

## ANALIZA STRUKTURE ZAJEDNICA BAKTERIJA I MAKROINVERTEBRATA U ODNOSU NA FIZIČKO-HEMIJSKE PARAMETRE VODE U TRI RIJEKE NA PODRUČJU BOSNE I HERCEGOVINE

Mahir Gajević<sup>1</sup>, Samir Đug<sup>1</sup>, Aldijana Mušović<sup>1</sup>, Azemina Hasić<sup>1</sup>, Maja Matović<sup>1</sup>,  
Elma Crnovršanin<sup>1</sup>, Renata Bešta-Gajević<sup>1</sup>

Originalni naučni rad - *Original scientific paper*

### Rezime

U ovom radu istraživani su fizičko-hemijski i biološki parametri u tekućicama na području Bosne i Hercegovine. Analizirani su sastavi zajednica makrozoobentosa i bakterija u rijekama Drina, Gostović i Vogošća. Podaci su dobiveni terenskim uzorkovanjem koje je provedeno tokom ljetnog perioda u 2019. i 2020. godini. Istraživanje indicira da se većina fizičko-hemijskih parametara vode mijenja sa utjecajem zagađenja i promjenom nadmorske visine. Rezultati rada su pokazali da se struktura zajednica makroinvertebrata, brojnost autohtonih i alohtonih bakterija u ispitivanim tekućicama značajno razlikuju u zavisnosti od nadmorske visine, temperature i koncentracije kisika. Uočeni su obrasci korelacije između pojedinih fizičko-hemijskih parametara vode s jedne strane i zajednica makroinvertebrata i bakterija s druge.

Ključne riječi: *fizičko-hemijske karakteristike, makroinvertebrata, autohtone i alohtone bakterije, Bosna i Hercegovina, struktura zajednica.*

### UVOD

Analize na nivou zajednice su najprimjenjivije metode koje se koriste za procjenu učinka stresora u vodenim ekosistemima, jer je biocenoza ekološki najznačajniji pokazatelj stanja životne sredine. U vodenim ekosistemima u svrhu bioindikatora koristi se čitav niz biotičkih komponenti od kojih svaka od njih ima svoje prednosti i ograničenja (Chapman, 1992). Bentoski makroinvertebrati predstavljaju biotičku komponentu u vodenim ekosistemima koja ima najzastupljeniju primjenu, posebno u evropskim rijekama, iz razloga što ovi makroinvertebrati posjeduju niz prednosti kada su u pitanju studije utjecaja na nivou lokalnih zajednica u slatkovodnim ekosistemima. S druge strane, funkcionalne grupe bakterija specijalizirane su za različite metaboličke procese, te se promjene u sastavu ovih zajednica mogu koristiti kao indikatori antropogenog zagađenja (Attrill & Depledge, 1997). Međutim, analiza strukture

---

<sup>1</sup>Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Sarajevu;  
Korespondencija: Mahir Gajević, mahirgajevic@gmail.com

bakterija u vodenim ekosistemima tek odnedavno se detaljnije proučava, te u Bosni i Hercegovini postoje oskudni podaci o sastavu bakterija u ovim tipovima ekosistema. Mikroorganizmi koji se nalaze u vodi prema porijeklu se mogu svrstati u dvije grupe: mikroorganizmi kojima je voda prirodno boravište (razni saprofiti i saprozoji) i mikroorganizmi koji u vodu dospijevaju sekundarnim putem npr. porijeklom iz zraka, tla, sa biljaka, životinja i čovjeka (Jerković-Mujkić, 2014; Đug *et al.*, 2020). Mikroorganizmi koji čine prirodnu osnovu, kao autohtoni stanovnici voda, veoma su brojni u vodenim ekosistemima. Prisutni su na svim trofičnim nivoima i učestvuju u procesu transformacije materije i energije. U vodi su rasprostrajeni u različitim mikrosredinama pa tako mogu biti suspendirani u vodenom mediju, pričvršćeni na potopljenim predmetima, na sedimentu, na vodenim biljkama, na površini i unutrašnjosti vodenih životinja. Sa druge strane u vodu dospijevaju i alohtoni mikroorganizmi porijeklom iz sekundarnih izvora, najčešće iz otpadnih voda (Đug *et al.*, 2020).

