

Proljetna dinamika makrozoobentosa i fizikalno - kemijskih značajki vode duž Velikog potoka

Štargl, Mihaela

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:857696>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-11**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno – matematički fakultet
Biološki odsjek

Mihaela Štargl

**PROLJETNA DINAMIKA MAKROZOOBENTOSA I FIZIKALNO – KEMIJSKIH ZNAČAJKI VODE
DUŽ VELIKOG POTOKA**

Diplomski rad

Zagreb, 2020. godina

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

Hvala:

Doc.dr.sc. Mireli Sertić Perić na profesionalnom vodstvu, razumijevanju, brojnim savjetima i pomoći u bilo koje vrijeme,

Mag.oecol. Vesni Gulin i doc.dr.sc Tvrtku Dražini na pomoći i društvu tijekom eksperimentalnog dijela ovog diplomskog rada,

Valeriji Begić (tetki) na neizmornoj podršci i savjetima tijekom svih pet godina studiranja te neumornom pomaganju u pripremama za rad u školi

te mojoj obitelji, dečku i dragim prijateljima na podršci.

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno – matematički fakultet
Biološki odsjek

Diplomski rad

**PROLJETNA DINAMIKA MAKROZOOBENTOSA I FIZIKALNO – KEMIJSKIH ZNAČAJKI VODE
DUŽ VELIKOG POTOKA**

Mihaela Štargl
Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb, Hrvatska

Veliki potok (potok Črnomerec) je urbani potok, koji teče od nenaseljenog prema gusto naseljenom dijelu Zagreba te je duž njegovog toka prisutan antropogeni utjecaj različitog intenziteta, koji utječe na fizikalno-kemijske i biološke značajke potoka. Cilj istraživanja bio je istražiti promjene strukture makrozoobentosa i drifta te fizikalno-kemijske značajke vode tijekom proljeća (travnja i lipnja) 2016. godine na tri postaje smještene duž toka Velikog potoka, u zonama različitog intenziteta antropogenog utjecaja. Promjena strukture makrozoobentosa se temeljila na analizi kvalitativnog i kvantitativnog sastava organizama u uzorcima potočnog bentosa i drifta. Uočene promjene u strukturi organizama u uzorcima bentosa i drifta povezale su se s fizikalno-kemijskim značajkama vode na pojedinim postajama duž toka Velikog potoka. Od fizikalno-kemijskih značajki vode određene su: temperatura i brzina strujanja vode, koncentracija otopljenog kisika u vodi, konduktivitet, pH, kemijska potrošnja kisika, alkalinitet, ukupna tvrdoća vode te koncentracije nitrata, nitrita i fosfata u vodi, klorofila *a* u bentosu, a iz prikupljenih uzoraka bentosa i drifta izolirani su i determinirani organizmi makrozoobentosa. U donjim dijelovima toka Velikog potoka, za razliku od gornjeg dijela toka, izmjerene su povišene vrijednosti većine fizikalno-kemijskih parametara vode (temperatura vode, koncentracija nitrata, nitrita i fosfata, ukupna tvrdoća vode, brzina strujanja vode, pH, kemijska potrošnja kisika, alkalinitet, koncentracija otopljenog kisika u vodi, konduktivitet) uslijed povećanog antropogenog utjecaja. Najveća ukupna brojnost organizama makrozoobentosa u bentosu utvrđena je u donjim dijelovima toka Velikog potoka, uz dominaciju skupina tolerantnih na onečišćenje (Chironomidae). Za razliku od donjih dijelova toka Velikog potoka, gornji dio toka imao je manju ukupnu brojnost organizama makrozoobentosa, ali veću zastupljenost skupina makrozoobentosa osjetljivih na onečišćenje (EPT-svojte). Tolerantna skupina Oligochaeta zabilježena je u svim dijelovima toka potoka podjednakom zastupljenošću. Najveća zabilježena ukupna gustoća drifta bila je u donjim dijelovima toka. EPT-svojte i Amphipoda pokazali su najveću naklonost driftu u gornjem dijelu toka, a Chironomidae u donjim dijelovima toka Velikog potoka.

(43 stranice, 17 slika, 2 tablice, 35 literaturnih navoda, jezik izvornika hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Ključne riječi: makrozoobentos, bentos, drift, fizikalno-kemijski parametri vode, antropogeni utjecaj

Voditelj: Doc.dr.sc. Mirela Sertić Perić

Ocjenitelji: Doc.dr.sc. Mirela Sertić Perić

Doc. dr. sc. Sara Essert

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

Izv. prof. dr. sc. Vesna Petrović Peroković

Rad prihvaćen: 24.06.2020.

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Graduation Thesis

**SPRING DYNAMICS OF MACROZOOBENTHOS AND PHYSICOCHEMICAL WATER CHARACTERISTICS
ALONG VELIKI POTOK**

Mihaela Štargl
Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb, Croatia

Veliki potok is an urban stream flowing from an uninhabited to a densely populated part of Zagreb. Along its watercourse, there is an anthropogenic influence of varying intensity, which affects the physico-chemical and biological characteristics of the stream. The aim of the study was to investigate changes in the macrozoobenthos and drift structure, and physico-chemical water characteristics during the spring (April and June) 2016 at three sites stretched along the Veliki Potok, within zones of different intensity of anthropogenic impact. The change in the stream macrozoobenthos structure was based on the qualitative and quantitative benthos and drift sample analysis. Observed changes in the benthos and drift structure were associated with physico-chemical water characteristics at individual sites along the Veliki Potok. The analyzed physico-chemical water characteristics included: water temperature and flow velocity, dissolved oxygen concentration, conductivity, pH, chemical oxygen demand, alkalinity, total water hardness, concentrations of nitrates, nitrites and phosphates in water, chlorophyll *a* in benthos, whereas macrozoobenthos organisms were isolated and determined from the collected benthos and drift samples. In the downstream Veliki Potok reaches, in contrast to the upstream reaches, increased values of most physico-chemical water parameters (water temperature, nitrate, nitrite and phosphate concentration, total water hardness, water flow velocity, pH, chemical oxygen demand, alkalinity, dissolved oxygen concentration in water, conductivity) were recorded, likely due to increased anthropogenic influence. The total number of macrozoobenthos organisms in benthos was highest in the downstream reaches of Veliki Potok, with the dominance of pollution-tolerant groups (Chironomidae). In contrast to the downstream reaches of the Veliki Potok, the upstream reaches had lower numbers of macrozoobenthos organisms, but higher shares of pollution-intolerant macrozoobenthos taxa (e.g., EPT taxa). Oligochaeta, pollution-tolerant group of macrozoobenthos organisms, were equally represented along the entire stream. Drift density was highest in the lower stream reaches. EPT taxa and Amphipoda showed the highest drift propensity in the upper stream reaches, whereas Chironomidae had the highest drift propensity in the lower reaches of the Veliki potok.

(43 pages, 17 figures, 2 tables, 35 references, original in Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library

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

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

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

Dr. Sara Essert, Asst. Prof.

Dr. Draginja Mrvoš-Sermek, Assoc. Prof.

Dr. Vesna Petrović Peroković, Assoc. Prof.

Thesis accepted: 24.06.2020.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
1.1. Antropogeni utjecaj na potoke kroz urbanizaciju.....	2
1.1.1. Promjene u hidromorfološkim obilježjima urbanih potoka.....	2
1.1.2. Utjecaj otpadnih voda na kemijski sastav vode urbanih potoka	2
1.2. Struktura makrozoobentosa kao pokazatelj ekološkog stanja urbanih potoka.....	3
1.2.1. Makrozoobentos	3
1.2.2. Drift.....	4
1.3. Cilj istraživanja	5
2. Područje istraživanja – Veliki potok (potok Črnomerec)	7
3. Materijali i metode	10
3.1. Fizikalno–kemijski parametri vode.....	10
3.2. Uzorkovanje i obrada uzoraka bentosa i drifta	11
3.3. Obrada i prikaz podataka	13
4. Rezultati	15
4.1. Fizikalno-kemijski parametri vode.....	15
4.2. Kvalitativan i kvantitativan sastav makrozoobentosa u uzorcima bentosa	17
4.2.1. Brojnost organizama makrozoobentosa.....	17
4.2.2. Zastupljenost taksonomskih skupina makrozoobentosa u bentosu	17
4.2.3. Usporedba brojnosti predstavnika najpoznatijih indikatorskih skupina u makrozoobentosu po istraživanim postajama	19
4.3. Kvalitativan i kvantitativan sastav makrozoobentosa u uzorcima drifta	21
4.3.1. Gustoća drifta.....	21
4.3.2. Zastupljenost taksonomskih skupina makrozoobentosa u driftu	21
4.3.3. Usporedba gustoće drifta predstavnika najpoznatijih indikatorskih skupina makrozoobentosa po istraživanim postajama	23
4.4. Naklonost organizama makrozoobentosa driftu	24
4.5. Utjecaj okolišnih čimbenika na sastav makrozoobentosa i gustoću drifta na istraživanim postajama	25
4.5.1. Bentos	25
4.5.2. Drift.....	26
5. Diskusija	28

5.1.	Fizikalno-kemijski parametri vode.....	28
5.2.	Kvalitativan i kvantitativan sastav makrozoobentosa u uzorcima bentosa	32
5.2.1.	Brojnost organizama makrozoobentosa.....	32
5.2.2.	Zastupljenost taksonomskih skupina makrozoobentosa u bentosu	32
5.2.3.	Usporedba brojnosti predstavnika najpoznatijih indikatorskih skupina u makrozoobentosu po istraživanim postajama	34
5.3.	Kvalitativan i kvantitativan sastav makrozoobentosa u uzorcima drifta	34
5.3.1.	Gustoća drifta.....	34
5.3.2.	Zastupljenost taksonomskih skupina makrozoobentosa u driftu	35
5.3.3.	Usporedba gustoće drifta predstavnika najpoznatijih indikatorskih skupina makrozoobentosa po istraživanim postajama	36
5.4.	Naklonost organizama makrozoobentosa driftu	36
5.5.	Utjecaj okolišnih čimbenika na sastav makrozoobentosa i gustoću drifta na istraživanim postajama	37
5.5.1.	Bentos	37
5.5.2.	Drift	37
6.	Zaključak	39
7.	Literatura	41
8.	Životopis	44

1. Uvod

Urbanizacija se odnosi na koncentraciju ljudske populacije u određenim područjima, koja vodi prema promjeni prirodnog stanja okoliša u komercijalne, stambene i industrijske svrhe. U posljednjim desetljećima izrazito su se proširile urbane zone pojačanim razvojem urbanizacije te se smatra da će i nastaviti u tom smjeru. Razvoj urbanizacije utječe na jako male površine Zemlje, ali ostavlja značajan „ekološki otisak“ (EPA, 2017). Gubitak prirodnog okoliša uslijed urbanizacije može utjecati na intenzitet učinka klimatskih promjena te promjena kvalitete zraka, mijenja protok energije i hranjivih tvari te vodi do smanjenja biološke raznolikosti (Bernhardt i Palmer, 2007). Ekosustavi prije urbanizacije i danas se značajno razlikuju. Prije urbanizacije su prevladavali prirodni ekosustavi tj. ekosustavi u kojima nisu bile prisutne aktivnosti čovjeka. Međutim, uslijed porasta broja stanovništva i intenziviranja ljudske djelatnosti, prirodni ekosustavi su vremenom postali ugroženi zbog širenja gradova, intenzivne poljoprivrede, onečišćenja, invazivnih vrsta i/ili djelovanja klimatskih promjena. Stoga se danas u urbanim zonama govori uglavnom o urbanim ekosustavima. Međutim, u nekim gradovima još uvijek postoje prirodni ekosustavi, koji su uklopljeni unutar urbanih zona.

Prema Bolund i Hunhammar (1999), prirodni ekosustavi unutar urbanih područja utječu na kvalitetu života stanovnika gradova pa tako i zagrebački potoci u određenoj mjeri vjerojatno utječu na kvalitetu života stanovnika grada Zagreba. Urbani potoci služe kao regulatori mikroklimе, čime smanjuju temperaturne ekstreme karakteristične za urbana područja, izvori pitke vode ili mjesta za rekreaciju i druženja (Bolund i Hunhammar, 1999). Osim toga, urbani potoci čine staništa raznoj flori i fauni, čime povećavaju bioraznolikost urbanih ekosustava te sudjeluju u kruženju tvari i energije u tim ekosustavima, čime također djeluju na kvalitetu života stanovnika gradova (Walsh i sur., 2005).

Pojačanom urbanizacijom dolazi do većeg antropogenog utjecaja te se, uslijed povećanja broja stanovnika i njihovih aktivnosti, urbani potoci često onečišćuju i mijenjaju (tj. izgledom i tokom prilagođavaju potrebama ljudi). Ta pojava se prema Walsh i sur. (2005) naziva „sindrom urbanog potoka“, a glavni simptomi tog „sindroma“ su degradacija potočnih staništa i ekoloških karakteristika potočne flore i faune. Samim time, urbanizacija djeluje i na kruženje tvari i energije unutar urbanih ekosustava te se narušava njihovo funkcioniranje (Walsh i sur., 2005).

