

ANALIZA TRENDOVA PORASTA TEMPERATURA VODE DUŽ TOKA DRAVE U HRVATSKOJ

dr. sc. Ognjen Bonacci,
prof. emerit.

Sveučilište u Splitu, Fakultet
građevinarstva, arhitekture i
geodezije

Matice hrvatske 15, Split, Hrvatska
obonacci@gradst.hr

U radu su analizirani raspoloživi nizovi karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) godišnjih temperatura vode izmjereni na sedam vodomjernih postaja duž toka rijeke Drave u Hrvatskoj. Korišteni su službeni podaci DHMZ-a iz Zagreba u razdoblju od 76 godina počevši od 1948. do 2023. Osnovni problem za sustavnu analizu predstavlja činjenica da su nizovi mjerenja različiti na različitim postajama te da postoje brojni prekidi u radu koji su vrlo različiti na postajama duž toka. Bez obzira na tu ograničavajuću činjenicu bilo je moguće donijeti pouzdane zaključke o porastu temperatura vode duž toka Drave, osobito u posljednjih 17 godina (2007. – 2023.). U svim analiziranim nizovima (osim u slučaju niza maksimalnih godišnjih temperatura vode Drave na postaji Beliše) ustanovljeno je postojanje trenda porasta. U posljednjih 17 godina (2007. – 2023.) prosječne minimalne godišnje temperature duž toka Drave porasle su za 0,86 °C, u odnosu na prosječne minimalne godišnje temperature u podrazdoblju od 1969. do 1985. Za ista dva spomenuta podrazdoblja za podnizove srednjih godišnjih temperatura vode izračunat je prosječni porast od 1,81 °C, dok je za podnizove maksimalnih godišnjih temperatura on iznosio 2,06 °C. Utvrđeno je da sve analizirane karakteristične temperature vode (osim za podniz minimalnih godišnjih temperatura u podrazdoblju od 2007. do 2023.) rastu nizvodno duž toka rijeke od postaje Varaždin do postaje Osijek.

Ključne riječi: minimalne, srednje i maksimalne godišnje temperature vode, Drava u Hrvatskoj

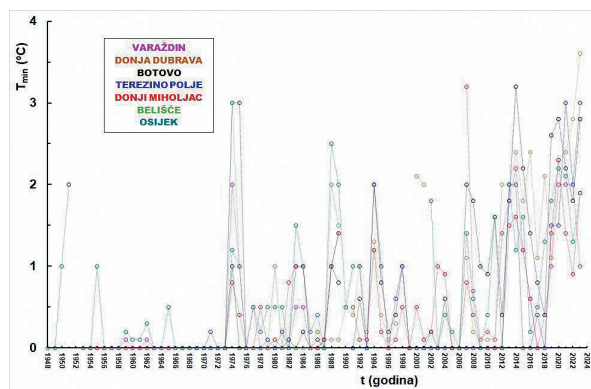
1. UVOD

Temperatura vode u otvorenim vodotocima u prostoru i vremenu varijabilno je svojstvo vode koje značajno utječe na brojne fizičke, kemijske, biološke, ali i socioekonomske procese tekućica i njihovog šireg okoliša.

Temperatura vode u tekućicama bitno utječe na broj i vrstu životinja i biljaka koje žive u njima. Ona se prirodno mijenjaju s godišnjim dobima prateći promjene temperature zraka. Mnoge aktivnosti mogu promijeniti temperaturu vode, uključujući ispuštanje toplije vode

za hlađenje iz termoelektrana, ispuštanje vode iz brana, uklanjanje obalne vegetacije koje zasjenjuje i snižava temperaturu u vodotocima itd. Većina životinja i biljaka koja živi u rijekama preferira određeni temperaturni raspon za optimalan rast i reprodukciju. Ako se i kada se temperatura vode promijeni izvan željenog raspona, to može značajno i uglavnom negativno (često i katastrofalno) utjecati na njih.

U kontekstu globalnog zatopljenja, upravljanje rijekama bitno je za održavanje povoljnih raspona temperature vode ne samo za vodene vrste već i za



Slika 1: Nizovi raspoloživih minimalnih godišnjih temperatura vode Drave opaženi na sedam vodomjernih postaja u Hrvatskoj

stanovništvo koja živi uz i od njih. Stoga razumijevanje glavnih čimbenika koji utječu na temperaturu vode u svakom pojedinom slučaju postaje ključni dio u procesu upravljanja (Moulin i sur. 2022).

Na toplinske režime rijeka uglavnom utječu atmosferski čimbenici na razini lokacije, na razini sliva ili na većim razinama. Prijenos topline na relaciji atmosfera – voda, te u manjoj mjeri prijenosi na relaciji voda – vodonosnik, kontroliraju veći dio toplinskih varijacija u velikim rijekama. Ti prijenosi variraju ovisno o protocima, o brzini tečenja vode, o vremenu zadržavanja vode u okolišu, o širini i dubini korita rijeke. Na toplinske režime također utječu geomorfologija, obalna vegetacija i hidrotehničke konstrukcije. Temperatura vode raste nizvodno, sa srednjim gradijentom od 0,1 °C/km za velike ravničarske rijeke, dok se ne postigne ravnotežna temperatura (Torgersen i sur. 2001).

Promjene toplinskog režima riječne vode uzrokuju kratkoročne i dugoročne promjene riječnog okoliša i njegovih vodenih staništa. Povećana temperatura vode može rezultirati značajnim promjenama u sastavu vrsta i funkcioniranju vodenih ekosustava. Neophodno je što preciznije i što pouzdanije predvidjeti njen razvoj u budućnosti. Za postizanje tog cilja bitno je izučiti njen razvoj u prošlosti zasnovan na analizi lako dostupnih i raspoloživih meteoroloških i hidroloških karakteristika, prvenstveno temperatura zraka i vode te protoka.

Postoje čvrsti i brojni dokazi da se temperature vode rijeka povećavaju diljem svijeta kao odgovor na klimatske promjene, ali i kao posljedica ljudskih djelatnosti, a osobito izgradnje brana i formiranje akumulacija (Lessard i Hayes 2003; Bonacci i sur. 2022; Xiao i sur. 2022; Shrestha i sur. 2024). Pri analizi varijacija temperature vode u otvorenim vodotocima bitno je uzeti u obzir činjenicu da na njih utječe dotok podzemnih voda, isparavanje, povratno zračenje, atmosfersko zračenje, Sunčevo zračenje i vegetativno topografsko zračenje. Navedeni čimbenici odgovorni su za oko 90 % protoka topline u rijekama (Ahmadi-Nedushan i sur. 2007; Laszewski 2013; van Vliet i sur. 2013).

Temperature vode u velikim europskim rijekama porasle su za 1-3 °C tijekom prošlog stoljeća. Predviđa

se da će se površinske temperature vode rijeka dodatno povećati s predviđenim porastom temperature zraka uzrokovanog globalnim zagrijavanjem (https://www.eea.europa.eu/ds_resolveuid/IND-202-en). Klimatske promjene i brojni antropogeni zahvati mijenjaju vrlo različito temperaturu riječne vode na svim razinama od one lokalne, preko regionalne do globalne. Za održivo upravljanje rijekama, ali i širim prostorima oko njih kao i za donošenje učinkovite strategije prilagodbe neophodno je cjelovitije razumijevanje dinamike variranja temperatura vode u svakom pojedinom otvorenom vodotoku. Bitno je ovu problematiku shvatiti i tretirati u integriranom okviru klima – krajobraz (geologija, geomorfologija, tlo, vegetacija itd.) – hidrologija – ljudi (Ficklin i sur. 2023).

