

Enhancing Knowledge on Biodiversity and Assessing Ecological Status of
the Lower Catchments of Neretva River in Bosnia and Herzegovina

CRITICAL ECOSYSTEM PARTNERSHIP FUND

Critical Ecosystem Partnership Fund
Conservation International 2011 Crystal Drive
Suite 600 Arlington, VA 22202, USA
Tel: +1-703-341-2400
Fax: +1-866-733-9162
<https://www.cepf.net/>

“The Critical Ecosystem Partnership Fund is a joint initiative of l’Agence Française de Développement, Conservation International, the European Union, the Global Environment Facility, the Government of Japan and the World Bank. A fundamental goal is to ensure civil society is engaged in biodiversity conservation.”



UNIVERZITET
“DŽEMAL BIJEDIĆ”
U MOSTARU

Prof. dr. Lejla Riđanović
Project Manager
Univerzitet „Džemal Bijedić“ u Mostaru
Univerzitetski kampus bb
88104 Mostar, Bosna i Hercegovina
Tel: +387 36 514 217
E-mail: lejla.ridjanovic@unmo.ba www.unmo.ba



AGENCIJA ZA ODRŽIVI RAZVOJ
**ALTUS
MOSTAR**
AGENCY FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

**Lejla Riđanović
Sanel Riđanović
Edis Hodžić
Pavle Spasojević**

**TERMOTOLERANTNI KOLIFORMI I
BENTIČKI MAKROINVERTEBRATI KAO
BIOINDIKATORI KVALITETA
RIJEKE BUNE**

MONOGRAFIJA

Mostar, 2022.

Autori

prof. dr. Lejla Riđanović
prof. dr. Sanel Riđanović
mr. Edis Hodžić
mr. Pavle Spasojević

Recezeni

prof. dr. Avdul Adrović
prof. dr. Rifet Terzić

Izdavač

Agencija za održivi razvoj ALTUS Mostar

Naslovna strana

Autori

Štampa

Kopirnica Igor

Tehnički urednik

Igor Manjgo

Godina izdavanja

2022.

Monografija je dio projekta: „Enhancing Knowledge on Biodiversity and Assessing Ecological Status of the Lower Catchments of Neretva River in Bosnia and Herzegovina“, koji finansira Critical Ecosystem Partnership Fund

CIP - Katalogizacija u publikaciji

Nacionalna i univerzitetska biblioteka Bosne i Hercegovine, Sarajevo

556.113/.114

TERMOTOLERANTNI koliformi i bentički makroinvertebrati kao bioindikator kvaliteta rijeke Bune / Lejla Riđanović ... [et al.]. - Mostar : Agencija za održivi razvoj ALTUS, 2022. - 99 str. : ilustr. ; 25 cm

Bibliografija: str. 92-96.

ISBN 978-9926-8668-0-8

1. Riđanović, Lejla

COBISS.BH-ID 48582918

© 2022 Sva prava pridržana.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Vodeni potencijal BiH.....	3
1.2. Upravljanje vodama u BiH.....	5
1.3. Direktiva Evropskog parlamenta i Savjeta	7
1.4. Smjernice i standardi kvaliteta vode.....	8
1.5. Fizičko-hemijske karakteristike vode	11
1.6. Bioindikatori.....	12
1.6.1. Bentički makroinvertebrati.....	14
1.7. Mikrobiološki pokazatelji kvaliteta vode.....	15
1.7.1. Koliformne bakterije.....	16
1.7.2. Fekalni streptokoki.....	18
2. ISTRAŽIVAČKO PODRUČJE	20
2.1. Ciljevi istraživanja	21
3. MATERIJALI I METODE	24
3.1. Terenski rad.....	24
3.2. Metode uzorkovanja	27
3.3. Laboratorijski rad	29
3.4. Identifikacija makroinvertebrata.....	34
3.5. BMWP indeks – ekološki kvalitet slatkovodnih ekosistema.....	35
4. BIOMONITORING I	37
PROCJENA KVALITETA VODE	37
4.1 Analiza fizičko-hemijskih parametra vode.....	37
4.2 Analiza mikrobioloških parametara vode	55

4.2.1. Odnos fekalnih koliforma i fekalnih streptokoka	60
4.3. Analiza bioloških parametara: zoobentos.....	66
4.3.1. BMWP index	79
6. ZAKLJUČAK.....	95
7. LITERATURA	92
POPIS SLIKA, TABELA I GRAFOVA	97

Predgovor

Sliv rijeke Bune kao mediteranski vodeni ekosistem, s izuzetno bogatim biljnim i životinjskim svijetom, čini i niz prirodnih kraških fenomena, raznolikih i jedinstvenih geomorfoloških karakteristika. Njegov izvor je jedan od najjačih u Evropi sa kapacitetom od 43 m³/s. Ušće čini niz vodopada formirajući sedrene kanale dugačake oko 1200 m. Ovaj ekosistem jedno je od najvećih hidrogeoloških resursa sliva rijeke Neretve. Predstavlja značajnu turističku atrakciju i stanište je brojnim endemskim ugroženim biljnim i životinjskim vrstama. Rijeka Buna je prirodno mrijestilište većine riba donjeg sliva rijeke Neretve. Stanište je bentoskih organizama, posebno makrozoobentosa. Cijeli sliv rijeke Bune, uz ušće u Neretvu, označen je kao područje izuzetno bogato bioresursima, podzemnim i površinskim vodama i atraktivnim pejzažima. Izvor rijeke Bune sa blagajskom tekijom je uvršten na listu svjetske baštine UNESCO-a.

U ovoj monografiji predstavljen je dio istraživanja sprovednih kroz projekat "Unapređenje znanja o biodiverzitetu i procjena ekološkog statusa donjeg sliva rijeke Neretve u Bosni i Hercegovini", koji je finansirao Critical Ecosystem Partnership Fund. Projekat je realizovan kroz saradnju Univerzitet "Džemal Bijedić" u Mostaru i Agencije za održivi razvoj Altus Mostar. Prikupljeni podaci značajno će unaprijediti znanje o mediteranskom biodiverzitetu ovog podneblja.

Procjena kvaliteta vode rijeke Bune je važan segment razumjevanja cjelokupnog stanja ekosistema.

Izvod iz recenzije

U Uvodu rukopisa monografskog djela pod naslovom „Termotolerantni koliformi i bentički makroinvertebrati kao bioindikator kvaliteta rijeke Bune“, autori su dali opći pregled stanja raspoloživih količina vode na planeti Zemlji, s naglaskom na povećane potrebe za pitkom vodom koje dovode u direktnu vezu s brzo rastućom humanom populacijom. Naglašen je i sve veći antropogeni pritisak na raspoložive hidroresurse, zbog čega je neophodna njihova adekvatna zaštita, koja mora biti usaglašena s preporukama Okvirne direktive o vodama. Autori su ukazali na bogatstvo Bosne i Hercegovine vodenim resursima, koji su prirodno distribuirani u dva vodena sliva Crnomorski i Jadranski. Autori su sagledali stanje i probleme upravljanja vodama u pstdejtonskoj Bosni i Hercegovini i sugerisali potrebu primjene evropske legislative. Dali su pregled smjernica i standarda kvaliteta vode kao što su fizičko-hemijske odlike, bioindikator, bentički makroinvertebrati i mikrobiološki pokazatelji.

Poglavlje naslovljeno kao Istraživačko područje sadrži podatke o problemu i predmetu istraživanja i odlikama rijeke Bune, a završava se jasno postavljenim ciljevima. U poglavlju Materijal i metode, autori su prezentirali podatke o načinu i metodama uzorkovanja materijala na terenu. Prezentirali su kratke opise lokacija istraživanja kao i opise primjenjenih metoda u obradi uzoraka u laboratoriju, načinu identifikacije makroinvertebrata i primjeni odgovarajućih bioloških indeksa u ocjeni kvaliteta vode.

Najopsežnije poglavlje Monografije je naslovljeno kao Biomonitoring i procjena kvaliteta vode. U ovom poglavlju su sadržani rezultati jednosezonskih istraživanja kvaliteta istraživanog vodotoka, zasnovani na odabranim fizičko-hemijskim i mikrobiološkim parametarima, te na osnovu kvalitativo-kvantitativnog sastava makroinvertebrata. Od fizičko-hemijskih parametara analizirani su temperatura vode (°C), koncentracija vodikovih iona (pH), električna provodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$), otopljeni kisik (mg/l), zasićeni kisik (%), amonijak (mg/l), nitrati (mg/l) i ukupni fosfor (mg/l). Utvrđeno je da dolazi do laganog povećanja temperature i pH vrijednosti od izvora Bune prema donjem toku, ali i na lokalitetima u Neretvi. Zabilježene vrijednosti elektroprovodljivosti vode u rijeci Buni su veće od onih u Neretvi. Vrijednosti otopljenog kisika u obje tekućice se nizvodno neznatno povećavaju, dok se vrijednosti zasićenog kisika u Buni takođe povećavaju, a u Neretvi su jednake na oba lokaliteta, ali se kreću u granicama I klase vodotoka. Vrijednosti amonijaka u vodi Bune su konstantne, a u Neretvi su veće na prvom u odnosu na drugi lokalitet, ali ne prelaze granicu I klase kvaliteta vodotoka. Ujednačene vrijednosti su karakteristične za nitrate i za ukupni fosfor.

Koncentracija ukupnih koliformnih bakterija je dosta visoka, a na nekim lokalitetima je iznad dozvoljene granice. Najmanja koncentracija ukupnih koliformnih bakterija je izmjerena na izvoru Bune, gdje je I klasa vodotoka, što je donekle očekivano, s obzirom da su uzorci uzeti na samom izvoru rijeke. Na ostalim lokalitetima na rijeci Buni je primjetno povećanje koncentracije ukupnih koliformnih bakterija, što se objašnjava blizinom ugostiteljskih objekata i lokalnog ribnjaka. Nizvodno se povećava količina koliformnih bakterija, pa se mijenja kvalitet vode vode iz I u II klasu. Drugoj klasi vodotoka pripadaju oba lokaliteta na Neretvi. Koncentracija fekalnih streptokoka je zabilježena u relativno malim količinama na gotovo svim lokalitetima na rijeci Buni, a nagli porast njihove koncentracije je utvrđen na lokalitetima na rijeci Neretvi, naročito na lokalitetu Baćevići. Povećanje fekalnih streptokoka u vodi Bune, autori objašnjavaju blizinom ribnjaka.

Makroinvertebrti su uzorkovani na četiri lokaliteta rijeke Bune, na kojima je prikupljeno 2904 jedinke, koje se diferenciraju u bioindikatorske grupe: Gastropoda, Oligochaeta, Turbellaria, Hirudinea, Crustacea i Insecta. Pripadnici Insecta se diferenciraju redove: Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Odonata, Coleoptera i Diptera. Iz klase Gastropoda su evidentirani pripadnici familija: Planorbidae, Neritidae, Bithynidae i Limnaeidae, dok pripadnici Oligochaeta, uzsljed nedostatka elektronskog mikroskopa i valjanih ključeva za detreminaciju, nisu mogle biti detreminisane do nižeg taksonomskog nivoa. Evidentirano je prisustvo Crustacea, koje su predstavljene familijom Gammaridae i vrstom Gammarus balcanicus.

Nakon identifikacije makroinvertebrata, determinirane jedinke su taksonomski razvrstane u 24 familije, a tim familijama su dodjeljeni odgovarajući BMWP bodovi. Zatim je izračunat BMWP indeks, čije vrijednosti su saopštene po lokalcijama istraživanja i iznose: za L1 – izvor 59, L2 – ispod ribnjaka 57, L3 – Bunica102 i L4 – ušće (Bunski kanali) 76.

U Zaključcima Monografije, autori sistematiziraju ključne rezultate do kojih su došli na temelju provedenih terenskih, laboratorijskih i statistički valoriziranih podataka. Kroz zaključke se uočava kontinuitet najbitnijih rezultata praćenih najvažnijim podacima počev od vrijednosti fizičko-hemijskih parametara koji na gotovo svim lokalitetima ukazuju na visok kvalitet vodotoka. Mikrobiološki parametri ukazuju da je gornji tok Bune mikrobiološki opterećen, što je vjerovatno, uzrokovano otpadnim vodama iz ugostiteljskih objekata i iz ribnjaka. Takođe se naglašava bogatstvo zajednica makroinvertebrata, od kojih većina pripada klasi insekata. Najveći broj jedinki evidentiran je na drugom lokalitetu, gdje je registrovano 907 jedinki, dok je najraznovrsniji uzorak ostvaren na trećem lokalitetu, gdje je registrovano 16 taksona.

Vrijednosti BMWP indeksa pokazuju bolji ekološki status srednjeg i donjeg toka rijeke Bune, u odnosu na gornji tok.

Monografija pod naslovom „Termotolerantni koliformni i bentički makroinvertebrati kao bioindikator kvaliteta rijeke Bune“ je napisana konkretno, jasno i precizno, uz uvažavanje aktualne naučne i stručne terminologije i faktografije.

Obogaćena je potrebnim brojem odgovarajućih fotografija i grafičkih prikaza, koje bitno utiču na njen kvalitet i konačan izgled. Ova monografija stoga predstavlja cjelovit i vrlo značajan doprinos poznavanju stanja fizičko-hemijskih parametara, mikrobiološkog statusa i zajednica makrozoobentosa istraživane tekućice. Prezentirani podaci će u značajnoj meri upotpuniti znanja o stanju kvaliteta vode rijeka Bune, a dijelom i rijeke Neretve. Monografija pod gornjim naslovom može biti izuzetno korisna studentima biologije, poljoprivrede, veterine, ali i stručnjacima iz oblasti ihtiologije.

Uvažavajući iznesene činjenice smatram, da je štampanje ovog rukopisa izuzetno korisno i preporučujem izdavaču da ga u cjelosti štampa u priloženoj formi.

Dr sc. Avdul Adrović, redovni prof.

Autori su veoma upečatljivim stilom, napisali knjigu koji je u skladu sa svim dostupnim literaturnim podacima, sa sveobuhvatnim osvrtom na izučavanje akvatičnog ekosistema sliva rijeke Bune. Ovo je prvi primjerak knjige koji daje detaljan i opsežan pregled kvaliteta vode rijeke Bune, koristeći termotolerantne koliforme kao i makrobentos, koji su se pokazali da su jako dobri indikatori kvaliteta vode. U doba naglog tehnološkog i industrijskog razvoja globalno, čovjek je postao glavni zagađivač prirode a naročito rijeka i riječica, što je postalo jedan od problema sa kojim se susrećemo diljem Bosne i Hercegovine. Ovo je prvi primjerak knjige, koja se sa lakoćom može primjeniti u procesu nastave u svrhu dokazivanja i izučavanja ekoloških problema, počevši od onih najjednostavnijih pa sve do najkompleksnijih. Knjiga se može koristiti u nastavnom procesu predmeta: Hidrobiologija, Ekologija životinja, Zoogeografija, Konzervacijska biologija, Životne zajednice vodenih ekosistema, Ekološko-taksonomska diferencijacija odabrane grupe.

Priloženi rukopis je originalno, izvorno naučno djelo koje detaljno i sistematski pokriva cjelokupnu oblast Akvatične ekologije kao i biomonitoringa i analize kvaliteta vode u rijeci Buni. Ovo je prvi primjerak udžbenika koji u potpunosti obuhvata kompletnu problematiku korištenja bioloških metoda za analizu kvaliteta vode. Poglavlja u udžbeniku su koncipirana logičnim redosljedom i uređena u veoma upečatljivom stilu i formi, koji će omogućiti studentima koji koriste isti da savladaju materiju datog udžbenika. Udžbenik je napisan jasno i koncizno, te su i najmanji detalji jako dobro opisani i evidentirani. Ovaj rukopis je jedinstven i urađen je na originalan način i nadam se da će dati inspiraciju i nadahnuće drugim autorima koji odluče da napišu udžbenik iz oblasti Akvatične ekologije.

Kao recezent sa izuzetnim zadovoljstvom preporučujem da se prezentirani rukopis pod naslovom „Termotolerantni koliformi i bentički makroinvertebrati kao bioindikator kvaliteta rijeke Bune“ štampa u obliku i obimu kakav je dat na recenziju.

Dr sc. Rifet Terzić, redovni prof.

1. UVOD

Tri četvrtine površine Zemlje je pokriveno vodom. Zbog neuobičajne strukture molekule vode, ona je prisutna u sva tri agregatna stanja, čvrstom - u formi leda, tečnom - kao voda i gasovitom - kao para. Samo 2,4% od ukupne količine vode je slatka voda, koja se koristi u industriji, za navodnjavanje i za piće. Međutim, najveći dio slatke vode je zarobljen u ledu i glečerima, pa je pitka voda dostupna u veoma malim procentima, a pored toga neravnomjerno je raspoređna.

Problem očuvanja vodenih ekosistema je sastavni dio ukupne problematike zaštite i očuvanja životne sredine. Podzemne vode koje se široko koriste za potrebe vodosnadbijevanja imaju povezanost i otvorenost prema atmosferskim i površinskim vodama, sve češće su podvrgnute nepoželjnim uticajima antropogenih faktora. Opasnosti od zagađenja voda mogu da potiču iz različitih izvora, od otpadnih industrijskih voda, komunalnih voda naselja i gradova, pa do raznih otpadnih voda i materija, koje se mogu naći u površinskim vodama (Počuča, 2008). Pitka voda, sanitacija i dobra higijena su osnovi za zdravlje, opstanak, rast i razvoj svih živih organizama. Međutim, ove osnovne potrebe su i dalje luksuz za mnoge ljude na svijetu. Više od 1,1 milijardu ljudi ne koristi čistu vodu za piće, dok 2,6 milijarde nemaju

osnovne sanitarije. Pristup pitkoj, čistoj vodi je osnovni preduslov za smanjenje smrtonosnih, zaraznih bolesti (WHO/UNICEF, 2005).

Ubrzani i veliki porast stanovništva na Zemlji, a samim tim i njihove potrebe za vodom, odlučujući je faktor borbe za očuvanje voda. Pitka voda je neophodna za ljudski život, zdravlje i ukupnu dobrobit tj. za smanjenje siromaštva i gladi. Ujedinjene Nacije su razdoblje od 2005. do 2015. godine proglasili Međunarodnom decenijom vode. Sve države koje misle i vode brigu o svom stanovništvu moraju prilagoditi zakonodavstvo smjernicama EU u smislu zaštite čovjekove okoline, a posebno vode (Počuča, 2008).

Zaštita voda ima široku i kompleksnu problematiku, kao i uglavnom interdisciplinarni karakter u postavljanju i rješavanju konkretnih zadataka. Ne može se striktno ostati u granicama jedne naučne discipline, već se zalazi u domen raznih graničnih disciplina odnosno specijalnosti. Tako se danas skoro sva proučavanja i istraživanja o zagađenosti voda ili analiza zagađenosti vrše kroz multidisciplinarni rad i planiraju djelatnosti koje se tiču životne sredine (Počuča, 2008). U zemljama EU, Direktivom o vodama (2000/60/EU), uspostavljen je okvir za ponašanje i akcije na polju politike voda, a što prihvataju i zemlje izvan Unije. Ova Direktiva daje integraciju zaštite i održivog upravljanja vodama u svim oblastima ljudskog djelovanja. Ona pruža zajedničke osnove u cilju unapređenja zaštite voda po pitanju kvaliteta i kvantiteta, promoviše održivo korištenje voda kontrolom preko graničnih vodotoka, zaštitu akvatičnih ekosistema, te

unapređenje upotrebe ispuštanja zagađenih voda kod potencijalnih korisnika voda. Direktiva o vodama uvažava i dobru praksu nacionalnih planova, a zahtjeva da se za sve slivove sačine planovi upravljanja prema sadržaju i zahtjevu iz Direktive. Također, pitanje načina organizovanja u okviru organizacija kompanija i države bitno se mora definisati, kako bi se obazbijedio ekosistemski pristup upravljanja projektima i vodenim resursima.

1.1. Vodeni potencijal BiH

Za Bosnu i Hercegovinu kao zemlju izuzetno bogatu vodenim resursima od velikog značaja je očuvanje kvaliteta vode u rijekama, koje se sve intenzivnije koriste, kako u sportsko-rekreativne, tako i turističke, pa i u ekonomske svrhe (Riđanović i Riđanović, 2016). Vodeno bogatstvo može se zahvaliti geografskom položaju, povoljnim geografskim uslovima, uticaju planinskih vjenaca, te prisustvu kraških polja, kao vrlo interesantnog i osobenog prirodnog fenomena. Rezervoari pitke vode predstavljeni su obično glacijalnim jezerima i planinskim rijekama. Vode prioblnog pojasa Jadranskog mora su izrazito velikog kvaliteta što potvrđuje prisustvo raznih indikatora, a česta su i termalna vrela koja su uglavnom izvan bilo kakve upotrebe, a predstavljaju značajan resurs (Zekić, 2010). Međutim, rijeke Bosne i Hercegovine su u velikoj mjeri izložene raznim izvorima zagađenja zbog nepravilnog tretiranja otpadnih voda iz naselja i industrije. Iako

veliko bogatstvo i veliki energetski potencijal, ove rijeke su svakodnevno izložene lošim uticajima. Samo se za izvorišne dionice pojedinih rijeka može tvrditi da su dobrog kvaliteta vode, dok se za dijelove toka koji prolaze kroz urbane dijelove gotovo sigurno može tvrditi postojanje ozbiljnog stepena zagađenja.

Slatke vode Bosne i Hercegovine pripadaju jadranskom i crnomorskom slivu. Jadranskom slivu pripada manja površina teritorije, sliv rijeke Neretve na teritoriji BiH (zjednom sa slivom Trebišnjice 10 110 km²), sliv Trebišnjice i sliv rijeke Cetine u BiH (2300 km²). Crnomorskom slivu pripadaju, neposredni sliv rijeke Save (5506 km²), sliv rijeke Une (9130 km²), Vrbasa (6386 km²), rijeke Bosne (10 457 km²), i Drine (7240 km²). Većina slivova u BiH ima prekogranični karakter (Una, Drina, Sava, Neretva, Trebišnjica, Cetina). Čitavom svojom površinom teritoriji BiH pripadaju Vrbas i Bosna.

Prosječni obnovljivi resursi u BiH, izraženi prosječnim oticanjem površinskih voda, iznose 1155 m³/s. S obzirom na vodene potencijale, prostorna i vremenska raspodjela ovih voda je neravnomjerna. Dakle, u slivno područje Dunava (76% teritorije BiH) otiče 62,5% ukupne količine vode sa područja BiH, a preostala količina vode otiče u pravcu Jadranskog mora (Vučijak *et al.*, 2011). Paralelno s tim, najveće vrijednosti prosječnih godišnjih padavina, na području BiH, su upravo na jugoistoku zemlje, na teritoriji Jadranskog sliva, i iznose 1500 – 2000 mm, dok na sjevernoj teritoriji države prosječna vrijednost padavina iznosi 700 mm godišnje.

Situacija je značajno drugačija ukoliko posmatramo raspoloživost vodenih resursa po stanovniku. Najveća količina raspoložive vode nalazi se u slivu Neretve i Trebišnjice, a najugroženiji je sliv rijeke Bosne, iako on zauzima 20,4% teritorije BiH. Stepenn raspoloživosti vode se može smatrati još nepovoljnijim ukoliko posmatramo sezonsku i vremensku varijabilnost raspoloživih vodenih resursa. Tokom sušnih godina u BiH raspoložive količine vode su značajno manje u odnosu na godine u kojima vladaju prosječni uslovi (Vučijak *et al.*, 2011). Generalno, u prosječnoj hidrološkoj godini vremenska i prostorna raspodjela padavina je neravnomjerna, čak 70% padavina padne u toku zimskog perioda. S obzirom na geografski položaj i klimatske uslove BiH, zime su kišovite, a ljeta sušna. Međutim, tokom zadnjih godina klimatski uslovi se značajno mijenjaju, što uzročiće afektira klimu pa i stanje vodenih resursa.