Hidrološki procesi na longitudinalnom profilu rijeka posljedica su sezonskih promjena i unosa strane materije u tim ekosistemima (Vannote *et al.*, 1980). Veliki broj istraživanja proveden je u cilju definiranja veze između bioloških i kemijskih karakteristika vodotoka i antropogenog utjecaja. Postoji potreba za detaljnim informacijama o prostornim i vremenskim promjenama strukture zajednica makroinvertebrata u lotičkim ekosistemima. Razumijevanje sezonsko-vremenske i prostorne varijabilnosti hemijskih parametara u odnosu na promjene u sastavu zajednica može dati dodatne podatke za izradu programa obnove i upravljanja rijekama (Pinay *et al.*, 1989).

Svrha ovog istraživanja bila je bolje razumijevanje sastava bakterija i zajednica makroinvertebrata, te njihova usporedba kao indikatora stanja vodenih ekosistema.

Riječni tokovi Bosne i Hercegovine pripadaju slivovima Crnog i Jadranskog mora. Od ukupne površine BiH koja iznosi 51,129 km<sup>2</sup>, crnomorskom, odnosno slivu rijeke Save pripada 38,719 km<sup>2</sup>, dok slivu Jadranskog mora pripada 12,410 km<sup>2</sup>.

Istraživanje je provedeno na tri rijeke u Crnomorskom slivu na području Bosne i Hercegovine. Ovim radom obuhvaćeno je ispitivanje rijeka Drine, Gostović i Vogošća na ukupno sedam različitih lokaliteta. Na rijeci Drini obrađena su dva lokaliteta od kojih se jedan lokalitet nalazi uzvodno, na mjestu spajanja rijeka Pive i Tare, a karakteriše se krupnim sedimentom i brzim protokom vode, s malim brojem izvora zagađenja. Drugi istraživani lokalitet na ovoj rijeci je sporijeg protoka s većim brojem potencijalnih zagađivača, dok sediment varira od srednje velikog kamenja do pijeska i mulja. Rijeka Gostović u Centralnoj Bosni je pritoka rijeke Krivaje, a uzorci za fizičko-hemijsku, mikrobiološku i analizu makrozoobentosa prikupljeni su s dva lokaliteta. Iako se ovi lokaliteti razlikuju po određenim karakteristikama, sediment je uglavnom predstavljen kamenjem i šljunkom. Rijeka Vogošća je desna pritoka rijeke Bosne sa koje su prikupljeni uzorci s tri lokaliteta, koji se međusobno razlikuju prema brzini toka, sedimentu i količini zagađujućih materija (Tab. 1).

## MATERIJAL I METODE RADA

Uzorkovanje vode za fizičko-hemijske i mikrobiološke analize, te zoobentosa izvršeno je tokom 2019. i 2020. godine u ljetnom periodu na rijekama Drina, Gostović i Vogošća (Tab. 1).

Fizičko-hemijski parametri vode na istraživanim lokalitetim analizirani su na terenu korištenjem Multi 3630 IDS F seta za fizičko-hemijsku analizu vode. U ovom dijelu analizirane su vrijednosti temperature vode, koncentracije kisika, pH vrijednost i elektroprovodljivost. Podaci o nadmorskoj visini i koordinatama lokaliteta dobiveni su pomoću GPS uređaja Garmin eTrex® 32x.

Tabela 1. Prikaz lokaliteta na kojima je vršeno istraživanje

*Table 1. Sampling sites overview with description*

Oznaka	Rijeka i lokalitet	Koordinate		Nadmorska visina (m)	Opis lokaliteta
		SGŠ	IGD		
L1	Drina – Šćepan Polje	43°20'79''	18°50'07''	454	Mala količina zagađenja
L2	Drina – Foča	43°30'23''	18°46'29''	382	Veća količina industrijskog i zagađenja iz domaćinstava
L3	Gostović – Stara Kamenica	44°19'47''	18°12'53''	403	Mala količina zagađenja
L4	Gostović – Nova Kamenica	44°20'27''	18°11'49''	359	Umjerena količina zagađenja iz domaćinstava
L5	Vogošća – Perci	43°57'09''	18°27'31''	723	Mala količina zagađenja
L6	Vogošća – Industrijska zona	43°54'14''	18°22'15''	515	Veća količina industrijskog zagađenja
L7	Vogošća – Donja Jošanica	43°54'04''	18°20'07''	500	Veća količina industrijskog i zagađenja iz domaćinstava

Uzorci vode za mikrobiološku analizu uzorkovani su u skladu sa BAS EN ISO 19458 standardom i transportovani u frižiderima sa kontrolisanom temperaturom. Sve analize su urađene u okviru 24 h, standardnim postupcima i metodama.

