

**Kad voda nosi više od poplave: Tragom skrivenih prijetnji u Varaždinskoj i
Međimurskoj županiji**
**When water brings more than floods: unveiling hidden threats in Varaždin and
Međimurje Counties**

Nika Kuzmić (3.a), Luka Forgač (2.d), Ivan Novinščak (3.a)
Eva Friščić (3.b), Marta Hainž (3.b), Helena Mihalina (1.b)
Mentori: Denis Horvat, Sara Senčar Košalec, Marija Krajnik, Mirela Turk Cerovečki
Srednja škola Čakovec, Čakovec
Medicinska škola Varaždin, Varaždin

Sažetak

Voda je jedan od ključnih prirodnih resursa Varaždinske i Međimurske županije, a rijeke, potoci i jezera oblikuju njihov krajobraz i značajno doprinose kvaliteti života. Ovim projektom istraživana je kvaliteta površinskih voda na šest lokacija, uključujući tekućice (rijeke Drava i Mura, potoci Plitvica i Lateralac) te stajačice (jezera Motičnjak i Križopotje). Cilj istraživanja bio je usporediti fizikalno-kemijske i mikrobiološke karakteristike različitih tipova voda, s naglaskom na potencijalne rizike u kontekstu poplava i onečišćenja. Provedene su fizikalno-kemijske analize prema GLOBE protokolima te reduktaza test s metilenskim modrilom kao pokazatelj razine mikrobiološke aktivnosti. Rezultati pokazuju najveću mikrobiološku aktivnost u rijeci Muri i potoku Lateralac, dok su rijeka Drava i jezero Motičnjak imale najpovoljnije pokazatelje kvalitete vode. Vrsta vodenog tijela i veličina rijeke nisu se pokazali kao presudni čimbenici na kvalitetu vode, već su lokalni izvori zagađenja (poput otpadnih voda i poljoprivrede) imali veći utjecaj na kakvoću vode. Iako su utvrđene razlike u razini bakterijske aktivnosti, nije bilo moguće izravno povezati prisutne bakterije s negativnim utjecajem na zdravlje, jer nije rađena konkretna identifikacija bakterijskih vrsta, već vizualna metoda. Zaključno, rezultati upućuju na važnost redovitog praćenja kakvoće voda i podizanja svijesti o utjecaju ljudskih aktivnosti na vodene ekosustave.

Summary

Water is one of the key natural resources of Varaždin and Međimurje Counties, with rivers, streams, and lakes shaping the landscape and significantly contributing to the quality of life. This project investigated the quality of surface waters at six locations, including flowing waters (rivers Drava and Mura, streams Plitvica and Lateralac) and standing waters (lakes Motičnjak and Križopotje). The aim of the study was to compare the physico-chemical and microbiological characteristics of different types of water bodies, with a focus on potential risks in the context of floods and pollution. Physico-chemical analyses were carried out according to GLOBE protocols, as well as a methylene blue reductase test to indicate the level of microbiological activity. The results show the highest microbiological activity in the Mura River and Lateralac stream, while the Drava River and Motičnjak Lake exhibited the most favorable water quality indicators. The type of water body and the size of the river did not prove to be decisive factors affecting water quality; instead, local sources of pollution (such as wastewater and agriculture) had a greater impact. Although differences in bacterial activity levels were observed, it was not possible to directly link the presence of bacteria to negative health effects, as no specific identification of bacterial species was conducted—only visual methods were used. In conclusion, the results highlight the importance of regular water quality monitoring and raising awareness about the impact of human activities on aquatic ecosystems.

Uvod

Vodeni resursi igraju ključnu ulogu u životu Varaždinske i Međimurske županije — rijeke, potoci i jezera ne samo da oblikuju prirodni krajolik, već su neizostavni za poljoprivredu i opću kvalitetu života u regiji. Ipak, u slučaju poplava, voda može predstavljati ozbiljnu prijetnju zdravlju lokalnog stanovništva. Onečišćenje vode i okoliša tada postaje pogodno tlo za širenje zaraznih bolesti, čime se dodatno ugrožava javno zdravlje (WHO, 2017.).

Zbog prostranih brdsko-planinskih područja s obilnim oborinama, širokih dolina nizinskih vodotoka, velikih gradova i vrijednih dobara na potencijalno ugroženim površinama, te zbog nedovoljno izgrađenih i održavanih zaštitnih sustava, Hrvatska je prilično ranjiva od poplava. Procjenjuje se da poplave potencijalno ugrožavaju oko 15 % državnog kopnenog teritorija (Hrvatske vode, 2024.). Problem dodatno pogoršava višedesetljetno kanaliziranje tokova rijeka, uklanjanje meandara i ravnjanje riječnih korita radi melioracije i urbanizacije. Ove intervencije dovele su do značajnog smanjenja prirodnih retencijskih kapaciteta, čime se voda manje zadržava u krajoliku, a rizik od naglih i razornih poplava raste. U mnogim europskim državama već se provode programi renaturacije vodotoka, vraćanja prirodnog toka rijeka i povezivanja riječnih sustava s poplavnim ravnicama, no u Hrvatskoj takve prakse još nisu sustavno zaživjele, unatoč smjernicama Europske unije i preporukama stručnjaka (EEA, 2023). Održivo upravljanje vodotocima, koje uključuje očuvanje prirodne dinamike rijeka, ključno je za dugoročno smanjenje rizika od poplava i zaštitu bioraznolikosti (Habdija i Primc, 2019).

Nitriti i nitriti spojevi su koji se prirodno nalaze u vodenim tijelima, ali njihove povišene koncentracije u vodi često su posljedica intenzivne poljoprivrede (gnojiva), curenja kanalizacije, otpada iz stočarske proizvodnje ili pojačane mikrobne aktivnosti tijekom razgradnje uginulih organizama (Habdija i Primc, 2019.). U ljudskom organizmu nitriti su potencijalno opasniji jer mogu reagirati s hemoglobinom i stvoriti methemoglobin, koji smanjuje sposobnost krvi da prenosi kisik. Posebno su opasni za dojenčad, kod kojih povišene koncentracije mogu izazvati „sindrom plavog djeteta“ tj. stanje koje može biti životno ugrožavajuće. Dugotrajna izloženost nitratima i nitritima povezuje se i s povećanim rizikom od raka želuca. Prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji (WHO, 2017.) i Europskoj uniji, maksimalno dopuštene koncentracije u pitkoj vodi su 50 mg/L za nitrate te 0,1 mg/L za nitrite (Fewtrell, 2004.; Juričić, 2009.).

Poplave mogu predstavljati ozbiljnu prijetnju za ljudsko zdravlje jer stvaraju uvjete u kojima dolazi do povećanog rizika od širenja bolesti uzrokovanih patogenim mikroorganizmima. U takvim situacijama može doći do kontaminacije izvora pitke vode uslijed miješanja fekalnih i oborinskih voda, čime se povećava učestalost bolesti povezanih sa higijenom. Osim toga, prekid u vodoopskrbi i kanalizaciji dodatno pojačavaju zdravstveni rizik. Iako rijeke u prirodnom stanju imaju sposobnost pročišćavanja vode i ublažavanja utjecaja zagađenja, njihova prenamjena i regulacija često umanjuju te prirodne funkcije. Većina rijeka je regulirana, a prirodna sezonska izlijevanja zamijenjena su vodotocima koji protječu kroz umjetne kanale. Na rijeci Dravi izgrađene su brojne brane i akumulacijska jezera (ukupno 22), a na rijeci Muri 7 brana, što je rezultiralo smanjenom mobilnošću sedimenata koji bi inače transportirali onečišćenja nizvodno prema morima (Pićulin, 2015.). Istraživanja sedimenata u umjetnim akumulacijama, poput onih na rijeci Dravi, pokazala su višestruko povećane koncentracije teških metala (olovo, cink, kadmij) u odnosu na maksimalno dopuštene količine, MDK (Mayer i sur., 1997.).