1.2. Upravljanje vodama u BiH

Upravljanje vodama treba da obezbijedi dovoljne količine vode odgovarajućih kvaliteta za različite namjene, kao i zaštitu voda od zagađenja, uređenje vodotoka i zaštite od štetnog djelovanja voda. Upravljanje vodama je i izrada planova kao i njena kontrola i način primjene. To je u osnovi multidisciplinarno djelovanje zasnovano na integralnom ekomenadžmentu, na kojem je obaveza da kroz svoje aktivnosti obezbijedi potrebne količine vode za korištenje i zaštitu vode

i zaštitu od voda. U segmentu planiranja treba da se uspostavi uravnotežen odnos pojedinih segmenata - korisnika i cjeline društva - države, gdje se uključuju svi, i prije svega naučne i stručne organizacije i tijela. Kod upravljanja vodama posebno je važna ta saradnja zbog toga što su kod planiranja u oblasti voda u pitanju prirodne cjeline (Počuča, 2008).

U skladu sa propisima Dejtonskog mirovnog sporazuma, upravljanje okolišem je odgovornost entiteta. Prema važećem Zakonu o vodama FBiH, upravljanje vodama u kantonima, kojih je ukupno 10, vrše kantonalna ministarstva za poljoprivredu, vodoprivredu i šumarstvo, a na nivou lokalnih zajednica vodama upravljaju opštinske službe za stambeno-komunalnu ili prostorno-plansku djelatnost.

U FBiH postoji Uredba o kategorizaciji vodotoka, Sl. novine FBiH, broj 18/98, kojom je preuzeta stara Uredba, Sl. list SR BiH, broj 42/67. Ovom Uredbom svim vodotocima je propisana određena kategorija vodotoka tj., za svaku kategoriju vodotoka određena je klasa vode, a za klase vode postoji MDK (maksimalno dozvoljene koncentracije) patogena. U FBiH ne postoji zakon koji tretira problematiku MDK otpadnih voda, iako postoji MDK vrijednosti za pojedine klase vodotoka, tako da se prilikom analize otpadne vode, mora uzeti u obzir količina otpadne vode i vodostaj rijeke da bi se izračunala „prijemna moć vodotoka“. U FBiH se otpadne vode industrije analiziraju u okviru zahtjeva za utvrđivanje tereta zagađivanja izraženog preko ekvivalentnog broja stanovnika, EBS-a.

Vlada FBiH je u decembru 2013. godine donijela odluku o kategorizaciji podzemnih i površinskih voda referentnim uslovima i parametrima za ocjenu stanja voda i monitoringu voda.

1.3. Direktiva Evropskog parlamenta i Savjeta

Direktiva 2000/60/EC Evropskog parlamenta i Savjeta od 23.10.2000. godine kojom se uspostavlja okvir djelovanja Evropske zajednice na polju politike vode. Direktiva o vodama, zamišljena je kao osnovni pravni instrument koji treba da spriječi dalje pogoršanje, te pomogne u zaštiti i poboljšanju ekosistema. Direktiva podrazumjeva mjere za smanjenje ispuštanja, rasipanja i emisije opasnih materija u cilju obezbjeđenja smanjenja zagađenja podzemnih voda, te racionalno upravljanje svih vidova površinskih voda. Odnosno, Direktiva o vodama posmatra ukupnu hidrološku cjelinu na zemlji i traži od država članica da uvedu optimalne upravljačke i administrativne mehanizme u smislu održivog razvoja. Direktiva daje i specifične mjere o kontroli i zagađenju, te kriterijumima i trendovima o kvalitetu vode. U sprovođenju Direktive utvrđen je Regulatorni komitet koji se sastoji od predstavnika zemalja članica kao i Komisija, koji mogu donositi mjere i usaglašavanja, te podnosti mišljenja, rješenje, prijedloge Evropskom parlamentu. Uz Direktive date su tabele i aneksi koji dopunjavaju i razrađuju Deklaraciju.

Direktivu će biti moguće sprovesti i primjeniti promjenom našeg ponašanja, striktnim sprovođenjem postojećih propisa iz zaštite životne sredine uopšte, posebno zaštite voda, a kaznena politika mora biti efikasna, odgovarajuća i primjenjiva bez izuzetaka.

1.4. Smjernice i standardi kvaliteta vode

Kvalitet vode neophodne za ljudske potrebe varira, kao i kriteriji koji se koriste za procjenu kvaliteta vode. Najviši standardi čistoće potrebni su za vodu koja se koristi za piće, dok je prihvatljivo da voda koja se koristi za neke industrijske procese bude slabijeg kvaliteta. Kvalitet vode potreban da održi zdravlje ekosistema je većim dijelom proizvod prirodnih okolišnih faktora i uslova. Neki vodeni ekosistemi mogu odoliti velikim promjenama u kvalitetu vode bez ikakvih očiglednih i prepoznatljivih efekata na sastav i djelovanje staništa, dok su drugi ekosistemi osjetljivi i na male promjene ekoloških faktora, te može doći do degradacije održivosti staništa i gubitka biloške raznolikosti. Degradacija fizičke i hemijske kvalitete vode kao posljedica ljudske aktivnosti je često postepena i suptilne adaptacije akvatičnih ekosistema ovim promjenama se ne mogu uvijek lako uočiti, dok ne dođe do dramatičnih promjena stanja ekosistema (Riđanović i Riđanović, 2016).

U pravilu, kvalitet vode se određuje uporedbom fizičkih, hemijskih i bioloških karakteristika uzoraka vode sa standardnim

vrijednostima i smjernicama kvaliteta vode. Smjernice i standardne vrijednosti kvaliteta vode za piće su postavljene da bi se omogućilo snadbjevanje čistom i bezbjednom vodom za ljudsku konzumaciju čime se štiti zdravlje ljudi. Uglavnom su bazirani na naučno određenim prihvatljivim razinama toksičnosti ljudima ili akvatičnim organizmima. Smjernice za zaštitu akvatičnog života je teško odrediti uglavnom zato što akvatični ekosistemi enormno variraju u sastavu i prostorno i vremenski i zato što se granice ekosistema rijetko podudaraju sa teritorijalnim. Postoji inicijativa među naučnim i regulatornim istraživačkim krugovima da se identifikuju prirodni okolišni uslovi za hemikalije koje nisu toksične za ljude i životinje i da se one koriste kao smjernice za zaštitu akvakulture (Robertson *et al.*, 2006; Dodds i Oakes, 2004; Wickham *et al.*, 2005). Druge smjernice kao one kreirane da se osigura adekvatan kvalitet vode za rekreacione, agrokulturne ili industrijske djelatnosti, postavljaju granice za fizičke, hemijske i biološke sastojke vode koji su potrebni da bi se različite aktivnosti bezbjedno sprovele. Prema Tedeschi (1997), površinske vode su svrstane u četiri klase prema sljedećim osnovnim pokazateljima kvaliteta (Tabela 1).

Tabela 1. Pokazatelji kvaliteta vode i pripadajuće klase vodotoka

Parametri	Klasa vodotoka			
	I	II	III	IV
Otopljeni ksik (mg O ₂ /l)	8	6	4	3
Zasićenost kisikom (%)	90-105	75-90	50-75	30-50
Supersaturacija kisikom	-	105-115	115-125	125-130
BPK ₅ (mg O ₂ /l)	2	4	7	20
Potrošnja KMnO ₄ (mg/l)	10	12	20	40
Suspendovane tvari (mg/l)	10	30	80	100
Suhi ostatak filtrirane vode (mg/l)	350	1000	1500	1500
pH	6,8-8,5	6,8-8,5	5/6-9	5/6-9
Vidljiva otpadna tvar	bez	Bez	Bez	Bez
Primjetna boja	bez	Bez	Bez	Bez
Miris	-	-	-	-
Broj ukupnih koliformnih bakterija u 1L vode	500	5000	500 000	>10 ⁶
Broj fekalnih koliformnih bakterija u 1L vode	200	2000	20 000	>200 000

Tabela 2. Ostali fizičko-hemijski parametri kvaliteta i pripadajuće klase vodotoka

Parametri	Klasa vodotoka	
	I	II
Elektroprovodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	500	600
Ukupna tvrdoća (mg/l CaCO_3)	-	-
Ukupni alkalitet (mg/l CaCO_3)	200	100
HCO_3^- (mg/l)	-	-
Hloridi (Cl^-) (mg/l)	>200	<200
Sulfati (SO_4^{2-}) (mg/l)	>200	<200
Kalcijum (Ca^{2+}) (mg/l)	100-250	100-250
Magnezijum (Mg^{2+}) (mg/l)	30-150	30-150
Amonijak (N-NH_3) (mg/l)	0,10	0,30
Nitriti (N-NO_2) (mg/l)	0,01	0,05
Nitrati (N-NO_3) (mg/l)	0,5	1,0
Ukupni fosfor (P mg/l)	0,1	0,3

1.5. Fizičko-hemijske karakteristike vode

Fizičko-hemijske karakteristike vode, kao sklop abiotičkih ekoloških faktora životne sredine, su od presudnog značaja za rast populacija biljnih i životinjskih organizama u vodenim ekosistemima, a određuju i kvalitet i mogućnost upotrebe vode. Promjenom pojedinih parametara, mijenjaju se životni uslovi, što ima ekološki značaj za vodene organizme (Jukić, 2006). Svi abiotički faktori nisu jednako važni za život biljnog i životinjskog svijeta. Kao glavni parametri kvaliteta

navode se temperatura vode, otopljeni kisik, zasićenost kisikom, pH, vodostaj, tvrdoća vode kao i prisutnost otopljenih soli (hloridi, sulfati). Hemijske supstance u vodi mogu biti prirodnog porijekla ili posljedica zagađenja vode. Od ostalih parametara kvaliteta izdvajaju se kao najznačajniji, azotni spojevi-amonijak, nitriti i nitrati. Od štetnih tvari naročito se izdvajaju metali i metaloidi koji su rezultat industrijskog onečićenja, pesticidi kao rezultat upotrebe različitih sredstava za zaštitu u poljoprivrednoj proizvodnji, a tu su i deterdženti, mineralna ulja, fenoli i drugi (Patnaik *et al.*, 2000).

1.6. Bioindikatori

Biološke procjene stanja vodenih ekosistema temelje se na međusobnim uticajima životnih zajednica i staništa, odnosno promjenama u ekosistemima, koje nastaju kao posljedica izmjenjenih abiotičkih faktora. Biološke procjene postaju sve važnije, pod složenim okolnostima ispuštanja otpadnih tvari u rijeke. Kako se koncentracija otpadnih tvari u prirodnim vodama stalno mijenja, a naročito vodotocima, to stanje kvaliteta vode na pojedinim mjestima ovisi o vremenu i načinu uzimanja uzoraka (Riđanović i Riđanović, 2016). Promjenjene prilike staništa imat će utjecaj na organizme ekosistema i to tako da će se smanjiti ili nestati vrste organizama koje su osjetljive na određene promjene abiotičkih faktora, a razvijat će se vrste otpornije na promjene. Biološkim istraživanjima utvrđuje se uticaj promjena u

vodenom sistemu, nastalih na prostoru istraživanja u vremenu između dva razdoblja (Jukić, 2006). Prednost bioloških pokazatelja u odnosu na mjerne instrumente je ta da se njima prati sinergijsko dejstvo više polutanata, umjesto da se mjeri koncentracija svakog polutanta pojedinačno.

Organizmi, populacije i zajednice sastavljene od različitih vrsta čine biološki diverzitet akvatičnog staništa. Virusi, bakterije, protisti i gljivice, kao i višćelijski organizmi (vaskularne biljke, vodeni invertebrati, ribe i vodene biljke i zajednice organizama koji žive u ili blizu akvatičnog ekosistema) igraju vitalnu ulogu u regulaciji biogeohemijskih strujanja u njihovom okruženju, a istovremeno su podložni uticajima istih biogeohemijskih strujanja. Vodeni organizmi, koji se smatraju „inženjerima“ vodenih ekosistema, ne samo da reaguju na fizičke i hemijske promjene u svom staništu, nego mogu i podsticati te promjene i imaju važne uloge u pročišćavanju i detoksifikaciji svog staništa (Ostroumov, 2005). Gubitak osjetljivih vrsta može imati višestruke efekte na druge rezistentne organizme, što može dovesti do katastrofalnih promjena i smjena u sastavu vodenih zajednica i funkcija koje one obavljaju. Kao takav, cjelokupni diverzitet bioloških zajednica omogućava mnogim ekosistemskim procesima da funkcionišu normalno u stabilnom stanju. Gubitak diverziteta može dovesti do smanjenja funkcionalnosti ekosistema kao i do potpune smjene ekosistema u alaternativna stabilna stanja (Ostroumov, 2005; Scheffer *et al.*, 2001).

1.6.1. Bentički makroinvertebrati

Akvatički invertebrati su potrošači koji se, prvenstveno, hrane bakterijama, algama i dentritičnim mineralima koji se ili proizvode unutar ili utiču iz okolnih slivova. Zooplankoton je zajednica invertebrata suspendovanih u vodenom stubu, dok dno nastanjuju bentički makroinvertebrati. Invertebrati imaju sposobnost kontrolisanja brojnosti algi kroz ishranu, i važan su izvor hrane za organizme u višim trofičkim slojevima, kao što su ribe i grabežljivi invertebrati.

Bentički beskičmenjaci predstavljaju akvatične organizme koji barem jedan dio svog životnog ciklusa provode na dnu vodenih staništa. U zavisnosti od veličine tijela, dijele se na mikrozoobentos, čija je veličina tijela manja od 62 μm , mezozoobentos, čije su dimenzije tijela u rasponu od 62 μm do 0,5 mm, i makrozoobentos, tj. akvatične beskičmenjake vidljive golim okom veličine tijela veće od 0,5 mm (Simić i Simić, 2009).

Akvatični beskičmenjaci različito reaguju na promjene abiotičkih i biotičkih faktora okruženja. Različita osetljivost na sredinske pritiske čini veliki broj vrsta dobrim pokazateljima stanja akvatičnih ekosistema (Mandeville, 2002), a sastav i struktura zajednica jasno ukazuju na fazu razvoja, odnosno na stepen trofije ekosistema. Invertebrati su dobri indikatori lokalnih uslova zato što mnogi od njih imaju ograničen režim migracije ili su nepokretni, i kao takvi, korisni su za ispitivanje

lokalizovanih uticaja. Individualne vrste invertebrata različito reaguju na promjene u okolišu. Promjene u staništu će se ogledati u promjenama u sastavu vrsta prostorno i vremenski. Prema tome, sastav vrsta se može koristiti da pomogne procjeni degradacije okoliša koje proizilaze iz jednostrukog ili višestrukih izvora (Barbour *et al.*, 1999).

Primjena makrozoobentosa u svrhu biomonitoringa je proces koji zahtijeva vrijeme i ekspertizu. U posljednje vrijeme iz grupe makrinvertebrata se izdvajaju tri reda insekata (Ephemeroptera Plecoptera i Trichoptera) i koriste u metodama biološke procjene kvaliteta vode kao metrička osobina EPT indeksa, koja na pouzdan način razdvaja zagađene od čistih lokaliteta. Naime, većina vrsta iz ove tri grupe je osjetljiva na organsko zagađenje što ih čini dobrim i pouzdanim indikatorima kvaliteta vode. Zbog toga ukupan broj vrsta zabilježenih u uzorku opada kako se kvalitet životne sredine pogoršava. Također jednostavna identifikacija ovih grupa olakšava primjenu EPT indeksa.

1.7. Mikrobiološki pokazatelji kvaliteta vode

Monitoring mikroba u površinskim i podzemnim vodama se koristi za otkrivanje prisustva patogenih organizama. Postoji više širih kategorija mikroba uključujući bakterije, protozoe, parazitske crve, gljivice i viruse. Organizmi koji se najčešće koriste za mikrobiološki monitoring su fekalni indikatori: organizmi koji inciriraju prisustvo

fekalne kontaminacije ljudskog ili životinjskog porijekla. Testovi koji se koriste za indikaciju prisustva patogenih organizama između ostalih uključuju testiranje na ukupne koliforme, fekalne koliforme ili *Escherichia coli* specifično (Ashbolt *et al.*, 2001).

Kako je većina mikrobnih patogena prisutnih u prirodnim i patogenim vodama fekalnog porijekla, otkrivanje fekalne kontaminacije vode je glavni cilj testiranja vode. Kao bakterijski indikatori fekalne kontaminacije odabrane su one vrste koje se kao normalna mikroflora nalaze gotovo isključivo ili pretežno u ljudskim fekalijama, a ima ih toliko da se lako mogu dokazati i u velikim razrijeđenjima. Među takve ubrajamo koliformne bakterije, fekalne streptokoke, sulfireducirajuće bakterije, vrste iz roda *Salmonella* i vrste iz roda *Proteus*. One mogu dugo proživjeti u okolišu i tako omogućuju pouzdanu indikaciju fekalne kontaminacije još dugo nakon što su izbačene iz probavnog trakta (Morisson, *et al.*, 2001).

1.7.1. Koliformne bakterije

Najčešći ljudski patogeni, koliformne bakterije, se nalaze u gastrointestinalnom traktu toplokrvnih životinja. Historijski, koliformni organizmi, naročito *Escherichia coli*, su se koristili kao pokazatelji fekalne kontaminacije vode i hrane (APHA, 1989). Moderna ekološka mikrobiologija koliformne mikroorganizme dijeli na skupinu „ukupnih koliforma“ i „fekalnih (termotolerantnih) koliforma“. U

ukupne kolifome spadaju sve Gram negativne, aerobne i fakultativno anaerobne, štapićaste, nesporogene bakterije, koje fermentiraju laktozu sa proizvodnjom gasa i kiseline na 35°C kroz 48 h, kao što su pripadnici porodice Enterobacteriaceae. Viša temperatura (Eijkmanov test) upotrebljava se za odvajanje ukupnih koliforma od fekalnih koliforma. Fekalni koliformi su aerobni i fakultativno anerobni, Gram negativni, nesoprogeni štapići koji fermentiraju laktozu na selektivnoj EC – podlozi pri 45,5° C kroz 48 h (Bitton, 2005). Skupina fekalnih koliforma je ograničena na mikroorganizme koji rastu u gastrointestinalnom traktu ljudi i drugih toplokrvnih životinja, uključujući članove najmanje tri reda: *Escherichia*, *Klebsiela* i *Enterobacter*. Usljed mogućnosti kultivisanja na povišenim temperaturama nazvane su termotolerantni koliformi (TTC) i postale su glavni pokazatelj mikrobiološkog stanja vode (Riđanović i Riđanović, 2016).

Druga zajednička karakteristika svih koliforma je prisustvo konstitutivne β – galaktosidaze i negativne reakcije citohrom oksidaze. Ova grupa je široko rasprostranjena u prirodi. Neki pripadnici ove porodice su saprofiti premda su asocirani sa probavnim traktom toplokrvnih životinja. *Escherichia coli* je glavni termotolerantni koliform (97%) iz porodice Enterobacteriaceae. Koliformi su odabrani kao indikatori kvaliteta vode, jer su prisutni i preživljavaju duže u septičkim vodama nego drugi patogeni. *E. coli* je izabrana kao indikator fekalne kontaminacije vodenih resursa, jer je jedini termotolerantni fekalni koliform koji je isključivo fekalnog porijekla i ne reproducira se

van svog prirodnog staništa – intestinalnog trakta ljudi i životinja, dok drugi koliformi mogu biti prisutni u svježim fekalijama i imaju moć preživljavanja i rasta van ljudskog ili životinjskog probavnog trakta (Prescott *et al.*, 2002).

1.7.2. Fekalni streptokoki

Fekalni streptokoki ili enterokoki su Gram-pozitivni, eliptično izduženi koki, raspoređeni u parove i kratke lance. Posjeduju grupno specifični polisaharid i spadaju u Lancefield-ovu grupu D. Na krvnom agaru ne stvaraju zone hemolize, te ih nazivamo nehemolitički streptokoki ili g-streptokoki. Ovu grupu čine bakterije roda *Enterococcus* sa ukupno 16 vrsta (*E. faecalis*, *E. faecium*, *E. avium*, *E. hirae*, *E. galinarium*) (Nola, *et al.*, 2003).

Široko su rasprostranjeni u okolišu, nalaze se u fekalijama kičmenjaka. Ponekad mogu uzrokovati piogene (gnojne) infekcije. Fekalni streptokoki ili enterokoki su najpodobnija grupa bakterija za vrednovanje higijenske kvalitete vode. Broj fekalnih streptokoka visoko korelira s prisutnošću patogenih bakterija (npr. *Campylobacter*, *Listeria*, *Salmonella*, *Yersinia*), fekalnih i ukupnih koliformnih bakterija i enterovirusa. Jedina negativna strana ove indikatorske grupe bakterija je da se zbog ugibanja ne mogu dokazati u okolišu temperature iznad 55°C. Rast popratnih Gram-negativnih bakterija u uzorku inhibiran je Na-azidom u podlozi, dok fekalni streptokoki nesmetano rastu u

njegovom prisustvu. Fekalni streptokoki reduciraju 2,3,5-trifeniltetrazolijev hlorid (TTC) u podlozi do crvenog spoja formazana, te su njihove kolonije stoga crveno obojene (Merck, 2002).

2. ISTRAŽIVAČKO PODRUČJE

Predmet ovog istraživanja je ispitivanje kvaliteta vode rijeke Bune na osnovu fizičko-hemijskih, mikrobioloških i bioloških parametra. Buna je lijeva pritoka Neretve, u koju se ulijeva oko 15 km nizvodno od Mostara, u mjestu Buna. Samo ušće nalazi se na lokalitetu Bunskih kanala. Duga je 9 km, a ima dvije pritoke Posrt i Bunicu. Posrt je nestalna pritoka jer postoji samo zimi, a Bunica je stalna pritoka i u Bunu se ulijeva sjeverno od mjesta Buna.

Vrelo Bune se nalazi 15 km jugoistočno od Mostara u mjestu Blagaj. Rijeka Buna izvire ispod stijena visokih više stotina metara. Nastaje od kraškog vrela, koje se nalazi ispod strmog vapnenačkog odsjeka prostora Rudine i od vrela ispod krečnjačkog odsjeka u Blagaju. Kapacitet vrela je 43 kubika vode u sekundi, te je jedno od najjačih kraških vrela u Evropi. Prije samog izvora, Buna pod zemljom protiče 19,5 km. Najviši vodostaji su u decembru i januaru, a najniži u avgustu i septembru. Vrelo Bune je zaštićeni rezervat prirodnih predjela i geomorfološki fenomen. Uz samo vrelo nalazi se derviška tekija.

Na Buni se nalaze mrijestilište i uzgajalište pastrmke, bogata je mekusnom pastrmkom, a u donjem toku i jeguljom. Ovo područje je

poznato i po raznolikosti flore i brojnim endemskim vrstama. Na nižim nadmorskim visinama postoji mnogo zimzelenih biljnih i listopadnih vrsta, dok na većim nadmorskim visinama u brdima postoji rijetka šuma. Plodno obradivo zemljište je pogodno za poljoprivredu tipičnu za mediteransku klimu, naročito, voće, povrće i vinovu lozu.