Dolazi do izražaja da u gradovima čovjek postaje dominantan nad prirodom (Collins i sur., 2000). Spoznaje o značajnoj promjeni života ljudi, mobilizaciji prema urbanim središtima te o ponašanju ljudi unutar

prirodnih ekosustava urbanih područja dovele su do razvoja urbane ekologije, nove discipline koja pokušava objasniti povezanost čovjeka i njegovog utjecaja na prirodne ekosustave urbanih područja, odnosno gradova (Collins i sur.,2000).

1.1. Antropogeni utjecaj na potoke kroz urbanizaciju

1.1.1. Promjene u hidromorfološkim obilježjima urbanih potoka

Netaknute obalne zone, odnosno područja priobalne i obalne vegetacije imaju važnu ulogu u održavanju prirodne ravnoteže potoka. Čovjek mijenja obalne zone potoka i sam potok kako bi sebi stvorio više mjesta za razne aktivnosti čime nepovoljno djeluje na opseg i kvalitetu obalnih zona potoka uklanjanjem prirodne vegetacije te kanaliziranjem potoka (EPA, 2017). Takve promjene dovode do poremećaja toka potoka, smanjenog unosa organskih tvari te njihovog zadržavanja, povećane erozije obala i smanjene zasjenjenosti, čime se povećava temperatura i biomasa algi te koncentracija otopljenog ugljikova dioksida u urbanim potocima (EPA, 2017). U nekim urbanim potocima može doći do povećanog unosa organske tvari i njihovog zadržavanja, što se smatra posljedicom povećanog unosa lišća koje opada s drveća nad potokom (Walsh i sur., 2005). Potoci se kanaliziraju u svrhu umjetne regulacije, što podrazumijeva nanošenje slojeva betona na potočno dno, čime se smanjuje propusnost tla i povećava površinsko otjecanje. Samim time, uslijed obilnijih padalina, može doći do intenzivnih bujica, čime se pojačava erozija obale i produbljuje se kanal. Erodirani materijal zatrpava prirodne meandre potoka i pretvara ga u ravni kanal s bržim strujanjem vode (Paul i Meyer, 2001). Promjenom dna potoka, uslijed kanaliziranja i uklanjanja prirodne vegetacije, profil potoka se homogenizira (Bernhardt i Palmer, 2007).

1.1.2. Utjecaj otpadnih voda na kemijski sastav vode urbanih potoka

Otpadne vode mogu dospjeti u urbane potoke iz kanalizacije, raznih industrijskih pogona, farmaceutskih istraživačkih instituta ili iz gradskih parkova i/ili sporadičnih poljoprivrednih površina, gdje se koriste razni pesticidi za uzgoj i/ili održavanje biljaka. Kemijski sastav vode urbanih potoka mijenja se i dotokom oborinske vode (npr. uslijed obilnih padalina), koja dotječe u potoke s okolnih prometnica i parkirališta, gdje se zagađuje raznim onečišćivačima. Dotokom otpadnih voda u potok povećava se koncentracija raznih metala (bakar, olovo, kadmij), otrovnih tvari (npr. pesticida), patogena, hranjivih tvari, a uz sve to,

uzevši u obzir i povišenje temperature urbanih potoka, u urbanim potocima je česta pojava i smanjena koncentracija otopljenog kisika (EPA, 2017; Bernhardt i Palmer, 2007; Paul i Meyer, 2001). Povećanjem količine hranjivih tvari u urbanim potocima, dolazi i do njihove eutrofikacije, odnosno do povećane koncentracije dušika, fosfora i ugljika, ali smanjene koncentracija kisika u tim potocima (EPA, 2017). U urbanim potocima je učinkovitost prirodnog uklanjanja dušika i fosfora smanjena, zbog promijenjene morfologije potoka, uklanjanja obalne vegetacije i smanjenja kompleksnosti vodenog toka, odnosno potočnog korita (Paul i Meyer, 2001).

Deforestacija i uklanjanje obalne vegetacije u urbanim zonama ponajprije dovodi do povišenih razina svjetlosti u urbanim potocima. Međutim, osim što mijenja svjetlosne i temperaturne režime urbanih potoka, eliminacija obalne vegetacije mijenja i stabilnost njihovih obala, unos čestica sedimenata, lišća i čestica organske i drugih hranjivih tvari u potoke, kao i raznolikost i brojnost raspoloživih staništa za biljke i životinje (Meyer, 2010). Povišene razine hranjivih tvari i svjetlosti nadalje mogu pogodovati većoj biomasi algi (i posljedično povišenoj koncentraciji klorofila *a*) u urbanim potocima, međutim neka prethodna istraživanja su dokazala da rast algi u urbanim potocima nije ograničen koncentracijama hranjivih tvari (Chessman i sur., 1992; Richards i Host, 1994). Biomasa algi (a time i klorofila *a*) može biti čak i smanjena u urbanim potocima. To je najčešće posljedica prisutnosti metala i herbicida u vodi, kao i promjenjivih protoka i bujica (nestabilnih supstrata), koje uzrokuju odstranjivanje algi s potočnog dna i/ili povišenu замуćenost vode, odnosno povišene koncentracije sitnog sedimenta (pijeska, mulja) u vodi urbanih potoka (Meyer, 2010).

1.2. Struktura makrozoobentosa kao pokazatelj ekološkog stanja urbanih potoka

1.2.1. Makrozoobentos

Makrozoobentos je zajednica faune dna potoka, a čine ju beskralježnjaci, vidljivi golim okom. Beskralježnjaci koji su najčešći pripadnici potočnog makrozoobentosa su: Insecta (kukci) redova Diptera (dvokrilci), Ephemeroptera (vodencvjetovi), Coleoptera (kornjaši), Heteroptera (raznokrilci), Megaloptera (muljarice), Odonata (vretenca), Plecoptera (obalčari) i Trichoptera (tulari), Crustacea (rakovi) redova Amphipoda (rakušci), Decapoda (deseteronošci) i Isopoda (jednakonošci), Oligochaeta (maločetinaši), Hirudinomorpha (pijavice), Hydracarina (vodene grinje), Nematoda (oblići), Gastropoda (puževi), Bivalvia (školjkaši), Turbellaria (virnjaci) (Habdija i sur., 2011). Organizmi makrozoobentosa imaju važnu ulogu u

funkcioniranju slatkovodnih ekosustava. Zajedno s mikrobima, odgovorni su za razgradnju organske tvari, a hrane se usitnjenom organskom tvari, detritusom, algama, gljivama, bakterijama, a neki su čak i predatori te se hrane drugim organizmima makrozoobentosa. No, isto tako čine i glavni izvor hrane za velik broj riba (Curell i sur., 2018).

Organizmi makrozoobentosa su više ili manje osjetljivi na abiotičke (npr. fizikalno-kemijske) čimbenike u slatkovodnom ekosustavu koji nastanjuju pa se stoga promjenom abiotičkih čimbenika često mijenja i struktura makrozoobentosa. Primjerice, ličinke većine svojiti porodice Chironomidae, kao i predstavnici maločetinaša (Oligochaeta) toleriraju smanjene koncentracije kisika, dok su ličinke skupina vodencvjetova (Ephemeroptera), obalčara (Plecoptera) i tulara (Trichoptera) (EPT) osjetljive na smanjene koncentracije kisika (Thorp i Chovich, 1991; Hauer i Resh, 2006). Abiotički čimbenici utječu i na životne cikluse organizama makrozoobentosa, a budući da se ovi čimbenici razlikuju unutar sezona, tako se sezonski mijenja i sastav makrozoobentosa (Hauer i Resh, 2006).

Procesi urbanizacije utječu na abiotičke čimbenike pa samim time i na strukturu makrozoobentosa (Walsh i sur., 2005). Za urbane potoke osobito su izražene sezonske, mjesečne pa čak i tjedne varijacije protoka i hidrološke fluktuacije, koje potom značajno utječu na sastav makrozoobentosa u ovim ekosustavima (Walsh i sur., 2005; Haas i sur., 2019). Organizmi makrozoobentosa se, zbog ovisnosti o abiotičkim čimbenicima na koje djeluju procesi urbanizacije, koriste kao idealna sastavnica za procjenu ekološkog stanja urbanih potoka. Dodatne prednosti makrozoobentosa kao pokazatelja ekološkog stanja urbanih potoka su: relativno ograničena pokretljivost (koja olakšava uzorkovanje i analizu organizama koji nastanjuju potočno dno), velika brojnost vrsta i široka rasprostranjenost (zbog čega je moguće opaziti kako promjene abiotičkih čimbenika djeluju na različite organizme), specifični životni ciklusi (koji često uključuju sezonsko izmjenjivanje pojedinih životnih stadija te stoga omogućuju objašnjavanje privremenih promjena u sastavu zajednice makrozoobentosa u ovisnosti o okolišnim čimbenicima) (Bae i sur., 2005).

1.2.2. Drift

Organizmi makrozoobentosa mogu biti aktivno ili pasivno odneseni strujom vode, a takav nizvodni transport organizama naziva se driftom (Allan, 1995). Aktivan drift je rezultat otpuštanja organizama makrozoobentosa izazvan biotičkim čimbenicima, odnosno ponašanjem organizama (koje je uvjetovano uglavnom prisutnošću hrane i/ili predatora), dok je pasivan drift uvjetovan abiotičkim (okolišnim) čimbenicima te njihovim promjenama (Svendsen i sur., 2004). Osim dnevne, postoji i sezonska periodičnost drifta. Ona uglavnom ovisi o sezonskim razlikama u temperaturi, količini nanasene organske

tvori i sastavu zajednice makrozoobentosa, odnosno o životnim ciklusima dominantnih beskralježnjačkih svojti (Ramirez i Pringle, 2001). Najveći broj jedinki u driftu javlja se u razdobljima naglog rasta (presvlačenja) ličinki te u razdobljima prije nastanka kukuljice i izlijetanja, što je često u proljeće (Müller 1965).

Osim aktivnog i pasivnog drifta, javlja se i katastrofički drift uzrokovan fizikalnim promjenama i poremećajima unutar potočnog dna ili onečišćenjima usred pojačane urbanizacije (Svendsen i sur., 2004). Uklanjanjem obalne vegetacije i kanaliziranjem potoka, u svrhu stvaranja više prostora za razne ljudske aktivnosti, mijenja se potočno dno. Potoci se uglavnom pretvaraju u ravne kanale s bržim strujanjem vode (Paul i Meyer, 2001). Organizmi makrozoobentosa izloženi su struji vode, a što je ona brža, organizmi su izloženi većem riziku da ih brza struja vode odnese (Svendsen i sur., 2004).

