

Struktura i trofičke značajke makrozoobentosa urbanih potoka grada Zagreba

Mikulčić, Marta

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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:217:138801>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-23**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Marta Mikulčić

STRUKTURA I TROFIČKE ZNAČAJKE MAKROZOOBENTOSA
URBANIH POTOKA GRADA ZAGREBA

Diplomski rad

Zagreb, 2017. godina

Ovaj rad je izrađen u Laboratoriju za istraživanje slatkovodnih beskrležnjaka Zoologijskog zavoda Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, pod vodstvom prof. dr. sc. Biserke Primc i neposrednim vodstvom dr. sc. Mirele Sertić Perić. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra struke znanosti o okolišu.

Hvala:

Dr. sc. Mireli Sertić Perić na vodstvu, trudu, podršci i ugodnom druženju tijekom izrade rada,

Prof. dr. sc. Biserki Primc na ljubaznosti i stručnim savjetima,

Dr. sc. Tvrtku Dražini i Dr. sc. Zrinki Dragun na pomoći i društvu na terenima, kao i ostalim djelatnicima fakulteta i studentima koji su sudjelovali u istraživanju,

Dr. Pavlu Kratini i ostatku njegova tima, posebno Dr. Jensu Munku Nielsenu i Chien-Fan Liu, na prenesenom znanju, kolegijalnosti i gostoprimstvu na Queen Mary University of London

te dragim kolegama, prijateljima i obitelji na podršci.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Diplomski rad

STRUKTURA I TROFIČKE ZNAČAJKE MAKROZOOBENTOSA URBANIH POTOKA GRADA ZAGREBA

Marta Mikulčić

Rooseveltove trg 6, 10 000 Zagreb

Rad istražuje ekološko stanje potoka Bliznec i Veliki potok (Črnomerec). Ciljevi rada bili su 1) analizirati kvalitativni i kvantitativni sastav te veličinsku strukturu organizama, kao i 2) raspodjelu usitnjene organske tvari u uzorcima bentosa i drifta te 3) istražiti promjene prehranbenih navika organizama makrozoobentosa duž različitih gradijenata urbanog utjecaja u dva zagrebačka potoka. Na ukupno 6 istraživačkih postaja smještenih duž Blizneca i Velikog potoka, u veljači i ožujku 2016. provedena su mjerenja osnovnih fizikalno-kemijskih parametara te koncentracije 28 metala i metaloida u vodi, kvalitativna i kvantitativna analiza bentosa i drifta (uključujući makrozoobentos i usitnjenu organsku tvar) te analiza omjera stabilnih izotopa $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ u organizmima makrozoobentosa i njihovim potencijalnim izvorima hrane. Duž rastućeg gradijenta urbanizacije opažen je porast vrijednosti ključnih fizikalno-kemijskih parametara te koncentracije većine metala i metaloida u vodi, koji su se odrazili i na strukturu životnih zajednica na istraživanim postajama. Postaje pod većim utjecajem urbanizacije imale su veću brojnost i raznolikost makrozoobentosa, uz dominaciju Oligochaeta i Diptera te smanjenu brojnost manje tolerantnih svojti (Amphipoda i Plecoptera). U driftu je uslijed morfoloških promjena korita potoka također zabilježena veća brojnost i raznolikost organizama makrozoobentosa na urbanim postajama, uz dominaciju Amphipoda, Ephemeroptera i Diptera. Uz porast stupnja urbanizacije, smanjivala se količina usitnjene organske tvari u driftu, što se tumači kao posljedica odstranjivanja obalne vegetacije duž urbanih potoka. Rezultati analiza omjera stabilnih izotopa $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ ukazuju da pojedine svojte makrozoobentosa mogu mijenjati svoje izvore hrane duž rastućeg gradijenta urbanizacije. Premda su u Bliznecu i Velikom potoku opažene promjene u strukturiranju i funkcioniranju zajednica makrozoobentosa svojstvene urbanim potocima, posljedice urbanizacije u dva istraživana zagrebačka potoka ipak nisu jako zabrinjavajuće. Dokazano je kako je urbani okoliš vrlo promjenjiv te bi u svrhu detaljnije procjene razmjera urbanog utjecaja na potočne ekosustave bilo nužno provoditi sustavna uzorkovanja urbanih potoka, uključujući organizme makrozoobentosa i njihove potencijalne izvore hrane.

(57 stranica, 17 slika, 7 tablica, 74 literaturna navoda, jezik izvornika hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Ključne riječi: antropogeni utjecaj, beskralježnjaci, usitnjena organska tvar, drift, hranidbene mreže, stabilni izotopi

Voditelj: Dr. sc. Biserka Primc, red. prof.

Neposredni voditelj: Dr. sc. Mirela Sertić Perić

Ocjenitelji: Dr. sc. Biserka Primc, red. prof.

Dr. sc. Sandra Radić Brkanac, izv. prof.

Dr. sc. Alan Moro, izv. prof.

Dr. sc. Nenad Buzjak, izv. prof.

Rad prihvaćen: 05.01.2017.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Division of Biology

Graduation Thesis

STRUCTURE AND TROPHIC TRAITS OF MACROZOOBENTHIC COMMUNITIES ALONG URBAN STREAMS OF ZAGREB

Marta Mikulčić

Rooseveltova trg 6, 10 000 Zagreb

The study analyzes ecological condition of streams Bliznec and Veliki potok (Črnomerec). The study aims were to 1) determine diversity, abundance and size structure of invertebrates, as well as 2) distribution of particulate organic matter in benthos and drift, and, finally, 3) to analyze changes in feeding behaviour of macrozoobenthic organisms along gradients of the two urban streams within Zagreb. The field research was conducted at 6 locations stretched along Bliznec and Veliki potok, in February and March of 2016. Water samples for analysis of key physico-chemical parameters and 28 metal/metalloids concentrations were taken. Furthermore, benthos and drift samples for qualitative and quantitative analysis of macrozoobenthic communities and particulate organic matter were taken. Also, stable isotope ratios of nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) and carbon ($\delta^{13}\text{C}$) were determined in macrozoobenthic organisms and their potential food sources. Along the rising gradient of urbanization, increased values of physico-chemical parameters and concentrations of metals/metalloids were observed, which then affected the community structure at the study sites. The sites under higher urban pressure supported more abundant and diverse macrozoobenthic communities, dominated by Oligochaeta and Diptera, along with a loss or reduced abundance of less tolerant species (Amphipoda and Plecoptera). Drift samples from urban sites also had higher abundance and diversity of macrozoobenthic organisms due to alterations in channel morphology, with Amphipoda, Ephemeroptera and Diptera dominating drift composition. Along with the increasing urbanization, the amount of particulate organic matter was decreasing, which was interpreted as a consequence of riparian vegetation removal. The results of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ stable isotope analysis indicated that some macrozoobenthic species could change their food sources along the rising gradient of urbanization. Even though characteristic changes in structure and functioning of macrozoobenthic communities in Bliznec and Veliki potok were observed, the effects of urbanization in two investigated streams were not drastic. This study evidenced that urban environment is very variable, thus a comprehensive research of urban streams (including macrozoobenthic organisms and their potential food sources) would be necessary for further assessment of the urban influence on stream ecosystems.

(57 pages, 17 figures, 7 tables, 74 references, original in Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library

Key words: anthropogenic impact, invertebrates, particulate organic matter, drift, food webs, stable isotopes

Supervisor: Dr. Biserka Primc, Prof.

Assistant Supervisor: Dr. Mirela Sertić Perić

Reviewers: Biserka Primc, Prof.

Sandra Radić Brkanac, Assoc. Prof.

Alan Moro, Assoc. Prof.

Nenad Buzjak, Assoc. Prof.

Thesis accepted: 05.01.2017.

Popis kratica

AFDM – vrijednost gubitka mase pri žarenju (engl. *Ash Free Dry Mass*)

Alk. – alkalinitet

B – bentos

CPOM – krupno usitnjena organska tvar (engl. *Coarse Particulate Organic Matter*)

D – drift

DOM – otopljena organska tvar (engl. *Dissolved Organic Matter*)

FFG – funkcionalne hranidbene skupine (engl. *Functional Feeding Groups*)

FPOM – fino usitnjena organska tvar (engl. *Fine Particulate Organic Matter*)

KPK – kemijska potrošnja kisika

n.s. – nije statistički značajno

PAH – policiklički aromatski ugljikovodici

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

PCB – poliklorirani bifenili

PDB – belemnit (engl. *Pee Dee Belemnite*)

POM – usitnjena organska tvar (engl. *Particulate Organic Matter*)

SD – standardna devijacija

SP – standardna pogreška

SV – srednja vrijednost

TDS – ukupna otopljena kruta tvar (engl. *Total Dissolved Solids*)

Uk. tvrd. – ukupna tvrdoća

Sadržaj

| | |
|--|----|
| 1. Uvod | 1 |
| 1.1. Utjecaj urbanizacije i antropogenih aktivnosti na potoke | 2 |
| 1.1.1. Promjene u morfologiji kanala i hidrologiji potoka..... | 2 |
| 1.1.2. Promjene u kemijskom sastavu vode i sedimenta..... | 2 |
| 1.2. Ekološko stanje i funkcionalnost urbanih potoka..... | 3 |
| 1.2.1. Makrozoobentos..... | 3 |
| 1.2.2. Organska tvar | 5 |
| 1.2.3. Drift..... | 6 |
| 1.2.4. Hranidbene mreže | 7 |
| 1.3. Ciljevi istraživanja..... | 9 |
| 2. Područje istraživanja | 10 |
| 2.1. Bliznec | 11 |
| 2.2. Veliki potok (Čnomerec)..... | 12 |
| 3. Materijali i metode | 13 |
| 3.1 Mjerenje fizikalno-kemijskih čimbenika..... | 13 |
| 3.2. Uzimanje i obrada uzoraka makrozoobentosa i organske tvari u bentosu i driftu | 14 |
| 3.3. Uzimanje i obrada uzoraka za analizu hranidbenih mreža | 15 |
| 3.4. Obrada i prikaz podataka | 16 |
| 4. Rezultati | 18 |
| 4.1. Analiza fizikalno-kemijskih čimbenika..... | 18 |
| 4.2. Analiza strukture makrozoobentosa | 22 |
| 4.2.1. Brojnost jedinki i raznolikost svojti makrozoobentosa..... | 24 |
| 4.2.2. Brojnost jedinki i raznolikost svojti makrozoobentosa u uzorcima drifta | 25 |
| 4.2.3. Udio i brojnost taksonomskih skupina makrozoobentosa | 27 |
| 4.2.4. Udio i brojnost taksonomskih skupina makrozoobentosa u uzorcima drifta | 30 |
| 4.2.5. Veličinska struktura makrozoobentosa | 33 |
| 4.2.6. Veličinska struktura makrozoobentosa u uzorcima drifta..... | 34 |
| 4.3. Analiza organske tvari | 35 |
| 4.3.1. Količina POM-a u bentosu..... | 35 |
| 4.3.2. Količina POM-a u driftu | 36 |
| 4.4. Analiza hranidbenih mreža | 38 |
| 5. Rasprava | 40 |
| 5.1. Fizikalno-kemijski čimbenici | 40 |

| | |
|---|-----------|
| 5.2. Struktura makrozoobentosa | 42 |
| 5.3. Struktura makrozoobentosa u uzorcima drifta..... | 44 |
| 5.4. Organska tvar..... | 45 |
| 5.5. Hranidbene mreže..... | 46 |
| 6. Zaključak | 49 |
| 7. Literatura | 51 |
| 8. Životopis..... | 57 |

1. Uvod

Polovica svjetske populacije živi u urbanim sredinama, a predviđa se da će kontinuirani priljev stanovnika rezultirati dodatnim prirastom od 2,5 milijarde ljudi do 2050. godine, kada bi urbano stanovništvo moglo činiti oko 66% svjetske populacije (UN 2014). Povećanjem broja urbanog stanovništva šire se urbane zone koje time mijenjaju krajolik i prirodno stanje okoliša. Održivi suživot ljudi i prirode u urbanim sredinama moguć je samo kada je okoliš očuvan u stanju u kojem nisu izgubljene važne funkcije ekosustava, koje se ogledaju kroz životne aktivnosti njegovih sastavnica (flore i faune) i njihove fizikalne, geokemijske i biološke interakcije s okolišem (tj. staništem) (Naeem i sur. 1999).

Kroz područja mnogih gradova protječu tzv. urbani potoci koji uvelike pridonose kvaliteti života stanovnika u gradovima bilo kao izvori pitke vode, bilo kao „regulatori“ mikroklimе (ublažavajući temperaturne ekstreme svojstvene vrlo urbaniziranim gradskim središtima, nazvanim „toplinskim otocima“), i/ili kao estetski vrijedni krajobrazi te zone za rekreaciju, druženje i odmor (Bolund i Hunhammar 1999; Cengiz 2013). Uz to, urbani potoci pružaju staništa raznovrsnoj flori i fauni te sudjeluju u kruženju tvari i protoku energije u urbanim ekosustavima te i na takav posredan način uvjetuju kvalitetu života urbanog stanovništva (Sweeney i sur. 2004; Walsh i sur. 2005).

Povećanjem stupnja urbanizacije gradski se vodotoci mijenjaju, onečišćuju i/ili zatrpavaju. Posljedice urbanizacije i antropogenog utjecaja u potocima u suvremenoj se literaturi opisuju kao „sindrom urbanog potoka“ (engl. „*urban stream syndrome*“, Walsh i sur. 2005). Najupečatljiviji „simptomi“ „urbanog sindroma“ su degradacija staništa, ekoloških karakteristika flore i faune te procesa kruženja i transformacije organske tvari u urbanim potocima. Takve promjene na posljetku rezultiraju narušavanjem funkcija čitavog urbanog ekosustava. Spoznaje o urbanim ekosustavima u suvremenoj su biologiji dovele do razvoja urbane ekologije – discipline koja proučava ekološke procese u urbanim ekosustavima, uključujući urbane potoke, te time pomaže njihovom razumijevanju i poboljšanju kvalitete gradskog okoliša.

1.1. Utjecaj urbanizacije i antropogenih aktivnosti na potoke

1.1.1. Promjene u morfologiji kanala i hidrologiji potoka

Glavno obilježje urbanizacije je izgradnja infrastrukture za antropogene aktivnosti. Nanošenjem slojeva betona i asfalta veća površina tla postaje vodonepropusna, zbog čega se povećava površinsko otjecanje, a smanjuje infiltracija u podzemne vode. Površinsko otjecanje se dodatno ubrzava izgradnjom umjetnih sustava odvodnje. To rezultira općenito nižim vodostajem urbanih potoka, međutim pri većim količinama padalina uzrokuje česte i intenzivne kratkotrajne bujice koje nadalje uzrokuju produbljivanje kanala, eroziju obala i poplave (Paul i Meyer 2001; Walsh i sur. 2005; Wenger i sur. 2009). Produbljivanjem kanala smanjuje se povezanost potoka s tlom obalne zone u kojem se odvijaju mikrobiološki procesi važni za kruženje tvari (Wenger i sur. 2009; Harnsberger i O'Driscoll 2010). Erodirani materijal, pak, zatrpava prirodne meandre potoka i pretvara ga u ravni kanal s povećanom brzinom strujanja vode. Posljedica češćih bujičnih tokova i povećane opskrbe sedimentom je izmijenjena tekstura dna (Paul i Meyer 2001; Ćuk i sur. 2011), do koje može doći i kanalizacijom, odnosno umjetnom regulacijom potoka. Osim kanaliziranja, u svrhu regulacije potoka dno se ponekad prekriva nepropusnim materijalom, kontinuitet toka se prekida barijerama poput brana ili se tok zatrpavanjem pretvara u podzemni. Nadalje, odstranjivanjem obalne vegetacije smanjuje se zasjenjenost i raste temperatura vode urbanih potoka, a temperaturnom porastu pridonose i specifične hidrološke značajke te povišena temperatura zraka urbanih zona (Paul i Meyer 2001; Nelson i Palmer 2007; Wenger i sur. 2009; Rice i sur. 2011; Yule i sur. 2015).

1.1.2. Promjene u kemijskom sastavu vode i sedimenta

Voda u urbanim potocima kemijski se onečišćuje raznim toksičnim tvarima iz antropogenih izvora (Paul i Meyer 2001; Walsh i sur. 2005; Wenger i sur. 2009). Onečišćenje najčešće uzrokuju otpadne vode iz kućanstava (npr. septički ispusti), poljoprivrednih pogona/dobara (pesticidi) i industrije. Od organskih onečišćivača česti su PCB – poliklorirani bifenili i PAH – policiklički aromatski ugljikovodici industrijskog porijekla te alifatski ugljikovodici iz uljnih izljeva motornih vozila. Industrija također može biti izvor povećanih koncentracija teških metala (najčešći su olovo, cink, bakar, krom, magnezij, nikal, kadmij i živa). Kemijski sastav mijenja i sol za posipavanje cesta protiv zaleđivanja povećavajući koncentraciju iona klorida (Paul i Meyer 2001).

Još jedan problem urbanih potoka je eutrofikacija, tj. povećanje koncentracije hranjivih tvari. U urbanim potocima je često povećan unos dušika i fosfora, najviše iz gnojiva i deterdženata koji u potoke dopijevaju otpadnim vodama, površinskim ispiranjem i erozijom. U nekim slučajevima značajno je i otapanje dušika iz zagađene atmosfere ili iz ulijeva onečišćene podzemne vode. Učinkovitost uklanjanja dušika i fosfora iz urbanih potoka smanjuje se zbog povećane brzine strujanja vode i smanjene kompleksnosti kanala koje se javljaju u kanaliziranim i betoniranim tokovima, smanjenog kontakta potoka s obalnom zonom, smanjenog udjela obalne vegetacije i organske tvari (tzv. „vrućih točaka“ denitrifikacije) i/ili smanjene primarne proizvodnje (i time smanjene asimilacije) (Paul i Meyer 2001; Walsh i sur. 2005; Kannel i sur. 2007; Harnsberger i O'Driscoll 2010; Newcomer Johnson i sur. 2016).

1.2. Ekološko stanje i funkcionalnost urbanih potoka

1.2.1. Makrozoobentos

Makrozoobentos je zajednica faune dna (životinje koje žive na površini dna ili u sedimentu), a čine ju beskralježnjaci koji se mogu uhvatiti mrežom promjera oka 250 µm i stoga su vidljivi golim okom (Alba-Tercedor 2006). Najčešći pripadnici slatkovodnog makrozoobentosa su: virnjaci (Turbellaria), oblići (Nematoda), 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; Habdija i sur. 2011). Većina svojti kukaca ima sezonske životne cikluse koji uključuju preobrazbu i stoga su kao ličinke (i kukuljice) na potočnom dnu prisutne samo u određeno doba godine, a nakon toga izlijeću iz vode u stadiju subimaga ili imaga (Hershey i Lamberti 1998; De Pauw i sur. 2006; Habdija i sur. 2011).

Na strukturu potočnog makrozoobentosa utječu različiti abiotički i biotički čimbenici. Abiotički (okolišni) čimbenici poput hidromorfoloških karakteristika, odnosno fizikalno-kemijskih parametara vode (npr. temperatura, pH, koncentracija otopljenog kisika, tip supstrata, brzina strujanja vode, pokrovnost vodenim biljem...) uvjetuju prisutnost, brojnost i rasprostranjenost svojti u različitim mikrostaništima potočnog bentosa (Hershey i Lamberti 1998; De Pauw i sur.

2006). Uz abiotičke čimbenike, strukturu makrozoobentosa dodatno uvjetuju biotičke interakcije unutar i između životnih zajednica, poput kompeticije i hranidbenih interakcija (Hershey i Lamberti 1998).

Organizmi makrozoobentosa su ključni u protoku energije i kruženju tvari unutar slatkovodnih ekosustava, budući da su glavni izvor hrane mnogim ribama, a sudjeluju u razgradnji organske tvari te se hrane algama, gljivama i bakterijama. Uz to, različite svojste makrozoobentosa preferiraju i podnose specifične uvjete staništa, odnosno u određenoj su mjeri osjetljive na fizikalne i kemijske poremećaje u okolišu. Iz navedenih se razloga makrozoobentos koristi kao idealna sastavnica za procjenu ekološkog stanja i funkcionalnosti urbanih potoka (Hershey i Lamberti 1998; Alba-Tercedor 2006; De Pauw i sur. 2006). Dodatne prednosti makrozoobentosa kao indikatora ekološkog stanja su: velika brojnost i široka rasprostranjenost duž potočnog dna, dugi životni vijek, relativno ograničena pokretnost tijekom barem jednog dijela životnog ciklusa te jednostavno uzorkovanje i određivanje (Walsh i sur. 2005; Alba-Tercedor 2006; De Pauw i sur. 2006). Zbog činjenice da je često proučavan, podaci o strukturi i ponašanju makrozoobentosa su lako dostupni i dobro poznati, što budućim istraživanjima osigurava izvrsnu referencu.

Analiza strukture zajednica makrozoobentosa uključuje određivanje kvantitativnog i kvalitativnog sastava zajednica. Promjene u brojnosti i raznolikosti vrsta makrozoobentosa upućuju na promjene u okolišu (De Pauw i sur. 2006). Urbani potoci prepoznatljiviji su po nestabilnosti i smanjenju raznovrsnosti potočnih mikrostaništa i pripadajućih životnih zajednica. Nestabilnost proizlazi iz dinamičnog hidrološkog režima i procesa donošenja i odnošenja sedimenta u urbanim potocima (Paul i Meyer 2001), a smanjenje raznolikosti je uglavnom posljedica smanjene kompleksnosti potočnog dna (Walsh i sur. 2005). U životnim zajednicama urbanih potoka dominiraju tolerantne i invazivne vrste, dok one osjetljive nestaju, a raznolikost vrsta se često naočigled smanjuje (Paul i Meyer 2001; Sweeney i sur. 2004; Walsh i sur. 2005; Wenger i sur. 2009). Gubitak osjetljivih vrsta može biti posljedica 1) pogoršanja životnih uvjeta koji u kompeticiji daju prednost tolerantnijim vrstama (generalistima), ili 2) potpunog nedostatka povoljnih stanišnih uvjeta (Wenger i sur. 2009). Brojnost jedinki može biti smanjena u odnosu na brojnost u prirodnim šumskim potocima zbog kemijskog onečišćenja i veće gustoće patogenih bakterija, međutim može se i neočekivano povisiti uslijed povećane količine hrane (Hershey i Lamberti 1998).

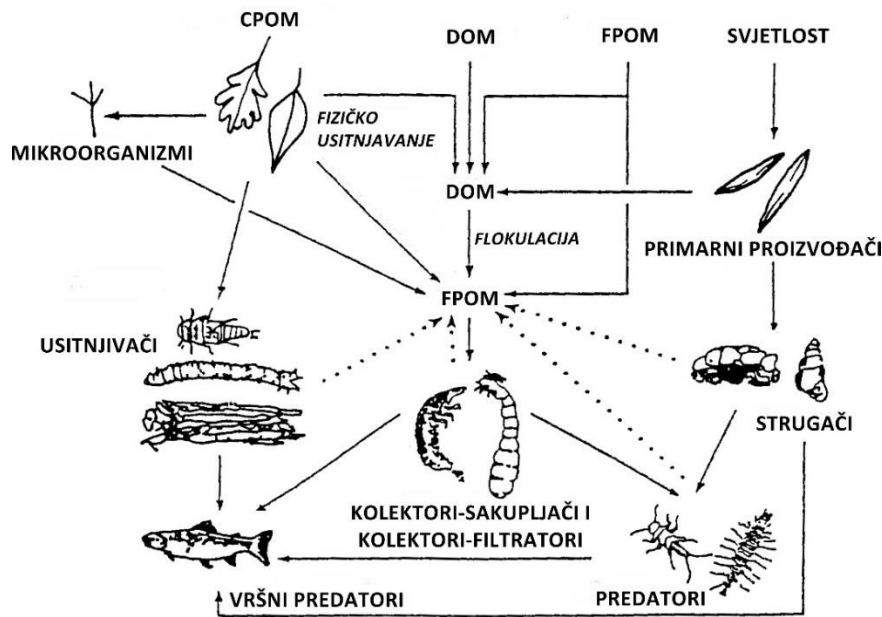
1.2.2. Organska tvar

Organska tvar je osnovni izvor energije za slatkovodne ekosustave (Graća 2001). Njezina su količina i oblik u potocima vrlo varijabilni. Uobičajena je podjela organske tvari prema veličini čestica: usitnjena organska tvar (POM – engl. *Particulate Organic Matter*) uključuje krupno usitnjenu (CPOM – engl. *Coarse Particulate Organic Matter*, čestice krupnije od 1 mm), fino usitnjenu organsku tvar (FPOM – engl. *Fine Particulate Organic Matter*, čestice veličine od ~ 0,45 µm do 1 mm) i otopljenu organsku tvar (DOM – engl. *Dissolved Organic Matter*, čestice manje od ~ 0,45 µm) (Hershey i Lamberti 1998; Tank i sur. 2010). Makrozoobentos i organska tvar (njena količina i sastav) direktno utječu jedno na drugo. Prema podjeli organizama na funkcionalne hranidbene skupine (tj. prema načinu uzimanja hrane, FFG – engl. *Functional Feeding Groups*) izdvajaju se usitnjivači koji se hrane krupno usitnjenom organskom tvari, a onom sitnijom se hrane kolektori-sakupljači (sakupljanjem sa sedimenta) i kolektori-filtratori (filtriranjem iz stupca vode). Preostale dvije kategorije su strugači koji stružu obraštaj s podvodnih površina i predatori koji se hrane tkivom drugih životinja (Hershey i Lamberti 1998; Graća 2001). Makrozoobentos se, dakle, hrani organskom tvari i sudjeluje u njenom usitnjavanju i pretvorbi iz jednog oblika u drugi (Slika 1), a količina unesene i dostupne organske tvari uvjetuje trofičku strukturu makrozoobentosa.