Istraživačka pitanja, ciljevi istraživanja i hipoteze

U radu su postavljena sljedeća istraživačka pitanja: Predstavljaju li veću opasnost za širenje zaraza bakterijama i trovanje štetnim kemijskim tvarima (nitratima i nitritima) za ljudski organizma tijekom rekreacije (kupanje, plivanje i drugi sportovi), konzumacije ulovljene ribe i

poplava, stajačice ili tekućice s područja Varaždinske i Međimurske županije? Postoji li razlika u količini bakterija u vodi tekućica i stajačica Varaždinske i Međimurske županije? Koji oblici kopnenih voda od promatranih (tekućica ili stajačica) predstavljaju najmanju opasnost za ljudsku populaciju Varaždinske i Međimurske županije s obzirom na koncentraciju bakterija?

Cilj ovog rada je procijeniti potencijalne rizike širenja zaraza u slučaju poplava na ključnim vodotocima u ovim županijama, koristeći znanstveni pristup temeljen na GLOBE protokolima za kemijsku analizu vode te kao dodatnu komponentu ispitivanje bioloških organizama. Svrha je podići svijest lokalne zajednice o važnosti očuvanja vodnih resursa te educirati stanovništvo o preventivnim mjerama i pravodobnom odgovoru u kriznim situacijama.

Pretpostavlja se da stajačice (jezera, umjetne akumulacije) predstavljaju veću opasnost za širenje zaraza bakterijama i trovanje ljudskog organizma u usporedbi s tekućicama (rijeke, potoci) zbog dužeg zadržavanja vode pa time i zagađivača, što stvara povoljne uvjete za razmnožavanje bakterija. Stajačice i tekućice u Varaždinskoj županiji imaju veću količinu bakterija nego promatrane vode u Međimurskoj županiji. Pretpostavlja se da najmanju opasnost za ljudsku populaciju imaju velike tekućice poput Drave i Mure koje svojim brzim tokom onemogućavaju stvaranje velikog broja bakterija i taloženje ostalih štetnih tvari.

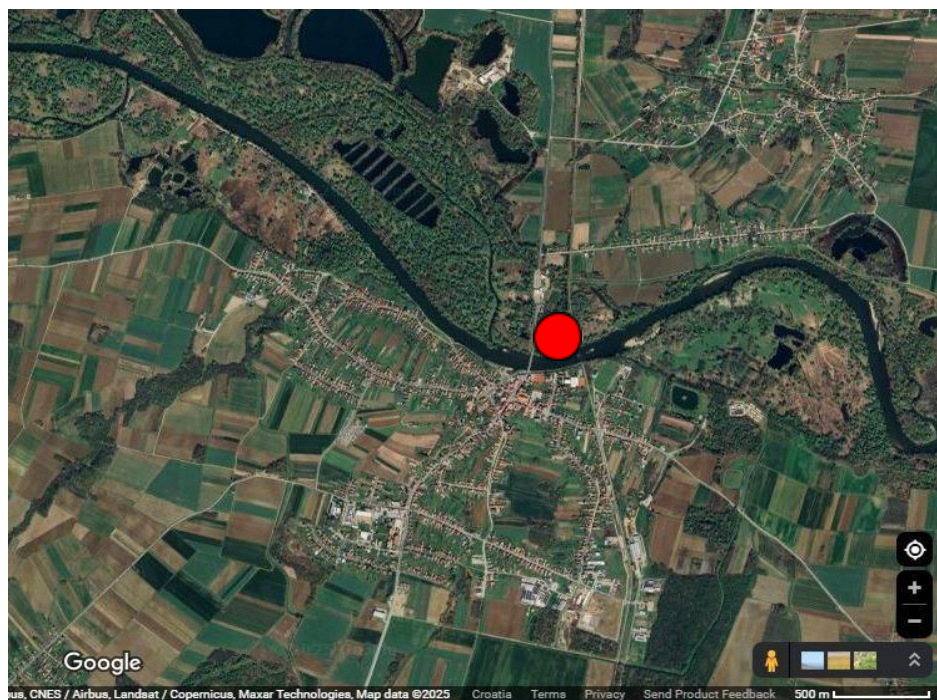
Metode istraživanja

Za potrebe samog istraživanja prikupilo se po 4 uzorka vode s pojedine lokacije u svakoj županiji: po jedna veća i jedna manja tekućica te po jedna stajačica. Veće tekućice su rijeke Drava i Mura, manje tekućice su Plitvica i Lateralac, a stajačice su jezero Motičnjak (bivša šljunčara) i retencija Križopotje. Za svaki uzorak određene su GPS koordinate kao što je prikazano u Tablici 1. Slikama 1 do 6 prikazani su širi prostori promatranih kopnenih voda oko mjesta uzorkovanja. Uočljivo je da šira područja oko mjesta uzorkovanja obuhvaćaju veća ili manja naselja te obradive poljoprivredne površine.

Tablica 1. Koordinate lokacija uzorkovanja i opis lokacije temeljen na vrsti podloge i načinu nastanka

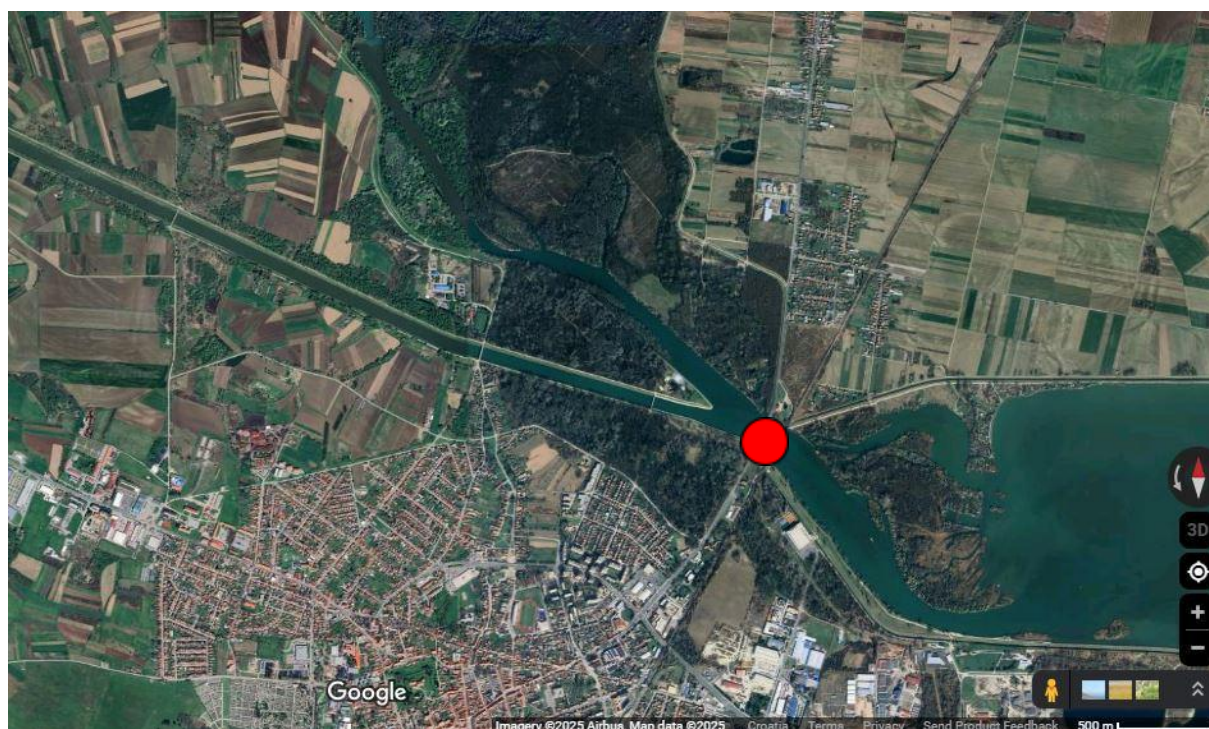
Table 1. Coordinates of sampling locations and location description based on substrate type and method of formation