1.3. Cilj istraživanja

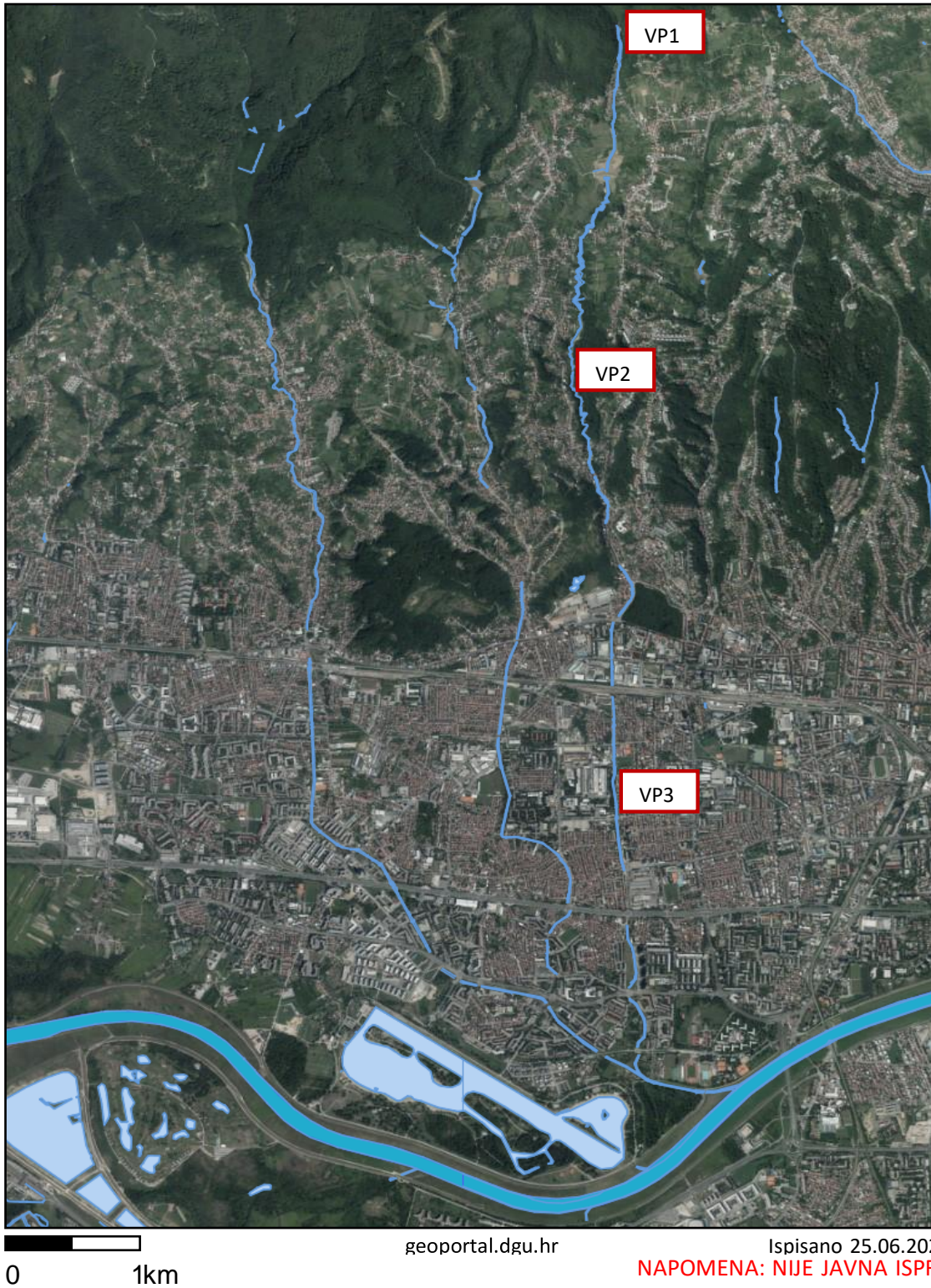
Cilj ovog istraživanja je istražiti promjene strukture makrozoobentosa i drifta te fizikalno-kemijske značajke vode na tri postaje smještene duž toka Velikog potoka tijekom proljeća 2016. godine. Promjene strukture makrozoobentosa u uzorcima potočnog bentosa i drifta koji su povezani sa stupnjem antropogenog utjecaja, odnosno s fizikalno-kemijskim značajkama vode na tri postaje duž toka Velikog potoka, analizirane su sa specifičnim ciljevima:

- Utvrditi razlike u fizikalno-kemijskim parametrima vode;
- Utvrditi razlike u ukupnoj brojnosti organizama makrozoobentosa u bentosu i driftu;
- Utvrditi razlike u udjelu (%) pojedinih taksonomskih skupina makrozoobentosa u bentosu i driftu, uz naglasak na udjele predstavnika EPT-svojti (%EPT), Chironomidae (%CHI) i Oligochaeta (%OLI), temeljem čega će se procijeniti svojevrsan stupanj antropogenog utjecaja, odnosno opća degradacija pojedinih postaja;
- Procijeniti naklonost organizama makrozoobentosa driftu (*engl.*, drift propensity) – temeljem podataka o gustoći organizama u driftu i bentosu (naklonost driftu = gustoća drifta/bentička gustoća – prema Wilcox i sur. 2008);
- Procijeniti utjecaj abiotičkih čimbenika (fizikalno-kemijskih parametara vode) na raspodjelu organizama makrozoobentosa u bentosu i driftu.

Uzevši u obzir rezultate svih prethodno navedenih istraživanja, polazne pretpostavke ovog istraživanja su da će u gornjem (prirodnom) dijelu toka u usporedbi s donjim dijelovima toka (koji protječu kroz urbanizirano područje grada Zagreba) biti niža temperatura vode te samim time i veća koncentracija kisika dok će koncentracije nitrita, nitrata i fosfata biti manje. Također, pretpostavlja se da će dubina potoka biti manja u gornjem (prirodnom) dijelu toka u usporedbi s donjim kanaliziranim dijelovima toka, kao i brzina strujanja vode. Koncentracija klorofila *a* pretpostavlja se da će biti manja u gornjem dijelu toka (koji je zasjenjen bujnom šumskom vegetacijom) u usporedbi s donjim (nezasjenjenim) dijelovima toka. Za sastav makrozoobentosa, polazne pretpostavke su da će u gornjem dijelu toka u usporedbi s donjim dijelovima toka biti veća ukupna brojnost i raznolikost organizama te da će biti veći udio EPT-svojtji. Pretpostavlja se da će u donjim dijelovima toka biti veći udio predstavnika Oligochaeta i Chironomidae. Također, jedna od pretpostavki je i da će organizmi u donjim dijelovima toka imati veću naklonost driftu te da će gustoća drifta biti veća.

2. Područje istraživanja – Veliki potok (potok Črnomerec)

Veliki potok je urbani potok grada Zagreba, odnosno potočni ekosustav unutar urbanog područja (Slika 1). Gornji tok Velikog potoka protječe zagrebačkom planinom Medvednicom, koja je uglavnom nenaseljena te je velikim dijelom obuhvaćena zaštićenim parkom prirode (Martinić, 2011). Potok dalje teče jugozapadnim obroncima prema gradskom naselju Lukšići u kojemu je izložen antropogenom utjecaju uslijed neposredne blizine kućanstava te kroz razne poljoprivredne djelatnosti. Srednji tok počinje vodnom retencijom Črnomerec koja služi za obranu od poplava. Naselja prema kojima dalje teče Veliki potok su Frateršćica i Črnomerec te je potok na tim dijelovima mjestimično kanaliziran ili zakopan, popločen te preimenovan u Črnomerec. Donji tok potoka nalazi se nizvodno od ulice Ilica te prolazi kroz tvornički okrug farmaceutskog istraživačkog instituta „Pliva Hrvatska d.o.o.“ i stambeni dio grada Zagreba (Voltino naselje, Trešnjevka, Gredice) čime se pojačava antropogeni utjecaj na potok. Na poslijetku, potok se ulijeva u Savu (Slika 1).



Slika 1. Veliki potok (potok Čnomerec) s istraživačkim postajama (1:25000)

Istraživanje je provedeno u razdoblju od dva proljetna mjeseca (travanj i lipanj) 2016. godine, na tri postaje duž Velikog potoka (Slike 1 i 2):

- VP1 u gornjem, prirodnom dijelu toka unutar Parka prirode Medvednica (45°51'29" N, 15°56'10" E),
- VP2 u srednjem dijelu toka koji teče umjereno urbaniziranim područjem grada Zagreba, na granici naselja Fraterščica i Črnomerec (45°49'33" N, 15°55'59" E),
- 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 2. Istraživačke postaje duž Velikog potoka (foto: Z. Dragun)

3. Materijali i metode

3.1. Fizikalno–kemijski parametri vode

U razdoblju od dva proljetna mjeseca (travanj i lipanj) 2016. godine, na tri postaje duž Velikog potoka (Črnomerca) izmjereni su *in situ* pojedini fizikalno-kemijski parametri vode. Fizikalno-kemijski parametri vode mjereni su u svrhu utvrđivanja abiotičkih čimbenika staništa na svakoj postaji. WTW OXI 96 oksimetar je uređaj kojim je izmjerena temperatura vode, koncentracija kisika i zasićenje kisikom. Osim toga, izmjerio se i pH vode WTW 330i pH-metrom, a konduktivitet i ukupne otopljene soli Hach Sension 5 mjeračem. Za naknadnu laboratorijsku obradu je prikupljen po još jedan uzorak vode sa svake postaje, koji su obrađeni u sklopu izrade ovog diplomskog rada. Na terenu su sa svake postaje dodatno uzeta po dva uzorka perifitona (obraštaja) u svrhu određivanja koncentracije klorofila *a* u bentosu. Uzorci perifitona uzeti su struganjem površine (3 x 2 cm) nasumično odabranog kamenja uronjenog u vodu. Za svaki uzorak perifitona na taj način je obrađeno po 4 veća ili manja kamena. Sastrugani materijal prikupljen je u 10 mL potočne vode i očuvan na hladnom (u hladnjaku na 5°C) do laboratorijske analize.

Laboratorijske analize vode uključuju određivanje: kemijske potrošnje kisika, alkaliniteta, ukupne tvrdoće vode te koncentracije nitrita, nitrata i fosfata, kao pokazatelja kemijske kakvoće vode, te koncentracije klorofila *a*, kao pokazatelja intenziteta primarne produkcije u potoku.

Određivanje kemijske potrošnje kisika (KPK_{KMnO_4}) indirektna je mjera količine otopljene organske tvari, a prema Deutshces Institut für Normung (1986) temelji se na analizi potrošnje kalijeva permanganata ($KMnO_4$) po Kubel-Tiemannu. Kalijev permanganat jak je oksidans te se u reakciji s organskom tvari reducira, a pritom oksidira organsku tvar. Količina utrošenog kisika tada je ekvivalentna količini organske tvari.

Alkalinitet je zapravo mjera puferskog kapaciteta vode, a mjeri se metodom titracije kiselinom uz metiloranž kao indikator (APHA, 1985). Vrijednost alkaliniteta određuje se prema količini kiseline potrebne za neutralizaciju hidrogenkarbonatnih (HCO_3^-), karbonatnih (CO_3^{2-}) i hidroksidnih (OH^-) iona, sastavnica koje čine puferski sustav vode.

Ukupna tvrdoća vode određuje se kompleksometrijskom titracijom (APHA, 1985). Pokazatelji tvrdoće vode su magnezijeve i kalcijeve soli u vodi. Kompleksometrijska titracija se temelji na titraciji uzorka vode

kompleksonom III. Komplekson III tvori stabilne komplekse s magnezijevim i kalcijevim ionima na temelju kojih se određuje ukupna tvrdoća vode.

Koncentracija nitrita ($N-NO_2^-$), nitrata ($N-NO_3^-$) i fosfata ($P-PO_4^{3-}$) određuje se spektrofotometrijskim analizama prema APHA (1985) metodama, pomoću spektrofotometra HACH DR/2000. U uzorak vode dodaje se reagens koji s nitritima, nitratima i fosfatima tvori obojeni kompleks. Kompleks koji nastane, apsorbira svjetlost određene valne duljine (λ), ovisno o koncentraciji nitrita, nitrata i fosfata. Pomoću spektrofotometra HACH DR/2000 kroz uzorak se propušta zadana valna duljina za nitrite ($\lambda(NO_3^-) = 520$ nm), nitrate ($\lambda(NO_2^-) = 420$ nm) i fosfate ($\lambda(PO_4^{3-}) = 690$ nm). Na taj se način doznaje apsorbancija uzorka (razlika valnih duljina zadane i propuštene svjetlosti, $\Delta\lambda$) koja je indirektna mjera za koncentraciju nitrita, nitrata i fosfata.

Koncentracija klorofila *a* (Chl *a*) iz uzoraka perifitona određuje se metodom etanolske ekstrakcije (prema Nusch, 1980), a ona obuhvaća nekoliko koraka: a) ekstrakcija klorofila iz uzoraka perifitona (vakuum-filtracijom uzorka kroz filter-papir Schleicher & Schuell, bijela vrpca 589², bez ostatka pepela, a potom laganim zagrijavanjem taloga u 96%-tnom etanolu), b) bistrenje ekstrakta (vakuum-filtracijom zagrijanog uzorka preko membranskog filtera promjera pora 0,45 μm i sakupljanjem filtrata), c) mjerenje koncentracije klorofila *a* (spektrofotometrijskim određivanjem apsorbancije filtrata, pri valnoj dužini apsorpcije klorofila *a*, $\lambda = 665$ nm) korekcija za feofitin (pigment koji nastaje uslijed degradacije klorofila i koji može interferirati sa spektrofotometrijskim mjerenjima klorofila *a*; provodi se na način da se u filtrat kojem je prethodno izmjerena koncentracija klorofila *a* doda jedna kap koncentrirane HCl, 36,5%, a potom se filtratu ponovno mjeri apsorbancija pri $\lambda = 665$ nm).

3.2. Uzorkovanje i obrada uzoraka bentosa i drifta

U proljeće 2016. godine (jednom mjesečno tijekom travnja i lipnja), na svakoj postaji (VP1, VP2, VP3) prikupljena su po dva do tri uzorka drifta i četiri uzorka bentosa, usporedno s mjerenjem fizikalno-kemijskih parametara vode. Uzorci su uzeti s različitih mikrostaništa unutar potoka. Bentos je uzorkovan Hessovim uzorkivačem (površine 0,049 m²) s mrežom promjera oka 200 μm (Slika 3), a drift pomoću drift-uzorkivača (Slika 4) koji se sastoji od drift mreže promjera oka 214 μm i dužine 1,5 m, pričvršćene na cilindričnu plastičnu cijev (50 cm x 7,5 cm, površine 44,2 cm²). Uz svaki drift-uzorkivač 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. Prikupljeni uzorci bentosa i drifta pohranjeni su *in situ* u 70%-tni etanol kako bi se naknadno mogli laboratorijski obraditi, što je obrađeno u sklopu ovog diplomskog rada.