Organska tvar može potjecati iz samog potoka (autohtona) i iz vanjskih izvora, ponajviše kopnenih biljaka u neposrednoj blizini potoka (alohtona organska tvar). Potonja se smatra najvažnijim energetske izvorom šumskih potoka niskog reda zbog velike količine listinca koji sa šumske vegetacije dospijeva u potok, kao i nedostatka svjetlosti koja je potrebna za snažniji razvoj vodenog bilja (Graća 2001). Stoga na količinu organske tvari u urbanim potocima uvelike utječe sveprisutno uklanjanje obalne vegetacije i posljedičan pojačan razvoj algi (Wenger i sur. 2009; Tank i sur. 2010; Yule i sur. 2015). Osim toga, unos organskog ugljika može biti povećan antropogenim unosom, najčešće ispustom otpadnih voda (Paul i Meyer 2001; Wenger i sur. 2009).

Nakon što dospije u potok, krupna organska tvar prolazi kroz procese fizičke i biološke obrade (usitnjavanja), da bi nakon toga bila mineralizirana (pojedena ili mikrobiološki razgrađena) ili transportirana nizvodno (Hershey i Lamberti 1998) (Slika 1). Na njeno zadržavanje, protok i uklanjanje utječu hidrološki uvjeti, morfološke karakteristike kanala, „kvaliteta“ (kemijski sastav) same organske tvari, fizikalno-kemijski parametri vode te karakteristike dna,

uključujući makrofite (vodeno bilje) i makrozoobentos, a svi navedeni čimbenici mogu bitno varirati u urbanim potocima (Graća 2001; Tank i sur. 2010). Zadržavanje organske tvari uglavnom je smanjeno uslijed povećane brzine strujanja vode, a, ovisno o uvjetima, stopa usitnjavanja i razlaganja može biti povećana (brža struja vode i više mikroorganizama) ili smanjena (manje usitnjivača) (Paul i Meyer 2001; Walsh i sur. 2005; Wenger i sur. 2009; Yule i sur. 2015).



Slika 1. Protok energije u potočnim ekosustavima (prilagođeno prema Hershey i Lamberti 1998).

1.2.3. Drift

Drift je nizvodni transport organizama u struji vode (Hershey i Lamberti 1998). On opskrbljuje nizvodna područja hranjivim tvarima (za nizvodne organizme je drift kvalitetniji izvor hrane od POM-a) i pomaže u naseljavanju (kolonizaciji) novih potočnih mikrostaništa te ponovnom naseljavanju (rekolonizaciji) nakon velikih poremećaja kao što su poplave ili antropogene intervencije (Hershey i Lamberti 1998; Svendsen i sur. 2004). Neke svojste makrozoobentosa su sklonije driftu od ostalih. Uobičajeno su najveće gustoće drifta Amphipoda i Insecta (najčešće Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera i Diptera) (Svendsen i sur. 2004).

Na drift utječu razni abiotički i biotički čimbenici, pa njegov sastav i brojnost variraju kroz prostor i vrijeme. Ako se organizmi sami puštaju s podloge u struju vode, to je aktivan drift u svrhu rasprostranjivanja, izbjegavanja predatora od kojih se ne mogu sakriti, potrage za hranom

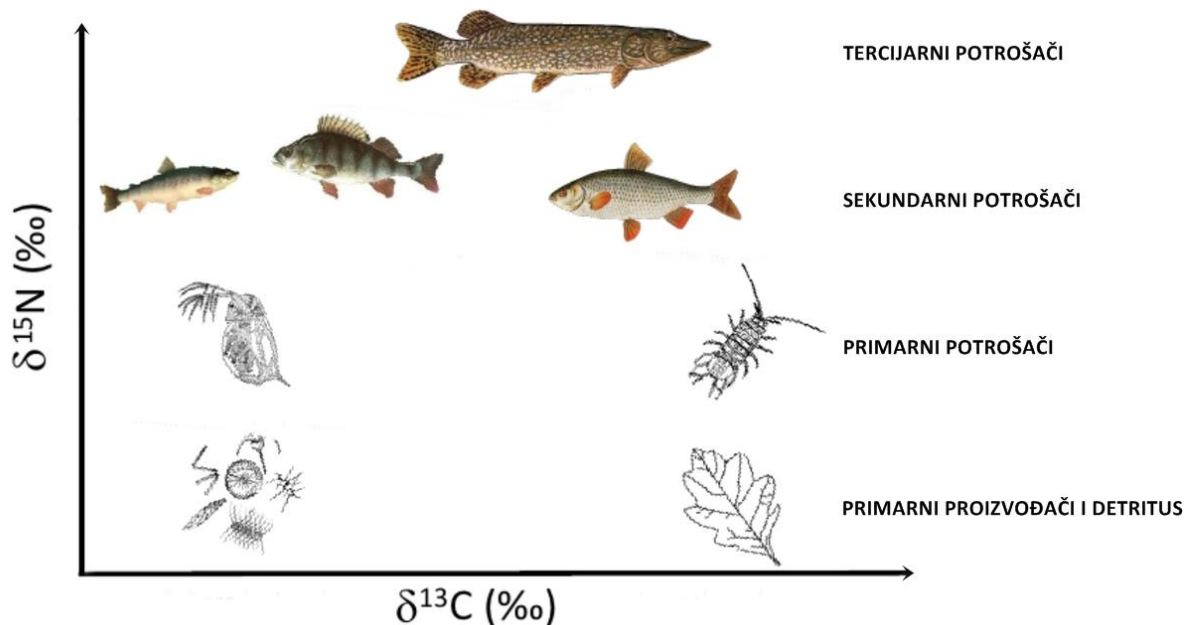
ili izbjegavanja novonastalih nepovoljnih uvjeta (npr. onečišćenja) (Hershey i Lamberti 1998). S druge strane, pasivni ili slučajni drift je posljedica ekstremnih promjena u fizikalnim parametrima vode i povećane aktivnosti organizama (njihovom izlasku iz skloništa), uslijed koje postaju neminovno podložniji nizvodnom otplavlivanju. Zbog ekstremnih fizikalno-kemijskih poremećaja (promjene sastava potočnog dna, bujica, poplava, suše, onečišćenja...) javlja se tzv. katastrofički drift kojim se u kratkom periodu gubi značajan broj jedinki populacije makrozoobentosa (Hershey i Lamberti 1998; Svendsen i sur. 2004). Stoga se povećani drift povezuje s bržim strujanjem vode, povećanim donosom (nestabilnošću) sedimenta, smanjenom kompleksnosti kanala (koja ima za posljedicu brže strujanje vode i manje mjesta za sakrivanje) te ostalim uvjetima u kojima se organizmi izlažu struji vode, a time većem riziku da budu slučajno odneseni (npr. pri smanjenoj koncentraciji kisika) (Svendsen i sur. 2004). Upravo takvi uvjeti svojstveni su urbanim potocima.

1.2.4. Hranidbene mreže

Dinamika slatkovodnih zajednica ogleda se kroz razne interakcije između populacija, a ponajprije kroz hranidbene interakcije. Složenost hranidbenih mreža, uključujući organizme makrozoobentosa, vrijedan je izvor informacija o funkcioniranju slatkovodnih ekosustava jer povezuje biotičke interakcije s protokom energije i kruženjem hranjivih tvari u ekosustavu. Svaka hranidbena mreža ima osnovne izvore energije (organske tvari) i trofičku (hranidbenu) strukturu. Trofička struktura sastoji se od trofičkih razina. Prvu razinu čine primarni proizvođači i/ili detritus (mrtva organska tvar). Na drugoj razini su primarni potrošači koji se hrane prvom razinom. Slijede treća razina koju čine sekundarni potrošači, tj. predatori koji se hrane organizmima druge razine, četvrta razina s tercijarnim potrošačima itd. (Hershey i Lamberti 1998). Trofička struktura potoka najčešće se zaustavlja na trećoj razini (ako su vršni predatori beskralježnjaci) ili četvrtoj razini (ako su vršni predatori kralježnjaci). S obzirom da nije isključivo da su neki organizmi svejedi (omnivori) čime se mogu svrstati u više od jedne trofičke razine, trofička struktura je najčešće idealizirani opis inače složene hranidbene mreže (Hershey i Lamberti 1998).

Pri istraživanju hranidbenih mreža u suvremenoj ekologiji uvelike se koristi analiza omjera stabilnih izotopa ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) i dušika ($\delta^{15}\text{N}$) u različitim sastavnicama ekosustava – proizvođačima (izvorima hrane) i potrošačima. Analizom se može pratiti protok energije od temelja hranidbene mreže do vrha hranidbenih lanaca. S obzirom da omjer stabilnih izotopa

ugljika u tkivu biljaka varira ovisno o anorganskom ugljiku u supstratu i fotosintetskom putu ugljika (C3 i C4 biljke), a konzumacijom omjer ^{13}C u relativnom odnosu na ^{12}C ostaje gotovo isti u potrošača kao u izvora (nema promjene ili je manja od 1 ‰), iz analize $\delta^{13}\text{C}$ se doznaju temeljni energetske izvori pojedinih članova hranidbene mreže (Hershey i Lamberti 1998; Post 2002; Middelburg 2014; Perkins i sur. 2014). S druge strane, vrijednost omjera stabilnih izotopa dušika se zbog različitih metaboličkih procesa povećava kroz hranidbeni lanac (svaka sljedeća trofička razina bogatija je ^{15}N u relativnom odnosu na ^{14}N za oko 3 ‰). Stoga se analizom $\delta^{15}\text{N}$ doznaje na kojoj se trofičkoj razini nalazi promatrana sastavnica mreže, a može se odrediti i ukupna duljina hranidbenog lanca (Hershey i Lamberti 1998; Vander Zanden i sur. 1999; Post 2002; Middelburg 2014; Perkins i sur. 2014). Rezultati analize se najčešće prikazuju kao relativne pozicije promatranih sastavnica hranidbene mreže u dvodimenzionalnom prostoru, pri čemu se $\delta^{13}\text{C}$ uobičajeno prikazuje na x, a $\delta^{15}\text{N}$ na y osi (Perkins i sur. 2014) (Slika 2).



Slika 2. Opći trendovi $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ u sastavnicama hranidbene mreže (prilagođeno prema www.swap-mit.info/intro-to-stable-isotope-ecology/).

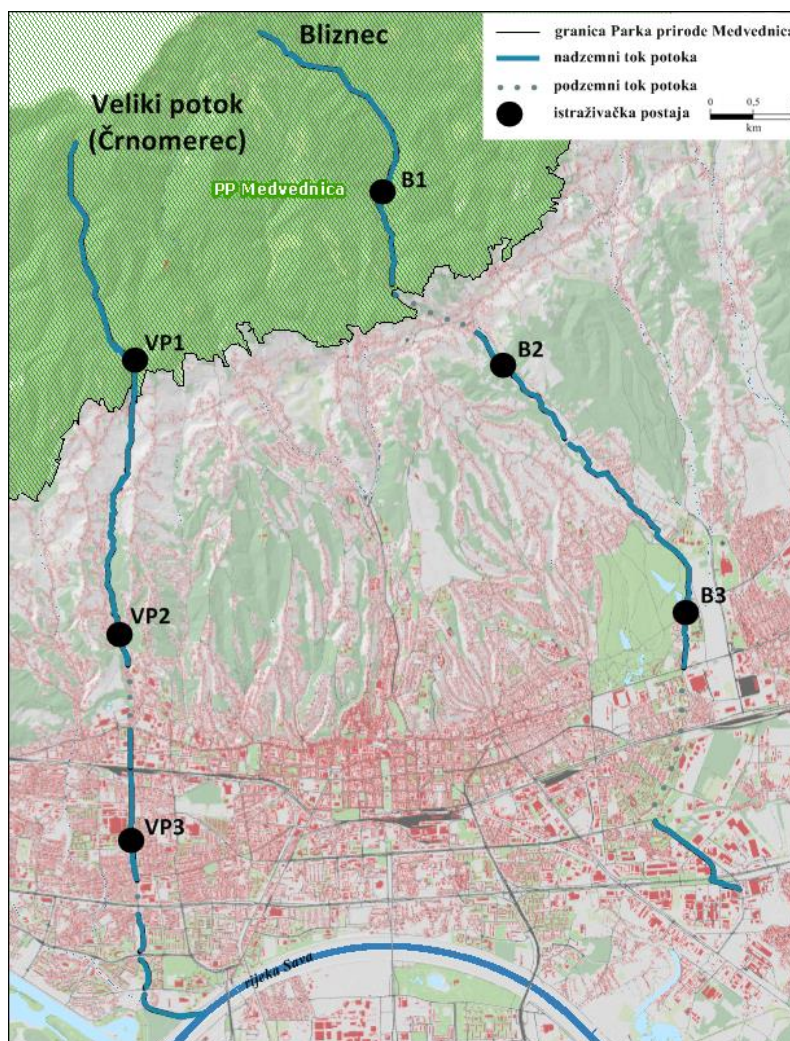
1.3. Ciljevi istraživanja

Do danas nije detaljno istraženo na koji način i u kolikim razmjerima različit stupanj urbanizacije i antropogenog utjecaja djeluje na strukturiranje i funkcioniranje zajednica makrozoobentosa duž zagrebačkih potoka. Ovaj rad obuhvaća prvo detaljnije istraživanje strukture i dinamike zajednica makrozoobentosa te njihovih hranidbenih interakcija duž različitih gradijenta urbanog utjecaja u dva zagrebačka potoka – Bliznecu i Velikom potoku (Črnomercu). Ciljevi istraživanja bili su:

- 1) istražiti promjene u strukturi zajednica makrozoobentosa duž različitih gradijenata urbanog utjecaja u dva zagrebačka potoka temeljem određivanja kvalitativnog i kvantitativnog sastava i veličinske strukture organizama u uzorcima bentosa i drifta te povezati uočene promjene s različitim stupnjem urbanizacije i antropogenog utjecaja,
- 2) analizirati raspodjelu različitih veličinskih kategorija usitnjene organske tvari (tj. CPOM-a i FPOM-a) u uzorcima bentosa i drifta u svrhu procjene urbanih utjecaja na protok energije i kruženje tvari u zagrebačkim potocima,
- 3) detektirati energetske izvore i trofičku strukturu hranidbenih mreža duž različitih gradijenata urbanog utjecaja u dva zagrebačka potoka uz primjenu analize omjera stabilnih izotopa ugljika i dušika ($\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$) te uočiti potencijalnu vezu između antropogeno-uvjetovanih promjena u okolišu i promjena u trofičkoj strukturi makrozoobentosa.

2. Područje istraživanja

Zagreb je grad s najvećom koncentracijom stanovništva i ekonomskih djelatnosti u Hrvatskoj (Državni zavod za statistiku 2012), što ga čini središtem antropogenih djelatnosti. Smješten je u području umjerene kontinentalne klime, u nizini rijeke Save, a na sjeveru se širi do obronaka planine Medvednice. Zbog očuvanih prirodnih šuma te iznimne bio- i georaznolikosti, veliki dio Medvednice zaštićen je 1981. godine kao Park prirode. Unutar parka teče 75 vodotoka (www.pp-medvednica.hr), od kojih neki nastavljaju teći kroz središte grada Zagreba prema rijeci Savi. Ovo istraživanje je provedeno na 6 postaja duž 2 potoka prvoga reda – Blizneca i Velikog potoka (Črnomerac), koji izvire unutar Parka prirode Medvednica te nastavljaju teći različitim dijelovima grada Zagreba, pri čemu su izloženi različitim antropogenim utjecajima i stupnjevima urbanizacije (Slika 3).



Slika 3. Potoci Bliznec i Veliki potok (Črnomerac) s istraživačkim postajama (prilagođeno na temelju geoportal.zagreb.hr/karta).

2.1. Bliznec

Potok Bliznec izvire iz više manjih izvora u blizini vrha planine Medvednice, niz čije jugoistočne obronke teče kao planinski šumski potok. Na izlazu iz parka prirode teče uz poučnu šumsku stazu Bliznec i turističko-ugostiteljske objekte, gdje biva mjestimično popločen i kanaliziran. U srednjem toku, ulaskom u gradska naselja Bliznec, Dolje i Baćun, potok je često dodatno zakopan ispod prometnica te izložen utjecaju kućanstava i poljoprivrednih djelatnosti. Pri kraju srednjeg toka izgrađena je vodna retencija Jazbina. Retencija služi za obranu istočnog dijela Zagreba od poplava, iako je predviđeno i dodatno uređivanje jezera u sportsko-rekreacijske svrhe. U donjem toku, potok teče kroz naselje Maksimir i istoimeni park. Park Maksimir je spomenik parkovne arhitekture te popularno sportsko-rekreacijsko i turističko odredište sa velikom šumskom površinom, livadama, potocima i pet umjetnih jezera. Nizvodno se tok pruža uz poljoprivredna dobra (tzv. pokušališta) Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, da bi nastavio teći kroz centar grada (većim dijelom podzemno) do odvodnog kanala na Žitnjaku koji se ulijeva u Savu.

Duž potoka Blizneca uzorkovane su 3 istraživačke postaje (Slike 3 i 4):

- 1) B1 u gornjem, prirodnom dijelu toka unutar Parka prirode Medvednica (45°52'42" N, 15°58'36" E),
- 2) B2 u srednjem dijelu toka koji teče umjereno urbaniziranim područjem grada Zagreba, u naselju Jazbina uzvodno od vodne retencije (45°21'29" N, 15°59'52" E),
- 3) B3 u donjem dijelu toka koji teče izrazito urbaniziranim područjem grada Zagreba, na izlazu iz parka Maksimir i nizvodno od pokušališta Agronomskog fakulteta (45°49'43" N, 16°01'43" E).



Slika 4. Istraživačke postaje duž potoka Bliznec.

2.2. Veliki potok (Črnomerec)

Veliki potok izvire iz nekoliko izvora podno glavnog grebena Medvednice te kao šumski potok teče jugozapadnim obroncima prema gradskom naselju Lukšići. Nakon ulaska u Lukšiće, potok je izložen utjecaju kućanstava i poljoprivrednih djelatnosti. Srednji tok počinje vodnom retencijom Črnomerec koja služi za obranu od poplava. Veliki potok nadalje teče prema naseljima Frateršćica i Črnomerec, gdje biva mjestimično popločen, kanaliziran ili zakopan te preimenovan u potok Črnomerec. Na dijelovima koji nisu regulirani, uslijed velike količine oborinske vode i septičkih ispusta potok izaziva snažnu eroziju obala koja ugrožava obližnja kućanstva. U tijeku je sanacija koja uključuje stabilizaciju padina, izgradnju kanalizacijskog sustava i uređenje vodotoka sa šetnicom (Institut za istraživanje i razvoj održivih ekosustava 2015). U donjem toku, nizvodno od ulice Ilica, Črnomerec je izložen industrijskom utjecaju prolazeći kroz tvornički okrug farmaceutskog istraživačkog instituta „Pliva Hrvatska d.o.o.“. Donji tok teče kroz stambeni dio centra grada, okružen brojnim kućanstvima, gospodarskim djelatnostima, sportsko-rekreacijskim sadržajima poput šetnica i igrališta te prometnicama (ispod kojih je često zakopan), a na posljetku se, u blizini naselja Gređice, ulijeva u Savu.

Duž Velikog potoka (Črnomerca) uzorkovane su 3 istraživačke postaje (Slike 3 i 5):

- 1) VP1 u gornjem, prirodnom dijelu toka unutar Parka prirode Medvednica (45°51'29" N, 15°56'10" E),
- 2) VP2 u srednjem dijelu toka koji teče umjereno urbaniziranim područjem grada Zagreba, na granici naselja Frateršćica i Črnomerec (45°49'33" N, 15°55'59" E),
- 3) VP3 u donjem dijelu toka koji teče izrazito urbaniziranim područjem grada Zagreba, uz Fallerovo šetalište u Voltinom naselju (45°48'06" N, 15°56'08" E).



Slika 5. Istraživačke postaje duž Velikog potoka (Črnomerca).

3. Materijali i metode

3.1. Mjerenje fizikalno-kemijskih čimbenika

Na 3 istraživačke postaje duž potoka Bliznec i 3 postaje duž Velikog potoka (Črnomerca) jednom u veljači i jednom u ožujku 2016. godine izmjereni su fizikalno-kemijski parametri vode koji opisuju abiotičke uvjete staništa na pojedinoj postaji. Temperatura vode, koncentracija kisika i zasićenje kisikom izmjereni su WTW OXI 96 oksimetrom, pH je izmjeren WTW 330i pH-metrom, a konduktivitet i ukupne otopljene krute tvari (TDS, engl. *Total Dissolved Solids*) Hach Sension 5 mjeračem. Dodatno je na svakoj postaji uzet uzorak vode (u plastičnoj boci volumena 1 L) za naknadnu laboratorijsku obradu.

Unutar 24 sata nakon uzorkovanja, u laboratoriju su određeni sljedeći pokazatelji kvalitete vode: kemijska potrošnja kisika, alkalinitet, ukupna tvrdoća vode te koncentracije nitrita, nitrata i fosfata.

Kemijska potrošnja kisika temeljem potrošnje kalijevog permanganata (KMnO_4) po Kubel-Tiemannu ($\text{KPK}_{\text{KMnO}_4}$) određena je prema Deutsches Institut für Normung (1986), u svrhu određivanja količine DOM-a. Kemijska potrošnja kisika (KPK) je kemijska reakcija u kojoj dolazi do oksidacije organske tvari jakim oksidansom (u ovom slučaju KMnO_4), pri čemu je količina utrošenog kisika ekvivalentna količini organske tvari.

Alkalinitet je određen prema APHA (1985). Alkalinitet je mjera pH puferskog kapaciteta vode, tj. količine karbonatnih (CO_3^{2-}), bikarbonatnih (HCO_3^-), i hidroksidnih (OH^-) aniona koji čine puferski sustav vode, odnosno količine vezanog ugljikovog dioksida (CO_2) u vodi. Vrijednost alkaliniteta definirana je količinom kiseline koja je potrebna za neutralizaciju navedenih aniona. Kao indikator suviška kiseline korišten je metiloranž, čime je određen ukupni ili m-alkalitet vode.

Ukupna tvrdoća vode je mjera za količinu kalcijevih i magnezijevih soli u vodi, a određena je titracijom KOMPLEKSALOM III (dinatrijevom soli etilen-diamino-traoctene kiseline) prema APHA (1985). Metoda se temelji na stvaranju kompleksa KOMPLEKSALA III s kalcijevim i magnezijevim kationima.