Osim promjena u dostupnosti i kvaliteti vode, klimatske promjene potaknute globalnim zagrijavanjem već danas značajno utječu na temperaturu vode u rijekama (Michel i sur. 2022). Realno je očekivati da će buduće povećanje temperature zraka značajno povećati temperaturu vode u rijekama i time uzrokovati češće stresove u njihovim ekosustavima. Istovremeno rijeke predstavljaju važan socioekonomski čimbenik koji utječe na brojne ključne društveno ekonomske aspekte kao npr. poljoprivredu, turizam, proizvodnju električne energije, opskrbu i kvalitetu pitke vode itd. Njihov socioekonomski utjecaj posebno je važan u slučajevima kad rijeka predstavlja granični i prekogranični vodotok kao što je to slučaj donjeg toka rijeke Drave.

Nagli skokovi temperature vode u rijekama pretežno se javljaju u vrućim i sušnim razdobljima u ekstremno niskim protocima. Takvi su fenomeni uobičajeni tijekom dugotrajnih malovodnih razdoblja i suša, koje se sve češće i sa sve razornijim posljedicama javljaju u posljednjim desetljećima praktično na cijelom svijetu (White i sur. 2023). To je posljedica činjenice da se ekstremno niski protok podudara s visokim temperaturama zraka koje utječu na snažan unos atmosferske energije. Suvremena znanost nije još dovoljno izučila u kojoj mjeri različiti meteorološki i hidrološki, ali i drugi procesi međusobno djeluju tijekom suša te kako utječu na riječne ekosustave. Treba uvijek imati na umu činjenicu da se svaki pojedini otvoreni vodotok različito ponaša i individualno reagira.

Razumijevanje prostorno-vremenske varijabilnosti promjena temperature riječne vode izazvane klimom kao i drugim čimbenicima ključno je za prepoznavanje žarišta i procjenu utjecaja na ekološke i socioekonomske sustave. To predstavlja i glavni cilj analiza vršenih u ovom radu.

2. PREGLED OBJAVLJENIH RADOVA KOJI TRETIRAJU HIDROLOŠKU PROBLEMATIKU DUŽ TOKA DRAVE U HRVATSKOJ

Rijeka Drava predstavlja za Hrvatsku izrazito važan resurs i granični te prekogranični vodotok. O njoj i

njenim najrazličitijim prirodnim svojstvima i društvenoj ulozi mnogo je toga objavljeno. U ovom će se poglavlju pokušati dati što je moguće potpuniji osvrt isključivo na one objavljene radove koji su prvenstveno vezani uz hidrološku problematiku i koji su prema tome neophodni za razumijevanje varijacija njenog temperaturnog režima u prostoru i vremenu na teritoriju Hrvatske. Nažalost, zbog jezične barijere nisu u obzir uzeti radovi koje su objavili mađarski stručnjaci, a vrlo vjerojatno i među njima ima vrijednih zapažanja i dostignuća.

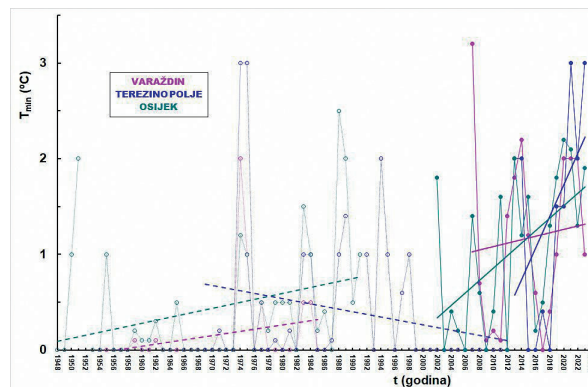
O značaju rijeke Drave kao međunarodnog vodotoka prvenstveno svjedoči knjiga u čijem je stvaranju sudjelovalo 29 autora iz Mađarske, Hrvatske, Austrije i Slovenije. Radi se o monografiji koju je publicirala jedna od svjetski vodećih izdavačkih kuća – Springer Verlag. Urednik knjige *The Drava River – Environmental Problems and Solutions* bio je mađarski profesor sa Sveučilišta Pécs prof. Dénes Lóczy (Lóczy 2019).

Prema Čanjecu (2013) Drava i Mura imaju alpsko snježno-kišni protočni režim. Određeni sektori rijeka Mure, Drave i Dunava zajedno čine jedinstveni riječni krajolik koji je UNESCO proglasio Prekograničnim rezervatom biosfere Mura, Drava i Dunav. Radi se o koherentnoj mreži od 12 glavnih zaštićenih područja duž spomenutih rijeka čime se ističe njihovu ekološku vrijednost. Ugroženost klimatskim promjenama i posljedičnim promjenama okoliša u ovom ekološki vrijednom prostoru izučavana je u radu Tadić i sur. (2022). Prema rezultatima IHA (*Indicators of Hydrological Alteration*) modeliranja, analizirane riječne dionice bile su podvrgnute umjerenim promjenama s vrijednostima globalnog indikatora između 0,5 i 0,75.

Tijekom 20. stoljeća izgrađene su brojne akumulacije i hidroelektrane, izvedeni brojni regulacijski radovi, vodoopskrbni i drugi veliki objekti duž rijeke Drave i u njezinom slivu u Sloveniji, Hrvatskoj, Mađarskoj i Austriji. Do sada su izgrađene 22 hidroelektrane u Austriji, Sloveniji i Hrvatskoj. Njihova izgradnja i pogon uvelike su utjecali na vodni režim duž cijelog toka rijeke Drave. Analizom promjene hidrološkog režima na donjem toku rijeke od Varaždina (288 km) do ušća u Dunav (0 km) ustanovljeni su značajni trendovi snižavanja vodostaja, protoka i pronosa suspendiranog nanosa (Bonacci i sur. 1992; Bonacci i Oskoruš 2010; Tadić i Brleković 2019; Orešić i Filipčić 2024).

Promjene u duljini i obliku korita Drave od Repaša do Ferdinandovca od kraja 18. stoljeća do danas izučavane su u radu Pavlek i sur. (2022). Hidrotehničkim zahvatima na rijeci, prvenstveno presijecanjem meandara radi zaštite od poplava i poboljšanja protočnosti, duljina istraživanog segmenta se od kraja 18. stoljeća do danas smanjila za 14,8 km, odnosno za 48,4 % početne duljine. Najveći intenzitet promjena zabilježen je na prijelazu u 20. stoljeće, kada je izvršena većina regulacijskih radova na rijeci.

U srednjem i donjem toku rijeke Drave poplave su se javljale najčešće u kasno proljeće i rano ljeto.



Slika 2: Nizovi raspoloživih minimalnih godišnjih temperatura vode Drave, razdvojeni u dva podniza, opaženi na trima vodomjernim postajama: Varaždin, Terezino Polje, Osijek. U crtanu su pravci regresije za svaki od analiziranih podnizova.

Osnovni uzrok predstavlja otapanje snijega u području južnih Alpa, točnije talijanskog Tirola, gdje Drava izvire. Dodatno su poplave intenzivirane velikim količinama intenzivnih padalina. Jesenske su poplave posljedica velike količine padalina koje su uzrokovane dotokom voda s obronaka Kalnika i Bilogore. Na lokalitet pojave i veličinu poplava bitno je utjecalo izlivanje dravskih pritoka Mure, Bednje, Glibokog ili Koprivnice (Krušelj 2017).

Problematika temperature vode Drave u Hrvatskoj tretirana je u šest radova čije će se osnovne zaključke nastavno navesti.