NAZIV LOKACIJE	KOORDINATE	Opis lokacije
Varaždinska županija		
Drava	46°19'14.8"N 16°21'31.0"E	Prirodni tok rijeke, podloga od šljunka, pijeska i mulja
Plitvica	46°16'38.2"N 16°19'08.4"E	Prirodni tok potoka, podloga od kamenja, šljunka i organskog materijala koji dolazi iz lokalnih šumskih staništa
Motičnjak	46°18'27.1"N 16°23'34.4"E	Umjetno jezero, podloga od mulja i pijeska
Međimurska županija		
Mura	46°30'52.5"N 16°26'21.8"E	Prirodni tok rijeke, podloga od šljunka, pijeska i mulja
Lateralac	46°24'07.3"N 16°25'01.1"E	Umjetni potok, podloga od mulja i pijeska te brojne zelene vegetacije
Križopotje	46°24'58.7"N 16°20'31.6"E	Umjetna retencija izgrađena za potrebe regulacije vodotoka i zaštite od poplava, podloga od mulja, šljunka i pijeska



Slika 1. Satelitska snimka lokacije uzorkovanja (crveno) na postaji na Muri u Murskom Središću i okolnog prostora (izvor: Google Maps)

Figure 1. Satellite image of the sampling location (in red) at the station on the Mura River in Mursko Središće and the surrounding area (source: Google Maps)



Slika 2. Satelitska snimka lokacije uzorkovanja (crveno) na postaji na Dravi u Varaždinu i okolnog prostora (izvor: Google Maps)

Figure 2. Satellite image of the sampling location (in red) at the station on the Drava River in Varaždin and the surrounding area (source: Google Maps)



Slika 3. Satelitska snimka lokacije uzorkovanja (crveno) na potoku Lateralcu u Šenkovcu i okolnog prostora (izvor: Google Maps)

Figure 3. Satellite image of the sampling location (in red) on the Lateralac stream in Šenkovec and the surrounding area (source: Google Maps)



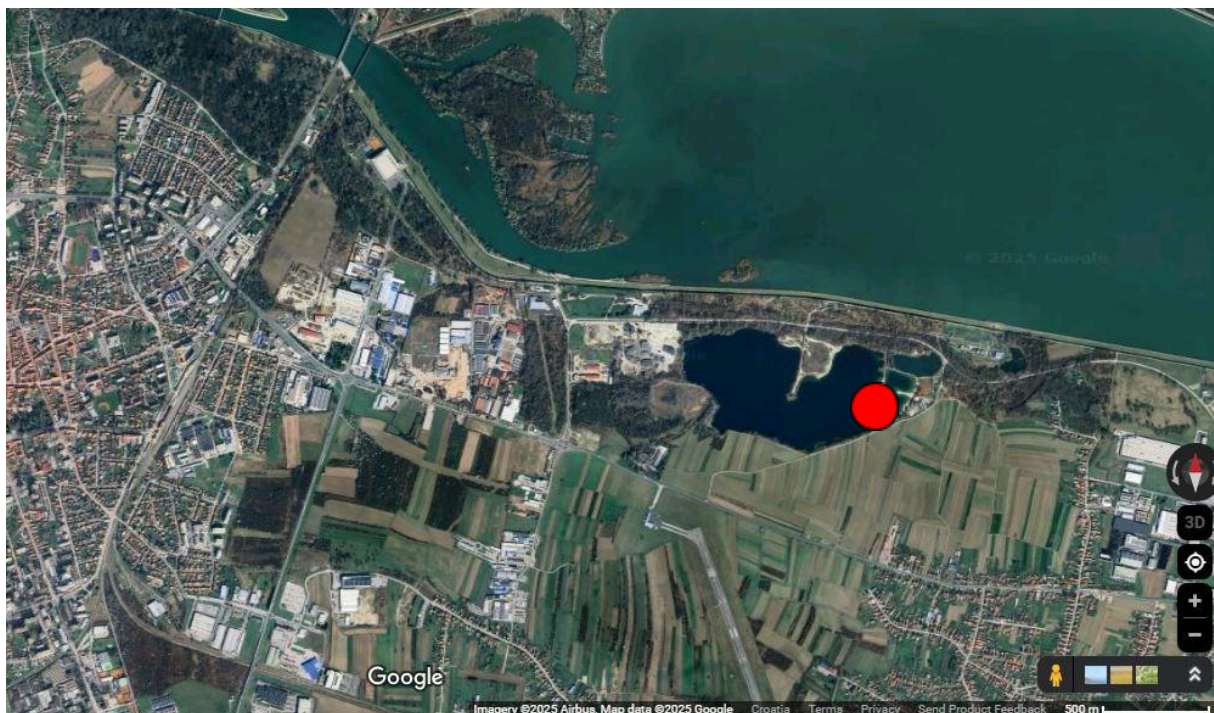
Slika 4. Satelitska snimka lokacije uzorkovanja (crveno) na postaji na potoku Plitvica u Jalkovcu i okolnog prostora (izvor: Google Maps)

Figure 4. Satellite image of the sampling location (in red) at the station on the Plitvica stream in Jalkovec and the surrounding area (source: Google Maps)



Slika 5. Satelitska snimka lokacije uzorkovanja (crveno) na postaji retencija Križopotje i okolnog prostora (izvor: Google Maps)

Figure 5. Satellite image of the sampling location (in red) at the Križopotje retention station and the surrounding area (source: Google Maps)



Slika 6. Satelitska snimka lokacije uzorkovanja (crveno) na postaji šljunčara Motičnjak i okolnog prostora (izvor: Google Maps)

Figure 6. Satellite image of the sampling location (in red) at the Motičnjak gravel pit station and the surrounding area (source: Google Maps)