Slika 1. Izvor Bune (photo E. Hodžić)

2.1. Ciljevi istraživanja

U ovom radu će biti opisano područje istraživanja, uz analize fizičko-hemijskih, mikrobioloških i bioloških parametara, a sve sa ciljem boljeg razumjevanja kvaliteta vode rijeke Bune. Kvalitet vode

slatkovodnih ekosistema predstavlja kategoriju ocjene boniteta i ukupnog produktiviteta sinergiji sa abiotičkim faktorima. Da bi se iznio konačni ili globalni presjek sveopćeg stanja vodotoka neophodna je analiza stanja navedenih parametara zajedno sa orografskim faktorima. Imajući u vidu nemjerljiv značaj rijeke Bune, kako sa biološkog tako i sa ekonomskog aspekta, neophodno je programom biomonitoringa procijeniti trenutno stanje kvaliteta vode, te ispitati uticaj komunalnih otpadnih voda na odabrane parametre kvaliteta. Također, cilj je utvrditi kvalitativno-kvantitativni sastav bentičkih makroinvertebrata, kao bioindikatora kvaliteta vode.

Kvalitet prirodnih voda postaje jedan od ograničavajućih faktora njihove upotrebe i održavanja prirodne ravnoteže životne sredine. U prirodnim vodama nalaze se raspršene i otopljene tvari, što je posljedica sukcesija ekosistema, a naročito antropogenih uticaja na vodu (industrija, poljoprivredne djelatnosti, gradski i tehnološki otpad, komunalne i industrijske otpadne vode i sl.). Očekuje se da vodostaj rijeke Bune prema fizičko-hemijskim, mikrobiološkim i biološkim parametrima bude ugrožen uljevima otpadnih voda zbog snažnog antropogenog uticaja.

S obzirom na prisustvo mnogobrojnih ugostiteljskih objekta u blizini ili na samom vodotoku rijeke Bune očekuje se prisustvo koliformnih bakterija u uzorcima, a proporcionalno s tim smanjenje broja makroinvertebrata. Makroinvertebrati su osjetljivi na organska zagađenja što ih čini pouzdanim indikatorima kvaliteta vode. Iz

navedenih razloga njihov broj u uzorku se smanjuje kako se kvalitet vode pogoršava.

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Terenski rad

Terenski rad je najvažniji segment ovog projekta, zbog čega treba dobro poznavati istraživačko područje, u ovom slučaju vodotok rijeke Bune. U okviru preliminarnih istraživanja i na osnovu uvida u vodotok rijeke Bune kao i pristupačnost terena, određeni su pristupni lokaliteti. Odabir lokaliteta je jako zahtjevan posao, jer treba odabrati one lokacije koje će nam kasnije u rezultatima predstaviti najrealnije stanje vodotoka. S obzirom na dužinu rijeke Bune od 9 km, od izvora do ušća u rijeku Neretvu, odabrano je ukupno šest lokaliteta. Na vodotoku rijeke Bune određena su četiri lokaliteta (L1 - L4), dok su preostala dva lokaliteta (L5 i L6) na rijeci Neretvi (Slika 2.).



Slika 2 &3. Područje istraživanja

Prvi referentni lokalitet se nalazi na samom izvoru rijeke Bune. Na ovom području nalazi se mnoštvo ugostiteljskih objekata, što je jedan od razloga ispitivanja kvaliteta vode na ovom lokalitetu. Drugi lokalitet nalazi se nekoliko stotina metara nizvodno od ribnjaka „Laks“. Odabirom ovog lokaliteta želi se utvrditi koliko je vodotok na ovom području opterećan zbog blizine ribnjaka. Treći lokalitet nalazi se na području rekreacijskog centra Bunica. Ovaj lokalitet tokom ljetnih mjeseci je prepun kupača, pa se ovim istraživanjem želi utvrditi prvenstveno mikrobiološki kvalitet vodotoka. Četvrti lokalitet nalazi se na samom ušću rijeke Bune u Neretvu, na području Bunskih kanala. Ovaj lokalitet je odabran jer se želi utvrditi kvalitet vode na samom ušću prvenstveno zbog brzine protoka vode. Lokaliteti pet i šest nalaze se na rijeci Neretvi. Lokalitet pet je lociran nizvodno od ušća na području Boškovich kanala, dok je lokalitet šest na potezu uzvodno od ušća, na području Baćevića.

Izabrani lokaliteti:

- L1 - Vrelo Bune,
- L2 – Buna, nizvodno od ribnjaka,
- L3 – Bunica,
- L4 – Bunski kanali,
- L5 - Boškovi kanali (nizvodno od ušća Bune, na rijeci Neretvi) i
- L6 - Baćevići (uzvodno od ušća Bune, na rijeci Neretvi).



Slika 4. Satelitski snimak istraživačkog područja
([www.Google Earth Pro.com](http://www.GoogleEarthPro.com))

Nakon prve faze terenskog obilaska lokaliteta, pristupa se odabiru adekvatnih metoda uzorkovanja vode i makrozoobentosa. Metode moraju biti prilagođene uslovima koji vladaju na terenu. Nakon toga, slijede izlasci na teren i uzorkovanje. Za fizičko-hemijske i mikrobiološke analize odabrane su standarde metode uzorkovanja vode (APHA, 1995).

Međutim, postoji više metoda uzorkovanja makroinvertebrata. Na osnovu pristupačnosti terena i relativno male dubine vode odabrana je „Kick Sampling“ metoda, standardizovana metoda za uzorkovanje bentičkih makroinvertebrata u vodi. Prvobitno ju je osmislio Centar za ekologiju i hidrologiju u Velikoj Britaniji. Kasnije ga

je usvojila Okvirna direktiva o vodama EU. „Kick Sampling“ je stoga ključni metod u poštovanju smjernica kvaliteta vode.

3.2. Metode uzorkovanja

Primjena adekvatne procedure uzorkovanja je ključni korak u sprovođenju istraživanja i dobijanju reprezentativnih uzoraka i komparacijskih podataka. Uzorci se prikupljaju neposredno po dolasku na lokalitet.

Za fizičko-hemijske analize, uzorci vode su prikupljeni u obične plastične boce zapremine 2 l. Boca se prvo uroni u vodu da bi se isprala. Nakon ispiranja, boca se ponovo uroni u vodu na željenu dubinu i puni se do vrha.



Slika 5. Kick-sampling na Buni

Za mikrobiološke analize, uzorci vode su prikupljeni u sterilne staklene boce, zapremine 500 ml. Uzorkovanje je obavljeno aseptički da bi se izbjegla kontaminacija uzoraka. Boca za uzorkovanje se otvara neposredno prije punjenja, vodeći računa da se ne kontaminira unutrašnjost čepa ili grlića. Boca se puni na željenoj dubini od oko 15 – 20 cm pod laganim nagibom. Boca se puni bez ispiranja i odmah čvrsto začepi. Zaštitni omotač se stavlja oko čepa i grlića. Uzorci se dostavljaju u laboratoriju nefiltrirani i neprezervirani. Na osnovu analitičkih podataka, izvršene su analize kvaliteta vode na odabranim lokalitetima kao i komparacija dobijenih podataka iz kojih su izvedeni zaključci istraživanja.

Primjenjena je „Kick Sampling“ metoda za uzorkovanje bentičkih makroinvertebrata u riječnim vodotocima. Mreža se postavi na sediment u pravcu toka vode. Ispred mreže se podigne sediment dok vodeni tok ne izdvoji makroinvertebrate u mrežu. Takođe je preporučljivo da se izvrši dodatno ručna pretraga velikih kamenja, trljajući kamenje u vodu, dozvoljavajući da se makroinvertebrati prenose nizvodno u mrežu. Sakupljeni uzorci se prebacuju u odgovarajuće posude. Sakupljeni makroinvertebrati su kasnije identifikovani mikroskopiranjem uz primjenu adekvatnih ključeva za determinaciju.

3.3. Laboratorijski rad

Laboratorijske analize vode izvršene su u skladu sa standardima kvaliteta vode i to prema metodama opisanim u „Standardnim metodama za ispitivanje vode i otpadnih voda“ (APHA, 1995), u saradnji sa Zavodom za javno zdravstvo Federacije Bosne i Hercegovine u Mostaru. Sklop fizičko-hemijskih parametara mjerenih i diskutovanih u ovom istraživanju (Tabela 2.) daje nam uvid u trenutno stanje vodenog ekosistema.

Tabela 3. Ispitivani fizičko-hemijski i mikrobiološki parametri vode

Parametri analize	Metoda	Mjerna jedinica
Temperatura vode/zraka	Elektrometrija	°C
Konc. H ⁺ jona	Elektrometrija	pH jedinica
Električna provodljivost	Konduktometrija	μScm ⁻¹
Otopljeni kisik	Winkler metoda	O ₂ mg/l
Zasićeni kisik	Winkler metoda	%
Amonijak	Spektrofotometrija	N mg/l
Nitrati	Spektrofotometrija	N mg/l
Ukupni fosfor	Spektrofotometrija	P mg/l
Ukupne koliformne bakterije	Membranska filtracija	cfu/100 ml
<i>Escherichia coli</i>	Membranska filtracija	cfu/100 ml
Fekalne streptokoke	Membranska filtracija	cfu/100 ml

Temperatura vode

Temperatura vode je ključni parametar, koji jasno djeluje na sve ostale parametre. Temperatura prirodnih voda je povezana sa temperaturom okoline i ciklično se mijenja sa smjenom dana i noći i

klimatskim sezonama. Izmjerena je na samom mjestu uzorkovanja, elektronskim termometrom. Temperatura vode je izražena u stepenima Celzijusa ($^{\circ}\text{C}$).

Koncentracija H^+ jona (pH)

Koncentracija H^+ jona, pH vrijednost, je važan parametar čistoće i svojstva vode. pH može imati ozbiljne direktne i indirektne posljedice na organizme koji žive u vodi kao i na potencijalnu upotrebu vode. pH prirodnih voda se obično kreće od 4,5 – 8,5. Odstupanje od ovih vrijednosti ukazuje nam da je ekosistem pretrpio određeni stres i moguće zagađenje. pH se određuje metodom elektrometrije BAS EN ISO 10523, prema Međunarodnim standardima.

Električna provodljivost

Elektroprovodljivost predstavlja kapacitet tečnosti da provodi električnu struju. Zavisí od koncentracije joniziranih i otopljenih tvari. Povećane vrijednosti indiciraju zagađenje, i ukazuju na stepen mineralizacije vode. U površinskim vodama vrijednosti se kreću od 50-500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Elektroprovodljivost se mjeri pomoću konduktometra, koji se prije upotrebe kalibrira uz pomoć standardne otopine. Jedinica za elektroprovodljivost je mikro Simens po centimetru ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Otopljeni kisik

Sadržaj otopljenog kisika je važan pokazatelj kvaliteta površinskih voda. Jedna od prvih indikacija zagađenja površinske vode je smanjenje sadržaja kisika nizvodno od izvora zagađenja. Glavni izvori potrošnje kisika su: kanalizacioni efluenti, industrijski otpad, razgradnja biljnog materijala (suhog lišća, makrofita, algi), kao i izljev organski bogatih voda sa obala rijeka. Količina rastvorenog kisika se određuje Winklerovom jodometrijskom titracijom. Iskazuje se kao koncentracija (O_2 mg/l).

Zasićenost kisikom

Kisik u vodu dolazi iz atmosfere, ali je produkt i fotosinteze vodenih biljaka i algi. Pri normalnim ulsovima u vodi se nalazi 25 puta manje kisika nego u atmosferi. Više kisika će se otopiti u hladnoj vodi. Veći salinitet smanjit će topljivost kisika u vodi. Zasićenost kisikom, postotak kisika otopljenog u vodi u odnosu na normalnu topljivost pri određenoj temperaturi, ispod 80% ukazuje nam na povećanu potrošnju kisika. Zasićenost kisikom u vodi određuje se Winklerovom jodometrijskom metodom. Zasićenost vode kisikom se računa na osnovu vrijednosti otopljenog kisika i temperature vode, na način da se vrijednost otopljenog kisika podjeli sa standardnim iznosom maksimalne količine otopljenog kisika pri izmjerenoj tempetaruri, a krajnji rezultazi se izražavaju u procentima (%).

Amonijak

Amonijak (NH_3) je produkt razgradnje organskog otpada i može se koristiti kao indikator količine organskih materija u vodotoku. Prirodne koncentracije amonijaka u podzemnim i površinskim vodama su ispod 0,2 mg/l. U vodi se u prisustvu kisika brzo oksiduje do nitrita, a zatim do nitrata. Zbog toga se njegovo prisustvo u površinskim vodama smatra nedavnim zagađenjem komunalnim otpadnim vodama. Amonijak je određen spektrofotometrijskom metodom.

Nitrati

Nitrati su krajnji produkti azotnih jedinjenja, te soli azotne kiseline. Ako su u vodenom ekosistemu prisutni u većim količinama, onda ukazuje na postojanje zagađenja koje je ljudskog ili animalnog porijekla. Kada su u pitanju azotna jedinjenja, prisustvo amonijaka pokazatelj skorijeg onečišćenja, nitrita bliskog, a nitrata davnog zagađenja. Spektrofotometrijsko određivanje nitrata je metoda (APHA AWWA-WEF 4500) koja se koristi za određivanje prisustva nitrata u vodi za piće.

Fosfor

Prirodne vode sadrže fosfor u niskim koncentracijama. Povećana koncentracija fosfora će pospješiti rast i razvoj algi i infestaciju akvatičnih makrofitima. Prekomjeren rast algi i makrofita može dovesti do gubitka staništa, narušavanja vodenih tokova i

smanjenja količine kisika dostupnog za akvatičnu faunu. Povećana koncentracija količine fosfora u vodama pojavljuje se zbog umjetnih gnojiva i deterdženata, a razgradnja spojeva fosfora je spora. Metoda za mjerenje ukupnog fosfora je specifična i naziva se BAS ISO 6878.

Ukupne koliformne bakterije

Mikrobiološko zagađenje se može smatrati najozbiljnijim vidim zagađenja, a podrazumjeva prisustvo neželjenih mikroorganizama u vodi, i to potencijalnih uzročnika bolesti. U ukupne koliforme spadaju Gram negativne, nesporogene, oksidaza negativne, štapićaste fakultativno anaerobne bakterije koje fermentiraju laktozu sa β -galaktosidazom u kiselinu i gas unutar 24-46 h na 36°C. Nespecifični su indikatori fekalnih zagađenja. Metoda kojom se određuju ukupni koliformi je membranska filtracija, C-EC agar.

Escherichia coli

Escherichia coli je Gram negativni štapić koji se nalazi u gastrointestinalnom traktu svih toplokrvnih životinja gdje čini dio inestinalne flore. Nekoliko sojeva su patogeni uzročnici gastrointestinalnih bolesti. Pet klasa patogene *E. coli* uključuje enterotoksičnu, enteropatogenu, eneteroinvazivnu, eneterohemoragičnu i enteroagregativnu *E. coli*. BAS EN ISO 9308-1 je metoda kojom se određuje brojnost *E. coli* i drugih koliforma.

Fekalni streptokoki

Fekalni streptokoki su Gram pozitivni, katalaza negativni koki sa selektivnog hranilišta, koji rastu na žučnom aeskulin agaru i na 45°C. Pripadaju rodovima *Enterococcus* i *Streptococcus*, posjeduju D antigen Lancefield grupe. Skoro svi su pripadnici genusa *Enterococcus*, i ispunjavaju sljedeće kriterije: rezistentni su na 60°C do 30 min i mogu reducirati 0,1% metilen plavo. Enterokoki su podvrsta fekalnih streptokoka koji rastu pod gore navedenim uslovima. Alternativno, enterokoki se jednostavno mogu identificirati kao mikroorganizmi sa sposobnošću aerobnog rasta na 44±0,5°C i hidrolize 4-metilumbeliferil-β-D-glukozida.

3.4. Identifikacija makroinvertebrata

Obrada prikupljenih uzoraka makroinvertebrata izvršena je u laboratoriji Nastavničkog fakulteta – Odsjek Biologija, Univerziteta „Džemal Bijedić“ u Mostaru. Obrada makroinvertebrata podrazumijeva njihovo sortiranje, identifikaciju i trajno čuvanje u zbirkama. Nakon prikupljanja uzoraka na terenu, materijal je prosijan kroz sito promjera okca 500 μm, kako bi se uklonio sediment, a zatim je prebačen u odgovarajuću ambalažu sa etiketom na kojoj se nalaze podaci o nazivu lokaliteta i datumom uzorkovanja. Za fiksiranje uzoraka do obrade koristio se 4% rastvor formaldehida. Po završetku

uzorkovanja materijali su transportovani u prostorije Nastavničkog fakulteta.

Identifikacija uzoraka izvršena je korišćenjem binokularnih lupa uvećanja do 40x i mikroskopa uvećanja do 100x, uz pomoć odgovarajućih ključeva za identifikaciju i literature, do najnižeg mogućeg nivoa. Za najveći broj organizama je to bio nivo vrste. Identifikacija uzoraka izvršena je pomoću odgovarajućih ključeva za determinaciju (Tanasijević, 1975, 1978, 1985; Knezović *et al.* 2015; Goler i Pešić, 2007; Kaćanski, 1971; Lelo i Kašić-Lelo, 2012; Nagel, 1989; Belfiore, 1983; Zwick, 2004; Nilsson, 1996).

3.5. BMWP indeks – ekološki kvalitet slatkovodnih ekosistema

Nakon završene identifikacije uzoraka makroinvertebrata izvršena je procjena stanja vodotoka na osnovu BMWP metode. BMWP je postupak mjerenja kvaliteta vode pomoću familija makroinvertebrata kao bioloških indikatora. Metoda se temelji na načelu da različiti vodeni beskičmenjaci imaju različite ekološke valence i toleranciju na zagađivače. U slučaju BMWP metode, u obzir se uzima osjetljivost/tolerancija makroinvertebrata na organsko onečišćenje tj. obogaćivanje hranjivim tvarima koje može uticati na dostupnost otopljenog kisika. Važno je napomenuti da će rang tolerancije varirati za različite vrste onečišćenja.

Svakoj porodici makroinvertebrata dodjeljeni su odgovarajući indikatorski bodovi. Bodovi su u rasponu od 1 do 10. Pripadnici visoko ocjenjenih porodica, osjetljivi su na onečišćenje tj. imaju usku ekološku valencu i njihova prisutnost u rijeci ukazuje na dobre uslove. Porodice sa niskim bodovima su tolerantne na zagađenje tj. imaju široku ekološku valencu, a njihova prisutnost ukazuje na vrlo onečišćene uslove. Najniži BMWP bodovi beskičmenjaka dodjeljeni su glistama (Oligochaeta), 1 bod. Broj različitih makroinvertebrata također je važan faktor, jer pretpostavlja se da kvalitetnija voda sadrži manje onečišćujućih tvari koje bi isključile "osjetljive" vrste - što rezultira većom raznolikošću.

Izračunavanje BMWP indeksa vrši se na sljedeći način: svakoj prikupljenoj vrsti makroinvertebrata odredi se taksonomska pripadnost porodici, kako bi se dodjelili indikatorski bodovi. Međutim, bez obzira na broj jedinki iste vrste u uzorku, dodjeljuje im se samo jedan bod (tj. broj bodova porodice). Na kraju saberemo sve bodove kako bismo dobili ukupni BMWP indeks za naš uzorak i odredili ekološki status vode (Tabela 4).

Tabela 4. BMWP indeks

Ekološki status	BMWP	Boja vode
Visok	>100	Plava
Dobar	61-100	Zelena
Umjeren	36-60	Žuta
Siromašan	16-35	Narandžasta
Loš	<15	Crvena

4. BIOMONITORING I PROCJENA KVALITETA VODE

U ovom poglavlju su predstavljene rezultati istraživanja kvaliteta vodotoka rijeke Bune na osnovu odabranih fizičko-hemijskih, i mikrobioloških parametara kvaliteta vode, te kvalitativo-kvantitativnog sastava makroinvertebrata na području rijeke Bune, s ciljem procjene kvaliteta vodotoka. Rezultati su dobijeni na osnovu istraživanja tokom jedne sezone na šest lokaliteta (L1 - L4 na rijeci Buni i L5 i L6 na rijeci Neretvi, neposredno prije i poslije ušća).

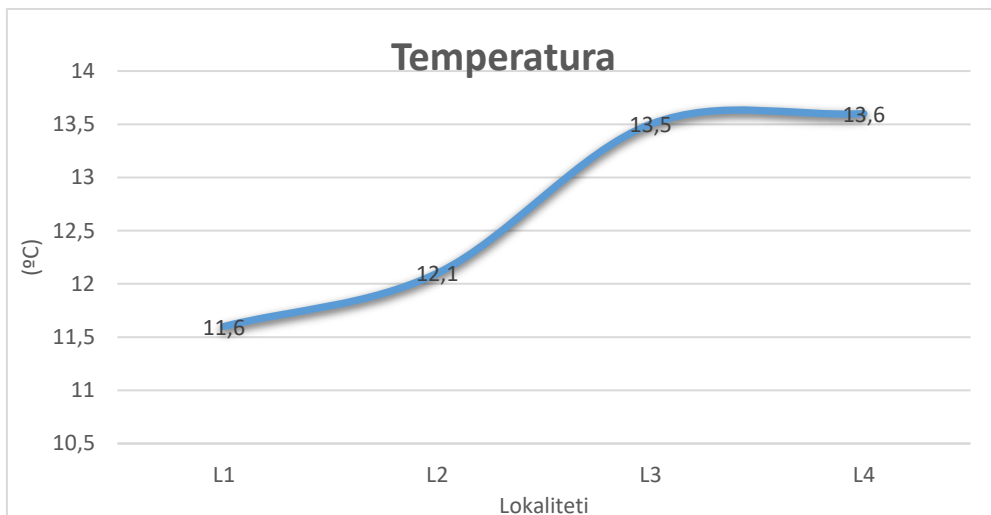
4.1 Analiza fizičko-hemijskih parametara vode

Svaki vodeni ekosistem se odlikuje jedinstvenim fizičko-hemijskim karakteristikama, koje u velikoj mjeri zavise od klimatskih, geomorfoloških i geohemijskih prilika u slivu. Fizičko-hemijske karakteristike uslovljavaju naseljavnje određenih biocenoza, a samim tim utiču i na kreiranje krajnjih osobina i izgleda ekosistema. Fizičko-hemijski parametri su neophodni pri procjeni stanja ekosistema i staništa jer daju uvid u prirodne odlike vode kao staništa. Odabrani

fizičko-hemijski parametri vode (Tabela 5) su analizirani u laboratoriji Zavoda za javno zdravstvo Federacije Bosne i Hercegovine.

