variation for: a) minimum and b) maximum annual discharges of the Mura and Drava rivers (1960–2024)



Slika 8 – Pokretne srednje vrijednosti maksimalnih i minimalnih godišnjih protoka rijeke: a) Mure i b) Drave, u razdoblju 1960. – 2024.

Fig. 8 – Moving averages of maximum and minimum annual discharges of: a) Mura River, and b) Drava River, during interval 1960–2024

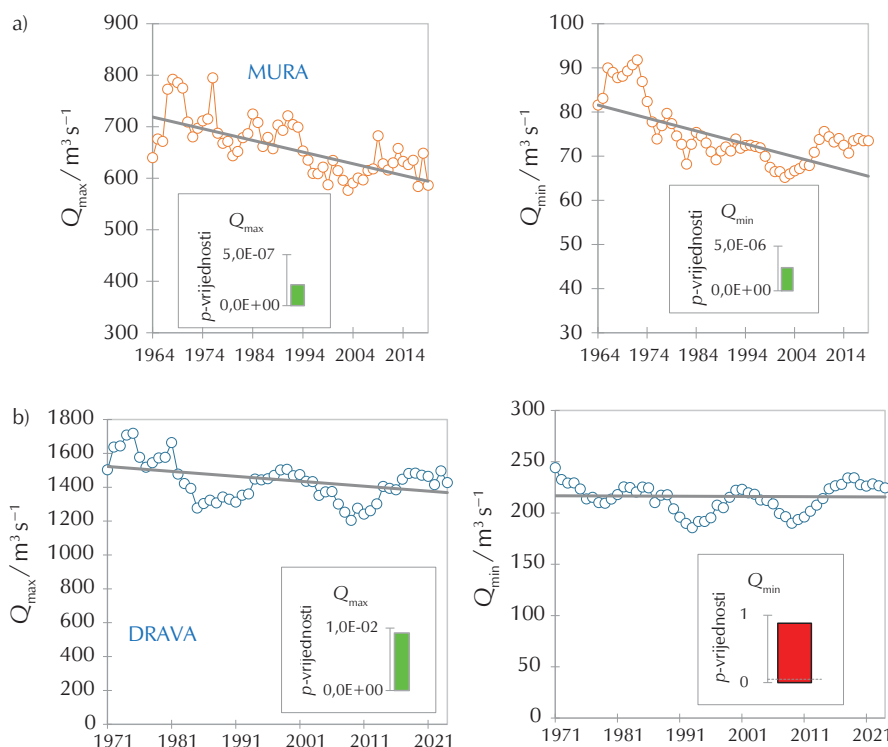
promjenama, dok su evidentniji antropogeni utjecaji. Postoje različiti scenariji promjena meteoroloških parametara na kojima se zasnivaju prognoze vodne bilance, a scenarij rasta koncentracije stakleničkih plinova u budućnosti koji se najviše primjenjuje u Hrvatskoj je RCP4.5 (engl. *Representative Concentration Pathway*).<sup>24</sup>

Osobito su osjetljiva previđanja površinskog otjecanja u nekom duljem budućem razdoblju i mogu biti vrlo nepouzdana. Ponajprije zbog toga što je otjecanje u izravnoj ovisnosti o količinama oborina, njihovom intenzitetu, sezonskoj i prostornoj distribuciji, o čemu govore brojni objavljeni radovi.<sup>25,26</sup> U ovom radu se za projekciju minimalnih i maksimalnih protoka primjenjuje statistička analiza pokretnih srednjih vrijednosti (engl. *moving average*, MA). Pokretne srednje vrijednosti su pokazatelji trenda

koji prikazuje prosječnu vrijednost nekog parametra (godišnjeg minimalnog i maksimalnog protoka) u određenom vremenskom intervalu. Veličina tog vremenskog intervala naziva se razdoblje i u ovom slučaju je odabrano njegovo trajanje od 10 godina. Izraz prema kojem se izračunava pokretna srednja vrijednost je:<sup>27</sup>

$$MA_t = \frac{1}{n} \sum_{q=0}^{n-1} X(t-q) \quad (1)$$

gdje je  $MA_t$  srednja pokretna vrijednost razdoblja  $t$ ,  $n$  je broj podataka u razdoblju koje se osrednjava,  $t$  je trajanje razdoblja osrednjavanja,  $X(t-q)$  je vrijednost člana serije u razdoblju  $(t-1)$ ,  $(t-2)$ ,  $(t-3)$ ,... sve do krajnjeg člana  $(t-q)$  i njegovo sumiranje povezuje te vrijednosti unutar vremen-



Slika 9 – Rezultati Mann-Kendallovog testa trenda za pokretne srednje vrijednosti maksimalnih i minimalnih godišnjih protoka rijeka: a) Mure i b) Drave, u razdoblju 1960. – 2024.

