

# Procjena utjecaja urbanizacije na proljetnu dinamiku makrozoobentosa, drifta i fizikalno-kemijskih značajki vode duž potoka Bliznec

---

**Svoboda, Matea**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:595395>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-17**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Matea Svoboda

**PROCJENA UTJECAJA URBANIZACIJE NA PROLETNU DINAMIKU MAKROZOOBENTOSA,  
DRIFTA I FIZIKALNO-KEMIJSKIH ZNAČAJKI VODE DUŽ POTOKA BLIZNEC**

Diplomski rad

Zagreb, 2020. godina

Ovaj diplomski rad izrađen je u laboratoriju Zoologijskog zavoda na Biološkom odsjeku Prirodoslovno – matematičkog fakulteta pod stručnim vodstvom doc.dr.sc Mirele Sertić Perić. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno – matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra edukacije biologije i kemije.

*Hvala:*

*Dr. sc. Mireli Sertić Perić na izuzetnom vodstvu, uloženom vremenu, trudu te pomoći pri svakom koraku izrade diplomskog rada.*

*Novostečenim prijateljima i kolegama na svakoj konstruktivnoj kritici, savjetu i podršci.*

*Obitelji i dečku na svakodnevnoj motivaciji i brizi te podršci u svakom pogledu mojeg školovanja.*

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Diplomski rad

**PROCJENA UTJECAJA URBANIZACIJE NA PROLETNU DINAMIKU MAKROZOOBENTOSA,  
DRIFTA I FIZIKALNO-KEMIJSKIH ZNAČAJKI VODE DUŽ POTOKA BLIZNEC**

Matea Svoboda  
Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb, Hrvatska

Istraživanje je provedeno na urbanom potoku Bliznec. Bliznec izvire u Parku prirode Medvednica i teče kroz središte grada do odvodnog kanala koji se ulijeva u rijeku Savu. Cilj ovog istraživanja bio je procijeniti promjene kvalitativnog i kvantitativnog sastava organizama makrozoobentosa u uzorcima bentosa i drifta te fizikalno-kemijske značajke vode na tri postaje smještene duž potoka Bliznec tijekom proljeća (travnja i lipnja) 2016. godine. Najuzvodnija postaja B1 bila je smještena unutar Parka prirode Medvednica, postaja B2 predstavljala je srednji tok potoka, dok je najnižvodnija postaja B3 bila smještena u najurbaniziranijoj zoni. Na sve tri postaje, tijekom svakog izlaska na teren, sakupljeni su triplikatni uzorci bentosa i drifta. Uzorci su podvrgnuti postupku izolacije organizama makrozoobentosa te determinacije pomoću lupe u svrhu kvalitativne i kvantitativne analize. Mjereni fizikalno-kemijski parametri vode uključivali su: temperaturu vode, masenu koncentraciju otopljenog kisika, volumni udio kisika, električnu provodnost vode, pH, ukupnu koncentraciju otopljenih soli, kemijsku potrošnju kisika, alkalinitet, ukupnu tvrdoću vode, masene koncentracije nitratnih, nitritnih i fosfatnih iona te koncentraciju klorofila *a* u bentosu. Premda vrijednosti ključnih fizikalno-kemijskih parametara nisu ukazale na statistički značajne razlike među postajama, opažen je njihov porast s porastom urbanizacije duž toka potoka Bliznec. U prosjeku najveća brojnost jedinki makrozoobentosa u bentosu je zabilježena u donjem dijelu toka, uz najveći udio Oligochaeta, Chironomidae, Ephemeroptera i Trichoptera. Najuzvodnija postaja (smještena unutar Parka prirode Medvednica) se istaknula najvećom raznolikošću organizama, premda je na sve tri postaje opažena dominacija Oligochaeta - skupine tolerantne na onečišćenje. U prosjeku najveća zabilježena gustoća drifta bila je u donjim dijelovima toka, gdje je zabilježena i prosječno najviša brzina strujanja vode. U gornjem dijelu toka, u driftu je opažena zastupljenost terestričkih organizama, vjerojatno zbog prisutnosti guste obalne vegetacije u šumskom području Parka prirode Medvednica. U donjem dijelu toka, u driftu je zabilježena velika brojnost planktonskih rakova rašljoticalaca (Cladocera), za koje se pretpostavlja da su otplavnjeni iz uzvodno smještenog Maksimirskog jezera.

(34 stranice, 24 slike, 34 literaturni navod, jezik izvornika hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Ključne riječi: urbani potok, fizikalno-kemijski parametri, bentos, drift, beskralježnjaci, antropogeni učinak

Voditelj: Doc.dr.sc. Mirela Sertić Perić

Ocjenitelji: Doc.dr.sc. Mirela Sertić Perić

Doc. dr. sc. Sara Essert

Izv. prof. dr. sc. Draginja Mrvoš-Sermek

Izv. prof. dr. sc. Vesna Petrović Peroković

Rad prihvaćen: 20.09.2020.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Graduation Thesis

### **ASSESSMENT OF URBANIZATION INFLUENCE ON THE SPRING DYNAMICS OF MACROZOOBENTHOS, DRIFT AND PHYSICOCHEMICAL WATER CHARACTERISTICS ALONG BLIZNEC STREAM**

Matea Svoboda  
Rooseveltova trg 6, 10 000 Zagreb, Hrvatska

The research was conducted on the urban stream Bliznec. Bliznec sources in the Medvednica Nature Park and flows through the city center to a drainage canal that flows into the Sava River. The aim of the present research was to assess changes in the qualitative and quantitative composition of macrozoobenthos within benthos and drift samples, and physicochemical water properties at the three sampling sites located along the Bliznec stream during spring (April, June) 2016. Site B1 was the uppermost site located within the Medvednica Nature Park, site B2 represented the middle stream reach, whereas the lowermost site B3 was located in the most urbanized zone. At each site, on each sampling occasion, triplicate benthos and drift samples were collected. The samples were subjected to isolation and determination of macrozoobenthos by stereomicroscope, for the purpose of its qualitative and quantitative analysis. The measured physicochemical water parameters included: water temperature, mass concentration of dissolved oxygen, oxygen saturation, electrical conductivity, pH, total concentration of dissolved salts, chemical oxygen demand, alkalinity, total water hardness, mass concentrations of nitrate, nitrite and phosphate ions and concentration of benthic chlorophyll *a*. Although the values of key physicochemical parameters did not indicate statistically significant differences between the sampling sites, their increase was observed with the increase of urbanization along the Bliznec stream. On average, the highest number of macrozoobenthos in benthos samples was recorded in the lower stream reaches, with the highest share of Oligochaeta, Chironomidae, Ephemeroptera and Trichoptera. The uppermost station (located within the Medvednica Nature Park) showed the greatest organism diversity, but at all three stations the dominance of Oligochaeta was observed. On average, the highest recorded drift density was in the lower stream reaches, where also the highest mean flow velocity was recorded. In the upper stream reaches, terrestrial organisms were observed in drift, probably due to the presence of dense riparian vegetation in the forest area of Medvednica Nature Park. In the lower stream reaches, a large number of planktonic cladoceran crustaceans (Cladocera) was recorded, which presumably drifted from the upstream Maksimir Lake.

(34 pages, 24 figures, 34 references, original in Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library

Keywords: macrozoobenthos, benthos, drift, physicochemical parameters of water, anthropogenic impact

Supervisor: Dr. Mirela Sertić Perić, Asst. Prof.

Reviewers: Dr. Mirela Sertić Perić, Asst.

Prof. Dr. Sara Essert, Asst. Prof.

Dr. Draginja Mrvoš-Sermek, Assoc. Prof.

Dr. Vesna Petrović Peroković, Assoc. Prof.

Thesis accepted: 20.09.2020.

# Sadržaj

1. Uvod .....	1
1.1. Utjecaj urbanizacije na potoke urbanog područja .....	2
1.1.1. Hidromorfološke promjene urbanih potoka uslijed antropogenog učinka .....	2
1.1.2. Promjene kakvoće vode urbanih potoka.....	2
1.1.3. Promjene strukture makrozoobentosa u urbanim potocima .....	3
1.1.4. Promjene strukture drifta.....	4
1.2. Ciljevi istraživanja .....	4
2. Područje istraživanja .....	6
3. Materijali i metode .....	8
3.1. Fizikalno-kemijski parametri vode.....	8
3.2. Uzorkovanje i obrada uzoraka makrozoobentosa u bentosu i driftu.....	9
3.3. Obrada i prikaz podataka .....	9
4. Rezultati.....	11
4.1. Fizikalno-kemijski parametri vode.....	11
4.2. Analiza strukture bentosa i drifta .....	16
4.2.1. Brojnost jedinki makrozoobentosa u uzorcima bentosa.....	16
4.2.2. Taksonomski sastav organizama makrozoobentosa u uzorcima bentosa .....	17
4.2.3. Brojnost jedinki makrozoobentosa u uzorcima drifta .....	20
4.2.4. Taksonomski sastav organizama makrozoobentosa u uzorcima drifta.....	21
4.3. Utjecaj okolišnih čimbenika na sastav makrozoobentosa i gustoću drifta .....	24
4.3.1. Bentos.....	24
4.3.2. Drift.....	26
5. Rasprava .....	29
5.1. Fizikalno-kemijski parametri .....	29
5.2. Struktura makrozoobentosa u uzorcima bentosa .....	30
5.3. Struktura makrozoobentosa u uzorcima drifta .....	32
6. Zaključak .....	34
7. Literatura .....	36
8. Životopis .....	38

## Popis kratica

SD – standardna devijacija

PCA – analiza glavnih komponenti (engl. *Principal Components Analysis*)

$t(\text{vode}) / ^\circ\text{C}$  – temperatura vode (T)

$\gamma(\text{O}_2) / \text{mg L}^{-1}$  – masena koncentracija otopljenog kisika u vodi

$\varphi(\text{O}_2) / \%$  – zasićenje vode kisikom/ volumni udio kisika

$\sigma$  – električna provodnost (konduktivitet) (KOND)

$\gamma(\text{CaCO}_3) / \text{mg L}^{-1}$  – alkalinitet (ALK)

$\gamma(\text{CaCO}_3) / \text{mg L}^{-1}$  – ukupna tvrdoća vode (UTV)

$\gamma(\text{O}_2)\text{KMnO}_4 / \text{mg L}^{-1}$  – kemijska potrošnja kisika po Kubel-Tiemann-u (KPK)

$\gamma(\text{uk.soli}) / \text{mg L}^{-1}$  – ukupna koncentracija otopljenih soli (TDS)

$\gamma(\text{NO}_3^-) / \text{mg L}^{-1}$  – masena koncentracija nitrata

$\gamma(\text{NO}_2^-) / \text{mg L}^{-1}$  – masena koncentracija nitrita

$\gamma(\text{PO}_4^{3-}) / \text{mg L}^{-1}$  – masena koncentracija fosfata

$h / \text{cm}$  – dubine

$v(\text{struja vode}) / \text{m s}^{-1}$  – brzina strujanja vode

Sadržaj (*Chl a*) /  $\mu\text{g cm}^{-1}$  – sadržaj klorofila *a* po jedinici površine bentosa



## 1. Uvod

Urbanizacija obuhvaća prostorno širenje postojećih i nastanak novih gradova, preobrazbu općega stanja urbaniziranosti teritorija neke zemlje: smanjivanje broja seoskih i mješovitih naselja, porast broja manjih, srednjih i velikih urbanih središta, porast koncentracije središnjih urbanih funkcija (financijskih, proizvodnih, obrazovnih, kulturnih) u najvećim naseljima te širenje utjecaja najvećih gradova na ukupan teritorij neke zemlje (HELZMK, 2020). Procjena je da će do 2050. godine do tri milijarde ljudi živjeti u urbanim područjima (Kamusoko i Gamba, 2015). U Hrvatskoj oko 70 % stanovništva živi u gradovima, a grad s najvećom koncentracijom stanovništva je grad Zagreb. Gotovo 18% stanovništva Republike Hrvatske živi u gradu Zagrebu (Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske, 2018). U razdoblju od 1985. do 2015. godine, u gradu Zagrebu utvrđeno je kontinuirano povećanje izgrađenog zemljišta u odnosu na vegetacijski pokrov, što je pokazatelj povećane urbanizacije (Gašparović i sur., 2018).

Iako urbanizacija utječe na relativno malu pokrivenost zemljišta, ima značajan ekološki otisak, što znači da čak i mali opseg urbanog razvoja može imati velike učinke na urbane ekosustave, uključujući i urbane potoke (EPA, 2017). Struktura i funkcija zajednica potoka, jezera i mora ovisi o različitim fizikalnim, kemijskim i biološkim procesima (Nikora, 2010). Prema Walsh i sur. (2005), struktura i funkcija životnih zajednica potoka urbanih područja su podložne promjenama uslijed promjene okolišnih uvjeta. Povećanjem urbanizacije dolazi do promjena gradskih potoka, najčešće njihovim zatrpavanjem i/ili onečišćavanjem. Skup promjena koje se javljaju na urbanim potocima kao posljedica urbanizacije naziva se „sindrom urbanog potoka“ (Paul i Meyer, 2001). Neki od karakterističnih simptoma po kojima se prepoznaje „sindrom urbanog potoka“ su promjene u hidrologiji, stabilnosti i obliku (hidromorfologiji) potoka, povećana koncentracija hranjivih tvari i onečišćenja te izražena dominantnost vrsta tolerantnih na onečišćenje u urbanim potocima (Paul i Meyer, 2001). Urbani potoci znatno utječu na ostale ekosustave urbanih područja, jer predstavljaju stanište za različite organizme, mogu služiti kao izvor vode i/ili kao važna okupljališta za ljudsku populaciju (Walsh i sur., 2005). Porastom urbanizacije i industrijalizacije raste i potrošnja čiste vode te se stvaraju sve veće količine otpadne vode zagađene raznim organskim i anorganskim tvarima. Uz probleme smanjenja pitke vode zagađenjem voda, urbanizacija uzrokuje probleme zagađenja tla i zraka (Paul i Meyer, 2001). Jedna od uloga potoka u urbanim područjima je i regulacija mikroklimе urbanog područja. Potoci pomažu ublažavajući temperaturne ekstreme područja (Cengiz, 2013). S obzirom na aktualnu tematiku pojačane urbanizacije i širenja urbanih područja, počela se razvijati znanstvena disciplina – urbana ekologija. Urbana ekologija proučava međusobne odnose urbanog stanovništva i ostalih organizama

koji nastanjuju gradove te njihovog bliskog okoliša, ukazujući na smjernice održivog načina života u gradovima.

## 1.1. Utjecaj urbanizacije na potoke urbanog područja

### 1.1.1. Hidromorfološke promjene urbanih potoka uslijed antropogenog učinka

S obzirom da potoci često služe kao izvor vode okolnom stanovništvu i/ili kao kanali za odvođenje suvišnih količina oborinskih voda, usmjeravani su i/ili kanalizirani, ovisno o potrebi. Također, zbog razvoja gradova, tokovi potoka najčešće se prekidaju branama ili se zatrpavaju uslijed izgradnje prometnica. U urbanim područjima zamijećeno je slabije otjecanje vode tijekom poplava u odnosu na šumska područja. Razlog tome najčešće su površine prekrivene nepropusnim materijalom, npr. betonom i/ili asfaltom (Paul i Meyer, 2001). Zbog nepropuštanja vode u podzemlje, većina oborina slijeva se u potoke što povećava brzinu strujanja vode urbanog potoka. Umjetni sustavi odvodnje još su jedan od razloga povećanja površinskog otjecanja, a time i brzine strujanja vode urbanih potoka. Promjenom brzine strujanja vode, dolazi i do poremećaja transporta sedimenta, što dovodi do erozije tla, produblivanju kanala i poplava (Paul i Meyer, 2001). Sve to (bujice vode, kanaliziranje potoka te površinsko otjecanje uz prekomjerni unos sedimenta u potok) utječe na promjenu dna potoka (Paul i Meyer, 2001). Utjecanje oborinske vode u urbane potoke nadalje uzrokuje povećanje temperature vode potoka. Naime, oborinska voda se zagrijava na nepropusnim površinama, nakon čega se slijeva u urbani potok te ga tako zagrijava (EPA, 2017). Na povećanje temperature vode, povećano otapanje ugljikovog(IV) oksida u vodi, promjene u količinama alohtone (terestričke) organske tvari u vodi te povećane erozije tla dovodi i uklanjanje obalne vegetacije. Obalna vegetacije svojim korijenskim sustavom održava obalni oblik potoka, a njenim uklanjanjem dolazi do velikih promjena u morfologiji i fizikalno-kemijskim karakteristikama urbanih potoka (EPA, 2017).

### 1.1.2. Promjene kakvoće vode urbanih potoka

Pokazatelji učinaka urbanih utjecaja na strukturu i ekološku funkcionalnost urbanih vodenih ekosustava su kakvoća vode i karakteristike te stabilnost životnih zajednica u urbanim vodotocima. Na kakvoću vode urbanih potoka utječu otpadne vode iz kućanstva, prisutnost industrije ili poljoprivrednih područja i vode koje se slijevaju zbog nepropusnih materijala u urbanim područjima (EPA, 2017). Vode koje se slijevaju u urbani potok ispiru prometnice i parkirališta na kojima se nalaze različiti onečišćivači. Česti zagađivači urbanih potoka su policiklički aromatski ugljikovodici, koji u potoke dospijevaju erozijom kolnika, izlivanjem ulja, trošenjem guma i/ili iz ispušnih plinova automobila. Na kakvoću vode ukazuju masene koncentracije nutrijenata (npr., nitrata, fosfata), teških metala, koncentracije

patogena, različitih toksina, pesticida, otopljenih soli (Paul i Meyer, 2001). Posipavanje cesta natrijevim kloridom kao zaštita od zamrzavanja cesta također utječe na kakvoću vode urbanih potoka (EPA, 2017). Povećane koncentracije fosfata i nitrata najčešće dovode do eutrofikacije. Eutrofikacija je proces „starenja vodenih ekosustava“, odnosno unosa velikih količina nutrijenata, uslijed kojih dolazi do prekomjernog razvoja algi i pretjerane potrošnje kisika, što dovodi do smanjenja broja i/ili izumiranja pojedinih organizama u vodenom ekosustavu (HELZMK, 2020). Alge također izlučuju toksine koji imaju negativan učinak na ljudsko zdravlje. Povećanje biomase alge dovodi i do povećanja koncentracije klorofila  $\alpha$ .