Slika 3. Uzorkovanje makrozoobentosa Hessovim uzorkivačem (foto: Z. Dragun)



Slika 4. Uzorkovanje drifta drift-uzorkivačima (foto: Z. Dragun)

Iz prikupljenih uzoraka bentosa i drifta, pomoću lupe (Zeiss Stemi 2000-C) su izolirani organizmi makrozoobentosa te su nakon toga organizmi determinirani do taksonomske razine reda prema odgovarajućoj literaturi kako bi se mogao odrediti kvalitativan i kvantitativan sastav organizama u bentosu i driftu. Međutim, iznimka je napravljena za red Diptera. Unutar reda Diptera zasebno su izdvajane jedinke porodice Chironomidae i Simuliidae iz razloga što su imale relativno visoku zastupljenost u uzorcima, dok su jedinke ostalih porodica reda Diptera grupirane zajedno pod nazivom „različite porodice reda Diptera“.

3.3. Obrada i prikaz podataka

Fizikalno-kemijski parametri vode prikazani su tablično prema istraživanim postajama (VP1, VP2 i VP3) u razdoblju od dva proljetna mjeseca (travanj i lipanj) 2016. godine. Rezultati su prikazani standardnim statističkim mjerama, srednjom vrijednošću (SV) i standardnom devijacijom (SD). Vremenske i prostorne razlike fizikalno-kemijskih parametara analizirane su neparametrijskim statističkim analizama (zbog relativno malog broja uzoraka), točnije Kruskal-Wallis testom i Mann-Whitney U-testom. Kruskal-Wallis test se proveo u svrhu određivanja statistički značajne razlike u fizikalno-kemijskim parametrima vode između postaja (VP1, VP2, VP3), a Mann-Whitney U-test u svrhu određivanja statistički značajne vremenske razlike (travanj vs. lipanj) u fizikalno-kemijskim parametrima vode.

Utvrđene razlike u ukupnoj brojnosti organizama makrozoobentosa u bentosu i driftu prikazane su gustoćom, tj. brojem jedinki po jedinici površine (m^2 , za bentos), odnosno volumena vode (m^3 , za drift). Za bentos su uzete prosječne vrijednosti (\pm standardna devijacija) brojnosti organizama makrozoobentosa po postajama te je proveden Kruskal-Wallis test u svrhu utvrđivanja statistički značajne razlike u brojnosti organizama makrozoobentosa između postaja. Za drift su uzete prosječne vrijednosti (\pm standardna devijacija) gustoće drifta po postajama te je proveden Kruskal-Wallis test u svrhu utvrđivanja statistički značajne razlike u gustoći drifta između postaja.

Po postajama su izračunati prosječni udjeli (%) pojedinih taksonomskih skupina makrozoobentosa u bentosu i driftu, uz naglasak na udjele predstavnika EPT-svojtji (%EPT), Chironomidae (%CHI) i Oligochaeta (%OLI) u svrhu uočavanja zastupljenosti pojedinih taksonomskih skupina makrozoobentosa na pojedinoj postaji, na temelju koje se procjenjuje svojevrsan stupanj antropogenog utjecaja, odnosno opća degradacija pojedinih postaja.

Temeljem podataka o gustoći organizama u bentosu i driftu, procijenjena je naklonost organizama makrozoobentosa driftu (*engl.*, drift propensity). Naklonost driftu izražena je kao kvocijent gustoće drifta

i bentičke gustoće prema Wilcox i sur., 2008. Kruskal-Wallis test se proveo kako bi se utvrdilo postoji li statistički značajna razlika u naklonosti organizama makrozoobentosa driftu između postaja.

Eventualni utjecaj okolišnih čimbenika na sastav makrozoobentosa i gustoću drifta beskralježnjaka procijenio se Principal Component analizom (PCA). Posebno je provedena analiza za bentos, a posebno za drift. U Principal Component analizi (PCA), u obzir su uzete samo indikatorske svojte (EPT-svojte, Chironomidae, Oligochaeta), da bi se smanjio utjecaj rijetkih svojti, a brojnost organizama u bentosu i vrijednosti gustoće drifta su logaritmirane ($\log(x+1)$), kao i podaci o okolišnim čimbenicima. U PCA-analizi utjecaja okolišnih čimbenika na sastav organizama u uzorcima bentosa i drifta, u obzir su uzeti mjereni fizikalno-kemijski čimbenici: temperatura vode (Temp), koncentracija otopljenog kisika (O_2 (mg L⁻¹)), zasićenje kisikom (O_2 (%)), kemijska potrošnja kisika (KPK), pH, alkalinitet, ukupna tvrdoća vode, konduktivitet (Kond), koncentracije iona hranjivih soli – nitrita (N-NO₂-), nitrata (N-NO₃-) i orto-fosfata (P-PO₄-), koncentracija klorofila a (Chl a) te brzina strujanja vode (dodatno za drift).

Rezultati su obrađeni te grafički ili tablično prikazani u računalnim programima Microsoft Office Excel 2016 (Microsoft Corporation 2016) i Statistica 10 (Statsoft Inc.2013).

4. Rezultati

4.1. Fizikalno-kemijski parametri vode

Rezultati analize fizikalno-kemijskih parametara vode mjerenih na sve tri postaje (VP1, VP2, VP3) u proljeće (travanj i lipanj) 2016. prikazani su u Tablici 1. Fizikalno-kemijski parametri vode uspoređeni su prema postajama i prema mjesecima. Temperatura vode je u prosjeku bila najviša na postaji VP3 ($21,3 \pm 7,5$ °C), a najniža na postaji VP1 ($14,9 \pm 4,2$ °C). Koncentracija kisika je u prosjeku bila najveća na postaji VP3 ($10,20 \pm 0,29$ mg L⁻¹), a najmanja na postaji VP1 ($9,63 \pm 1,01$ mg L⁻¹). U prosjeku, na postaji VP3 je bilo najveće zasićenje kisikom ($111,7 \pm 20,9$ %), a na postaji VP1 najmanje ($98,3 \pm 1,3$ %). Prosječne pH-vrijednosti vode na sve tri postaje bile su prilično ujednačene, međutim u prosjeku je pH-vrijednost vode bila najviša na postaji VP3 ($8,76 \pm 0,21$), a najniža na postaji VP1 ($8,43 \pm 0,05$). Konduktivitet je u prosjeku bio najviši na postaji VP2 ($425,0 \pm 18,4$ μS cm⁻¹), a najniži na postaji VP3 ($314,5 \pm 147,8$ μS cm⁻¹). Ukupna koncentracija otopljenih krutih tvari (TDS) bila je najveća na postaji VP2 ($202,4 \pm 4,8$ mg L⁻¹), a najmanja na postaji VP3 ($151,55 \pm 72,76$ mg L⁻¹). Kemijska potrošnja kisika, što je indirektna mjera količine otopljene organske tvari, u prosjeku je bila najveća na postaji VP3 ($2,36 \pm 0$ mg O₂ L⁻¹), a najmanja na postaji VP1 ($2,12 \pm 0$ mg O₂ L⁻¹). Utvrđeno je da je alkalinitet u prosjeku bio najviši na postaji VP3 (165 ± 0 mg CaCO₃ L⁻¹), a najniži na postaji VP1 (130 ± 0 mg CaCO₃ L⁻¹). Ukupna tvrdoća vode bila je u prosjeku najveća na postaji VP3 ($206,5 \pm 0$ mg CaCO₃ L⁻¹), a najmanja na postaji VP1 ($160,2 \pm 0$ mg CaCO₃ L⁻¹). Koncentracija nitrita bila je, u prosjeku, najveća na postaji VP3 ($0,146 \pm 0$ mg L⁻¹), a najmanja na postaji VP1 ($0,096 \pm 0$ mg L⁻¹). Koncentracija nitrata u prosjeku je bila najveća na postaji VP3 ($4,06 \pm 0$ mg L⁻¹), a najmanja na postaji VP1 ($3,41 \pm 0$ mg L⁻¹). Koncentracija fosfata je u prosjeku bila najveća na postaji VP3 ($0,07 \pm 0$ mg L⁻¹), a najmanja na postaji VP1 ($0,03 \pm 0$ mg L⁻¹). Na postaji VP1 je u prosjeku utvrđena najveća količina klorofila a ($8,427 \pm 4,487$ μg cm⁻²), a najmanja na postaji VP3 ($4,625 \pm 0$ μg cm⁻²). Brzine strujanja vode bile su ujednačene na sve tri postaje, međutim u prosjeku je struja vode bila najbrža na postaji VP2 ($0,3 \pm 0,01$ m s⁻¹), a najsporija na postaji VP1 ($0,2 \pm 0,2$ m s⁻¹). Dubina potoka se razlikuje na postajama, a najveća dubina je u prosjeku na postaji VP3 (16 ± 1 cm), a najmanja na postaji VP2 (10 ± 4 cm). Kako bi se utvrdilo postoje li statistički značajne razlike u fizikalno-kemijskim parametrima po postajama, proveden je Kruskal-Wallis test. Jedino je za dubinu vode zabilježena statistički značajna razlika između postaja ($H(2, N = 67) = 55,59, p < 0,0001$). Kako bi se utvrdilo postoji li statistički značajna vremenska razlika u fizikalno-kemijskim parametrima vode, proveden je Mann-Whitney U-test, kojim je utvrđeno kako nema statistički značajne razlike u fizikalno-kemijskim parametrima vode između travnja i lipnja 2016. godine.

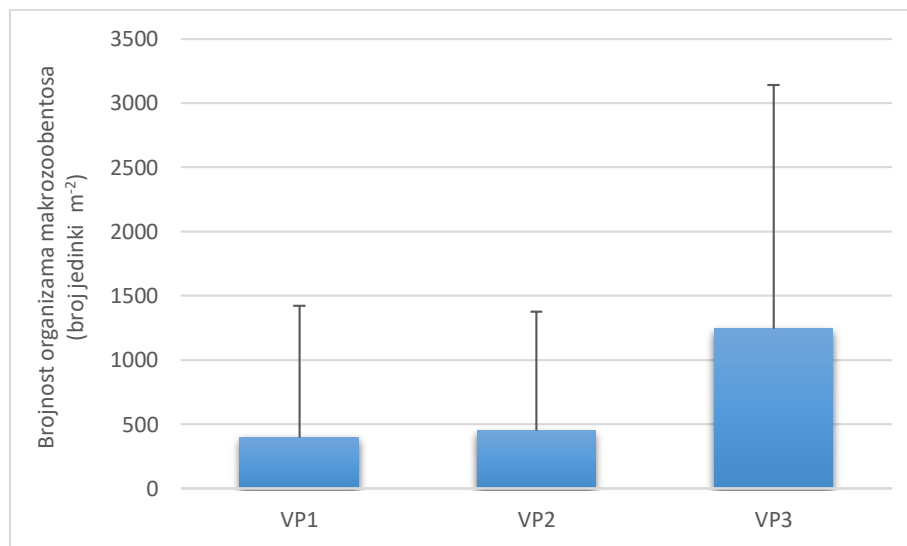
Tablica 1. Vrijednosti fizikalno – kemijskih parametara vode na istraživačkim postajama Velikog potoka u travnju i lipnju 2016. godine

Mjesec	Postaja	t _{vode} (°C)	O ₂ (mg L ⁻¹)	O ₂ (%)	pH	Konduktivitet (µS cm ⁻¹)	TDS (mg L ⁻¹)	KPK _{kalind04} (mg O ₂ L ⁻¹)	Alkalinitet (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	Ukupna tvrdća vode (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	N-NO ₂ ⁻ (mgL ⁻¹)	N-NO ₃ ⁻ (mgL ⁻¹)	P-PO ₄ ³⁻ (mgL ⁻¹)	Chl <i>a</i> (µg cm ⁻²)	Brazina strujanja vode (m s ⁻¹)		Dubina (cm)	
															Prosjeak	SD		Prosjeak
Travanj	VP1	11.9	10.34	99.2	8.39	355	170.8	2.121	130	160.20	0.096	3.406	0.028	5.254	0.33	0.02	9.2	1.0
	VP2	15	10.22	103.8	8.52	438	205.8	2.200	160	204.70	0.134	3.771	0.054	6.660	0.31	0.15	12.5	2.3
	VP3	16	9.99	102.9	8.61	419	203	2.357	165	206.48	0.146	4.065	0.072	4.625	0.33	0.05	16.6	0.5
Lipanj	VP1	17.8	8.91	97.4	8.46	370	178.2	2.121	130	160.20	0.096	3.406	0.028	11.600	0.07	0.06	12.8	5.3
	VP2	25.1	9.16	113.8	8.72	412	199	2.200	160	204.70	0.134	3.771	0.054	6.660	0.29	0.09	7.3	0.6
	VP3	26.6	10.4	132.5	8.9	210	100.1	2.357	165	206.48	0.146	4.065	0.072	4.625	0.11	0.06	15.3	0.3