Fig. 9 – Results of the Mann-Kendall trend test for moving averages of maximum and minimum annual discharges of: a) Mura River, and b) Drava River, during interval 1960–2024

skog okvira od  $n$  perioda. Pomicanjem tog vremenskog okvira od razdoblja do razdoblja izračunava se srednja vrijednost stvarajući novu vremensku seriju srednjih vrijednosti veće glatkoće, eliminirajući šumove karakteristične za kraća razdoblja. Na slici 8 prikazane su pokretne srednje vrijednosti maksimalnih i minimalnih protoka rijeka Mure i Drave u razdoblju od 10 godina. Primjenom te statističke metode filtrirane su ekstremne vrijednosti opažanog niza, čime su uklonjeni potencijalni šumovi koji daju krivu sliku.

Kako u osnovnom nizu hidroloških podataka o minimalnim i maksimalnim protocima nije uočen statistički značajan trend, primijenjen je Mann-Kendallov test trenda i na trend pokretne srednje vrijednosti, odnosno niz godišnjih maksimalnih i minimalnih protoka generiran opisanom statističkom metodom. Na slici 9 prikazani su rezultati primijenjenog proračuna koji pokazuju da se pojavljuje statistički značajan opadajući trend na rijeci Muri i kod maksimalnih i kod minimalnih godišnjih protoka, dok se na rijeci Dravi statistički značajan opadajući trend javlja kod maksimalnih godišnjih protoka, dok su minimalni godišnji protoci bez trenda.

### 3. Rezultati i rasprava

Prema Strategiji prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu ne predviđa se veća promjena

u godišnjim veličinama površinskog otjecanja u razdoblju 2011. – 2040. godine, osim u gorskim predjelima i zaleđu Dalmacije (oko 10 % u zimi, proljeću i jeseni). Do 2070. godine očekuje se manje opadanje površinskog otjecanja koje bi moglo prostorno zahvatiti čitavu Hrvatsku i to najviše u proljeće. Smanjenje otjecanja predviđa se na osnovi predikcije smanjenja ukupne količine proljetne oborine sredinom 21. stoljeća. Istodobno se predviđa daljnje povećanje temperature zraka. Prikazana analiza provedena za područje Regionalnog parka Mura-Drava dijelom potvrđuje tvrdnje navedene u Strategiji. Prisutan je statistički značajan porast srednjih godišnjih temperature zraka, dok se ukupne godišnje količine oborine blago povećavaju, ali bez statistički značajnog trenda (slike 3 – 5). Pri tome treba uzeti u obzir sezonalnost oborina i njihovu nepravilnu distribuciju tijekom godine koja u ovom radu nije analizirana. Maksimalni i minimalni protoci rijeka Mure i Drave analizirani u razdoblju 1960. – 2024. ne pokazuju statistički negativne, opadajuće trendove (slika 6). Ekstremni protoci imaju izrazitu važnost kod vlažnih staništa koja su dominantno nastala u inundacijama velikih rijeka. Punjenje inundacija, mrtvih rukavaca i odrezanih meandara u kojima obitavaju brojne vrste ovisi o učestalosti i veličini vodnih valova, odnosno maksimalnih protoka (slike 1 i 2). Nasuprot tome, suše i dulje trajanje niskovodnih razdoblja također predstavljaju opasnost za opstanak vrsta koje obitavaju u vlažnim staništima. Klimatske promjene na području kontinentalne Hrvatske, kao i njihov utjecaj na vodnu bilancu,<sup>15</sup> intenzivno se istražuju posljednjih