Koncentracije nitrita (N-NO_2^-), nitrata (N-NO_3^-) i fosfata (preciznije ortofosfata, P-PO_4^{3-}) određene su pomoću spektrofotometra HACH DR/2000, prema APHA (1985). Metoda se temelji na nastajanju obojenog kompleksa povezivanjem nitrita, nitrata ili fosfata iz uzorka vode s reagensom koji je dodan uzorku, a koji apsorbira svjetlost određene valne duljine (λ), ovisno o njihovoj koncentraciji. Spektrofotometrijom se kroz uzorak propušta zadana valna duljina (za nitrite 520 nm, za nitrata 420 nm, za fosfate 690 nm) i doznaje apsorbancija uzorka (tj. ekstinkcija svjetlosti, razlika valnih duljina zadane i propuštene svjetlosti, $\Delta \lambda$), a time indirektno koncentracija nitrita, nitrata ili fosfata.

Na terenu su uzeti i uzorci vode za mjerenje koncentracija metala i metaloida u vodi. Odmah po sakupljanju, uzorci vode za određivanje metala profiltrirani su kroz membranski filter, fiksirani zakiseljavanjem koncentriranom dušičnom kiselinom te preneseni u plastične boce, prethodno oprane u kiselini. Rukovanje uzorcima za određivanje metala obavljalo se prema protokolu o čistoći, kako bi se izbjeglo onečišćenje uzoraka.

Mjerenje metala i metaloida provelo se u Laboratoriju za biološke učinke metala na Institutu Ruđer Bošković u Zagrebu, na spektrometru masa visoke rezolucije s induktivno spregnutom plazmom (HR ICP-MS, Element 2, Thermo Finnigan). Koristio se sustav za automatsko uzimanje uzoraka (ASX 510, Cetac Technologies) te komplet za unošenje uzoraka u plazmu HR ICP-MS-a, koji se sastoji od SeaSpray nebulizatora i Twister komore. U sve se uzorke dodao indij (Fluka) kao interni standard ($1 \mu\text{g L}^{-1}$). Napravila se vanjska kalibracija pomoću multielementnih standardnih otopina i koristili su se kontrolni uzorci za provjeru točnosti mjerenja na HR ICP-MS-u. U filtriranim i zakiseljenim uzorcima potočne vode, odredile su se koncentracije sljedećih otopljenih metala/metaloida: Al, As, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sn, Sr, Ti, Tl, U i V.

3.2. Uzimanje i obrada uzoraka makrozoobentosa i organske tvari u bentosu i driftu

Uzorci bentosa i drifta za kvalitativnu i kvantitativnu analizu sastava makrozoobentosa i organske tvari uzeti su na 3 istraživačke postaje duž potoka Bliznec i 3 postaje duž Velikog potoka (Črnomerca) u veljači i ožujku 2016. godine, usporedno s mjerenjem fizikalno-kemijskih čimbenika.

Triplikatni uzorci makrozoobentosa uzeti su Hessovim uzorkivačem (površine 0,049 m²) s mrežom promjera oka 200 µm. Na svakoj postaji, triplikatni uzorci uzeti su s različitih mikrostaništa. Uzorci drifta također su uzeti u triplikatu, pomoću drift-uzorkivača koji se sastoje od drift mreže promjera oka 214 µm i dužine 1,5 m, pričvršćene na cilindričnu plastičnu cijev (50 cm x 7,5 cm, površine 44,2 cm²). 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) te je zabilježena vremenska duljina uzorkovanja, u svrhu naknadnog izračuna gustoće drifta. Svi uzorci pohranjeni su *in situ* u 70%-tni etanol za naknadnu laboratorijsku obradu.

U laboratoriju su iz uzoraka bentosa i drifta pomoću lupe (Zeiss Stemi 2000-C) izdvojeni organizmi makrozoobentosa. Organizmi su determinirani do najniže moguće taksonomske razine prema odgovarajućoj literaturi (Schmedtje i Kohmann 1988; Nilsson 1996, 1997; Waringer i Graf 1997; Bauernfeind i Humpesch 2001; Zwick 2004), u svrhu određivanja kvantitativnog i kvalitativnog sastava makrozoobentosa u bentosu i driftu. Organizmima je izmjerena duljina (uz milimetarski papir, s točnošću ± 0,01 mm), u svrhu određivanja veličinske strukture makrozoobentosa.

Ostaci uzoraka (dio preostao nakon izolacije organizama) razdvojeni su pomoću sita različitih promjera oka na CPOM (promjer oka 1 mm) i FPOM (promjer oka 0,45 µm). Tvar je procesuirana uobičajenim laboratorijskim postupcima da bi se odredila razlika mase suhe tvari prije i poslije žarenja (AFDM, engl. *Ash Free Dry Mass*), u svrhu procjene količine organske i anorganske tvari u uzorcima. Uzorci su najprije sušeni na temperaturi 104°C pod infracrvenim stolnim svjetiljkama, hlađeni na sobnu temperaturu te vagani (vaganjem je dobivena masa suhog ostatka). Potom su žareni 4 sata na temperaturi 400°C u mufolnoj peći, hlađeni na sobnu temperaturu i ponovno vagani (vaganjem je dobivena masa žarenog ostatka). Razlika mase suhog i žarenog ostatka je AFDM, koji predstavlja količinu organske tvari, tj. POM-a.

3.3. Uzimanje i obrada uzoraka za analizu hranidbenih mreža

Uzorci za analizu hranidbenih mreža, odnosno trofičkih značajki makrozoobentosa, uzeti su na 3 istraživačke postaje duž potoka Bliznec i 3 postaje duž Velikog potoka (Črnomerca) u lipnju 2016. godine.

Ručnom bentos-mrežom promjera oka 250 μm uzeti su triplikatni uzorci organizama makrozoobentosa i njihovih potencijalnih izvora hrane (obraštaja (perifitona), usitnjene organske tvari, obalne i vodene vegetacije). Iz uzoraka makrozoobentosa su *in situ* izdvojene jedinke najdominantnijih svojti, koje su u posudicama s vodom iz staništa, u prijenosnom hladnjaku, transportirane do laboratorija.

Organizmi su na hladnom ostavljeni preko noći, kako bi ispraznili sadržaj probavila, a potom je po 10 jedinki iste svojte izdvojeno i zamrznuto na -80°C . Zamrznuti su i uzorci različitih sastavnica organske tvari (tj. potencijalnih izvora hrane organizama makrozoobentosa). Nakon nekoliko dana, uzorci organizama i organske tvari (svaka svojta i sastavnica organske tvari zasebno) su sušeni na 60°C i usitnjeni u prah pomoću posebno prilagođenih spatula, tarionika i/ili električnog mlinca za usitnjavanje. Nakon sušenja i usitnjavanja, u posebne kositrene nosače (engl. *tin capsules*) u duplikatima je vagano je $0,8 \pm 0,05$ mg životinjskog i $2,5 \pm 0,05$ mg biljnog uzorka, kao i odgovarajuće mase međunarodnih referentnih standarda za analizu omjera stabilnih izotopa.

Analiza $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ provedena je na analizatoru stabilnih izotopa Sercon Integra2 u laboratoriju voditelja Dr. Pavela Kratine na Queen Mary University of London, UK. Rezultati analize iskazani su u obliku delta-zapisa (δ), koji je definiran kao promili devijacije od međunarodnog referentnog standarda: $\delta = [(R_{\text{uzorka}} / R_{\text{standarda}}) - 1] \times 1000$, $R = {}^{13}\text{C} / {}^{12}\text{C}$ ili ${}^{15}\text{N} / {}^{14}\text{N}$. Kao standard za $\delta^{13}\text{C}$ korišten je belemnit (PDB, engl. *Pee Dee Belemnite*), a za $\delta^{15}\text{N}$ atmosferski dušik.

3.4. Obrada i prikaz podataka

Nakon pregleda kvalitativnog sastava, organizmima makrozoobentosa i organskoj tvari u bentosu i driftu određen je i kvantitativni sastav. Brojnost jedinki i količina organske tvari izraženi su gustoćom, tj. brojem jedinki ili masom organske tvari po jedinici površine (m^2 u bentosu) ili volumena (m^3 u driftu). Raznolikost svojti makrozoobentosa izražena je kao broj svojti u uzorku. Veličinska struktura makrozoobentosa opisana je podjelom na 5 veličinskih kategorija: 1) 0,1 – 2 mm, 2) 2,1 – 5 mm, 3) 5,1 – 8 mm, 4) 8,1 – 11 mm i 5) > 11 mm. Rezultati su prikazani standardnim statističkim mjerama kao što su srednja vrijednost (SV), standardna devijacija (SD) i standardna pogreška (SP). Istim statističkim mjerama prikazani su i rezultati analize omjera stabilnih izotopa.

Vremenske i prostorne razlike fizikalno-kemijskih čimbenika, brojnosti, raznolikosti i veličinskih kategorija makrozoobentosa te količine organske tvari u bentosu i driftu analizirane su odgovarajućim neparametrijskim statističkim analizama, s obzirom da količina podataka nije bila dostatna za parametrijske analize. Vremenske razlike između 2 mjeseca analizirane su neparametrijskim Mann-Whitney *U* testom, a prostorne razlike između 6 postaja Kruskal-Wallis testom. Po potrebi je proveden *post-hoc* test višestruke usporedbe (engl. *Multiple Comparison Test*). Granična *p* vrijednost u svim statističkim analizama bila je 0,05 (ponegdje je iznosila čak 0,01 ili 0,001).

Fizikalno-kemijski čimbenici dodatno su prikazani analizom glavnih komponenti (PCA, engl. *Principal Components Analysis*). PCA je multivarijatna statistička tehnika, što znači da istovremeno promatra više od jedne potencijalno zavisne varijable. Cilj PCA analize je reduciranje broja varijabli na nekoliko novih komponenti (novih nezavisnih varijabli, u npr. dvodimenzionalnom prikazu označenih kao osi PCA-1 i PCA-2), tako da one objašnjavaju najveći dio varijance u podacima (Statsoft Inc. 2013).

Rezultati su obrađeni te tablično ili grafički prikazani u računalnim programima Microsoft Office Excel 2013 (Microsoft Corporation 2013) i Statistica 10 (Statsoft Inc. 2013).

4. Rezultati

4.1. Analiza fizikalno-kemijskih čimbenika

Rezultati analiza fizikalno-kemijskih parametara vode mjenjenih na istraživačkim postajama u veljači i ožujku prikazani su u Tablici 1. Većina parametara pokazivala je trend porasta vrijednosti duž gradijenta urbanizacije. Ponegdje su vrijednosti postaja VP2 i VP3 približno iste, a koncentracija kisika, zasićenost kisikom i koncentracija fosfata na postajama duž Blizneca uglavnom su najveće na postaji B2. Ipak, nisu utvrđene statistički značajne razlike između postaja s obzirom na mjerene fizikalno-kemijske parametre. Utvrđene su jedino vremenske razlike s obzirom na koncentracije nitrita i nitrata, koje su bile značajno više u ožujku nego u veljači, kako je utvrđeno Mann-Whitney U testom ($p < 0,01$ za oba parametra).

Koncentracije ukupno otopljenih metala i metaloida na pojedinim istraživačkim postajama prikazane su u Tablici 2. Utvrđene su statistički značajne razlike ukupnih koncentracija pojedinih metala između postaja (Tablica 3). Najčešće su se izdvajale B1 i/ili VP1 kao postaje sa statistički značajno manjom koncentracijom metala u odnosu na neke od više urbaniziranih postaja (Li^7 , Se^{82} , Rb^{85} , Mo^{98} , Sb^{121} , U^{238} , V^{51} , Mn^{55} , Fe^{56} , Ni^{60} , Sr^{86} , Ba^{138} , As^{75} , Na^{23} , Mg^{24} , Ca^{44} , K^{39}). Iznimke su bile Cs^{133} i Cr^{52} , čije su koncentracije bile statistički značajno veće na postaji B1 u odnosu na VP2 i/ili VP3. Zasebnim analizama za veljaču i ožujak nisu utvrđene statistički značajne razlike u koncentracijama između postaja. Statistički značajna razlika između mjeseci utvrđena je Mann-Whitney U testom ($p < 0,05$) jedino za Rb^{85} , čija je koncentracija bila manja u ožujku nego u veljači.

PCA analiza svih fizikalno-kemijskih čimbenika (osim konduktiviteta), uključujući metale, ukupno opisuje 75,8% razlika između postaja u veljači i ožujku, a izdvojene 2 od 3 osi (PCA-1 i PCA-2) opisuju 63,4% razlika (Slika 6). Glavni čimbenik koji se razlikovao na postajama duž gradijenta urbanizacije svakog od potoka je alkalinitet, a slijedila je ukupna tvrdoća vode, koja je inače surogat-parametar za alkalinitet. Bliznec je imao veće vrijednosti analiziranih čimbenika nego Veliki potok na postajama jednakog stupnja urbanizacije, poglavito vrijednosti koncentracije kisika, koje su bile pozitivnije, i alkaliniteta, koje su bile negativnije. Varijabilnost alkaliniteta, ukupne tvrdoće vode i manje utjecajnih čimbenika grupiranih na osi PCA-1 između mjeseci bile su veće nego varijabilnost koncentracija kisika i ostalih čimbenika na osi PCA-2, a posebice su bile naglašene na postajama VP2 i VP3 (Slika 6).

Tablica 1. Vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode na istraživačkim postajama u veljači i ožujku 2016. Mjerenje označeno zvjezdicom (*) nije provedeno zbog neispravnosti mjernog uređaja.

| Mjesec | Postaja | t_{vode} (°C) | O ₂ (mg L ⁻¹) | O ₂ (%) | pH | Konduktivitet ($\mu\text{S cm}^{-1}$) | TDS (mg L ⁻¹) | KPK _{KMnO₄} (mg O ₂ L ⁻¹) | Alkalinitet (mg CaCO ₃ L ⁻¹) | Ukupna tvrdoća vode (mg CaCO ₃ L ⁻¹) | N-NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹) | N-NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹) | P-PO ₄ ³⁻ (mg L ⁻¹) |
|---------|---------|---------------------------|---|-----------------------|------|--|------------------------------|---|--|--|---|---|--|
| veljača | B1 | 6,3 | 11,20 | 95,3 | 8,14 | 300 | 143,1 | 2,67 | 100 | 119,3 | < 0,01 | 1,49 | 0,022 |
| | B2 | 7,5 | 12,25 | 104,0 | 8,54 | 371 | 178,7 | 2,20 | 125 | 158,4 | 0,01 | 1,94 | 0,025 |
| | B3 | 9,0 | 11,62 | 101,4 | 8,59 | 440 | 213,0 | 3,38 | 160 | 195,8 | 0,03 | 2,10 | 0,022 |
| | VP1 | 8,5 | 10,20 | 96,9 | 8,62 | 326 | 157,6 | 1,34 | 135 | 158,4 | 0,00 | 0,91 | 0,020 |
| | VP2 | 9,5 | 11,19 | 92,2 | 8,99 | 464 | 225,0 | 2,51 | 200 | 218,9 | 0,04 | 1,92 | 0,035 |
| | VP3 | 9,6 | 11,10 | 98,2 | 9,10 | 474 | 229,0 | 2,44 | 205 | 218,9 | 0,06 | 1,99 | 0,043 |
| ožujak | B1 | 5,9 | 11,99 | 98,0 | 8,58 | 305 | 140,4 | 2,20 | 100 | 133,5 | 0,10 | 3,44 | 0,008 |
| | B2 | 6,3 | 12,10 | 102,2 | 8,42 | 358 | 172,0 | 2,44 | 120 | 149,5 | 0,11 | 3,67 | 0,010 |
| | B3 | 6,6 | 12,70 | 100,2 | 8,63 | * | 179,2 | 2,99 | 160 | 178,0 | 0,11 | 3,86 | 0,007 |
| | VP1 | 9,0 | 11,15 | 98,6 | 8,23 | 344 | 167,0 | 2,28 | 140 | 158,4 | 0,09 | 3,65 | 0,008 |
| | VP2 | 10,4 | 11,30 | 101,6 | 8,57 | 228 | 214,0 | 2,20 | 175 | 201,1 | 0,13 | 3,98 | 0,025 |
| | VP3 | 10,3 | 11,39 | 101,8 | 8,79 | 241 | 117,8 | 2,20 | 180 | 206,5 | 0,14 | 4,12 | 0,031 |

Tablica 2. Koncentracije metala i metaloida u vodi na istraživačkim postajama u veljači i ožujku 2016. (SV ± SD). Crvenom bojom su označeni metal u tragovima i makrometal najveće izmjerene koncentracije.

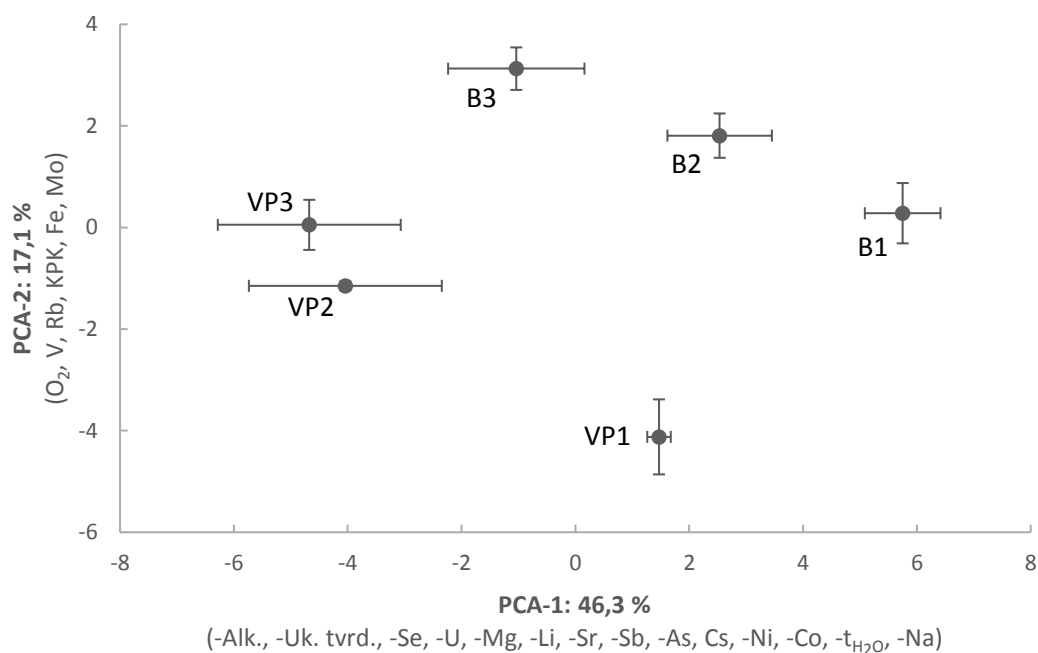
| Mjesec | Postaja | Koncentracija metala u tragovima ($\mu\text{g L}^{-1}$) | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---------|---|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | Li ⁷ | Se ⁸² | Rb ⁸⁵ | Mo ⁹⁸ | Cd ¹¹¹ | Sn ¹²⁰ | Sb ¹²¹ | Cs ¹³³ | Tl ²⁰⁵ | Pb ²⁰⁸ | Bi ²⁰⁹ | U ²³⁸ | Al ²⁷ | Ti ⁴⁷ |
| veljača | B1 | 1,36 ± 0,01 | 0,12 ± 0,02 | 0,36 ± 0,00 | 0,16 ± 0,01 | 0,01 ± 0,00 | < 0,01 | 0,03 ± 0,00 | 0,02 ± 0,00 | < 0,00 | < 0,07 | < 0,01 | 0,05 ± 0,00 | 10,61 ± 2,39 | 1,03 ± 0,15 |
| | B2 | 1,69 ± 0,01 | 0,22 ± 0,01 | 0,46 ± 0,00 | 0,20 ± 0,00 | < 0,002 | < 0,01 | 0,05 ± 0,00 | 0,01 ± 0,00 | < 0,00 | < 0,07 | < 0,01 | 0,20 ± 0,00 | 10,28 ± 0,45 | 0,85 ± 0,03 |
| | B3 | 1,67 ± 0,00 | 0,32 ± 0,02 | 0,48 ± 0,00 | 0,22 ± 0,00 | 0,00 ± 0,00 | < 0,01 | 0,08 ± 0,00 | < 0,001 | < 0,00 | < 0,07 | < 0,01 | 0,43 ± 0,01 | 10,40 ± 3,74 | 1,26 ± 0,39 |
| | VP1 | 1,61 ± 0,01 | 0,23 ± 0,04 | 0,31 ± 0,01 | 0,14 ± 0,00 | < 0,002 | < 0,01 | 0,09 ± 0,00 | < 0,001 | < 0,00 | < 0,07 | < 0,01 | 0,15 ± 0,00 | 20,41 ± 2,36 | 1,95 ± 0,44 |
| | VP2 | 2,17 ± 0,00 | 0,46 ± 0,02 | 0,40 ± 0,01 | 0,19 ± 0,02 | 0,01 ± 0,00 | < 0,01 | 0,09 ± 0,00 | < 0,001 | < 0,00 | < 0,07 | < 0,01 | 0,64 ± 0,03 | 19,35 ± 3,97 | 3,75 ± 2,70 |
| | VP3 | 2,18 ± 0,03 | 0,42 ± 0,03 | 0,49 ± 0,01 | 0,21 ± 0,00 | 0,01 ± 0,00 | < 0,01 | 0,10 ± 0,00 | < 0,001 | < 0,00 | < 0,07 | < 0,01 | 0,71 ± 0,00 | 17,63 ± 3,58 | 1,15 ± 0,17 |
| ožujak | B1 | 1,36 ± 0,01 | 0,12 ± 0,02 | 0,36 ± 0,00 | 0,16 ± 0,01 | 0,01 ± 0,00 | < 0,01 | 0,03 ± 0,00 | 0,02 ± 0,00 | < 0,00 | < 0,07 | < 0,01 | 0,05 ± 0,00 | 10,61 ± 2,39 | 1,03 ± 0,15 |
| | B2 | 1,65 ± 0,02 | 0,21 ± 0,10 | 0,38 ± 0,01 | 0,18 ± 0,00 | 0,01 ± 0,00 | < 0,01 | 0,05 ± 0,00 | 0,01 ± 0,00 | < 0,00 | < 0,07 | 0,01 ± 0,00 | 0,17 ± 0,00 | 16,08 ± 12,65 | 1,25 ± 0,74 |
| | B3 | 1,68 ± 0,00 | 0,26 ± 0,03 | 0,41 ± 0,00 | 0,19 ± 0,00 | 0,01 ± 0,00 | < 0,01 | 0,08 ± 0,00 | 0,01 ± 0,00 | < 0,00 | < 0,07 | < 0,01 | 0,38 ± 0,01 | 13,80 ± 0,88 | 2,30 ± 0,78 |
| | VP1 | 1,69 ± 0,02 | 0,25 ± 0,01 | 0,30 ± 0,00 | 0,13 ± 0,00 | < 0,002 | < 0,01 | 0,09 ± 0,00 | < 0,001 | < 0,00 | < 0,07 | < 0,01 | 0,15 ± 0,00 | 13,76 ± 3,68 | 0,96 ± 0,07 |
| | VP2 | 2,04 ± 0,00 | 0,33 ± 0,01 | 0,34 ± 0,01 | 0,20 ± 0,01 | 0,01 ± 0,01 | < 0,01 | 0,08 ± 0,00 | < 0,001 | < 0,00 | < 0,07 | < 0,01 | 0,55 ± 0,01 | 14,22 ± 0,42 | 2,36 ± 0,11 |
| | VP3 | 2,08 ± 0,01 | 0,32 ± 0,02 | 0,38 ± 0,00 | 0,20 ± 0,00 | 0,01 ± 0,00 | < 0,01 | 0,09 ± 0,00 | < 0,001 | < 0,00 | < 0,07 | < 0,01 | 0,59 ± 0,01 | 8,66 ± 1,44 | 1,64 ± 0,15 |

Nastavak tablice 2.