4.2. Kvalitativan i kvantitativan sastav makrozoobentosa u uzorcima bentosa

4.2.1. Brojnost organizama makrozoobentosa

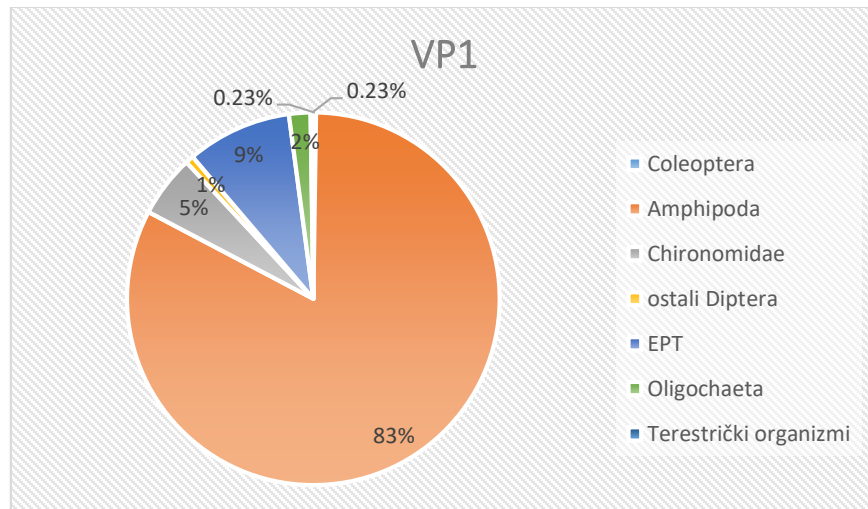
Kvantitativan sastav organizama u bentosu izražava se brojem jedinki po jedinici površine dna (m^2). Na Slici 5. su vidljive razlike u brojnosti organizama makrozoobentosa između svih triju postaja Velikog potoka. U prosjeku je najviše organizama (1245 ± 1896 jedinki m^{-2}) u bentosu nađeno na postaji VP3, dok je na postaji VP1 nađeno oko trostruko manje organizama (397 ± 1026 jedinki m^{-2}) (Slika 1). Provedenim Kruskal-Wallis testom utvrđeno je da postoji statistički značajna razlika u brojnosti organizama makrozoobentosa samo između prve (VP1) i treće (VP3) postaje ($H(2, N = 88) = 10,09, p = 0,0064$).



Slika 5. Prosječna brojnost organizama makrozoobentosa (\pm SD) na tri istraživane postaje tijekom razdoblja istraživanja

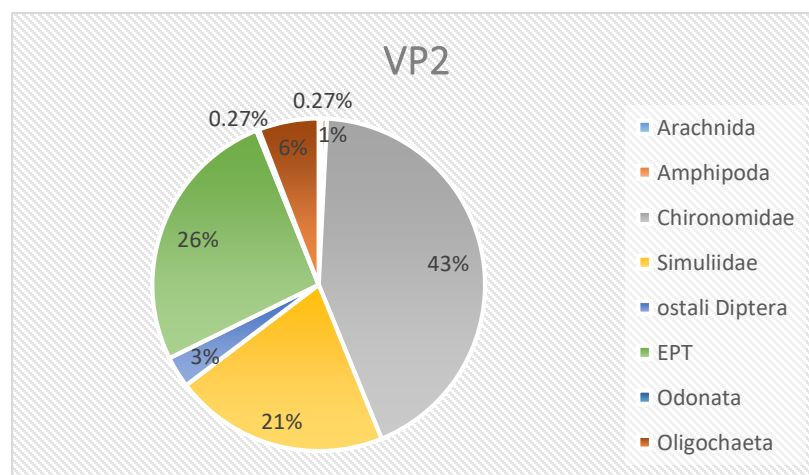
4.2.2. Zastupljenost taksonomskih skupina makrozoobentosa u bentosu

Zastupljenost taksonomskih skupina makrozoobentosa u uzorcima bentosa s postaje VP1 tijekom razdoblja istraživanja prikazana je prosječnim udjelima pojedinih skupina na Slici 6. Tijekom razdoblja istraživanja na postaji VP1 najbrojnija taksonomska skupina makrozoobentosa su bili Amphipoda (83%). Udio predstavnika EPT-svojtji iznosio je 9%, Chironomidae 5% i Oligochaeta 2%. Predstavnici različitih porodica reda Diptera (izuzev Chironomidae i Simuliidae) zauzimali su tek 1% od ukupnog broja organizama makrozoobentosa u uzorcima bentosa s postaje VP1. Iz uzoraka bentosa s postaje VP1 izolirani su još i terestrički organizmi (0,23%) te organizmi skupine Coleoptera (0,23%).



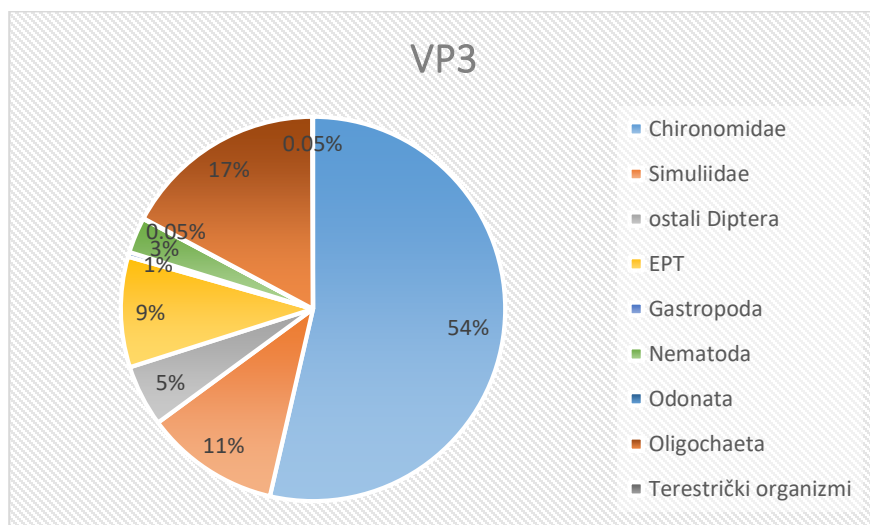
Slika 6. Prosječni udjeli pojedinih taksonomskih skupina makrozoobentosa u uzorcima bentosa s postaje VP1 tijekom razdoblja istraživanja

Zastupljenost taksonomskih skupina makrozoobentosa u uzorcima bentosa s postaje VP2 tijekom razdoblja istraživanja prikazana je prosječnim udjelima pojedinih skupina na Slici 7. Tijekom razdoblja istraživanja na postaji VP2 najbrojnija taksonomska skupina makrozoobentosa bili su predstavnici dvokrilaca iz porodice Chironomidae (43%). Nakon njih, značajan udio od 26% činili su predstavnici EPT-svojtji. Na VP2 postaji se pojavila i taksonomska skupina Simuliidae (21%). Manje zastupljene taksonomske skupine na postaji VP2 bili su Oligochaeta (6%), Amphipoda (1%) te predstavnici različitih porodica reda Diptera (izuzev Chironomidae i Simuliidae) (3%). Predstavnici taksonomskih skupina Odonata i Arachnida također su izolirani iz uzoraka bentosa s postaje VP2, ali prosječni udjeli bili su im 0,27%.



Slika 7. Prosječni udjeli pojedinih taksonomskih skupina makrozoobentosa u uzorcima bentosa s postaje VP2 tijekom razdoblja istraživanja

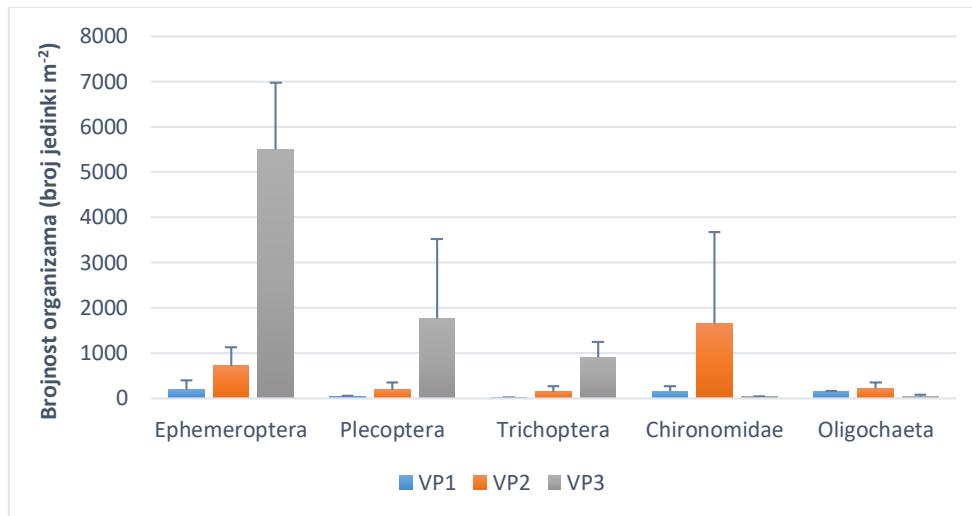
Zastupljenost taksonomskih skupina makrozoobentosa u uzorcima bentosa s postaje VP3 tijekom razdoblja istraživanja prikazana je prosječnim udjelima pojedinih skupina na Slici 8. Tijekom razdoblja istraživanja na postaji VP3 najbrojnija taksonomska skupina makrozoobentosa bile su ličinke Chironomidae (54%). Oligochaeta su imali značajan udio od 17%, a slijedila ih je skupina Simuliidae sa 11%. Predstavnicima EPT-svojtji bili su zastupljeni s 9%, a od ostalih skupina iz uzoraka bentosa s postaje VP3 izolirani su predstavnici različitih porodica reda Diptera (izuzev Chironomidae i Simuliidae) (5%), Nematoda (3%), Gastropoda (1%), Odonata (0,05%) te terestrički organizmi (0,05%).



Slika 8. Prosječni udjeli pojedinih taksonomskih skupina makrozoobentosa u uzorcima bentosa s postaje VP3 tijekom razdoblja istraživanja

4.2.3. Usporedba brojnosti predstavnika najpoznatijih indikatorskih skupina u makrozoobentosu po istraživanim postajama

Indikatorski organizmi su organizmi taksonomskih skupina Chironomidae i Oligochaeta te organizmi EPT-svojtji, odnosno taksonomskih skupina Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera. Slika 9. prikazuje odnos brojnosti (broj jedinki m⁻²) indikatorskih organizama između istraživanih postaja. Prema Slici 9. mogu se uočiti razlike u brojnosti predstavnika pojedinih skupina između postaja. Postaja VP3 najznačajnije odstupa od postaja VP1 i VP2 prema brojnosti indikatorskih organizama. Na postaji VP3 se može uočiti kako je veći broj jedinki Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera nego na ostale dvije postaje. Na postaji VP2 opaža se veći broj jedinki skupine Chironomidae. Broj jedinki Oligochaeta je otprilike jednak na svim istraživanim postajama. Kako bi se utvrdilo jesu li opažene razlike u brojnosti indikatorskih organizama (EPT-svojtje, Chironomidae, Oligochaeta) statistički značajne, proveden je Kruskal-Wallis test te je utvrđeno kako niti za jednu skupinu nema statistički značajne razlike između istraživanih postaja ($p > 0,05$).