desetljeća, međutim na vodnu bilancu utječu i antropogeni faktori kao što su hidrotehničke građevine i zahvati provedeni tijekom 20. stoljeća. Na protoke rijeke Drave u Hrvatskoj znatno utječu izgrađene tri hidroelektrane za proizvodnju vodne energije, ali i zaštitu od poplava, što se vidi na slici 7, koja prikazuje koeficijente varijacije maksimalnih i minimalnih protoka.<sup>28</sup> Nakon izgradnje posljednje u nizu hidroelektrane 1990. godine varijabilnost maksimalnih protoka na nizvodnoj postaji znatno je smanjena jer se uspostavio kontrolirani vodni režim i zadržavanje velikih voda s ciljem zaštite nizvodnih područja od plavljenja. Istodobno je varijabilnost malih voda ostala jednaka, što znači da se minimalni protoci nisu mijenjali pod utjecajem hidroelektrana. Hidroelektrane na rijeci Muri imaju sličan učinak u smislu smanjenja varijabilnosti maksimalnih i minimalnih protoka, iako su sve hidroelektrane na rijeci Muri u Austriji i Sloveniji, a u Hrvatskoj nije izgrađena niti jedna. Hidroelektrane na rijeci Muri pokazuju sličan učinak, osobito u pogledu smanjenja varijabilnosti maksimalnih i minimalnih protoka, iako se sve nalaze u Austriji i Sloveniji, dok u Hrvatskoj nije izgrađena niti jedna. Ovdje se svakako treba osvrnuti na upravljanje hidroelektranama i potrebu ispuštanja tzv. biološkog minimuma, odnosno ekološki prihvatljivog protoka koji se definira kao protok koji se mora ispuštati nizvodno od zahvata u vodotoku da se ne bi poremetio ekološki sustav. Problem je što u Hrvatskoj ne postoje zakonski propisi koji definiraju ekološki prihvatljivi protok. Iako u Europi postoje različiti pristupi, u Hrvatskoj se u stručnoj praksi zahtijeva da protok nizvodno od građevine bude veći ili jednak prosječnom minimalnom godišnjem protoku.<sup>29</sup>

#### 4. Zaključak

Upravljanje vodnim režimom Mure i Drave može ublažiti niskovodna razdoblja koja nastaju kao posljedica potencijalnih utjecaja klimatskih promjena. Primjena statističke metode pokretnih srednjih vrijednosti pokazala je da se u narednih 10 godina mogu očekivati hidrološki poremećaji koji potencijalno mogu ugroziti ekološke vrijednosti Regionalnog parka. Maksimalni godišnji protoci opadaju na obje rijeke, a na rijeci Muri opadaju i minimalni godišnji protoci. Ti rezultati za vodni ekološki sustav, koji je iznimno ovisan o hidrološkim karakteristikama, mogu imati vrlo negativan učinak i izazvati velike poremećaje u bioraznolikosti ekosustava. Pritom se može očekivati i znatno nepovoljnija situacija u sezonskim vremenskim okvirima, odnosno u pojedinim godišnjim dobima. U svakom slučaju problem koji je utvrđen zahtijeva daljnja istraživanja, ponajprije u pogledu mogućnosti prilagodbe klimatskim promjenama i razvoju mjera za smanjenje njihovih negativnih učinaka.

Upravo postojeće hidrotehničke građevine (hidroelektrane) mogu pridonijeti smanjenju vodnog deficita u pojedinim godinama ili razdobljima godine. Upravljanje vodnim režimom Mure i Drave ima mogućnost ublažavanja niskovodnih razdoblja kao posljedica potencijalnih utjecaja klimatskih promjena. Primjena statističke metode pokretnih srednjih vrijednosti pokazala je da u budućnosti (narednih 10 godina) možemo očekivati hidrološke poremećaje koji potencijalno mogu ugroziti ekološke vrijednosti Regionalnog parka. Maksimalni godišnji protoci opadaju na obje ri-

jeke, a na rijeci Muri opadaju i minimalni godišnji protoci. Ti rezultati za vodni ekološki sustav koji je iznimno ovisan o hidrološkim karakteristikama može biti vrlo negativan i izazvati velike poremećaje bioraznolikosti ekosustava. Pri tome se može očekivati i znatno nepovoljnija situacija u sezonskim vremenskim okvirima, odnosno pojedinim godišnjim dobima. U svakom slučaju, problem koji je detektiran zahtijeva daljnje istraživanje, ponajprije mogućnosti prilagodbe klimatskim promjenama i minimiziranje utjecaja izazvanih klimatskim promjenama. Upravo postojeće hidrotehničke građevine (hidroelektrane) mogu pomoći reduciranju vodnog deficita u pojedinim godinama ili diljelovima godine.