| Mjesec | Postaja | Koncentracija metala u tragovima ($\mu\text{g L}^{-1}$) | | | | | | | | | | Koncentracija makrometala (mg L^{-1}) | | | | |
|---------|---------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|--|------------------|------------------|-----------------|--|
| | | V ⁵¹ | Cr ⁵² | Mn ⁵⁵ | Fe ⁵⁶ | Co ⁵⁹ | Ni ⁶⁰ | Cu ⁶³ | Sr ⁸⁶ | Ba ¹³⁸ | As ⁷⁵ | Na ²³ | Mg ²⁴ | Ca ⁴⁴ | K ³⁹ | |
| veljača | B1 | 0,40 ± 0,01 | 0,36 ± 0,08 | 0,60 ± 0,01 | 2,04 ± 0,22 | < 0,02 | < 0,10 | < 0,40 | 68,31 ± 0,94 | 22,29 ± 0,24 | 0,17 ± 0,03 | 7,71 ± 0,05 | 4,33 ± 0,01 | 44,26 ± 0,40 | 0,60 ± 0,03 | |
| | B2 | 0,37 ± 0,00 | 0,20 ± 0,01 | 6,87 ± 0,07 | 8,51 ± 0,47 | < 0,02 | < 0,10 | < 0,40 | 125,60 ± 0,06 | 30,06 ± 0,06 | 0,27 ± 0,05 | 10,69 ± 0,05 | 6,17 ± 0,03 | 54,99 ± 0,17 | 0,77 ± 0,01 | |
| | B3 | 0,38 ± 0,00 | 0,19 ± 0,02 | 24,56 ± 1,10 | 13,89 ± 0,02 | 0,03 ± 0,00 | 0,13 ± 0,04 | < 0,40 | 155,12 ± 0,97 | 32,33 ± 0,26 | 0,43 ± 0,01 | 12,74 ± 0,17 | 7,34 ± 0,13 | 64,02 ± 0,10 | 1,05 ± 0,02 | |
| | VP1 | 0,20 ± 0,00 | 0,17 ± 0,05 | 1,03 ± 0,01 | 3,16 ± 0,04 | < 0,02 | 0,13 ± 0,01 | < 0,40 | 180,11 ± 0,42 | 30,05 ± 0,34 | 0,57 ± 0,07 | 6,26 ± 0,04 | 6,21 ± 0,01 | 54,51 ± 0,14 | 0,81 ± 0,02 | |
| | VP2 | 0,24 ± 0,00 | 0,14 ± 0,00 | 7,75 ± 0,09 | 8,92 ± 1,51 | 0,04 ± 0,01 | 0,27 ± 0,00 | < 0,40 | 224,59 ± 2,72 | 31,36 ± 0,25 | 0,58 ± 0,05 | 13,49 ± 0,27 | 10,78 ± 0,44 | 74,53 ± 2,27 | 1,43 ± 0,11 | |
| | VP3 | 0,28 ± 0,00 | 0,21 ± 0,02 | 7,01 ± 0,02 | 9,54 ± 1,99 | 0,04 ± 0,00 | 0,30 ± 0,03 | 0,41 ± 0,01 | 221,89 ± 1,02 | 31,12 ± 0,07 | 0,67 ± 0,00 | 14,01 ± 0,15 | 10,63 ± 0,07 | 72,05 ± 0,72 | 1,43 ± 0,00 | |
| ožujak | B1 | 0,40 ± 0,01 | 0,36 ± 0,08 | 0,60 ± 0,01 | 2,04 ± 0,22 | < 0,02 | < 0,10 | < 0,40 | 68,31 ± 0,94 | 22,29 ± 0,24 | 0,17 ± 0,03 | 7,71 ± 0,05 | 4,33 ± 0,01 | 44,26 ± 0,40 | 0,60 ± 0,03 | |
| | B2 | 0,36 ± 0,00 | 0,24 ± 0,01 | 5,33 ± 0,01 | 6,99 ± 0,32 | < 0,02 | < 0,10 | < 0,40 | 110,98 ± 1,48 | 27,19 ± 0,03 | 0,23 ± 0,03 | 10,07 ± 0,05 | 5,72 ± 0,02 | 53,35 ± 0,14 | 0,66 ± 0,03 | |
| | B3 | 0,37 ± 0,00 | 0,22 ± 0,03 | 17,68 ± 0,10 | 12,73 ± 0,12 | 0,03 ± 0,00 | 0,14 ± 0,01 | < 0,40 | 151,02 ± 0,71 | 30,76 ± 0,21 | 0,36 ± 0,01 | 11,39 ± 0,05 | 7,07 ± 0,01 | 63,50 ± 0,03 | 0,88 ± 0,00 | |
| | VP1 | 0,19 ± 0,00 | 0,14 ± 0,01 | 0,93 ± 0,01 | 2,54 ± 0,07 | < 0,02 | 0,10 ± 0,00 | < 0,40 | 177,40 ± 3,17 | 32,80 ± 0,50 | 0,52 ± 0,01 | 7,18 ± 0,41 | 6,33 ± 0,08 | 54,51 ± 0,02 | 0,73 ± 0,02 | |
| | VP2 | 0,20 ± 0,00 | 0,15 ± 0,02 | 4,90 ± 0,09 | 5,75 ± 0,19 | 0,02 ± 0,00 | 0,12 ± 0,01 | < 0,40 | 201,28 ± 4,32 | 29,74 ± 0,50 | 0,48 ± 0,04 | 14,59 ± 0,08 | 10,21 ± 0,05 | 64,27 ± 0,19 | 1,12 ± 0,02 | |
| | VP3 | 0,24 ± 0,00 | 0,14 ± 0,02 | 4,63 ± 0,03 | 5,42 ± 0,34 | 0,02 ± 0,00 | 0,15 ± 0,02 | < 0,40 | 205,68 ± 1,10 | 29,97 ± 0,09 | 0,46 ± 0,04 | 12,05 ± 0,17 | 10,66 ± 0,08 | 65,83 ± 0,50 | 1,17 ± 0,05 | |

Tablica 3. Usporedba ukupnih koncentracija metala i metaloida u vodi između istraživačkih postaja na temelju rezultata Kruskal-Wallis testa i *post-hoc* testa višestruke usporedbe (N=24). Zvezdice označavaju statistički značajne razlike: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$, n.s. – statistički značajne razlike nisu utvrđene.

| | H | <i>p</i> | <i>post-hoc</i> |
|-------------------|-------|----------|--------------------------|
| Li ⁷ | 19,57 | ** | B1 < VP2, VP3 |
| Se ⁸² | 17,77 | ** | B1 < VP2, VP3 |
| Rb ⁸⁵ | 14,93 | * | VP1 < B3 |
| Mo ⁹⁸ | 16,41 | ** | VP1 < B3, VP3 |
| Cd ¹¹¹ | 5,13 | n.s. | |
| Sn ¹²⁰ | 0,00 | n.s. | |
| Sb ¹²¹ | 19,59 | ** | B1 < VP1, VP2, VP3 |
| Cs ¹³³ | 21,09 | *** | VP2, VP3 < B1 |
| Ti ²⁰⁵ | 11,17 | n.s. | |
| Pb ²⁰⁸ | 0,00 | n.s. | |
| Bi ²⁰⁹ | 0,00 | n.s. | |
| U ²³⁸ | 21,92 | *** | B1 < VP2, VP3; VP1 < VP3 |
| Al ²⁷ | 3,39 | n.s. | |
| Ti ⁴⁷ | 6,10 | n.s. | |
| V ⁵¹ | 21,42 | *** | VP1, VP2 < B1; VP1 < B3 |
| Cr ⁵² | 12,71 | * | VP2 < B1 |
| Mn ⁵⁵ | 20,00 | ** | B1, VP1 < B3 |
| Fe ⁵⁶ | 19,36 | ** | B1, VP1 < B3 |
| Co ⁵⁹ | 17,70 | n.s. | |
| Ni ⁶⁰ | 16,91 | ** | B1, B2 < VP3 |
| Cu ⁶³ | 5,00 | n.s. | |
| Sr ⁸⁶ | 21,76 | *** | B1 < VP2, VP3 |
| Ba ¹³⁸ | 14,69 | * | B1 < B3 |
| As ⁷⁵ | 19,32 | ** | B1 < VP1, VP2, VP3 |
| Na ²³ | 21,64 | *** | B1 < VP3; VP1 < VP2, VP3 |
| Mg ²⁴ | 21,92 | *** | B1 < VP2, VP3; B2 < VP3 |
| Ca ⁴⁴ | 20,91 | *** | B1 < VP2, VP3 |
| K ³⁹ | 21,10 | *** | B1 < VP2, VP3 |



Slika 6. PCA analiza fizikalno-kemijskih čimbenika na istraživačkim postajama. U zagradama su poredani najutjecajniji čimbenici (faktori $> \pm 0,8$ na PCA-1 i $> \pm 0,7$ na PCA-2). Minus ispred čimbenika označava da se njegova vrijednost duž osi smanjuje. Alk. – alkalinitet, Uk. tvrd. – ukupna tvrdoća vode, O₂ – koncentracija kisika.

4.2. Analiza strukture makrozoobentosa

Tijekom istraživanja ukupno su determinirane 18733 jedinke makrozoobentosa (11555 u bentosu i 7178 u driftu), odnosno 91 svojta (Tablica 4). U bentosu su najbrojnije bile jedinke Oligochaeta, a u driftu jedinke Cladocera. I u bentosu i u driftu najmanje su bile brojne pojedine svojte Insecta. Ukupno je najviše svojti (57) determinirano na postaji VP2, a najmanje (29) na VP1.

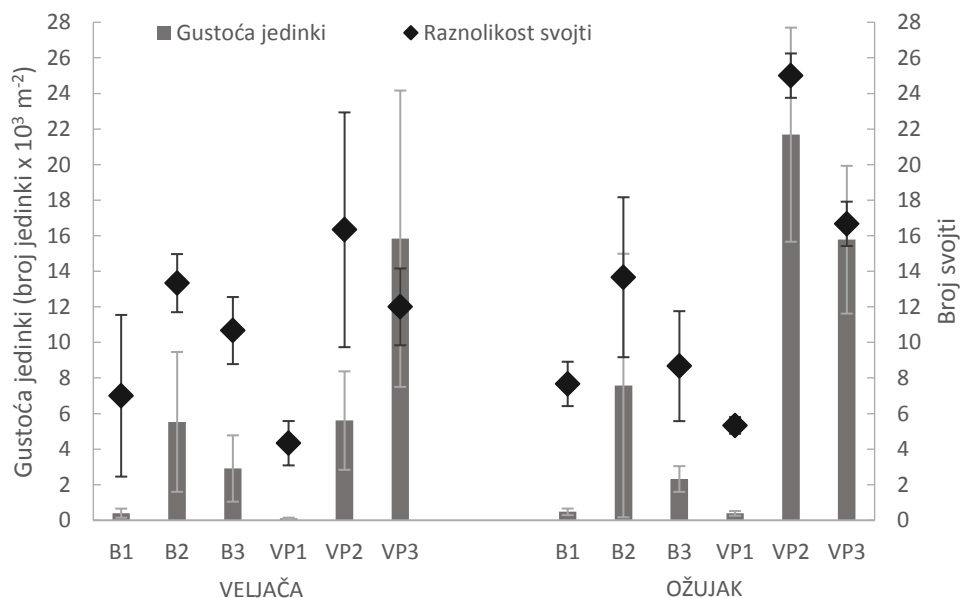
Tablica 4. Ukupna raznolikost i brojnost makrozoobentosa na istraživačkim postajama. Crvenom bojom označene su najbrojnije, plavom najmanje brojne svojte. B – bentos, D – drift.

| Skupina | Svojta | Ukupnan broj jedinki u bentosu (broj jedinki m ⁻²) | Ukupnan broj jedinki u driflu (broj jedinki m ⁻³) | Postaja | | | | | |
|---------------|--|--|---|---------|-----|-----|-----|------|------|
| | | | | B1 | B2 | B3 | VP1 | VP2 | VP3 |
| Turbellaria | Turbellaria gen. sp. | 490 | 0 | B | B | B | | B | B |
| Nematoda | Nematoda gen. sp. | 4224 | 6638 | | | D | | B, D | B, D |
| Gastropoda | Gastropoda gen. sp. | 1551 | 3263 | B, D | | | | B, D | B, D |
| Bivalvia | Bivalvia gen. sp. | 265 | 0 | | | | | | B |
| Oligochaeta | Oligochaeta gen. sp. | 144653 | 160689 | B | B,D | B,D | | B,D | B,D |
| Hydracarina | Hydracarina gen. sp. | 61 | 6088 | D | D | B,D | B | B,D | D |
| Cladocera | Cladocera gen. sp. | 0 | 2949044 | | | D | | | |
| Calanoida | Calanoida gen. sp. | 265 | 1289817 | | | B,D | B,D | B | |
| Amphipoda | <i>Gammarus fossarum</i> | 2510 | 147658 | B,D | B,D | D | B,D | B,D | D |
| Isopoda | Isopoda gen. sp. | 41 | 1959 | | B | | B,D | | |
| Collembola | Collembola gen. sp. | 82 | 26271 | | | D | | B,D | B,D |
| Coleoptera | <i>Elmis aenea</i> | 102 | 2535 | | | | D | B | |
| | <i>Limnius</i> sp. | 61 | 2289 | | B | | B,D | B | |
| | <i>Oulimnius</i> sp. | 143 | 0 | B | B | B | | B | |
| | <i>Riolus cupreus</i> | 0 | 2098 | | D | | | | |
| | Coleoptera gen. sp. - adultni | 0 | 719 | | | | | D | |
| | <i>Oulimnius troglodytes</i> - adultni | 20 | 0 | | | | | B | |
| Diptera | Diptera gen. sp. | 20 | 0 | | | | | | B |
| | <i>Atherix</i> sp. | 41 | 0 | | B | | | | |
| | Ceratopogoninae gen. sp. | 1327 | 5766 | | D | B | | B,D | B,D |
| | Chironomidae gen. sp. | 327 | 11088 | B | B | B,D | D | B,D | B,D |
| | Chironomini gen. sp. | 2265 | 20871 | B | B,D | B,D | B,D | B,D | B,D |
| | Orthocladinae gen. sp. | 37857 | 529485 | B,D | B,D | B,D | B,D | B,D | B,D |
| | Tanypodinae gen. sp. | 3837 | 21375 | | B | B,D | B,D | B,D | B,D |
| | Tanytarsini gen. sp. | 16939 | 65371 | D | B | B,D | B,D | B,D | B,D |
| | Cinocerinae gen. sp. | 41 | 0 | | B | | | | |
| | <i>Chelifera</i> sp. | 20 | 0 | | | | | B | |
| | <i>Hemerodromia</i> sp. | 20 | 0 | | | | | B | |
| | Limoniidae gen. sp. | 41 | 1437 | | | | | B,D | |
| | <i>Antocha</i> sp. | 490 | 1504 | | B | B | | B,D | B |
| | <i>Dicranota</i> sp. | 20 | 0 | | | | | B | |
| | <i>Eloephila</i> sp. | 20 | 0 | | | | | B | |
| | <i>Lispe</i> sp. | 102 | 4346 | | | | | B | B,D |
| | Psychodidae gen. sp. | 122 | 3957 | D | B | | | B,D | D |
| | <i>Psychoda</i> sp. | 20 | 0 | | | | | B | |
| | Ptychoptera sp. | 0 | 840 | | | | | | D |
| | <i>Chrysopilus</i> sp. | 41 | 0 | | | | | B | B |
| | Simuliidae gen. sp. | 41 | 1091 | | | B,D | | B | |
| | <i>Prosimulium</i> sp. | 245 | 14057 | B,D | B | | B,D | B | B |
| | <i>Simulium</i> sp. | 306 | 1091 | | D | | D | B | B |
| | <i>Cnephia</i> sp. | 20 | 0 | | | B | | | |
| | <i>Metacnephia</i> sp. | 0 | 1091 | | | D | | | |
| | Stratiomyidae gen. sp. | 0 | 1143 | | | | | | D |
| | Tabanidae gen. sp. | 20 | 0 | | | | | B | |
| | Tipulidae gen. sp. | 20 | 0 | | | | | B | |
| | <i>Tipula</i> sp. | 20 | 0 | | | | | | B |
| | Diptera gen. sp. - pupae | 1490 | 701099 | D | B,D | B,D | D | B,D | B,D |
| | <i>Prosimulium</i> sp. - pupae | 20 | 0 | | | | | B | |
| | <i>Simulium</i> sp. - pupae | 0 | 1143 | | | | | | D |
| | Diptera gen. sp. - imago | 265 | 517619 | | | B,D | D | B,D | B,D |
| Ephemeroptera | Ephemeroptera gen. sp. | 0 | 8150 | D | D | | | D | |
| | Ephemeroptera gen. sp. - juvenilni | 204 | 14871 | B,D | B | B,D | D | B | |
| | <i>Baetis</i> sp. | 5939 | 1198796 | B,D | B,D | B,D | B,D | B,D | B,D |
| | <i>Proclon</i> sp. | 0 | 2098 | | D | | | | |
| | <i>Caenis</i> sp. | 4490 | 30590 | | | | | B,D | B,D |
| | <i>Ephemerella</i> sp. | 41 | 2024 | D | | | | B,D | |
| | <i>Ephemerella notata</i> | 102 | 4026 | B | B,D | | | B,D | D |
| | Heptageniidae gen. sp. | 20 | 31168 | D | D | | D | B | B |
| | <i>Ecdyonurus</i> sp. | 20 | 0 | | B | | | | |
| | <i>Rhitrogena</i> sp. | 980 | 27536 | B,D | B,D | | B,D | B,D | |
| | Leptohlebiidae gen. sp. | 61 | 6346 | B | D | D | | B | |
| | <i>Habroleptooides</i> sp. | 12365 | 0 | | | | D | | |
| | <i>Paraleptohlebia</i> sp. | 20 | 0 | | | | | B | |
| Heteroptera | Heteroptera gen. sp. | 61 | 3434 | B | | | | B,D | B,D |
| Odonata | <i>Onychogomphus forcipatus</i> | 163 | 0 | | | | | B | |
| | <i>Orthetrum</i> sp. | 20 | 0 | | | | | B | |
| | <i>Orthetrum cancellatum</i> | 102 | 0 | | | | | B | |
| | <i>Orthetrum corulescens</i> | 20 | 0 | | | | | B | |
| Plecoptera | Plecoptera gen. sp. | 20 | 365 | D | | | | B | |
| | Plecoptera gen. sp. - juvenilni | 61 | 0 | B | | | | | |
| | <i>Chloroperla</i> sp. | 8943 | 0 | | | | D | | |
| | <i>Siphonoperla</i> sp. | 0 | 1132 | | | | D | | |
| | <i>Nemoura</i> sp. | 82 | 4525 | | D | | B,D | B | |
| | <i>Prononemoura</i> sp. | 41 | 3353 | B,D | | | | | |
| | Perlidae gen. sp. | 20 | 838 | D | | | B | | |
| | <i>Perla</i> sp. | 41 | 0 | B | | | | | |
| | <i>Brachyptera</i> sp. | 367 | 29040 | B,D | B,D | | D | B | |
| | <i>Rhabdiopteryx</i> sp. | 0 | 1215 | D | | | | | |
| Trichoptera | Trichoptera gen. sp. | 61 | 0 | | B | | | B | |
| | Hydropsychidae gen. sp. | 143 | 0 | | B | B | B | | |
| | <i>Hydropsyche</i> sp. | 2061 | 2520 | | B,D | B | | B,D | |
| | <i>Hydropsyche bulbifera</i> | 20 | 0 | | | | | B | |
| | <i>Hydropsyche lepida</i> | 20 | 0 | | | B | | | |
| | <i>Hydropsyche modesta</i> | 20 | 0 | | | | | B | |
| | <i>Hydropsyche pellucidula</i> | 61 | 0 | | B | | | | |
| | Hydroptilidae gen. sp. | 20 | 836 | | | | | | B,D |
| | <i>Philopotamus variegatus</i> | 20 | 0 | | | | B | | |
| | Rhyacophiliidae gen. sp. | 0 | 838 | D | | | | | |
| | <i>Rhyacophila</i> sp. | 0 | 1161 | | | | D | | |
| | <i>Rhyacophila fasciata</i> | 41 | 0 | | B | | | | |
| | <i>Sericostoma</i> sp. | 0 | 1016 | | D | | | | |

4.2.1. Brojnost jedinki i raznolikost svojti makrozoobentosa

Brojnost i raznolikost makrozoobentosa prikazane su na Slici 7. Brojnost jedinki ukupno je bila najmanja u veljači na postaji VP1. U tom mjesecu su po brojnosti slijedile redom: B1, B3, B2, VP2 i VP3. U ožujku su odnosi brojnosti jedinki ostali slični, osim što je brojnost na postaji VP2 prerasla onu na VP3, a to je ujedno i ukupno najveća zabilježena brojnost. Raznolikost svojti makrozoobentosa uglavnom je pratila trend brojnosti (iznimka su VP2 i VP3 u veljači). Najmanja je bila na VP1 u veljači, a najveća na VP2 u ožujku. Postaje bez utjecaja urbanizacije imale su najmanju raznolikost svojti, dok su svojte na srednje urbaniziranim postajama imale najveću raznolikost u oba mjeseca. Nisu potvrđene statistički značajne razlike u brojnosti i raznolikosti između pojedinih mjeseci.

Značajni rezultati statističkih analiza prikazani su u Tablici 5. Ukupno su u veljači i ožujku brojnost jedinki i raznolikost svojti makrozoobentosa bile statistički značajno manje na postajama B1 i VP1 u odnosu na neke od postaja većeg stupnja urbanizacije. Promatrajući postaje zasebno za svaki mjesec, brojnost jedinki bila je u veljači statistički značajno manja na postaji VP1 nego na VP3, dok je u ožujku raznolikost svojti bila statistički značajno manja na VP1 (koja je imala najmanju ukupnu raznolikost) u odnosu na VP2 (na kojoj je zabilježena najveća ukupna raznolikost).



Slika 7. Brojnost i raznolikost makrozoobentosa na istraživačkim postajama u veljači i ožujku 2016. (SV ± SD).

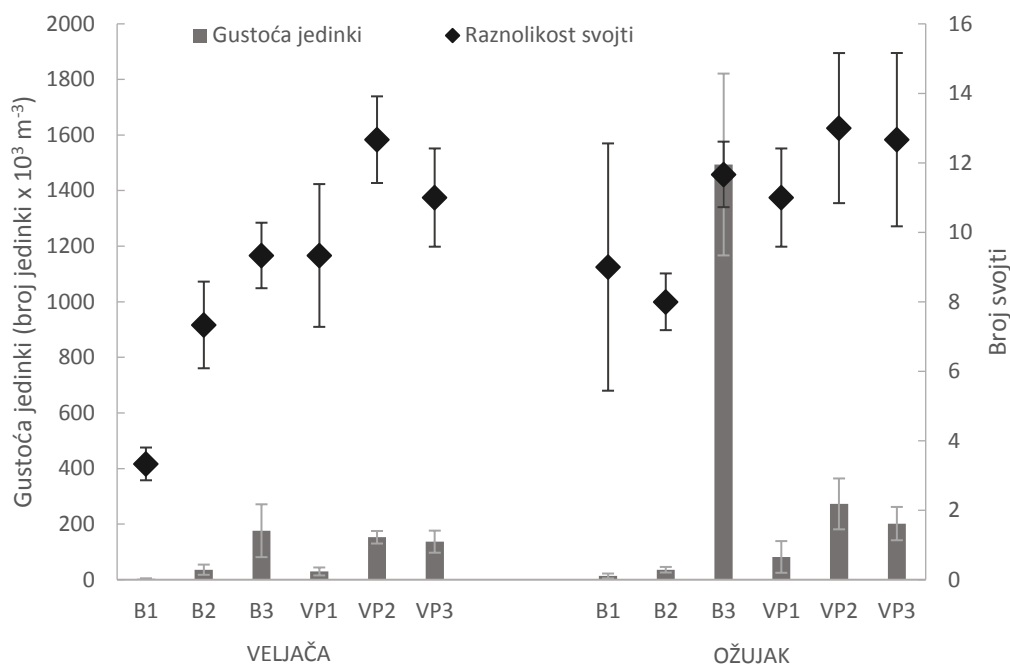
Tablica 5. Usporedba brojnosti i raznolikosti makrozoobentosa između istraživačkih postaja na temelju rezultata Kruskal-Wallis testa i *post-hoc* testa višestruke usporedbe. Zvezdice označavaju statistički značajne razlike: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$, n.s. – statistički značajne razlike nisu utvrđene.

| | H | <i>p</i> | <i>post-hoc</i> |
|-------------------------------|--------------------|----------|------------------------------|
| Ukupna gustoća bentosa | 24,88 (5, N = 419) | *** | B1 < VP3; VP1 < B3, VP3 |
| Ukupan broj svojti bentosa | 24,19 (5, N = 36) | *** | B1 < VP2; VP1 < B2, VP2, VP3 |
| Gustoća bentosa u veljači | 17,95 (5, N = 190) | ** | VP1 < VP3 |
| Broj svojti bentosa u veljači | 9,37 (5, N = 18) | n.s. | |
| Gustoća bentosa u ožujku | 10,16 (5, N = 229) | n.s. | |
| Broj svojti bentosa u ožujku | 14,40 (5, N = 18) | * | VP1 < VP2 |

4.2.2. Brojnost jedinki i raznolikost svojti makrozoobentosa u uzorcima drifta

Brojnost i raznolikost makrozoobentosa u uzorcima drifta prikazane su na Slici 8. Ukupno je najmanja brojnost jedinki zabilježena na postaji B1 u veljači, a najveća na B3 u ožujku. Na postajama duž Blizneca brojnost jedinki je rasla uz gradijent urbanizacije, a na postajama duž Velikog potoka je brojnost na VP1 bila najmanja, ali je na VP2 bila veća nego na VP3. Raznolikost svojti uglavnom prati trend brojnosti jedinki (izuzetak su B1 i B2 u ožujku). Najmanja raznolikost bila je na postaji B1 u veljači, a najveća na VP2 u ožujku.