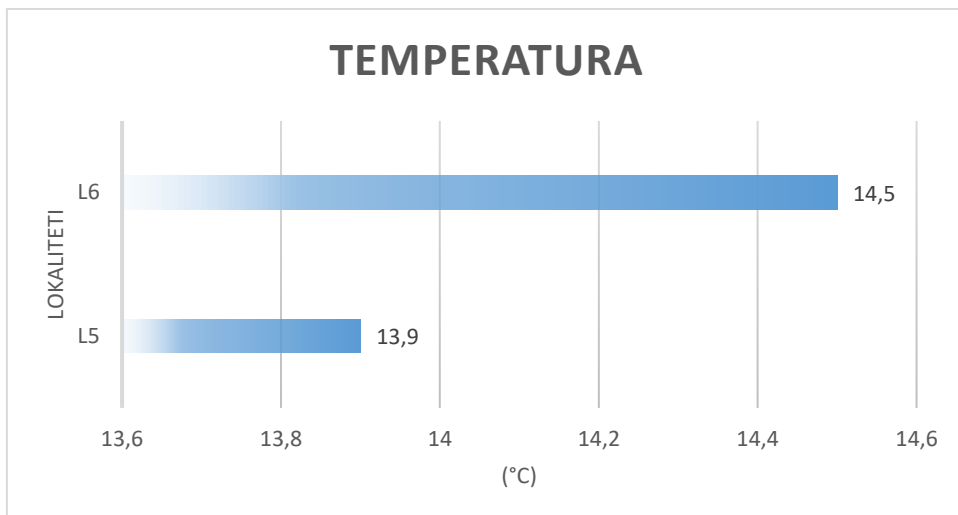
Tabela 5. Fizičko-hemijski parametri kvaliteta vode

	L1 (Buna)	L2 (Buna)	L3 (Buna)	L4 (Buna)	L5 (Neretva)	L6 (Neretva)
Temperatura vode (°C)	11,6°C	12,1°C	13,5°C	13,6°C	13,9°C	14,5°C
Konc. H ⁺ iona (pH)	7,5	7,7	7,8	8,0	8,1	8,2
Električna provodljivost (µS/cm)	326	323	348	336	306	288
Otopljeni kisik (mg/l)	11,79	12,67	13,11	13,55	13,37	12,69
Zasićeni kisik (%)	108,42	116,92	125,76	130,31	129,41	124,49
Amonijak (mg/l)	< 0,039	< 0,039	< 0,039	< 0,039	< 0,039	0,058
Nitrati (mg/l)	0,49	0,48	0,49	0,48	0,46	0,46
Ukupni fosfor (mg/l)	0,014	0,019	0,006	0,005	< 0,005	0,005



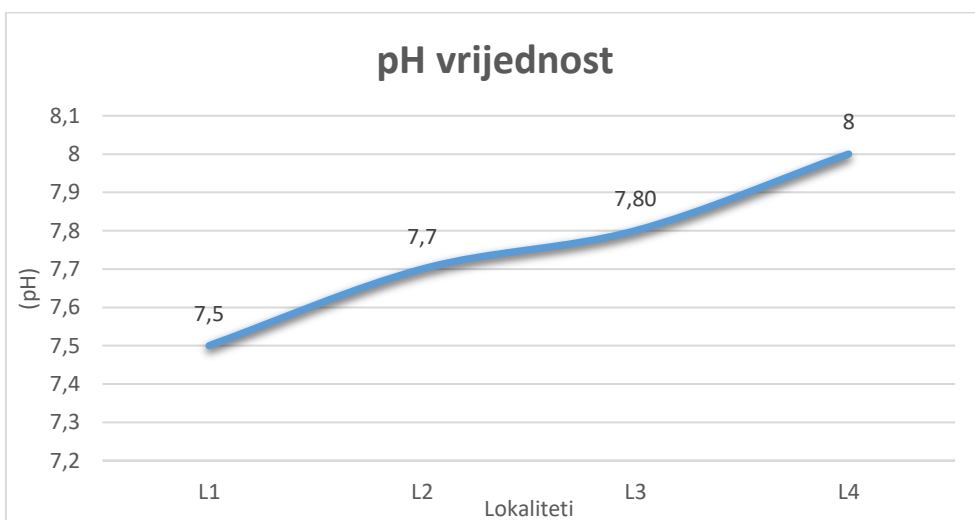
Graf 1. Temperaturni režim na rijeci Buni

Za svaki vodeni ekosistem temperatura vode je ključni, uzročno-posljedični parametar, pa je neizostavan za svako uzorkovanje. Ona uzročno i posljedično afektira sve ostale parametre pH, zasićenost kisikom, pa samim tim utiče i na biološke procese u vodi. Kao što je prikazano na (Grafu 1) najniža temperatura vode je izmjerena na L1 (izvor) 11,6°C, a najviša na L4 (ušće) 13,6°C. Također, rezultati pokazuju da se temperatura vode lagano povećava nizvodno, s povećanjem od 2°C. Prosječna temperatura vode na ispitivanim lokalitetima iznosi 12,7°C.



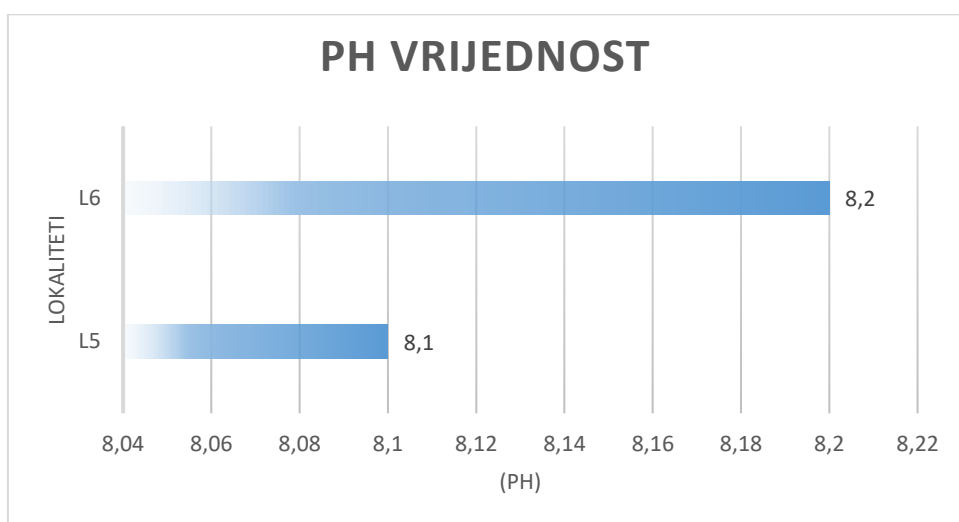
Graf 2. Temperaturni režim na rijeci Neretvi

Na Grafu 2. prikazane su vrijednosti temperature vode izmjerne na lokalitetima na rijeci Neretvi. Može se primjetiti da na L5 (Boškovi kanali) temperatura iznosi 13,9°C, a na L6 (Baćevići) 14,5°C.



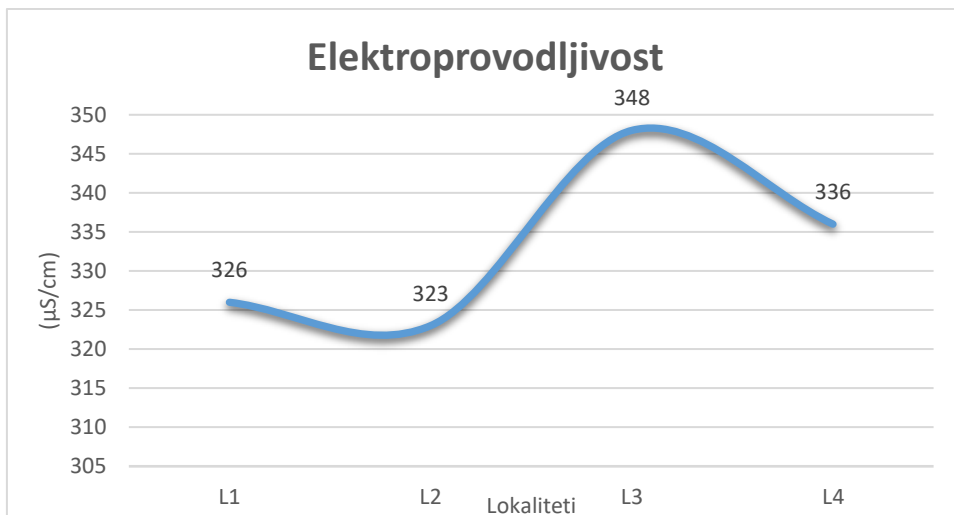
Graf 3. Distribucija pH vrijednosti na rijeci Buni

Na Grafu 3. prikazane su vrijednosti izmjerenih pH na lokalitetima na rijeci Buni. Primjećuje se lagano povećanje vrijednosti pH, slično kao i temperature, počevši od L1 pa do L4. Najniža vrijednost izmjerena je na L1 (izvor) 7,5 pH, a najviša na L4 (ušće) 8 pH. Prosječna vrijednost iznosi 7,75 pH. Optimalne vrijednosti ovog faktora su u rasponu 6,8 do 8,5 pH. Sve izmjerene vrijednosti pH pripadaju I klasi vodotoka.



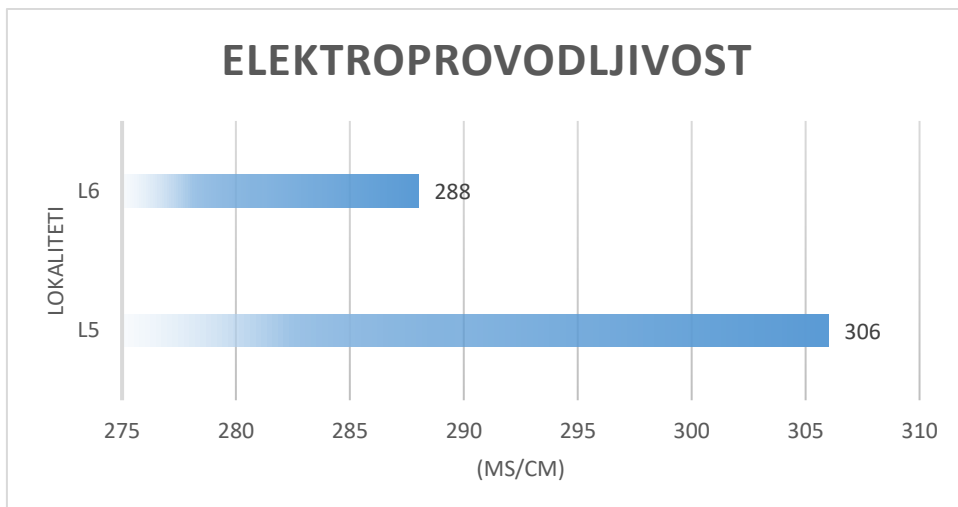
Graf 4. Distribucija pH vrijednosti na rijeci Neretvi

Graf 4. prikazuje vrijednosti pH izmjerene na lokalitetima na rijeci Neretvi. Može se primjetiti mala razilka između ovih lokaliteta. Na L5 (Boškovi kanali) pH iznosi 8,1 a na L6 (Baćevići) pH iznosi 8,2. Izmjerene vrijednosti pH pripadaju I klasi vodotoka.



Graf 5. Distribucija elektroprovodljivosti na rijeci Buni

Tokom ovog istraživanja vrijednosti elektroprovodljivosti (Graf 5) na istraživanim lokalitetima rijeke Bune kretale su se od 323 $\mu\text{S}/\text{cm}$ do 348 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Najniža vrijednost izmjerena je na lokalitetu L2 (ispod ribnjaka) 323 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a najviša na lokalitetu L3 (Bunica) 348 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Prosječna vrijednost elektroprovodljivosti iznosi 333,25 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a opseg 25 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sve izmjerene vrijednosti elektroprovodljivosti pripadaju I klasi vodotoka.



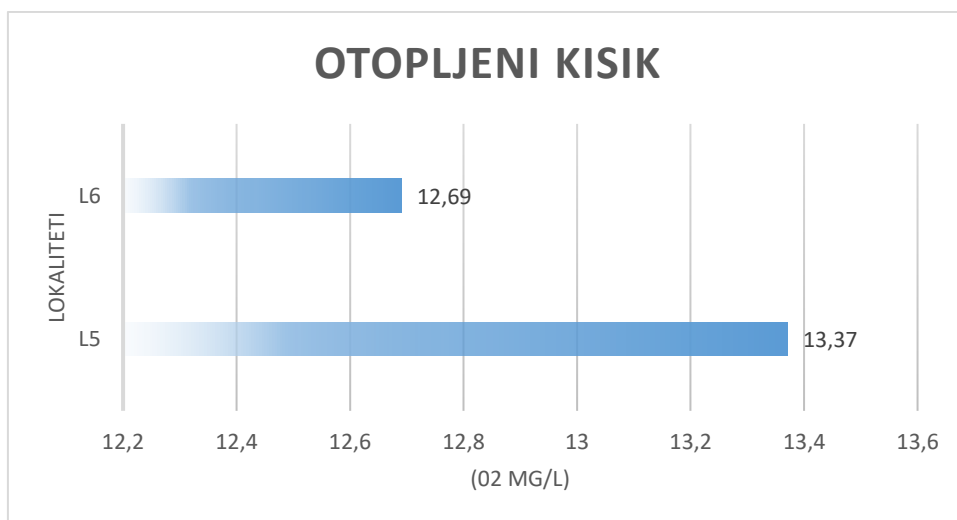
Graf 6. Distribucija elektroprovodljivosti na rijeci Neretvi

Vrijednosti izmjerene elektroprovodljivosti na lokalitetima na rijeci Neretvi (Graf 6.) također pripadaju I kasi vodotoka. Na L5 (Boškovi kanali) izmjerene vrijednost je 306 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a na L6 (Baćevići) elektroprovodljivost iznosi 288 $\mu\text{S}/\text{cm}$.



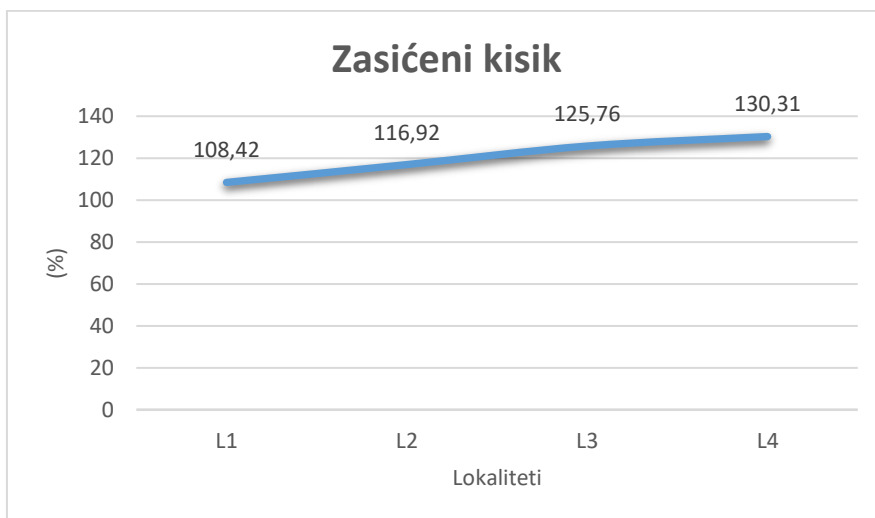
Graf 7. Distribucija otopljenog kisika na rijeci Buni

Kisik je neophodan za održavanje života u vodenom ekosistemu, ali i za razgradnju bioloških opterećenja. Koncentracije kisika u svim uzorcima su dosta visoke (Graf 7) i ne pokazuju značajna prostorna odstupanja. Vrijednosti se kreću u rasponu od 11,79 O₂ mg/l do 13,55 O₂ mg/l. Najniža vrijednost izmjerena je na L1 (izvor) 11,79 O₂ mg/l, a najviša na L4 (Bunski kanali - ušće) 13,55 O₂ mg/l. Prosječna vrijednost iznosi 12,78 O₂ mg/l. Sve izmjerene koncentracije kisika su u I klasi kvaliteta vodotoka. Količina otopljenog kisika je obrnuto proporcionalna temperaturi vode, i niska prosječna temperatura je djelimično odgovorna za visoke koncentracije kisika. Rijeke sa visokim sadržajem kisika imaju sposobnost samoprečišćavanja upravo zbog mogućnosti regulacije oksidacijskih procesa (Mijatović *et al.*, 2004).



Graf 8. Distribucija vrijednosti otopljenog kisika na rijeci Neretvi

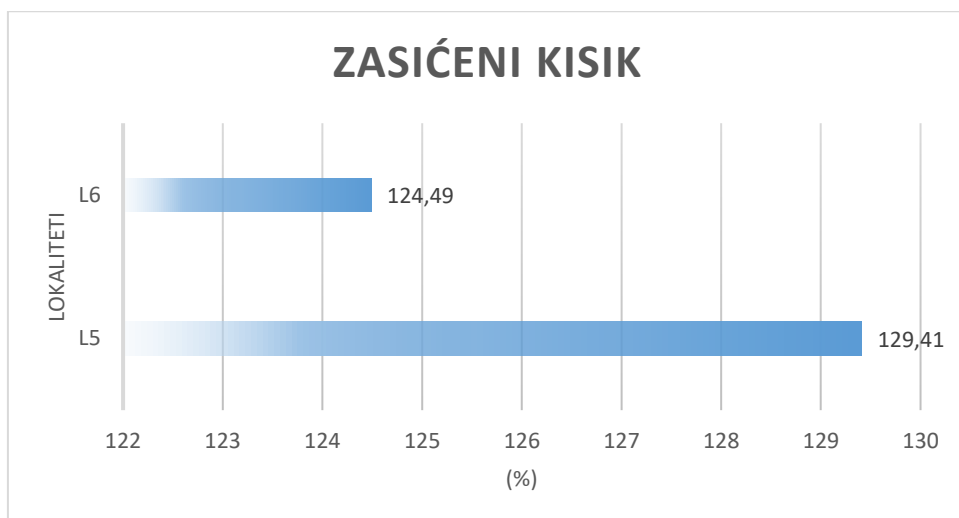
Otopljeni kisik i na rijeci Neretvi (Graf 8) ima dosta visoke koncentracije i zadržava se u granicama I klase vodotoka. Na L5 (Boškovi kanali) njegova koncentracija iznosi 13,37 O₂ mg/l, a na L6 (Baćevići) O₂ 12,69 mg/l.



Graf 9. Distribucija zasićenog kisika na rijeci Buni

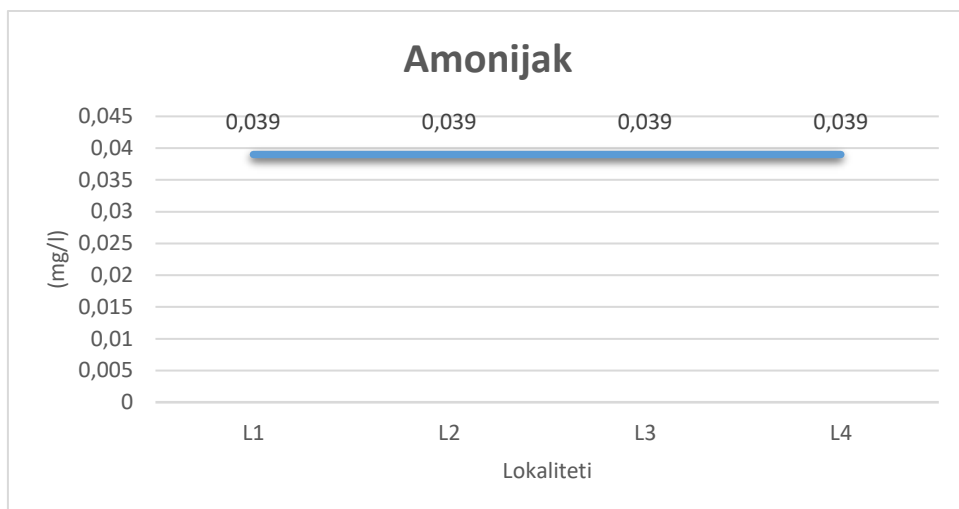
Graf 9. prikazuje vrijednosti zasićenog kisika na vodotoku rijeke Bune. Može se primjetiti da je u svim uzorcima stepen zasićenosti kisikom iznad 100%. Njaniža vrijednost izmjerena je na L1 (izvor) 108,42%, a najveća na L4 (Bunski kanali - ušće) 130,31%. Prosječna vrijednost iznosi 120,35%, opseg iznosi 21,89%. U mnogim slučajevima kisik u vodi je ograničavajući faktor za vodeni svijet. Niska razina kisika uzrokuje ozbiljnu štetu svim aerobnim životinjama. Prezasićenost kisikom se javlja u rijekama s visokim razinama gnojiva

(amonijaka i fosfora), što pruža dobre uslove za rast algi (Rosch i Tonsmann, 2001).



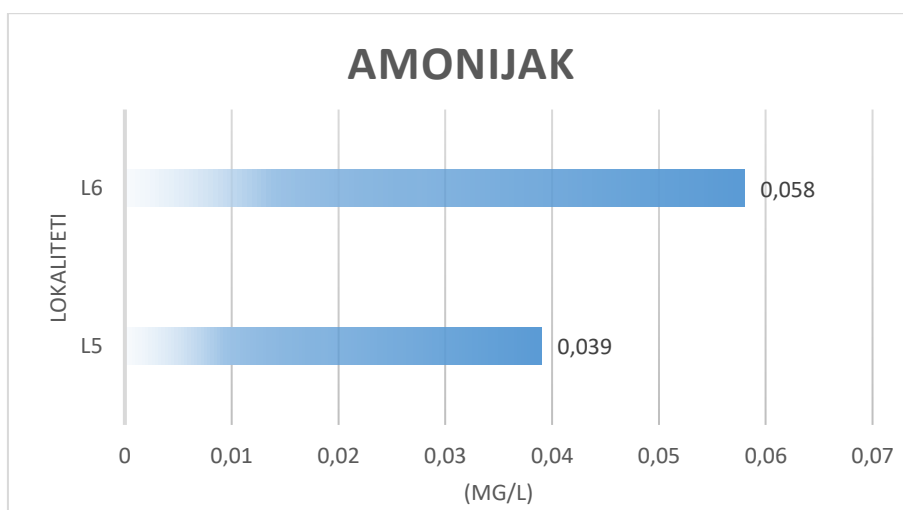
Graf 10. Distribucija vrijednosti zasićenog kisika na rijeci Neretvi

Visoke vrijednosti zasićenog kisika su se zadržale i na lokalitetima na rijeci Neretvi (Graf 10), koje iznose na L5 (Boškovi kanali) 129,41%, a na L6 (Baćevići) 124,49%.



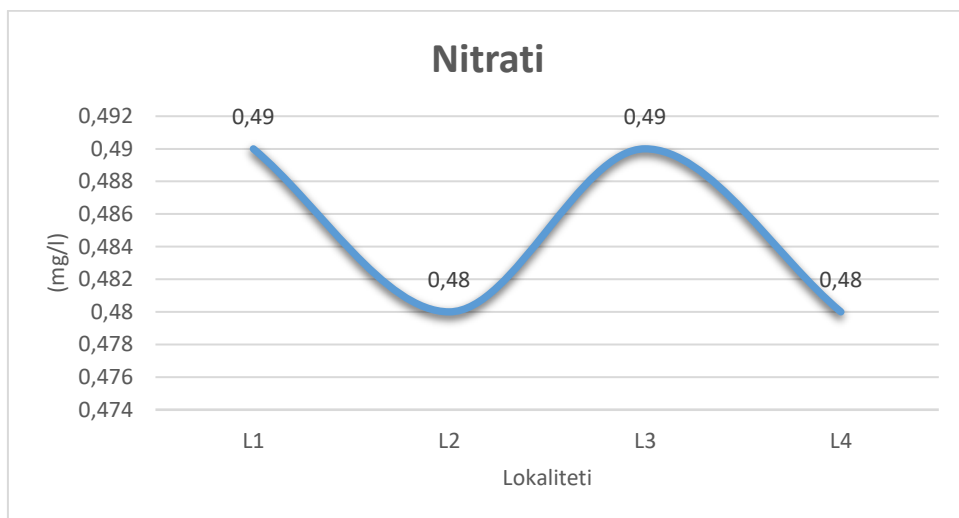
Graf 11. Distribucija amonijaka na rijeci Buni

Kao što se može vidjeti iz Grafa 11, vrijednosti amonijaka su konstantne na svim lokalitetima na rijeci Buni. Njegova vrijednost iznosi 0,039 mg/l. Ove vrijednosti udjela amonijaka ne prelaze granicu I klase kvaliteta vodotoka.