Za određivanje ukupnog broja aerobnih/fakultativno anaerobnih heterotrofnih bakterija, cfu/ml pri 22°C i mezofilnih bakterija cfu/ml pri 35 ±1 °C/48h korištena je metoda zasijavanja u agar ploču u skladu sa BAS EN ISO 6222. Metodom membranske filtracije izvršena je detekcija i brojanje: ukupnih koliformnih bakterija, fekalnih (termotolerantnih) koliformnih bakterija prema metodi ISO 9308-1:2014 i fekalnih enterokoka u 100 ml uzorka prema metodi ISO 7899-2:2000. Nakon filtracije, filter membrana promjera 47 mm, veličine pora 0,45 µm prenijeta je na hranjivu podlogu. Za određivanje ukupnog broja koliformnih bakterija koristila se podloga hromogeni koliformni agar, a ploče su inkubirane pri temperaturi od 35°C. Ukupan broj termotolerantnih koliformnih bakterija određivao se zasijavanjem membranskog filtera na M-TEC agar, a petrijeve zdjelice su inkubirane na temperaturi od 44,0±0,5. Za određivanje fekalnih enterokoka koristio se eskulin azidni žučni agar i temperatura

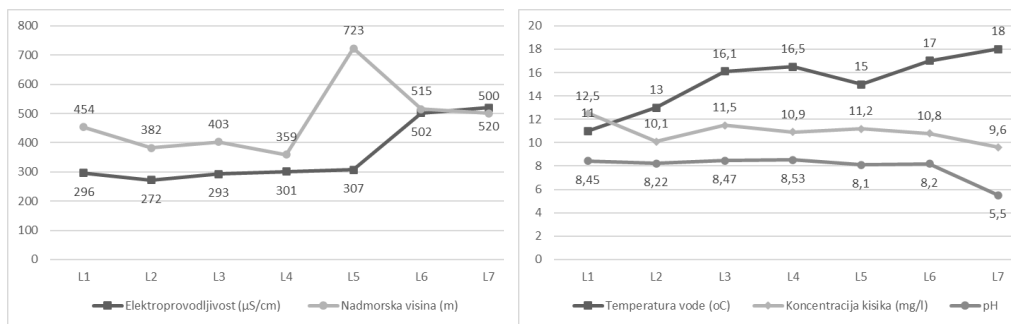
inkubacije od 35°C. Za potvrdu prisustva *Escherichia coli* na suspektne kolonije apliciran je Kovačev reagens, a pojava crvene boje bila je potvrda stvaranja indola i pozitivne reakcije. Za potvrdu *E. coli* određivana je reakcija aktivnosti oksidaze tako da se jedna, pojedinačna suspektna kolonija bakterije prenijela sterilnom ezom na trakicu za određivanje reakcije. Nakon pet sekundi izostanak tamnoplave boje na trakici ukazivao je na negativnu reakciju koja je karakteristična za bakteriju *E. coli*.

Uzorci makroinvertebrata prikupljeni su mrežom za uzorkovanje makrozoobentosa s drškom (mreža promjera okaca 500 µm). Svaki od uzoraka prikupljen je s površine od 0,18 m<sup>2</sup>. Uzorci makrozoobentosa fiksirani su na terenu u 70% etanolu, te prebačeni u laboratoriju gdje je izvršena separacija i identifikacija prikupljenih jedinki. Identifikacija je izvršena korištenjem ključeva za identifikaciju makrozoobentosa (Eliot *et al.*, 1988; Nagel, 1989; Waringer & Graf, 2013; Kriska, 2014).

Analiza glavnih komponenti (PCA), koju je u ekologiji prvi koristio Goodall (1954), izvršena je u svrhu diferencijacije istraživanih lokaliteta ili grupa lokaliteta prema njihovim hemijskim i biološkim karakteristikama. PCA je provedena s normaliziranim podacima na matrici uzorkovanja od osam parametara na sedam različitih lokaliteta. Sve analize i grafike provedene su pomoću programa Excel i XLSTAT.