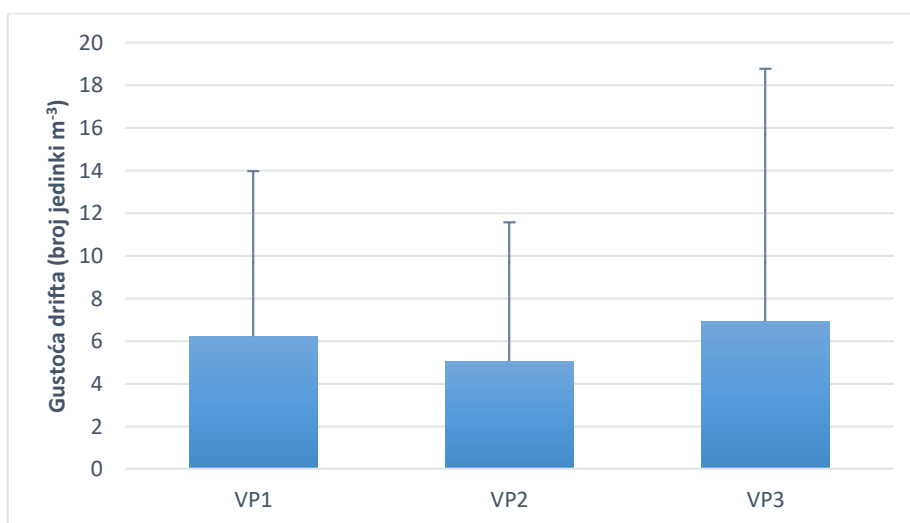


Slika 9. Brojnost predstavnika najpoznatijih indikatorskih skupina makrozoobentosa u bentosu na istraživanim postajama tijekom razdoblja istraživanja

4.3. Kvalitativan i kvantitativan sastav makrozoobentosa u uzorcima drifta

4.3.1. Gustoća drifta

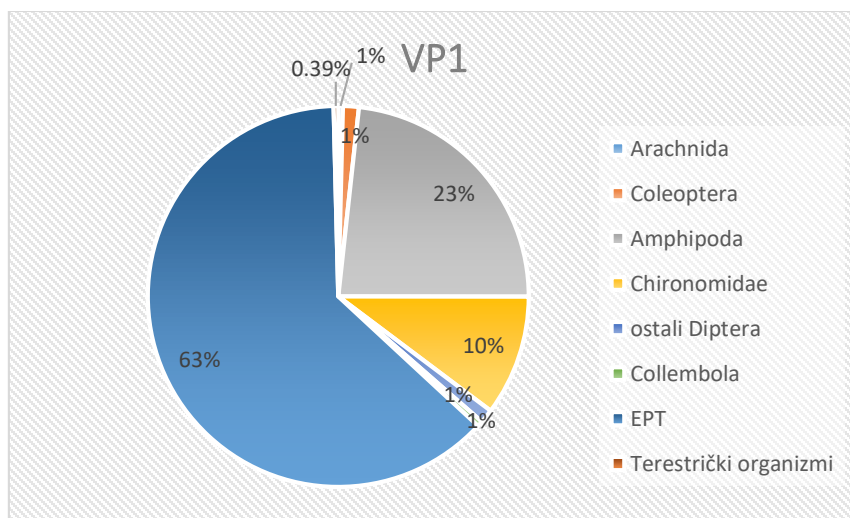
Kvantitativan sastav organizama u driftu izražava se gustoćom, odnosno brojem jedinki po jedinici volumena vode (m^3), a prikazan je na Slici 10. Proučavana je razlika u gustoći drifta između tri istraživane postaje tijekom proljeća 2016. godine te se može uočiti kako postoji određena razlika u gustoći drifta između postaja. U prosjeku, najveći broj organizama u driftu pronađen je na postaji VP3 (7 ± 12 jedinki m^{-3}), a najmanji broj organizama na postaji VP2 (5 ± 7 jedinki m^{-3}). Provedenim Kruskal-Wallis testom utvrđeno je kako nema statistički značajne razlike u gustoći drifta između istraživanih postaja ($p > 0,05$).



Slika 10. Prosječna gustoća drifta (\pm SD) na tri istraživane postaje tijekom razdoblja istraživanja

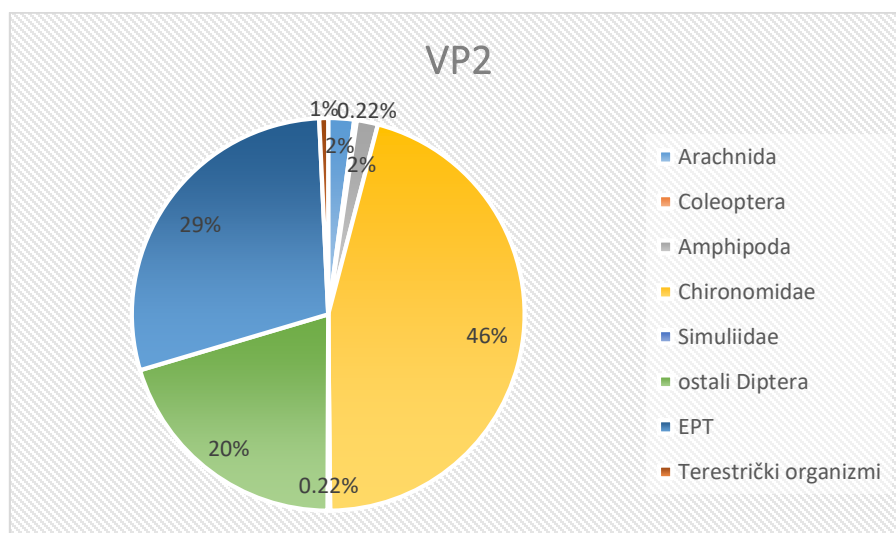
4.3.2. Zastupljenost taksonomskih skupina makrozoobentosa u driftu

Zastupljenost taksonomskih skupina makrozoobentosa u uzorcima drifta s postaje VP1 tijekom razdoblja istraživanja prikazana je prosječnim udjelima pojedinih skupina na Slici 11. Tijekom razdoblja istraživanja, na postaji VP1, najbrojnija taksonomska skupina makrozoobentosa bili su predstavnici EPT-svojtji (63%), a sa značajnim udjelima bili su zastupljeni i Amphipoda (23%) i Chironomidae (10%). Ostale taksonomske skupine čiji su organizmi izolirani iz uzoraka drifta s postaje VP1 bili su zastupljeni s udjelima $\leq 1\%$: Coleoptera (1%), Arachnida (1%), Collembola (1%), predstavnici različitih porodica reda Diptera (izuzev Chironomidae i Simuliidae) (1%) i terestrički organizmi (0,39%).



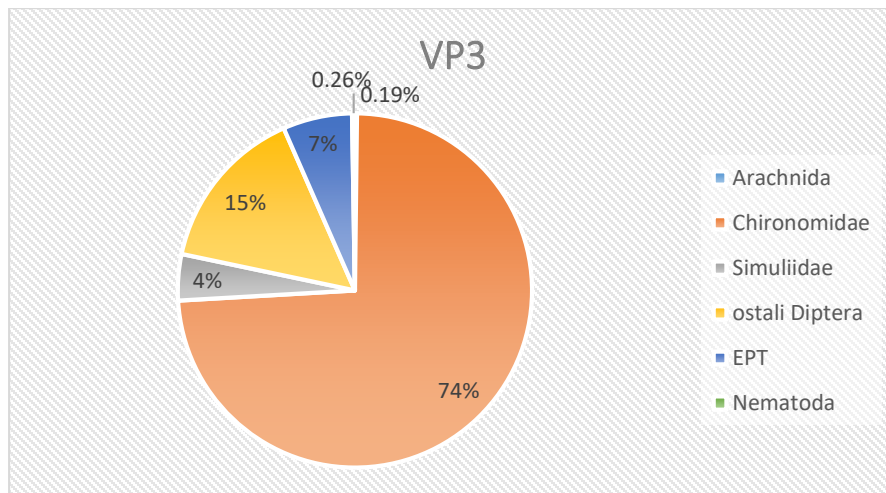
Slika 11. Prosječni udjeli pojedinih taksonomskih skupina makrozoobentosa u uzorcima drifta s postaje VP1 tijekom razdoblja istraživanja

Tijekom razdoblja istraživanja, najbrojnija taksonomska skupina makrozoobentosa u uzorcima drifta na postaji VP2 bile su Chironomidae (46%) (Slika 12). Na postaji VP2 sa značajnim udjelima bili su zastupljeni i predstavnici EPT-svojtji (29%) te predstavnici različitih porodica reda Diptera (izuzev Chironomidae i Simuliidae) (20%). Ostale taksonomske skupine čiji su organizmi izolirani iz uzoraka drifta s postaje VP2 bili su malobrojni, odnosno zastupljeni s $\leq 2\%$: Arachnida (2%), Amphipoda (2%), terestrički organizmi (1%), Coleoptera (0,22%) i Simuliidae (0,22%).



Slika 12. Prosječni udjeli pojedinih taksonomskih skupina makrozoobentosa u uzorcima drifta s postaje VP2 tijekom razdoblja istraživanja

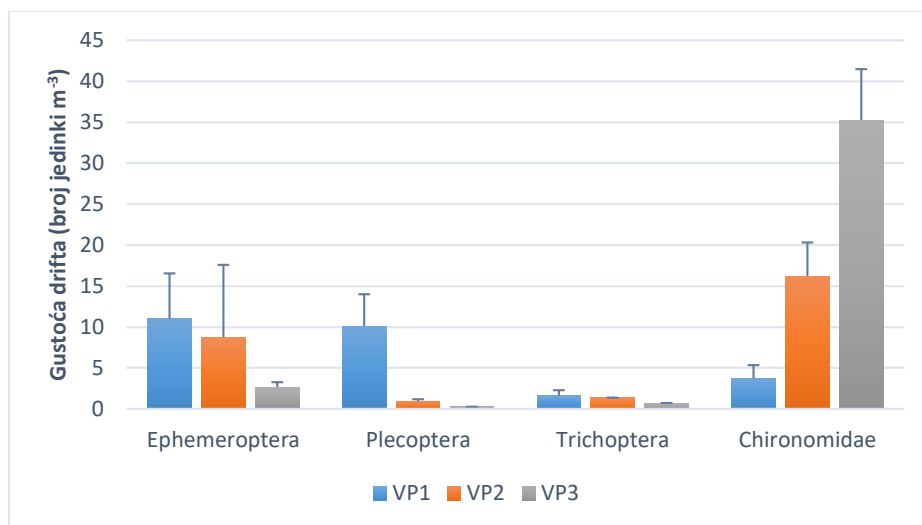
Tijekom razdoblja istraživanja na postaji VP3 najbrojnija taksonomska skupina makrozoobentosa u driftu bili su predstavnici skupine Chironomidae (74%) (Slika 13). Ovdje su u driftu bili brojni (15% od ukupnog broja organizama) i predstavnici različitih porodica reda Diptera (izuzev Chironomidae i Simuliidae), a predstavnici EPT-svojni bili su zastupljeni sa 7%. Tek 4% makrozoobentosa u driftu činile su Simuliidae, dok su Nematoda bili zastupljeni s 0,26% , a Arachnida s 0,19%.



Slika 13. Prosječni udjeli pojedinih taksonomskih skupina makrozoobentosa u uzorcima drifta s postaje VP3 tijekom razdoblja istraživanja

4.3.3. Usporedba gustoće drifta predstavnika najpoznatijih indikatorskih skupina makrozoobentosa po istraživanim postajama

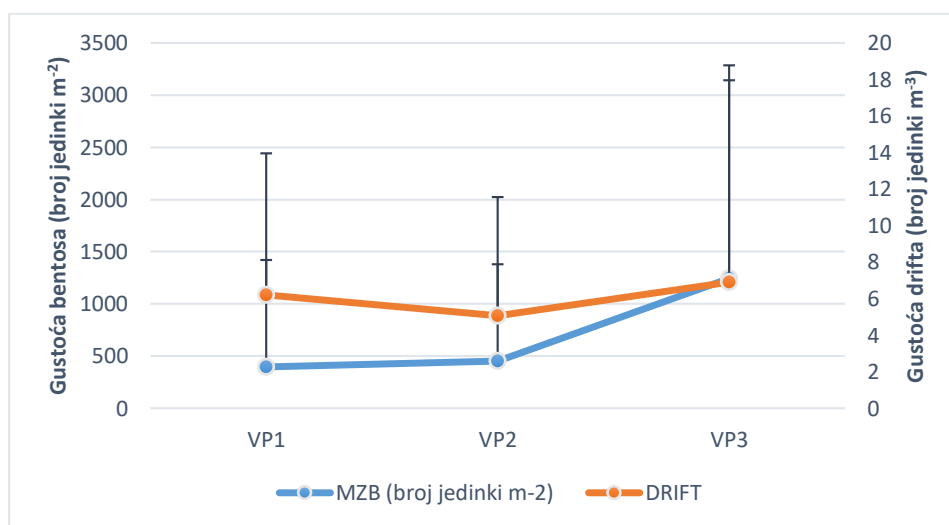
Slika 14. prikazuje odnos gustoća drifta za odabrane indikatorske organizame između istraživanih postaja. Prema Slici 14. mogu se uočiti razlike u gustoći pojedinih skupina između postaja. Chironomidae se većom gustoćom ističu na postajama VP2 i VP3 u odnosu na postaju VP1, dok se Ephemeroptera i Plecoptera većom gustoćom ističu na postaji VP1 u odnosu na postaje VP2 i VP3. Gustoća Trichoptera podjednaka je na svim istraživanim postajama. Kako bi se utvrdilo postoji li statistički značajna razlika u gustoći indikatorskih organizama u driftu proveden je Kruskal-Wallis test, kojim je utvrđeno kako postoji statistički značajna razlika samo za gustoću Chironomidae u driftu, kojima je gustoća na postaji VP3 značajno veća nego na postaji VP1 ($H(2, N=8) = 6,25, p = 0,0439$).