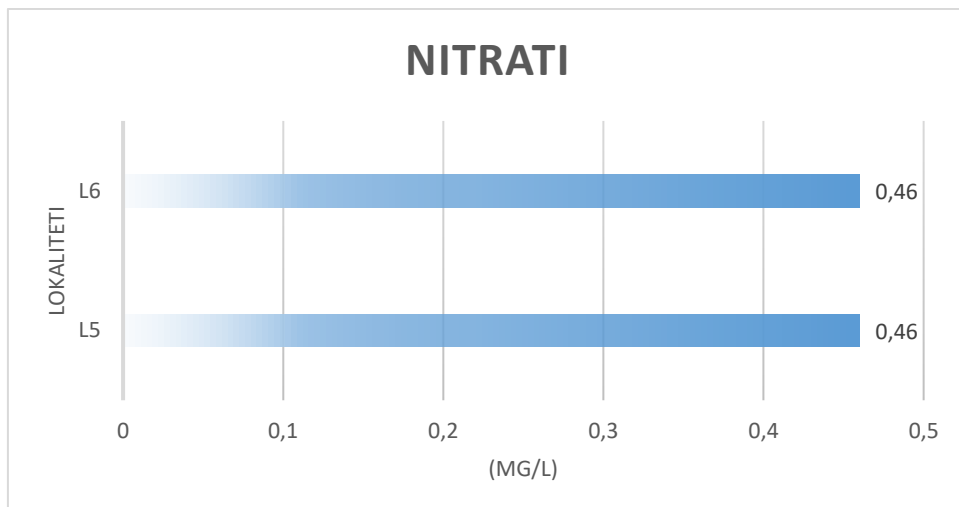
Graf 12. Distribucija vrijednosti amonijaka na rijeci Neretvi

Vrijednost amonijaka na lokalitetu L5 (Boškovi kanali) se poklapa sa njegovom vrijednosti izmjerenom na rijeci Buni. Međutim, na L6 (Baćevići) ta vrijednost je nešto veća i iznosi 0,058 mg/l, ali ne prelazi granice I klase kvaliteta vodotoka.



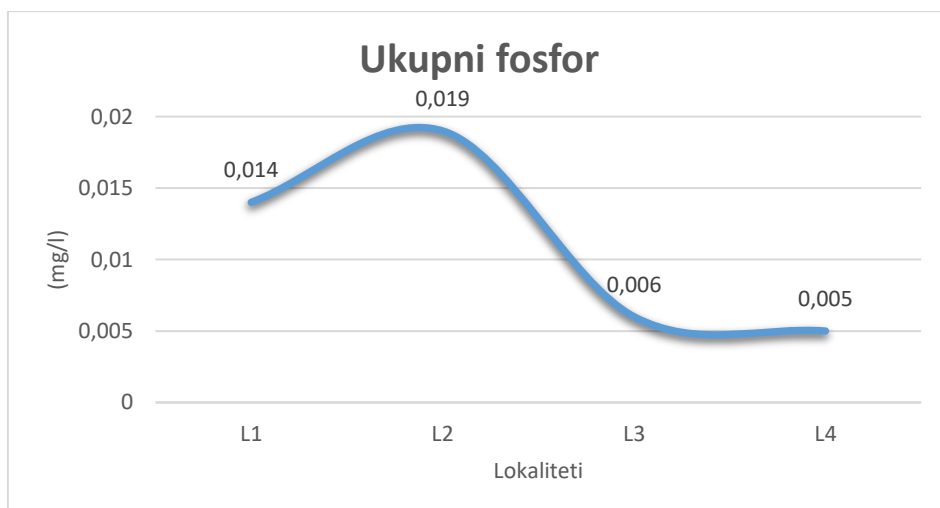
Graf 13. Distribucija nitrata na rijeci Buni

Graf 13. prikazuje vrijednosti nitrata $\text{NO}_3\text{-N}$. Koncentracija u slivu Bune je prilično konstantna. Najniže vrijednosti izmjerene su na L2 (ispod ribnjaka) i L4 (Bunski kanali) 0,48 mg/l, a najviša vrijednost izmjerena je na lokalitetima L1 (izvor) i L3 (Bunica) i iznosi 0,49 mg/l. Prosječna vrijednost iznosi 0,485 mg/l. Prirodne koncentracije koje rijetko prelaze 0,1 mg/l mogu se povećati prisustvom komunalnih otpadnih voda. Na osnovu izmjerenih vrijednosti evidentno je optrećenje Bune organskim otpadom.



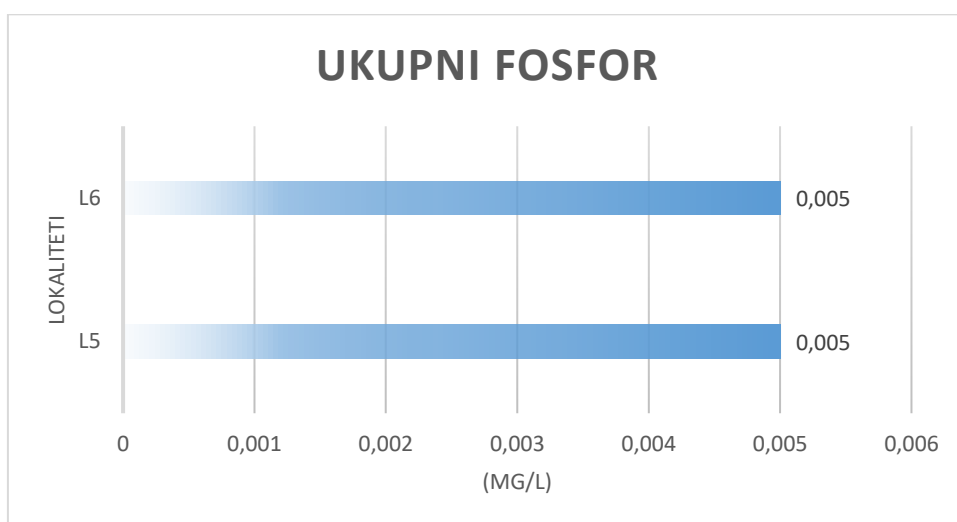
Graf 14. Distribucija vrijednosti nitrata na rijeci Neretvi

Vrijednosti amonijaka na rijeci Neretvi (Graf 14) su identične na oba lokaliteta i nešto niže od vrijednosti na rijeci Buni i iznose 0,46 mg/l. Također, na osnovu rezultata moguće je primjetiti opterećenje rijeke Neretve organskim otpadom.



Graf 15. Distribucija ukupnog fosfora na rijeci Buni

Vrijednosti ukupnog fosfora (Graf 15) kreću se od 0,005 mg/l do 0,019 mg/l. Najniža vrijednost izmjerena je na lokalitetu L4 (0,005 mg/l), a najviša vrijednost na L2 (0,019 mg/l). Prosječna vrijednost ukupnog fosfora iznosi 0,011 mg/l, a opseg 0,014 mg/l. U većini prirodnih voda fosfor se kreće od 0,005 do 0,02 (mg/l). Koncentracije od 0,001 mg/l mogu se naći u nekim netaknutim vodama.



Graf 16. Distribucija vrijednosti ukupnog fosfora na rijeci Neretvi

Izmjerene vrijednosti ukupnog fosfora na rijeci Neretvi (Graf 16) su identične na oba lokaliteta i iznose 0,005 mg/l.

Odabrani fizičko-hemijski parametri su uglavnom u granicama I klase vodotoka. Temperatura vode, kao jedan od osnovnih parametara svakog monitoringa, rijeke Bune je uglavnom ujednačena sa prosječnom temperaturom od 12,7°C. Najniža temperatura izmjerena je na izvoru 11,6°C. Također, primjećeno je nizvodno blago

povećanje temperature vode (Graf 1). Na rijeci Neretvi, Boškovi kanali temperatura vode iznosila je 13,9°C, dok je u Baćevićima iznosila 14,5°C. Relativno niske temperature vode, u proljetnom periodu, su povoljne za brojne biološke procese.

Sličan trend blagog povećanje svoje vrijednosti idući nizvodno, pokazao je i sljedeći analizirani parametar, pH vrijednost (Graf 3.). Mnogi faktori mogu uticati na pH vode. Jedan od najznačajnijih jeste geologija, odnosno sastav tla, zatim oborine, kisele kiše, doba dana, klimatske prilike te temperatura vode. Po pravilu sa povećanjem temperature vode, pH se smanjuje. Suprotno tome, sa povećanjem primarne produkcije, pH se povećava. Vrijednosti pH, izmjerene na lokalitetima na rijeci Buni pripadaju I klasi vodotoka. Zabilježen je trend blagog povećanja od L1 (7,5 pH) ka L4 (8 pH) koji iznosi 0,5 pH. Također, izmjerene vrijednosti pH na rijeci Neretvi pripadaju I klasi vodotoka (Graf 4).

Vrijednosti elektroprovodljivosti, kao sposobnosti vode da provodi struju, su uglavnom ujednačene na svim lokalitetima na rijeci Buni i pripadaju I klasi vodotoka (Graf 5). Kreću se u rasponu od 323 – 348 ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Elektroprovodljivost na lokalitetima na rijeci Neretvi također pripada I klasi vodotoka. Na L5 izmjerena vrijednost je 306 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dok na L6 vrijednost iznosi 288 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Koncentracije rastvorenog kisika izmjerenog na svim lokalitetima na rijeci Buni tokom ovog istraživanja su visoke, sa prosječnom vrijednošću od 12,78 O_2 mg/l (Graf 7). Također, na

lokalitetima na rijeci Neretvi, izmjerene vrijednosti rastvorenog kisika su dosta visoke. Na L5 (Boškovi kanali), područje nizvodo od ušća Bune, izmjerena je nešto veća vrijednost (13,37 O₂ mg/l) za razliku od lokaliteta L6 (12,69 O₂ mg/l) koji se nalazi prije ušća na području Baćevića. Osim od temperature, sposobnost vode da otopi veliku količinu kisika ovisi i o atmosferskom pritisku. Kisik u vodi se pokorava Henrijevom zakonu, stoga je rastvorljivost otprilike proporcionalna parcijalnom pritisku kisika u zraku. Što je veći pritisak zraka, viši je parcijalni pritisak kisika (Riđanović *et al.*, 2010).

Pošto temperatura vode utiče na nivo otopljenog kisika u vodi, ispitivane su vrijednosti zasićenosti kisikom. Vrijednosti zasićenosti kisikom na rijeci Buni prikazane su u Grafu 9. Korištenjem vrijednosti zasićenja moguće je ukloniti temperaturni efekat na vrijednosti zasićenosti kisikom, čime se omogućuje vršenje prostornih i vremenskih upotrebi (Riđanović *et al.*, 2010). U svim uzrocima na vodotoku rijeke Bune stepen zasićenosti kisikom je preko 100%, sa prosječnom vrijednošću od 120,35%. Zasićenost kisikom pokazuje trend povećanja svoje vrijednosti idući nizvodno. Najveća vrijednost izmjerena je na L4 (ušće), koja iznosi 130,31%. Dobijeni rezultati analiza ukazuju na povećanu saturaciju. Zasićenost je definirana kao stvarna koncentracija u odnosu na ravnotežu kisika u vodi, na određenoj temperaturi. Zasićenost kisikom u ravnoteži je postavljena na 100%. Na taj način vrijednosti iznad 100% ukazuju na visoku razinu kisika. Supersaturacija kisikom može uticati na bolest riba. Također,

supersaturacija može uticati i na smrtnost malih slatkovodnih rakova. Stepenn zasićenosti kisikom i na rijeci Neretvi je preko 100%. Na L5 (Boškovi kanali) izmjerena vrijednost iznosi 129,41%, a na L6 (Baćevići) 124,49%.

Također, u okviru fizičko-hemijskih parametara analizirane su i hranjive tvari: spojevi azota i ukupni fosfor. Koncentracije amonijačnog ($\text{NH}_4\text{-N}$) i nitratnog ($\text{NO}_3\text{-N}$) azota su izmjerene u svim uzorcima vode. Koncentracije amonijaka na svim lokalitetima na rijeci Buni (L1 - L4) su konstantne i iznose $< 0,039$ mg/l. Lokalitet koji se nalazi na rijeci Neretvi nizvodno od ušća također ima identične vrijednosti, dok lokalitet uzvodno se razlikuje 0,058 mg/l. Sve izmjerene vrijednosti amonijaka pripadaju I klasi vodotoka. Nezagađene vode sadrže male količine amonijaka i spojeva amonijaka, obično manje od 0,1 mg/l. Povišen udjel amonijaka u vodi pokazuje prisustvo otpadnih ili fekalnih voda, a on upravo nastaje kao produkt razgradnje djelovanjem enzima, a može nastati i redukcijom iz mineralnog azota (Hill *et al.* 2005). Poprilično konstantnu koncentraciju u svim uzorcima na rijeci Buni ima i nitrat, koji se kreće u rasponu od 0,48 - 0,49 mg/l. Najveća koncentracija nitrata zabilježena je na L1 (izvor) i L3 (Bunica) koja iznosi 0,49 mg/l. Na osnovu dobijenih rezultata nitrata, evidentno je opterećenje vodotoka Bune organskim otpadom. Prirodne koncentracije nitrata mogu se povećati prisustvom komunalnih otpadnih voda, koje potiču iz domaćinstava. S obzirom na blizinu naseljenosti lokalnog stanovništva vodotoku rijeke Bune to može

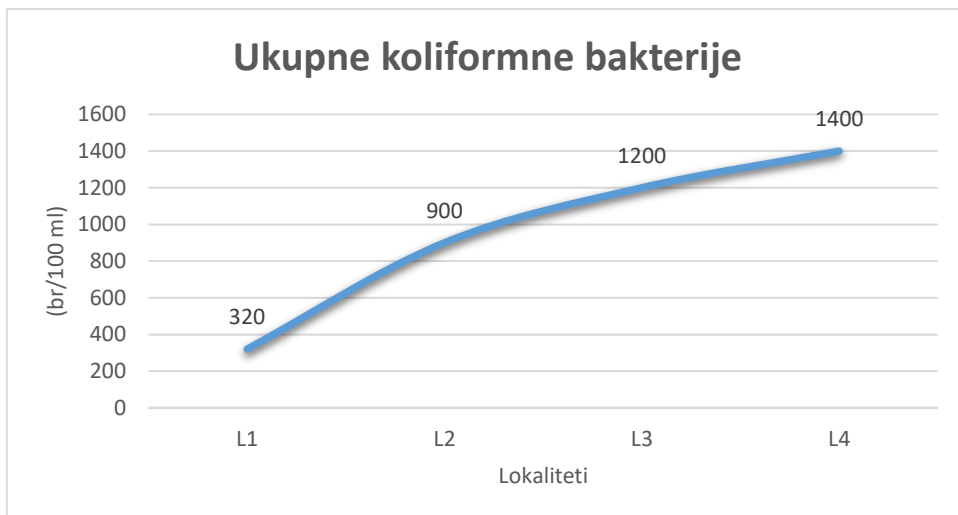
objasniti visoku koncentraciju nitrata. Također, prisustvo velikog broja ugostiteljskih objekata na samom vodotoku, prvenstveno na izvoru Bune, može objasniti opterećenje vodotoka komunalnim otpadnim vodama. Koncentracije nitrata na lokalitetima na rijeci Neretvi su idnetične i iznose 0,46 mg/l. Evidentno je opterećenje i lokaliteta na rijeci Neretvi organskim otpadom. Koncentracije ukupnog fosfora na lokalitetima na gornjem toku Bune pokazuju veće koncentracije za razliku od donjeg toka. Na izvoru Bune izmjerena vrijednost iznosi 0,014 mg/l, dok na L2 (ispod ribnjaka) vrijednost je na granici I klase vodotoka i iznosi 0,019 mg/l. Donji tok rijeke Bune je znatno manje opterećen. Na L3 (Bunica) vrijednost ukupnog fosfora iznosi 0,006 mg/l, dok je na L4 (ušće) izmjerena najmanja vrijednost 0,005 mg/l. Na lokalitetima na rijeci Neretvi izmjerene su identične vrijednosti ukupnog fosfora (0,005 mg/l.). Prirodni fosfor u vodu uglavnom dopijeva osipanjem nosivih stijena i razgradnjom organskih tvari. Fosfor se rijetko nalazi u povišenim koncentracijama u slatkoj vodi, jer ga biljke aktivno konzumiraju. Kao posljedica toga može doći do znatnih sezonskih promjena u koncentracijama fosfora u površinskim vodama. Fosfor se obično kreće od 0,005 do 0,02 mg/l. Kao bitan sastojak biološkog ciklusa vodenog sistema, fosfor je često uključen u osnovna istraživanja kvaliteta vode.

4.2 Analiza mikrobioloških parametara vode

Mikrobiološko zagađenje vode je ozbiljan vid zagađenosti, a ukazuje na neadekvatno tretiranje vodotoka, te može rezultirati ozbiljnim epidemiološkim oboljenjima. Rizik za ljudsko zdravlje proizilazi iz prisustva patogenih mikroorganizama. Mnogi od tih mikroorganizama potiču iz vode zagađene ljudskim i životinjskim fekalijama, koje mogu sadržavati različite crijevne patogene koji uzrokuju bolesti u zajednici. Analiza odabranih mikrobioloških parametara (Tabela 6), izvršena je u laboratoriji Zavoda za javno zdravstvo Federacije Bosne i Hercegovine.

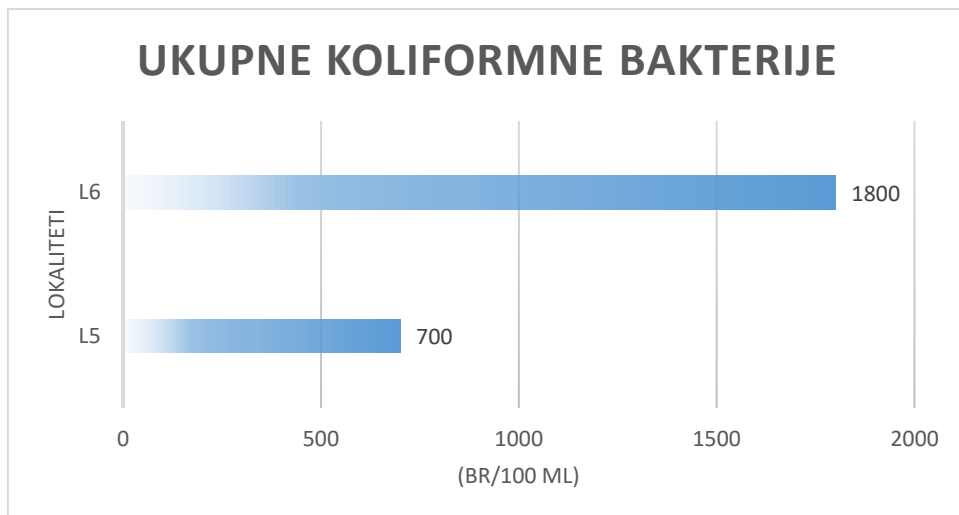
Tabela 6. Mikrobiološki parametri kvaliteta vode

	L1 (Buna)	L2 (Buna)	L3 (Buna)	L4 (Buna)	L5 (Neretva)	L6 (Neretva)
Ukupne koliformne bakterije (br/100 ml)	3,2 x 10 ²	9 x 10 ²	1,2 x 10 ³	1,4 x 10 ³	7 x 10 ²	1,8 x 10 ³
<i>Escherichia coli</i> (br/100 ml)	2,1 x 10 ²	60	80	50	1,9 x 10 ²	1,5 x 10 ²
Fekalne streptokoke (br/100 ml)	10	40	8	10	90	5,8 x 10 ²



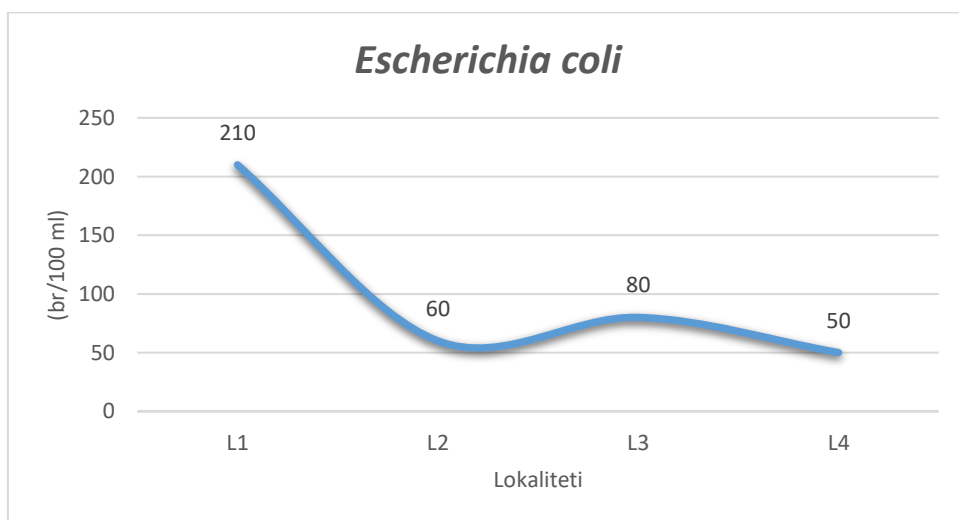
Graf 17. Koncentracija ukupnih koliformnih bakterija na rijeci Buni

Broj ukupnih koliformnih bakterija na rijeci Buni (Graf 17) kreće se od 320 (br/100 ml) do 1400 (br/100 ml), sa prosječnom vrijednošću od 955 (br/100 ml). Najniža vrijednost koliformnih bakterija zabilježena je na L1 (izvor) 320 (br/100 ml), a najveća vrijednost na L4 (Bunski kanali – ušće) 1400 (br/100 ml), tako da opseg iznosi 1080 (br/100 ml).



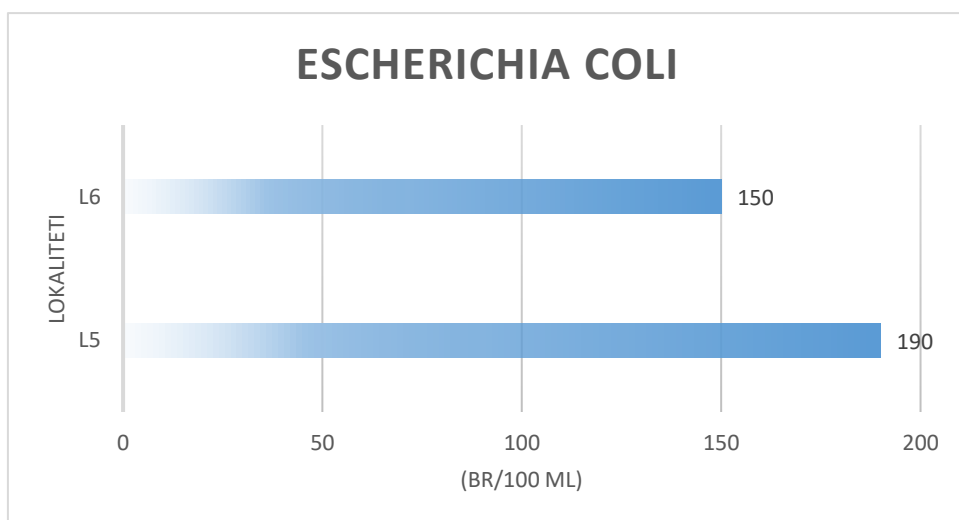
Graf 18. Koncentracija ukupnih koliformnih bakterija na rijeci Neretvi

Broj ukupnih koliformnih bakterija na lokalitetima na rijeci Neretvi je dosta različit. Na L5 (Boškovi kanali) njihova koncentracija iznosi 700 (br/100 ml), a na L6 (Baćevići) 1800 (br/100 ml).