Do povećanja temperature vode urbanih potoka dolazi uslijed deforestacije (uklanjanja obalne vegetacije oko potoka). Obalna vegetacija također omogućuje kontinuirani izvor alohtone (terestričke) organske tvari (EPA, 2017). Stoga uklanjanjem obalne vegetacije, unutar potoka može doći do smanjenja količine organske tvari terestričkog porijekla. Često s povećanjem temperature potoka dolazi i do smanjenja koncentracija otopljenog kisika u vodi (Paul i Meyer, 2001).

### 1.1.3. Promjene strukture makrozoobentosa u urbanim potocima

Potencijalno štetno djelovanje urbanizacije na urbane potoke može se procijeniti uvidom u sastav faune urbanih potoka, koji ukazuje na razinu stresa u potočnim životnim zajednicama (Sertić Perić i Radanović, 2017). Životna zajednica životinja, koja nastanjuje površinu i/ili unutrašnjost sedimenta potočnog dna naziva se makrozoobentos, a čine je većim dijelom beskralježnjaci koji se mogu uhvatiti mrežom promjera oka 250  $\mu\text{m}$  i stoga su vidljivi golim okom (Alba-Tercedor, 2006). Najčešće skupine organizama koje pripadaju makrozoobentosu su: virnjaci (Turbellaria), puževi (Gastropoda), školjkaši (Bivalvia), maločetinaši (Oligochaeta), pijavice (Hirudinomorpha), vodene grinje (Hydracarina), deseteronošci (Decapoda), rakušci (Amphipoda), jednakonošci (Isopoda) i kukci (Insecta) redova vodencvjetovi (Ephemeroptera), obalčari (Plecoptera), tulari (Trichoptera), dvokrilci (Diptera), vretenca (Odonata), raznokrilci (Heteroptera), kornjaši (Coleoptera) i muljarice (Megaloptera) (Alba-Tercedor 2006). Na prisutnost, brojnost i rasprostranjenost svojti makrozoobentosa u različitim mikrostaništima utječu različiti abiotički i biotički čimbenici. Abiotički čimbenici koji mogu utjecati na sastav i brojnost pojedinih skupina organizama su fizikalno-kemijski parametri vode, kao što su temperatura vode, pH, koncentracija otopljenog kisika, brzina strujanja vode (De Pauw i sur., 2006). Zbog toga što su organizmi makrozoobentosa široko rasprostranjeni i brojni te pojedine skupine makrozoobentosa pokazuju preferenciju prema pojedinim abiotičkim čimbenicima, makrozoobentos je izvrstan pokazatelj ekološkog stanja i funkcionalnosti urbanih potoka (Alba-Tercedor, 2006; De Pauw i sur., 2006). Uz široku rasprostranjenost, makrozoobentos je dobar pokazatelj ekološkog stanja i zbog dugog životnog vijeka organizama, relativno ograničene pokretljivosti tijekom barem jednog dijela

životnog ciklusa te zbog relativno jednostavnog uzorkovanja i određivanja (Walsh i sur., 2005). Osim što služe kao pokazatelji ekološkog stanja potoka, pripadnici makrozoobentosa su važna karika u funkcioniranju slatkovodnih ekosustava. Naime, organizmi makrozoobentosa su često izvor hrane drugim organizmima kao što su ribe, a oni sami se hrane usitnjenom organskom tvari, detritusom, bakterijama, algama, gljivama i drugim organizmima. Sve ih to čini sastavnim dijelom hranidbenih mreža slatkovodnih ekosustava, koje često služe kao temelj za procjenu funkcionalnosti ekosustava (Curell i sur., 2018).

#### 1.1.4. Promjene strukture drifta

Drift je nizvodni transport organizama u struji vode (Hershey i Lamberti, 1998). Zajedno s organizmima u struji vode nalaze se i hranjive tvari, koje se driftom dopremaju u donje dijelove toka (Hershey i Lamberti, 1998). Ukoliko dolazi do promjene fizičko-kemijskih parametara potoka i/ili do bujica, suša, poplava, promjena u sastavu potočnog tla, u kratkom vremenskom razdoblju može doći do otplavlivanja velikog broja organizama pripadnika makrozoobentosa, odnosno do povećanog drifta. Ako dođe do naglog gubitka (nizvodnog otplavlivanja) velikog broja organizama, govori se o katastrofičkom driftu (Svendsen i sur., 2004). Za razliku od organizama u katastrofičkom driftu, pojedini organizmi makrozoobentosa samostalno se otpuštaju s podloge. Ovakav način otplavlivanja naziva se aktivni drift, a razlog aktivnog otpuštanja i otplavlivanja organizama je najčešće potraga za hranom, razmnožavanje ili bijeg od predatora, odnosno aktivni drift uvjetovan je uglavnom biotičkim čimbenicima (Svendsen i sur., 2004). Nasuprot aktivnom driftu, slučajni ili pasivni drift je posljedica djelovanja abiotičkih čimbenika i/ili povećane aktivnosti organizama (izlazak iz skloništa zbog hranjenja i/ili traženja partnera), uslijed koje organizmi bivaju slučajno otplavljeni strujom vode (Svendsen i sur., 2004). Stoga gustoća drifta često uvelike ovisi o brzini strujanja vode. Povećanju brzine strujanja vode, a samim time i drifta doprinosi uklanjanje obalne vegetacije urbanih potoka (Paul i Meyer, 2001).

## 1.2. Ciljevi istraživanja

Glavni cilj istraživanja je procijeniti promjene kvalitativnog i kvantitativnog sastava organizama makrozoobentosa u uzorcima bentosa i drifta te fizikalno-kemijske značajke vode na tri postaje smještene duž potoka Blizneca, koji protječe urbanim područjem grada Zagreba, tijekom proljeća 2016. godine. Specifični ciljevi ovog istraživanja su utvrditi sljedeće karakteristike na tri postaje smještene u različitim dijelovima toka potoka Blizneca tijekom proljeća 2016. godine:

- razlike u fizikalno-kemijskim parametrima vode,
- razlike u ukupnoj brojnosti organizama makrozoobentosa u bentosu i driftu,

- razlike u udjelu (%) pojedinih taksonomskih skupina makrozoobentosa u bentosu i driftu te
- utjecaj abiotičkih čimbenika (fizikalno-kemijskih parametara vode) na raspodjelu organizama makrozoobentosa u bentosu i driftu.

## 2. Područje istraživanja

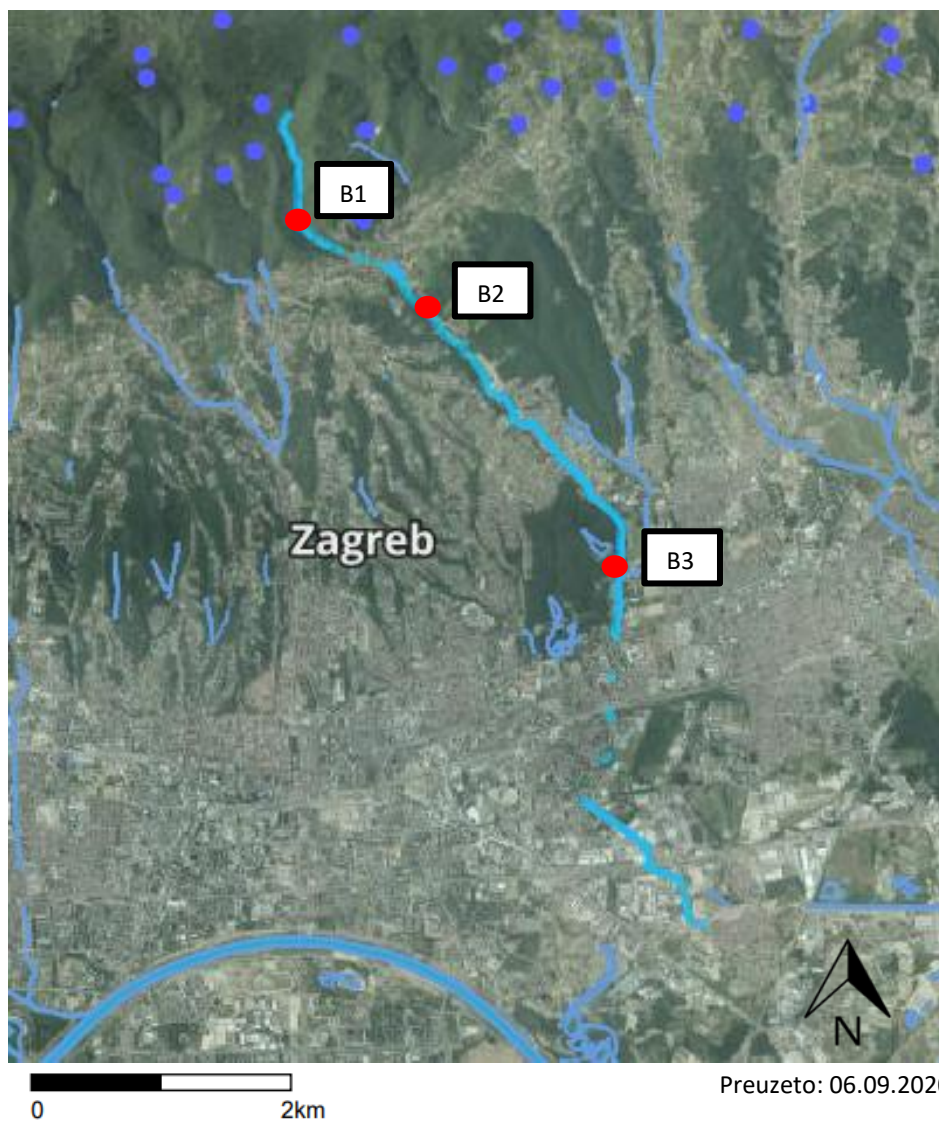
Ovo istraživanje provedeno je na potoku Bliznec, čiji tok prolazi kroz Zagreb, glavni grad Republike Hrvatske. Potok Bliznec izvire u najvišim dijelovima Medvednice, točnije u Parku prirode Medvednica. Teče niz jugoistočne obronke Medvednice preko poučne staze Bliznec, nastavlja tok do Maksimirske šume i pored poljoprivrednih dobara Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Na izlasku iz Maksimirske šume, potok je popločen betonskim pločama i kanaliziran. Kroz središnji dio grada Zagreba, potok prolazi podzemno do odvodnog kanala na području Žitnjaka, koji se ulijeva u rijeku Savu (Slika 2). Duž svog toka, Bliznec je zahvaćen različitim urbanim utjecajima – u izvorišnom dijelu u sklopu Medvednice još uvijek ima prirodni tok, međutim malo nizvodnije u gornjim dijelovima toka, Bliznec postaje kanaliziran duž poučne staze Bliznec, a prolaskom kroz relativno gusto naseljene gradske četvrti Jazbinu i Maksimir, pod utjecajem je brojnih kućanstava, komunalnih voda i djelatnosti, poljoprivredne djelatnosti, ali i rekreacije ljudi (posebice oko park-šume Maksimir i pripadajućih ribnjaka).

Istraživanje je provedeno duž potoka Bliznec na tri istraživačke postaje (Slike 1 i 2) tijekom mjeseca travnja i lipnja 2016. godine. Postaje su smještene kako slijedi:

- B1 u gornjem, prirodnom dijelu toka unutar Parka prirode Medvednica (45°52'42" N, 15°58'36" E);
- B2 u srednjem dijelu toka, u području naselja Jazbina, koje je umjereno urbanizirano područje grada Zagreba (45°21'29" N, 15°59'52" E)
- B3 u donjem dijelu toka, na području izlaska iz parka Maksimir i nizvodno od pokušališta Agronomskog fakulteta kao izrazito urbaniziranog djela grada Zagreba (45°49'43" N, 16°01'43" E).



Slika 1. Izgled istraživačkih postaja potoka Bliznec (fotograf: Z. Dragun)



Slika 2. Potok Bliznec s istraživačkim postajama (prilagođeno prema: [geoportal.zagreb.hr/karta](http://geoportal.zagreb.hr/karta))

### 3. Materijali i metode

#### 3.1. Fizikalno-kemijski parametri vode

U travnju i lipnju 2016. godine na svakoj od istraživačkih postaja izmjereni su sljedeći fizikalno-kemijski parametri vode: pH-vrijednost, temperatura vode (T), masena koncentracija otopljenog kisika u vodi, zasićenje vode kisikom, konduktivitet i ukupna masena koncentracija otopljenih soli u vodi. Fizikalno-kemijskim parametrima opisuju se abiotički uvjeti na pojedinom staništu. Temperatura vode, masena koncentracija otopljenog kisika u vodi i zasićenje vode kisikom mjereni su oksimetrom (WTW OXI 96). Konduktivitet i ukupna masena koncentracija otopljenih soli mjerene su Hach Sension 5 mjeranjem, dok je pH-vrijednost vode izmjerena pH-metrom (WTW 330i). Uzorak vode uzet je sa svake postaje za dodatnu laboratorijsku analizu. Naknadno određivani fizikalno-kemijski parametri u laboratoriju su: kemijska potrošnja kisika, alkalinitet, ukupna tvrdoća vode, masene koncentracije nitrita, nitrata i fosfata u vodi te sadržaj klorofila  $a$  u obraštaju.

Kemijska potrošnja kisika ( $KPK_{KMnO_4}$ ) određuje se indirektno na temelju potrošnje kalijeva permanganata prema Kubel-Tiemannu. Reakcija se temelji na oksidaciji organske tvari kalijevim permanganatom pri čemu je količina utrošenog kisika ( $\gamma(O_2)KMnO_4 / mg L^{-1}$ ) ekvivalenta količini organske tvari (DIN, 1986).

Prema APHA (1985), alkalinitet se određuje titracijom uzorka kloridnom kiselinom uz metiloranž kao indikator i izražava se kao  $\gamma(CaCO_3) / mg L^{-1}$ . Metoda se temelji na reakciji neutralizacije hidrogenkarbonatnih ( $HCO_3^-$ ), karbonatnih ( $CO_3^{2-}$ ) i hidroksidnih ( $OH^-$ ) iona kiselinom. Vrijednost alkaliniteta određuje se temeljem količine utrošene kiseline za neutralizaciju.

Na tvrdoću vode utječe količina kalcijevih i magnezijevih soli otopljenih u vodi. Ukupna tvrdoća vode određuje se kompleksometrijskom metodom, reakcijom stvaranja stabilnih kompleksa s kalcijevim i magnezijevim ionima. Prema APHA (1985), za stvaranje kompleksa koristi se dinatrijeva sol etilen-diamino-tetraoctene kiseline ili komplekson III.

Prema APHA (1985), masene koncentracije nitrita ( $NO_2^-$ ), nitrata ( $NO_3^-$ ) i ortofosfata ( $PO_4^{3-}$ ) određuje se spektrofotometrijski. Tijekom istraživanja korišten je spektrofotometar HACH DR/2000. Metoda se temelji na stvaranju obojenog kompleksa s nitritnim, nitratnim i fosfatnim ionima dodatkom reagensa u uzorak vode. Kompleks apsorbira svjetlost određene valne duljine ovisno o koncentraciji vezanih nitritnih, nitratnih i fosfatnih iona. Kako bi se odredila koncentracija nitritnih iona kroz uzorak se propušta svjetlost valne duljine 520 nm, za određivanje koncentracije nitratnih iona propušta se svjetlost valne duljine 420 nm te za fosfatne ione svjetlost valne duljine 690 nm. Bilježi se absorbancija uzorka, a time indirektno i koncentracija nitritnih, nitratnih i fosfatnih iona.



Uz mjerenje fizikalno-kemijskih parametara vode, na terenu su sa svake postaje uzeta po dva uzorka perifitona (obraštaja), kako bi se odredio sadržaj klorofila *a* po jedinici površine bentosa. Uzorci perifitona uzimaju se struganjem površine 6 cm<sup>2</sup> nasumično odabranog kamenja uronjenog u vodu. Prikupljeni materijal sačuvan je u 10 mL potočne vode do daljnje laboratorijske analize. Kako bi se odredio sadržaj klorofila *a*, prema Nusch (1980), potrebno je vakuum-filtracijom preko filter-papira Schleicher & Schuell, bijela vrpca 589<sup>2</sup> ekstrahirati klorofil *a* iz uzorka. Nakon ekstrakcije, potrebno je bistrenje ekstrakta, koje se provodi vakuum-filtracijom zagrijanog ekstrakta preko membranskog filtera promjera pora 0,45 μm. Nakon pripreme uzorka, slijedi spektrofotometrijsko mjerenje koncentracije klorofila *a*. Kako bi se odredila koncentracija klorofila *a* u ekstraktu, potrebno je odrediti absorbanciju filtrata pri valnoj duljini 665 nm, potom se u uzorak dodaje kap koncentrirane klorovodične kiseline, kako bi se načinila korekcija za pigment feofitin, te ponovno mjeri absorbancija zakiseljenog uzorka pri 665 nm.