Slika 14. Gustoća predstavnika najpoznatijih indikatorskih skupina makrozoobentosa u driftu na istraživanim postajama tijekom razdoblja istraživanja

4.4. Naklonost organizama makrozoobentosa driftu

Temeljem podataka o gustoći organizama u driftu i bentosu analizirala se naklonost organizama (*engl.* drift propensity) makrozoobentosa driftu, što je prikazano Slikom 15. Naklonost organizama makrozoobentosa driftu najveća je na postaji VP1 (1,6%), nešto manja na postaji VP2 (1,2%), a najmanja je na postaji VP3 (0,6%).



Slika 15. Naklonost organizama makrozoobentosa driftu (\pm SD) na istraživanim postajama tijekom razdoblja istraživanja

Tijekom analize naklonosti organizama makrozoobentosa driftu, analizirala se i naklonost indikatorskih organizama makrozoobentosa driftu, koja je prikazana Tablicom 2. Utvrđeno je kako najveću naklonost driftu na postaji VP1 imaju Plecoptera (28,3%), na postaji VP2 Ephemeroptera (1,2%), a na postaji VP3 Chironomidae (115,0%).

Tablica 2. Naklonost indikatorskih organizama makrozoobentosa driftu na istraživanim postajama tijekom razdoblja istraživanja

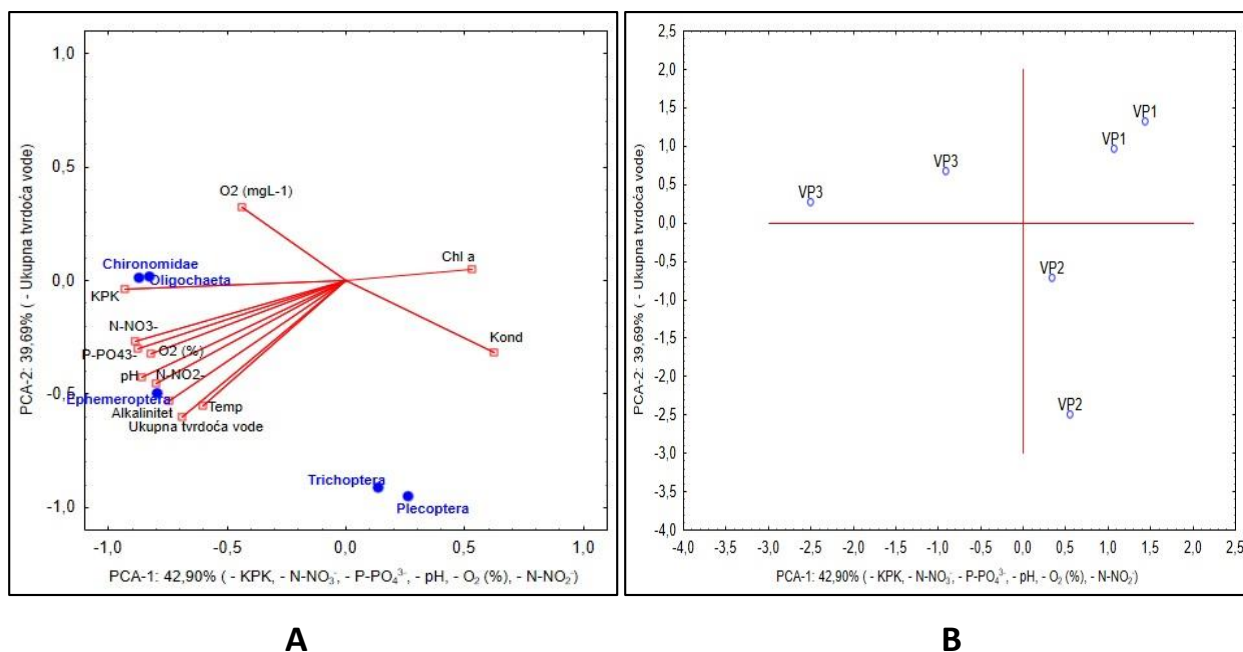
	VP1	VP2	VP3
EPHEMEROPTERA	5.6%	1.2%	0.0%
PLECOPTERA	28.3%	0.5%	0.0%
TRICHOPTERA	7.9%	0.9%	0.1%
CHIRONOMIDAE	2.4%	1.0%	115.0%
OLIGOCHAETA	0.0%	0.0%	0.0%

4.5. Utjecaj okolišnih čimbenika na sastav makrozoobentosa i gustoću drifta na istraživanim postajama

4.5.1. Bentos

Utjecaj okolišnih čimbenika na sastav makrozoobentosa u bentosu pokušao se utvrditi Principal Component analizom (PCA). Rezultati PCA analize su prezentirani na ordinacijskim dijagramima (Slika 16. A i B). Za bentos, prve dvije najvažnije PCA komponente (PCA-1 i PCA-2) objašnjavaju 82,59% odnosa brojnosti organizama makrozoobentosa i okolišnih čimbenika (Slika 16. A). PCA os 1 najviše (i to negativno; $R \leq -0,80$) korelira s KPK ($R = -0,93$), $N-NO_3^-$ ($R = -0,89$), $P-PO_4^{3-}$ ($R = -0,88$), pH ($R = -0,86$), O_2 (%) ($R = -0,82$) i $N-NO_2^-$ ($R = -0,80$), dok PCA os 2 najviše (također negativno) korelira s ukupnom tvrdoćom vode ($R = -0,60$). Prema PCA-ordinaciji (Slika 16. A), brojnost Trichoptera i Plecoptera u bentosu raste u područjima nižih vrijednosti KPK, $N-NO_3^-$, $P-PO_4^{3-}$, pH, O_2 (%) i $N-NO_2^-$. U odnosu na Trichoptera i Plecoptera, brojnost Ephemeroptera, a posebice Chironomidae i Oligochaeta, se može očekivati da raste na staništima niže ukupne tvrdoće vode. Prema ordinaciji pojedinih postaja s obzirom na brojnost makrozoobentosa (Slika 16. B) i usporedbom (preklapanjem) te ordinacije s vektorima okolišnih čimbenika (Slika 16. A), uočava se da su, u usporedbi s postajom

VP3, postaje VP1 i VP2 grupirane u području nižih vrijednosti KPK, N-NO_3^- , P-PO_4^{3-} , pH, O_2 (%) i N-NO_2^- (s desne strane PCA-ordinacije), a u odnosu na postaju VP2, postaje VP1 i VP3 su grupirane u području niže ukupne tvrdoće vode. Prema toj ordinaciji, postaje VP1 i VP3 se razlikuju upravo po tome što postaja VP1 ima niže vrijednosti KPK, N-NO_3^- , P-PO_4^{3-} , pH, O_2 (%) i N-NO_2^- . Također, u PCA-ordinaciji, postaja VP2 smjestila se u isti kvadrant (Slika 16. B) s Plecoptera i Trichoptera (Slika 16. A), dok se Chironomidae i Oligochaeta preklapaju s položajem postaje VP3 u PCA-ordinaciji, što sugerira na kojim postajama su zabilježene povećane brojnosti navedenih skupina organizama.

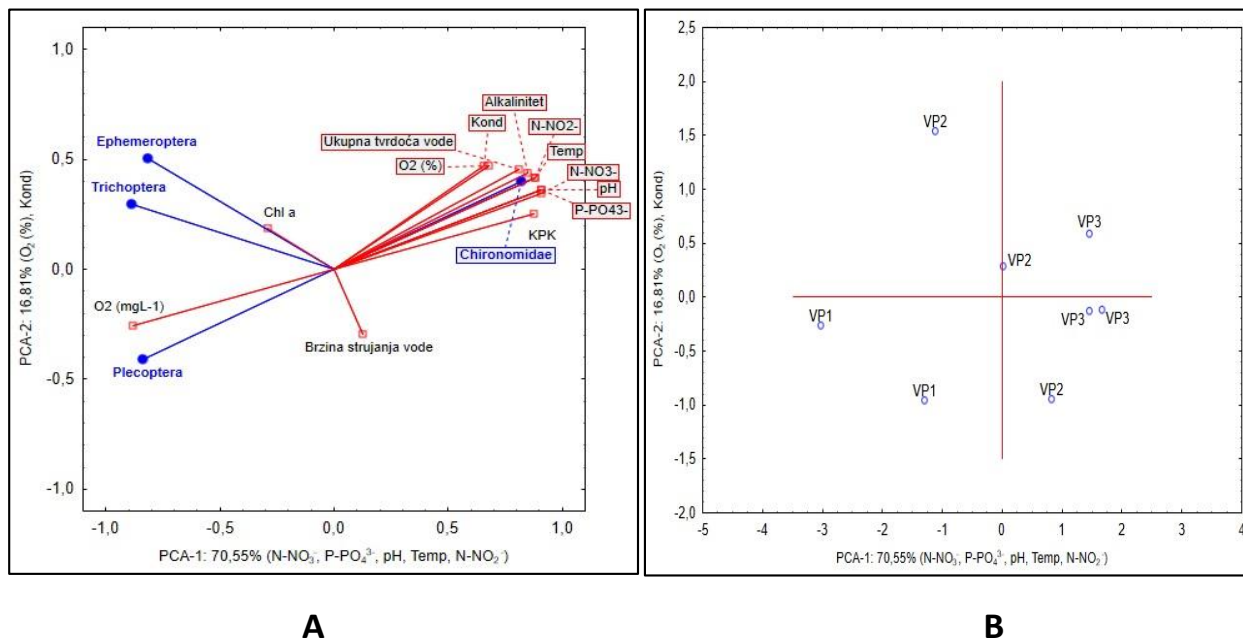


Slika 16. Ordinacijski dijagrami A i B ovisnosti sastava makrozoobentosa u bentosu, na istraživanim postajama, o utjecaju okolišnih čimbenika

4.5.2. Drift

Za drift, prve dvije najvažnije PCA komponente (PCA-1 i PCA-2) objašnjavaju 87,36% odnosa gustoće drifta i okolišnih čimbenika (Slika 17. A). PCA os 1 najviše (i to pozitivno; $R \geq 0,88$) korelira s N-NO_3^- ($R = 0,91$), P-PO_4^{3-} ($R = 0,91$), pH ($R = 0,90$), Temp ($R = 0,88$) i N-NO_2^- ($R = 0,88$), dok PCA os 2 najviše (također pozitivno) korelira s O_2 (%) ($R = 0,47$) i Kond ($R = 0,47$). Prema PCA ordinaciji (Slika 17. A), gustoća Trichoptera i Ephemeroptera raste u područjima viših vrijednosti O_2 (%) i Kond. U odnosu na Plecoptera, Trichoptera i Ephemeroptera, gustoća Chironomidae raste u područjima viših vrijednosti

pH, Temp, N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, P-PO₄³⁻. Prema ordinaciji pojedinih postaja s obzirom na gustoću drifta (Slika 17. B) i usporedbom (preklapanjem) te ordinacije s vektorima okolišnih čimbenika (Slika 17. A), uočava se da su, u usporedbi s postajom VP1, postaje VP2 i VP3 grupirane u području viših vrijednosti pH, Temp, N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, P-PO₄³⁻ (s desne strane PCA ordinacije). Također, u PCA-ordinaciji, postaja VP1 smjestila se u isti kvadrant (Slika 17. B) s Plecoptera (Slika 17. A), dok se Ephemeroptera i Trichoptera u određenoj mjeri preklapaju s položajem postaje VP2 u PCA-ordinaciji, a Chironomidae s položajem postaje VP3 u PCA-ordinaciji, što sugerira na kojim postajama su zabilježene povećane gustoće navedenih skupina organizama.



Slika 17. Ordinacijski dijagrami **A** i **B** ovisnosti gustoće drifta, na istraživanim postajama, o utjecaju okolišnih čimbenika

5. Diskusija

5.1. Fizikalno-kemijski parametri vode

Temperatura potoka je važna varijabla koja utječe na mnoge procese u potoku, kao što je razgradnja lišća i život beskralježnjaka (Paul i Meyer, 2001). Temperatura vode urbanih potoka povišena je radi uklanjanja obalne vegetacije (čime se smanjuje zasjenjenost potoka), smanjene opskrbe iz podzemnih voda te utjecanja raznih vrsta otpadnih voda (Paul i Meyer, 2001; EPA, 2017). U donjim dijelovima toka Velikog potoka izmjerena je temperatura za otprilike 6,4 °C viša nego što je u gornjem dijelu toka. Paul i Meyer (2001) u svom radu navode kako je u urbanim potocima na Long Islandu, u ljetnim mjesecima, izmjerena temperatura vode viša za 5-8 °C od prosječne. Donji dijelovi toka Velikog potoka izmijenjene su morfologije zbog prilagodbe ljudskim aktivnostima te je samim time smanjena zasjenjenost potoka, a dno je promijenjeno zbog kanaliziranja te su to vjerojatni razlozi povišenja prosječne temperature vode u tom dijelu Velikog potoka. Na zabilježene temperature vode tijekom ovog istraživanja vjerojatno je utjecalo i vrijeme uzorkovanja, odnosno terenskih mjerenja. Naime, sve postaje Velikog potoka obiše su se u jednom danu, na način da su gornji dijelovi toka (postaja VP1) uzorkovani ranije ujutro, a donji dijelovi toka otprilike tijekom podneva (postaja VP2) i u poslijepodnevnom satima (postaja VP3). Uslijed dnevnih oscilacija temperature zraka, mijenja se i temperatura vode u urbanim potocima (Paul i Meyer, 2001; Curell i sur., 2018; Haas i sur., 2019), a tijekom proljeća temperature zraka (a time i vode) najčešće rastu od jutarnjih do poslijepodnevnih sati.