## REZULTATI I DISKUSIJA

Analiza fizičko-hemijskih parametara vode uključivala je mjerenje koncentracije kisika, temperature vode, pH vrijednosti i elektroprovodljivosti na svih sedam istraživanih lokaliteta. Vrijednosti temperature vode kretale su se od 11 do 18°C i zavisile su od nadmorske visine i dijela vodotoka na kojem je vršeno uzorkovanje. Najniže temperature zabilježene su gornjim tokovima (Sl. 1). Temperaturne oscilacije pratile su i vrijednosti koncentracije kisika, gdje je prisutna negativna korelacija.

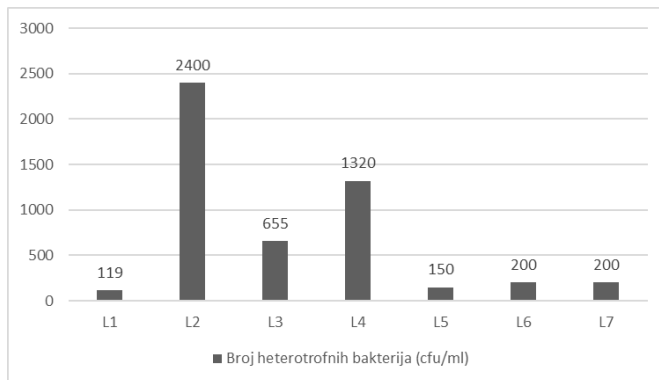


Slika 1. Fizičko-hemijski parametri i nadmorske visine istraživanih lokaliteta.  
Figure 1. Physicochemical variables of water and altitude of investigated sites

Najniže vrijednosti koncentracije kisika konstatirane su u zagađenim dijelovima istraživanih vodotoka. Vrijednosti koncentracije H iona (pH) uglavnom je konstantna na svim lokalitetima izuzev lokaliteta 7 na kojem je zabilježena dosta niža vrijednost

(Sl. 1). Vrijednosti elektroprovodljivosti nisu pokazivale veće oscilacije osim na lokalitetima 6 i 7 gdje su prisutni različiti vidovi zagađenja (Sl. 1).

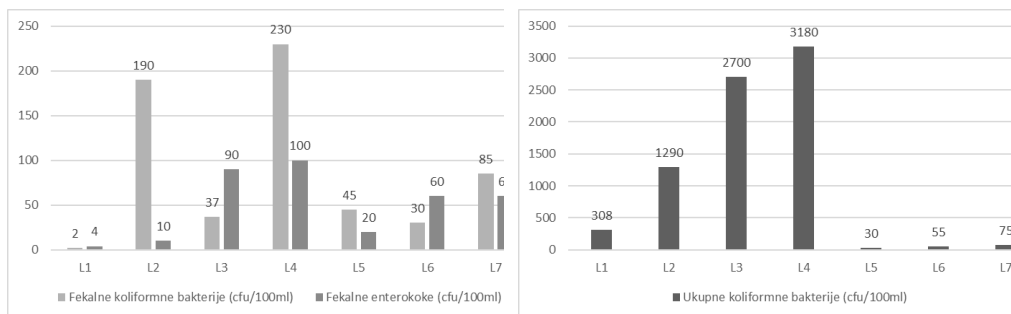
Mikrobiološka ispitivanja obuhvatila su parametre koji se koriste u procjeni mikrobiološkog kvaliteta vode, odnosno klase kvaliteta vode. Rezultati mikrobiološkog ispitivanja prikazani su na slikama 2 i 3. Ukupan broj heterotrofnih bakterija određen je brojanjem bakterijskih kolonija na neselektivnoj podlozi hranjivog agara nakon inkubacije pri temperaturi od 22°C u trajanju od pet dana. Kolonije izrasle na temperaturi inkubacije od 22°C predstavljaju autohtonu bakterijsku zajednicu vodenog ekosistema jer upravo ta temperatura odgovara uslovima u vodenom ekosistemu i pogoduje njihovom rastu (Kapetanović *et al.*, 2012). Brojnost heterotrofnih bakterija na istraživanim lokalitetima kretala se od najniže vrijednosti koja je iznosila 119 cfu/ml na lokalitetu L1, do najviše vrijednosti od 2400 cfu/ml na lokalitetu L2 (Sl. 2). Rezultati rada ukazuju na porast brojnosti ukupnog broja heterotrofnih bakterija, indikatora lako razgradljivih organskih materija, na lokalitetima koji se nalaze nizvodno na longitudinalnom profilu istraživanih rijeka. Na osnovu rezultata ukupnog broja bakterija istraživani lokaliteti pokazuju umjerenu trofiju. Kako su i heterotrofne bakterije jedan od indikatora onečišćenja vode, rast vrijednosti ovih bakterija na istraživanim lokalitetima upućuju na moguće narušavanje kvalitete vode (Kapetanović *et al.*, 2012; Kurtović *et al.*, 2007).