### 3.2. Uzorkovanje i obrada uzoraka makrozoobentosa u bentosu i driftu

Uzorci korišteni za istraživanje sakupljeni su u travnju i lipnju 2016. godine, na tri postaje duž potoka Bliznec. Na sve tri postaje, sakupljeni su triplikatni uzorci bentosa i drifta. Bentos je uzorkovan Hessovim uzorkivačem (površine 0,049 m<sup>2</sup> s mrežom promjera oka 200 μm), dok je drift uzorkovan pomoću drift-uzorkivača, koji se sastoji od drift- mreže promjera oka 214 μm i dužine 1,5 m, pričvršćene na cilindričnu plastičnu cijev (50 cm x 7,5 cm, s otvorom površine 44,2 cm<sup>2</sup>). Uz svaku drift-mrežu ručnim metrom je izmjerena dubina vodenog stupca i brzina strujanja vode (protočnom sondom za tekućine Mini Water 6050-1008 i uređajem P-670-M). Svi uzorci pohranjeni su *in situ* u 70%-tni etanol za kvalitativnu i kvantitativnu analizu organizama makrozoobentosa. U sklopu ovog diplomskog rada, sakupljeni uzorci podvrgnuti su postupku izolacije organizama makrozoobentosa te determinacije do taksonomske razine reda u laboratoriju pomoću lupe (Zeiss Stemi 2000-C). Kao iznimka, izdvojene su jedinke porodica Chironomidae i Simuliidae zbog svoje brojnosti, dok su ostale jedinke reda Diptera klasificirane kao „ostali Diptera“.

### 3.3. Obrada i prikaz podataka

Prikupljeni fizikalno-kemijski parametri vode prikazani su grafički kao prosječna vrijednost podataka u travnju i lipnju za svaku od istraživačkih postaja. Uz prosječne vrijednosti, navedene su vrijednosti standardnih devijacija (SD) za svaku istraživačku postaju. Statistički značajne razlike utvrđene su Kruskal-Wallis testom, a po potrebi je proveden i post-hoc test višestruke usporedbe.

Brojnost jedinki prikazana je grafički kao gustoća tj. broj jedinki po jedinici površine (za bentos) ili volumena (za drift) uz standardne devijacije (SD). Razlike u brojnosti jedinki između dva mjeseca

analizirane su neparametrijskim Mann-Whitney U-testom, a razlike između postaja Kruskal-Wallis testom, kod kojeg je, ako je bilo potrebno, proveden post-hoc test višestruke usporedbe.

Udio i brojnost pojedinih taksonomskih skupina u bentosu i driftu prikazani su grafički kao ukupna brojnost organizama u bentosu, odnosno kao gustoća drifta ( $\pm$  standardna devijacija, SD) te kao prosječni udjeli (%) pojedinih taksonomskih skupina u bentosu i driftu. Statistički značajne razlike provjeravane su Kruskal-Wallis testom te po potrebi post-hoc testom višestruke usporedbe.

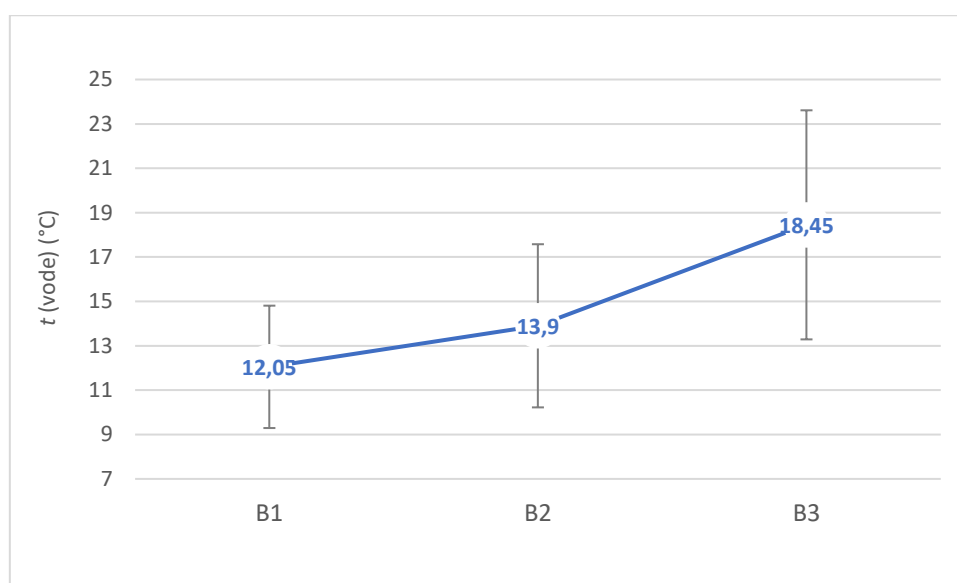
Utjecaj okolišnih čimbenika na sastav makrozoobentosa u bentosu i driftu određen je PCA analizom (engl., Principal Component Analysis; analiza glavnih komponenti).

Pomoću računalnih programa Microsoft Office Excel 2016 (Microsoft Corporation 2016) i Statistica 10 (Statsoft Inc. 2013) prikupljeni podaci su računalno obrađeni te grafički prikazani.

## 4. Rezultati

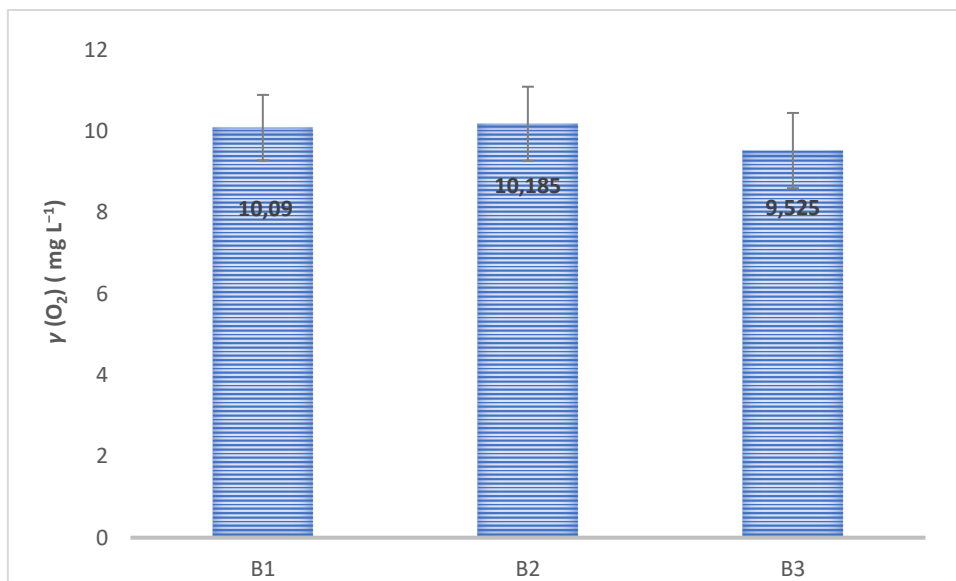
### 4.1. Fizikalno-kemijski parametri vode

Tijekom razdoblja istraživanja, najniža prosječna temperatura vode zabilježena je na postaji B1, dok se porast temperature vode uočava nizvodno od postaje B1 (Slika 3). Kruskal-Wallis testom nisu određene statistički značajne razlike ( $p > 0,05$ ) u temperaturama vode između istraživačkih postaja.



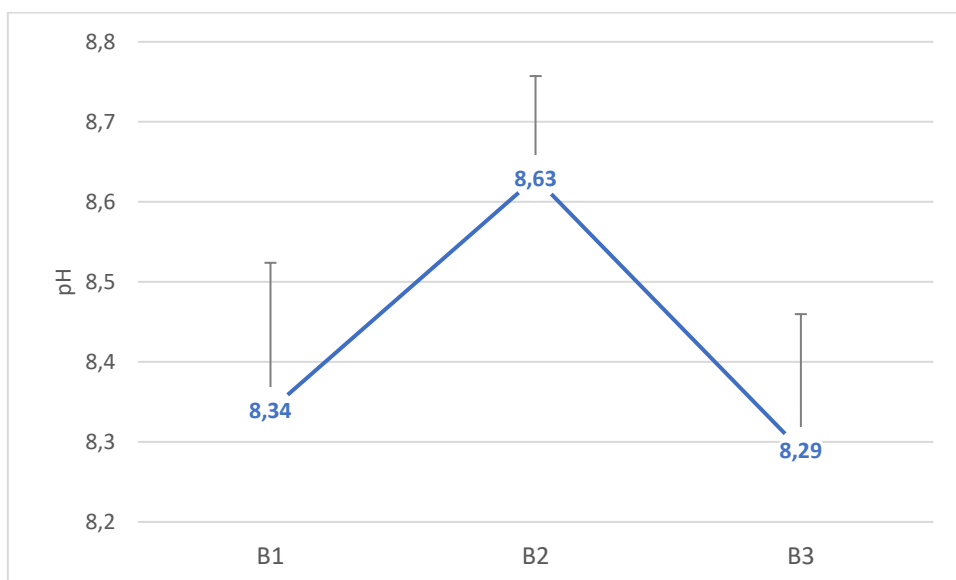
Slika 3. Prosječne temperature vode ( $\pm$ SD) tijekom travnja i lipnja 2016. godine na postajama B1, B2 i B3

Tijekom travnja i lipnja ne zamjećuju se značajne razlike u razinama (masenoj koncentraciji i zasićenju) otopljenog kisika u vodi između tri istraživačke postaje (Slika 4). Najveće zasićenje kisikom ( $\varphi$  ( $O_2$ ) =  $102,9 \pm 0,99$  %) zabilježeno je na postaji B3, dok je najniže zasićenje kisikom ( $\varphi$  ( $O_2$ ) =  $97,9 \pm 1,27$  %) zabilježeno na postaji B1. Prosječne ( $\pm$  SD) masene koncentracije otopljenog kisika u vodi na postajama B1, B2 i B3 tijekom ovog istraživanja prikazane su na Slici 4. Kruskal-Wallis testom nije određena statistički značajna razlika ( $p > 0,05$ ) niti u prosječnim masenim koncentracijama kisika niti u zasićenju kisikom između postaja B1, B2 i B3.



Slika 4. Prosječna ( $\pm$ SD) masena koncentracija otopljenog kisika u vodi na postajama B1, B2 i B3 tijekom travnja i lipnja 2016. godine

Prosječne pH vrijednosti vode na istraživačkim postajama tijekom proljetnih mjeseci iznosile su oko 8 (Slika 5). Najniža vrijednost bila je zabilježena na postaji B3 ( $8,29 \pm 0,17$ ), a najviša zabilježena vrijednost na istraživačkoj postaji B2 ( $8,63 \pm 0,13$ ). Kruskal-Wallis testom nisu dokazane statistički značajne razlike ( $p > 0,05$ ) u prosječnim pH vrijednostima vode na istraživačkim postajama B1, B2 i B3 tijekom travnja i lipnja.

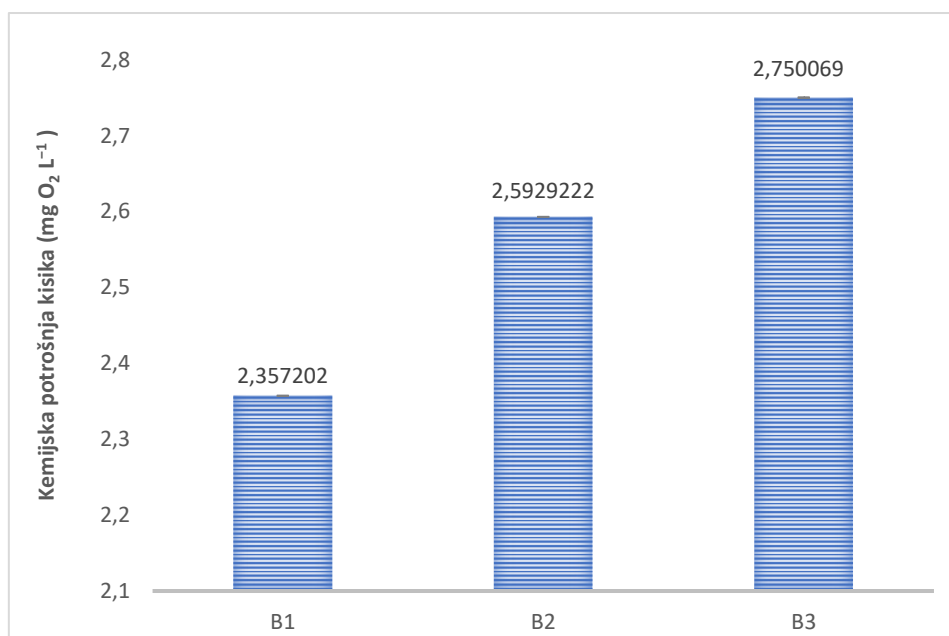


Slika 5. Prosječna pH vrijednost vode ( $\pm$ SD) na postajama B1, B2 i B3 tijekom travnja i lipnja 2016. godine

Konduktivitet je u prosjeku bio najviši u postaji B1 ( $\sigma = 332 \pm 9,89 \mu\text{S cm}^{-1}$ ). Smanjenje vrijednosti konduktiviteta opaža se u nizvodnim dijelovima potoka te je najmanja zabilježena prosječna vrijednost konduktiviteta bila na postaji B3 ( $\sigma = 252,75 \pm 83,79 \mu\text{S cm}^{-1}$ ). Ukupna koncentracija otopljenih krutih

tvori, odnosno soli (TDS) također prati trend pada vrijednosti na nizvodno smještenim postajama. Najviša prosječna vrijednost TDS-a zabilježena je na postaji B1 ( $\gamma(\text{uk. soli}) = 159,7 \pm 5,23 \text{ mg L}^{-1}$ ), dok je najniža prosječna vrijednost zabilježena na postaji B3 ( $\gamma(\text{uk. soli}) = 128,5 \pm 50,49 \text{ mg L}^{-1}$ ). Kruskal-Wallis testom nisu dokazane statistički značajne razlike ( $p > 0,05$ ) u prosječnim vrijednostima konduktiviteta i ukupne koncentracije otopljenih krutih tvari između istraživačkih postaja tijekom proljetnih mjeseci.

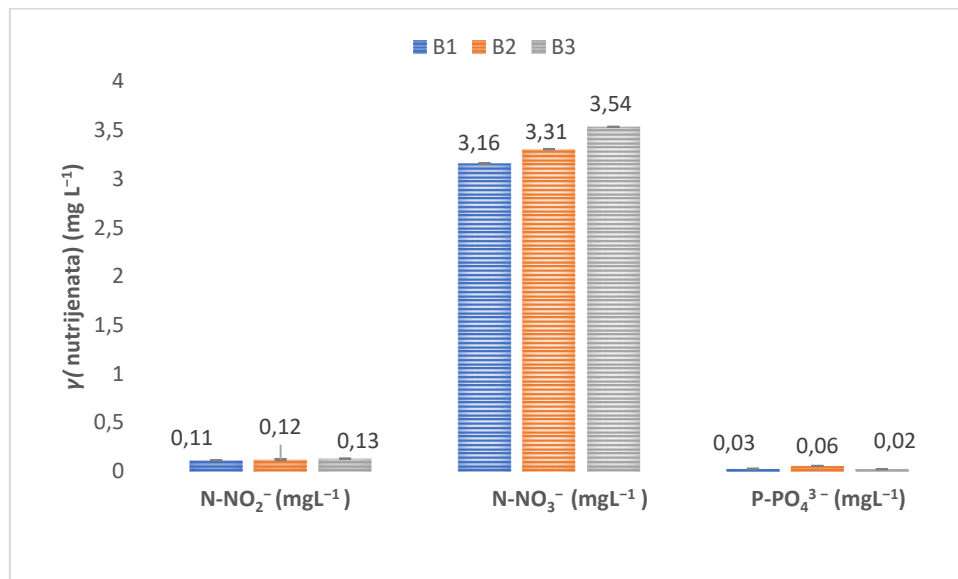
Najniža prosječna vrijednost kemijske potrošnje kisika zabilježena je na postaji B1 ( $\gamma(\text{O}_2) \text{ KMnO}_4 = 2,36 \pm 0 \text{ mg L}^{-1}$ ), dok je najviša prosječna vrijednost zabilježena na postaji B3 ( $\gamma(\text{O}_2) \text{ KMnO}_4 = 2,75 \pm 0 \text{ mg L}^{-1}$ ) (Slika 6). Kruskal-Wallis testom nisu dokazane statistički značajne razlike ( $p > 0,05$ ) u kemijskoj potrošnji kisika između istraživačkih postaja tijekom travnja i lipnja.