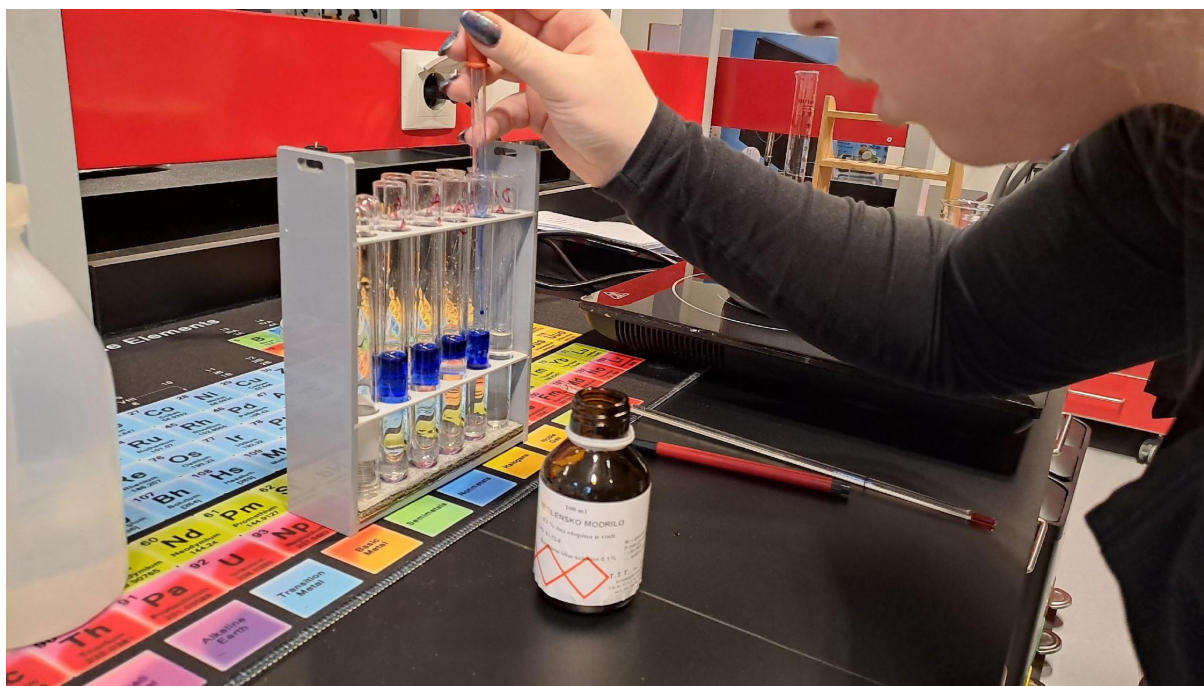
Uzorkovanje vode provedeno je prema standardiziranom GLOBE protokolu. Na svakoj odabranoj lokaciji uzet je uzorak vode zapremine 2 L na dubini od 15 cm i udaljenosti od 1 m od obale, koristeći teleskopsku dršku za sigurno i precizno uzorkovanje. Prilikom uzimanja i transporta uzoraka može doći do kontaminacije, što bi moglo utjecati na rezultate analize. Iz tog razloga koristile su se sterilne posude za uzorke i rukavice za jednokratnu upotrebu. Svi alati, poput teleskopske drške, bili su sterilizirani prije i nakon svakog uzorkovanja. Uzorkovanje i analiza provedeni su u razdoblju od 21. do 31. siječnja 2025. godine.

Za svaki prikupljeni uzorak provedena je kemijska analiza vode u skladu s GLOBE smjernicama (Slika 7), kako bi se dobili uvidi u kvalitetu i potencijalnu zagađenost. Uz kemijsku analizu prema GLOBE protokolima za određivanje prozirnosti, električne provodljivosti, koncentracije otopljenog kisika, nitrata, nitrita, pH-vrijednosti te alkaliteta primijenjen je i reduktaza test uz pomoć metilenskog modrila, koji omogućuje određivanje mikrobne aktivnosti na temelju brzine obezbojenja (EPA, 2021.) prema mikrobiološkom protokolu (Stilinović i Hrenović, 2009.). Za potrebe kemijske analize korišten je Visocolor School Analysen koffer für Schulen.

Reduktaza test provodio se pod kontroliranim uvjetima u vodenoj kupelji na 35 °C. Za svaki uzorak vode pripremljene su tri epruvete, svaka s 10 mL uzorka u koje je stavljeno po 10 kapi 0,1%-tnog metilenskog modrila (Slika 8). Pratilo se vrijeme potrebno za obezbojenje metilenskog modrila (Slika 9). Vrijeme obezbojenja korelira s razinom mikrobiološke aktivnosti, što omogućuje procjenu stupnja zagađenosti uzorka (Rodriguez-Narvaez i sur., 2017.). Uzorke vode iz promatranih lokacija nanosili su na hranjive podloge koje su stavljene u inkubator na 48 sati (Slika 10). Metodom promatranja pomoću lupe analizirali smo dobivene bakterijske kolonije. Napravljena je mikrobiološka procjena prisutnosti bakterija (Slika 11).



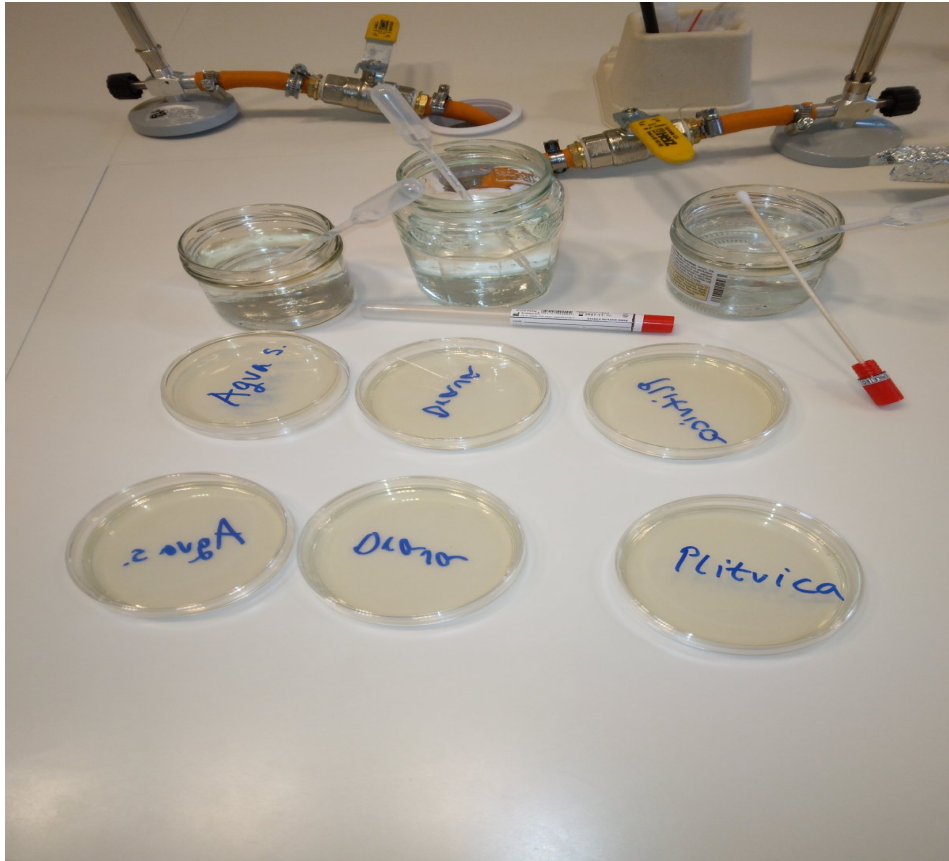
Slika 7. Provođenje kemijske analize uzoraka vode za postaju Drava
Figure 7. Conducting chemical analysis of water samples for the Drava station