Slika 2. Broj heterotrofnih bakterija (cfu/ml)  
*Figure 2. Number of heterotrophic bacteria (cfu/ml)*

Mikrobiološka ispitivanja obuhvatila su i bakterije indikatore fekalnog zagađenja. Najčešće su to bakterije iz porodice *Enterobacteriaceae* i to koliformne i fekalne koliformne bakterije (Đug *et al.*, 2020). Određivanjem prisutnosti i brojnosti indikatorskih bakterija dobili smo uvid u alohtono organsko zagađenje materijama fekalne prirode. Rezultati mikrobiološkog ispitivanja prikazani su na slikama 2 i 3. Ukupan broj koliformnih bakterija kretao se od najniže vrijednosti od 30 cfu/100ml na lokalitetu L5, do najviše vrijednosti 3180 cfu/100 m za lokalitetu L4 (Sl. 3). Termotolerantne koliformne bakterije porasle su nakon inkubacije na podlozi HiCrome

m-TEC agar u vidu karakterističnih ružičastih kolonija. Zabilježene vrijednosti kretale su se od dvije kolonije na lokalitetu L1, do najviše vrijednosti od 230 cfu/100ml u uzorcima vode sa lokalitetu L4. *E. coli*, kao dobar indikator skorijeg fekalnog zagađenja, identifikovana je na svim ispitivanim lokalitetima na osnovu rasta karakterističnih kolonija na hromogenoj podlozi i na osnovu pozitivnog indol testa, a negativnog oksidaza testa. Najveći broj *E. coli* od 150 cfu/100ml zabilježen je na lokalitetu L4 na donjem toku rijeke Gostović, dok je samo jedna kolonija *E. coli* detektovana u uzorcima vode iz rijeke Drine (L1). Fekalne enterokoke su dobri indikatori starog fekalnog opterećenja (Đug *et al.*, 2020) i prisutnost ovih bakterija je zabilježena na svim ispitivanim lokalitetima. Broj fekalnih enterokoka kretao se od ukupno četiri cfu/100ml na lokalitetu L1, do 150 cfu/100ml u vodi sa lokaliteta L4 (Sl. 3). Na osnovu mikrobiološke analize uzoraka vode zabilježen je porast fekalnih enterokoka na lokalitetima koji se nalaze u donjem toku ispitivanih tekućica što pokazuju visok stepen korelacije sa prisutnošću patogena u vodi.



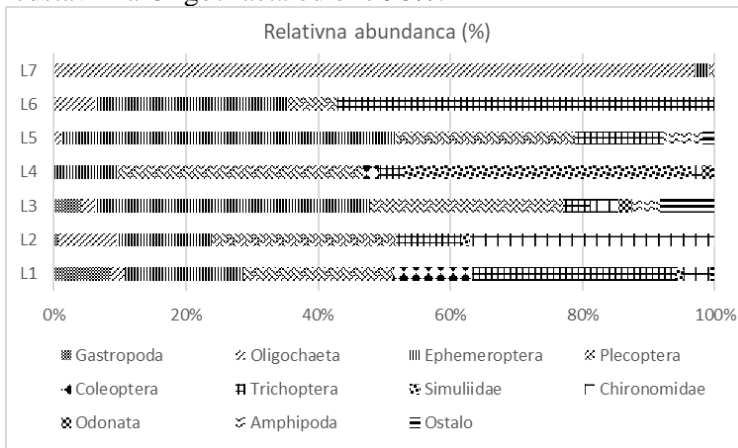
Slika 3. Prikaz broja fekalnih koliformnih, fekalnih enterokoka i ukupnih koliformnih bakterija (cfu/100ml)