Slika 6. Prosječna vrijednost kemijske potrošnje kisika ( $\pm$  SD) na postajama B1, B2 i B3 tijekom travnja i lipnja 2016. godine

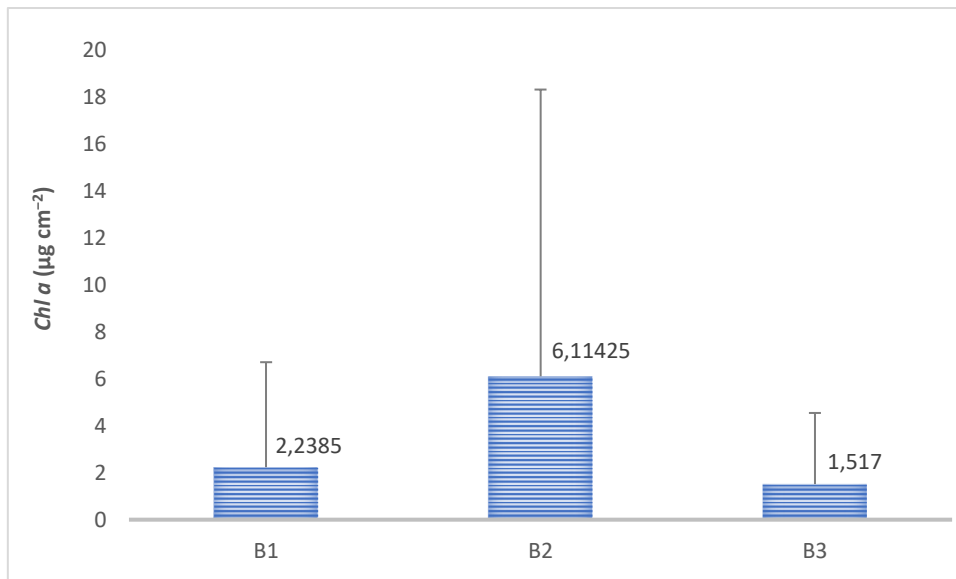
Prosječne vrijednosti alkaliniteta prate trend povećanja vrijednosti nizvodno od istraživačku istraživačke postaje B1. Najniža zabilježena prosječna vrijednost alkaliniteta tijekom travnja i lipnja je na postaji B1 ( $\gamma(\text{CaCO}_3) = 105 \pm 0 \text{ mg L}^{-1}$ ), dok je najviša vrijednost zabilježena je na istraživačkoj postaji B3 ( $\gamma(\text{CaCO}_3) = 145 \pm 0 \text{ mg L}^{-1}$ ). Kruskal-Wallis testom nisu dokazane statistički značajne razlike ( $p > 0,05$ ) u prosječnim vrijednostima alkaliniteta između tri postaje. Isto kao i alkalinitet, vrijednosti ukupne tvrdoće vode najniže su na istraživačkoj postaji B1 ( $\gamma(\text{CaCO}_3) = 138,84 \pm 0 \text{ mg L}^{-1}$ ), a najviša na postaji B3 ( $\gamma(\text{CaCO}_3) = 172,66 \pm 0 \text{ mg L}^{-1}$ ). Kruskal-Wallis testom nije određena statistički značajna razlika ( $p > 0,05$ ) u prosječnim vrijednostima ukupne tvrdoće vode između istraživačkih postaja tijekom mjeseci istraživanja.

Kao i većina fizikalno-kemijskih parametara vode, prosječna masena koncentracija nitrita i nitrata u vodi prati trend povećanja vrijednosti od postaje B1 do B3 (Slika 7). Najveća prosječna vrijednost masene koncentracije ortofosfata u vodi izdvaja se na postaji B2 ( $0,0562 \pm 0 \text{ mg L}^{-1}$ ) (Slika 7). Zamjećuje se veća prosječna vrijednost koncentracije nitrata na svim istraživačkim postajama u odnosu na prosječne koncentracije nitrita i ortofosfata (Slika 7). Kruskal-Wallis testom nisu dokazane statistički značajne razlike u prosječnim vrijednostima nitrata, nitrita i ortofosfata između istraživačkih postaja B1, B2 i B3.



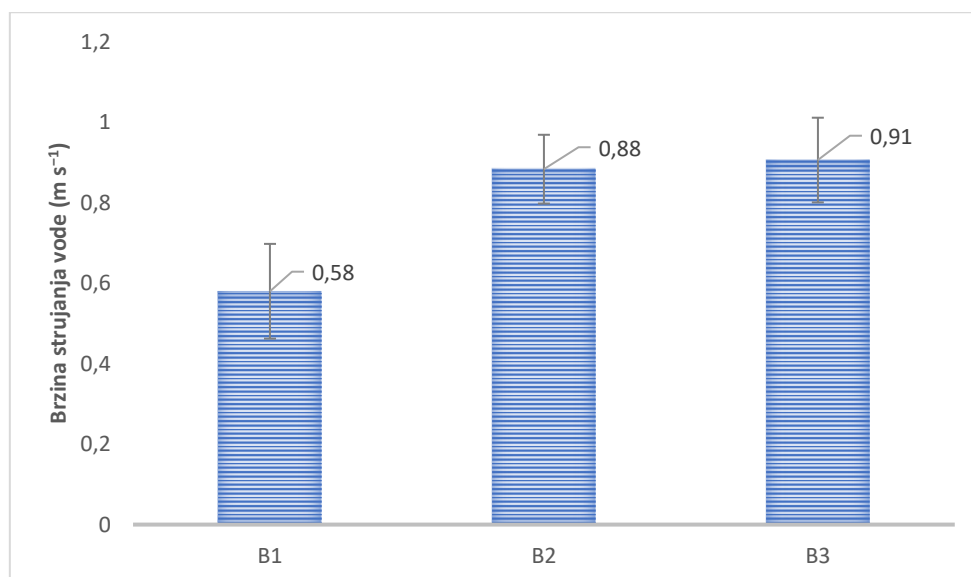
Slika 7. Prosječna ( $\pm$ SD) količina nitrita, nitrata i ortofosfata u vodi tijekom travnja i lipnja 2016. na postajama B1, B2 i B3

Najveća prosječna količina klorofila *a* zabilježena je na postaji B2 ( $6,114 \pm 12,229 \text{ } \mu\text{g cm}^{-1}$ ), dok je najmanja prosječna količina klorofila *a* opažena na istraživačkoj postaji B3 ( $1,517 \pm 3,034 \text{ } \mu\text{g cm}^{-1}$ ) (Slika 8). Kruskal-Wallis testom nisu dokazane statistički značajne razlike ( $p > 0,05$ ) u količini klorofila *a* između istraživačkih postaja B1, B2 i B3 tijekom travnja i lipnja.



Slika 8. Prosječna količina klorofila *a* ( $\pm$ SD) u vodi tijekom travnja i lipnja 2016. na istraživačkim postajama B1, B2 i B3

Srednje vrijednosti brzine strujanja vode prikazane su na Slici 9. Uočava se porast brzine strujanja vode od postaje B1 do postaje B3 te su Kruskal-Wallis testom dokazane statistički značajne razlike ( $H(2, N = 98) = 66,52$   $p < 0,0001$ ) u brzini strujanja vode. Post-hoc testom multiple usporedbe dokazano je da je na postaji B1 značajno niža prosječna brzina strujanja vode nego na postajama B2 i B3, među kojima se brzine strujanja vode nisu značajno razlikovale.

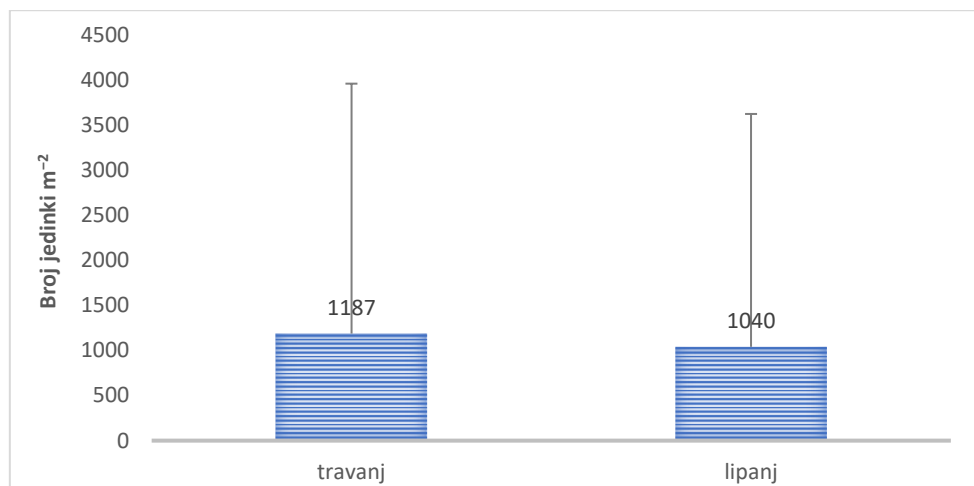


Slika 9. Prosječna brzina strujanja vode ( $\pm$ SD) na postajama B1, B2 i B3 tijekom travnja i lipnja 2016.

## 4.2. Analiza strukture bentosa i drifta

### 4.2.1. Brojnost jedinki makrozoobentosa u uzorcima bentosa

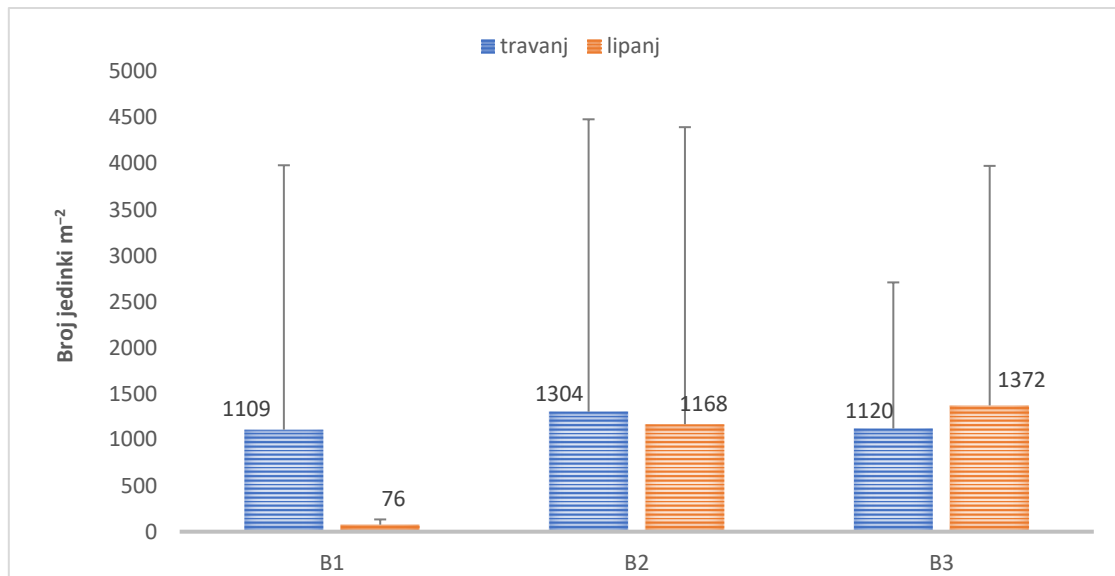
Prosječan broj izoliranih i determiniranih jedinki makrozoobentosa tijekom travnja i lipnja prikazan je na Slici 10. Kruskal-Wallis testom nije dokazana statistički značajna razlika ( $p > 0,05$ ) u prosječnom broju organizama u bentosu između tri istraživačke postaje tijekom mjeseca travnja i lipnja.



Slika 10. Prosječan ( $\pm$  SD) broj organizama makrozoobentosa na tri istraživačke postaje tijekom travnja i lipnja 2016.

Na Slici 11. vidljiva je prosječna brojnost organizama prema postajama zasebno tijekom travnja i lipnja. Najveći broj jedinki u mjesecu travnju bio je na postaji B2, dok je u lipnju opažen porast broja jedinki na najnižvodnijoj postaji B3 (Slika 11). Prema Mann-Whitney U-test provedenim za svaku pojedinu istraživačku postaju, između travnja i lipnja nije dokazana statistički značajna ( $p > 0,05$ ) razlika u broju jedinki.



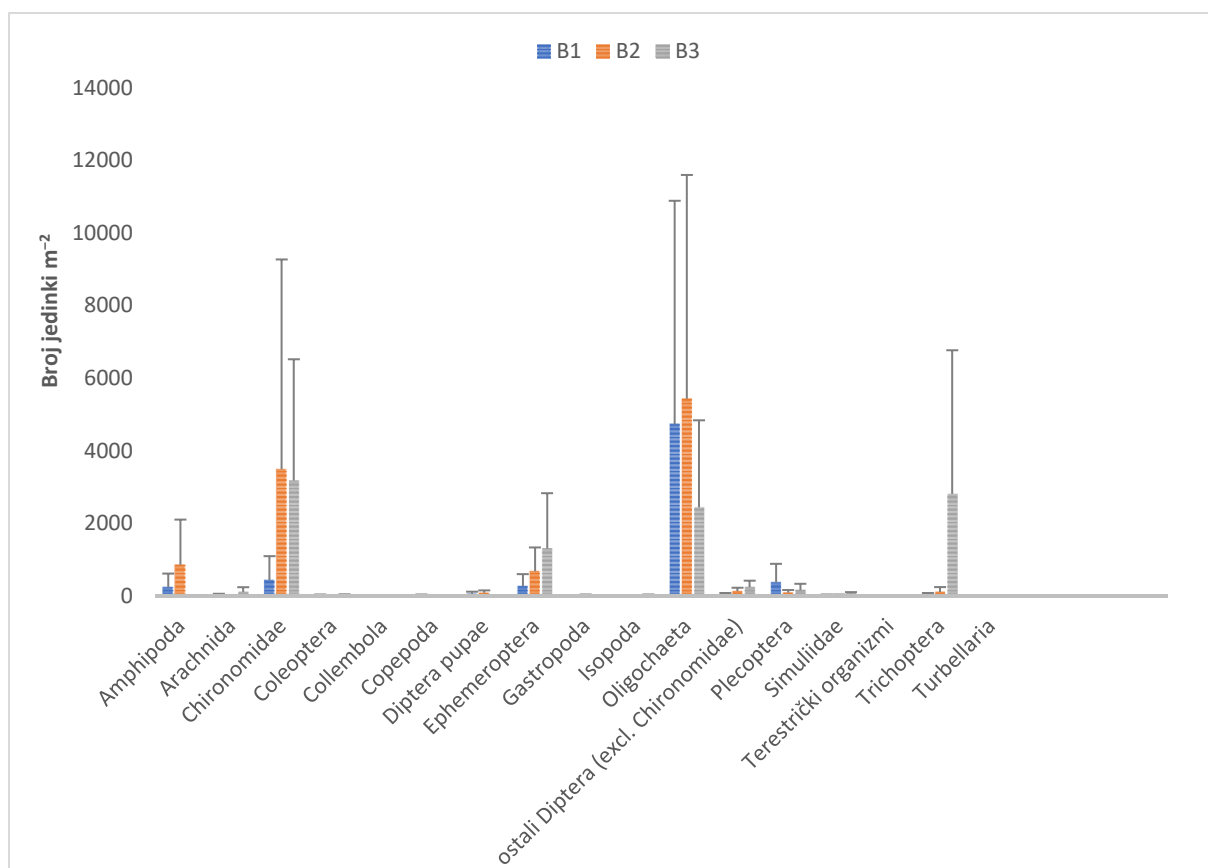


Slika 11. Prosječna ( $\pm$  SD) brojnost jedinki makrozoobentosa na postaji B1, B2 i B3 tijekom travnja i lipnja 2016.

U prosjeku najveći broj ( $1300 \pm 2338$ ) jedinki tijekom proljetnih mjeseci opažen je na postaji B3. Broj organizama raste nizvodno od istraživačke postaje B1, gdje je zabilježen najmanji broj ( $775 \pm 2397$ ) jedinki. Kruskal-Wallis testom nisu dokazane statistički značajne razlike ( $p > 0,05$ ) između istraživačkih postaja B1, B2 i B3 s obzirom na broj jedinki makrozoobentosa u uzorcima bentosa za vrijeme trajanja istraživanja.

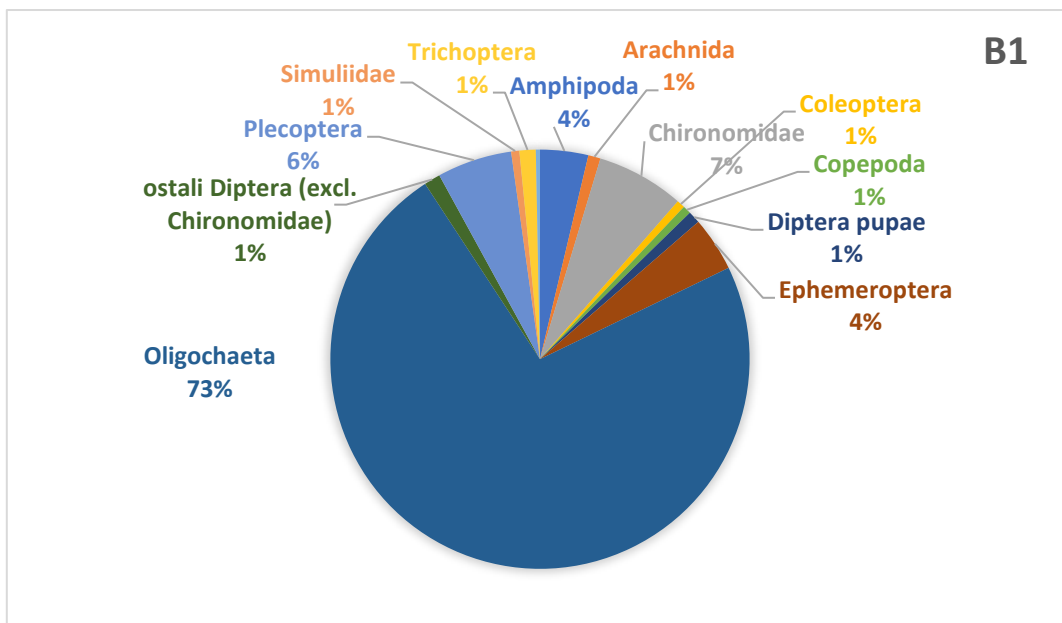
#### 4.2.2. Taksonomski sastav organizama makrozoobentosa u uzorcima bentosa

Organizmi nađeni u uzorcima bentosa pripadnici su 13 različitih redova. Iz reda Diptera zasebno su izdvojene (brojne) jedinice porodica Chironomidae i Simuliidae, dok su ostali pripadnici reda Diptera izdvojeni kao ostali Diptera. Pripadnici Oligochaeta bili su najzastupljeniji su na postaji B1 i B2, dok su na postaji B3 najzastupljeniji bili pripadnici porodice Chironomidae iz reda Diptera (Slika 12). Kruskal-Wallis testom nisu dokazane statistički značajne razlike u brojnosti organizama iz pojedinih skupina makrozoobentosa između različitih postaja ( $p > 0,05$  za svaku pojedinu skupinu makrozoobentosa).