Analizirajući vremenske nizove karakterističnih temperatura vode na četirima postajama duž toka Drave (Botovo, Donji Miholjac, Terezino Polje i Osijek) Bonacci i sur. (2008) zaključili su sljedeće: (1) Na vodomjernoj postaji Donji Miholjac došlo je 1988. do naglog skoka srednjih godišnjih temperatura vode. U podrazdoblju od 1987. do 1991. prosječna srednja godišnja temperatura naglo je porasla za 0,86 °C u odnosu na prethodno razdoblje; (2) Na postaji Donji Miholjac broj godina s pojavom minimalne temperature vode od 0 °C naglo se smanjio počevši od 1975. godine. U prethodnom razdoblju javljao se gotovo redovno svake godine (26 puta u 28 godina), a poslije 1974. pojavile su se vrlo rijetko (8 puta u 31 godinu); (3) U razdoblju od 1969. do 1991. prosječne srednje godišnje temperature vode izmjerene na četirima vodomjernim postajama duž toka Drave (Botovo, Donji Miholjac, Terezino Polje i Osijek) rasle su od 10,5 °C u Botovu do 11,7 °C u Osijeku.

Hadzima-Nyarko i sur. (2014) analizirali su odnos između temperature zraka i vode rijeke Drave konstruiranjem modela umjetne neuronske mreže (ANN) i odabirom odgovarajućih mrežnih arhitektura za dnevnu temperaturu vode rijeke Drave i demonstracija njegove primjene u poboljšanje interpretacije rezultata. Odnos između srednje dnevne temperature zraka i dnevne temperature vode rijeke Drave u Hrvatskoj analiziran je u radu Rabi i sur. (2015) primjenom metoda linearne regresije, stohastičkim modeliranjem i nelinearnom regresijom i višeslojnim (MLP) neuronskim

mrežama s povratnim informacijama. Za prognozu dnevnih temperatura vode na sektoru donjeg toka rijeke Drave Zhu i sur. (2021) koristili su hibridni model (WA-ANFIS) koji povezuje valičnu analizu (WA) i adaptivne *neuro-fuzzy* sustave zaključivanja (ANFIS).

Analizom nizova temperature zraka na meteorološkoj postaji Varaždin i temperature vode na postaji Botovo na rijeci Dravi od 1. siječnja 1969. do 31. prosinca 2021. utvrđeni su statistički značajni trendovi porasti temperature zraka i vode (Bonacci i sur. 2022). Vodomjerna postaja Botovo udaljena je 11 km od treće najveće akumulacije Dubrava. Primjenom metode dan za danom (DTD) utvrđeno je da su varijacije dnevnih temperatura zraka znatno veće od istodobnih varijacija dnevnih temperatura vode. Zaključeno je da je na porast temperature vode na vodomjernoj postaji Botovo utjecala izgradnja akumulacija. Puštanje u rad druge akumulacije Čakovec 1982. godine uzrokovalo je značajan porast temperature vode na stanici Botovo. Trendovi porasta temperature vode tijekom svih mjeseci u godini bili su statistički značajni, dok su trendovi temperature zraka bili statistički značajni tijekom toplih dijelova godine.

3. PODACI I METODE

3.1. Opis lokacija mjerenja i korištenih podataka

Osnovni zadatak ovog rada bilo je izučavanje varijacija temperature vode duž toka rijeke Drave izmjerene na vodomjernim postajama u Hrvatskoj. U radu su korišteni svi raspoloživi podaci iz arhive Državnog Hidrometeorološkog Zavoda (DHMZ) iz Zagreba. U tablici 1 navedene su osnovne karakteristike sedam hrvatskih vodomjernih postaja duž toka Drave na kojima se mjerila temperatura vode. Iz podataka iznesenih u stupcu [5] vidljivo je da se broj godina mjerenja od minimalnih 22 na postaji Beliše do maksimalnih 71 na postaji Donji Miholjac. U stupcu [6] navedene su godine u kojima se raspolaže s mjerenjima temperature vode na pojedinoj postaji. Činjenica različitih dužina nizova i brojnih prekida u motrenjima značajno otežava, ali ne onemogućava donošenje pouzdanih zaključaka.

Ukupna duljina Drave od izvora u Dolomitima (Italija) na nadmorskoj visini 1228 m nad morem (mnm) do ušća u Dunav (Hrvatska) iznosi 706,90 km. U Hrvatskoj duljina vodotoka Drave iznosi 292,22 km (Čanjec i sur. 2022). Treba napomenuti da je u literaturi moguće naići i na nešto drugačije procjene duljine Dave. Drava spada među pet najvećih pritoka rijeke Dunava. Protječe kroz pet država: Italiju, Austriju, Sloveniju, Hrvatsku i Mađarsku. Ušće joj se nalazi 19,1 km nizvodno od vodomjerne postaje Osijek. Glavni pritok Drave je rijeka Mura, koja se u nju ulijeva u Hrvatskoj tvoreći jedinstveno prirodno riječno ušće. Gornji dijelovi obje rijeke jako su regulirani i njihov ekološki status je znatno pogoršan. Donji nizinski dio rijeke Drave koji djelomično predstavlja granicu Hrvatske i Mađarske predstavlja relativno malo poremećeni i stoga posebno ekološki vrijedan nizinski otvoreni vodotok.

3.2. Korištene metode

Metoda linearne regresije korištena je za kvantitativno određivanje povezanost (korelacija) između zavisne i nezavisne varijable te za računanje trendova analiziranih vremenskih nizova. Jednadžba regresije (linearnog trenda) glasi:

$$T = (A \times t) + B \quad (1)$$

kod čega T predstavlja vrijednost analizirane karakteristične temperature vode u godini t , dok su A te B koeficijenti linearne regresije koji se izračunavaju metodom najmanjih kvadrata. Koeficijent A predstavlja nagib pravca regresije čija je dimenzija $^{\circ}\text{C}$ tijekom analiziranog vremena. Kao takav on je indikator prosječnog intenziteta trenda podizanja ili opadanja vrijednosti analiziranog vremenskog niza. Predznak koeficijenta A ukazuje na smjer linearne veze. Negativna vrijednost označava da je trend u opadanju, dok pozitivna vrijednost ukazuje na trend u porastu. Statistička značajnost linearnih trendova u ovom radu nije procjenjivana jer u vremenskim nizovima temperatura vode postojali su brojni prekidi. Za linearne trendove izračunate su i u radu navedene vrijednosti koeficijenata determinacije R^2 .

Tablica 1: Osnovne karakteristike vodomjernih postaja duž toka Drave u Hrvatskoj na kojima se mjerila temperatura vode

POSTAJA	H (mnm)	A (km ²)	L (km)	MP	N (god)	Raspoloživa razdoblja
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
Varaždin	166,063	15 616	288,145	H, Q, T	49	1954. – 1987.; 2007. – 2023.
Donja Dubrava	129,700	16 700	241,15	H, Q, T	31	1986. – 1998.; 2000. – 2001.; 2007. – 2023.
Botovo	121,550	31 038	226,500	H, Q, T	54	1969. – 1989.; 1990. – 2023.
Terezino Polje	100,671	33 916	152,3	H, Q, T	53	1969. – 1989.; 1991. – 1996.; 1998. – 2023.
Donji Miholjac	88,570	37 142	77	H, Q, T	71	1951.; 1953. – 1989.; 1991. – 2023.
Beliše	83,993	38 500	53,800	H, Q, T	22	1969.-1989.; 1991.
Osijek	81,481	39 982	19,100	H, T	65	1948.-1951.; 1953.-1989.; 2002.-2023.

F-test se koristio za određivanje statističke značajnosti razlika varijanci, dok se t-testom vršila procjena statističke značajnosti razlika prosječnih vrijednosti analiziranih parametara u dva susjedna vremenska podrazdoblja (Pavlič 1965). Za oba testa kao nivo statističke značajnosti razlika korištena je vrijednost vjerojatnost $p < 0,01$.