Figure 3. Number of fecal coliforms, fecal enterococci and total coliform bacteria (cfu/100ml)

Kako površinske vode nisu prirodno stanište fekalnih enterokoka njihovo prisustvo smatra posljedicom fekalnog zagađenja (SCA, 2015). S obzirom da su ove bakterije visoko tolerantne na različite uslove životne sredine, te manje osjetljive na pojedina dezinfekcijska sredstva, njihova detekcija i prisutnost su indikatori i potencijalne prisutnosti enterovirusa i parazitskih protozoa. U ovom radu je zabilježen porast heterotrofnih bakterija, koliformnih, termotolerantnih koliformnih bakterija i fekalnih enterokoka na longitudinalnim profilima istraživanih rijeka. Na osnovu rezultata rada indikatori fekalnog zagađenja odnosno fekalni koliformi i fekalne enterokoke, pokazali su da se razina i raspodjela fekalnog zagađenja značajno razlikuje u zavisnosti od nadmorske visine, temperature i koncentracije kisika što se može uporediti i sa rezultatima drugih istraživača (Parvanov *et al.*, 2007; White *et al.*, 1991). Rezultati

naših istraživanja se mogu uporediti sa rezultatima Šilović *et al.* (2011) jer potvrđuju da otpadne vode, bogate organskim i anorganskim tvarima uzrokuju promjene u veličini, strukturi, proizvodnji i funkciji autotrofne i heterotrofne mikrobne zajednice. Ispuštanje otpadnih voda značajno utječe na kvalitet voda, te neobrađene ili primarno obrađene otpadne vode obiluju visokim udjelima alohtonih bakterija među kojima prevladavaju patogeni. Unosom patogena u vodenu okolinu, povećava se mogućnost širenja infekcija i bolesti kod ljudi. Autohtona mikrobna zajednica pokazala je heterogenost na osnovu brojnosti i distribucije na istraživanim lokalitetima. Nadalje, rezultati ukupnog broja koliformnih, fekalnih koliformnih bakterija i fekalnih enterokoka pokazali su da se njihova brojnost povećava kako se smanjuje nadmorska visina, koncentracija kisika i temperatura, što ukazuje da dinamika fekalnog zagađenja utječe na mikrobne zajednice u ovim vodenim ekosistemima.

Tokom ovog istraživanja konstatirano je 10 ključnih taksonomskih grupa makrozoobentosa (Sl. 4). Najveće taksonomsko bogatstvo registrirano je u rijekama Drini i Gostović (L1 i L3). Na ostalim lokalitetima nešto je niža raznovrsnost makroinvertebrata iz sastava zoobentosa. Najniži broj taksa zabilježen je u rijeci Vogošći (L7), gdje je prisutno zagađenje iz različitih izvora. Posmatrajući strukturni sastav zajednica makrozoobentosa ustanovljeno je da u rijekama Drini, Gostović i dijelu rijeke Vogošća (L1, L3, L5 i L6) dominiraju predstavnici redova vodenih insekata Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera gdje čine više oko 70% ukupnog sastava. U rijekama koje su opterećene različitim tipovima zagađenja udio ovih taksa opada, a primat preuzimaju predstavnici Oligochaeta i Diptera. Utjecaj zagađenja na sastav zajednica makrozoobentosa najviše je izražen u rijeci Vogošći, gdje su prisutne tri takse s udjelom predstavnika Oligochaeta od oko 98%.