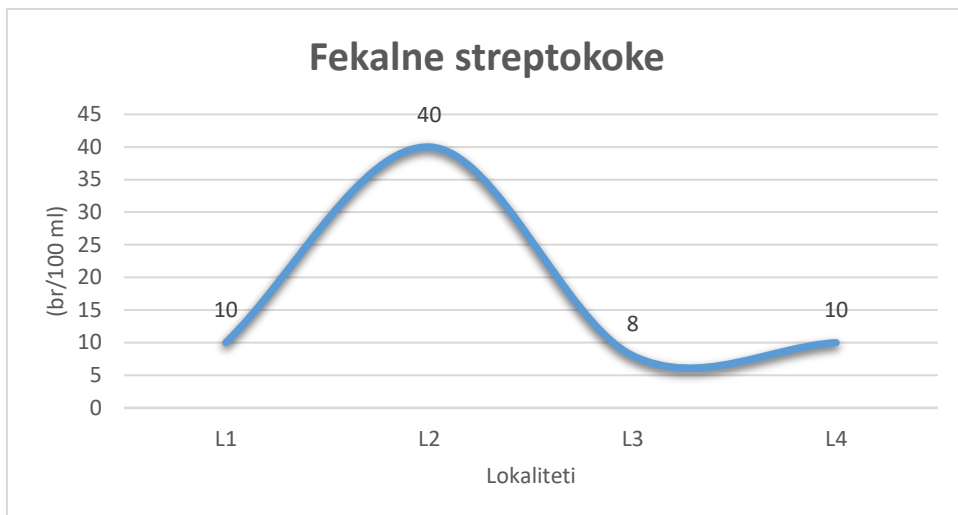
Graf 19. Koncentracija *Echerichia coli* na rijeci Buni

Na Grafu 19 prikazani su rezultati analize zasupljenosti *Escherichia coli* u uzorcima. Moguće je primjetiti da se njeno prisustvo na L1 (izvor) dosta razlikuje od ostalih lokaliteta. Na ovom lokalitetu zabilježena je njena najveća brojnost (210 br/100 ml), a na ostalim lokalitetima njeno prisustvo je znatno manje. Najniža vrijednost *E. coli* zabilježena je na L4 (50 br/100 ml). Prosječna vrijednost iznosi 100 br/100 ml, a opseg 160 br/100 ml.



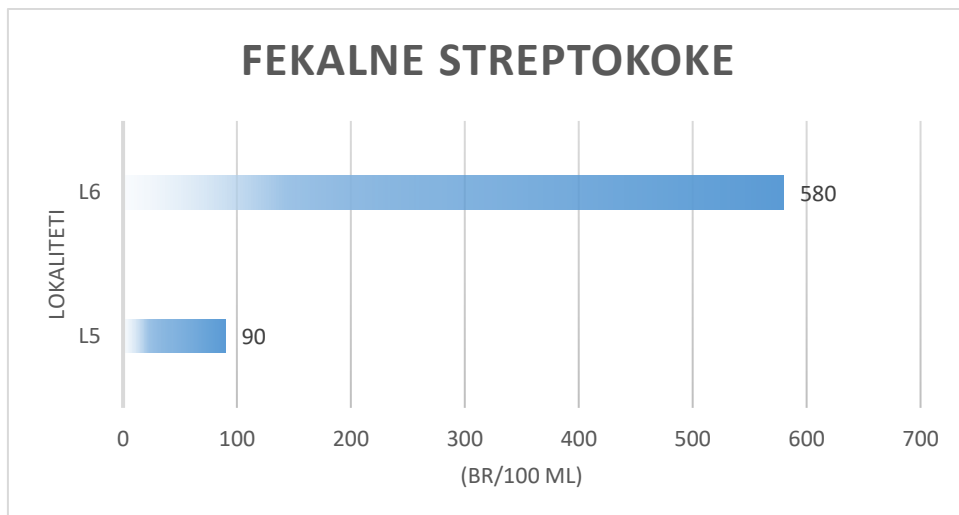
Graf 20. Koncentracija *Escherichia coli* na rijeci Neretvi

Koncentracija *Escherichia coli* dosta je veća na rijeci Neretvi za razliku od rijeke Bune, mada je njena koncentracija na izvoru Bune veća od ovih lokaliteta. Na L5 iznosi 190 (br/100 ml), a na L6 150 (br/100 ml).



Graf 21. Koncentracija fekalnih streptokoka na rijeci Buni

Najniže vrijednosti koncentracije fekalnih streptokoka, zabilježen je na L3 sa ukupno 8 br/100 ml. Na ostalim lokalitetima L1 i L4 zabilježen je također mali broj fekalnih streptokoka po 10 br/100 ml. Prosječna vrijednost koncentracije fekalnih streptokoka iznosi 17 br/100 ml, a opseg 32 br/100 ml.

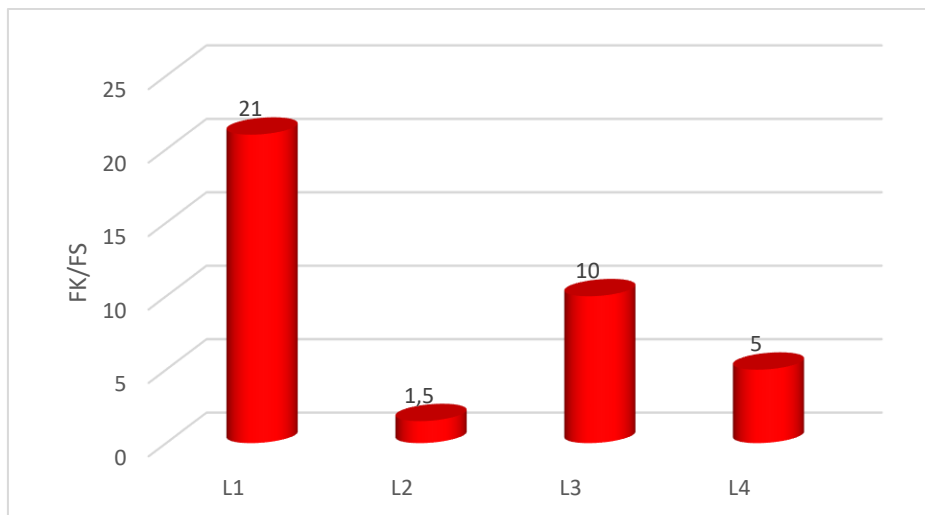


Graf 22. Koncentracija fekalnih streptokoka na rijeci Neretvi

Koncentracija fekalnih streptokoka na rijeci Neretvi se drastično razlikuje od njihove koncentracije na rijeci Buni. Na L5 (Boškovi kanali) njihova vrijednosti iznosi 90 (br/100 ml), dok na L6 (Baćevići) 580 (br/100 ml).

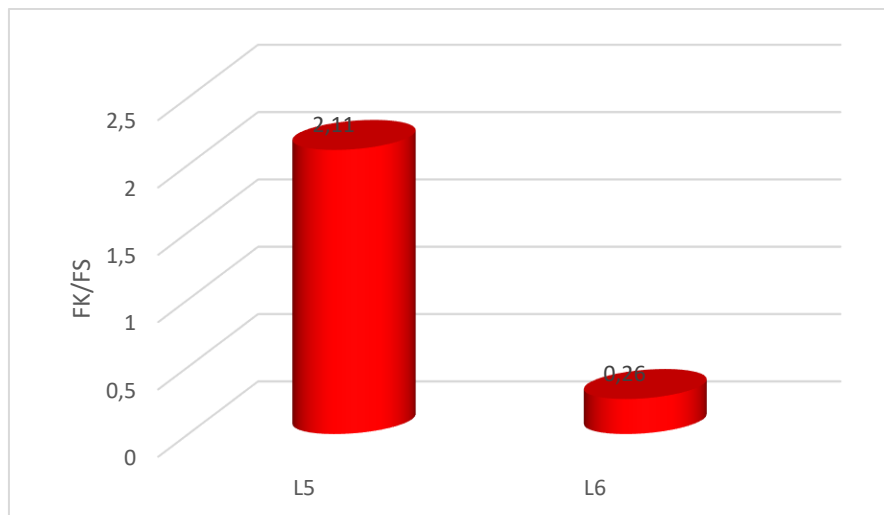
4.2.1. Odnos fekalnih koliforma i fekalnih streptokoka

Korelacijski odnos fekalnih koliforma i fekalnih streptokoka pokazuje nam izvor zagađenja tj. govori da li je zagađenje životinjskog ili ljudskog porijekla. Izražava se količinskom vrijednosti fekalnih koliforma/fekalnih streptokoka. Ukoliko su dobijene vrijednosti veće od 4 zagađenje je ljudskog porijekla. Vrijednosti manje od 0,7 pripisuju se životinjskom porijeklu, dok vrijednosti između ovih rezultata su siva zona nesigurnog tumačenja.



Graf 23. Odnos fekalnih koliforma i fekalnih streptokoka na rijeci Buni

Na Grafu 23 su prikazane vrijednosti korelacijskog odnosa fekalnih koliforma i fekalnih streptokoka na rijeci Buni. Može se primjetiti da dobijeni rezultati na lokalitetima L1, L3 i L4 pokazuju zagađenje ljudskog porijekla. Na lokalitetu L2 zagađenje je nesigurnog tumačenja.



Graf 24. Odnos fekalnih koliforma i fekalnih streptokoka na rijeci Neretvi

Na Grafu 24 su prikazane vrijednosti korelacijskog odnosa fekalnih koliforma i fekalnih streptokoka na rijeci Neretvi. Može se primjetiti da je zagađenje na lokalitetu L5 nesigurnog tumačenja, dok na lokalitetu L6 zagađenje je životinjskog porijekla.

Kao mikrobiološki indikatori kvaliteta vode, u okviru ovog istraživanja, analizirane su brojnosti ukupnih koliformnih bakterija u 100 ml vode, *Escherichia coli* u 100 ml vode i fekalnih streptokoka u 100 ml vode. Rezultati pokazuju da je koncentracija ukupnih koliformnih bakterija dosta visoka, i na određenim lokalitetima iznad dozvoljene granice (Graf 17). Međutim, na lokalitetu L1 koji se nalazi na samom izvoru rijeke Bune izmjerena je najmanja koncentracija ukupnih koliformnih bakterija (320/100 ml). Ovaj rezultat pripada I klasi vodotoka, što je donekle očekivano, s obzirom da su uzorci uzeti na

samom izvoru rijeke. Međutim, postojala je sumnja da bi koncentracija na ovom lokalitetu mogla biti veća zbog ugostiteljskih objekata koji se nalaze u neposrednoj blizini lokaliteta. Na drugom lokalitetu na rijeci Buni, koji se nalazi nizvodno od ribnjaka, primjećuje se povećanje koncentracije ukupnih koliformnih bakterija (900/100 ml). Ovo povećanje se može objasniti blizinom ribnjaka. Višak hrane, koje ribe ne uspiju da konzumiraju, izlazi preko granica ribnjaka, prelivajući se u vodotok rijeke, što čini pogodno tlo za razvoj kolonija raznih mikroorganizama. Također, uginula riba, je podloga za razvoj mikroorganizama koji se nakupljaju na području nizvodno od ribnjaka, a koji je odabran kao lokalitet za uzorkovanje. Na sljedeća dva lokaliteta koncentracija ukupnih koliforma je dosta veća i pripada II klasi vodotoka. Na L3 (Bunica) njihova koncentracija iznosi 1200/100 ml, a na L4 (Bunski kanali) 1400/100 ml. Lokalitet 3 je dosta interesantan iz razloga što na ovom dijelu vodotoka rijeke Bune u toku ljetnih mjeseci se okuplja na hiljade kupaca. Maksimalno prihvatljive koncentracije koliforma u prirodnim vodama, kao što su rijeke je 2000 br/100 ml. Vrijednosti iznad ovih granica mogu uzrokovati infekcije. Prema rezultatima koliformnih bakterija primjećuje se njihovo povećanje koncentracije nizvodno. Prema ovom mikrobiološkom parametru vodotok rijeke Bune pripada II klasi kvaliteta vodotoka.

Na preostala dva lokaliteta, na rijeci Neretvi, vrijednosti su također različite (Graf 18). Na L5 (Boškovi kanali) rezultati analize pokazuju 700/100 ml, što predstavlja nešto malo iznad granice I klase

vodotoka, koja iznosi 500 /100 ml. Lokalitet 6 (Baćevići) na osnovu rezultata ima najveću koncentraciju ukupnih koliformnih bakterija (1800/100 ml) i pripada II klasi vodotoka.

Vrijednosti koncentracije i drugog mikrobiološkog parametra, *Escherichia coli*, su također dosta visoke (Graf 19). Na samom izvoru zabilježena je njihova najveća koncentracija (210/100 ml), prvenstveno zahvaljujući moštvu ugostiteljskih objekata koji se nalaze na ovom lokalitetu. Na osnovu ovog podatka, može se posumnjati, da se iz pomenutih ugostiteljskih objekata ispuštaju otpadne vode u riječno korito. U prilog tome govori i rezultat korelacijskog odnosa FK/FS koji iznosi 21 (Graf 23). Dosta visok rezultat ukazuje da je fekalno zagađenje na ovom području ljudskog porijekla. Na lokalitetima, na srednjem i donjem toku rijeke Bune, primjećeno je smanjanje koncentracije *E. coli*, u odnosu na prvi lokalitet. Na L2 (ispod ribnjaka) njena koncentracija iznosi 60/100 ml. Također, prema koncentraciji i ovog mikrobiološkog parametra, gornji tok rijeke Bune je opterećeniji od donjeg. Na samom ušću L4 zabilježena je najmanja koncentracija *E. coli* 50/100 ml. Naglo povećanje koncentracije primjećuje se na lokalitetima uzvodno i nizvodno od ušća, koji se nalaze na rijeci Neretvi. Na lokalitetu L5 (Boškovi kanali) koncentracija *E. coli* iznosi 190/100 ml, dok na L6 (Baćevići) iznosi 150/100 ml. Taj efekat povećanja se može objasniti blizinom stambenih objekata lokalnog stanovništva lokalitetima koji su izabrani za istraživanje.

Ukupna koncentracija *E. coli* i fekalnih streptokoka je gotovo identična. Međutim, postoji drastična razlika u njihovoj distribuciji na lokalitetima. Koncentracija fekalnih streptokoka je zastupljena u poprilično malim količinama na gotovo svim lokalitetima na rijeci Buni (Graf 21). Nagli porast koncentracije zabilježen je na lokalitetima na rijeci Neretvi, pogotovo na lokalitetu Baćevića. Najveća koncentracija na rijeci Buni, zabilježana je na L2 (40/100 ml) što se može objasniti neposrednom blizinom ribnjaka. Poznato je da životinjski feces sadrži 1,4 puta više fekalnih streptokoka od fekalnih koliforma. Na ostalim lokalitetima, na rijeci Buni, maksimalne vrijednosti iznose 10/100 ml i to zabilježene na L1 i L4. Primjetno je povećanje koncentracije fekalnih streptokoka nizvodno od ušća na lokalitetu Boškovih kanala. Međutim, drastično povećanje njihove koncentracije je na lokalitetu Baćevića, koje iznosi 580/100 ml (Graf 22). Na ovom području nalazi se mnoštvo parcela obradive površine kao i livada koje se koriste za ispašu stoke. Fecesi tih životinja prilikom kišnih perioda se razgrađuju i na taj način indirekto završavaju u rijeci. U prilog tome govori i rezultat korelacijskog odnosa FK/FS (Graf 24) koji iznosi 0,26. Rezultat pokazuje da je na ovom lokalitetu zagađenje životinjskog porijekla.

Rezultati nedavnog istraživanja Agencije za vodno područje Jadranskog mora, također su pokazali visoke koncentracije crijevnih enterokoka na području Baćevića. Njihovi rezultati pokazuju koncentraciju od 1900/100 ml. Prema smjernicama EU o vodama za kupanje, dobra ocjena pojedinačnog uzorka daje se ako su vrijednosti

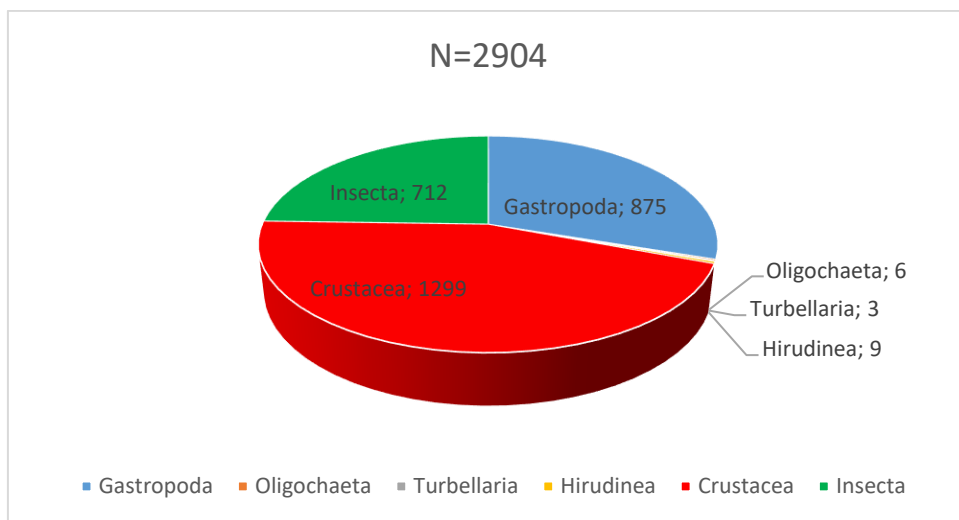
crijevnih enterokoka ispod 400/100 ml i *Escherichia coli* ispod 1000/100 ml. Dakle, i prema našim analizama, odabrani lokalitet na području Baćevića nije preporučljiv za kupanje. Ostali lokaliteti nisu opasni za razvoj infekcije prilikom kupanja. Također, na osnovu analiza koncentracije *E. coli*, ne prelaze granicu koja bi bila opasna za kupaće.

Na osnovu korelacijskog odnosa fekalnih koliforma i fekalnih strepokoka koji su prikazani u (Graf 24) može se primjetiti da je na gotovo svim lokalitetima rijeke Bune fekalno zagađenje ljudskog porijekla. Dominantan rezultat ovog odnosa pokazao se na samom izvoru Bune, kao i razblaženje ove vrste zagađenja idući nizvodno. Najbliži rezultat koji bi odgovarao životinjskom porijeklu zabilježen je na L2 (ispod ribnjaka). Međutim, rezultat na ovom području iznosi 1,5, što se tumači kao siva zona, ali je dosta niže u odnosu na druge lokalitete. Objašnjenje može biti i blizina ribnjaka ovom lokalitetu. Korelacijski odnos FK/FS na rijeci Neretvi (Graf 25) pokazao je dosta niže rezultate. Tako da je na L6 (Baćevići) prema ovom odnosu zagađenje životinjskog porijekla, a na L5 (Boškovi kanali) nesigurnog tumačenja.

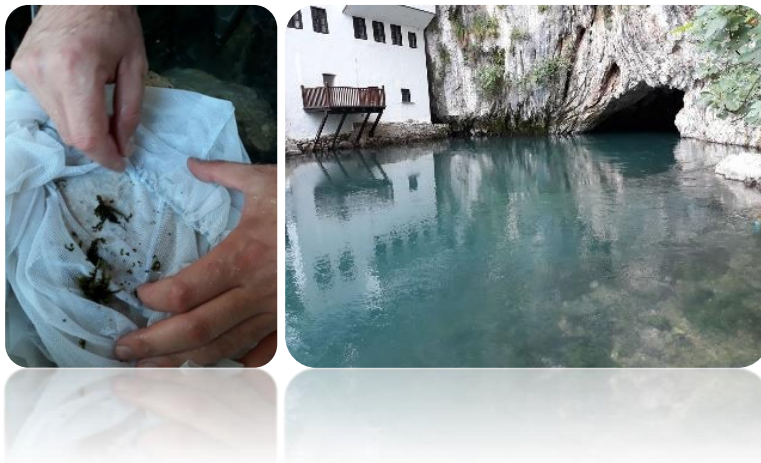
4.3. Analiza bioloških parametara: zoobentos

Uzorkovanje makroinvertebrata izvršeno je na četiri lokaliteta na vodotoku rijeke Bune. Analiziranjem, u laboratoriji obrađenih uzoraka makroinvertebrata, utvrđeno je da je prilikom uzorkovanja prikupljeno

ukupno 2904 jedinke na svim lokalitetima. U (Tabeli 7) napravljen je ukupni pregled svih uzorkovanih vrsta zabilježenih na vodotoku rijeke Bune. Većina jedinki identifikovana je do nivoa vrste. Ako se analizira raspodjela vrsta prema taksonomskim grupama uočava se prisustvo šest bioindikatorskih grupa: Gastropoda, Oligochaeta, Turbellaria, Hirudinea, Crustacea i Insecta (Graf 25). Unutar grupe Insecta prisuto je šest redova Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Odonata, Coleoptera i Diptera.



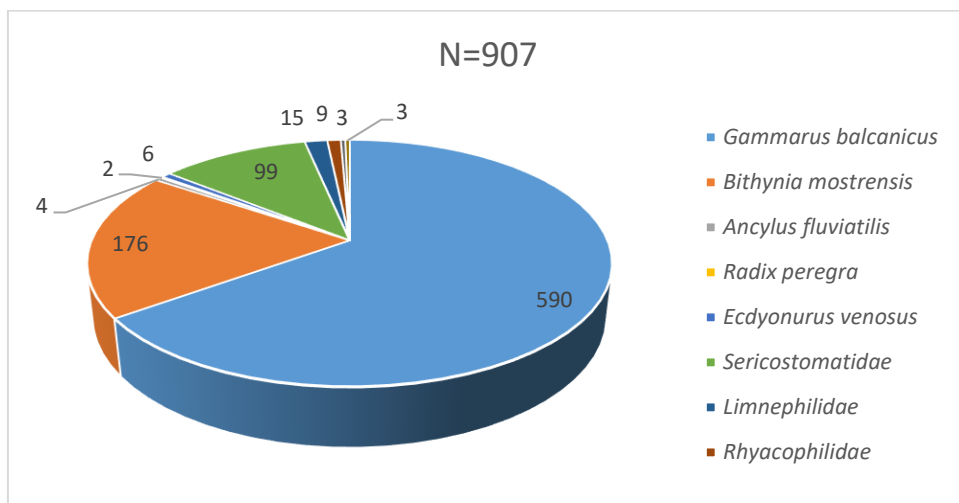
Graf 25. Taksoni uzorkovani na istraživačkom području



Slika 6 & 7. Uzorkovanje na Vrelo Bune

Analizom pojedinačnih lokaliteta uočava se da je na lokalitetu L2 (nizvodno od ribnjaka) zabilježeno prisustvo najviše jedinki, ukupno 907. Od ukupnog broja jedinki na ovom lokalitetu iste su raspoređene u 10 taksona (Graf 26). Najveću abundancu imaju Crustacea sa familijom Gammaridae i vrstom *Gammarus balcanicus*, 590 jedinki (65% uzorka). Druga skupina po brojnosti su Gastropodi sa ukupno tri vrste iz tri familije, od kojih dominira familija Bithynidae sa vrstom *Bithynia mostrensis* (176 jedinki), zatim familija Planorbidae sa vrstom *Ancylus fluviatilis* (4) i familija Limnaelidae sa vrstom *Radix peregra* (2). Taksonomska skupina Insecta zastupljena je sa dva reda Ephemeroptera i Trichoptera. Ephemeroptere su zastupljene samo sa jednom vrstom *Ecdyonurus venosus* (6 jedinki) iz familije Ephemeridae, dok su Trichoptere zastupljene sa vrstama iz tri familije od kojih je najbrojnija familija Sericostomatidae (99), zatim Limnephilidae (15) i Rhiacophilidae (9). Taksonomska skupina Hirudinea zastupljena je sa

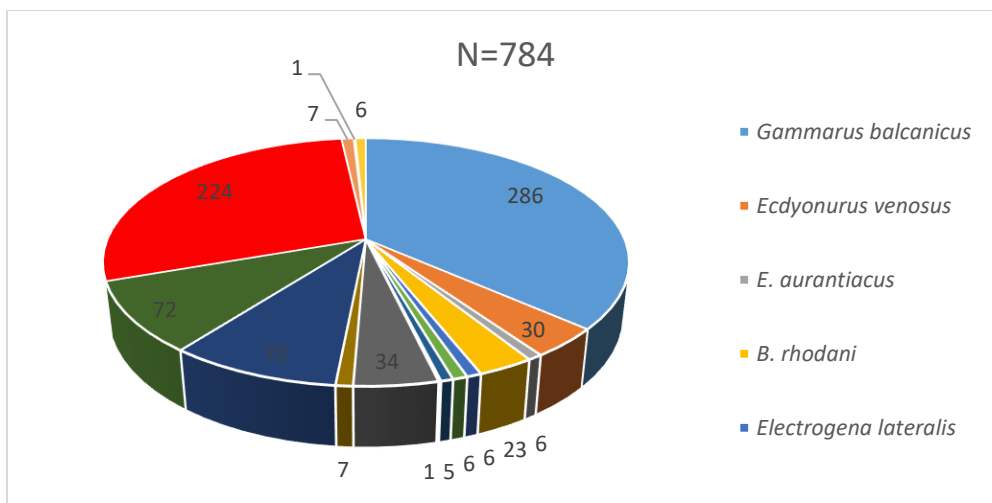
vrstom *Erpobdella octoculata* (3 jedinke) koja pripada familiji Erpobdellidae. Od Turbellaria zabilježeno je prisustvo vrste *Dendrocoelum sp.* (3 jedinke) iz familije Dendrocoelidae.