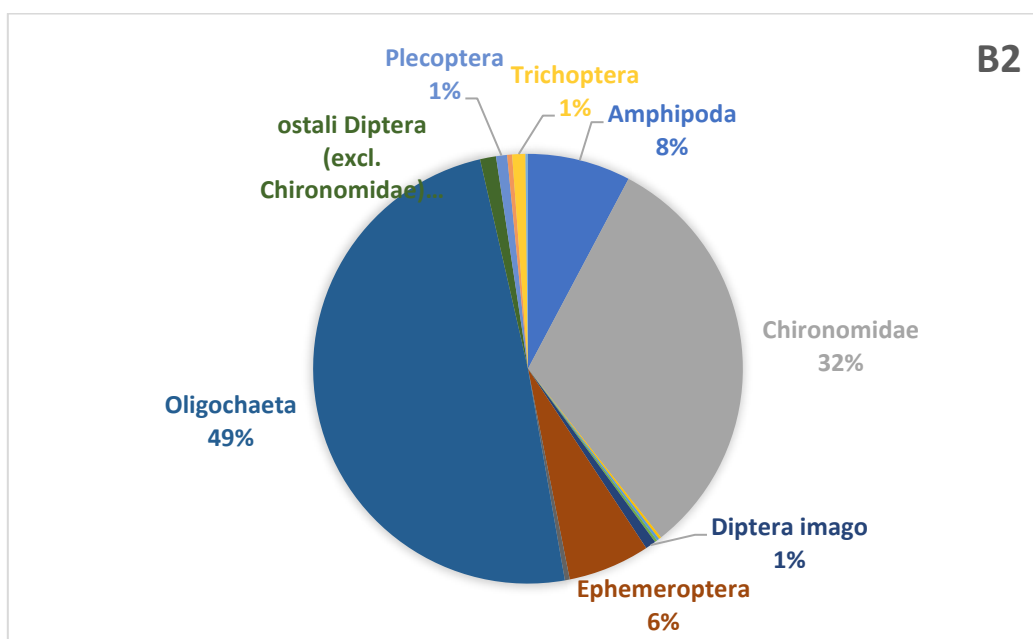
Slika 12. Prosječan ( $\pm$ SD) broj jedinki različitih taksonomskih skupina makrozoobentosa u uzorcima bentosa na postajama B1, B2 i B3 travnja i lipnja 2016.

Zastupljenost pojedinih taksonomskih skupina na pojedinačnim postajama izražen je u postocima. Na istraživačkoj postaji B1 prevladavali su predstavnici Oligochaeta (73%). U manjoj mjeri bili su zastupljeni pripadnici porodice Chironomidae (7%) i reda Plecoptera (6%). Ostale taksonomske skupine zastupljene su tek 1% ili manje (Slika 13).



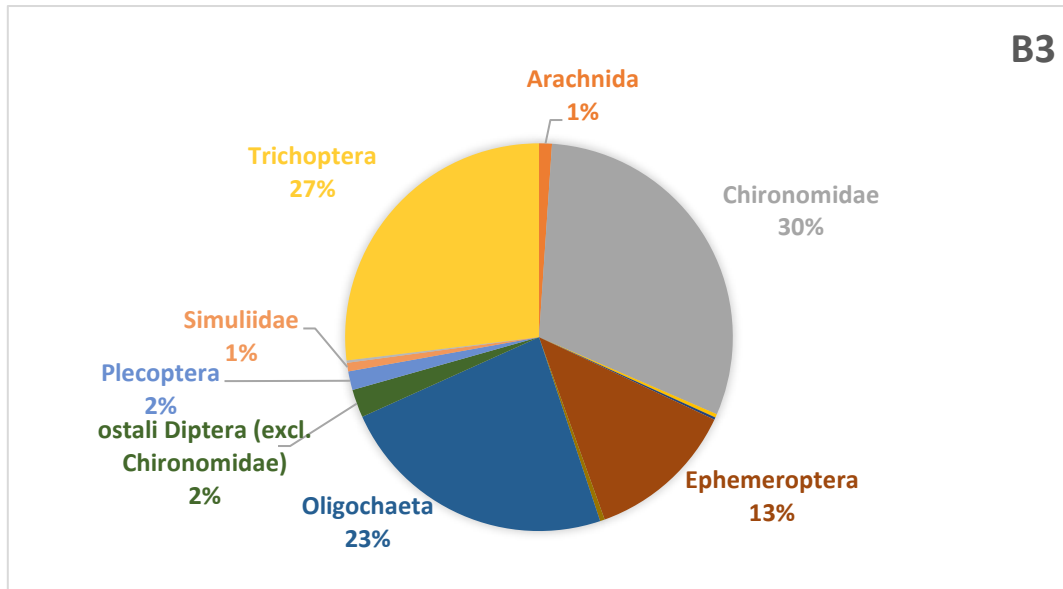
Slika 13. Zastupljenost različitih taksonomskih skupina u uzorcima bentosa na postaji B1 tijekom travnja i lipnja 2016.

Na postaji B2, zastupljenost predstavnika Oligochaeta u bentosu se smanjuje u odnosu na postaju B1, ali su još uvijek bili najbrojnija skupina s udjelom od 49%. Udio jedinki iz porodice Chironomidae na postaji B2 (32%) porastao je u odnosu na postaju B1. Na istraživačkoj postaji B2 zamjećuje se povećan udio pripadnika reda Amphipoda (8%) i Ephemeroptera (6%). Pripadnici ostalih taksonomskih skupina zastupljeni su s udjelom od 1% ili manje (Slika 14).



Slika 14. Zastupljenost različitih taksonomskih skupina u uzorcima bentosa na postaji B2 tijekom travnja i lipnja 2016.

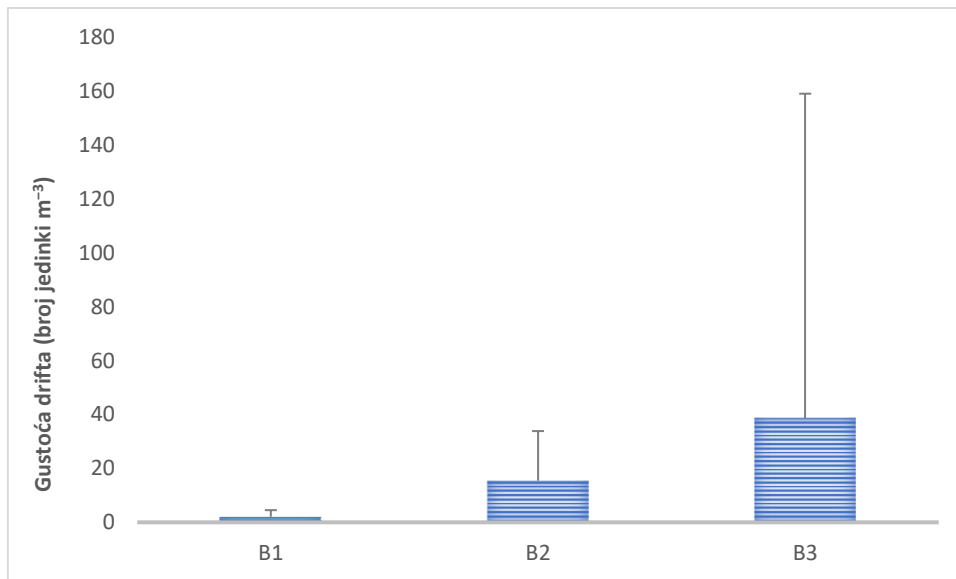
Zastupljenost pojedinih skupina na postaji B3 je podjednaka (Slika 15). Tako su najzastupljenije skupine na postaji B3 bile: Chironomidae (30%), Trichoptera (27%) i Oligochaeta (23%), dok su u otprilike dvostruko manjem broju nađene jedinke Ephemeroptera (13%). Ostale taksonomske skupine zastupljene su s 1% ili manje (Slika 15). Mann-Whitney U-testom nisu dokazane statistički značajne razlike ( $p > 0,05$ ) u brojnosti pojedinih skupina makrozoobentosa između travnja i lipnja.



Slika 15. Zastupljenost različitih taksonomskih skupina u uzorcima bentosa na postaji B3 tijekom travnja i lipnja 2016.

#### 4.2.3. Brojnost jedinki makrozoobentosa u uzorcima drifta

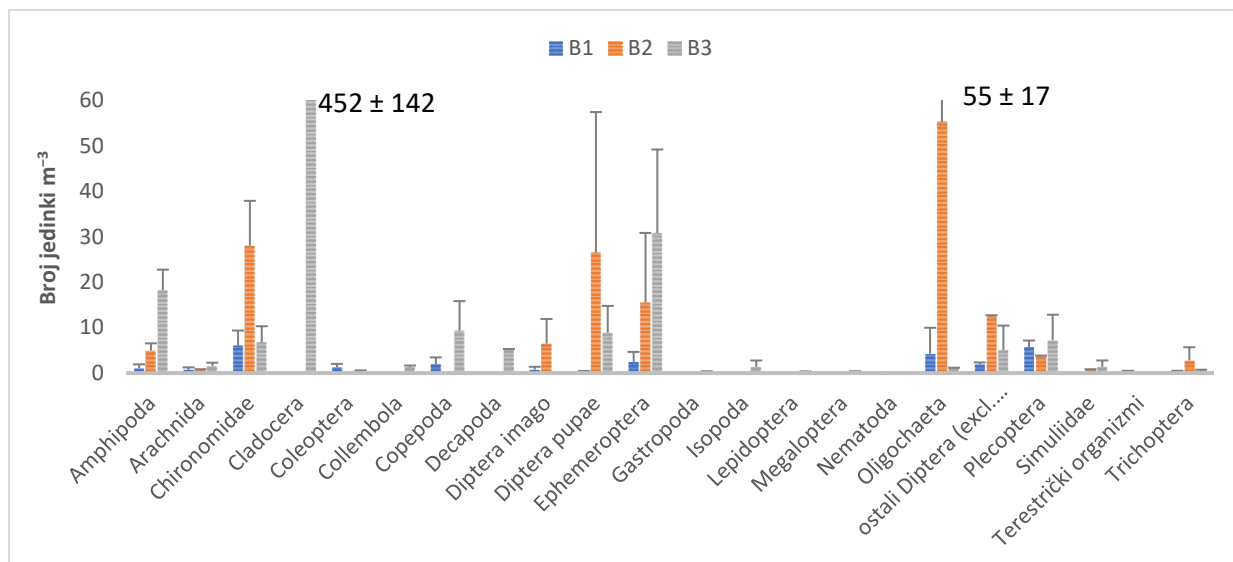
Prosječan broj jedinki makrozoobentosa u uzorcima drifta (tj. prosječna gustoća drifta) sa svake postaje prikazan je na Slici 16. U prosjeku najmanja gustoća drifta opažena je na postaji B1, dok je na nizvodnim postajama opažen porast brojnosti organizama u driftu. Kruskal-Wallis testom dokazana je statistički značajna razlika u gustoći drifta između postaja ( $H(2, N = 98) = 20,31, p < 0,0001$ ). Post-hoc testom multiple usporedbe dokazano je da je na postaji B1 gustoća drifta značajno manja u odnosu na postaje B2 i B3, među kojima se gustoća drifta nije značajno razlikovala.



Slika 16. Gustoća drifta na postajama B1, B2 i B3 tijekom travnja i lipnja 2016.

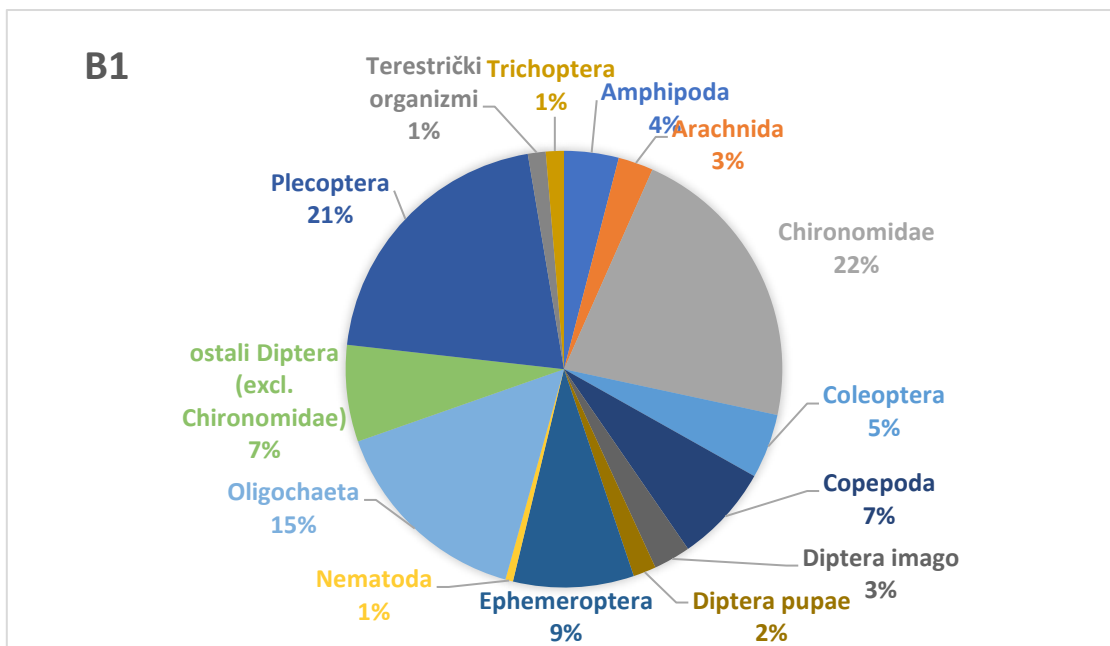
#### 4.2.4. Taksonomski sastav organizama makrozoobentosa u uzorcima drifta

U uzorcima drifta pronađene su jedinke koje pripadaju 17 različitih redova. Dominantne su bile jedinke iz skupine Cladocera i Oligochaeta (Slika 17). Kruskal-Wallis testom dokazano je da postoje statistički značajne razlike među postajama u gustoći drifta sljedećih skupina: Amphipoda: ( $H(2, N = 9) = 7,20, p = 0,0273$ ), Cladocera: ( $H(2, N = 9) = 7,62, p = 0,0221$ ), Copepoda: ( $H(2, N = 9) = 6,71, p = 0,0349$ ), terestrički organizmi: ( $H(2, N = 9) = 7,62, p = 0,0221$ ). Post-hoc test multiple usporedbe dokazao je da je gustoća drifta Amphipoda značajno niža na postaji B1 u odnosu na postaju B3, gustoća drifta Cladocera je značajno viša na postaji B3 u odnosu na postaje B1 i B2 (gdje Cladocera nisu niti zabilježeni), gustoća drifta Copepoda je značajno niža na postaji B2 u odnosu na postaju B3, gustoća drifta terestričkih organizama je značajno viša na postaji B1 u odnosu na postaje B2 i B3.

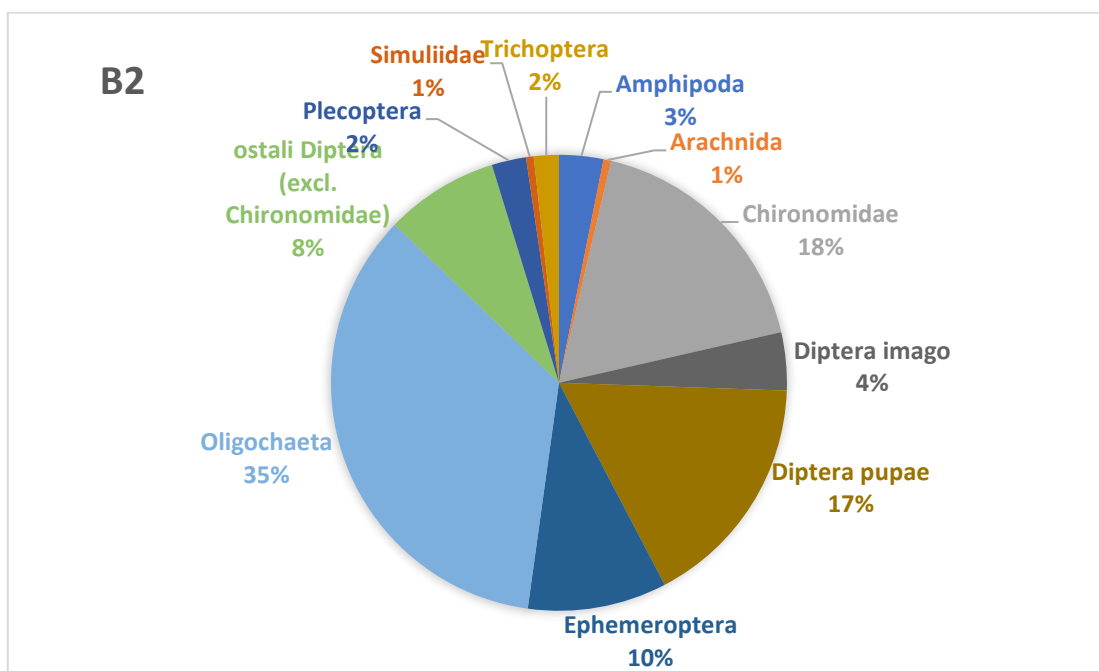


Slika 17. Prosječan ( $\pm$  SD) broj jedinki različitih taksonomskih skupina makrozoobentosa u uzorcima drifta na postajama B1, B2 i B3 tijekom proljetnih mjeseci

Na istraživačkoj postaji B1, u driftu su prevladale jedinice iz porodice Chironomidae (22%) te predstavnici Plecoptera (21%) i Oligochaeta (15%) (Slika 18). Brojni u driftu na postaji B1 bili su i predstavnici Ephemeroptera (9%), Copepoda (7%) i ostali Diptera (7%). Dominacija pojedinih skupina makrozoobentosa u uzorcima drifta bila je izraženija na postajama B2 i B3. Na postaji B2 u driftu dominiraju Oligochaeta (35%). Među zastupljenijim skupinama na postaji B2 su i Chironomidae (18%), s manjim udjelom u odnosu na postaju B1, kukuljice reda Diptera (17%) te predstavnici Ephemeroptera (10%) i ostali pripadnici reda Diptera (8%). Ostale skupine zastupljene su u udjelu manjem od 5%.