Značajni rezultati statističkih analiza prikazani su u Tablici 6. Brojnost jedinki makrozoobentosa u driftu bila je statistički značajno manja na postaji B1 u odnosu na sve ili gotovo sve ostale postaje, kako ukupno, tako i gledajući svaki mjesec zasebno. Ukupna raznolikost svojti bila je statistički značajno manja na postajama B1 i B2 nego na VP2 (na kojoj je zabilježena najveća raznolikost u driftu). U veljači je raznolikost također bila statistički značajno manja na B1 nego na VP2, dok u ožujku nisu utvrđene značajne razlike među postajama s obzirom na raznolikost. S obzirom na brojnost jedinki i raznolikost svojti u driftu, statistički značajne razlike između mjeseci (veljače i ožujka) nisu utvrđene.



Slika 8. Brojnost jedinki i raznolikost svojti makrozoobentosa u driftu na istraživačkim postajama u veljači i ožujku 2016. (SV ± SD).

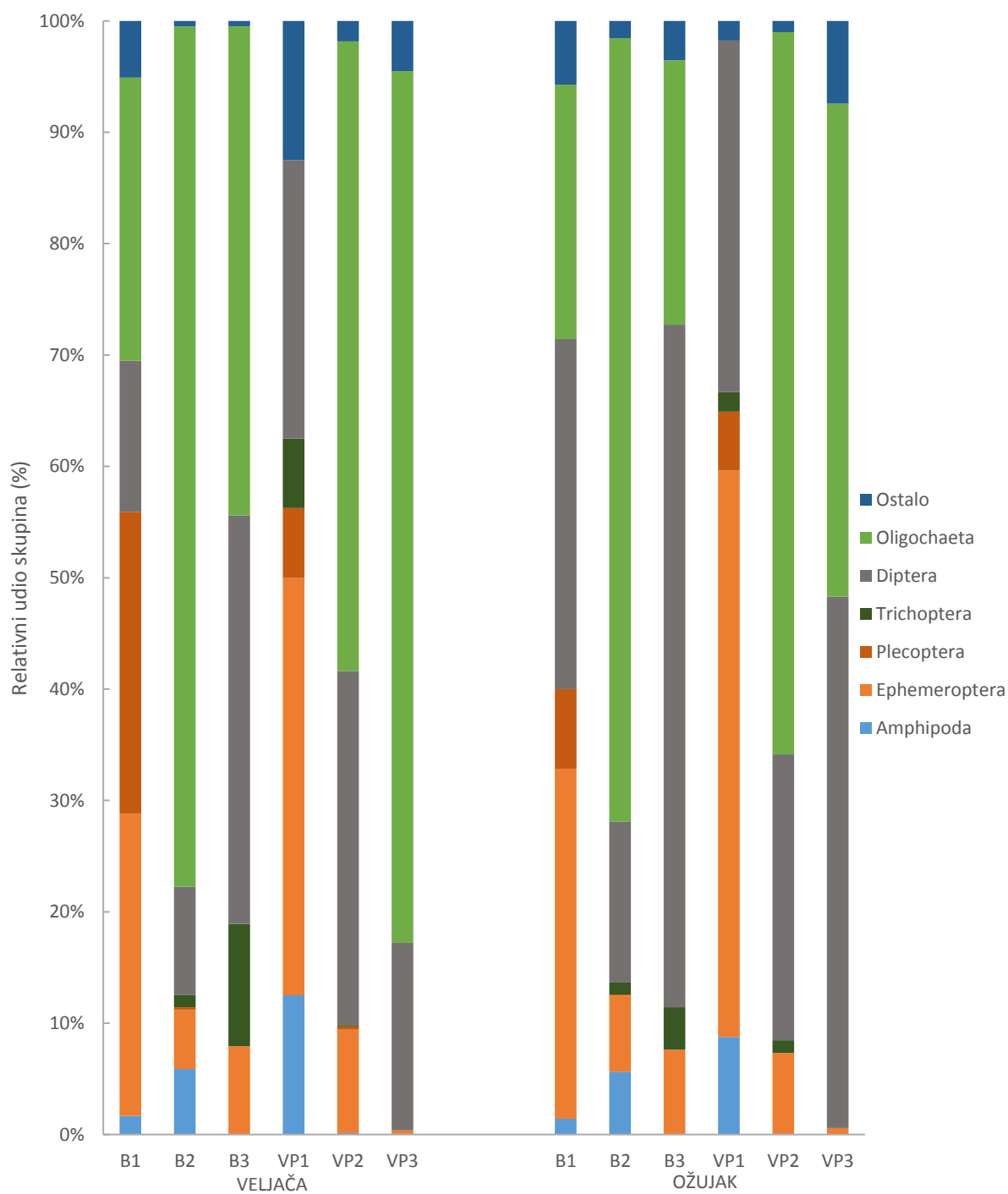
Tablica 6. Usporedba brojnosti jedinki i raznolikosti svojti makrozoobentosa u driftu između istraživačkih postaja na temelju rezultata Kruskal-Wallis testa i *post-hoc* testa višestruke usporedbe. Zvezdice označavaju statistički značajne razlike: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$, n.s. – statistički značajne razlike nisu utvrđene.

| | H | p | <i>post-hoc</i> |
|------------------------------|--------------------|------|----------------------------|
| Ukupna gustoća drifta | 47,54 (5, N = 349) | *** | B1 < B2, B3, VP1, VP2, VP3 |
| Ukupan broj svojti drifta | 18,79 (5, N = 36) | ** | B1, B2 < VP2 |
| Gustoća drifta u veljači | 18,84 (5, N = 159) | ** | B1 < B2, B3, VP2, VP3 |
| Broj svojti drifta u veljači | 13,01 (5, N = 18) | * | B1 < VP2 |
| Gustoća drifta u ožujku | 29,98 (5, N = 190) | *** | B1 < B2, B3, VP1, VP2, VP3 |
| Broj svojti drifta u ožujku | 8,06 (5, N = 18) | n.s. | |

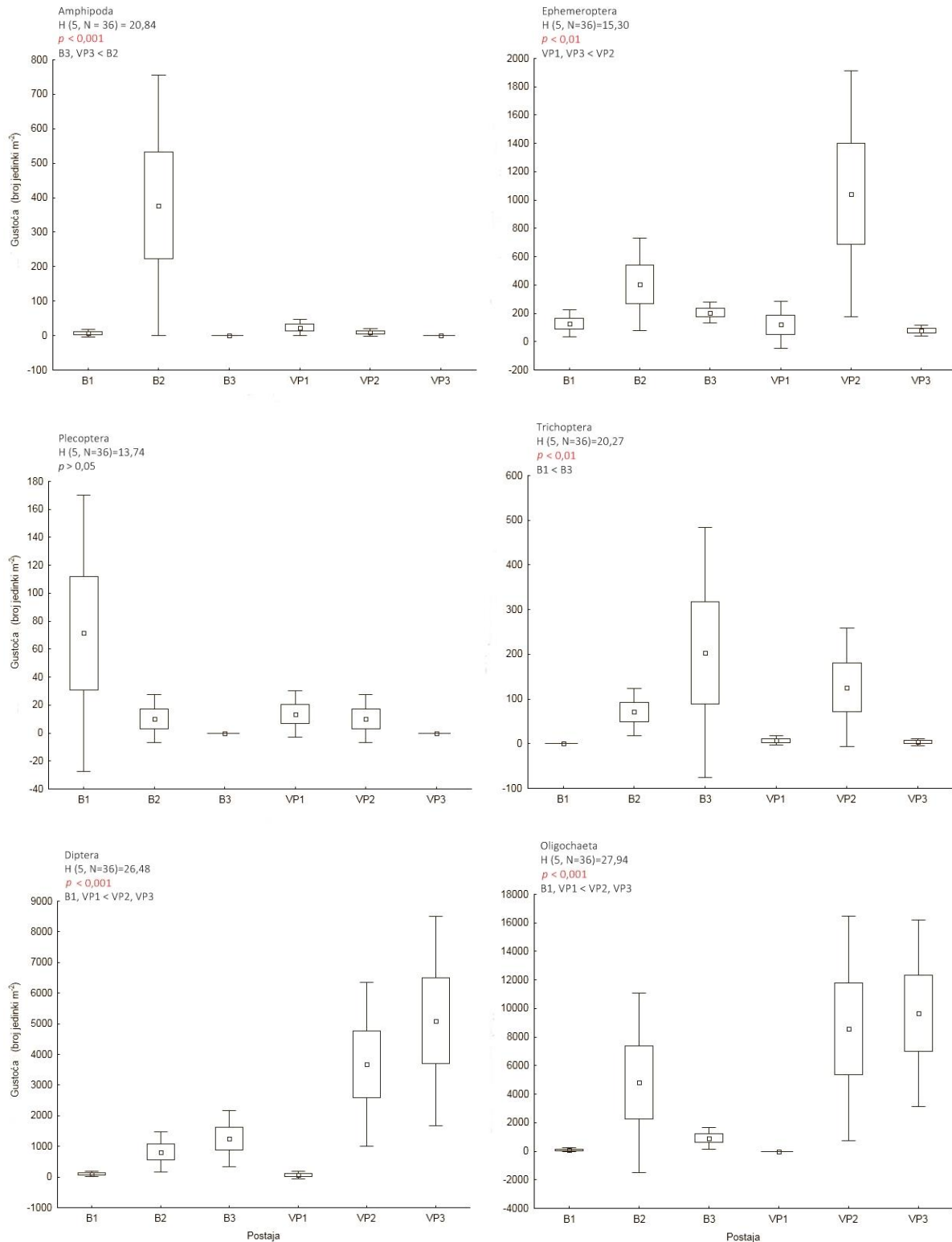
4.2.3. Udio i brojnost taksonomskih skupina makrozoobentosa

Udio taksonomskih skupina makrozoobentosa na istraživačkim postajama u veljači i ožujku prikazan je na Slici 9. Najučestalije skupine bile su: Amphipoda, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Diptera i Oligochaeta. Udjeli su bili vrlo slični u veljači i ožujku. Na postaji B1 su dominirali Ephemeroptera, Plecoptera, Diptera i Oligochaeta (> 90%), uz vrlo mali udio Amphipoda i ostalih skupina. Na B2 je više od 70% jedinki pripadalo skupini Oligochaeta. Oko 10% su činile jedinke Diptera, a u pola manje Ephemeroptera te Amphipoda. Determiniran je vrlo mali udio Trichoptera, Plecoptera i ostalih skupina. Na B3 su dominirali Diptera i Oligochaeta (> 80%). Ostatak sastava činile su Trichoptera, Ephemeroptera i ostale skupine. Izostale su skupine Plecoptera i Amphipoda. Na postaji VP1 najveći udio su činile jedinke Ephemeroptera (oko 40%), a slijedila je skupina Diptera (oko 30%). Determinirani su i pripadnici Amphipoda, Plecoptera, Trichoptera i ostalih skupina. Na VP2, slično kao na B2, dominirali su Oligochaeta, a slijedili su Diptera (zajedničkog udjela oko 80%). Oko 10% su činile jedinke Ephemeroptera, a ostatak Trichoptera, Plecoptera te ostale skupine izuzev Amphipoda. Na VP3 su ponovno dominirali Oligochaeta i Diptera sa preko 90% udjela, uz vrlo malo Ephemeroptera, Trichoptera (samo u ožujku) i ostalih skupina. Plecoptera i Amphipoda su, kao i na B3, izostali.

Utvrđene su statistički značajne razlike između ukupne brojnosti jedinki makrozoobentosa pojedinih dominantnih skupina između postaja (Slika 10). Postaja B2 isticala se značajno velikom brojnošću Amphipoda, za razliku od postaja B3 i VP3, na kojima ova skupina nije pronađena. Brojnost Ephemeroptera bila je najveća na VP2 te je bila statistički značajno veća od brojnosti na VP1 i VP3. Najviše je Trichoptera pronađeno na B3, te je njihova brojnost na toj postaji polučila statistički značajne razlike u odnosu na postaju B1, gdje su Trichoptera izostali. Diptera i Oligochaeta je bilo najviše na VP2 i VP3, a najmanje na B1 i VP1, a ta razlika je i statistički potvrđena. Gledajući svaki mjesec zasebno, Kruskal-Wallis testom je u veljači ($H(5, N = 18) = 13,91, p < 0,05$) i ožujku ($H(5, N = 18) = 13,97, p < 0,05$) utvrđena statistički značajna razlika u brojnosti Oligochaeta. *Post-hoc* test višestruke usporedbe pokazivao je statistički značajno manju brojnost Oligochaeta na postaji VP1 u odnosu na VP3 u veljači te u odnosu na VP2 u ožujku. Statistički značajne razlike u brojnosti pojedinih skupina makrozoobentosa između mjeseci (veljače i ožujka) nisu utvrđene.



Slika 9. Udio pojedinih skupina makrozoobentosa na istraživačkim postajama u veljači i ožujku 2016.



Slika 10. Usporedba brojnosti dominantnih skupina makrozoobentosa između istraživačkih postaja Kruskal-Wallis testom i *post-hoc* testom višestruke usporedbe (SV ± SD, SP). Statistički značajne razlike označene su crvenom bojom.

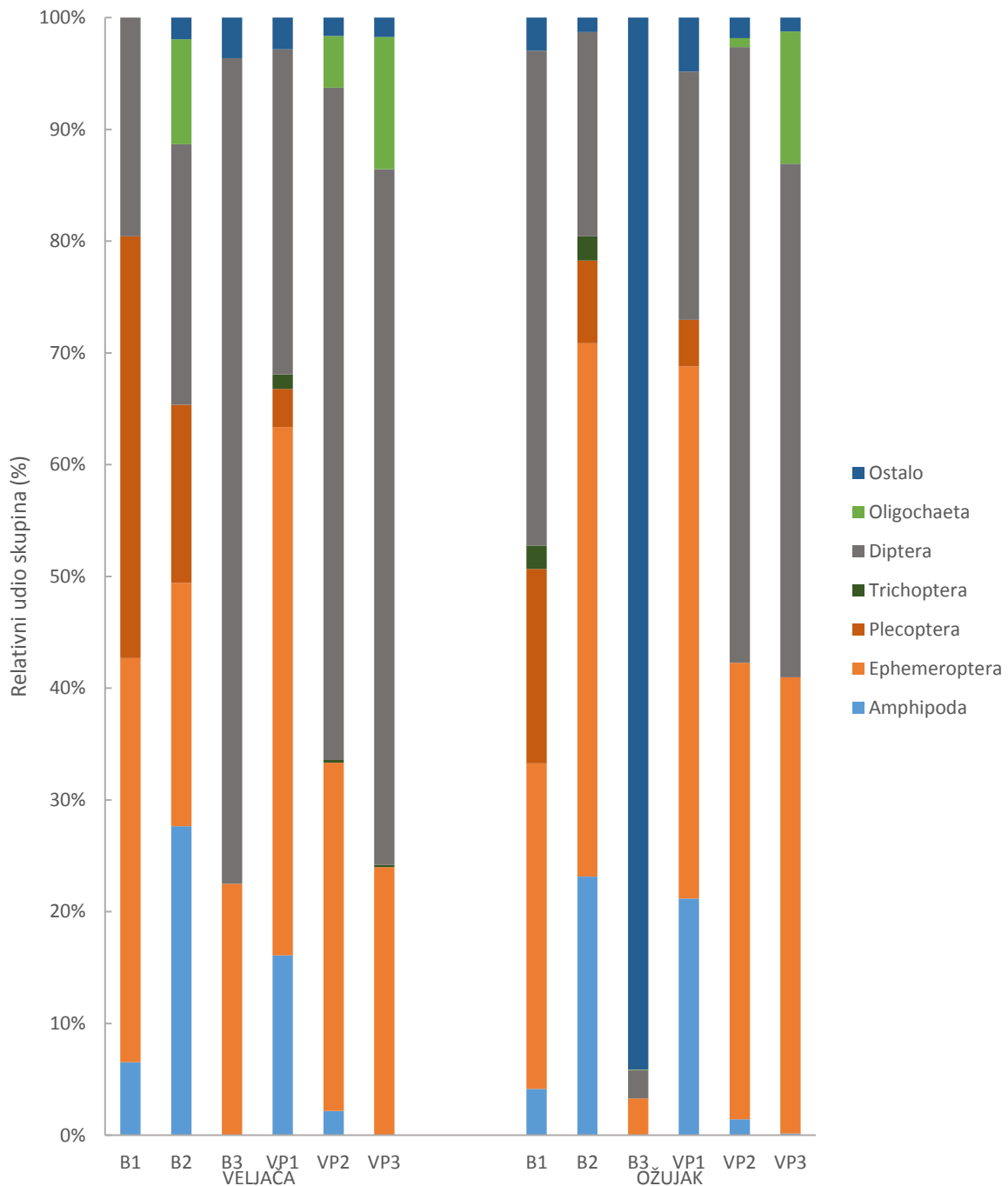
4.2.4. Udio i brojnost taksonomskih skupina makrozoobentosa u uzorcima drifta

Udio pojedinih skupina makrozoobentosa nađenih u uzorcima drifta na istraživačkim postajama prikazan je na Slici 11. Dominantne skupine u driftu bile su Amphipoda, Ephemeroptera i Diptera. U veljači su na postaji B1 najveći udio imale jedinke Plecoptera i Ephemeroptera (> 70%), a ostatak su činile Amphipoda i Diptera. Trichoptera, Oligochaeta i ostale skupine su izostali. U ožujku je udio Diptera porastao te je ta skupina zajedno s Plecoptera i Ephemeroptera činila oko 90% drifta na postaji B1, a ostatak su činili Trichoptera i ostale skupine. Na postaji B2, u driftu su dominirali Amphipoda, Ephemeroptera, Diptera i Plecoptera (> 90%). U veljači je determiniran i mali udio Oligochaeta i ostalih skupina (Trichoptera su izostali), a u ožujku Trichoptera i ostalih (ovaj put uz izostanak Oligochaeta). Na B3 su u veljači Diptera činili više od 70% drifta, a slijedili su Ephemeroptera te vrlo malo ostalih skupina. Jedinke preostalih skupina izdvojenih kao učestale nisu nađene. U ožujku su na postaji B3 pojedine svojite rijetkih skupina iznenađujuće dominirale s preko 90% udjela, a ostatak su činile jedinke Ephemeroptera i Diptera, uz vrlo mali udio Amphipoda i Oligochaeta. Plecoptera i Trichoptera su izostali.

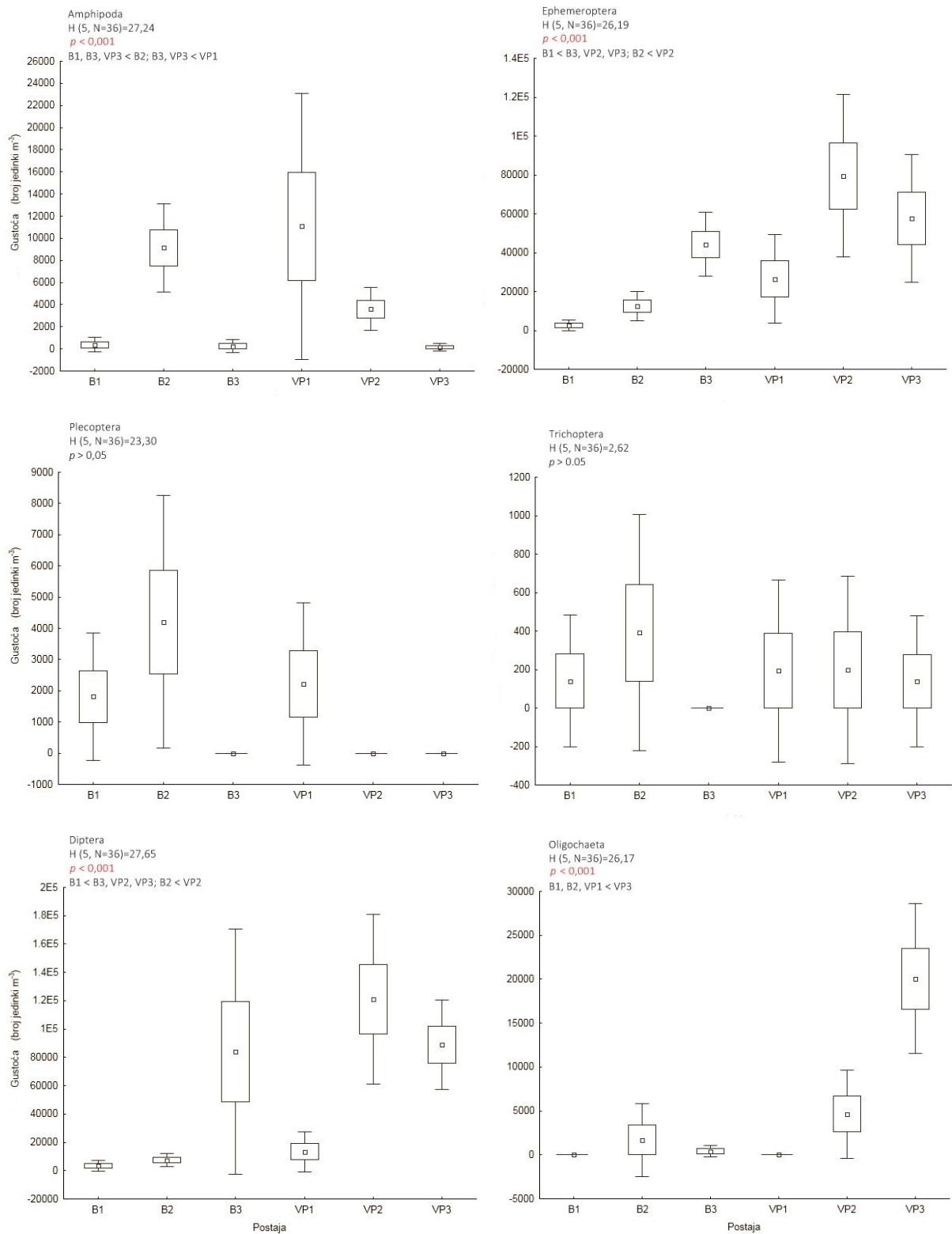
Udjeli skupina na postajama Velikog potoka bili su vrlo slični u veljači i ožujku. Jedina uočljivija razlika bila je u udjelu Trichoptera, koji su redovito činili mali dio drifta na svim postajama u veljači, a u ožujku nisu determinirani. Na VP1 najveći udio je činila skupina Ephemeroptera (oko 45%), a slijedili su Amphipoda i Diptera. Mali dio drifta činili su Plecoptera i ostale skupine, a Oligochaeta su izostali. Na VP2 dominirali su Diptera i Ephemeroptera (> 90%), a ostatak drifta su činili Amphipoda, Oligochaeta i ostale skupine. Plecoptera nisu nađeni u driftu na postaji VP2. Na VP3, drift su više od 90% činili Diptera i Ephemeroptera, a ostatak jedinki pripadale su skupini Oligochaeta te vrlo mali udio ostalim skupinama. Plecoptera su ponovno izostali, kao i Amphipoda u veljači.