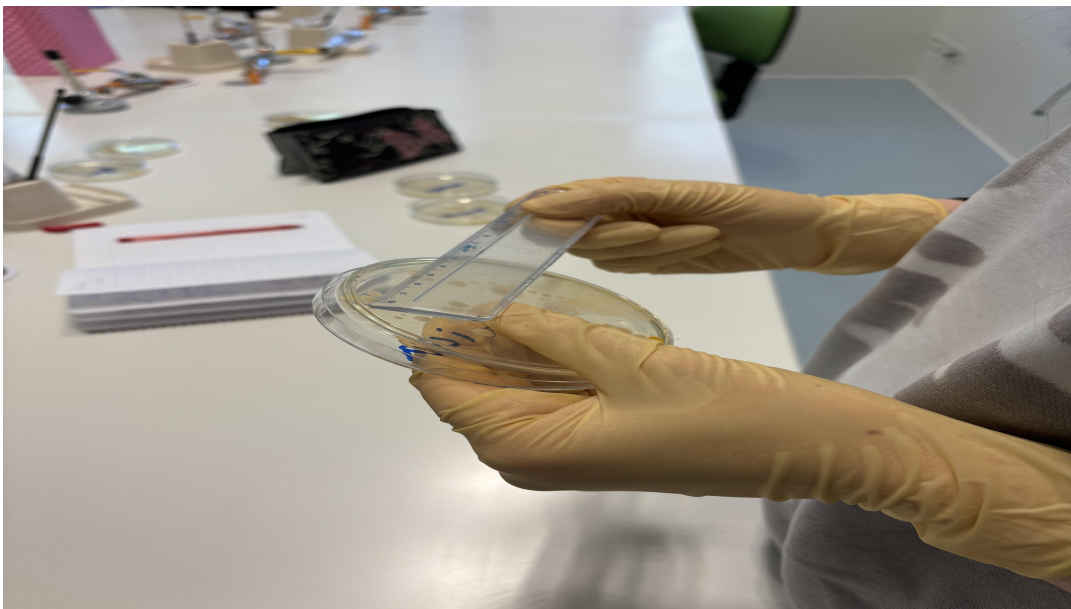
Slika 8. Priprema pripravaka uzoraka vode i metilenskog modrila za postaju Drava
Figure 8. Preparation of water sample mixtures and methylene blue for the Drava station



Slika 9. Uzorci pripravka vode s različitih lokacija s područja Međimurske županije s otopinom metilenskog modrila u vodenoj kupelji
Figure 9. Water sample preparations from different locations in Međimurje County with methylene blue solution in a water bath



Slika 10. Nasađivanje uzoraka vode na hranjivu podlogu
Figure 10. Planting water samples on nutrient medium



Slika 11. Mjerenje veličina kolonija pomoću ravnala i određivanje vrste kolonije vizualnom metodom
Figure 11. Measuring colony sizes using a ruler and determining colony type using a visual method

Prikaz i analiza podataka

Analiza fizikalno-kemijskih i mikrobioloških parametara provedena na šest lokacija pokazala je jasne razlike u kvaliteti vode među promatranim tekućicama i stajaćicama u Varaždinskoj i Međimurskoj županiji. Najpovoljniji kemijski i mikrobiološki parametri zabilježeni su na rijeci Dravi (Tablica 2), gdje su koncentracije nitrata bile niske, a sadržaj otopljenog kisika najviši, što upućuje na dobru sposobnost korita da pročišćuje vodu i nizak ljudski utjecaj. S druge strane, najveće zagađenje utvrđeno je na rijeci Muri (tablica 3) i potoku Lateralcu (tablica 5), gdje su koncentracije nitrata bile značajno više (do 25 mg/L), razina otopljenog kisika snižena, a vrijeme obezbojenja metilenskog modrila najkraće, što sve ukazuje na povećanu mikrobiološku aktivnost i izražen lokalni utjecaj poljoprivrede i otpadnih voda. Potok Plitvica (tablica 4) imao je bolju kvalitetu vode i bolje vrijednosti u usporedbi s Lateralcem, iako nešto slabije od Drave. Među stajaćicama, jezero Motičnjak (tablica 6) pokazalo je najpovoljnije rezultate, s vrlo niskim koncentracijama nitrata i nitrita, visokom prozirnošću i malim brojem bakterija, što se može povezati s njegovom rekreacijskom funkcijom i potencijalnom kontrolom kvalitete vode (Hrvatske vode, 2024). Retencija Križopotje (tablica 7) imala je nešto lošije parametre, veći udio nitrata i slabiji kisik, ali je još uvijek bila manje zagađeno u odnosu na Muru i Lateralac. Vrijednosti pH na svim postajama bile su slične, u rasponu od 5,4 do 5,8, što ukazuje na blagu kiselost voda. Prozirnost i vodljivost su varirale, pri čemu su najveće vrijednosti vodljivosti zabilježene na Plitvici, što može ukazivati na prisutnost većeg broja otopljenih tvari.

Tablica 2. Fizikalno-kemijski parametri vode na postaji Drava kod mosta u Varaždinu

Table 2. Physico-chemical parameters of water analysis at the Drava station near the bridge in Varaždin

Datum mjerenja	Temperatura (°C)	pH	Prozirnost (cm)	Vodljivost (μS/cm)	Alkalitet (mg CaCO ₃ /L)	Kisik (mg/L)	Nitrati (mg/L)	Nitriti (mg/L)
21.1.2025.	2,0	5,0	118,7	218,0	360	15,0	4,0	0
24.1.2025.	2,0	5,0	118,7	240,0	300	15,0	2,0	0
28.1.2025.	3,0	6,0	100,0	245,0	400	12,0	2,0	0
31.1.2025.	4,1	5,5	118,7	240,0	300	16,0	2,0	0
Srednja vrijednost	2,8	5,4	114	235,8	340	14,5	2,5	0

Tablica 3. Fizikalno-kemijski parametri analize vode na postaji Mura

Table 3. Physico-chemical parameters of water analysis at the Mura station

Datum mjerenja	Temperatura (°C)	pH	Prozirnost (cm)	Vodljivost (μS/cm)	Alkalitet (mg CaCO ₃ /L)	Kisik (mg/L)	Nitrati (mg/L)	Nitriti (mg/L)
21.1.2025.	2,5	6,0	107	171,0	111	7,2	0,0	2
24.1.2025.	2,1	6,0	110	184,0	540	5,6	25,0	0
28.1.2025.	2,5	6,0	112	201,0	510	10,1	5,0	0
31.1.2025.	2,9	5,0	107	230,0	350	6,3	5,0	0
Srednja vrijednost	2,5	5,8	109	146,8	630	7,3	8,75	0,5

Tablica 4. Fizikalno-kemijski parametri analize vode na postaji Plitvica

Table 4. Physico-chemical parameters of water analysis at the Plitvica station

Datum mjerenja	Temperatura (°C)	pH	Prozirnost (cm)	Vodljivost (μS/cm)	Alkalitet (mg CaCO ₃ /L)	Kisik (mg/L)	Nitrati (mg/L)	Nitriti (mg/L)
21.1.2025.	3,0	5,5	118,7	416,0	540	14,0	4	0,02
24.1.2025.	3,0	6,0	118,7	436,0	520	14,0	4	0,00
28.1.2025.	9,5	5,0	103,0	354,0	460	11,0	6	0,00
31.1.2025.	6,0	6,0	113,0	404,0	600	12,0	6	0,08
Srednja vrijednost	5,4	5,6	113,4	402,5	530	12,8	5	0,03