4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. Analize nizova minimalnih godišnjih temperatura vode

Nizovi raspoloživih minimalnih godišnjih temperatura vode Drave opaženi na sedam vodomjernih postaja u Hrvatskoj prikazani su na [slici 1](#). U [tablici 2](#) navedene su njihove vrijednosti koeficijenta linearne regresije A i koeficijenta determinacije R^2 . U stupcima [3] i [4] nalaze se vrijednosti A i R^2 koji se odnose na nizove minimalnih godišnjih temperatura prikazane na [slici 1](#). Bitno je uočiti da na svim postajama postoji trend

porasta koji se u prosjeku kreće od minimalnih $0,12\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ god}$ na postajama Terezino Polje i Donji Miholjac do maksimalne vrijednosti od $0,59\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ god}$ na postaji Donja Dubrava. Koeficijenti determinacije kreću se u rasponu od $0,024$ do $0,493$.

Da bi se bolje uočilo ponašanje analiziranih nizova tijekom vremena, na [slici 2](#) prikazani su nizovi raspoloživih minimalnih godišnjih temperatura vode Drave, razdvojeni u dva podniza, opaženi na trima vodomjernih postajama: Varaždin, Terezino Polje, Osijek. Učrtani su pravci regresije za svaki od analiziranih podnizova. Na svima trima analiziranim postajama trendovi porasta kao i prosječne vrijednosti u recentnom podrazdoblju znatno su veći od onih u prethodnom. To navodi na zaključak da se intenziviraju procesi porasta minimalnih godišnjih temperatura u posljednjih dvadesetak godina duž toka rijeke Drave.

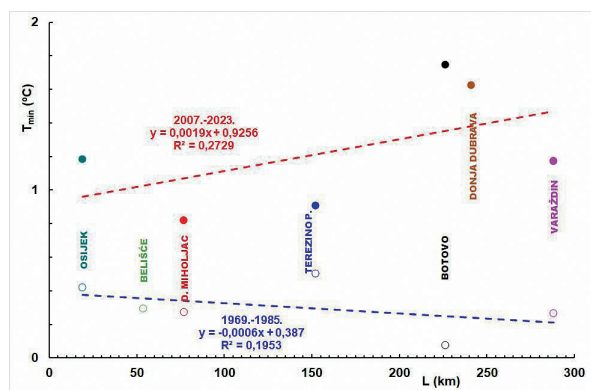
U [tablici 3](#) nalazi se matrica prosječnih vrijednosti minimalnih godišnjih temperatura vode T_{pr} u dvama izabranim podrazdobljima i vjerojatnosti p statističke

Tablica 2: Matrica koeficijenta linearne regresije A i koeficijenta determinacije R^2 za raspoložive nizove godišnjih karakterističnih temperatura vode na sedam postaja duž toka Drave

Postaja	N (god)	minimum		srednje		maksimum	
		A ($^{\circ}\text{C}/10\text{ god}$)	R^2	A ($^{\circ}\text{C}/10\text{ god}$)	R^2	A ($^{\circ}\text{C}/10\text{ god}$)	R^2
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
Varaždin	49	0,21	0,390	0,38	0,668	0,47	0,298
Donja Dubrava	31	0,59	0,493	0,88	0,470	1,36	0,510
Botovo	54	0,39	0,477	0,60	0,745	0,30	0,072
Terezino Polje	53	0,12	0,041	0,44	0,433	0,50	0,264
Donji Miholjac	71	0,12	0,182	0,30	0,477	0,38	0,272
Belišće	22	0,19	0,024	0,29	0,056	-0,43	0,026
Osijek	65	0,15	0,227	0,22	0,330	0,28	0,152

Tablica 3 Matrica prosječnih vrijednosti minimalnih godišnjih temperatura vode T_{pr} u dvama izabranim podrazdobljima i vjerojatnosti p statističke značajnosti razlika varijanci određenih F-testom i prosječnih vrijednosti određenih t-testom. Crveno su označeni slučajevi kad postoji statistički značajna razlika na razini vjerojatnosti $p < 0,01$.

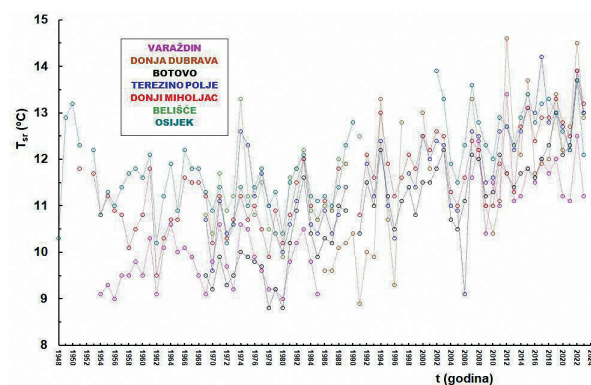
postaja	podrazdoblje	T_{pr} ($^{\circ}\text{C}$)	p (F-test)	p (t-test)
Varaždin	1969. – 1985.	0,265	0,037	1,6E-03
	2007. – 2023.	1,171		
Donja Dubrava	1969. – 1985.	-		
	2007. – 2023.	1,623		
Botovo	1969. – 1985.	0,076	9,2E-06	2,7E-07
	2007. – 2023.	1,747		
Terezino Polje	1969. – 1985.	0,500	0,598	0,276
	2007. – 2023.	0,906		
Donji Miholjac	1969. – 1985.	0,271	9,1E-03	0,016
	2007. – 2023.	0,818		
Belišće	1969. – 1985.	0,294		
	2007. – 2023.	-		
Osijek	1969.-1985.	0,418	0,093	1,3E-03
	2007.-2023.	1,182		



Slika 3: Odnosi između prosječnih vrijednosti minimalnih godišnjih temperatura vode Drave i udaljenosti postaja od ušća u Dunavu L u dvama podrazdobljima: (1) 1969. - 1985. (plava boja); (2) 2007. - 2023. (crvena boja). Ucrtni su pravci regresije i upisane su njihove jednadžbe te vrijednosti koeficijenta determinacije R^2 za oba navedena podrazdoblja.

značajnosti razlika varijanci određenih F-testom i prosječnih vrijednosti određenih t-testom. Crveno su označeni slučajevi kad postoji statistički značajna razlika na razini vjerojatnosti $p < 0,01$. Dva podrazdoblja (1969. – 1989.) i (2007. – 2023.) izabrana su jer su u njima postojali kompletni podaci za većinu postaja. Bitno je uočiti da su na svih pet postaja na kojima postoje mjerenja u obama podrazdobljima prosječne vrijednosti više u recentnom razdoblju (2007. – 2023.). Kako stručnu kao i uostalom i najširu javnost ipak najviše zanima ponašanje temperatura vode u recentnom razdoblju, čini se da i ova analiza jasno ukazuje na nastavak intenziviranja procesa zagrijavanja vode Drave duž toka.

Na slici 3 prikazani su odnosi između prosječnih vrijednosti minimalnih godišnjih temperatura vode Drave i udaljenosti postaja od ušća u Dunavu L u dvama podrazdobljima: (1) 1969. – 1985. (plava boja); (2) 2007. – 2023. (crvena boja). Ucrtni su pravci regresije i upisane su njihove jednadžbe te vrijednosti koeficijenta determinacije R^2 za oba navedena podrazdoblja. U posljednjih 17 godina (2007. – 2023.) prosječne minimalne godišnje temperature vode duž toka Drave porasle su za $0,86\text{ }^{\circ}\text{C}$, u odnosu na prosječne minimalne godišnje temperature u podrazdoblju 1969. – 1985. U prvom podrazdoblju (1969. – 1985.) prosječne srednje temperature vode rastu duž toka rijeke od postaje



Slika 4: Nizovi raspoloživih srednjih godišnjih temperatura vode Drave opaženi na sedam vodomjernih postaja u Hrvatskoj

Varaždin do postaje Osijek, dok u recentnom razdoblju postoji trend opadanja.