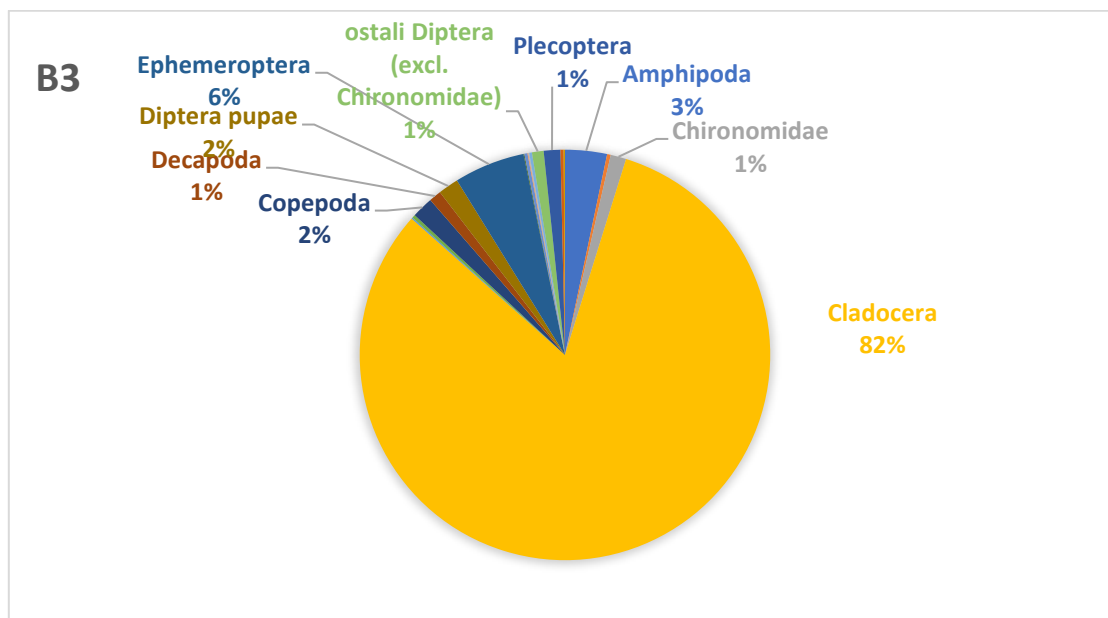


Slika 18. Zastupljenost različitih taksonomskih skupina u uzorcima drifta na postaji B1 tijekom travnja i lipnja 2016.



Slika 19. Zastupljenost različitih taksonomskih skupina u uzorcima drifta na postaji B2 tijekom travnja i lipnja 2016.

U driftu na postaji B3 opažena je značajno veća zastupljenost jedinki iz reda Cladocera u odnosu na postaje B1 i B2 (Kruskal-Wallis test,  $H(2, N=9) = 7,62$   $p = 0,0221$ ), dok su ostale skupine u uzorcima drifta s postaje B3 bile zastupljene sa 6% (Ephemeroptera) ili manje od 5%.



Slika 20. Zastupljenost različitih taksonomskih skupina u uzorcima drifta na postaji B3 tijekom travnja i lipnja 2016.

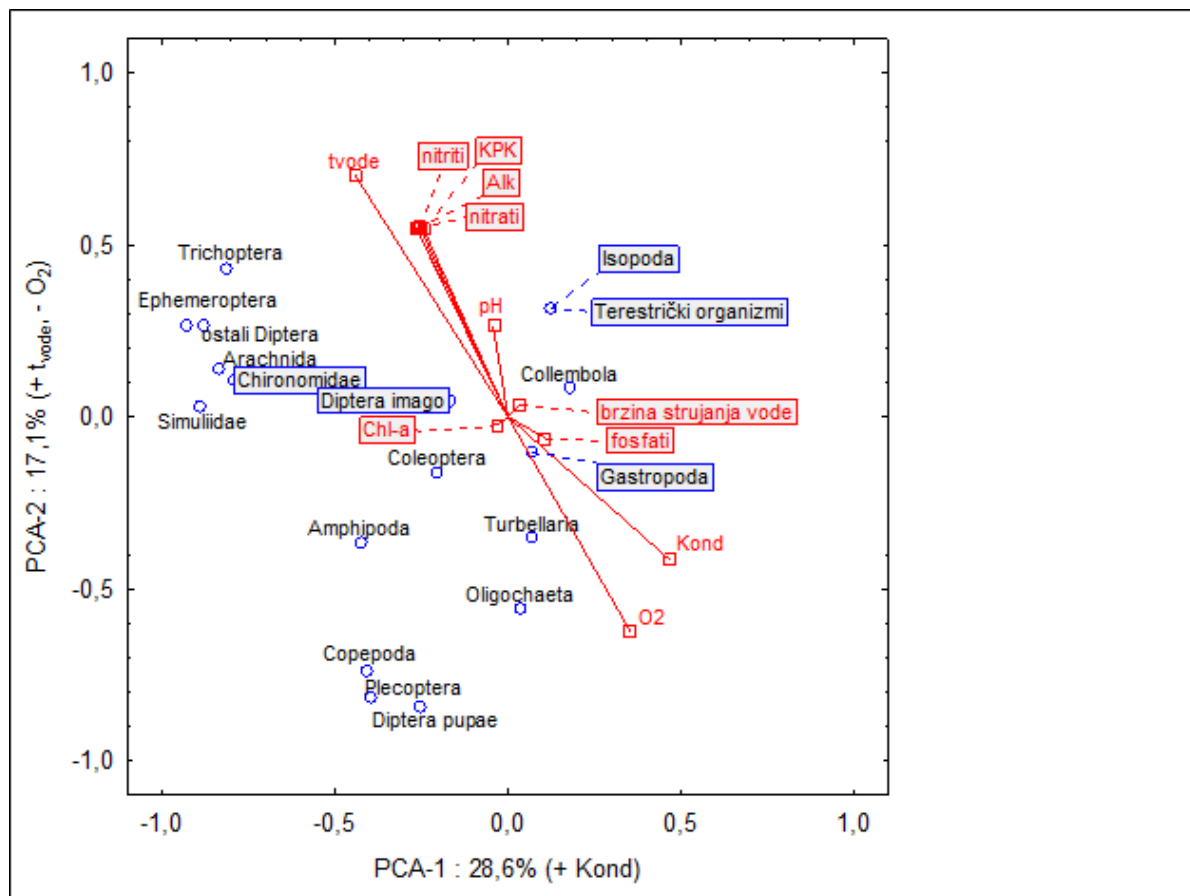
### 4.3. Utjecaj okolišnih čimbenika na sastav makrozoobentosa i gustoću drifta

#### 4.3.1. Bentos

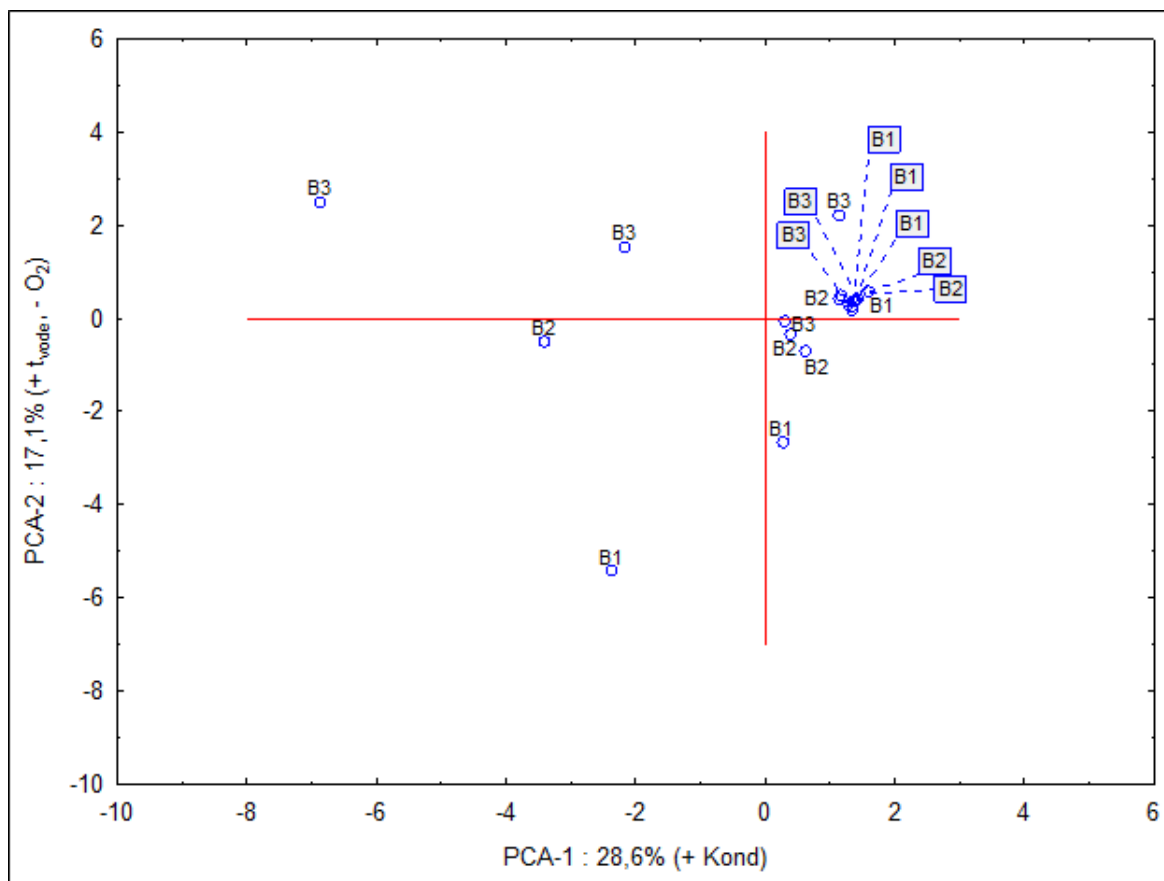
Rezultati PCA analize za uzorke bentosa prikazani su na ordinacijskim dijagramima (Slika 21 i Slika 22). PCA os 1 korelira s konduktivitetom u pozitivnom smjeru ( $R = + 0,47$ ), dok os PCA 2 korelira s temperaturom vode u pozitivnom smjeru ( $R = + 0,70$ ) i s masenom koncentracijom otopljenog kisika u negativnom smjeru ( $R = -0,62$ ) (Slika 21). Prema orijentaciji taksonomskih skupina ovisno o okolišnim čimbenicima uočava se porast brojnosti jedinki Trichoptera, Ephemeroptera, Arachnida, Simuliidae, Chironomidae i ostalih Diptera na staništima nižih vrijednosti  $KOND(\sigma)$  i  $\gamma(O_2) / mg L^{-1}$  te višim temperaturama vode. Porast broja jedinki taksonomskih skupina Amphipoda, Copepoda i Plecoptera zamjećuje se na staništima nižih vrijednosti konduktiviteta i koncentracijom otopljenog kisika u vodi te nižim temperaturnim vrijednostima vode. U odnosu na navedene skupine, povećan broj jedinki pripadnika Isopoda, Collembola te terestričkih organizama uočen je djelu staništa s višim vrijednostima konduktiviteta te nižim koncentracijama kisika otopljenog u vodi. U odnosu na navedene organizme, pripadnicima Turbellaria, Gastropoda i Oligochaeta odgovara stanište s povećanim vrijednostima konduktiviteta i otopljenog kisika te nižim vrijednostima temperature vode. Prema orijentaciji



pojedinih postaja (Slika 22) ne uočava se jasan uzorak grupiranja pojedinih istraživačkih postaja. Većina postaja grupirana je u području viših vrijednosti električne provodljivost i temperature vode te području s manjim vrijednostima masene koncentracije otopljenog kisika.



Slika 21. PCA-prikaz dobiven analizom glavnih komponenti mjerenih fizikalno-kemijskih parametara u vodi i brojnosti pojedinih svojti makrozoobentosa u uzorcima bentosa. Značenje skraćenica unutar prikaza: PCA-1 – prva glavna komponenta, PCA-2 – druga glavna komponenta, t<sub>vode</sub> – temperatura vode, O<sub>2</sub> – masena koncentracija kisika otopljenog u vodi, Kond – konduktivitet, Alk – alkalinitet, KPK – kemijska potrošnja kisika, Chl-a – sadržaj klorofila *a* u bentosu. Pojedini nazivi svojti i fizikalno-kemijskih parametara (u pravokutnicima) isprekidanom linijom su povezani s pripadajućim točkama, kako bi se postigla veća preglednost prikaza.



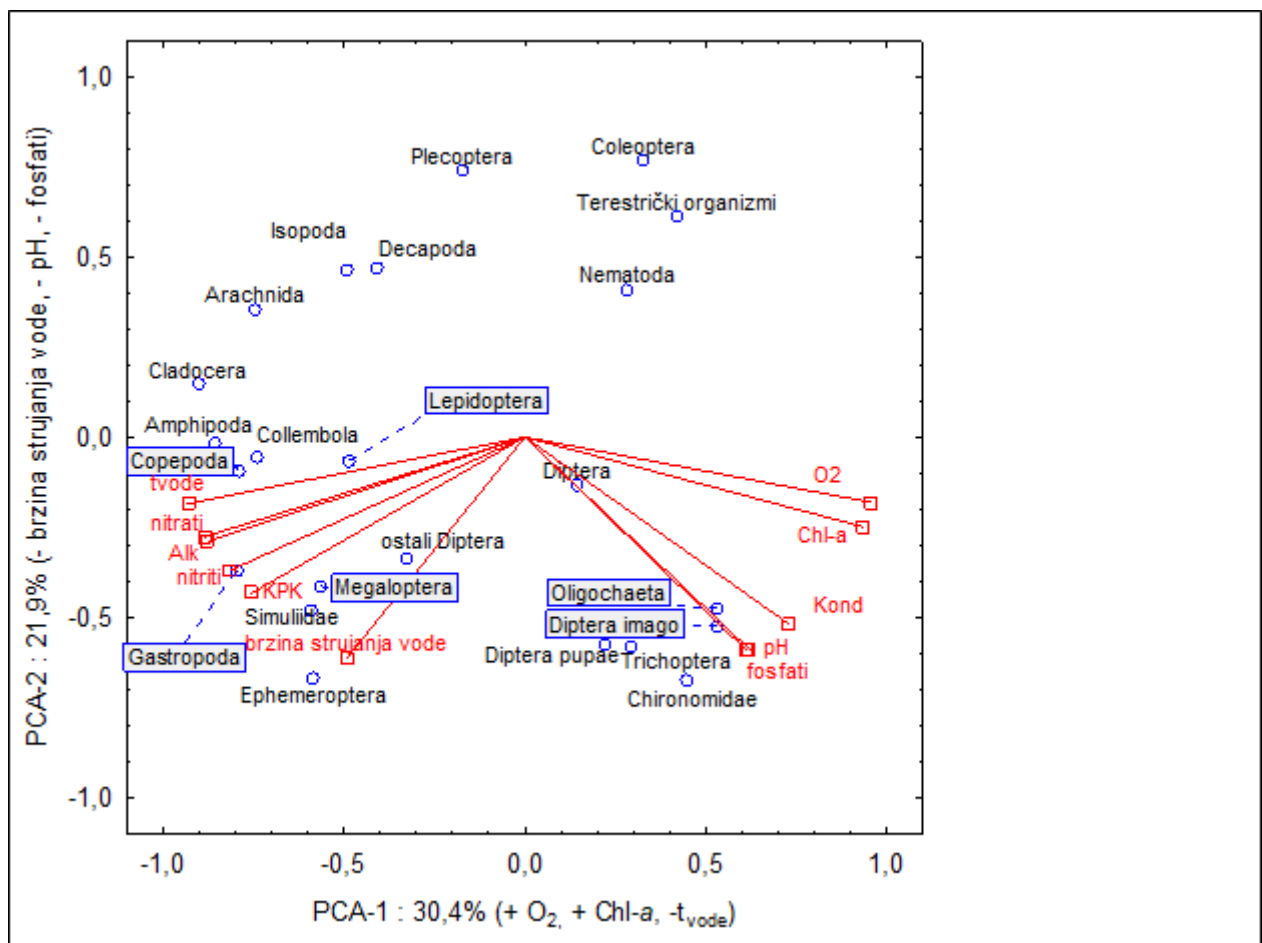
Slika 22. PCA-prikaz orijentacije istraživačkih postaja ovisno o sastavu makrozoobentosa u uzorcima bentosa i okolišnih čimbenika. Značenje skraćenica unutar prikaza: PCA-1 – prva glavna komponenta, PCA-2 – druga glavna komponenta,  $t_{vode}$  – temperatura vode,  $O_2$  – masena koncentracija kisika otopljenog u vodi, Kond – konduktivitet. Pojedine oznake istraživačkih postaja (u pravokutnicima) isprekidanom linijom su povezane s pripadajućim točkama, kako bi se postigla veća preglednost prikaza.