Graf 26. Distribucija taksona uzorkovanih na L2

Drugi lokalitet po brojnosti je L3 (Bunica) sa ukupno 784 jedinke, koje su raspoređene u 16 taksona (Graf 27). Prema tome ovaj lokalitet je najraznovrsniji sa vrstama u uzorku. Također, i na ovom lokalitetu najveću abudancu imaju Crustacea sa vrstom *Gammarus balcanicus* (286 jedinki) iz familije Gammaridae. Iz taksonomske skupine Insecta zastupljeni su redovi: Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera i Odonata. Ephemeroptere su zastupljene sa sedam vrsta koje su raspoređene u pet familija: Heptagenidae, Ephemeridae, Ephemeriliidae, Baetidae i Leptophlebiidae. Najviše jedinki pripada rodu *Ecdyonurus* (Ephemeridae) 36 jedinki. Iz pomenutog roda prisutne

su dvije vrste *Ecdyonurus venosus* (30 jedinki) i *E. aurantiacus* (6). Sljedeći po brojnosti je rod *Baetis* (Baetidae) sa vrstom *B. rhodani* (23). Sa po šest jedinki prisutne su vrste *Electrogena lateralis* (Heptageniidae) i *Serratella ignita* (Ephemeriliidae). *Ephemera danica* (Ephemeridae) zastupljena je sa 5 jedinki. Familija Leptophlebiidae zastupljena je sa jednom jedinkom vrste *Paraleptophlebia submarginata*. Iz reda Plecoptera prisutne su dvije familije: Perlidae sa vrstom *Perla marginata* (34 jedinke) i Perlodidae sa vrstom *Isoperla grammatica* (7). Red Trichoptera je zastupljen sa predstavnicima dvije familije i to Limnephilidae (70) i Sericostomatidae (72). Iz taksonomska skupine Gastropoda prisutne su dvije familije i to Bithynidae sa vrstom *Bithynia mostarensis* (224) i Neritidae sa vrstom *Theodoxus fluviatilis* (7). Grupa Odonata je zastupljena samo sa jednom vrstom i jednom prisutnom jedinkom familije Calopterygidae, *Calopteryx splendens*.



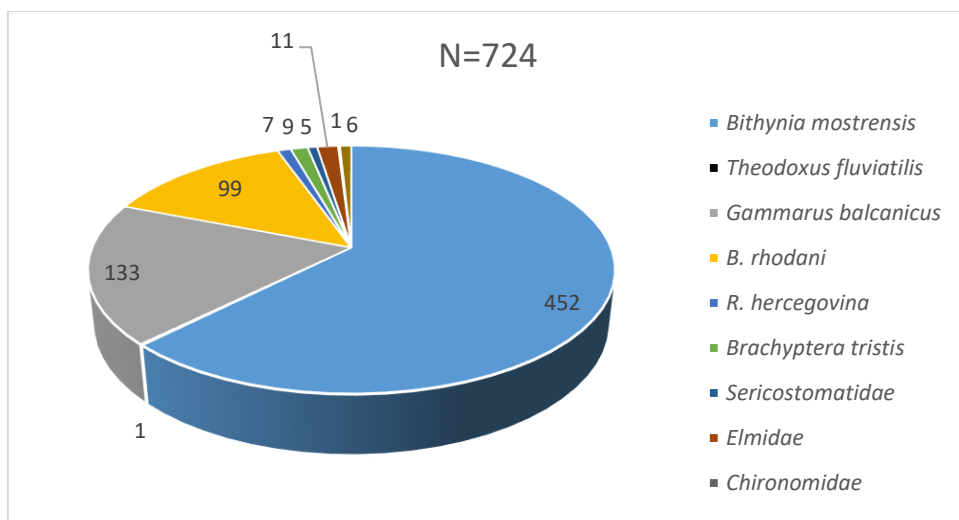
Graf 27. Distribucija taksona uzorkovanih na L3



Slika 8. Uzorak makrozoobentosa

Treći lokalitet po brojnosti jedinki u uzorku je L1 (izvor), sa ukupno 724 jedinke, koje su raspoređene u 10 taksona (Graf 28). Za razliku od prethodna dva lokaliteta (L2 i L3) gdje je najveću abudancu imala vrsta *Gammarus balcanicus*, na ovom lokalitetu najzastupljeniji su Gastropodi i to sa dominantnom vrstom *Bithynia mostarensis* iz familije Bithyniidae (452 jedinke ili 62,4% uzorka). Drugi predstavnik Gastropoda na ovom lokalitetu je familija Neritidae sa vrstom *Theodoxus fluviatilis* koja je zastupljena sa jednom jedinkom. Taksonomska skupina Crustacea nalazi se na drugom mjestu, zastupljena sa 133 jedinke. Sve jedinke pripadaju porodici Gammaridae i vrsti *Gammarus balcanicus*. Grupa Insecta na ovom lokalitetu obuhvata

132 jedinke raspoređene u sljedeće redove: Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Coleoptera i Diptera. Red Ephemeroptera prisutan je sa dvije familije Baetidae i Heptageniidae. Baetidae su zasupljene sa rodom *Baetis* i vrstom *B. rhodani* (99 jedniki), dok su Heptageniidae zastupljene sa rodom *Rhithrogena* i vrstom *R. hercegovina* (7 jedniki). Red Plecoptera zastupljen je sa jednom vrstom iz familije Taeniopterygidae, *Brachyptera tristis* (9 jedinki). Iz reda Trichoptera prisutna je familija Sericostomatidae (5 jedinki). Red Coleoptera sa predstavnicima familije Elmidae (11 jedinki) i red Diptera sa jednim predstavnikom familije Chironomidae. Grupa Hirudinea zastupljena je sa 6 jedinki iz familije Erpobdelidae koje pripadaju vrsti *Erpobdela octoculata*.



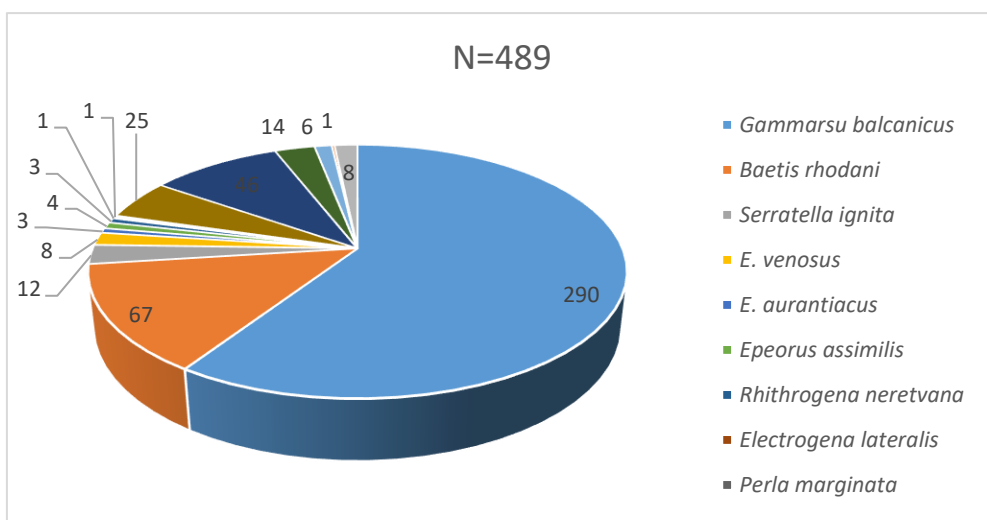
Graf 28. Distribucija taksona uzorkovanih na L1



Slike. 9, 10 & 11. Terenski rad na Buni

Četvrti lokalitet po brojnosti jedinki u uzorku jeste ujedno i zadnji lokalitet na vodotoku rijeke Bune L4 (Bunski kanali), sa ukupno 489 jedinki. Međutim, iako je na ovom lokalitetu uzorkovano najmanje jedinki, ovaj lokalitet je jedan od najraznovrsniji po brojnosti taksona, tj. drugi po toj kategoriji. Jedinke na ovom lokalitetu njih 489 raspoređene su u 15 taksona (Graf 29). Najveću abundancu imaju Crustacea sa familijom Gammaridae i vrstom *Gammarus balcanicus* (290 jedinki ili 59% uzorka). Skupina Insecta broji ukupno 190 jedinki raspoređenih u tri reda: Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera. Najbrojnija vrsta Ephemeroptera je *Baetis rhodani* iz familije Baetidae sa ukupno 67 jedinki, zatim slijedi *Serratella ignita* iz familije Ephemeriliidae sa 12 jedinki. Rod *Ecdyonurus* iz familije Ephemeridae zastupljen je sa dvije vrste *E. venosus* (8) i *E. aurantiacus* (3). Familija

Heptagenidae zasupljena je sa vrstama *Epeorus assimilis* (4), *Rhithrogena neretvana* (3) i *Electrogena lateralis* (1). Red Plecoptera zastupljen je sa dvije familije Perlidae i Perlodidae. Iz familije Perlidae prisutna je *Perla marginata* jedna jedinka, a predstavnik familije Perlodidae je vrsta *Isoperla grammatica* (25 jedinki). Red Trichoptera obuhvata predstavnike tri familije i to Sericostomatidae (46), Hydropsychidae (14) i Glossosomatidae (6).



Graf 29. Distribucija taksona uzorkovanih na L4

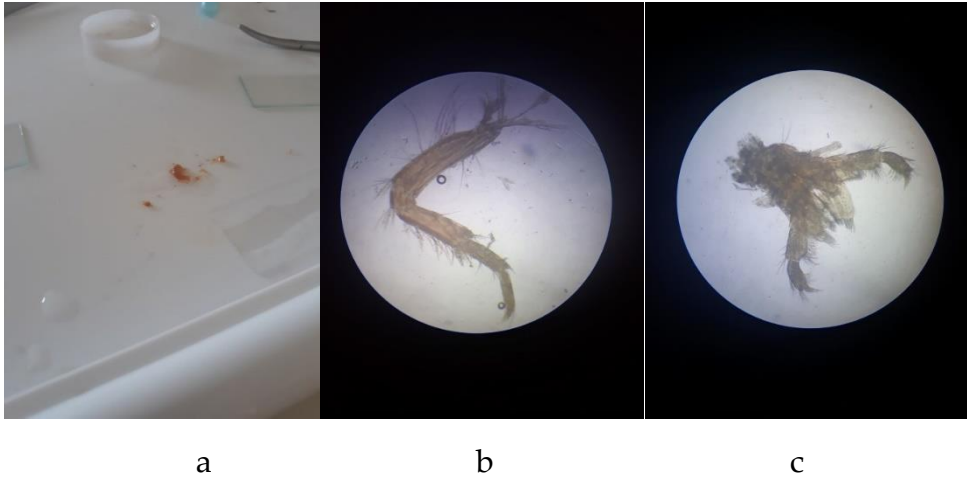


Slike 12, 13 & 14. Terenski rad na Buni

Tabela 7. Kvalitativno-kvantitativni sastav zoobentosa rijeke Bune

Zoobentos	L1		L2		L3		L4	
	Br.	%	Br.	%	Br.	%	Br.	%
GASTROPODA								
<i>Ancylus fluviatilis</i>			4	0,4%			1	0,2%
<i>Theodoxus fluviatilis</i>	1	0,14%			7	0,9%		
<i>Bithynia mostarensis</i>	452	62,4%	176	19,4%	224	28,6%	8	1,6%
<i>Radix peregra</i>			2	0,2%				
OLIGOCHAETA								
					6	0,8%		
TURBELLARIA								
<i>Dendrocoelum sp.</i>			3	0,3%				
HIRUDINEA								
<i>Erpobdella octoculata</i>	6	0,8%	3	0,3%				
CRUSTACEA								
<i>Gammarus balcanicus</i>	133	18,4%	590	65%	286	36,5%	290	59,3%
INSECTA								
Ephemeroptera								
<i>Electrogena lateralis</i>					6	0,8%	1	0,2%
<i>Ecdyonurus venosus</i>			6	0,7%	30	3,8%	8	1,6%
<i>E. aurantiacus</i>					6	0,8%	3	0,6%
<i>Rhithrogena hercegovina</i>	7	1%						
<i>Rhithrogena neretvana</i>							3	0,6%
<i>Ephemera danica</i>					5	0,6%		
<i>Epeorus assimilis</i>							4	0,8%
<i>Serratealla ignita</i>					6	0,8%	12	2,4%

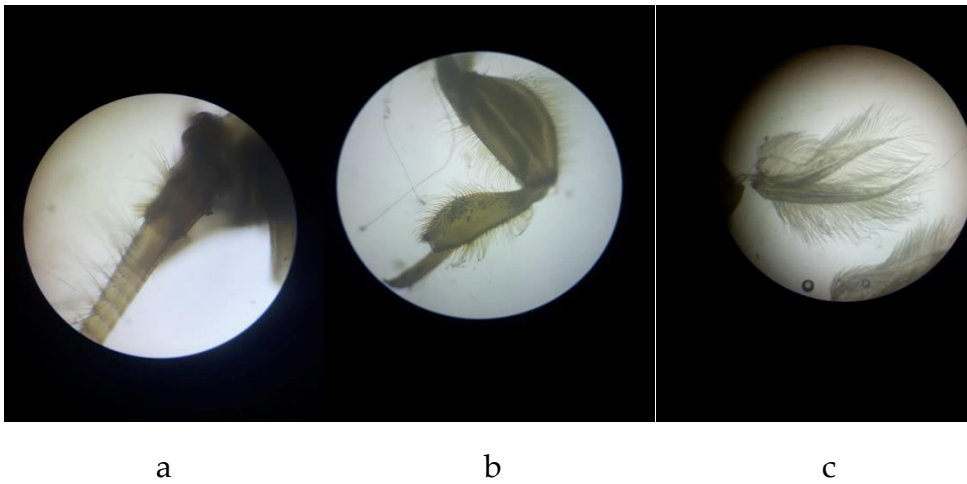
<i>Baetis rhodani</i>	99	13,7%			23	2,9%	67	13,7%
<i>Paraleptophlebia submarginata</i>					1	0,13%		
Plecoptera								
<i>Brachyptera tristis</i>	9	1,3%						
<i>Perla marginata</i>					34	4,3%	1	0,2%
<i>Isoperla grammatica</i>					7	0,9%	25	5,1%
Trichoptera								
Limnephilidae			15	1,6%	70	8,9%		
Sericostomatidae	5	0,7%	99	10,9%	72	9,2%	46	9,4%
Glossosomatidae							6	1,2%
Rhyacophilidae			9	1%				
Hydropsychidae							14	2,9%
Odonata								
<i>Calopteryx splendens</i>					1	0,1%		
Coleoptera								
Elmidae	11	1,5%						
Diptera								
Chironomidae	1	0,14%						
Σ broj jedinki	724	100%	907	100%	784	100%	489	100%
Σ broj taksona	10		10		16		15	



Slika 15. *Gammarus balcanicus*

(a – *G. balcanicus*; b – prednji extremitet (100x); c – usni aparat (100x))

(photo E. Hodžić)



Slika 16. *Ephemera danica*

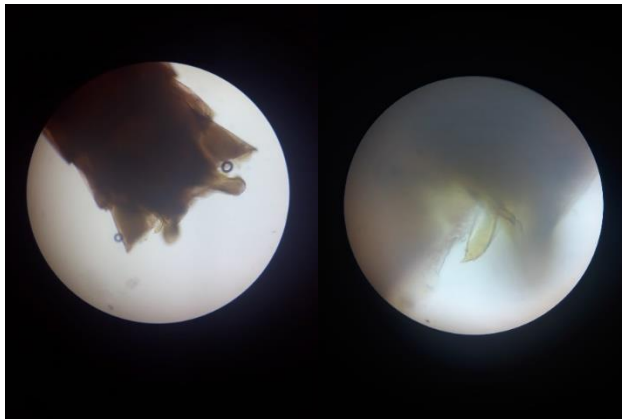
(a – baza antene (100x; b – extremitet (100x); c – branhije (100x))

(photo E. Hodžić)

a – *I. grammatica*b – *P. marginata*

Slika 17. Način determinacije pojedinih Plecoptera

(a – maxila (100x); b – usni aparat (100x) (photo E. Hodžić)



a

b

Slika 18. *Rhithrogena hercegovina*

(a – tintilator (40x); b – tintilator (100x))

(photo E. Hodžić)



Slike. 19, 20 & 21. Laboratorijska determinacija uzoraka

4.3.1. BMWP index

Nakon što je izvršena identifikacija svih jedinki makroinvertebrata, za većinu njih do nivoa vrste, pristupilo se izračunavanju BMWP indexa. Način izračunavanja BMWP opisan je u

poglavlju Materijal i metode. Uzorkovane jedinke, njih 2904, razvrstane su na 24 taksonomske familije. Nakog toga, familijama su dodjeljeni odgovarajući BMWP bodovi (Tabela 8).

Tabela 8. BMWP index

Zoobentos	BMWP index
GASTROPODA	
Planorbidae	3
Neritidae	6
Bithyniidae	3
Limnaeidae	3
OLIGOCHETA	1
TURBELARIA	
Dendrocoelidae	5
HIRUDINEA	
Erpobdellidae	3
CRUSTACEA	
Gammaridae	6
INSECTA	
Ephemeroptera	
Heptageniidae	10
Ephemeridae	10
Ephemerellidae	7
Baetidae	4
Leptophlebiidae	10
Plecoptera	
Taeniopterygidae	10
Perlidae	10
Perlodidae	10
Trichoptera	
Limnephilidae	7
Sericostomatidae	10

Glossosomatidae	8
Rhyacophilidae	7
Hydropsychidae	5
Odonata	
Calopterygidae	8
Coleoptera	
Elmidae	5
Diptera	
Chironomidae	2

Tabela 9. BMWP index na pojedinim lokalitetima

Lokaliteti	BMWP index
L1 – izvor	59
L2 – ispod ribnjaka	57
L3 – Bunica	102
L4 – ušće (Bunski kanali)	76

Tabela 8 pokazuje veliku raznovrsnost jedinki na istraživanom vodotoku. Također, moguće je primjetiti i veliku zastupljenost vrsta iz skupine Insecta koje pripadaju familijama sa maksimalnim brojem BMWP bodova. Prije svega, to se odnosi na familije iz redova Plecoptera, Ephemeroptera i Trichoptera. Familije iz ova tri reda nose jako velike BMWP bodove, većina njih maksimalna broj bodova. Najmanji broj bodova nose Oligochaeta, 1 BMWP bod. U (Tabeli 9) predstavljeni su rezultati BMWP indexa na pojedinim lokalitetima. Moguće je primjetiti razlike u kvalitetu vode, na osnovu dobivenih rezultata BMWP indexa. Uvidom u (Tabelu 4) može se uočiti da lokaliteti u gornjem dijelu vodotoka rijeke Bune (L1 i L2) imaju nešto slabiji ekološki status tj. umjeren, za razliku od lokaliteta na srednjem i

donjem toku. Lokalitet 3 (Bunica) prema izračunatim vrijednostima ima jako visok ekološki status, dok L4 (ušće) ima dobar ekološki status.

Generalno se može konstatovati da su uzorci vrlo raznovrsni i različiti, sa dosta vrsta koje nose maksimalne ekološke bodove kvaliteta vodotoka. Uzorkovano je ukupno 2904 jedinke koje su raspoređene u 24 taksonomske familije. Većina jedinki identifikovana je do nivoa vrste. Poznato je da raznovrsnost faune dna zavisi od temperature i hemijskih osobina vode. Također i brzina strujanja vode je jedan od značajnijih faktora koji utiču na strukturu zoobentosa. Vidljive su razlike u raznolikosti i broju jedinki po lokalitetima uzorkovanja. Temperatura vode je važan faktor koji djeluje na metabolizam, rast, reprodukciju i distribuciju zoobentosa. Generalno se može reći da je temperatura na svim lokalitetima ujednačena, praćena blagim povećanjem nizvodno. Elektroprovodljivost, kao i drugi fizički parametri, čije izmjerene vrijednosti pripadaju vodi prvog kvaliteta. Otopljeni gasovi imaju veliki značaj za rast i razvoj zoobentosa. Na njihovu koncentraciju utiče mnogo faktora, koji su u datom trenutku rezultat složenih interakcijskih procesa u vodi. Analize dobijenih rezultata koncentracije otopljenog kisika pokazuju suficit na svim istraživanim lokalitetima. Zasićenost kisikom je također dosta velika, maksimalna vrijednost je izmjerena na L4 (130,41%) a najmanja na L1 (108,42%).

Gastropoda (puževi) su evidentirani sa četiri familije: Planorbidae, Neritidae, Bithynidae i Limnaeidae. Iz porodice

Planorbidae uzorkovana je jedna vrsta *Ancylus fluviatilis* i to na L2 četiri jednike i L1 jedna jedinka. Predstavnik porodice Neritidae je *Theodoxus fluviatilis*, također uzorkovan na dva lokaliteta, L1 jedna jedinka i L3 sedam jedinki. Indikatorska vrijednost ove familije je 6, što govori da se radi o odličnom indikatoru kvaliteta vode. Familija Bithynidae sa vrstom *Bithynia mostarensis* je najbrojnija sa ukupno 860 jedinki koje su uzorkovane na svim lokalitetima. Međutim, njihova najveća zastupljenost je na L1 sa 452 jedinke (52,55%), a najmanje ih je zabilježeno na L4, osam jedinki. Posljednja familija puževa koja je uzorkovana je familija Limnaeidae sa vrstom *Radix peregra*. Jednike ove vrste (dvije), uzorkovane su na L2.