Tablica 5. Fizikalno-kemijski parametri analize vode na postaji Lateralac

Table 5. Physico-chemical parameters of water analysis at the Lateralac station

Datum mjerenja	Temperatura (°C)	pH	Prozirnost (cm)	Vodljivost (μS/cm)	Alkalitet (mg CaCO ₃ /L)	Kisik (mg/L)	Nitrati (mg/L)	Nitriti (mg/L)
21.1.2025.	4,6	5,0	105,0	134,0	850	10,0	25	0,000
24.1.2025.	5,2	6,0	110,0	193,0	750	4,1	25	0,000
28.1.2025.	5,0	6,0	108,0	173,0	510	2,8	25	0,000
31.1.2025.	4,9	6,0	110,0	165,0	650	5,4	25	0,500
Srednja vrijednost	4,9	5,8	108,3	166,3	690	5,8	25	0,125

Tablica 6. Fizikalno-kemijski parametri analize vode na postaji Motičnjak

Table 6. Physico-chemical parameters of water analysis at the Motičnjak station

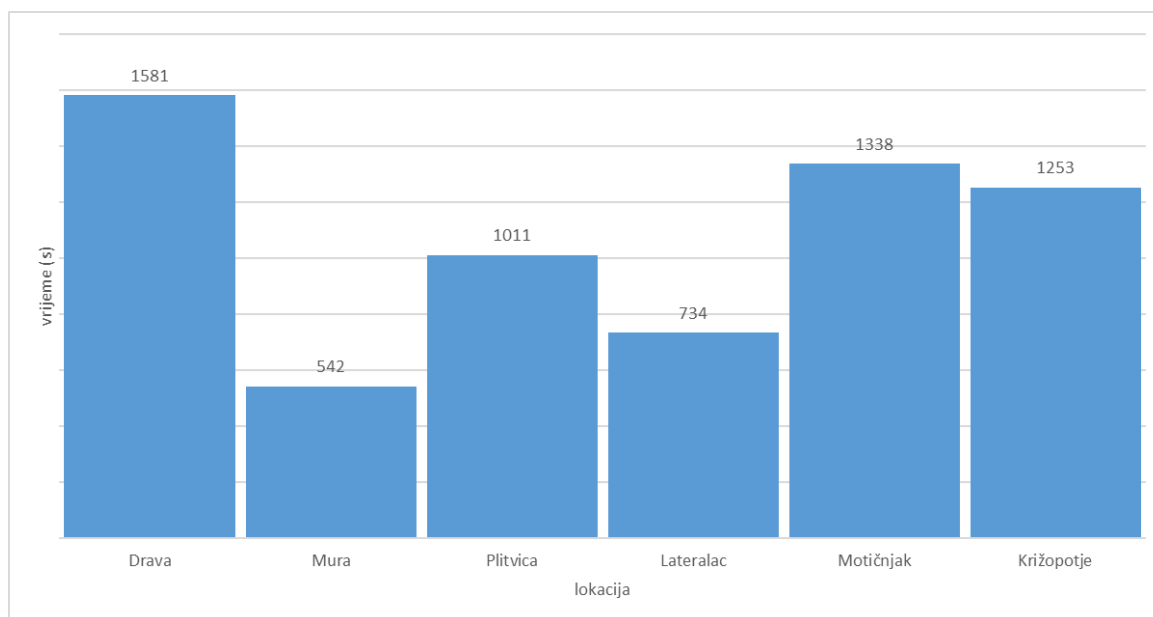
Datum mjerenja	Temperatura (°C)	pH	Prozirnost (cm)	Vodljivost (μS/cm)	Alkalitet (mg CaCO ₃ /L)	Kisik (mg/L)	Nitrati (mg/L)	Nitriti (mg/L)
21.1.2025.	6,0	5,0	118,7	225,0	360	14,0	2,0	0
24.1.2025.	7,0	5,5	109,0	224,0	420	12,0	2,0	0
28.1.2025.	5,0	6,0	105,0	229,0	550	8,0	2,0	0
31.1.2025.	4,0	5,0	118,7	232,0	300	9,0	3,0	0
Srednja vrijednost	5,5	5,4	112,9	227,5	410	10,8	2,3	0

Tablica 7. Fizikalno-kemijski parametri analize vode na postaji Križopotje

Table 7. Physico-chemical parameters of water analysis at the Križopotje station

Datum mjerenja	Temperatura (°C)	pH	Prozirnost (cm)	Vodljivost (μS/cm)	Alkalitet (mg CaCO ₃ /L)	Kisik (mg/L)	Nitrati (mg/L)	Nitriti (mg/L)
21.1.2025.	5,4	6,0	102	48,0	350	8,5	5,0	0
24.1.2025.	5,8	5,0	101	69,0	360	10,0	10,0	0
28.1.2025.	5,2	6,0	105	148,0	490	2,9	5,0	0
31.1.2025.	6,0	5,0	100	41,0	340	8,9	5,0	0
Srednja vrijednost	5,6	5,5	102	76,5	385	7,6	6,3	0

Rezultati reduktaza testa s metilenskim modrilom (Slika 12) pokazuju da je najveća mikroba aktivnost prisutna u rijeci Muri (542 s je vrijeme obezbojenja), slijede Lateralac, Plitvica, Križopotje, Motičnjak, a najmanja mikroba aktivnost u rijeci Dravi (1581 s).



Slika 12. Srednje vrijednosti rezultata reduktaza testa s metilenskim modrilom (vrijeme obezbojenja) na šest promatranih postaja

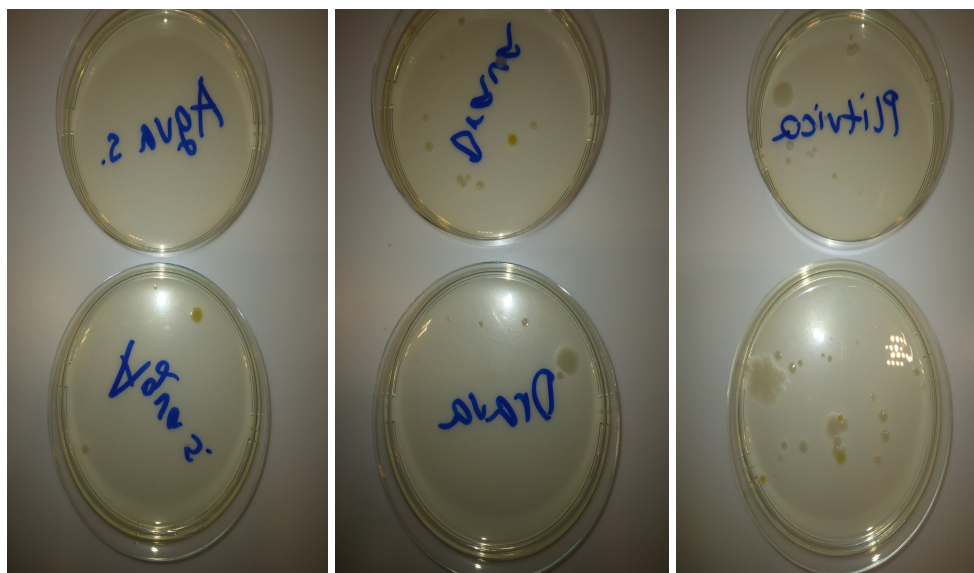
Figure 12. Mean values of methylene blue reductase test results (discoloration time) at six observed stations