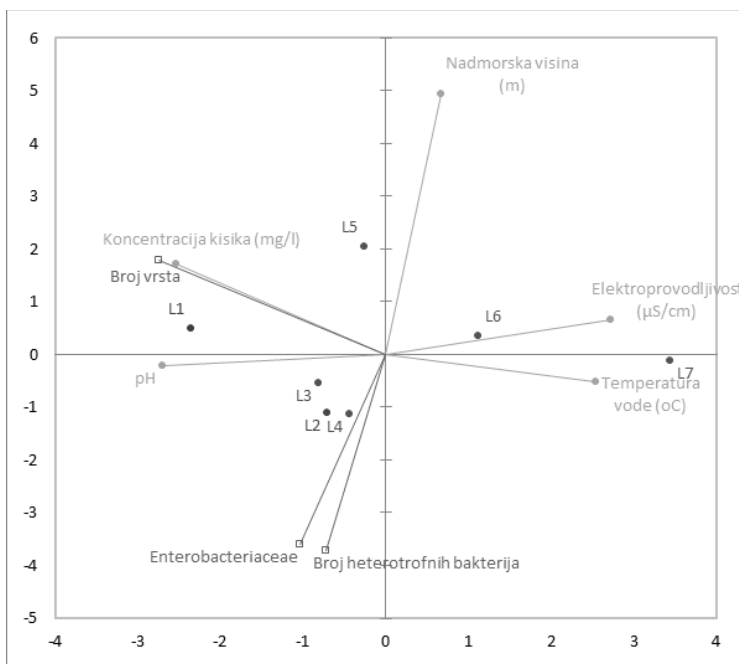


Slika 4. Relativna abundanca (%) većih taksonomskih grupa makroinvertebrata na istraživanim lokalitetima.

Figure 4. Abundance (%) of major taxonomic groups of macroinvertebrates at the investigated sites.

Kvalitet vode i stabilnost staništa riječnog ekosistema u velikoj su mjeri povezani sa strukturom biocenozе. Sastav zajednice beskičmenjaka značajno se razlikovao između jako zagađenih lokacija i relativno čistih dijelova istraživanih rijeka. Prva grupa lokacija imala je veći broj beskičmenjaka, ali manji broj svojti. Ovi rezultati koreliraju s većinom eksperimenta koji su istraživali poremećaje zajednica makrozoobentosa, a koji ukazuju na to da se raznolikost smanjuje s povećanjem stepena zagađenja (McCabe & Gotelli, 2000; Vinson & Hawkins, 1998). Uspoređujući studije iz regija s različitim vrstama antropološkog utjecaja moramo uzeti u obzir da, iako poredimo staništa sa sličnim geološkim i fizičko-hemijskim karakteristikama, zajednice makrozoobentosa koje se tu javljaju mogu imati različite karakteristike (Ricklefs, 2004).

Fizičko-hemijski parametri i biološki podaci analizirani su normaliziranim PCA-om. PCA je provedena na matrici od sedam lokaliteta i osam parametara. Analiza pokazuje relativno jaku korelaciju između nadmorske visine i broja bakterija, koncentracije kisika i broja vrsta unutar zajednice zoobentosa s jedne strane i temperature vode s druge (Sl. 5). U odnosu na ispitivane varijable možemo uočiti grupisanje lokaliteta koji su relativno nezagađeni (L3, L4 i L5).



Slika 5. Analiza glavnih komponenti (PCA) na normalizirane vrijednosti fizičko-hemijskih i bioloških parametara

*Figure 5. Analysis of principal components (PCA) for normalized values of physicochemical and biological parameters*

## ZAKLJUČAK

Rezultati naših istraživanja pokazuju da je korišteni multidisciplinarni pristup primjenjiv za procjenu strukture mikrobnih zajednica i makroinvertebrata u vodenim ekosistemima. U radu je utvrđena korespondencija između fizičko-hemijskih parametara, nadmorske visine, fekalnog zagađenja i strukture zajednica mikroorganizama i makroinvertebrata. Dokazani utjecaji različitih parametara na ispitivane zajednice zahtijevaju i dalja istraživanja jer bi se na taj način proširilo znanje o uzrocima i posljedicama, te odnosima sa drugim ekološkim i antropogenim faktorima u vodenim ekosistemima.