#### 4.3.2. Drift

Prema Slici 24. uočava se korelacija osi PCA-

1 s koncentracijom otopljenog kisika u vodi ( $R = +0,96$ ), sadržajem klorofila  $a$  u bentosu ( $R = +0,93$ ) i temperaturom vode ( $R = -0,93$ ). PCA os 2 korelira s brzinom strujanja vode ( $R = -0,61$ ), pH ( $R = -0,59$ ) i koncentracijom ortofosfata ( $R = -0,59$ ) (Slika 23). Povećana brojnost pripadnika reda Oligochaeta, Trichoptera, Diptera odraslih oblika i kukuljica te pripadnika skupine Chironomidae uočava se u područjima s povišenim vrijednostima masene koncentracije otopljenog kisika i sadržaja klorofila  $a$  te nižim vrijednostima temperature vode. Uz navedene uvjete, pripadnicima reda Diptera, Oligochaeta i Trichoptera odgovaraju staništa s višom brzinom strujanja vode, višim pH i višom masenom koncentracijom ortofosfata. Povećan broj pripadnika reda Coleoptera, Nematoda te terestričkih organizama primijećen je na staništu s višom masenom koncentracijom otopljenog kisika, sadržaja klorofila  $a$ , nižim temperaturama vode, nižim brzinama strujanja vode, nižim pH vrijednostima vode te

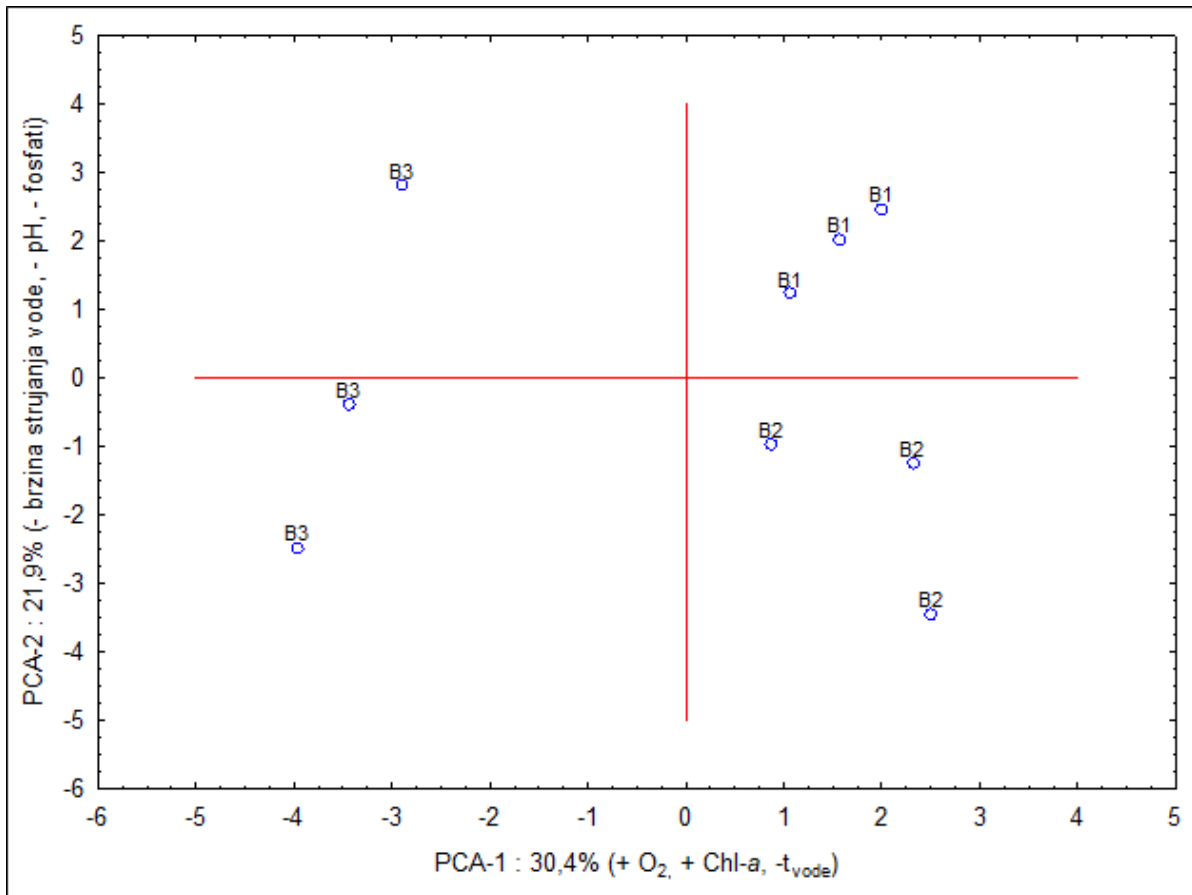
nižom masenom koncentracijom ortofosfata. Okolišni uvjeti kao što su niža brzina strujanja vode, niže pH vrijednosti vode te niže masene koncentracije ortofosfata zajedno s nižim vrijednostima masene koncentracije otopljenog kisika, sadržaja klorofila *a* i višim temperaturama vode odgovaraju porastu broja jedinki pripadnika skupina Isopoda, Plecoptera, Decapoda, Arachnida, Cladocera i Amphipoda. Povećana brojnost pripadnika reda Collembola, Lepidoptera, Copepoda, Gastropoda, Megaloptera, Ephemeroptera, ostalih pripadnika reda Diptera te porodice Simuliidae uočava se u uvjetima snižene masene koncentracije otopljenog kisika, sadržaja klorofila *a*, višim temperaturnim vrijednostima vode, brzine strujanja vode, pH vrijednostima vode te višim vrijednostima masene koncentracije ortofosfata.



Slika 23. PCA-prikaz dobiven analizom glavnih komponenti mjerenih fizikalno-kemijskih parametara u vodi i brojnosti pojedinih svojti makrozoobentosa u uzorcima drifta. Značenje skraćenica unutar prikaza: PCA-1 – prva glavna komponenta, PCA-2 – druga glavna komponenta, pH – pH vrijednost vode, fosfati – masena koncentracija ortofosfata u vodi, O<sub>2</sub> – masena koncentracija kisika otopljenog u vodi, Chl-*a* – sadržaj klorofila *a* u bentosu, t<sub>vode</sub> – temperatura vode. Pojedine oznake svojti (u pravokutnicima) isprekidanom linijom su povezane s pripadajućim točkama, kako bi se postigla veća preglednost prikaza.

U uzorcima drifta primjećuje se pravila orijentacija istraživačkih skupina ovisno o okolišnim čimbenicima (Slika 24). Postaja B1 u odnosu na postaju B2 grupirana je u području više masene koncentracije otopljenog kisika, sadržaja klorofila *a*, nižim temperaturnim vrijednostima vode, brzinama

strujanja vode, pH vrijednosti vode te nižim vrijednostima masene koncentracije fosfata (s desne strane PCA orijentacije). B3 istraživačka postaja za razliku od istraživačke postaje B1 i B2 grupirana je na području s nižim vrijednostima masene koncentracije otopljenog kisika, sadržaja klorofila *a*, nižim vrijednostima temperature vode.



Slika 24. PCA-prikaz orijentacije istraživačkih postaja ovisno o sastavu makrozoobentosa u uzorcima drifta i okolišnih čimbenika. Značenje skraćenica unutar prikaza: PCA-1 – prva glavna komponenta, PCA-2 – druga glavna komponenta, pH – pH vrijednost vode, fosfati – masena koncentracija ortofosfata u vodi, O<sub>2</sub> – masena koncentracija kisika otopljenog u vodi, Chl-*a* – sadržaj klorofila *a* u bentosu, t<sub>vode</sub> – temperatura vode.

## 5. Rasprava

### 5.1. Fizikalno-kemijski parametri

Fizikalno-kemijske značajke vode u ovom istraživanju ne odstupaju mnogo od vrijednosti navedenih u prethodnim istraživanjima, koja su uključila istraživanja gornjeg i donjeg toka potoka Blizneca (Ćuk i sur., 2011; Mikulčić, 2017). U ovom istraživanju, temperature vode u lipnju su na svim istraživačkim postajama (očekivano) nekoliko Celzijevih stupnjeva više u odnosu na temperature vode izmjerene u mjesecu travnju. Temperatura vode ovisi o temperaturi zraka (Giller i Malmquist, 1998), a temperature zraka su tijekom lipnja u Zagrebu više u odnosu na temperaturu zraka u travnju, što je utjecalo i na opažene povišene lipanjske temperature vode (Državni hidrometeorološki zavod, 2020). Smanjenje zasjenjenosti vode potoka, odnosno uklanjanje obalne vegetacije u njegovim nizvodnim dijelovima toka, što je karakteristično za urbane potoke, također je jedan od vjerojatnih uzroka povišenih temperaturnih vrijednosti potoka (EPA, 2017). Na povišenje temperature vode utječe i porast slijevanja zagrijanih oborinskih voda u potok (EPA, 2017), kao i sprječavanje infiltracije oborinskih voda u podzemne vode te kanaliziranje potoka (Paul i Meyer, 2001). Iako nisu određene statistički značajne razlike u temperaturi vode između istraživačkih postaja na potoku Bliznec, uočava se povećanje temperaturnih vrijednosti u nizvodnim dijelovima potoka. Opaženi trend povišenja temperatura vode vjerojatno je odgovor na porast stupnja urbanizacije u nizvodnim dijelovima Blizneca (Paul i Meyer, 2001; EPA, 2017).

Statistički značajne razlike među mjesecima i postajama nisu otkrivene ni u masenim koncentracijama otopljenog kisika u vodi. Međutim, zapažene su relativno više vrijednosti masene koncentracije kisika na svim istraživačkim postajama u mjesecu travnju u odnosu na lipanj. Niže vrijednosti masene koncentracije otopljenog kisika odgovaraju porastu temperature u lipnju (EPA, 2017). Iako u potpunosti ne prate trend smanjenja vrijednosti masene koncentracije otopljenog kisika duž rastućeg gradijenta urbanizacije, uočene su snižene vrijednosti masene koncentracije otopljenog kisika na najnižvodnijoj istraživačkoj postaji (B3) potoka Bliznec. Za razliku od masene koncentracije otopljenog kisika, zasićenje vode kisikom raste porastom urbanizacije, odnosno od istraživačke postaje B1 prema istraživačkoj postaji B3. Porast vrijednosti zasićenja vode kisikom na nizvodnim postajama može se objasniti povećanom primarnom proizvodnjom, odnosno vrlo intenzivnim procesima fotosinteze, koji se zbivaju u osvijetljenim (nizvodnim) dijelovima toka i rezultiraju visokim razinama kisika u vodi (Tank i sur. 2010). Također, i porast vrijednosti kemijske potrošnje kisika može se povezati s povećanjem primarne proizvodnje u nizvodnim dijelovima toka (Tank i sur. 2010). Razlike u vrijednostima zasićenja vode kisikom između istraživanih mjeseci su zanemarivo male, izgledno zbog vrlo sličnih okolišnih uvjeta u proljetnim mjesecima travnju i lipnju, kada je provedeno ovo istraživanje.

Prema Paul i Meyer (2001), vrijednosti pH, konduktiviteta, ukupne tvrdoće vode, alkaliniteta te ukupne koncentracije otopljenih soli mogu biti povišene u urbanim potocima zbog neke vrste kemijskog onečišćenja. Vrijednosti pH vode na svim istraživačkim postajama u ovom istraživanju ukazuju na blago lužnatu vodu odnosno malo su povišene. Najviša pH vrijednost vode izmjerena je na istraživačkoj postaji B2 u području naselja Jazbina. Moguće je da povišena pH vrijednost potječe od otpadnih voda iz kućanstva (npr. utjecaja detergenata i sličnih lužnatih tvari). Istraživačka postaja B2 ne pokazuje statistički značajne razlike u vrijednostima konduktiviteta, ali je prosječna vrijednost konduktiviteta viša u odnosu na istraživačke postaje B1 i B3. Na električnu provodljivost utječu količina i vrsta otopljenih iona (Filipović i Lipanović, 1995), a na povišenu koncentraciju iona zaslužnih za provođenje električne energije mogu utjecati i ioni koji potječu iz sedimenta s dna potoka, odnosno iz geološke i litološke podloge potoka (Brickl, 2012; Narodne novine, 2008, 2019). Ukupna količina otopljenih soli prati prosječne vrijednosti konduktiviteta, čime se objašnjava i povećana vrijednost konduktiviteta na istraživačkoj postaji B2. Povećane vrijednosti alkaliniteta kao i ukupne tvrdoće vode mogu također biti posljedica različite geološke podloge i tipova antropogenog utjecaja duž potoka (Kannel i sur., 2007). Do povećanja koncentracije magnezijevih i kalcijevih iona, koji ujedno utječu i na ukupnu tvrdoću, dolazi vjerojatno uslijed ulijevanja otpadnih voda s poljoprivrednih područja koja koriste pesticide i gnojiva za uzgoj (Potasznik i Szymezyk, 2015). Donji dijelovi toka potoka Bliznec prolaze pored pokušališta Agronomskog fakulteta te zbog slijevanja oborinskih voda s pokušališta u potok može nastupiti povišena koncentracija magnezijevih i kalcijevih iona.

Masene koncentracije nitrita, nitrata te ortofosfata također su često povišene u potocima izloženim utjecaju kućanstava, industrije i poljoprivrednih djelatnosti (Paul i Meyer, 2001). Na svim istraživačkim postajama uočena je veća masena koncentracija nitratnih iona u odnosu na masene koncentracije nitritnih i fosfatnih iona. Iako je masena koncentracija nitratnih iona veća u srednjem dijelu toka ona ne prelazi dopuštenu granicu zdravstvene ispravnosti vode za piće u Hrvatskoj koja iznosi  $50,0 \text{ mgL}^{-1}$  (Narodne novine, 2008, 2019). Dopuštena granica masene koncentracije za nitrite ione u vodi za piće iznosi  $0,50 \text{ mgL}^{-1}$  (Narodne novine, 2008, 2019) navedena granica također nije prijeđena. Iako ne postoji statistički značajna razlika, uočava se porast masenih koncentracija navedenih iona nizvodno što je u skladu s očekivanim rezultatima.

## 5.2. Struktura makrozoobentosa u uzorcima bentosa

Pod utjecanjem nekog organskog onečišćenja dolazi do smanjenja raznolikosti vrsta, premda se može povećati broj jedinki neke vrste (obično one koja je tolerantna na onečišćenje) (Rosenberg i Resh, 1993; Marques i sur., 1999). Za razliku od zagađenih voda, čiste vode naseljava veći broj različitih vrsta, ali s manjom brojnošću jedinki (Rosenberg i Resh, 1993; Marques i sur., 1999). U urbanim potocima

brojnost makrozoobentosa može biti i smanjena zbog, primjerice, povišenja temperature i prisutnosti toksičnih tvari (Paul i Meyer, 2001). Međutim, brojnost organizama makrozoobentosa se ne razlikuje značajno u uzorcima bentosa te se na temelju brojnosti ne može govoriti o prekomjernom zagađenju Blizneca u njegovim nizvodnim dijelovima toka. Za procjenu kakvoće vode, uz fizikalno-kemijske parametre, najčešće se koristi uvid u kvalitativni i kvantitativni sastav bentoskih beskralježnjaka, odnosno organizama makrozoobentosa (De Pauw i Hawkes, 1993). Naime, budući da fizikalno-kemijski parametri utječu na kakvoću vode kao staništa, oni uvelike utječu i na zastupljenost pojedinih organizama u mikrostaništima unutar potoka. Među pripadnicima makrozoobentosa nalaze se organizmi koji su poznati po većoj toleranciji na organska zagađenja, kao i organizmi koji su poznati po tome da ne toleriraju organska zagađenja. Zbog tih svojstava, pojedine skupine koriste se kao indikatori za određivanje kakvoće vode (Kerovec i Mihaljević, 2010). Pripadnici reda vodencvjetova (Ephemeroptera), obalčara (Plecoptera) i tulara (Trichoptera) osjetljivi su na smanjene koncentracije kisika, velike promjene pH vrijednosti i temperature vode. Za razliku od navedenih redova, pojedini maločetinaši (Oligochaeta) te predstavnici trzalaca (Chironomidae) toleriraju smanjene koncentracije kisika, promjene u pH vrijednosti te povišene temperature (Hauer i Resh, 2006). Među istraživačkim postajama u ovom istraživanju nisu dokazane statistički značajne razlike u brojnosti pojedinih skupina makrozoobentosa te se isključivo na temelju tih podataka ne može donijeti zaključak o kakvoći vode. Međutim, na postaji B1 se ističe najveći broj skupina tj. najveća raznolikost organizama, što može ukazati na vodu nešto bolje kakvoće na toj postaji (u odnosu na druge postaje). Premda, na postaji B1 najzastupljeniji su pripadnici reda Oligochaeta, koji su uglavnom indikatori vode lošije kvalitete. Međutim, Oligochaeta su jako raznovrsna skupina organizama i među njima postoje i svojte koje su indikatori čistih voda. Stoga bi detaljnija determinacija organizama (npr. do razine roda i/ili vrste) bila potrebna za obuhvatniju procjenu kakvoće vode na istraživanim postajama. Povećan broj jedinki Oligochaeta (i istovremeno smanjeni broj nekih drugih organizama makrozoobentosa) moguć je i zbog različitih životnih ciklusa organizama (Hauer i Resh, 2006). Prema provedenoj PCA analizi, pripadnici reda Oligochaeta nađeni na postaji B1 preferiraju vode nižih temperatura, s višim masenim koncentracijama kisika i višim konduktivitetom, te je moguće da se radi o predstavnicima porodice Naididae, koje su kozmopolitski maločetinaši (Brinkhurst, 1986).

Velika zastupljenost tolerantnih vrsta i/ili smanjenje brojnosti osjetljivih vrsta karakteristika je urbanih potoka (Paul i Meyer, 2001; Walsh i sur., 2005). Porastom urbanizacije raste udio skupina tolerantnih na onečišćenje (Ćuk i sur., 2011; Mikulčić, 2017). Povećan udio pripadnika reda Trichoptera u nizvodnom dijelu toka Blizneca opažen u ovom istraživanju nije u skladu s već navedenim istraživanjima. Budući da u ovom istraživanju nisu dokazane razlike u fizikalno-kemijskim parametrima vode u odnosu na prethodna istraživanja potoka Blizneca (Ćuk i sur., 2011.; Mikulčić 2017), može se

pretpostaviti da u međuvremenu nije došlo do značajnijih promjena u kakvoći vode. Prema PCA analizi, utvrđeno je da jedinkama reda Trichoptera nađenima u ovom istraživanju odgovara voda viših temperaturnih vrijednosti, nižih vrijednosti masene koncentracije otopljenog kisika te nižih vrijednosti konduktiviteta. Navedeni uvjeti nalaze se na istraživačkoj postaji B3. Povećan udio jedinki iz reda Trichoptera u nizvodnim dijelovima Blizneca može se objasniti razlikama u supstratu potočnog dna između postaja, budući da neke vrste Trichoptera preferiraju kamenitu podlogu, a neke sitniji supstrat (npr. pijesak) (Hauer i Resh, 2006). Također, među Trichoptera postoje brojne vrste koje su umjereno tolerantne na povišene koncentracije hranjivih tvari, dok su neke izuzetno osjetljive na onečišćenje (Hauer i Resh, 2006). Ponovno se može zaključiti da bi bilo dobro provesti detaljniju determinaciju organizama (npr. do razine roda i/ili vrste), kako bi se na istraživanim postajama mogla izvršiti obuhvatnija procjena kakvoće vode temeljem sastava makrozoobentosa.