Podaci pokrivenosti hranjivih podloga bakterijskim kolonijama pokazuju najveću količinu bakterija u rijeci Muri (84 %, Tablica 8). Visoku količinu bakterija pokazuje i uzorak vode iz Lateralca (54%). Uočava se kako uzorci s postaja na Dravi i Plitvici sadrže mali broj bakterija koje su narasle na hranidbenim podlogama. Vizualnom metodom određivanja potencijalne skupine ili vrste bakterija na temelju izgleda kolonija prema Stilinović i Hrenović (2009.), ustanovljeno je da u većini uzoraka prisutne *Streptococcus* i *Staphylococcus* bakterije, dok je kod velikih tekućica prisutna *Escherichia coli* koja pripada koliformnim bakterijama, a ujedno upućuje i na prisutnost izljeva otpadnih voda u ta vodena tijela. *E. coli* također je pronađena u manjoj tekući, Lateralcu.

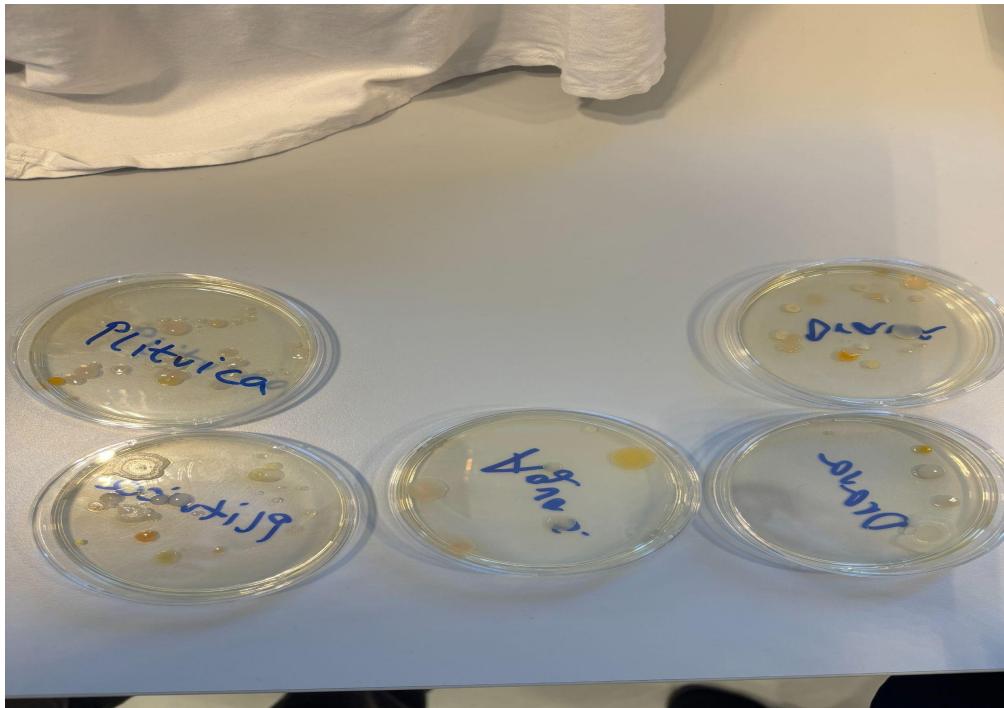
Tablica 8. Postotak pokrivenosti hranjivih podloga bakterijskim kolonijama nakon 48 sati i vizualno određene potencijalne vrste/roda bakterija na temelju izgleda kolonija

Table 8. Percentage coverage of nutrient media with bacterial colonies after 48 hours and visual determination of potential species/genus of bacteria based on the appearance of the colonies

	Drav a	Mura	Plitvica	Lateralac	Motičnjak	Križopotje
Postotak pokrivenosti hranjive podloge	9,5 %	84 %	12,5 %	54 %	7 %	12 %
Vizualno određivanje potencijalne skupine ili vrste bakterija na temelju izgleda kolonije	<i>E .coli</i>	<i>Streptococcus</i> <i>Staphylococcus</i> <i>E .coli</i>	<i>Staphylococcus</i>	<i>Streptococcus</i> <i>Staphylococcus</i> <i>E .coli</i>	<i>Streptococcus</i> <i>Staphylococcus</i>	<i>Streptococcus</i> <i>Staphylococcus</i>



Slika 13. Bakterijske kolonije razvijene nakon 24 sati za pojedine uzorke
Figure 13. Bacterial colonies developed after 24 hours for individual samples



Slika 14. Bakterijske kolonije razvijene nakon 48 sati za pojedine uzorke
Figure 14. Bacterial colonies developed after 48 hours for individual samples

Rasprava i zaključci

Rezultati pokazuju znatne razlike među lokacijama, kako u kemijskim, tako i u mikrobiološkim parametrima za različite uzorke vode s područja Varaždinske i Međimurske županije. Rijeka Mura i potok Lateralac izdvajaju se kao najzagađenije vodene površine. Njihova visoka razina nitrata (Mura: 8,75 mg/L; Lateralac: 25 mg/L) i relativno niža koncentracija otopljenog kisika (Mura: 7,3 mg/L; Lateralac: 5,8 mg/L) povezani su s većom mikrobiološkom aktivnošću, potvrđenom reduktaza testom (vrijeme obezbojenja Mura: 542 s; Lateralac: 734 s) i velikim brojem bakterijskih kolonija (Mura: 84 %; Lateralac: 54 % pokrivenosti podloge). Ova pojava može se objasniti većim ljudskim utjecajem, konkretno, ispuštanjem otpadnih voda, ispiranjima gnojiva i manjim kapacitetima samočišćenja kod manjih ili sporijih tokova. Ovo odgovara rezultatima da smo, prema Stilinović i Hrenović (2009.), u tim uzorcima pretežito pronašli vizualnom metodom koliformne bakterije. Hipoteza da tekućice i stajaćice na području Varaždinske županije predstavljaju veću potencijalnu opasnost od onih u Međimurskoj nije potvrđena. Također, hipoteza da najmanju opasnost za ljudsku populaciju imaju velike tekućice poput Mure i Drave nije u potpunosti dokazana. Naime, rijeka Mura pokazuje veliko zagađenje nitratima i bakterijama.

Nasuprot tome, rijeka Drava pokazuje najmanju razinu mikrobiološkog zagađenja (vrijeme obezbojenja: 1581 s; pokrivenost podloge: 9,5 %). To se može pripisati brzom protoku, stabilnijem ekološkom režimu (otpornosti na vanjske utjecaje, otpornosti na stresove kao što su klimatske promjene) te manjoj izloženosti direktnim izvorima zagađenja. Slično vrijedi i za jezero Motičnjak koje, iako stajaćica, pokazuje povoljne vrijednosti kemijskih parametara, nisku koncentraciju nitrata (2,3 mg/L), visoku koncentraciju kisika (10,8 mg/L) i malu bakterijsku aktivnost (pokrov podloge: 7 %). U obzir treba uzeti da je Motičnjak rekreacijsko područje koje je moguće pod sanitarnim nadzorom, što može uključivati tretmane protiv razvoja bakterija. Dodatno, ne postoji direktno ispuštanje otpadnih voda, što je potvrđeno i izvješćem Hrvatskih voda za razdoblje 2021.–2024., prema kojemu je kakvoća vode za kupanje ocijenjena kao „izvrsna” (Hrvatske vode, 2024.).