#### Literatura References

1. Zakon o vodama, Narodne novine NN, br. 14/14, Tab. A. 10 i 11 Osnovni podaci o glavnim rijekama vodnog područja rijeke Dunav (1961. – 1990.) 23, URL: [https://www.voda.hr/sites/default/files/202205/nacrt\\_plana\\_upravljanja\\_vodnim\\_podrucjima\\_za\\_razdoblje\\_2016.\\_-2021.pdf](https://www.voda.hr/sites/default/files/202205/nacrt_plana_upravljanja_vodnim_podrucjima_za_razdoblje_2016._-2021.pdf). (21. 6. 2025.)
2. R. Šajn, J. Halamić, Z. Peh, L. Galović, J. Alijagić, Assessment of the natural and anthropogenic sources of chemical elements in alluvial soils from the Drava River using multivariate statistical methods, *J. Geochem. Explor.* **10** (3) (2011) 278–289, doi: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.06.009>.
3. L. Gotal Dmitrović, The Amazon of Central Europe – the Drava River (In book: Environmental Science URL and Technology: Sustainable Development, 2023., str. 35–46, doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-27431-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-031-27431-2_3).
4. U. Schwarz, Hydromorphological inventory and map of the Drava and Mura rivers (IAD pilot study), *Large Rivers* **18** (2008) 45–59, doi: <https://doi.org/10.1127/lr/18/2008/45>.
5. D. Faletar, Geografsko demografske značajke Regionalnog parka Mura-Drava, Podravina **12** (24) (2013) 5–21, UDK/UDC 94-084.3 (497.5 Drava 05), URL: <https://hrcak.srce.hr/112952>.
6. URL: <https://www.virovitica.net/tri-godine-od-proglase-nja-regionalnog-parka-mura-drava/22766/> (21. 6. 2025)
7. URL: <https://hrcak.srce.hr/112952> (21. 6. 2025.)
8. B. Bakure, K. Hundera, M. Abara, Review on the effect of climate change on ecosystem services, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **1016** (2022) 012055, doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1016/1/012055>.
9. Plan Upravljanja Regionalnog parka Mura -Drava, Prilog 8., Izvori: Nikolić i Topić, 2005; Csiky i Purger, 2008; Kevey i Csete, 2008; Kevey et al., 2008; Grlica, 2008; Trenc i sur., 2009; Nikolić, 2010; Sinjeri, 2011; Šafarek, 2012; Pravilnik o strogo zaštićenim vrstama (NN 144/2013, 73/2016); Kru-ljac i sur., 2020; Rašić i Uranjek, 2021; MINGOR, 2021.
10. L. Tadić, E. A. Tamás, M. Mihaljević, J. Janjić, Potential Climate Impacts of Hydrological Alterations and Discharge Variabilities of the Mura, Drava, and Danube Rivers on the Natural Resources of the MDD UNESCO Biosphere Reserve, *Climate* **10** (10) (2022) 139, doi: <https://doi.org/10.3390/cli10100139>.
11. C. Galán-Acedo, R. Arasa-Gisbert, V. Arroyo-Rodríguez, M. Martínez-Ruiz, F. A. Rosete-Vergés, F. Villalobos, Effects of habitat loss on Brazilian primates: assessing extinction thresholds in the Amazon and Atlantic Forest, *Perspect. Ecol. Conserv.* **21** (2) (2023) 189–195, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2023.05.001>.