Sljedeća indikatorska grupa su Oligochaeta. Zbog nedostatka elektronskog mikroskopa i ključeva za detreminaciju šest jedinki pronađenih na L3, nisu mogle biti detreminisane do nižeg taksonomskog nivoa. Uz dostupnu opremu i ključeve moglo se odrediti da pomenute jednike pripadaju grupi Oligochaeta. Međutim, ova indikatorska grupa nosi minimalan broj ekoloških bodova, tako da se može reći da je loš indikator kvaliteta vode. Turbellaria su zastupljene sa vrstom *Dendrocoelum sp.* koja pripada familiji Dendrocoelidae. Pronađene su tri jednike na L2. One nose 5 indikatorskih bodova, pa se može reći da su dobar indikator kvaliteta vodotoka. Pijavice (Hirudinea) su u uzorcima zoobentosa pronađene na gornjem dijelu vodotoka na lokalitetima L1 i L2. Zastupljene su sa jednom vrstom iz porodice Erpobdellidae, *Erpobdella octoculata*. Na L1 uzorkovano je šest

jedniki, a na L2 tri jednike. Općenito pijavice naseljavaju lokalitete sa dosta organskog otpada koji koriste kao glavni izvor hrane. Zbog toga nose male indikatorske bodove (3 boda), i dosta su slab indikator kvaliteta vodotoka.

Grupa račića (Crustacea) zasupljena je sa familijom Gammaridae i jednom vrstom *Gammarus balcanicus*. Uzorkovano je ukupno 1299 jedniki, sa distribucijom na svim lokalitetima. Skoro polovina jedninki 590 (45,4%) uzrokovano je na L2. Račići se pojavljuju u čistim vodama većeg stepena kvaliteta. Prema istraživanjima (Moog, 1995) račići iz roda *Gammarus*, naseljavaju pješčani sediment i čistu vodu sa dužim i umjerenim protokom. Limitirajući faktor kod distribucije rakušaca Gammaridae su rastvoreni kisk, nitriti i rektivni fosfor. S obzirom na visoku koncentraciju otopljenog kiskika na svim lokalitetima pokazuje se da vole čistu i kisikom zasićenu vodu. Na osnovu indikatorskih bodova 6, koje nosi familija Gammaridae, može se reći da su dobar indikator kvaliteta vodotoka.

Sljedeća indikatorska klasa su Insecta, koja je predstavljena sa šest redova: Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Odonata, Coleoptera i Diptera.

Vodeni cvjetovi (Ephemeroptera) su evidentirane sa pet familija: Heptageniidae, Ephemeridae, Ephemerillidae, Baetidae i Leptophlebidae. Iz familije Heptagenidae prisutne su četiri vrste. Najzastupljenija vrsta iz ove familije je *Electrogena lateralis* sa sedam jedinki, koje su pronađene na L3 (6) i na L1 jedna jednika. Rod

Rhithrogena zastupljen je sa dvije vrste *R. hercegovina* (7 jedniki) i *R. neretvana* (3 jednike). Za pomenuti rod u literaturi se navodi (Tomka i Rasch, 1993), da većina njegovih vrsta naseljava Alpe. U BiH opisana su tri roda na vodotoku Neretve. Indikatorska vrijednost familije Heptagenidae 10, pokazuje da se radi o odličnom indikatoru, a vrste ovog roda naseljavaju čiste vode. Ove vrste, žive u tokovima sa dosta podvodne vegetacije, zbog čega se označavaju kao detritivi, te spadaju u grupu slabih plivača, hrane se biljem i algama, dok su neki čak i predatori (Trožić-Borovac, 2002). Tanasijević je u radu koji je objavljen 1985. godine otkrila dvije nove vrste ovog roda, *R. hercegovina* i *R. neretvana*. Sve jednike vrste *R. hercegovina* pronađene su na L1, što je interesantan podatak. Tanasijević je tada ovu vrstu pronašla na istom lokalitetu, i poslije toga nije zabilježen niti jedan podatak o pronalasku ove vrste. Dakle, *R. hercegovina* je pronađena na izvoru Bune poslije dužeg vremenskog perioda. Također, sve jedinke *R. neretvana* pronađene su na jednom lokalitetu i to na području Bunskih kanala. Sljedeća vrsta iz ove familije je *Epeorus assimilis* uzorkovana je na L4 sa četiri jedinke. Familija Ephemeridae zastupljena je sa tri vrste iz dva roda *Ecdyonurus* i *Ephemera*. Vrsta *Ecdyonurus venosus* je najbrojnija sa 44 jedinke raspoređene na L2, L3 i L4. Najbrojnija je na L3 sa 30 jedinki. Sljedeća vrsta iz ovog roda je *E. aurantiacus*, prisutna je na L3 sa šest jedinki i na L4 sa tri jedinke. *Ephemera danica* uzorkovana je samo na L3 sa pet jedinki. Generalno sve vrste iz familije Ephemeridae su dobri indikatori kvaliteta vodotoka, što i govori indikatorska vrijednost 10.

Familija Ephemerillidae prisutna je sa vrstom *Serratella ignita*, koja je uzorkovana na lokalitetima L3 šest jedinki i L4 12 jedinki. Dobar je indikator kvaliteta vodotoka s obzirom na indikatorsku vrijednost 7. Familija Leptophlebiidae prisutna je sa jednom vrstom *Paraleptophlebia submarginata* na lokalitetu L3. Vrsta *Baetis rhodani*, iz familije Baetidae zastupljena je sa 189 jedinki. Jedinke su raspoređene na lokalitetima L1, L3 i L4. Na lokalitetu L1 uzrokovano je više od 52% jedinki ove vrste. *B. rhodani* je jedina vrsta vodenih cvjetova koja se javlja u vodama na prelazu iz β -mesosaprobne u α -mesosaprobnu vodu. Za ovu vrstu može se reći da je slab indikator kvaliteta vode jer živi pretežno u vodama sa dosta organskog otpada i nisu pouzdani indikatori zbog široke ekološke valence u odnosu na većinu ekoloških faktora.

Plecoptera (kamenjarke) evidentirane su sa tri familije: Taeniopterygidae, Perlidae i Perlodidae. Osjetljivi su na zagađenje vode i njihovo prisustvo garantuje čistoću vode. Zahtjevaju vodu zasićenu kisikom da bi preživjeli. Dobri su indikatori kvaliteta vodotoka. Služe kao izvor hrane za ribe planinskih potoka. Familija Taeniopterygidae zastupljena je na lokalitetu L1 sa vrstom *Brachyptera tristis*. Uzorkovano je devet jedinki. Najbrojnija familija kamenjarki na vodotoku rijeke Bune je familija Perlidae, sa vrstom *Perla marginata*. Uzorkovano je ukupno 35 jedinki, zastupljenih u donjem toku rijeke, na lokalitetima L3 (34 jedinke) i L4 jedna jedinka. *P. marginata* je dobar indikator kvaliteta vode, a u prilog tome govori i indikatorska vrijednost 10. *Isoperla grammatica* kao predstavnik familije Perlodidae je

također dobar indikator kvaliteta vodotoka. Indikatorska vrijednost familije je 10. *I. grammatica* kao i *P. marginata* uzorkovana je na donjem dijelu vodotoka rijeke Bune, na L3 (7 jedinki), a na L4 (25 jedinki).

Red Trichoptera evidentiran je sa pet familija. Zbog nedostataka ključeva za determinaciju Trichoptera su determinisane do nivoa familije. Familija Limnephilidae prisutna je na dva lokaliteta i to na L2 15 jedinki i L3 70 jedinki. Indikatorska vrijednost familije je 7, što govori da je dosta dobar indikator kvaliteta vodotoka. Familija Sericostomatidae je najbrojnija sa 222 jedinice koje su prisutne na svim lokalitetima. Odličan je indikator kvaliteta vodotoka sa indikatorskom vrijednosti 10. Glossosomatidae prisutne su u donjem toku rijeke i to na lokalitetu Bunskih kanala sa šest jedinki. Njihova indikatorska vrijednost je 8. Rhyacophilidae su uzorkovane samo na lokalitetu L2 sa devet jedinki. Njihova indikatorska vrijednost je 7. Hydropsichidae prisutne su u donjem toku rijeke na području Bunskih kanala sa 14 jedinki. Dobar su indikator kvaliteta vodotoka sa indikatorskom vrijednosti od 5 bodova.

Red Odonata prisutan je sa familijom Calopterygidae i vrstom *Calopteryx splendens*. Jedna jedinka ove vrste pronađena je na lokalitetu L3. Odličan je indikator kvaliteta vodotoka, a u prilog tome govori i indikatorska vrijednost 8.

Diptera su velika skupina insekata, koje je veoma teško determinisati do nižih sistematskih kategorija, pa je determinacija ovih jedinki izvršena do nivoa familije. Uzorkovana je jedna jedinka koja

pripada porodici Chironomidae na izvoru rijeke Bune. Generalano Chironomidae su loši indikatori kvaliteta vodotoka sa indikatorskom vrijdnošću 2. Predstavnik Coleoptera je familija Elmidae sa 11 jedinki koje su uzorkovane na izvoru L4. One su dobar indikator kvaliteta vodotoka. Njihova indikatorska vrijednost je 5.

Analizirajući rezultate kvalitativno-kvantitativnog sastava makroinvertebrata može se reći da su uzorci veoma raznovrsni. Od ukupno 28 taksona koliko ih je uzorkovano, više od 2/3 (72%) pripada klasi Insecta. Poznato je da su pripadnici ove klase jako dobri indikatori kvaliteta vodotoka, prvenstveno vrste iz redova Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera. Sa aspekta brojnosti jedinki na lokalitetima može se reći da su prva tri lokaliteta poprilično ujednačena, s tim što je lokalitet L2 najbrojniji sa 907 jedinki. Na lokalitetu Bunskih kanala na samom ušću uzorkovano je najmanje jedinki, što se može objasniti i uslovima koji vladaju na ovom dijelu vodotoka. Bentički makroinvertebrati su vezani za dno vodotoka, pa njihov opstanak direktno zavisi od brzine protoka vode. Upravo na ovom lokalitetu brzina protoka vode je i najveća iz razloga što se ovaj lokalitet nalazi na samom ušću rijeke Bune u rijeku Neretvu. Ovaj lokalitet spada u jedan od najraznovrsnijih sa 15 taksona.

Analizom BMWP indexa kvaliteta vodotoka ustanovljeno je da lokaliteti L1 i L2, koji se nalaze na gornjem dijelu vodotoka rijeke Bune, imaju slabiji ekološki status za razliku od donjeg dijela vodotoka. Dobijeni rezultati sa ovih lokaliteta (L1 – 59 i L2 – 57) odgovaraju

statusu umjerenog ekološkog aspekta. Na lokalitetu L3 (Bunica) izračunat je najveći BMWP index (102), koji odgovara visokom ekološkom statusu. Na lokalitetu L4 (ušće) dobijeni rezultat iznosi (76), što pripada kategoriji dobrog ekološkog statusa. Može se konstatovati da se rezultati BMWP indexa poklapaju sa mikrobiološkim analizama vode na datim lokalitetima. Dakle, gornji tok rijeke Bune je opterećeniji zagađenjem za razliku od donjeg toka.

Interesantno je da su samo tri vrste iz tri različite grupe uzorkovane na svim lokalitetima. Prva od ovih vrste je *Bithynia mostarensis* iz grupe Gastropoda. Njena brojnost iznosi 860 jedinki. Najveća distribucija zabilježena je na lokaliteti L1 (452 jedinke), a najmanja na L4 (8 jedinki). Ova vrsta nije pouzdan i dobar indikator jer može živjeti u vodotocima koji su opterećeni organskim otpadom, što govori i njena indikatorska vrijednost 3. Sljedeća vrsta je ujedno i najbrojnija, pripada grupi račića *Gammarus balcanicus* iz porodice Gammaridae. Najviše ih je uzorkovano na L2 (590), a najmanje na izvoru L1 (133). Njihova brojnost iznosi 1299 jedinki. Za razliku od prethodne vrste, oni su jako dobri indikatori kvaliteta vodotoka. Treća vrsta pripada porodici Sericostomatide iz reda Trichoptera. Njena brojnost iznosi 222 jedinki i oni su odlični indikatori kvaliteta vodotoka. Najviše ih je uzorkovano na L2 (99), a najmanje na izvoru L1 (5 jedinki).

Ovo istraživanje izvršeno je u toku jedne sezone u proljetnom periodu, što bi trebalo poslužiti kao osnova za dalja istraživanja kvaliteta vodotoka ovog područja. Kao prijedlog za dalja istraživanja

trebalo bi uraditi ispitivanje vodotoka kroz više sezona. Međutim, da bi se izvršila korelacija kvaliteta vodotoka iz sezone u sezonu, uzorci se trebaju uzimati u proljetnom periodu.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata analize vode koji su obuhvatili fizičko-hemijske i mikrobiološke parametre, kao i kvalitativno-kvantitativni sastav zoobentosa vodotoka rijeke Bune, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- vrijednosti fizičko-hemijskih parametara na gotovo svim lokalitetima pripadaju I klasi kvaliteta vodotoka
- mikrobiološki parametri pokazuju nešto veće opterećenje vodotoka rijeke Bune u gornjem dijelu
- evidentirane su 2904 jedinke makroinvertebrata raspoređenih u 28 taksona i šest bioindikatorskih grupa: Gastropoda, Oligochaeta, Turbellaria, Hirudinea, Crustacea i Insecta.
- većina taksona, tačnije 21, pripada klasi Insecta
- najveći broj jedinki evidentiran je na L2 (907), a najraznovrsniji uzorak zabilježen je na L3 (16 taksona)
- BMWP index pokazao je dosta bolji ekološki status srednjeg i donjeg toka rijeke Bune, za razliku od gornjeg toka

7. LITERATURA

- Ashbolt, N. J., Grabow, W.O.K., Snozzi, M. (2001) 13: „Indicators of microbial water quality“ in *Water Quality: Guidelines, Standards and Health*, L. Fretwell and J. Bartram, Editors. 2001, World Health Organization (WHO), IWA Publishing: London, UK
- Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D., Stribling, J.B. (1999) „Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers:“ *Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water, Washington, D.C.
- Belfiore, C. (1983) Efemerotteri (Ephemeroptera). Istituto di Zoologia dell' Universita, Roma
- Bitton, G. (2005) *Wastewater microbiology*, 3rd ed. University of Florida, John Wiley & Sons
- Hill, D.D., Owens, W.E., Tchounwou, P.B. (2005) Comparative assessment of the physico-chemical and bacteriological qualities of selected streams in Louisiana. *Environ Monit Assess*, May;104(1-3):235-68.

- Jukić, H. (2006) Antropogeni uticaj na bakterijsku populaciju rijeke Une na području grada Bihaća. Magistarski rad, Prehrambeno-Biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
- Kaćanski, D. (1971) Die Larven von *Brachyptera graeca* Berthelemy und *B. tristis* (Klapalek). Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft, *Bulletin de la societe entomologique suisse*, Band 44, Heft 3 u. 4
- Lelo, S., Kašić-Lelo, M. (2012) *Hirudo verbana* Carena, 1820 (Hirudinea: Arhynchobdellida, Hirudinidae) nova vrsta pijavice u Bosni i Hercegovini. *Prilozi fauni Bosne i Hercegovine*, 8, 1-6.
- Merck Microbiology Manual (2002) str. 53, 65, 109, 111, 113, 117, 184, 261, 273, 278.
- Moog, O. (1995) *Fauna Aquatica Austriaca, version 1995*. Wasserwirtschafts-kataster, Bundesministeriums für Land und Forstwirtschaft, Wien
- Nagel, V. P. (1989) Bildbestimmungs-schlusel der Saprobien. Makrozoobenthon. Stuttgart, New York
- Nilsson, A. (1996) *Aquatic Insects of North Europe. A taxonomic Handbook, Volume 1*. Apolo Books. Stenstrup
- Okvirna direktiva o vodama (ODV, 2000/60/EC)
- Ostroumov, S.A. (2005) „On the multifunctional role of the biota in the selfpurification of aquatic ecosystems.“ *Rusian Journal of Ecology*, 36: 452-459.

- Patnaik, P., Yang, M., Povers, E. (2000) Phenol-chlorine reaction in environmental waters: formation of toxic chlorophenol derivatives, *Am Lab News*, 32:16.
- Počuča, N. (2008) *Zaštita životne sredine. Ekohidrologija (Zagađenje i zaštita voda)*. Zrenjanin
- Prescott, L.M., Harley, J.P., Klein, D.A. (2002) *Microbiology* 5th Ed. McGraw-Hill Companies, USA
- Riđanović, L., Riđanović, S. (2016) Ekološke i mikrobiološke karakteristike rijeke Neretve. Univerzitet „Džemal Bijedić“ u Mostaru, Mostar
- Riđanović, L., Riđanović, S. (2017) Mikrobiološke detriminante kvaliteta vode rijeke Radobolje. *Educa*, 10 (10):37-41.
- Robertson, D.M., Saad, D.A., Heisey, D.M. (2006) „A regional classification scheme for estimating reference water quality in streams using land-useadjusted spatial regression-tree analysis.“ *Environmental Management*, 37 (2): 209-229.
- Rosch, T., Tonsmann, F. (2001) Oxygen regulation of rivers by hydro power plants – ecological and economical aspects Department of Hydraulic Structures and Water – Resources Engineering, University of Kassel, Herkules Verlag
- Rosenberg, D.M. (1998) „A national aquatic ecosystem health program for Canada, we should go against the flow.“ *Bulletin of the Entomological Society of Canada*, 30: 144-152.

- Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J.A., Folke, C., Walker, B. (2001) „Catastrophic shifts in ecosystems.“ *Nature*, 413: 591-596.
- Tanasijević, M. (1975) *Heptagenia ozrensis* sp. n. und der fund von funf Ephemeroptera – arten in Bosnien und der Hercegovina.
- Tanasijević, M. (1978) Razvojni stupnjevi vrste *Ephemerella ignita* (poda) (Insecta, Ephemeroptera). Separat iz „Godišnjak Biološkog instituta Univerziteta u Sarajevu, Vol. XXXI
- Tanasijević, M. (1985) *Rhitrogena hercegovina* sp. n. i *Rhitrohena neretvana* sp. n. – dvije nove Heptageniidae (Ephemeroptera) iz zapadne Hercegovine. Godišnjak Biol. Inst., Vol. 37. 201-210.
- Tedeschi, S. (1997) Zaštita voda, Sveučilišna tiskara, Zagreb
- Tomka I., Rasch, P.(1993) Beitrag zur Kenntnis der europäischen *Rhithrogena* – Arten (Ephemeroptera, Heptageniidae): *R.intermedia* Metzler, Tomka & Zurwerra, 1987 eine Art der *alpestris* – Gruppe sowie ergänzende Beschreibung zu funf weiteren *Rhithrogena* – Arten. Mitt. Schweiz. Ent. Ges., 66: 255-281
- Trožić-Borovac, S. (2002) Istraživanje makroinvertebrata bentosa rijeke Bosne i pritoka u ocjeni kvaliteta vode. Doktorska disertacija. Prirodno-matematički fakultet Univerziteta Sarajevo, Sarajevo.
- Trožić-Borovac, S., Kurtović, I. (2009) Ispitivanje kvaliteta vode potoka Žunovnica. *Voda i mi*, 64 (13): 19-35.
- Vučijak, B., Čerić, A., Silajdžić, I., Midžić Kurtagić, S. (2011) Voda za život: osnove integralnog upravljanja vodenim resursima. Institut za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Sarajevu. Sarajevo

- WHO (2004) *Guidelines for Drinking Water Quality*, Third Edition, Volume 1: Recommendations. World Health Organization, Geneva.
- WHO (World Health Organization) (2003) *Emerging Issues in Water and Infectious Disease*. World Health Organization, Geneva, Switzerland
- WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water and Sanitation (2005) *Water for life: making it happen*. World Health Organization and UNICEF. Switzerland
- Wickham, J.D., Ritters, K.H., Wade, T.G., Jones, K.B. (2005) „Evaluating the relative roles of ecological regions and land-cover composition for guiding establishment of nutrient criteria.“ *Landscape Ecology*, 20 (7): 791-798.
- Zekić, A. (2010) Zagađenje i kvalitet vode BiH. Sarajevo
- Zwick, P. (2004) Key to the West Palaearctic genera of stoneflies (Plecoptera) in the larval stage. *Limnologica* 34, 315-348.

POPIS SLIKA, TABELA I GRAFOVA

Slika 1. Izvor Bune

Slika 2. Područje istraživanja

Slika 3. Područje istraživanja

Slika 4. Satelitski snimak istraživačkog područja

Slika 5. Kick-sampling na Buni

Slika 6. Uzorkovanje na Vrelu Bune

Slika 7. Uzorkovanje na Vrelu Bune

Slika 8. Uzorak makrozoobentosa

Slika 9. Terenski rad na Buni

Slika 10. Terenski rad na Buni

Slika 11. Terenski rad na Buni

Slika 12. Terenski rad na Buni

Slika 13. Terenski rad na Buni

Slika 14. Terenski rad na Buni

Slika 15. *Gammarus balcanicus*

Slika 16. *Ephemera danica*

Slika 17. Način determinacije pojedinih Plecoptera

Slika 18. *Rhithrogena hercegovina*

Slika 19. Laboratorijska determinacija uzoraka

Slika 20. Laboratorijska determinacija uzoraka

Slika 21. Laboratorijska determinacija uzoraka

Tabela 1. Pokazatelji kvaliteta vode i pripadajuće klase vodotoka

Tabela 2. Ostali fizičko-hemijski parametri kvaliteta i pripadajuće klase vodotoka

Tabela 3. Ispitivani fizičko-hemijski i mikrobiološki parametri vode

Tabela 4. BMWP index

Tabela 5. Fizičko-hemijski parametri kvaliteta vode

Tabela 6. Mikrobiološki parametri kvaliteta vode

Tabela 7. Kvalitativno-kvantitativni sastav zoobentosa na vodotoku rijeke Bune

Tabela 8. BMWP index

Tabela 9. BMWP index na pojedinim lokalitetima

Graf 1. Temperaturni režim na rijeci Buni

Graf 2. Temperaturni režim na rijeci Neretvi

Graf 3. Distribucija pH vrijednosti na rijeci Buni

Graf 4. Distribucija pH vrijednosti na rijeci Neretvi

Graf 5. Distribucija elektroprovodljivosti na rijeci Buni

Graf 6. Distribucija elektroprovodljivosti na rijeci Neretvi

Graf 7. Distribucija otopljenog kisika na rijeci Buni

Graf 8. Distribucija vrijednosti otopljenog kisika na rijeci Neretvi

Graf 9. Distribucija zasićenog kisika na rijeci Buni

- Graf 10. Distribucija vrijednosti zasićenog kisika na rijeci Neretvi
- Graf 11. Distribucija amonijaka na rijeci Buni
- Graf 12. Distribucija vrijednosti amonijaka na rijeci Neretvi
- Graf 13. Distribucija nitrata na rijeci Buni
- Graf 14. Distribucija vrijednosti nitrata na rijeci Neretvi
- Graf 15. Distribucija ukupnog fosfora na rijeci Buni
- Graf 16. Distribucija vrijednosti ukupnog fosfora na rijeci Neretvi
- Graf 17. Koncentracija ukupnih koliformnih bakterija na rijeci Buni
- Graf 18. Koncentracija ukupnih koliformnih bakterija na rijeci Neretvi
- Graf 19. Koncentracija *Escherichia coli* na rijeci Buni
- Graf 20. Koncentracija *Escherichia coli* na rijeci Neretvi
- Graf 21. Koncentracija fekalnih streptokoka na rijeci Buni
- Graf 22. Koncentracija fekalnih streptokoka na rijeci Neretvi
- Graf 23. Odnos fekalnih koliforma i fekalnih streptokoka na rijeci Buni
- Graf 24. Odnos fekalnih koliforma i fekalnih streptokoka na rijeci Neretvi
- Graf 25. Taksoni uzorkovani na istraživačkom području
- Graf 26. Distribucija taksona uzorkovanih na L2
- Graf 27. Distribucija taksona uzorkovanih na L3
- Graf 28. Distribucija taksona uzorkovanih na L1
- Graf 29. Distribucija taksona uzorkovanih na L4