### 5.3. Struktura makrozoobentosa u uzorcima drifta

Na drift utječu različite fizikalne promjene i poremećaji unutar potočnog dna ili onečišćenje kao posljedica urbanizacije (Svendsen i sur., 2004). Na sam drift uvelike utječu okolišni (abiotički) uvjeti, međutim, na gustoću i sastav drifta utječe i struktura makrozoobentosa i biotički odnosi među organizmima u bentosu (Svendsen i sur., 2004). Jedan od presudnih abiotičkih utjecaja na drift je brzina strujanja vode (Svendsen i sur., 2004; Hauer i Resh, 2006). U ovom istraživanju dokazane su statistički značajne razlike u brzini strujanja vode između postaja. Post-hoc testom multiple usporedbe dokazano je da su na postaji B1 značajno niže brzine strujanja vode nego na postajama B2 i B3, među kojima se brzine strujanja vode nisu značajno razlikovale. Slično tome, dokazane su statistički značajne razlike u gustoći drifta između postaja te je dokazano da je na postaji B1 značajno niža gustoća drifta nego na postajama B2 i B3, među kojima se gustoće drifta značajno nisu razlikovale. Dakle, u ovom istraživanju opaženi su identični trendovi rasta i pada vrijednosti brzine strujanja vode i gustoće drifta. Premda, PCA-dijagram ukazuje da je brzina strujanja vode pozitivno korelirana s gustoćom drifta (primjerice) Ephemeroptera, Simuliidae, Chironomidae, ostalih Diptera i Trichoptera, dok je negativno korelirana s gustoćom drifta nekih drugih organizama (npr. Coleoptera, Plecoptera, Nematoda, terestrički organizmi). Dakle, može se zaključiti da različiti organizmi imaju različite strategije u prevladavanju brzine strujanja vode – neki se lakše prepuste driftu, dok su neki organizmi očito spretniji u izbjegavanju brze struje vode i traženju zaklona unutar potoka (Svendsen i sur., 2004; Hauer i Resh, 2006).

Nadalje, u urbanim potocima je često ujednačen tok i supstrat, što je posljedica kanaliziranja potoka, koje dovodi do većih brzina strujanja vode i homogenizacije staništa tj. manjeg broja različitih tipova mikrostaništa (Paul i Meyer, 2001). S obzirom da je donji tok potoka Bliznec kanaliziran te je u velikoj mjeri odstranjena obalna vegetacija, povećana vrijednost brzine strujanja vode vjerojatno je posljedica



tih zahvata u nizvodnim dijelovima toka na postaji B3. Prilikom povećanja brzine strujanja vode, organizmi makrozoobentosa izloženi su većem riziku da ih brza struja vode odnese i da postanu sastavni dio drifta (Svendsen i sur., 2004). S obzirom da je na dijelovima toka koji su izloženi urbanizaciji kompleksnost dna manja i osigurava manje mjesta za sakrivanje (Svendsen i sur. 2004), povećana gustoća drifta je očekivani rezultat i potvrđuje već provedena istraživanja (Mikulčić, 2017). Prema Ćuk i sur. (2011), u gornjem dijelu toka Blizneca, u podlozi prevladavaju veće valutice, dijelovi stijena nastali drobljenjem, valjanjem i zaobljivanjem uslijed kotrljanja po potoku te blokovi (20–40 cm), dok su u donjem dijelu toka, uz djelomice popločeno (i/ili betonirano dno) dominantni sitniji supstrati (npr. pijesak, mulj) i fital (živi biljni dijelovi). Sitne, lako pokretne čestice čine sediment nestabilnim što također može biti razlog većeg drifta na istraživačkim postajama B2 i B3 (Paul i Meyer, 2001). Mogući razlog većeg drifta je i katastrofični drift prilikom kojeg, zbog ekstremnih promjena fizikalno-kemijskih parametara dolazi do otplavlivanja velikog broja organizama (Svendsen i sur., 2004). Kruskal-Wallis testom dokazano je da postoje statistički značajne razlike među postajama u gustoći drifta Amphipoda, Cladocera, Copepoda i terestričkih organizama. Značajno veći udio predstavnika Cladocera i Copepoda na istraživačkoj postaji B3 može se objasniti otplavlivanjem vode iz maksimirskog ribnjaka smještenog uzvodno od istraživačke postaje. Obalna vegetacija na istraživačkoj postaji B1 koja se nalazi u Parku prirode Medvednica je netaknuta od strane ljudi. Pad terestričkih organizama s obalne vegetacije u potok Bliznec je moguće objašnjenje za značajnu razliku terestričkih organizama na istraživačkoj postaji B1.

## 6. Zaključak

Nastavno na ciljeve ovog diplomskog rada, može se zaključiti sljedeće:

1) Premda se uočava porast vrijednosti mjerenih **fizikalno-kemijskih parametara** na nizvodnim postajama potoka Bliznec (tj. s porastom urbanog utjecaja), nije dokazana statistički značajna razlika između postaja s obzirom na većinu fizikalno-kemijskih parametara. Jedino je brzina strujanja vode bila značajno viša u nižim dijelovima toka (na postajama B2 i B3) u odnosu na najuzvodniju postaju (B1), smještenu unutar Parka prirode Medvednica. Stoga, na temelju fizikalno-kemijskih parametara nije moguće potvrditi da postoji značajan utjecaj urbanizacije duž potoka Bliznec. Blago povišenje mjerenih fizikalno-kemijskih parametara ukazuje na promjene od uzvodnih prema nizvodnim dijelovima toka, ali zabilježene vrijednosti uglavnom ne prelaze granične vrijednosti koje bi ukazale na značajno onečišćenje potoka u nizvodnim dijelovima toka.

2) Premda nisu dokazane značajne razlike između istraživačkih postaja s obzirom na broj jedinki makrozoobentosa u uzorcima bentosa za vrijeme trajanja istraživanja, opaženo je da **ukupna brojnost** organizama u bentosu raste nizvodno od najuzvodnije istraživačke postaje (B1). Također, na postaji B1 zabilježena je značajno manja gustoća drifta u odnosu na nizvodne postaje B2 i B3, među kojima se gustoća drifta nije značajno razlikovala. Značajne razlike među postajama s obzirom na gustoću drifta poklapaju se s opaženim razlikama u brzini strujanja vode.

3) Nisu dokazane značajne razlike u brojnosti organizama **pojedinih skupina** makrozoobentosa u uzorcima **bentosa** između različitih postaja. U bentosu su na sve tri postaje s velikim udjelima ističu predstavnici Oligochaeta. Raznolikost i relativni udjeli ostalih skupina organizama makrozoobentosa na nizvodnim postajama (B2 i B3) raste te je tim postajama opažen porast udjela (i brojnosti) predstavnika skupina Chironomidae, Trichoptera i Ephemeroptera u bentosu. Uzrok opaženim razlikama vjerojatno su opažene razlike u kakvoći vode, brzini strujanju vode i tipu supstrata duž toka potoka Bliznec. Sastav **drifta** bio je raznolik na sve tri istraživane postaje. Opažene su značajne razlike među istraživačkim postajama na temelju gustoće drifta. Na postaji B1, opažene su značajno veće gustoće drifta Amphipoda i terestričkih organizama u odnosu na nizvodno smještene postaje B2 i B3, što je vjerojatno posljedica bujne (šumske) obalne vegetacije na postaji B1 smještenoj unutar Parka prirode Medvednica. Na postaji B3 opažene su značajno veće gustoće drifta planktonskih svojti Cladocera i Copepoda u odnosu na postaje B1 i B2, gdje su te svojte nađene u vrlo malom broju ili su u potpunosti izostale. Značajno veći udio predstavnika Cladocera i Copepoda na istraživačkoj postaji B3 može se objasniti otplavlivanjem vode iz maksimirskog ribnjaka smještenog uzvodno od istraživačke postaje.

4) Rezultati PCA analize ukazali su da **od fizikalno-kemijskih parametara vode**, na sastav bentosa duž toka potoka Bliznec najveći utjecaj imaju konduktivitet, temperatura vode i masena koncentracija otopljenog kisika, dok na sastav drifta najznačajniji utjecaj imaju također masena koncentracija otopljenog kisika u vodi i temperatura vode te brzina strujanja vode, pH vrijednost vode, koncentracija ortofosfata u vodi i sadržaj klorofila *a* u bentosu.

## 7. Literatura

1. Alba-Tercedor J. (2006): Aquatic macroinvertebrates. U: Ziglio G., Siligardi M., Flaim G. (ur.) Biological monitoring of rivers: applications and perspectives. John Wiley & Sons, 71-88.
2. APHA (American Public Health Association) (1985): Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington.
3. Brickl M. A. (2012): Effects of lithology, structure and stratigraphy on surface water specific electrical conductance; South Fork of the Flathead River, Montana. Diplomski rad 361, University of Montana. <https://scholarworks.umt.edu/etd/361>
4. Cengiz C. (2013): Urban ecology. U: Özyavuz M. (ur.) Advances in urban arhitecture. InTech, 677-696.
5. Curell B., McPartlin A., Steinmetz M. (2018): The Impacts of Climate Change in Winter on Aquatic Macroinvertebrates. Skidmore College. Environmental Science Capstone.
6. Ćuk R., Vučković I., Stanković I., Andreis S., Grubiša D. (2011): Obilježja zajednica bentičkih beskraljješnjaka u potocima na području grada Zagreba i Zagrebačke županije. Hrvatske vode 19: 1-12.
7. De Pauw N., Gabriels N., Goethals P. L. M. (2006): River monitoring and assessment methods based on macroinvertebrates. U: Ziglio G., Siligardi M., Flaim G. (ur.) Biological monitoring of rivers: applications and perspectives. John Wiley & Sons, 113-134.
8. DIN (Deutsches Institut für Normung) (1986): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, 16th edn. Vol II. Verlag Chemie, Weinheim.
9. Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske 2012. Statistički ljetopis Republike Hrvatske 2012. Državni zavod za statistiku RH, Zagreb
10. EPA (Environmental Protection Agency) (2017): CADDIS Urbanization Module. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/caddis-vol2/urbanization-module-document> Pristupljeno: 14.08.2020.
11. Filipović I., Lipanović S. (1995.): Opća i anorganska kemija - I. i II. dio, Školska knjiga, Zagreb
12. Gašparović M., Zrinjski M., Veselinski A. (2018): Analiza urbanizacije grada Zagreba, Zbornik radova - 11. simpozij ovlaštenih inženjera geodezije, Zagreb: Hrvatska komora ovlaštenih inženjera geodezije, str. 121-126
13. Giller, P. S. i Malmquist, B. (1998.): The Biology of Streams and Rivers. Oxford University Press, Oxford
14. Hauer F.R., Resh V.H. (2006): Macroinvertebrates. U: Hauer FR, Lamberti GA (eds.), Methods in Stream Ecology, 2nd edn. Academic Press/Elsevier, New York, 435-463
15. HELZMK (Hrvatska enciklopedija leksikografskog zavoda Miroslav Krleža). <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=63319> Pristupljeno: 14.08.2020
16. Hershey A. E., Lamberti G. A. (1998): Stream macroinvertebrate communities. U: Naiman R. J., Bilby R. E. (ur.) River ecology and management: lessons from the Pacific coastal ecoregion. Springer-Verlag, New York, 169-182.
17. Kamusoko C., and Jonah Gamba (2015): Simulating Urban Growth Using a Random Forest-Cellular Automata (RF-CA) Model, ISPRS International Journal of Geo-Information 4, 447-470; doi:10.3390/ijgi4020447
18. Kannel P. R., Lee S., Kanel S. R., Khan S. P., Lee Y. S. (2007): Spatial-temporal variation and comparative assessment of water qualities of urban river system: a case study of the river Bagmati (Nepal). Environ. Monit. Assess. 129: 433-459.

19. Kerovec M., Mihaljević Z. (2010.): Comparison of two biological methods of assessment of river water quality based on macrozoobenthos, *Ribarstvo*, 68, 2010, (1), 11–18
20. Kuriata-Potasznik A., Szymczyk S. (2015): Magnesium and calcium concentrations in the surface water and bottom deposits of a river-lake system. *Journal of Elementology*. 20. 677-692. 10.5601/jelem.2015.20.1.788.
21. Marques, M. M., Barbosa, F. A. R. i Callisto, M. (1999.): Distribution and abundance of Chironomidae (Diptera, Insecta) in an impacted watershed in southeast Brazil. *Rev. Bras. Biol.*, 59, 553-561.
22. Mikulčić M. (2017): Struktura i trofičke značajke makrozoobentosa urbanih potoka grada Zagreba, diplomski rad, Prirodoslovno – matematički fakultet u Zagrebu, Zagreb.
23. Narodne novine (2008): Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008\\_04\\_47\\_1593.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008_04_47_1593.html) Pristupljeno: 13.09.2020.
24. Narodne novine (2019): Uredba o standardu kakvoće vode. [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019\\_10\\_96\\_1879.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_10_96_1879.html)
25. Nikora V. (2010): Hydrodynamics of aquatic ecosystems: An interface between ecology, biomechanics and environmental fluid mechanics. *Wiley InterScience* 26: 367–384 <https://doi.org/10.1002/rra.1291>
26. Nusch E.A. (1980): Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. *Arch. Hydrobiol.*, 14, 14–36.
27. Paul M. J., Meyer J. L. (2001): Streams in the urban landscape. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 32: 333-65.
28. Principe R. E., Corigliano M. D. C. (2006): Benthic, drifting and marginal macroinvertebrate assemblages in a lowland river: temporal and spatial variations and size structure. *Hydrobiologia* 553: 303-317
29. Richards C., Host G. (1994): Examining Land Use Influences on Stream Habitats and Macroinvertebrates: A GIS Approach. *Water Resources Bulletin* 30(4):729-738
30. Rosenberg, D. M. i Resh, V. H. (1993.): *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman Hall, New York.
31. Sertić Perić M., Radanović I. (2017): Urbani potoci – pristupačna staništa za provedbu ekoloških istraživanja u nastavi Prirode i Biologije. *Education Biologiae Educ. biol.* 3, 1, 106-126
32. Svendsen C.R., Quinn T., Kolbe D. (2004): Review of Macroinvertebrate Drift in Lotic Ecosystems. Final report for Wildlife Research Program. Environmental and Safety Division, Seattle City Light, Seattle
33. Tank J. L., Rosi-Marshall E. J., Griffiths N. A., Entekin S. A., Stephen M. L. (2010): A review of allochthonous organic matter dynamics and metabolism in streams. *J. N. Am. Benthol. Soc.* **29**: 118-146.
34. Walsh C. J., Roy A. H., Femnella J. W., Cottingham P. D., Groffman P. M., Morgan II R. P. (2005) The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. *Freshwater Science* 24(3): 706-723. <https://doi.org/10.1899/04-028.1>

## 8. Životopis

### OSOBNNE INFORMACIJE

Ime i prezime: Matea Svoboda

Datum i mjesto rođenja: 15. lipanj 1994., Zagreb, Republika Hrvatska

### RADNO ISKUSTVO

2014. – 2015. – stručno usavršavanje bez zasnivanja radnog odnosa u svrhu stjecanja zvanja farmaceutski tehničar, Ljekarna Vanda Bačić, Ivanić Grad, Hrvatska

### OBRAZOVANJE I OSPOSOBLJAVANJE

2015. – 2020. Integrirani preddiplomski i diplomski studij biologije i kemije

2009. – 2013. Zdravstveno učilište

2001. – 2009. Osnovna škola Dubrava

### OSOBNNE VJEŠTINE

- Poznavanje stranih jezika: Njemački jezik
- Komunikacijske vještine: Otvorena , pristupačna i komunikativna. Orijentirana prema timskom radu.
- Organizacijske vještine: Sposobna raditi konstruktivno u timu.
- Poslovne vještine: Odgovorna i ambiciozna. Spremna primijeniti nove metode poučavanja i osmisliti brojne aktivnosti za obradu nastavnih sadržaja.
- Digitalne vještine: Poznavanje rada na računalu, Microsoft Office programa

### STRUČNA EDUKACIJA I SUDJELOVANJA

- Posterska priopćenja

Begić, V., Sertić Perić, M., Štargl, M., Svoboda, M., Korać, P., Radanović I. 2020. Analiza očuvanosti makromolekula u arhivskim uzorcima makrozoobentosa. Simpozij studenata doktorskog studija PMFa. Knjiga sažetaka, str.56.

- Nastava na daljinu

Dijeljenje primjera dobre prakse primjene inovativnih metoda poučavanja u nastavi na daljinu objavljenih na mrežnim stranicama Škole za život <https://skolazazivot.hr/video-lekcije/> od 16.3.2020. do 10.6.2020.

Sisavci 1.dio, Biologija, 2.razred SŠ ( 1 nastavni sat)

Građa neurona i prijenos živčanog impulsa, Biologija, 3.razred SŠ ( 1 nastavni sat)

Fotosinteza, Biologija, 3.razred SŠ ( 1 nastavni sat)