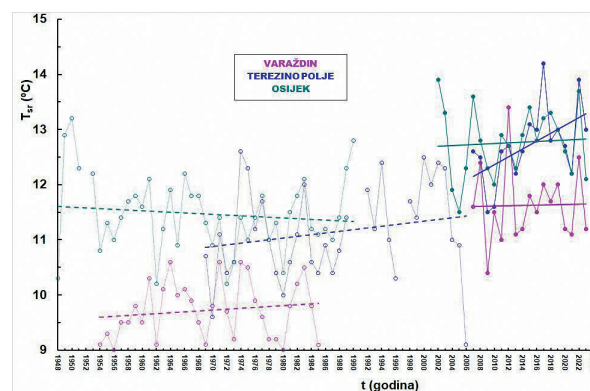
4.2. Analize nizova srednjih godišnjih temperatura vode

Nizovi raspoloživih srednjih godišnjih temperatura vode Drave opaženi na sedam vodomjernih postaja u Hrvatskoj prikazani su na slici 4. U stupcima [5] i [6] tablice 2 nalaze se vrijednosti A i R^2 koje se odnose na nizove minimalnih godišnjih temperatura prikazane na slici 4. Bitno je uočiti da na svim postajama postoji trend porasta koji se u prosjeku kreće od minimalnih $0,22\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ god na postaji Osijek do maksimalne vrijednosti od $0,88\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ god na postaji Donja Dubrava. Koeficijenti determinacije kreću se u rasponu od 0,056 do 0,668.

Da bi se bolje uočilo ponašanje analiziranih nizova, na slici 5 prikazani su nizovi raspoloživih srednjih godišnjih temperatura vode Drave, razdvojeni u dva podniza, opaženi na trima vodomjernih postajama: Varaždin, Terezino Polje, Osijek. Ucrtni su pravci regresije za svaki od analiziranih podnizova. Na svima trima analiziranim postajama trendovi porasta u recentnom podrazdoblju su u blagom porastu, a prosječne vrijednosti u recentnom podrazdoblju znatno su veće nego one u prethodnom.

U tablici 4 nalazi se matrica prosječnih vrijednosti srednjih godišnjih temperatura vode T_{pr} u dvama izabranim podrazdobljima (1969. – 1985.; 2007. – 2023.) i vjerojatnosti p statističke značajnosti razlika varijanci određenih F-testom i prosječnih vrijednosti određenih t-testom. Crveno su označeni slučajevi kad postoji statistički značajna razlika na razini vjerojatnosti $p < 0,01$. Bitno je uočiti da su na svih pet postaja na kojima postoje mjerenja u obama podrazdobljima prosječne vrijednosti statistički značajno više u recentnom podrazdoblju (2007. – 2023.) nego u onom prethodnom (1969. – 1985.). I ova analiza ukazuje na nastavak intenziviranja procesa zagrijavanja vode Drave duž toka.

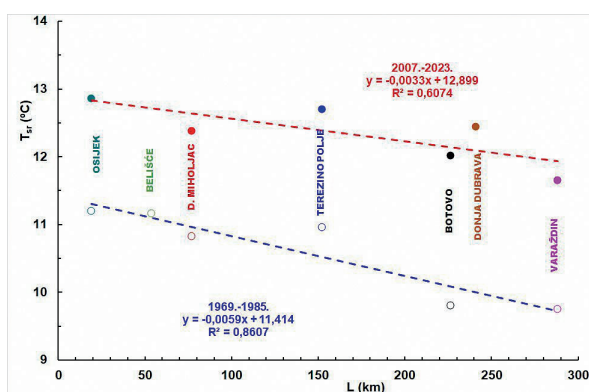
Na slici 6 prikazani su odnosi između prosječnih vrijednosti srednjih godišnjih temperatura vode Drave i udaljenosti postaja od ušća u Dunavu L u dvama podrazdobljima: (1) 1969. – 1985. (plava boja); (2) 2007. – 2023. (crvena boja). Ucrtni su pravci regresije i upisane



Slika 5: Nizovi raspoloživih srednjih godišnjih temperatura vode Drave, razdvojeni u dva podniza, opaženi na trima vodomjernih postajama: Varaždin, Terezino Polje, Osijek. Ucrtni su pravci regresije za svaki od analiziranih podnizova.

Tablica 4: Matrica prosječnih vrijednosti srednjih godišnjih temperatura vode T_{pr} u dvama izabranim podrazdobljima i vjerojatnosti p statističke značajnosti razlika varijanci određenih F-testom i prosječnih vrijednosti određenih t-testom. Crveno su označeni slučajevi kad postoji statistički značajna razlika na razini vjerojatnosti $p < 0,01$.

postaja	podrazdoblje	T_{pr} (°C)	p (F-test)	p (t-test)
Varaždin	1969. – 1985.	9,75	0,406	8,8E-10
	2007. – 2023.	11,65		
Donja Dubrava	1969. – 1985.	-	0,728	5,1E-11
	2007. – 2023.	12,44		
Botovo	1969. – 1985.	9,80	0,497	8,5E-08
	2007. – 2023.	12,70		
Donji Miholjac	1969. – 1985.	10,82	0,080	1,2E-07
	2007. – 2023.	12,38		
Belišće	1969. – 1985.	11,16	0,857	1,5E-10
	2007. – 2023.	-		
Osijek	1969.-1985.	11,20	0,857	1,5E-10
	2007.-2023.	12,86		

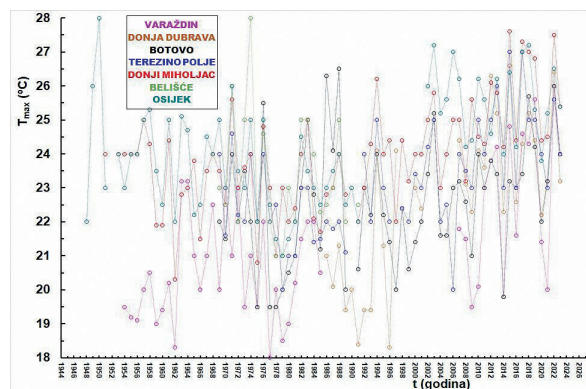


Slika 6: Odnosi između prosječnih vrijednosti srednjih godišnjih temperatura vode Drave i udaljenosti postaja od ušća u Dunav L u dvama podrazdobljima: (1) 1969. - 1985. (plava boja); (2) 2007. - 2023. (crvena boja). Urtani su pravci regresije i upisane su njihove jednačbe te vrijednosti koeficijenta determinacije R^2 za oba navedena podrazdoblja.

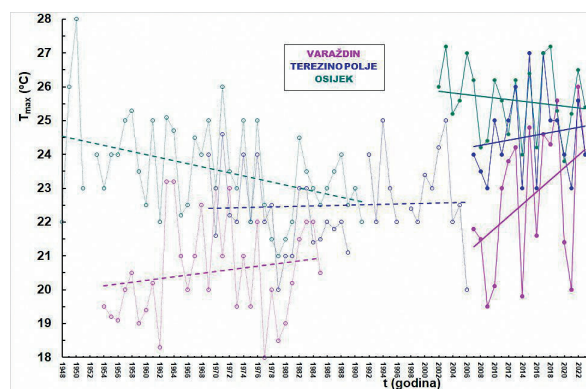
su njihove jednačbe te vrijednosti koeficijenta determinacije R^2 za oba navedena podrazdoblja. U posljednjih 17 godina (2007. – 2023.) prosječne srednje godišnje temperature duž toka Drave porasle su za 1,81 °C, u odnosu na prosječne srednje godišnje temperature u podrazdoblju 1969. – 1985. U obama podrazdobljima prosječne srednje godišnje temperature vode rastu nizvodno duž toka rijeke od postaje Varaždin do postaje Osijek.