Križopotje, druga stajaćica u istraživanju, pokazuje nešto veću razinu zagađenja od Motičnjaka, ali ipak manju od Lateralca i Mure. Koncentracija kisika (7,6 mg/L) i povećana količina nitrata (6,25 mg/L) ukazuju na umjereni ljudski utjecaj, vjerojatno iz okolnih naselja i poljoprivredne aktivnosti koje se odvijaju na tom prostoru. S obzirom na to da nije poznato postoji li sustav za pročišćavanje ili kontrolu ispuštanja otpadnih voda u to područje, razina opasnosti u slučaju poplava za ljudsko zdravlje ostaje ograničena, ali ne i zanemariva. Naša prva hipoteza da stajaćice imaju veću opasnost za širenje bakterija i trovanje ljudskog organizma nije u potpunosti dokazna jer velika tekućica odnosno rijeka Drava je rijeka sa najmanjom mikrobiološkom aktivnošću.

Uspoređujući manje tekućice, Plitvica pokazuje povoljnije vrijednosti u usporedbi s Lateralcem – niže koncentracije nitrata (5 mg/L), veće koncentracije kisika (12,8 mg/L), i znatno manju bakterijsku aktivnost (1011 s obezbojenja; 12,5 % pokrivenosti podloge). To sugerira da, iako veličina i protok tekućice igraju ulogu, presudan je vjerojatno stupanj lokalnog onečišćenja (npr. blizina intenzivne poljoprivrede u slučaju Lateralca te brojnost privatnih objekata koji posjeduju septičke jame koje se prazne u potok).

Za sve uzorke vode, pH-vrijednosti kretale su se u uskom rasponu od 5,4 do 5,8, što ukazuje na slabo kiseli karakter vode. Premda ovo samo po sebi ne predstavlja neposredan zdravstveni rizik, takav pH može ukazivati na povećanu prisutnost organske tvari i mogućnost pojačanih procesa razgradnje organskih tvari u mikrobnoj zajednici.

Važno je naglasiti da se broj bakterija u vodi ne može povezivati s patogenim potencijalom. Većina bakterija u prirodnim vodama su saprofiti (razlagači), i samo specifičnim mikrobiološkim testovima moguće je utvrditi prisutnost patogena poput *E. coli* ili *Salmonella*. Unatoč tome što je reduktaza test pokazao intenzivnu promjenu boje za pojedine lokacije, ona može biti rezultat općenito prisutnosti brojnih mikroorganizama koji zapravo uopće nemaju patogeno djelovanje na čovjeka. Kako zbog nedostatka opreme određivanje konkretne vrste mikroorganizma nije provedena, zaključci o opasnosti za ljudsko zdravlje moraju se uzeti s oprezom.

Na kraju, potrebno je istaknuti ograničenja istraživanja. Podaci se odnose samo na jedno razdoblje u godini (siječanj), a broj uzoraka je ograničen. Moguće su vremenske i tehničke pogreške prilikom uzorkovanja ili mjerenja, unatoč korištenju sterilnih materijala. Dodatno, izostanak podataka o vegetaciji i konkretnoj vrsti tla otežava potpuniju ekološku sliku utjecaja podloge na samu kvalitetu vode. Također, bilo bi poželjno odrediti prisutnost teških metala koji potencijalno mogu završiti u tkivima riba koje kasnije ljudi koriste za prehranu i mogu imati negativan utjecaj na čovjeka.

Zaključci ovog istraživanja:

- Najvišu kakvoću vode pokazala je rijeka Drava, s najmanjom mikrobiološkom aktivnošću i povoljnim kemijskim parametrima (nizak udio nitrata, visoka koncentracija kisika).
- Rijeka Mura i potok Lateralac pokazali su najveće zagađenje, s povišenim razinama nitrata i bakterija, što ukazuje na značajan lokalni antropogeni utjecaj (otpadne vode, poljoprivreda).
- Jezero Motičnjak, unatoč tome što je stajaćica, imalo je vrlo dobru kvalitetu vode i nisku mikrobiološku aktivnost, vjerojatno zbog rekreacijske namjene i izostanka direktnih izvora zagađenja.
- Retencija Križopotje imala je nešto lošije parametre od Motičnjaka, ali i dalje niže zagađenje u usporedbi s rijekom Murom i potokom Lateralcem.
- Potok Plitvica imao je stabilne vrijednosti i srednju razinu kvalitete u usporedbi s ostalim lokacijama.

- Količina bakterija i zagađivača nije ovisila isključivo o vrsti vodenog tijela (stajaćica ili tekućica), već prvenstveno o lokalnom izvoru zagađenja i načinu korištenja okoliša.
- Veće rijeke ne jamče nužno niži rizik, iako je Drava imala vrlo dobru kvalitetu vode, Mura je bila jedna od najzagađenijih lokacija.

Literaturni izvori

1. EEA. (2023). Nature-based solutions in Europe: Policy, knowledge and practice for climate adaptation and disaster risk reduction. European Environment Agency, Report No 23/2023. Dostupno na: <https://www.eea.europa.eu/publications/nature-based-solutions-in-europe>
2. EPA (Environmental Protection Agency) (2021.), Water quality monitoring: Principles and practices, <https://www.epa.gov/> (4.1.2025.).
3. Fewtrell, L. (2004.). Drinking-Water Nitrate, Methemoglobinemia, and Global Burden of Disease: A Discussion. Environmental Health Perspectives, 112(14), 1371.–1374.
4. GLOBE Program Hydrosphere protocols, <https://www.globe.gov/web/hydrosphere> (4.1.2025.).
5. Habdija I., Primc B. (2019.) Limnologija, Ekologija slatkih voda, Alfa, 1. izdanje, Zagreb
6. Hrvatske vode, Upravljanje poplavama u Hrvatskoj, <https://www.voda.hr/> (4.1.2025.).
7. Hrvatske vode (2024): Izvješće o kakvoći voda za kupanje na površinskim vodama u republici hrvatskoj u sezoni kupanja 2024. Godine, <https://voda.hr/hr/godisnji-planovi-i-izvjesca-o-provedenom-monitoringu> (27.2.2025.)
8. Juričić D. (2009.): Nitrati i sulfati u vodi Zagreb, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, <https://www.croris.hr/crosbi/publikacija/ojenski-rad/403975#>
9. Mayer, B., D. Novosel, G. Bušić (1997.): Teške kovine u sedimentima vodne akumulacije hidroelektrane Dubrava u šumskom fluvisolu uz akumulaciju. Radovi - Šumarski institut Jastrebarsko 32(1):97-105, Jastrebarsko.
10. Rodriguez-Narvaez, O. M., Peralta-Hernandez, J. M., Goonetilleke, A., Bandala, E. R., 2017: Treatment technologies for emerging contaminants in water: A review, Chemical Engineering Journal, 323, 361–380.
11. Pićulin, C. (2015.): Javnozdravstveno djelovanje u poplavama, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu Medicinski fakultet, Zagreb.
12. World Health Organization (WHO) (2017.), Water quality and health – Review of microbiological methods. <https://www.who.int/> (4.1.2025.).