## LITERATURA

- Attrill, M. J., Depledge, M. H. (1997): Community and population indicators of ecosystem health: Targeting links between levels of biological organisation. *Aquat Toxicol* 38, 183–197.
- Chapman, D. (1992): *Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*, WHO, UNEP, Chapman & Hall, London.
- Đug, S., Drešković, N., Trožić-Borovac, S., Mušović, A., Vesnić, A., Trakić, S., Gajević, M., Bešta-Gajević, R., Šljuka, S., Mirić, R., Korjenić, E., Škrijelj, R. (2020): *Biomonitoring akvatičnih ekosistema*. Prirodno-matematički fakultet Univerzitet u Sarajevu.
- Elliot, J. M., Humpresch, U. H., Macan, T. T. (1988): *Larvae of the British Ephemeroptera: a key with ecological notes*. Ambleside, Freshwater Biological Association, Vol. 49; pp. 145.
- Goodall, D. W. (1954): Objective methods in the classification of vegetation. III. An essay on the use of factor analysis. *Aust. J. Bot.* 2: 304–324.
- Jerković-Mujkić, A. (2014): *Biologija bakterija*. Prirodno-matematički fakultet Sarajevo.
- Kapetanović, D., Dragun, Z., Valić, D., Vardić Smrzlić, I., Teskeredžić, Z., Teskeredžić, E. (2012): Određivanje broja heterotrofnih bakterija u jadranskim uzgajalištima primjenom različitih metoda. *Croatian Journal of Fisheries*, 70 (Supplement 1), S29-S37.
- Kriska, G. (2014): *Freshwater Invertebrates in Central Europe: A Field Guide*. Springer-Verlag Wien.
- Kurtović, B., Kapetanović, D., Matašin, Ž. (2007): Usporedba histoloških promjena u organima klena (*Squalius cephalus*) s brojem heterotrofnih i koliformnih bakterija u vodi rijeke Save. *Croatian Journal of Fisheries: Ribarstvo*, Vol. 65 No. 4.
- McCabe, D. J., Gotelli, N. J. (2000): Effects of disturbance frequency, intensity and area on assemblages of stream macroinvertebrates. *Oecologia* 124: 270–279.
- Nagel, P. (1989): *Bildbestimmungsschlüssel der Saprobien: Makrozoobenthon*.
- Parvanov, D., Topalova, Y., Janeva, I. (2007): *Bacterial and Macroinvertebrate Community Structure Analyses in Relation to Chemical Variables of Water and*

- Sediments in the Central Part of Iskar River Basin. *Ecological Engineering and Environmental Protection*, Vol.1, pp. 21-30.
- Pinay, G., Decamps, H., Arles, C., Lacassinseres, M. (1989): Topographic influence on carbon and nitrogen dynamics in riverine woods. *Arch Hydrobiol* 114:401–414
- Ricklefs, R. E. (2004): A comprehensive framework for global patterns in biodiversity. *Ecology Letters* 7:1–15.
- SCA (2015): Standing Committee of Analysts. *Microbiology of Recreational and Environmental Waters (2015) - Part 4 - Methods for the isolation and enumeration of enterococci*.
- Šilović, T., Paliaga, P., Ksenija M. (2011): Utjecaj otpadnih voda na bakterijske zajednice u vodenom stupcu. *Znanstveni susreti 3. vrste*. Zagreb, Hrvatska.
- Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell J. R., Cushing, C. E. (1980): The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 130-137.
- Vinson, M. R., Hawkins, C. P. (1998): Biodiversity of stream insects: variation at the local, basin and regional scales. *Annual Review of Entomology*, 43, 271–293.
- Waringer, J., Graf, W. (2013): Key and bibliografy of the genera of European Trichoptera larvae. *Zootaxa*, Vol. 3640, No. 2; pp. 101-151.
- White, P. A., Kalff, J., Rasmussen, J. B., Gasol, J. M. (1991): The effect of temperature and algal biomass on bacterial production and specific growth rate in freshwater and marine habitats. *Microb. Ecol.* 21: 99-118.

## **BACTERIAL AND MACROINVERTEBRATE COMMUNITY STRUCTURE IN RELATION TO PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS OF WATER IN THREE RIVERS IN BOSNIA AND HERZEGOVINA**

### **Summary**

In this paper, the physicochemical and biological parameters in three rivers of Bosnia and Herzegovina are investigated. The compositions of macrozoobenthos and bacterial communities in the rivers Drina, Gostović and Vogošća were analyzed. Data were obtained by field sampling conducted during the summer period in 2019 and 2020. Results indicate that the most of the physicochemical parameters of water change with the impact of pollution and altitude. The results showed that the structure of macroinvertebrate communities, the number of indigenous or allochthonous bacterial populations in the examined rivers significantly depends on altitude, temperature and oxygen concentration. Patterns of correlation were observed between individual physicochemical parameters of water on the one hand and communities of macroinvertebrates and bacteria on the other.

*Key words: physicochemical characteristics, macroinvertebrates, indigenous and allochthonous bacteria, Bosnia and Herzegovina, community structure.*