4.3. Analize nizova maksimalnih godišnjih temperatura vode

Nizovi raspoloživih maksimalnih godišnjih temperatura vode Drave opaženi na sedam vodomjernih postaja u Hrvatskoj prikazani su na slici 7. U stupcima [7] i [8] tablice 2 nalaze se vrijednosti A i R^2 koje se odnose na nizove maksimalnih godišnjih temperatura prikazane na slici 7. Bitno je uočiti da na svim postajama



Slika 7: Nizovi raspoloživih maksimalnih godišnjih temperatura vode Drave opaženi na sedam vodomjernih postaja u Hrvatskoj

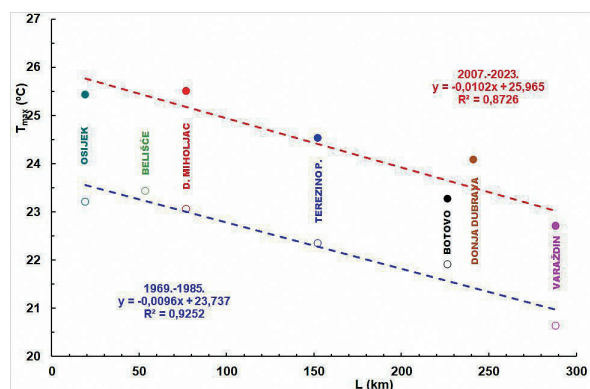


Slika 8: Nizovi raspoloživih maksimalnih godišnjih temperatura vode Drave, razdvojeni u dva podniza, opaženi na trima vodomjernim postajama: Varaždin, Terezino Polje, Osijek. Urtani su pravci regresije za svaki od analiziranih podnizova.

osim Belišća postoji trend porasta koji se u prosjeku kreće od minimalnih 0,28 °C/10 god na postaji Osijek do maksimalne vrijednosti 1,36 °C/10 god na postaji Donja Dubrava. Trend opadanja na Belišću posljedica je činjenice da se za njegovo određivanje raspolagalo

Tablica 5: Matrica prosječnih vrijednosti maksimalnih godišnjih temperatura vode T_{pr} u dva izabrana podrazdoblja i vjerojatnosti p statističke značajnosti razlika varijanci određenih F-testom i prosječnih vrijednosti određenih t-testom. Crveno su označeni slučajevi kad postoji statistički značajna razlika na razini vjerojatnosti $p < 0,01$.

postaja	podrazdoblje	T_{pr} (°C)	p (F-test)	p (t-test)
Varaždin	1969. – 1985.	20,6	0,161	2,5E-03
	2007. – 2023.	22,7		
Donja Dubrava	1969. – 1985.	-		
	2007. – 2023.	24,1		
Botovo	1969. – 1985.	21,9	0,359	0,026
	2007. – 2023.	23,3		
Terezino Polje	1969. – 1985.	22,3	0,878	2,4E-06
	2007. – 2023.	24,5		
Donji Miholjac	1969. – 1985.	23,1	0,981	9,1E-06
	2007. – 2023.	25,5		
Belišće	1969. – 1985.	23,4		
	2007. – 2023.	-		
Osijek	1969.-1985.	23,2	0,256	1,7E-05
	2007.-2023.	25,4		



Slika 9: Odnosi između prosječnih vrijednosti maksimalnih godišnjih temperatura vode Drave i udaljenosti postaja od ušća u Dunav L u dvama podrazdobljima: (1) 1969. - 1985. (plava boja); (2) 2007. - 2023. (crvena boja). Ucertani su pravci regresije i upisane su njihove jednačbe te vrijednosti koeficijenata determinacije R^2 za sva tri navedena podrazdoblja.

s vrlo kratkim nizom podataka i da se niz odnosio samo na razdoblje 1969. – 1991. (nedostaje 1990.).

Da bi se bolje uočilo ponašanje analiziranih nizova, na slici 8 prikazani su nizovi raspoloživih maksimalnih godišnjih temperatura vode Drave, razdvojeni u dva podniza, opaženi na trima vodomjernim postajama: Varaždin, Terezino Polje, Osijek. Ucertani su pravci regresije za svaki od analiziranih podnizova. Uočava se da su na sve postaje maksimalne godišnje temperature više u recentnom podrazdoblju (2007. – 2023.) nego u onom prethodnom (1969. – 1985.). Trendovi porasta u recentnom podrazdoblju postoje na postajama Varaždin i Terezino Polje, dok je na postaji Osijek opažen blagi trend opadanja.

U tablici 5 nalazi se matrica prosječnih vrijednosti maksimalnih godišnjih temperatura vode T_{pr} u dvama izabranim podrazdobljima i vjerojatnosti p statističke

značajnosti razlika varijanci određenih F-testom i prosječnih vrijednosti određenih t-testom. Crveno su označeni slučajevi kad postoji statistički značajna razlika na razini vjerojatnosti $p < 0,01$. Bitno je uočiti da su na svih pet postaja na kojima postoje mjerenja u obama podrazdobljima prosječne vrijednosti više u recentnom podrazdoblju (2007. – 2023.) nego u onom prethodnom (1969. – 1985.). I ova analiza ukazuje na nastavak intenziviranja procesa zagrijavanja vode duž toka Drave.

Na slici 9 prikazani su odnosi između prosječnih vrijednosti maksimalnih godišnjih temperatura vode Drave i udaljenosti postaja od ušća u Dunavu L u dvama podrazdobljima: (1) 1969. – 1985. (plava boja); (2) 2007. – 2023. (crvena boja). Ucertani su pravci regresije i upisane su njihove jednačbe te vrijednosti koeficijenata determinacije R^2 za oba navedena podrazdoblja. U posljednjih 17 godina (2007. – 2023.) prosječne maksimalne godišnje temperature duž toka Drave porasle su za 2,06 °C, u odnosu na prosječne maksimalne godišnje temperature u podrazdoblju 1969. – 1985. U obama podrazdobljima prosječne maksimalne godišnje temperature vode rastu nizvodno duž toka rijeke od postaje Varaždin do postaje Osijek.

5. ZAKLJUČCI I PREPORUKE ZA DALJNJA ISTRAŽIVANJA

Rijeka Drava tijekom svog tečenja kroz Hrvatsku predstavlja njen ključan ekološki, socijalni, društveno-politički i ekonomski resurs. Potreba za izučavanjem aktualnih promjena na ovom međunarodnom vodotoku od krucijalnog je značaja. Ova problematika nažalost još uvijek nije dovoljno adekvatno tretirana. To se osobito vidi i iz toga kako su do sada nedovoljno izučavane

promjene njenog termalnog režima. Donji je nizinski sektor rijeke Drave pod snažnim pritiskom. Dijelom se radi o utjecaju zahvata koje vrši čovjek, a dijelom se radi o posljedicama aktualnih klimatskih promjena.

Namjera je analiza izvršenih u ovom članku da stručnoj, ali i najširoj javnosti, a prije svega onima koji upravljaju sustavom njenih vodnih resursa, ukaže na neophodnost i žurnost detaljnijih izučavanja promjena termalnog režima vode Drave duž njenog toka u Hrvatskoj. Postojeći podaci korišteni u ovom radu, iako nažalost nedostatni i s brojnim prekidima, ukazali su na ozbiljnost situacije i veliku potencijalnu mogućnost pogoršanja stanja u bliskoj budućnosti. Želja je autora ovog rada da on posluži kao poticaj da se današnje nezadovoljavajuće izučavanje promjena termalnog režima Drave u Hrvatskoj, koliko je to moguće i što žurnije, poboljša.