12. M. G. Muluneh, The impact of climate change on biodiversity and food security: a global perspective – review article, *Agric. Food Secur.* **10** (2021) 36, doi: <https://doi.org/10.1186/s40066-021-00318-5>.
13. G. Köck, G. Schwach, A. Mohl, Editorial Mura-Drava-Danube biosphere reserve: a long way from the original idea to the designation of the world's first 5-country biosphere reserve, *Int. J. Environ. Sustain. Develop.* **21** (3) (2022) 253–269, doi: <https://doi.org/10.1504/IJESD.2022.123948>.
14. K. Zaninović, M. Gajić-Čapka, Changes in Components of the Water Balance in the Croatian Lowlands, *Theor. Appl. Climatol.* **65** (1-2) (2000) 111–117, doi: <https://doi.org/10.1007/s007040050008>.
15. T. Šegota, A. Filipčić, Köppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje, *Geoadria* **8/1** (2003) 17–37, doi: <https://doi.org/10.15291/geoadria.93>.
16. D. Loczy, Climate and Climate Change in the Drava-Mura Catchment, u: D. Lóczy (ur.) *The Drava River*, Springer Geography, Springer, Cham., 2019., str. 45–59, doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92816-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92816-6_4).
17. URL: [https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/novosti/2022-07/bp\\_33\\_-\\_provedbeni\\_plan\\_obrane\\_od\\_po-plava.pdf](https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/novosti/2022-07/bp_33_-_provedbeni_plan_obrane_od_po-plava.pdf) (12. 12. 2025.)
18. K. Cindrić, Statistička analiza kišnih i sušnih razdoblja u Hrvatskoj binarnim DARMA (1,1) modelom, *Hrvatski meteorološki časopis* **41** (2006) 43–51, UDK:551.577.22
19. O. Bonacci, Analiza nizova srednjih godišnjih temperatura zraka u Hrvatskoj, *Građevinar* **9** (62) (2010) 781–791, URL: <https://hrcak.srce.hr/59611>.
20. L. Tadić, T. Dadić, M. Leko-Kos, Variability of Hydrological Parameters and Water Balance Components in Small Catchment in Croatia, *Adv. Meteorol.* **2016** (2016) 393241, doi: <https://doi.org/10.1155/2016/1393241>.
21. D. A. Post, A. J. Jackman, Relationships between catchment attributes and hydrological response characteristics in small Australian Mountain ash catchments, *Hydrol. Process.* **10** (6) (1996) 877–892, doi: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199606\)10:6<877::AID-HYP377>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199606)10:6<877::AID-HYP377>3.0.CO;2-T).
22. I. Čanjevac, Novije promjene protočnih režima u hrvatskom dijelu porječja Dunava, *Hrvat. Geogr. Glas.* **74** (1) (2012) 61–74, doi: <https://doi.org/10.21861/HGG.2012.74.01.04>.
23. L. Tadić, O. Bonacci, T. Dadić, Dynamics of the Kopački Rit (Croatia) wetland floodplain water regime, *Environ. Earth Sci.* **71** (8) (2014) 3559–3570, doi: <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2747-7>.
24. Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu, NN 46/2020-1.2. Vremenski okvir Strategije prilagodbe i rast koncentracija stakleničkih plinova u budućnosti, URL: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020\\_04\\_46\\_921.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_04_46_921.html).
25. M. De Luis, J. C. Gonzales-Hidalgo, M. Brunetti, A. Longares, Precipitation concentration changes in Spain 1946–2005, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* **5** (11) (2011) 1259–1265, doi: <https://doi.org/10.5194/nhess-11-1259-2011>.
26. A. N. Nunes, L. Lourenço, Precipitation variability in Portugal 1960–2015, *J. Geogr. Sci.* **25** (7) (2015) 784–800, doi: <https://doi.org/10.1007/s11442-015-1202-y>.
27. S. Braun, The synchronous (time domain) average revisited, *Mech. Syst. Signal Process.* **25** (4) (2011) 1087–1102, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2010.07.016>.
28. D. Režek, Hidroelektrane na Dravi, *Građevinar* **55** (11) (2003) 647–653, URL: <https://hrcak.srce.hr/10834>.
29. R. Žugaj, Hidrologija, Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb 2000.

## SUMMARY

### Impacts of Hydrological and Climatological Indicators on the Ecological Values of Mura-Drava Regional Park

Stela Rotim<sup>a\*</sup> and Lidija Tadić<sup>b</sup>

The Mura-Drava Regional Park was established in 2011 to preserve natural swampy habitats, including flooded forests, abandoned river branches, and oxbows, as well as species that inhabit the area. In addition to the hydrotechnical structures built in the past, climate change has become an increasingly important factor in the preservation of wetlands such as the Mura-Drava Regional Park, which is strongly dependent on the hydrological regimes of the Mura and Drava rivers. This paper examines the meteorological and hydrological characteristics of the area, observed over the periods 1981–2022 and 1960–2024, respectively, to predict potential trends over the next decade. Mean annual air temperatures and precipitation, which act as driving forces of water balance components, specifically run-off, were observed at the Varaždin and Osijek stations. The results show a continuous increase in air temperature and a homogeneous precipitation data series, with no statistically significant trends detected. Similarly, annual maximum and minimum discharges of the Mura and Drava rivers do not exhibit statistically significant trends. However, when applying a 10-year moving average, statistically significant decreasing trends are observed in the maximum and minimum discharges of the Mura River and in the maximum discharges of the Drava River. These changes in the Regional Park area are considered unfavourable and may seriously threaten its ecological values in the future.

#### Keywords

Protected area, hydrological regime, climate change, environment

<sup>a</sup> Ilok High School, Matije Gupca 168, 32 236 Ilok, Croatia

<sup>b</sup> Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Vladimira Preloga 3, 31 000 Osijek, Croatia

Original scientific paper  
Received September 17, 2025  
Accepted December 16, 2025