Utvrđene su statistički značajne razlike između postaja s obzirom na ukupne brojnosti jedinki makrozoobentosa u driftu (Slika 12). Brojnost jedinki Amphipoda u driftu bila je najveća na postajama B2 i VP1, a najmanja na B1, B3 i VP3 te su navedene razlike i statistički potvrđene. Što se tiče Ephemeroptera i Diptera, utvrđeno je statistički značajno manje jedinki na postaji B1 u odnosu na B3, VP2 i VP3. Postaja VP2, na kojoj je zabilježena najveća brojnost Ephemeroptera i Diptera u driftu, imala je statistički značajno više jedinki tih svojiti i u usporedbi s B2. Oligochaeta su bili najbrojniji na VP3 i to statistički značajno više nego na B1, B2 i VP1. Gledajući svaki mjesec zasebno, Kruskal-Wallis testom je utvrđeno da je brojnost

Ephemeroptera u veljači ($H(5, N = 18) = 15,36, p < 0,01$) i ožujku ($H(5, N = 18) = 14,66, p < 0,05$) statistički značajno manja na B1 nego na VP2. Statistički značajne razlike u brojnosti pojedinih skupina makrozoobentosa u driftu između mjeseci (veljače i ožujka) nisu utvrđene.



Slika 11. Udio pojedinih skupina makrozoobentosa u driftu na istraživačkim postajama u veljači i ožujku 2016.

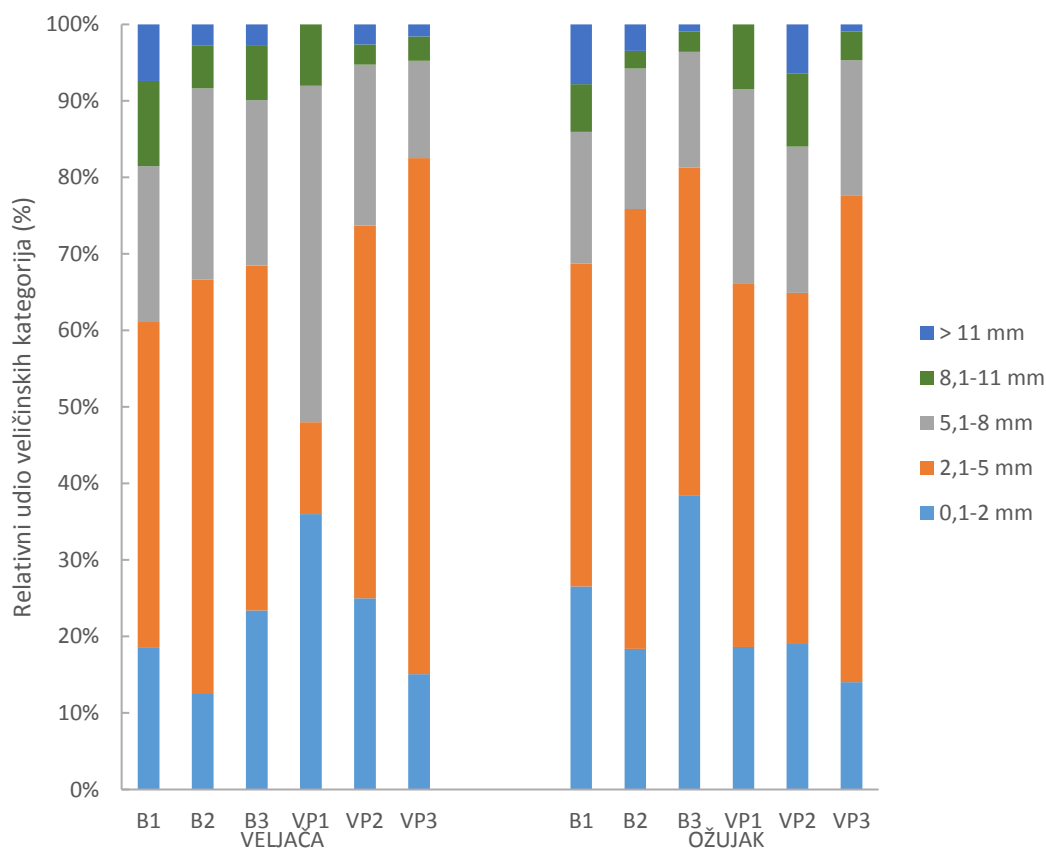


Slika 12. Usporedba brojnosti skupina makrozoobentosa u driftu između istraživačkih postaja Kruskal-Wallis testom i *post-hoc* testom višestruke usporedbe (SV ± SD, SP). Statistički značajne razlike označene su crvenom bojom.

4.2.5. Veličinska struktura makrozoobentosa

Udio veličinskih kategorija makrozoobentosa na istraživačkim postajama prikazan je na Slici 13. Dominirale su jedinke veličine 2,1-5 mm, a najmanje je bilo jedinki većih od 11 mm. Na gotovo svim postajama, u oba mjeseca, nakon kategorije 2,1-5 mm slijedile su kategorije 0,1-2 i 5,1-8 mm, zatim 8,1-11 mm te, na posljetku, > 11 mm (na postaji VP1 je u potpunosti izostala). Iznimno je na VP1 u veljači udio inače dominantne kategorije bio manji od kategorija 5,1-8 mm i 0,1-2 mm (5,1-8 mm je imala najveći udio).

Postaja B3 ukupno je imala statistički značajno više jedinki makrozoobentosa kategorije 2,1-5 mm u usporedbi s VP1, kao i postaja VP3 u usporedbi s B1, B2, VP1 i VP2, kako je utvrđeno Kruskal-Wallis testom ($H(5, N = 371) = 32,54, p < 0,001$). Iste su razlike utvrđene i u veljači (Kruskal-Wallis test ($H(5, N = 168) = 33,27, p < 0,001$)). U ožujku nisu utvrđene statistički značajne razlike između postaja. Također nisu utvrđene statistički značajne razlike u veličinskom sastavu bentosa između pojedinih mjeseci (veljače i ožujka).

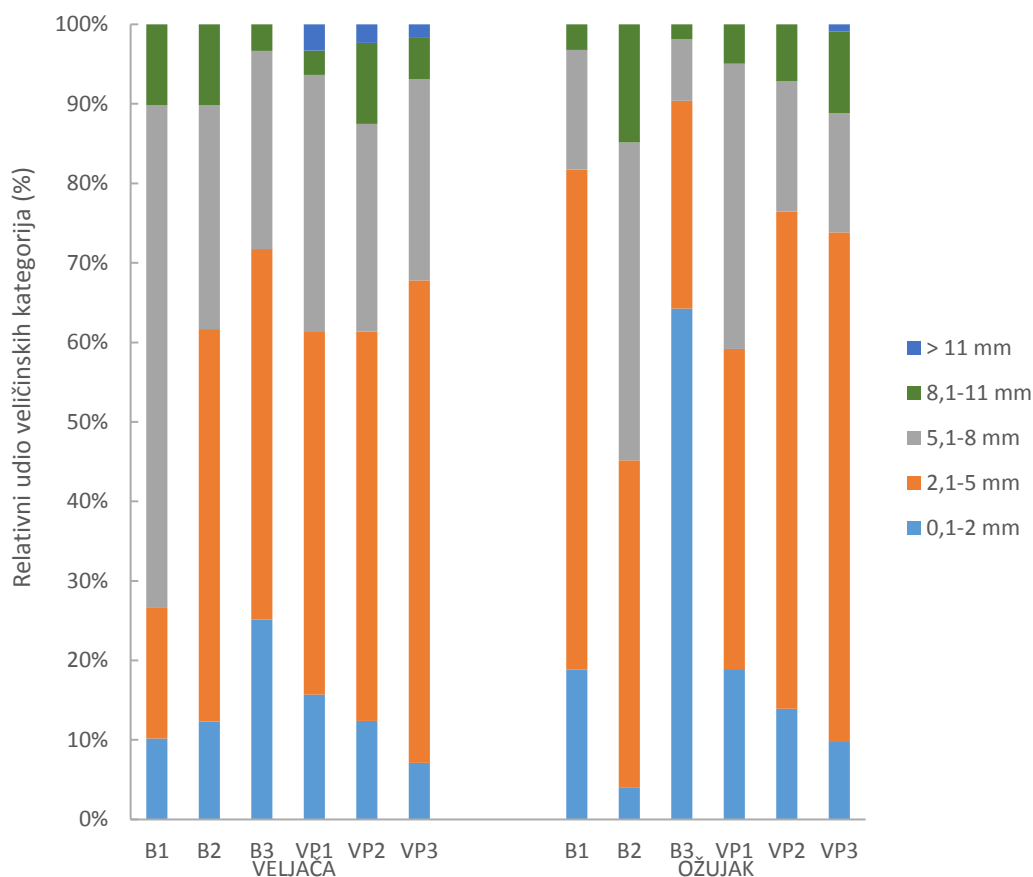


Slika 13. Udio veličinskih kategorija makrozoobentosa na istraživačkim postajama u veljači i ožujku 2016.

4.2.6. Veličinska struktura makrozoobentosa u uzorcima drifta

Udio veličinskih kategorija makrozoobentosa na istraživačkim postajama prikazan je na Slici 14. Dominirale su jedinke veličine 2,1-5 mm, a najmanje je bilo jedinki većih od 11 mm (najčešće su u potpunosti izostale). Na postaji B1 je u veljači najveći udio imala kategorija 5,1-8 mm, a slijedile su 2,1-5 mm, 0,1-2 mm i 8,1-11 mm. U ožujku je trostruko porastao udio kategorije 2,1-5 mm, nauštrb kategorije 5,1-8 mm. Na postaji B2 su kategorije 2,1-5 mm i 5,1-8 mm činile oko 80% udjela u oba mjeseca, a ostatak je pripadao kategorijama 0,1-2 mm i 8,1-11 mm. Slična je veličinska struktura bila i na B3 u veljači, samo s ponešto većim udjelom jedinki veličine 0,1-2 mm. U ožujku su, međutim, više od 60% činile jedinke veličine 0,1-2 mm, a tek su zatim slijedile kategorije 2,1-5 mm, 5,1-8 mm i 8,1-11 mm. Razlike između mjeseci, međutim, nisu statistički potvrđene. Na postajama duž Velikog potoka u veljači i ožujku u driftu je dominirala kategorija 2,1-5 mm, a nakon nje su slijedile 5,1-8 mm, 0,1-2 mm, 8,1-11 mm te, u nekoliko slučajeva, > 11 mm. Uočljiv je bio trend povećanja udjela kategorije 2,1-5 mm i smanjivanja udjela kategorija 0,1-2 mm i 5,1-8 mm duž gradijenta urbanizacije.

Postaja B2 ukupno je imala statistički značajno manju brojnost jedinki veličinske kategorije 0,1-2 mm nego B3 (postaji s najvećom ukupnom brojnosti te kategorije), što je utvrđeno Kruskal-Wallis testom ($H(5, N = 291) = 20,87, p < 0,001$). Postaja B1 ukupno je imala statistički značajno manju brojnost veličinske kategorije 2,1-5 mm u odnosu na VP3 (Kruskal-Wallis test ($H(5, N = 291) = 16,04, p < 0,01$)). Samo u veljači, utvrđen je isti obrazac između postaja B1 i VP3 (Kruskal-Wallis test ($H(5, N = 133) = 11,29, p < 0,001$)). U ožujku je brojnost kategorije 5,1-8 mm bila statistički značajno manja na B1 nego na VP1 (koja se isticala velikom brojnošću ove kategorije) (Kruskal-Wallis test ($H(5, N = 158) = 20,29, p < 0,01$)).



Slika 14. Udio veličinskih kategorija makrozoobentosa u driftu na istraživačkim postajama u veljači i ožujku 2016.

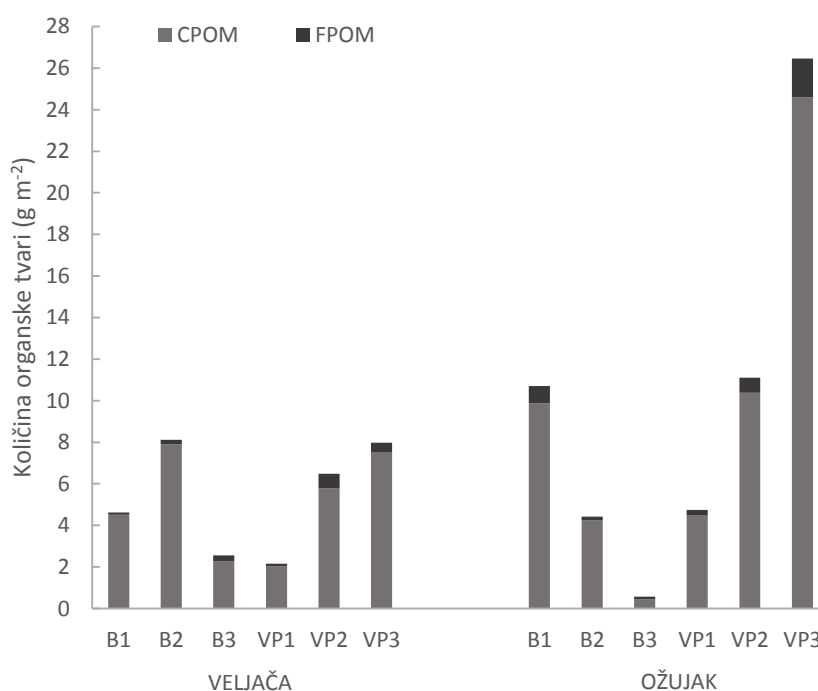
4.3. Analiza organske tvari

4.3.1. Količina POM-a u bentosu

Količina različitih veličinskih kategorija i ukupnog POM-a u bentosu na istraživačkim postajama u veljači i ožujku prikazana je na Slici 15. Najveća količina ukupnog POM-a, kao i zasebno FPOM-a i CPOM-a, zabilježena je na postaji VP3 u ožujku. Najmanja količina ukupnog POM-a i CPOM-a bila je na postaji B3 u istom mjesecu, dok je najmanje FPOM-a bilo na VP1 u veljači. U svim uzorcima CPOM je imao većinski udio u ukupnoj količini POM-a te su razlike u ukupnoj količini POM-a bile proporcionalne razlikama u količini CPOM-a. U veljači je na postaji B2 bilo više CPOM-a nego na ostale 2 postaje duž Blizneca, a najmanje ga je bilo na postaji B3. Količina FPOM-a je rasla na postajama uz gradijent urbanizacije, no na B2 i B3 bila je vrlo slična. U ožujku je količina CPOM-a bila veća na B1 nego na B2, a na B3 je i dalje bila najniža. Količina FPOM-a se, suprotno nego u veljači, smanjivala uz povećanje stupnja urbanizacije, a i dalje se malo razlikovala između B2 i B3. Na postajama duž gradijenta

urbanizacije Velikog potoka količina CPOM-a je rasla u oba mjeseca. Najviše FPOM-a u veljači je zabilježeno na VP2, a najmanje na VP1. U ožujku ga je bilo više na VP3 nego na VP2, a na VP1 ga je i dalje bilo najmanje. Razlike između svih postaja bile su izraženije u ožujku nego u veljači.

S obzirom na količine različitih kategorija organske tvari u bentosu, nisu utvrđene statistički značajne razlike između postaja, kako ukupno, tako ni za svaki mjesec pojedinačno. Jedina statistički značajna razlika utvrđena je u količini FPOM-a između mjeseci. U ožujku je bilo značajno više FPOM-a nego u veljači, kako je utvrđeno Mann-Whitney *U* testom ($p < 0,05$).



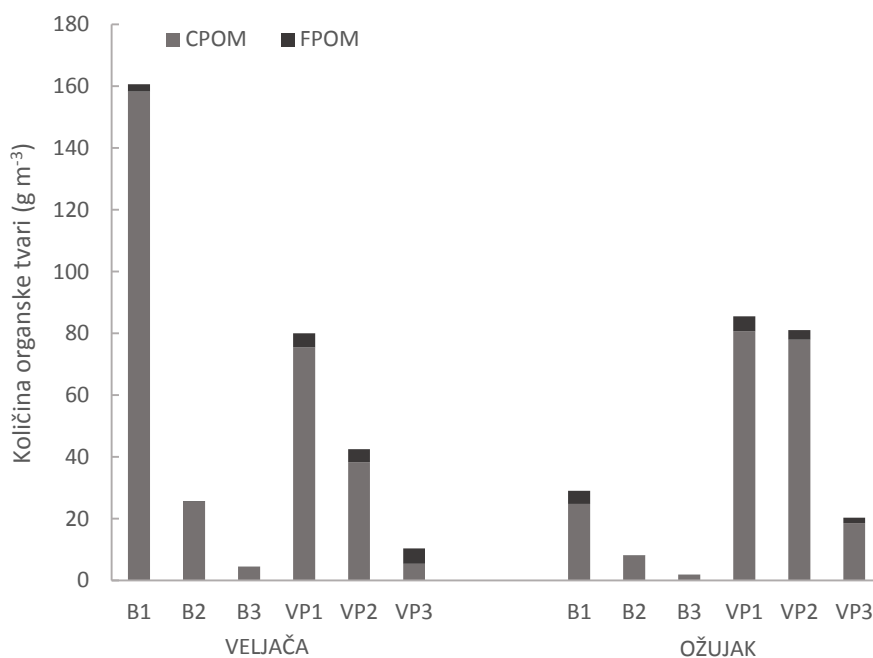
Slika 15. Količina veličinskih kategorija POM-a u bentosu na istraživačkim postajama u veljači i ožujku 2016.

4.3.2. Količina POM-a u driftu

Količina različitih veličinskih kategorija i ukupnog POM-a u driftu na istraživačkim postajama u veljači i ožujku prikazana je na Slici 15. Najveća količina ukupnog POM-a i CPOM-a u driftu zabilježena je na postaji B1 u veljači, a FPOM-a na VP3 također u veljači. Najmanja količina svih kategorija zabilježena je na postaji B3 u ožujku. U svim uzorcima CPOM je imao većinski udio u ukupnoj količini POM-a u driftu te su razlike u ukupnoj količini POM-a bile

proporcionalne razlikama u količini CPOM-a. Količina CPOM-a u driftu smanjivala se duž gradijenta urbanizacije na oba istraživana potoka, u veljači i ožujku. Razlike su bile izraženije u veljači nego u ožujku. Na postajama duž Blizneca količina FPOM-a u driftu se smanjivala uz porast stupnja urbanizacije, s time da je na B2 i B3 razlika bila vrlo mala. Na postajama duž Velikog potoka, u veljači je najviše FPOM-a u driftu bilo na postaji VP3, a najmanje na VP2, ali su razlike između postaja bile male. U ožujku se količina FPOM-a u driftu smanjivala uz porast urbanizacije.

Statistički značajne razlike u količini organske tvari u driftu između postaja prikazane su u Tablici 7. U ukupnom setu podataka, utvrđene su razlike među postajama u količini svih kategorija organske tvari, a u zasebnim mjesečnim setovima podataka, dokazane su statistički značajne razlike u količini CPOM-a i ukupnog POM-a. U svim testovima izdvajala se B3 kao postaja sa statistički značajno manjom količinom organske tvari u usporedbi s pojedinim postajama manjeg stupnja urbanizacije (Tablica 7). Osim toga, analizom ukupnog seta podataka utvrđeno je znatno manje FPOM-a na postaji B2 u odnosu na VP1 te analizom izdvojenog seta podataka mjeseca veljače, dokazano je znatno manje CPOM-a na postaji VP3 nego na B1. Statistički značajne razlike u količini organske tvari u uzorcima drifta između pojedinih mjeseci (veljače i ožujka) nisu utvrđene.



Slika 16. Količina veličinskih kategorija POM-a u driftu na istraživačkim postajama u veljači i ožujku 2016.

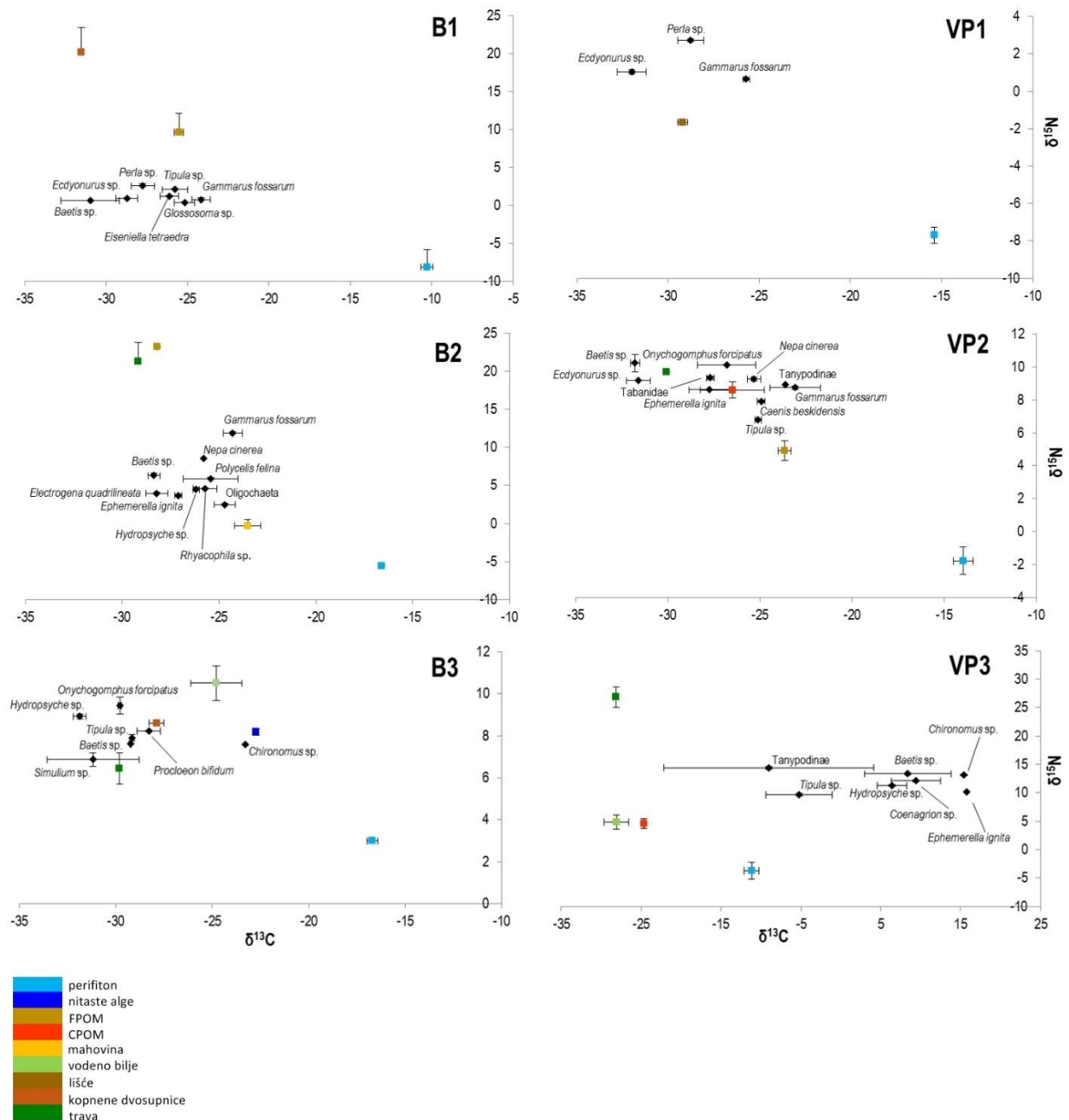
Tablica 7. Usporedba količine veličinskih kategorija POM-a u driftu između istraživačkih postaja na temelju Kruskal-Wallis testa i *post-hoc* testa višestruke usporedbe. Zvijezdice označavaju statistički značajne razlike: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$, n.s. – statistički značajne razlike nisu utvrđene.

| | | H | <i>p</i> | <i>post-hoc</i> |
|---------------------|------|-------------------|----------|-----------------------------|
| Ukupan set podataka | POM | 26,54 (5, N = 36) | *** | B3 < B1, VP1, VP2 |
| | CPOM | 25,49 (5, N = 36) | *** | B3 < B1, VP1, VP2 |
| | FPOM | 24,59 (5, N = 36) | *** | B3 < B1, VP1, VP2; B2 < VP1 |
| Veljača | POM | 15,18 (5, N = 18) | ** | B3 < B1 |
| | CPOM | 14,89 (5, N = 18) | * | B3, VP3 < B1 |
| | FPOM | 12,32 (5, N = 18) | n.s. | |
| Ožujak | POM | 15,78 (5, N = 18) | ** | B3 < VP1, VP2 |
| | CPOM | 15,69 (5, N = 18) | ** | B3 < VP1, VP2 |
| | FPOM | 13,96 (5, N = 18) | n.s. | |

4.4. Analiza hranidbenih mreža

Rezultati analize hranidbenih mreža, odnosno $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ u organizmima makrozoobentosa i njihovim potencijalnim izvorima hrane na istraživačkim postajama prikazani su na Slici 17. Na postaji B1 potencijalni izvor energije za sve organizme bio je FPOM, a malim dijelom su to moguće bile i koprjene dvosupnice, iako je neobično što je vrijednost njihovog $\delta^{15}\text{N}$ bila veća od vrijednosti konzumenata. *Perla* sp. se s najvećom vrijednošću $\delta^{15}\text{N}$ izdvojila kao predator. Na postaji B2, kao značajan potencijalni izvor hrane izdvojila se vodena mahovina te FPOM i trava (za Ephemeroptera). I na ovoj postaji, ponovno je bilo iznenađujuće da je organska tvar (FPOM i trava) imala veću vrijednost $\delta^{15}\text{N}$ od organizama koji su se njome potencijalno hranili (Ephemeroptera). *Nepa cinerea* izdvojila se na postaji B2 kao mogući predator nad ostalim svojcima, osim nad svojtom *Gammarus fossarum*. Prema vrijednosti $\delta^{15}\text{N}$ predator je nad većinom svojci bila i *Polycelis felina*. Na postaji B3, kao primarni izvor hrane se značajnije izdvojila trava, a kao predatorska svojta *Onychogomphus forcipatus*. Mogući su izvori organske tvari prema $\delta^{13}\text{C}$ bili i FPOM te nitaste alge i vodeno bilje za *Chironomus* sp., no vrijednost njihovog $\delta^{15}\text{N}$ bila je ponovno veća od $\delta^{15}\text{N}$ makrozoobentosa. Na postaji VP1, kao najznačajniji izvor energije pokazalo se lišće, a njime su se hranili *Ecdyonurus* sp. i *Gammarus fossarum*. *Perla* sp. izdvojila se kao predator. Na postaji VP2 tri su potencijalna izvora hrane: FPOM, CPOM i trava. Tanyptodinae, *Gammarus fossarum*, *Caenis beskidensis* i *Tipula* sp. grupirali su se uz FPOM, Tabanidae, *Ephemerella ignita* i *Ecdyonurus* sp. uz CPOM (potonji je po $\delta^{13}\text{C}$ bliži travi kao izvoru hrane, ali ima niži $\delta^{15}\text{N}$ od trave), a *Baetis* sp. uz travu.