Kada se organizira monitoring temperature vode ili kada se razvijaju modeli temperature vode rijeka, neophodno je sveobuhvatno tretirati ovu problematiku kao interdisciplinarni problem klime, kopna i hidrologije u kontekstu kojim dominiraju ljudi. U brojnim radovima koji tretiraju problematiku temperature vode rijeka naglašena je potreba za preispitivanjem načina na koji se konceptualizira, analizira i modelira temperaturu vode kako bi se uključila uloga ljudskih aktivnosti (Bonacci i sur. 2024). Da bi se to moglo postići, moraju se intenzivirati i cjelovitije organizirati kontinuirana promatranja temperature vode rijeka i brojnih drugih parametara u tim područjima. Ovo je posebno bitno napraviti u slučajevima kada rijeka predstavlja granični i prekogranični otvoreni vodotok i kada se iz vodonosnika povezanog s njom crpe velike količine podzemnih voda. Očigledno je da je za ispunjavanje tog cilja neophodna snažna podrška političkih struktura zemalja kroz koje Drava protječe.

Na osnovi analiza izvršenih u ovom radu realno je očekivati porast temperatura vode rijeke Drave u budućnosti. Bitno je stoga žurno izučiti moguće posljedice trenda povećanja temperatura vode i trenda snižavanja protoka na ekološke procese u rijeci i njenom širem okolišu kao i na podzemne vode u pripadnom

vodonosniku. Neophodno je potrebno analizirati ponašanje temperatura vode na manjim vremenskim skalama od godine.

Treba upozoriti na činjenicu da se duž cijelog, ovdje analiziranog, toka donje Drave odvijaju nedovoljno kontrolirani procesi urbanizacije i intenzifikacija korištenja vode za navodnjavanje. U kombinaciji s intenziviranjem klimatskih promjena, izazovi u zaštiti kvalitete vode rijeke i njenih ekosustava značajno će se povećavati. Temeljni dio izazova uključuje osiguravanje dovoljne točnosti u procjeni utjecaja urbanizacije, ostalih antropogenih zahvata i klimatskih promjena. Postoji potreba za izradom matematičkog modela koji će omogućiti procjenu stupanja promjena i potencijalne prednosti poduzimanja različitih zaštitnih mjera. Da bi se omogućilo da se na ove izazove ispravno odgovori, ključno je osigurati pouzdane informacije o brojnim parametrima i njihovim interakcijama kako bi model bio dovoljno robusan za točnu procjenu učinaka (McBean i sur. 2022). Ključni preduvjet za ispunjavanje tog cilja detaljno je izučavanje postojećih mjerenja prije svega temperatura vode i zraka na određenim lokacijama u raznim prostornim i vremenskim skalama. U tom smislu analize izvršene u ovom radu tek su prvi pokušaj koji može korisno poslužiti kao indikator procesa koji se zbivaju u analiziranom prostoru.

Činjenica je da se o cjelovitoj, vrlo kompleksnoj, ali i krajnje urgentnoj problematici razvoja temperature vode duž toka Drave u Hrvatskoj nedovoljno zna. Bez obzira na to što se raspolagalo s nizovima koji imaju različite duljine motrenja i brojne prekide u radu, ovdje izvršene analize omogućile su donošenje utemeljenih zaključaka. Ovaj je rad jasno ukazao na neophodnost značajnog intenziviranja interdisciplinarnog pristupa istraživanju promjena termalnog režima rijeke Drave.

ZAHVALA

Ovo istraživanje djelomično je sufinancirano pomoću projekta KK.01.1.1.02.0027, koji su sufinancirale hrvatska Vlada i Europske unija programom "European Regional Development Fund - the Competitiveness and Cohesion Operational Programme" ■

LITERATURA

Ahmadi-Nedushan, B.; St-Hilaire, A.; Ouarda, T. B. M. J.; Bilodeau, L.; Robichaud, É.; Thiérmonge, N.; Bobée, B. 2007. Predicting river water temperatures using stochastic models: Case study of the Moisie River (Québec, Canada). *Hydrological Processes*. 21(1): 21–34. DOI:10.1002/hyp.6353.

Bonacci, O.; Žaknić-Čatović, A.; Roje-Bonacci, T. 2024. Significant rise in Sava River water temperature in the City of Zagreb identified across various time scales. *Water*. 16: 2337. DOI:10.3390/w16162337.

Bonacci, O.; Đurin, B.; Roje-Bonacci, T.; Bonacci, D. 2022. The influence of reservoirs on water temperature in the downstream part of an open watercourse: a case study at Botovo Station on the Drava River. *Water*. 14(21): 353–418. DOI:10.3390/w14213534.

Bonacci, O.; Oskoruš, D. 2010. The changes in the lower Drava River water level, discharge and suspended sediment regime. *Environmental Earth Sciences*. 59(8): 1661–1670. DOI: 10.1007/s12665-009-0148-8

Bonacci, O.; Tadić, Z.; Trninić, D. 1992. Effects of dams and reservoirs on the hydrological characteristics of the

lower Drava River. *River Research & Applications*. 7(4): 349–357. DOI:10.1002/rrr.3450070405.

Bonacci, O.; Trninić, D.; Roje-Bonacci, T. 2008. Analysis of the water temperature regime of the Danube and its tributaries in Croatia. *Hydrological Processes*. 22(7): 1014–1021. DOI:10.1002/hyp.6975.

Čanjevac, I. 2013. Tipologija protočnih režima rijeka u Hrvatskoj. *Hrvatski geografski glasnik*. 75(1): 23–42.

Čanjevac, I.; Pavlek, K.; Orešić, D. 2022. Duljine tekućica u Hrvatskoj određene na temelju topografske karte mjerila 1: 25 000 - River lengths in Croatia determined from a topographic map at a scale of 1 : 25 000. *Hrvatski geografski glasnik*. 84(1): 5–30. DOI 10.21861/HGG.2022.84.01.01

Ficklin, D. L.; Hannah, D. M.; Wanders, N.; Dugdale, S. J.; England, J.; Klaus, J.; Kelleher, C.; Khamis, K.; Charlton, M. B. 2023. Rethinking river water temperature in a changing, human-dominated world. *Nature Water*. 1(2): 125–128. DOI: 10.1038/s44221-023-00027-2.

Hadzima-Nyarko, M.; Rabi, A.; Šperac, M. 2014. Implementation of artificial neural networks in modeling the water-air temperature relationship of the River Drava. *Water Resources Management*. 28(5): 1379–1394. DOI:10.1007/s11269-014-0557-7.

Krušelj, Ž. 2017. Katastrofalne poplave u koprivničkoj i đurđevačkoj Podravini 1965., 1966. i 1972. godine. *Podravina*. 16(31): 5–25.

Laszewski, M. 2013. Stream water temperature: A short review with special reference to diurnal dynamics. *Miscellanea Geographica*. 17(1): 34–41. DOI:10.2478/v10288-012-0035-0.

Lessard, J. L.; Hayes, D. B. 2003. Effects of elevated water temperature on fish and macroinvertebrate communities below small dams. *River Research and Application*. 19(7): 21–32. DOI:10.1002/rra.713.

Lóczy, D. 2019. *The Drava River*. Springer. Cham. Switzerland.