Onychogomphus forcipatus, *Nepa cinerea*, Tanypodinae i Tabanidae su se na VP2 izdvojili kao potencijalni predatori. Na postaji VP3, vrijednosti $\delta^{15}\text{N}$ u organizmima makrozoobentosa bile su izuzetno visoke te se nisu preklapale s vrijednostima analizirane organske tvari, osim možda možda Tanypodinaea i *Tipula* sp. čije su se vrijednosti poklapale s vrijednostima perifitona, koji je imao veći $\delta^{15}\text{N}$ od svih ostalih analiziranih potencijalnih izvora energije. Na ovoj postaji su se Tanypodinae i *Coenagrion* sp. izdvojili kao potencijalni predatori.



Slika 17. Analiza $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ u organizmima makrozoobentosa i njihovim potencijalnim izvorima hrane na istraživačkim postajama (SV \pm SP).

5. Rasprava

5.1. Fizikalno-kemijski čimbenici

Fizikalno-kemijski čimbenici mjereni na istraživačkim postajama uglavnom su pokazivali očekivani trend porasta vrijednosti uz povećanje stupnja urbanizacije, premda razlike u vrijednostima nisu bile statistički značajne. Temperatura vode urbanih potoka uobičajeno je povišena zbog povišene temperature zraka i tla u mikroklimi gradova, odstranjivanja obalne vegetacije u urbanim zonama (čime se smanjuje zasjenjenost potoka), ispusta otpadnih voda i sl. (Paul i Meyer 2001; Nelson i Palmer 2007; Wenger i sur. 2009; Rice i sur. 2011; Yule i sur. 2015). Vrijednosti koncentracije kisika i zasićenja kisikom bile su više na postajama s većim stupnjem urbanizacije, što je najvjerojatnije posljedica povećane primarne proizvodnje (Duffer i Dorris 1966; Tank i sur. 2010). Izgledno je da su na urbanim postajama manja zasjenjenost i povećani unos hranjivih soli pogodovali razvoju algi, kojih nije bilo na referentnim postajama (koje su šumske te stoga prirodno zasjenjene). Na postaji B2 alge su prekrivale gotovo čitavu površinu dna potoka, što se odrazilo u često najvišim vrijednostima koncentracije kisika i zasićenosti kisikom na toj postaji te izdvajanjem potoka Blizneca u odnosu na Veliki potok ponajviše prema kisikovim parametrima. Prema izmjenom pH, voda na svim postajama bila je blago lužnata. Vrijednosti pH, alkaliniteta, ukupne tvrdoće vode, konduktiviteta i TDS-a uobičajeno su povišene u urbanim potocima zbog neke vrste kemijskog onečišćenja (Paul i Meyer 2001; Wright i sur. 2007; Wenger i sur. 2009) te betonskih drenažnih sustava (Davies i sur. 2010). Na vrijednost konduktiviteta u urbanim potocima dodatno utječe i povišena temperatura vode zbog koje ioni u vodi postaju pokretljiviji, čime se konduktivitet povisuje (Paul i Meyer 2001). Također, na tvrdoću vode je mogla utjecati i količina nitrata u vodi jer se nitrati s kalcijem lako spajaju u kalcijev nitrat – jednu od soli koje čine vodu tvrdom (APHA 1985). Vrijednosti alkaliniteta i ukupne tvrdoće vode pokazale su veću varijabilnost u odnosu na ostale mjerene parametre te su bile niže na postajama duž Blizneca u odnosu na postaje istog stupnja urbanizacije duž Velikog potoka, što je vjerojatno posljedica različite geološke podloge i tipova antropogenog utjecaja duž potoka (Kannel i sur. 2007; Wright i sur. 2007). Porast količine DOM-a (vrijednosti KPK_{KMnO_4}) uz gradijent urbanizacije može se povezati s povećanjem primarne proizvodnje (Tank i sur. 2010) i povećanim unosom organske tvari u potok iz antropogenih izvora (Paul i Meyer 2001; Wenger i sur. 2009). Jedan od značajnijih mjerenih parametara po kojem se razlikuju Bliznec i Veliki potok je upravo količina DOM-a, moguće zbog veće primarne proizvodnje, o kojoj je već prethodno raspravljeno u kontekstu

kisikovih parametara. Koncentracije nitrita, nitrata i fosfata često su povišene u potocima izloženim utjecaju kućanstava, industrije i poljoprivrednih djelatnosti (Paul i Meyer 2001; Walsh i sur. 2005; Kannel i sur. 2007; Harnsberger i O'Driscoll 2010; Newcomer Johnson i sur. 2016). Unatoč povišenim vrijednostima, koncentracije nitrita, nitrata i fosfata daleko su ispod dopuštenih granica zdravstvene ispravnosti vode za piće u Hrvatskoj (Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi 2008). Izmjerena temperatura vode, koncentracija kisika, zasićenje kisikom, pH i KPK_{KMnO_4} u skladu su s istraživanjem koje su proveli Ćuk i sur. (2011) na Bliznecu i Velikom potoku u ožujku 2009. Nisu utvrđene statistički značajne razlike s obzirom na većinu fizikalno-kemijskih parametara između mjeseci (veljače i ožujka 2016.), vjerojatno zbog toga što su mjerenja provedena tijekom istog godišnjeg doba (zimi). Utvrđene statistički značajno veće koncentracije nitrita i nitrata u ožujku u odnosu na veljaču moguća su posljedica proljetnih poljoprivrednih radova, odnosno povećane upotrebe gnojiva u ožujku (Paul i Meyer 2001; Kannel i sur. 2007; Harnsberger i O'Driscoll 2010). Također, moguće da je veća količina nitrita i nitrata u ožujku bila posljedica topljenja snijega i leda (Brooks i Williams 1999) ili veće količine kiše (Vanderbilt i sur. 2003).

Koncentracije metala i metaloida iz antropogenih izvora karakteristično su povišene u vodi urbanih potoka (Paul i Meyer 2001; Wenger i sur. 2009), što je uglavnom potvrđeno i na istraživačkim postajama duž Blizneca i Velikog potoka. Svega 2 metala – krom i cezij – pokazala su značajno više (premda, općenito gledano, vrlo niske) koncentracije na postaji B1 nego na postajama većeg stupnja urbanizacije, što je moguće zbog prirodne varijacije u njihovoj koncentraciji uvjetovane geološkom podlogom (Robles-Camach i Armienta 2000; weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/maps_table.php). Primjerice, izvor prirodno povišene koncentracije kroma mogu biti bazične i ultrabazične magmatske stijene (Robles-Camach i Armienta 2000; weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/maps_table.php), a postaja B1 nalazi se u području ortometamorfnihih stijena (nastalih metamorfozom magmatskih stijena) (Šikić i sur. 1972). Unatoč navedenim razlikama, vrijednosti koncentracija svih ispitivanih metala bile su u prirodnim rasponima (weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/maps_table.php) i nisu prelazile granice zdravstvene ispravnosti vode za piće u Hrvatskoj (Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi 2008).

5.2. Struktura makrozoobentosa

Sastav i brojnost makrozoobentosa Blizneca i Velikog potoka podudara se s trendovima koji su svojstveni urbanim potocima (Paul i Meyer 2001; Sweeney i sur. 2004; Walsh i sur. 2005; Wenger i sur. 2009; Davies i sur. 2010; Yule i sur. 2015). Dominacija tolerantnih vrsta i smanjenje brojnosti ili nestanak osjetljivih vrsta karakterističan su „simptom“ „urbanog sindroma“ (Paul i Meyer 2001; Walsh i sur. 2005; Wenger i sur. 2009). Na urbanim postajama su dominirali Diptera i Oligochaeta te su bili značajno brojniji (posebice Oligochaeta) nego na referentnim postajama. Isto je zabilježeno i u prethodnom istraživanju na Bliznecu i Velikom potoku (Ćuk i sur. 2011). Poznato je da su predstavnici porodice Chironomidae iz reda Diptera te predstavnici podrazreda Oligochaeta tolerantni na povećane koncentracije organske tvari (Ćuk i sur. 2011; Kannoje i sur. 2012; Moreyra i Padovesi-Fonseca 2015) i prilagođeni su životu u nestabilnom potočnom sedimentu (Paul i Meyer 2001). Velika brojnost tih skupina je na urbanim postajama stoga očekivana. S druge strane, brojnost Plecoptera se smanjivala duž gradijenta urbanizacije. Iako razlike nisu statistički potvrđene zbog relativno male brojnosti na svim postajama, brojnost Plecoptera je na referentnim postajama bila najveća, a na onim najviše urbanim jedinke nisu pronađene. Ovakvi rezultati posljedica su vrlo niske tolerancije Plecoptera na onečišćenje, zbog čega se isti smatraju vrlo dobrim indikatorima čiste vode (Habdića i sur. 2011; Kannoje i sur. 2012). Rod *Gammarus* iz reda Amphipoda ne podnosi veliko organsko onečišćenje (Kannoje i sur. 2012) te pripadnici tog roda nisu pronađeni na postajama najvećeg stupnja urbanizacije. Postaja B2 posebno se isticala velikom brojnošću Amphipoda, moguće zbog bujnog sloja algi koji je mogao služiti jedinkama kao sklonište i hrana (Macneil i sur. 1997). Premda se pojedine vrste Ephemeroptera i Trichoptera također koriste kao indikatori čiste vode (Davies i sur. 2010; Habdića i sur. 2011; Kannoje i sur. 2012), iznimno osjetljivi predstavnici tih redova nisu pronađeni u ovom istraživanju (s obzirom da su promjene okolišnih čimbenika bile blage, one su mogle utjecati samo na iznimno osjetljive vrste). Od Ephemeroptera i Trichoptera bile su prisutne uglavnom eurivalentne vrste (npr. *Baetis* sp., *Rhitrogena* sp., *Caenis* sp., *Hydropsyche* sp.), koje su se u velikom broju pojavljivale i na urbanim postajama.

Ukupna brojnost jedinki makrozoobentosa bila je veća na postajama pod većim urbanim utjecajem nego na referentnim postajama. Brojnosti su najviše doprinijele tolerantne svojte poput Oligochaeta, za koje je karakteristično da u onečišćenom i nestabilnom okolišu dosežu veću brojnost nego u čistim staništima (Hershey i Lamberti 1998; Walsh i sur. 2005). Veća

brojnost veže se i uz energetski bogatiji okoliš (Paul i Meyer 2001), kakav je bio na urbanim postajama s većom zabilježenom koncentracijom DOM-a i bujno razvijenim primarnim proizvođačima. Dosadašnjim istraživanjima dokazano je da se na produktivnijim potočnim staništima naseljavanje bentoskih zajednica odvija brže (npr. Primc i Habdija 1987). Premda u urbanim potocima brojnost makrozoobentosa može biti i smanjena zbog npr. povišenja temperature i prisutnosti toksičnih tvari (Paul i Meyer 2001), iz dobivenih se rezultata zaključuje da na istraživanim postajama ti čimbenici nisu značajnije utjecali na ukupnu brojnost jedinki. Njihov utjecaj na vrlo osjetljive vrste rezultirao je tek malim primjetnim smanjenjima u brojnosti jedinki na najviše urbanim postajama.

Mnogi autori tumače smanjenje raznolikosti makrozoobentosa s povećanjem urbanog utjecaja kao posljedicu nestanka osjetljivih vrsta, a kao glavni uzrok ističu nestanak raznolikih mikrostaništa u najurbanijim područjima (Paul i Meyer 2001; Sweeney i sur. 2004; Walsh i sur. 2005; Wenger i sur. 2009; Davies i sur. 2010). S time se slažu rezultati prethodnog istraživanja makrozoobentosa Blizneca i Velikog potoka u ožujku 2009. (Ćuk i sur. 2011). Međutim, u ovom radu raznolikost svojiti makrozoobentosa u veljači i ožujku 2016. bila je viša na postajama pod većim utjecajem urbanizacije nego na referentnim postajama. Moguće je da je brojnost vrsta kojima pogoduje energetski bogatiji okoliš premašila brojnost vrsta koje čine zajednice prirodnih tokova. Mora se uzeti u obzir podatak da je na svim postajama pronađeno relativno malo vrlo osjetljivih svojiti. S obzirom da se od prethodnog istraživanja makrozoobentosa zagrebačkih potoka (Ćuk i sur. 2011) izgled tokova i stupanj urbanizacije nije bitno mijenjao, nije potpuno jasno zašto se rezultati razlikuju. Moguće je da su se vremenski uvjeti tijekom ovog i prethodnog istraživanja razlikovali (npr. tijekom ovog istraživanja uvjeti su bili zimski, a tijekom prethodnog su mogli biti proljetni), što bi utjecalo na životne cikluse mnogih svojiti makrozoobentosa. Naime, poznato je da većina kukaca ima sezonske životne cikluse te prijelazom zime u proljeće (tj. promjenom okolišnih uvjeta poput npr. povišenja temperature) dolazi i do prijelaza u novi životni stadij, pri čemu npr. neke vrste preobrazbom u subimago ili imago izlijeću iz potoka (Hershey i Lamberti 1998).

U veličinskom sastavu makrozoobentosa redovito su dominirale jedinke veličine 2,1-5 mm, s time da je njihova dominacija bila sve izraženija uz rastući gradijent urbanizacije. Na referentnim postajama je raznovrsnost veličinskih kategorija bila nešto veća, što bi mogla biti posljedica manje kompeticije, predacije, raznovrsnosti mikrostaništa i/ili stabilnosti supstrata (Werner i Gilliam 1984; Principe i Coligiano 2006).

5.3. Struktura makrozoobentosa u uzorcima drifta

Drift makrozoobentosa uvelike je uvjetovan okolišnim čimbenicima i/ili veličinom i specifičnom težinom organizama (McLay 1970; Sandlund 1982; Princ-Habdija i sur. 1998; Principe i Coligriano 2006). Poseban oblik drifta je tzv. katastrofički drift, odnosno pojava otplavlivanja iznimno velikog broja jedinki uslijed katastrofičnih prirodnih pojava (npr. poplava, zaleđivanja, onečišćenja, naglih promjena temperature vode i sl.). Na urbanim postajama Blizneca i Velikog potoka brojnost jedinki makrozoobentosa u driftu je bila veća nego na referentnim postajama, posebice na postajama B3, VP2 i VP3. To je očekivano, s obzirom da je na tim dijelovima toka kompleksnost dna manja i osigurava manje mjesta za sakrivanje (Svendsen i sur. 2004; Principe i Coligriano 2006). Na postaji B2 dno također nije kompleksno, ali bujno razvijene alge pružaju organizmima pogodno sklonište, što potencijalno objašnjava zašto je brojnost drifta na ovoj postaji bila relativno slična onoj na referentnim postajama. Na postajama VP2 i VP3 dio supstrata činile su sitne, lako pokretne čestice, pa je nestabilnost sedimenta još jedan mogući uzrok većeg drifta na tim postajama (Paul i Meyer 2001). Kako tijekom istraživanja nije bilo ekstremnih događaja poput bujica i/ili velikog onečišćenja toksičnim tvarima, nije zabilježen tzv. katastrofični drift (Hershey i Lamberti 1998; Svendsen i sur. 2004). U ožujku je na postaji B3 brojnost jedinki u driftu bila izuzetno velika, no to je bio rezultat vrlo brojnih planktonskih račića iz skupina Cladocera i Calanoida, koji su u potok najvjerojatnije dospjeli uslijed otplavlivanja tj. antropogeno-uvjetovanog ispuštanja vode iz maksimirskog ribnjaka smještenog uzvodno od istraživačke postaje. Vrlo je vjerojatno da se u uzvodnom ribnjaku provodi dohranjivanje riba u svrhu povećanja ribolovnih kapaciteta i atraktivnosti ribolovne destinacije, a dohranom se neupitno povećava i brojnost spomenutih planktonskih račića (Kahriman 2016).

Trend raznolikosti makrozoobentosa u driftu pratio je trend gustoće drifta, tj. brojnosti jedinki u driftu. U sastavu drifta većinom su nađene svojte Ephemeroptera, Amphipoda i Diptera, koje su i inače najbrojnije skupine u driftu (Svendsen i sur. 2004). U nešto manjem broju drift su činili i Trichoptera, Coleoptera te vrlo mali udio ostalih skupina makrozoobentosa. Iznimno su na postaji B3 u ožujku većinu drifta činili već spomenuti Cladocera i Calanoida. Kao što je uobičajeno, svojte u driftu na pojedinoj postaji odražavale su pripadajući sastav makrozoobentosa na dnu (npr. Lehmkuhl i Anderson 1972), pa tako na postajama najvećeg stupnja urbanizacije Plecoptera uopće nisu zabilježeni, Amphipoda su zabilježeni u znatno manjem broju, a Diptera u znatno većem broju nego na referentnim postajama. U driftu je nađen

i vrlo mali broj svojiti koje nisu nađene u bentosu (npr. Amphipoda na najviše urbaniziranim postajama), što je posljedica otplavlivanja s uzvodnih dijelova tokova (Principe i Coligriano 2006). Iako Oligochaeta nisu posebice skloni driftu (Svendsen i sur. 2004), u ovom istraživanju su pronađeni na vegetaciji nošenoj u struji vode ili, rjeđe, kao izolirane jedinke u slučajnom driftu, i to uglavnom na postajama u urbanijim dijelovima tokova. I pojedina prethodna istraživanja drifta svjedoče o pojavi brojnih Oligochaeta među korjenčićima otplavljene vodene vegetacije (npr. Sertić Perić i sur. 2011). Također, i za ostale pripadnike makrozoobentosa se pokazalo da često mogu „koristiti“ otplavljenu vodenu vegetaciju kao transportno sredstvo pri driftu (Sertić Perić i sur. 2014).

Veličinska struktura makrozoobentosa u driftu u grubo je pratila strukturu jedinki nađenih na dnu potoka. Dominantna veličinska kategorija bila je 2,1-5 mm, a njezin udio u ukupnom veličinskom sastavu uzoraka je bio veći na urbanim postajama, ponovno demonstrirajući veću veličinsku heterogenost makrozoobentosa u prirodnim dijelovima toka. Velika brojnost Cladocera i Calanoida na postaji B3 rezultirala je značajno velikim brojem jedinki veličine 0,1-2 mm na toj postaji. Jedinke veće od 11 mm bile su vrlo rijetke, jer toj kategoriji pripadaju veliki, tj. duguljasti Diptera i Oligochaeta, koji uglavnom žive ukopani u sediment i stoga nisu podložni driftu (Svendsen i sur. 2004).

5.4. Organska tvar

Količina dominantne veličinske kategorije POM-a ovisi o godišnjem dobu: u jesen velika količina otpalog lišća ima većinski udio, dok u proljeće i ljeto dominira FPOM (Tank i sur. 2010). Kako je istraživanje provedeno u zimskim mjesecima, drveće je već izgubilo lišće, no ono se još zadržalo na obalama potoka te je vjerojatno zato CPOM bio glavna sastavnica POM-a u svim uzorcima. U driftu se količina različitih veličinskih kategorija POM-a smanjivala uz rastući stupanj urbanizacije, što se najbolje može objasniti nedostatkom šumske vegetacije uz urbane dijelove tokova Blizneca i Velikog potoka (Wenger i sur. 2009; Tank i sur. 2010). Na urbanim postajama je u potoke moglo dospjeti mnogo manje lišća, a proporcionalno je bilo i manje FPOM-a. Iako je u nekim dosadašnjim istraživanjima zabilježena veća količina FPOM-a u urbanim potocima zbog povećane fragmentacije u bujičnim tokovima i brojnijih mikroorganizama (Paul i Meyer 2001; Wenger i sur. 2009), u ovom istraživanju to nije bio slučaj. Čak su i u veljači, kada je na postaji VP3 izmjereno više FPOM-a nego na VP1 i VP2, njegove količine bile gotovo ujednačene te razlika između postaja nije bila značajna. Smanjenje

količine CPOM-a i rast količine FPOM-a na postaji B1 u ožujku te smanjenje razlika između postaja u ožujku u odnosu na veljaču išli su u prilog hipotezi da je glavni izvor POM-a lišće, kojeg odmakom zime prema proljeću ima sve manje.

Za razliku od POM-a u driftu, količina POM-a u bentosu nije pokazivala izraženi trend. Količina različitih veličinski kategorija bentoskog POM-a je na istraživačkim postajama bila varijabilna, sukladno općim trendovima. Zadržavanje POM-a u bentosu, naime, ovisi o raznim čimbenicima, kao što su brzina strujanja vode, morfologija korita potoka i sastav životnih zajednica bentosa, kojima POM služi kao izvor hrane (Tank i sur. 2010). Nešto veća brzina strujanja vode (tj. efekt otplavlivanja) mogla je biti potencijalan uzrok smanjene količine POM-a u bentosu na postaji B3, dok su nešto više količine organske tvari na postaji B2 potencijalno posljedica bogatog sloja algi koje su mogle predstavljati „ljepljivu zamku“ za zadržavanje organske tvari (Miliša i sur. 2006), ali i same biti njen izvor. Duž Velikog potoka je pak referentna postaja VP1 redovito imala najmanju količinu veličinskih kategorija POM-a, što se može objasniti razvojem algi i trave na urbanim postajama (Miliša i sur. 2006). Brojnost određenih skupina organizama čini se da nije utjecala na količinu organske tvari, jer premda se npr. postaja B2 u ožujku isticala velikom brojnošću Amphipoda koji usitnjavaju CPOM u FPOM (Macneil i sur. 1997), više je FPOM-a izmjereno na postaji B1. Međutim, kako navedene razlike između postaja nisu bile statistički značajne, moglo bi se zaključiti da u potocima istraživanim u ovom radu veći urbani utjecaj nije ostavio značajnije posljedice na trendove zadržavanja organske tvari u bentosu. To je suprotno od većine prethodnih studija, kojima je dokazano da u dijelovima toka s većim urbanim utjecajem ima znatno manje POM-a (posebice CPOM-a) uslijed povećane brzine strujanja vode (Paul i Meyer 2001; Walsh i sur. 2005). Značajno veća količina FPOM-a u ožujku u odnosu na veljaču (koja u stvari prati i veću, iako ne značajno, količinu ostalih veličinskih kategorija POM-a) moguće je posljedica bujnije razvijenih algi, jer se brzina strujanja vode i sastav makrozoobentosa nisu značajno mijenjali.

5.5. Hranidbene mreže

Analiza $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ pokazala je da se hranidbene mreže urbaniziranih dijelova toka Blizneca i Velikog potoka razlikuju od onih na referentnim šumskim postajama. Na referentnim postajama izvori organske tvari bili su alohtoni – lišće na postaji VP1 i FPOM na B1 (pretpostavlja se da je i FPOM alohton zbog nedostatka vodenog bilja i algi). Na urbanim postajama energetske izvori bili su većinom autohtoni (FPOM, mahovina, alge), a jedini alohtoni izvor bila je trava

koja je rasla na obalama urbanih dijelova tokova oba potoka. Prema rezultatima, perifiton nije poslužio kao izvor hrane strugačima niti na jednoj postaji, osim potencijalno na VP3, što je vrlo neobično, jer je inače perifiton primarni izvor hrane za strugače (Moog 2002). Vrijednosti $\delta^{13}\text{C}$ perifitona bile su više od ostalih potencijalnih izvora organske tvari, što bi moglo ukazivati na prisutnost cijanobakterija i/ili alga kremenjašica, za koje su utvrđeni povišeni omjeri ugljikovih izotopa (Hicks 1997; Northington i Hershey 2006; Ishikawa i sur. 2012). Čak niti na postaji VP3 perifiton nije pouzdano bio energetski izvor svim organizmima makrozoobentosa. Naime, iz nepoznatog razloga, vrijednosti $\delta^{13}\text{C}$ makrozoobentosa na ovoj postaji vrlo su odudarale od uobičajenih raspona. Za razliku od vrijednosti $\delta^{13}\text{C}$ na ostalim postajama u ovom istraživanju (od -35‰ do -20‰), koje su se kretale u uobičajenom rasponu vrijednosti pri analizama $\delta^{13}\text{C}$ u sastavnicama slatkovodnih hranidbenih mreža (od -45‰ do -5‰, Finlay i Kendall 2007), na postaji VP3 vrijednosti su bile znatno više (od -25‰ do 25‰). S obzirom da je ova „anomalija“ zabilježena isključivo na jednoj postaji, može se isključiti krivo postupanje s uzorcima i neispravnost u analizi. Također, $\delta^{13}\text{C}$ organske tvari je u normalnim okvirima (Finlay i Kendall 2007), čime se isključuje i poremećaj u okolišu. Međutim, dosadašnja istraživanja hranidbenih mreža urbanih potoka dokazala su da se omjer stabilnih ugljikovih izotopa može promijeniti uslijed povišenja razine izotopa ^{13}C , koji može porasti s povećanjem primarne produkcije, tj. biomase autohtone organske tvari u potoku (npr. alga) (Ulseth i Hershey 2005; Atkinson i sur. 2009) i pojavom invazivnih C4 biljaka (Northington i Hershey 2006).

Prema $\delta^{15}\text{N}$ jasno su se izdvojili predatori na svakoj postaji, iako omjer dušikovih izotopa varira u pojedinim svojstama i jedinkama ovisno o metaboličkim procesima (Vanderkluft i Ponsard 2003). Premda su i *Gammarus fossarum* i *Baetis* sp. također imali vrijednosti $\delta^{15}\text{N}$ veće od većine makrozoobentosa, dalo se naslutiti koje su svojte predatorske prema njihovim uobičajenim trofičkim karakteristikama (Macbeil i sur. 2007; Moog 2002). Predator na referentnim postajama Blizneca i Velikog potoka, *Perla* sp., zbog osjetljivosti na onečišćenje nije pronađena na urbanim postajama, već su ju tamo zamijenili Odonata i *Nepa cinerea*. Osim njih, na urbanim postajama su se velikim $\delta^{15}\text{N}$ izdvojile Tanypodinae, Tabanidae i *Polycelis felina*, koje su uobičajeno predatorske svojte (Moog 2002).

Nadalje, neke svojte makrozoobentosa nisu bile logično grupirane oko energetskog izvora koji bi odgovarao njihovom načinu hranjenja. Primjerice, vrijednost $\delta^{13}\text{C}$ vrste *Ecdyonurus* sp., koja je uobičajeno strugač, na postaji VP2 se poklapala s vrijednošću CPOM-a, vrijednost $\delta^{13}\text{C}$ vrste *Baetis* sp., poznatog kolektora-sakupljača, na istoj postaji poklapala se s vrijednošću trave, dok

se vrijednost vrste *Hydropsyche* sp., koja je kolektor-filtrator, na postaji B2 poklapala s vrijednošću mahovine, ali ne i FPOM-a (Moog 2002). To bi moglo sugerirati da se, u okolišu u kojem se organska tvar oblikom razlikuje od one u neporemećenom okolišu, neke svojte makrozoobentosa mogu hraniti novim i raznolikijim izvorima, odnosno da postaju omnivorne (Zah i sur. 2001; Rosi-Marshall i Wallace 2002).

Premda neka dosadašnja istraživanja izvještavaju o smanjenoj funkcionalnosti hranidbenih mreža u urbanim potocima, prvenstveno zbog manje brojnosti usitnjivača uslijed smanjenja opskrbe lišćem (Yule i sur. 2015) ili povećanog broja kolektora uslijed organskog onečišćenja (Moreyra i Padovesi-Fonseca 2015), u ovom radu to nije bio slučaj. Primjerice, na referentnim i umjereno urbaniziranim postajama usitnjivači su bile jedinke vrste *Gammarus fossarum*, a na vrlo urbaniziranim postajama to je potencijalno bila vrsta *Tipula* sp., koja je prepoznata kao detritivorna svojta, koja može i usitnjavati krupnu organsku tvar (Hershey i Lamberti 1998). Održavanje jednake zastupljenosti različitih kategorija funkcionalnih hranidbenih skupina na urbanim dijelovima tokova opravdano je, s obzirom da se količina organske tvari u bentosu nije značajno razlikovala između postaja.

Vrijednosti $\delta^{15}\text{N}$ makrozoobentosa na postajama pod utjecajem urbanizacije bile su nešto više (najčešće od 5‰ do 15 ‰) nego vrijednosti na referentnim postajama (od 0‰ do 5‰). Povišenje izotopa ^{15}N u tkivu organizama zabilježeno je u potocima u koje se izljevaju otpadne vode (Steffy i Kilham 2004; Ulseth i Hershey 2005; Northington i Hershey 2006) i ispiru gnojiva s poljoprivrednih površina (Ulseth i Hershey 2005; Bergfur i sur. 2009). Neobično je što je analiza u više slučajeva pokazivala manju vrijednost $\delta^{15}\text{N}$ makrozoobentosa od mogućih energetske izvora, s obzirom da se $\delta^{15}\text{N}$ povećava prema višoj trofičkoj razini (Hershey i Lamberti 1998; Vander Zanden i sur. 1999; Post 2002; Middelburg 2014; Perkins i sur. 2014). Mogući razlog tome jest velika nestabilnost, tj. varijabilnost urbanog okoliša, zbog koje se energetske izvori i bentoske zajednice konstantno mijenjaju. Zbog takvih brzih vremenskih promjena, moguće je da se izotopi trenutnih izvora organske tvari nisu stigli uklopiti u tkiva potrošača te ona odražavaju koncentracije izotopa prijašnjih izvora (Vanderkluft i Ponsard 2003; Ulseth i Hershey 2005).

6. Zaključak

- 1) Potoci Bliznec i Veliki potok (Črnomerec) su, iako izloženi različitim oblicima urbanizacije, imali vrlo slične trendove mjerenih okolišnih čimbenika, pa i zabilježenih promjena u strukturi i trofičkim karakteristikama makrozoobentosa na koje su oni utjecali.
- 2) Rezultati ovog rada ukazuju da je na strukturu zajednica makrozoobentosa na istraživanim postajama urbanih potoka grada Zagreba primarno utjecale promjene u fizikalno-kemijskim čimbenicima vode i odstranjivanje obalne vegetacije. Porast u količini hranjivih tvari (nitrita, nitrata i fosfata) iz antropogenih izvora i odstranjivanjem obalne vegetacije uzrokovali su porast u primarnoj proizvodnji. Veća primarna proizvodnja te veća koncentracija DOM-a rezultirale su većom brojnosti i raznolikosti svojiti, uz dominaciju tolerantnih vrsta (npr. predstavnika Oligochaeta i Chironomidae) na istraživačkim postajama većeg stupnja urbanizacije. S druge strane, blagi porast vrijednosti ključnih fizikalno-kemijskih čimbenika te koncentracija metala i metaloida u vodi svojstven rastućem gradijentu urbanizacije bio je uzrok što su vrste osjetljive na onečišćenje (npr. predstavnici Plecoptera i Amphipoda) bile manje brojne ili nisu pronađene.
- 3) Na strukturu i funkcioniranje zajednica makrozoobentosa na istraživanim postajama urbanih zagrebačkih potoka sekundarno su utjecale morfološke razlike kanala istraživanih postaja. Primjerice, smanjena kompleksnost dna i povećana nestabilnost supstrata na urbanim dijelovima tokova vjerojatno su utjecale na smanjenje raznolikosti veličinskih kategorija makrozoobentosa i povećanje brojnosti jedinki u driftu.
- 4) Odstranjivanje obalne vegetacije imalo je očigledan utjecaj na protok energije i trofičke značajke makrozoobentosa duž zagrebačkih potoka. Dokazano je da se uz porast stupnja urbanizacije smanjuje količina organske tvari u driftu. Analiza omjera stabilnih izotopa je pokazala da je lišće glavni izvor energije na referentnim postajama, dok su energetske izvori na urbanim postajama pretežito autohtoni. Pokazalo se da pojedine vrste makrozoobentosa u takvim uvjetima potencijalno mogu promijeniti izvor hrane.
- 5) Unatoč navedenim promjenama svojstvenim urbanim potocima, posljedice urbanizacije u Bliznecu i Velikom potoku ipak nisu jako zabrinjavajuće. Nije utvrđena značajna razlika u zadržavanju organske tvari u bentosu i funkcionalnosti hranidbenih mreža. Ipak, urbani

okoliš pokazao se kao nestabilan i vrlo promjenjiv te su nužno potrebna češća sveobuhvatna uzorkovanja kako bi se utvrdio potpuni razmjer urbanog utjecaja na potočne ekosustave.

7. Literatura

- 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.
- APHA (1985): Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington.
- Atkinson C. L., Golladay S. W., Opsahl S. P., Covich A. P. (2009): Stream discharge and floodplain connections affect seston quality and stable isotopic signatures in a coastal plain stream. *J. N. Am. Benthol. Soc.* **28**: 360-370.
- Bauernfeind E., Humpesch U. H. (2001): Die Eintagsfliegen Zentraleuropas (Insecta: Ephemeroptera): Bestimmung und Ökologie. Verlag des Naturhistorischen Museums, Wien.
- Bergfur J., Johnson R. K., Sandin L., Goedkoop W. (2009): Effects of nutrient enrichment on C and N stable isotope ratios of invertebrates, fish and their food resources in boreal streams. *Hydrobiologia* **628**: 67-79.
- Bolund P., Hunhammar S. (1999): Ecosystem services in urban areas. *Ecol. Econ.* **29**: 293-301.
- Boyd C. E., Walley W. W. (1975): Total alkalinity and hardness of surface waters in Alabama and Mississippi. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Auburn.
- Brooks P. D., Williams M. W. (1999): Snowpack controls on nitrogen cycling and export in seasonally snow-covered catchments. *Hydrol. Process.* **13**: 2177-2190.
- Cengiz C. (2013): Urban ecology. U: Özyavuz M. (ur.) Advances in urban arhitecture. InTech, 677-696.
- Ćuk R., Vučković I., Stanković I., Andreis S., Grubiša D. (2011): Obilježja zajednica bentičkih beskralješnjaka u potocima na području grada Zagreba i Zagrebačke županije. *Hrvatske vode* **19**: 1-12.
- Davies P. J., Wright I. A., Findlay S. J., Jonasson O. J., Burgin S. (2010): Impact of urban development on aquatic macroinvertebrates in south eastern Australia: degradation of in-stream habitats and comparison with non-urban streams. *Aquat. Ecol.* **44**: 685-700.
- 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.
- Deutsches Institut für Normung (1986): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, 16th edn. Vol II. Verlag Chemie, Weinheim.

- Državni zavod za statistiku (2012): Statistički ljetopis Republike Hrvatske 2012. Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske, Zagreb.
- Duffer W. R., Dorris T. C. (1966): Primary productivity in a southern Great Plains stream. *Limnol. Oceanogr.* **11**: 143-151.
- Finlay J. C., Kendall C. (2007): Stable isotope tracing of temporal and spatial variability in organic matter sources to freshwater ecosystems. U: Michener R., Lajtha K. (ur.) *Stable isotopes in ecology and environmental science*. John Wiley & Sons, 283-479.
- geoportal.zagreb.hr/karta (28.11.2016.)
- Graça M. A. S. (2001): The role of invertebrates on leaf litter decomposition in streams – a review. *Internat. Rev. Hydrobiol.* **86**: 383-393.
- Habdija I., Primc Habdija B., Radanović I., Špoljar M., Matoničkin Kepčija R., Vujčić Karlo S., Miliša M., Ostojić A., Sertić Perić M. (2011): *Protista-protozoa i metazoa-invertebrata. Strukture i funkcije*. Alfa, Zagreb.
- Harnsberger D. F., O'Driscoll M. A. (2010): The influence of urban channel incision and water table decline on floodplain groundwater nitrogen dynamics; Greenville, NC. *J. Environ. Hydrol.* **18**: 1-22.
- 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.
- Hicks B. J. (1997): Food webs in forest and pasture streams in the Waikato region, New Zealand: a study based on analyses of stable isotopes of carbon and nitrogen, and fish gut contents. *New Zeal. J. Mar. Fresh.* **31**: 651-664.
- Šikić K., Basch O., Šimunić A. (1972): Osnovna geološka karta SFRJ (1:100 000). List Zagreb L 33-80. Savezni geološki zavod Beograd.
- Ishikawa N. F., Doi H., Finlay J. C. (2012): Global meta-analysis for controlling factors on carbon stable isotope ratios of lotic periphyton. *Oecologia* **170**: 541-549.
- Kahrman K. (2016): *Uloga zooplanktona u akvakulturi*. Završni rad. Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- 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.
- Kannoje S. R., Maheshwari R., Kumar A. (2012): River ecosystem & macro invertebrate: a review. *Bull. Env. Pharmacol. Life Sci.* **2**: 73-82.

- Lehmkuhl D. M., Anderson N. H. (1972): Microdistribution and density as factors affecting the downstream drift of myflies. *Ecology* **53**: 661-667.
- Macneil C., Dick J. T. A., Elwood R. W. (1997): The trophic ecology of freshwater *Gammarus* spp. (Crustacea: Amphipoda): problems and perspectives concerning the functional feeding group concept. *Biol. Rev.* **72**: 349-364.
- McLay C. (1970): A theory concerning the distance travelled by animals entering the drift of a stream. *J. Fish. Res. Board Can.* **27**: 359-370.
- Microsoft Corporation (2013): Microsoft® Office Excel® 2013.
- Middelburg J. J. (2014): Stable isotopes dissect aquatic food webs from the top to the bottom. *Biogeosciences* **11**: 2357-2371.
- Miliša M., Habdija I., Primc-Habdija B., Radanović I., Matoničkin Kepčija R. (2006): The role of flow velocity in the vertical distribution of particulate organic matter on moss-covered travertine barriers of the Plitvice Lakes (Croatia). *Hydrobiologia* **553**: 231-243.
- Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi (2008): Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće. *Narodne Novine* 47/2008.
- Moog O. (2002): *Fauna Aquatica Austriaca*. Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Vienna.
- Moreyra A. K., Padovesi-Fonseca C. (2015): Environmental effects and urban impacts on aquatic macroinvertebrates in a stream of central Brazilian Cerrado. *Sustain. Water Resour. Manag.* **1**: 125-136.
- Naeem S., Chapin III F. S., Costanza R., Ehrlich P. R., Golley F. B., Hooper D. U., Lawton J. H. (1999): Biodiversity and ecosystem functioning: maintaining natural life support processes. *Issues In Ecology* **4**: 2-11.
- Nelson K. C., Palmer M. A. (2007): Stream temperature surges under urbanization and climate change: data, models, and responses. *J. Am. Water. Resour. Assoc.* **43**: 440-452.
- Newcomer Johnson T. A., Kaushal S. S., Mayer P. M., Smith R. M., Sviridchi G. M. (2016): Nutrient retention in restored streams and rivers: a global review and synthesis. *Water* **8**: 116.
- Nilsson A. (1996): *Aquatic insects of North Europe 1*. Apollo Books, Stenstrup.
- Nilsson A. (1997): *Aquatic insects of North Europe 2*. Apollo Books, Stenstrup.
- Northington R. M., Hershey A. E. (2006): Effects of stream restoration and wastewater treatment plant effluent on fish communities in urban streams. *Freshwater Biol.* **51**: 1959-1973.

- Paul M. J., Meyer J. L. (2001): Streams in the urban landscape. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* **32**: 333-365.
- Perkins M. J., McDonald R. A., van Veen F. J. F., Kelly S. D., Rees G., Bearhop S. (2014): Application of nitrogen and carbon stable isotopes ($\delta^{15}\text{N}$ i $\delta^{13}\text{C}$) to quantify food chain length and trophic structure. *PLoS One* **9**: e93281.
- Post D. M. (2002): Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology* **83**: 703-718.
- www.pp-medvednica.hr (20.11.2016.)
- Primc B., Habdija I. (1987): Ciliated colonization of artificial substrates in different saprobic conditions in a running water. *Acta Hydroch. Hydrob.* **15**: 487-494.
- Primc-Habdija B., Habdija I., Radanović I. (1998): Seasonal changes in trophic structure of periphytic ciliates in relation to discharge regime. *Verh. Internat. Verein. Theor. Angew. Limnol.* **26**: 1116-1119.
- 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.
- Rice J. S., Anderson Jr. W. P., Thaxton C. S. (2011): Urbanization influences on stream temperature behavior within low-discharge headwater streams. *Hydrological Research Letters* **5**: 27-31.
- Rossi-Marshall E. J., Wallace B. (2002): *Freshwater Biol.* **47**: 129-141.
- Sertić Perić M., Dražina T., Špoljar M., Radanović I., Primc B., Habdija I. (2014): Meiofauna constitute a considerable portion of invertebrate drift among moss-rich patches within a karst hydrosystem. *Biologia* **69**: 363-380.
- Sertić Perić M., Miliša M., Matoničkin-Kepčija R., Primc-Habdija B., Habdija I. (2011): Seasonal and fine-scale spatial drift patterns in a tufa-depositing barrage hydrosystem. *Fundam. App. Limnol.* **178**: 131-145.
- Schmedtje U., Kohmann F. (1988): Bestimmungsschlüssel für die Saprobier-DIN-Arten (Makroorganismen). Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München.
- Statsoft Inc. (2013): Statistica (data analysis software system), version 10.0, www.statsoft.com.
- Steffy L. Y., Kilham S. S. (2004): Elevated $\delta^{15}\text{N}$ in stream biota in areas with septic tank systems in an urban watershed. *Ecol. Appl.* **14**: 637-641.
- 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.

www.swap-mit.info/intro-to-stable-isotope-ecology/ (19.11.2016.)

- Sweeney B. W., Bott T. L., Jackson T. K., Kaplan L. A., Newbold J. D., Standley L. J., Hession W. C., Horwitz R. J. (2004): Riparian deforestation, stream narrowing, and loss of stream ecosystem services. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **101**: 14132-14137.
- 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.
- Ulseth A. J., Hershey A. E. (2005): Natural abundances of stable isotopes trace anthropogenic N and C in an urban stream. *J. N. Am. Benthol. Soc.* **24**: 270-289.
- UN (2014): World urbanization prospects: the 2014 revision, highlights. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
- Vander Zanden M. J., Shuter B. J., Lester N., Rasmussen J. B. (1999): Patterns of food chain length in lakes: a stable isotope study. *Am. Nat.* **154**: 406-416.
- Vanderbilt K. L., Lajtha K., Swanson F. J. (2003): Biogeochemistry of unpolluted forested watersheds in the Oregon Cascades: temporal patterns of precipitation and stream nitrogen fluxes. *Biogeochemistry* **62**: 87-117.
- Vanderklift M. A., Ponsard S. (2003): Sources of variation in consumer-diet $\delta^{15}\text{N}$ enrichment: a meta-analysis. *Oecologia* **136**: 169-182.
- Walsh C. J., Roy A. H., Feminella J. W., Cottingham P. D., Groffman P. M., Morgan II R. P. (2005): The stream urban syndrome: current knowledge and the search for a cure. *J. N. Am. Benthol. Soc.* **24**: 706-723.
- Waringer J., Graf W. (1997): Atlas der Österreichischen Köcherfliegenlarven. Facultas Universitätsverlag, Wien.
- Wenger S. J., Roy A. H., Jackson C. R., Bernhardt E. S., Carter T. L., Filoso S., Gibson C. A., Hession W. C., Kaushal S. S., Marti E., Meyer J. L., Palmer M. A., Paul M. J., Purcell A. H., Ramirez A., Rosemond A. D., Schofield K. A., Sudduth E. B., Walsh C. J. (2009): Twenty-six key research questions in urban stream ecology: an assessment of the state of the science. *J. N. Am. Benthol. Soc.* **28**: 1080-1098.
- weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/maps_table.php (05.12.2016.)
- Werner E. E., Gilliam J. F. (1984): The ontogenetic niche and species interactions in size-structured populations. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **15**: 393-425.
- Wright I. A., Davies P., Wilks D., Findlay S., Taylor M. P. (2007): Aquatic macroinvertebrates in urban waterways: comparing ecosystem health in natural reference and urban streams. U: Wilson A. L., Dehaan R. L., Watts R. J., Page K. J., Bowmer K. H., Curtis

- A. (ur.) Proceedings of the 5th Australian Stream Management Conference. Australian rivers: making a difference. Institute for Land, Water & Society, Thurgoona, 467-472.
- Yule C. M., Gan J. Y., Jinggut T., Lee K. V. (2015): Urbanization affects food webs and leaf litter decomposition in a tropical stream in Malaysia. *Freshw. Sci.* **34**: 702-715.
- Zah R., Burgherr P., Bernasconi S. M., Uehlinger U. (2001): Stable isotope analysis of macroinvertebrates and their food sources in a glacier stream. *Freshwater Biol.* **46**: 871-882.
- Zwick P. (2004): Key to the West Palaearctic genera of stoneflies (Plecoptera) in the larval stage. *Limnologica* **34**: 315-348.

8. Životopis

OSOBNI PODACI

Ime i prezime: Marta Mikulčić

Datum i mjesto rođenja: 04.11.1992., Zagreb, Republika Hrvatska

OBRAZOVANJE

2014.-2017. Diplomski studij znanosti o okolišu na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu

2011.-2014. Preddiplomski studij znanosti o okolišu na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu

2007.-2011. Druga gimnazija Zagreb

1999.-2007. Osnovna škola Dugo Selo

STRUČNA EDUKACIJA I SUDJELOVANJA

Objava i predstavljanje stručnog rada na međunarodnoj Konferenciji o društveno odgovornom poslovanju u organizaciji Hrvatskog poslovnog savjeta za održivi razvoj 2016.

Volontiranje u Nacionalnom parku Mljet 2016.

Stručni trening u analizi stabilnih izotopa i seminarsko izlaganje na Queen Mary University of London (UK) 2016.

Sudjelovanje u organizaciji i provođenju manifestacije Noć biologije na Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu 2013.-2016.

VJEŠTINE

Poznavanje engleskog jezika

Poznavanje rada na računalu, Microsoft Office programa, osnova programa Statistica te osnova programa R