McBean, E.; Bhatti, M.; Singh, A.; Mattern, L.; Murison, L.; Delaney, P. 2022. Temperature modeling, a key to assessing impact on rivers due to urbanization and climate change. *Water*. 14(13): 1994. DOI:10.3390/w14131994.

Michel, A.; Schaeffli, B.; Wever, N.; Zekollari, H.; Lehning, M.; Huwald, H. 2022. Future water temperature of rivers in Switzerland under climate change investigated with physics-based models. *Hydrology and Earth System Sciences*. 26(4): 1063–1087. DOI:10.5194/hess-26-1063-2022.

Moulin, N.; Gresselin, F.; Dardaillon, B.; Thomas, Z. 2022. River temperature analysis with a new way of using Independent Component Analysis. *Frontiers in Earth Science*. 10:1033673. DOI:10.3389/feart.2022.1033673.

Orešić, D.; Filipčić, A. 2024. Promjene protočnih režima najvećih savskih i dravskih pritoka u Hrvatskom zagorju i

gornjoj Podravini 1961. – 2020. *Podravina*. 23(45): 33–52.

Pavlek, K.; Kulej, T.; Bočić, N. 2022. Promjene u duljini i obliku korita Drave od Repaša do Ferdinandovca od kraja 18. stoljeća do danas. *Podravina*. 21(42): 27–41.

Pavlić, I. 1965. *Statistička teorija i primjena*. Panorama. Zagreb.

Rabi, A.; Hadzima-Nyarko, M.; Šperac, M. 2015. Modelling river temperature from air temperature: Case of the River Drava (Croatia). *Hydrological Sciences Journal*. 60(9): 1490–1507. DOI:10.1080/02626667.2014.914215.

Shrestha, R. R.; Pesklevits, J. C.; Bonsal, B. R.; Brannen, R.; Guo, T.; Hoffman, S. 2024. Rising summer river water temperature across Canada: spatial patterns and hydroclimatic controls. *Environmental Research Letters*. 19(4): 044058. DOI: 10.1088/1748-9326/ad365f.

Tadić, L.; Brleković, T. 2019. Hydrological characteristics of the Drava river in Croatia. *The Drava River*. Ur. Lóczy, D. Springer. Cham. Germany. 79–90.

Tadić, L.; Tamás, E. A.; Mihaljević, M.; Janjić, J. 2022. 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): 139. DOI:10.3390/cli10100139.

Torgersen, C. E.; Faux, R. N.; McIntosh, B. A.; Poage, N. J.; Norton, D. J. 2001. Airborne thermal remote sensing for water temperature assessment in rivers and streams. *Remote Sensing of Environment*. 76(3): 386–398. DOI:10.1016/S0034-4257(01)00186-9.

Van Vliet, M. T.; Franssen, W. H.; Yearsley, J. R.; Ludwig, F.; Haddeland, I.; Lettenmaier, D. P.; Kabat, P. 2013. Global river discharge and water temperature under climate change. *Global Environmental Change*. 23(2): 450–464. DOI:10.1016/j.gloenvcha.2012.11.002.

White, J. C.; Khamis, K.; Dugdale, S.; Jackson, F. L.; Malcolm, I. A.; Krause, S.; Hannah, D. M. 2023. Drought impacts on river water temperature: A process-based understanding from temperate climates. *Hydrological Processes*. 37(10): e14958. DOI:10.1002/hyp.14958.

Xiao, Z.; Sun, J.; Yuan, B.; Lin, B.; Zhang, X. 2022. Roles of dam and climate change in thermal regime alteration of a large river. *Environmental Research Letters*. 17(9): 094016. DOI:10.1088/1748-9326/ac899f.

Zhu, S.; Hadzima-Nyarko, M.; Bonacci, O. 2021. Application of machine learning models in hydrology: Case study of river temperature forecasting in the Drava River using coupled wavelet analysis and adaptive neuro-fuzzy inference systems model. *Basics of Computational Geophysics*. Ur. Pijush S. Elsevier. Kidlington. UK. 399–411.

https://www.eea.europa.eu/ds_resolveuid/IND-202-en (pristupljeno 20. lipnja 2024.)

ANALYSIS OF WATER TEMPERATURE INCREASE TRENDS ALONG THE DRAVA RIVER IN CROATIA

Abstract: The paper analyses the available series of characteristic (minimum, mean and maximum) annual water temperatures measured at seven gauging stations along the Drava River in Croatia. Official data from the Croatian Meteorological and Hydrological Service from Zagreb were used for the 76-year period (1948 to 2023). When performing the systematic analysis, the main problem we faced was the fact that the series of measurements differed at different stations and that there were numerous interruptions in measurements that greatly varied from station to station along the river. Regardless of this limiting fact, however, it was still possible to draw reliable conclusions about the increase in water temperatures along the Drava River, especially in the past 17 years (2007-2023). An increasing trend was found in all analysed series (with the exception of the series of maximum annual water temperatures in the Drava River at the Belišće station). In the past 17 years (2007-2023), the average minimum annual temperatures along the Drava River have increased by 0.86 °C in comparison with the average minimum annual temperatures in the 1969-1985 sub-period. For the same two mentioned sub-periods, an average increase of 1.81 °C was calculated for the sub-series of mean annual water temperatures, whereas it equalled 2.06 °C for the sub-series of maximum annual temperatures. It has been determined that all analysed characteristic water temperatures (with the exception of the sub-series of minimum annual temperatures in the 2007-2023 sub-period) increase downstream along the watercourse starting from the Varaždin station down to the Osijek station.

Keywords: minimum, mean and maximum annual water temperature, Drava River in Croatia

ANALYSE DER STEIGENDEN WASSERTEMPERATUREN ENTLANG DER DRAU IN KROATIEN

Zusammenfassung: Im Beitrag werden die verfügbaren Reihen charakteristischer (minimaler, mittlerer und maximaler) jährlicher Wassertemperaturen analysiert, die an sieben Wassermessstationen entlang des Flussverlaufs der Drau in Kroatien gemessen wurden. Offizielle Daten des Staatlichen hydrometeorologischen Instituts (DHMZ) aus Zagreb wurden für einen Zeitraum von 76 Jahren, nämlich von 1948 bis 2023, verwendet. Das Grundproblem für eine systematische Analyse ist die Tatsache, dass die Messreihen an verschiedenen Wassermessstationen unterschiedlich sind und dass es an den Stationen zu zahlreichen Arbeitsunterbrechungen kam, die auch sehr unterschiedlich waren. Ungeachtet dieser Tatsache konnten zuverlässige Rückschlüsse auf die steigenden Wassertemperaturen entlang der Drau, insbesondere in den letzten 17 Jahren (2007-2023), gezogen werden. In allen analysierten Reihen (mit Ausnahme der Reihe der maximalen jährlichen Wassertemperaturen der Drau an der Station Belišće) war eine steigende Tendenz zu beobachten. In den letzten 17 Jahren stiegen die durchschnittlichen Jahrestiefsttemperaturen entlang der Drau um 0,86 °C im Vergleich zu den durchschnittlichen Jahrestiefsttemperaturen im Teilzeitraum 1969-1985. Für die beiden Teilzeiträume wurde für die Teilreihen der durchschnittlichen jährlichen Wassertemperaturen ein durchschnittlicher Anstieg von 1,81 °C berechnet, während er für die Teilreihen der maximalen Jahrestemperaturen 2,06 °C betrug. Es wird festgestellt, dass alle analysierten charakteristischen Wassertemperaturen (mit Ausnahme der Unterreihen der minimalen Jahrestemperaturen im Teilzeitraum 2007-2023) flussabwärts von der Station Varaždin bis zur Station Osijek ansteigen.

Schlüsselwörter: minimale, mittlere und maximale jährliche Wassertemperaturen, Drau in Kroatien