Osim što mijenja svjetlosne i temperaturne režime urbanih potoka, eliminacija obalne vegetacije mijenja i unos čestica hranjivih tvari u potoke (Meyer, 2010), a povišene razine hranjivih tvari i svjetlosti nadalje mogu pogodovati većoj biomasi algi (i posljedično povišenoj koncentraciji klorofila *a*) u urbanim potocima (Chessman i sur., 1992; Richards i Host, 1994). Izmjerene vrijednosti koncentracije klorofila *a* u Velikom potoku pokazuju kako je koncentracija klorofila *a* zapravo veća u gornjem dijelu toka za razliku od donjih dijelova toka. Razlozi smanjenja biomase algi, a samim time i klorofila *a*, u donjim dijelovima toka Velikog potoka mogu biti prisutnost metala i herbicida u vodi, kao i promjenjivi protoci i bujice (nestabilni supstrati), koji uzrokuju odstranjivanje algi s potočnog dna i/ili pojačanu zamućenost vode (Meyer, 2010). Donji dijelovi toka Velikog potoka (postaje VP2 i VP3) izloženi su antropogenom utjecaju kroz razne komunalne i poljoprivredne djelatnosti, čime se povećava koncentracija otrovnih tvari (pesticida i gnojiva) u vodi koje mogu utjecati na koncentraciju klorofila *a*. Osim toga, nizvodni dijelovi Velikog potoka su i

kanalizirani, što utječe na protok vode, a potom i na koncentracije tvari otopljenih i/ili suspendiranih u vodi (Paul i Meyer, 2001).

Uzevši u obzir povišenje temperature urbanih potoka, u urbanim potocima je česta pojava i smanjena koncentracija otopljenog kisika (EPA, 2017; Bernhardt i Palmer, 2007; Paul i Meyer, 2001). Međutim, vrijednosti koncentracije otopljenog kisika u vodi i zasićenja vode kisikom bile su veće u donjim dijelovima toka Velikog potoka (postaje VP2 i VP3) usprkos povišenoj temperaturi vode. Uzrok tih povišenih vrijednosti najvjerojatnije je promjena morfologije potoka, odnosno kanaliziran i ujednačen tok, i smanjenje zasjenjenja nad potokom (EPA, 2017) u odnosu na uzburkani i vijugavi tok u uzvodnom i zasjenjenom području prirodnog toka.

Količina otopljene organske tvari izmjerena je indirektno kemijskom potrošnjom kisika. Walsh i sur. (2005) navode kako je u potocima Atlante i Georgie, regija s velikim utjecajem urbanizacije, zabilježena mala količina otopljene organske tvari. Međutim, u nekim urbanim potocima može doći do povećanog unosa organske tvari i njihovog zadržavanja, što se smatra posljedicom povećanog unosa lišća koje opada s drveća nad potokom (Walsh i sur., 2005). Do povećane količine otopljenih organskih tvari u urbanim potocima može doći i iz raznovrsnih antropogenih izvora (Paul i Meyer, 2001), a već je navedeno kako donji dijelovi toka Velikog potoka prolaze kroz brojna naselja i pod neposrednim su antropogenim utjecajem, što je najizgledniji uzrok povećane količine otopljenih organskih tvari u nizvodnom području Velikog potoka. Antropogeni izvori otopljene organske tvari u urbanim potocima su različitog porijekla, a neki od izvora su industrijski ispusti, parkirališta (s kojih oborinska voda ispire razne tvari u potoke) te farmaceutske supstance iz bolničkih ispusta (Paul i Meyer, 2001).

Vrijednosti konduktiviteta, pH, alkaliniteta, ukupne tvrdoće vode i TDS-a obično su povišene u urbanim potocima ukoliko je prisutno kemijsko onečišćenje (Paul i Meyer, 2001). Za urbane potoke je karakteristična povišena koncentracija raznih vrsta iona (magnezijevi, kalcijevi, kloridni ioni), a samim time je karakteristična i visoka vrijednost konduktiviteta (EPA, 2017; Paul i Meyer, 2001). Koncentracija većine iona (magnezijevih i kalcijevih) u korelaciji je s upotrebom zemlje oko slivnih područja. Povišene koncentracije navedenih iona moguće su zbog dotoka otpadnih voda s raznih poljoprivrednih područja koja koriste pesticide i gnojiva za uzgoj i/ili održavanje biljaka (Potasznik i Szyrmezyk, 2015). Kloridni ioni su povišeni u urbanim potocima posebno u gradovima u kojima se natrijev klorid koristi kao sol za odmrzavanje prometnica (Paul i Meyer, 2001). Provedenim mjerenjima na postajama duž Velikog potoka, najviša vrijednost konduktiviteta je izmjerena na donjim dijelovima toka (postaje VP2 i VP3) što se poklapa s navedenim istraživanjima. S obzirom da je poznato da se u Zagrebu prometnice posipaju natrijevim

kloridom radi odmrzavanja, može se pretpostaviti da će u donjim dijelovima toka Velikog potoka (postaje VP2 i VP3) biti povišena koncentracija kloridnih iona, a povišene koncentracije kalcijevih i magnezijevih iona najvjerojatnije nastaju uslijed izloženosti donjih dijelova toka Velikog potoka (postaje VP2 i VP3) antropogenom utjecaju, odnosno komunalnim, hortikulturnim i poljoprivrednim djelatnostima. Ukupna tvrdoća vode također ovisi o ionima kalcija i magnezija čije su razine povišene u urbanim potocima (EPA, 2017; Paul i Meyer, 2001). Najveća ukupna tvrdoća vode zabilježena je upravo u donjim dijelovima toka Velikog potoka. Vrijednosti pH su uglavnom bile podjednake duž cijelog toka Velikog potoka, no ipak su postojale razlike koje se mogu primijetiti ako se pogledaju standardni za ocjenu ekološkog stanja površinskih voda (Uredba o standardu kakvoće vode, 2019). Opažena razlika je mala, ali opet dovoljno velika da se gornji tok Velikog potoka, prema pH vrijednosti vode, može svrstati u vrlo dobru kategoriju, a donji dijelovi toka u dobru kategoriju ekološkog stanja površinskih voda (Uredba o standardu kakvoće vode, 2019). Time je utvrđeno da urbanizacija i nije znatno utjecala na pH vrijednosti vode, jer su još uvijek u granicama dobrog ekološkog stanja. Najviši alkalinitet utvrđen je u donjim dijelovima toka Velikog potoka, što je vjerojatno posljedica dotoka otpadnih voda iz različitih antropogenih izvora (npr., iz kućanstava, gospodarskih objekata), koje uvelike mogu utjecati na promjenu pH vrijednosti vode. Visoki alkalinitet obično upućuje na promjene u vrijednostima pH koje opisuju blago lužnate uvjete (Kaushal i sur., 2020).

Dotokom otpadnih voda u urbane potoke, povećava se i koncentracija hranjivih tvari. Koncentracije nitrita, nitrata i fosfata povećane su u urbanim potocima, u odnosu na prirodne potoke, zbog ispusta iz kanalizacije, raznih industrijskih pogona, farmaceutskih istraživačkih instituta ili iz gradskih parkova i/ili sporadičnih poljoprivrednih površina, gdje se koriste razni pesticidi i gnojiva za uzgoj i/ili održavanje biljaka te oborinske vode koja dotječe u potoke s okolnih prometnica i parkirališta, gdje se zagađuje raznim onečišćivačima (EPA, 2017; Bernhardt i Palmer, 2007; Paul i Meyer, 2001; Duncan i sur., 2017). Povišene koncentracije nitrita, nitrata i fosfata zabilježene u donjim dijelovima Velikog potoka (postaje VP2 i VP3) vjerojatno su posljedica neposrednih gusto naseljenih gradskih četvrti, odnosno blizine kućanstava pa čak i poljoprivredne djelatnosti (koja je opažena u sklopu kućanstava u okolici postaje VP2). Osim toga, donji tok potoka (postaja VP3) prolazi kroz tvornički okrug farmaceutskog istraživačkog instituta „Pliva Hrvatska d.o.o.“, koji također u određenoj mjeri može biti izvor hranjivih tvari. Koncentracija nitrata u površinskim, čistim vodama je niska (otprilike 1 mg L^{-1}) (EPA, 2012), dok je u donjim dijelovima toka Velikog potoka (postaje VP i VP3) zabilježena koncentracija veća za oko 3 mg L^{-1} , što ukazuje na utjecaj urbanizacije na koncentraciju nitrata. No, u vodi za opskrbu ljudi (za piće), granična koncentracija nitrata je 10 mg L^{-1} (Oram, 2014), prema čemu voda Velikog potoka sa svojom koncentracijom nitrata ne prelazi navedenu

graničnu vrijednost. Za razliku od koncentracije nitrata, koncentracija nitrita u vodi za opskrbu ljudi ne bi smjela iznositi više od 1 mg L^{-1} (Oram, 2014). Najveća izmjerena koncentracija nitrita u Velikom potoku tijekom ovog istraživanja bila je $0,146 \text{ mg L}^{-1}$, što ne prelazi navedenu graničnu vrijednost. Maksimalna vrijednost koncentracije fosfata koja se može dopustiti u površinskim vodama i koja ne uzrokuje ubrzanu eutrofikaciju je $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, a za površinske, čiste vode karakteristična je koncentracija fosfata od $0,01$ do $0,03 \text{ mg L}^{-1}$ (Oram, 2014). Najveća zabilježena koncentracija fosfata u donjim dijelovima toka Velikog potoka (postaja VP3) iznosila je oko $0,07 \text{ mg L}^{-1}$, iz čega se može zaključiti kako je koncentracija fosfata u donjim dijelovima toka Velikog potoka povišena, ali ne prelazi granicu od $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ koja bi uzrokovala ubrzanu eutrofikaciju. Međutim, koncentracija od $0,07 \text{ mg L}^{-1}$ stimulira rast biljaka (Oram, 2014). Koncentracije nitrita i fosfata u gornjem dijelu toka Velikog potoka (postaja VP1) ukazuju na nezagađenost gornjeg dijela toka, jer su koncentracije u granicama normalnih vrijednosti (do 1 mg L^{-1} za nitrite i do $0,03 \text{ mg L}^{-1}$ za fosfate). Koncentracija nitrata je povišena i u gornjem dijelu toka Velikog potoka, ali i dalje ne prelazi graničnu vrijednost od 10 mg L^{-1} (Oram, 2014).

Statistički značajna razlika između postaja Velikog potoka zabilježena je samo za dubinu potoka, što se može povezati s promijenjenom morfologijom potoka. Potoci se kanaliziraju u svrhu umjetne regulacije, što podrazumijeva nanošenje slojeva betona na potočno dno, čime se smanjuje propusnost tla i povećava površinsko otjecanje (Paul i Meyer, 2001). Samim time, uslijed obilnijih padalina, može doći do intenzivnih bujica, čime se pojačava erozija obale i produbljuje se kanal (Paul i Meyer, 2001). S obzirom da su donji dijelovi toka Velikog potoka kanalizirani, vjerojatnost povećanja dubine u tim dijelovima je velika što su rezultati mjerenja i pokazali. Brzine strujanja vode su uglavnom bile ujednačene na svim dijelovima toka Velikog potoka, premda mjerenja ukazuju da je u gornjem toku strujanje vode najsporije. Brzina strujanja vode također se povezuje s promijenjenom morfologijom urbanih potoka. Potoci se uglavnom pretvaraju u ravne kanale s bržim strujanjem vode (Paul i Meyer, 2001). Međutim, zbog približno jednakih brzina strujanja vode izmjerenih duž toka Velikog potoka, ne može se sa sigurnošću tvrditi da je urbanizacija ostavila značajan utjecaj na brzinu strujanja vode Velikog potoka.

Mann-Whitney U-testom utvrđeno je kako nema statistički značajne razlike u fizikalno-kemijskim parametrima vode između travnja i lipnja 2016. godine. Moguće je da ne postoji statistički značajna razlika upravo iz razloga što se travanj i lipanj smatraju proljetnim mjesecima, dakle ubrajaju se pod jednu sezonu. U nekim istraživanjima zabilježene su statistički značajne razlike u fizikalno-kemijskim parametrima između sezona, gdje je primjerice koncentracija nitrata bila veća u zimskim mjesecima, a manja u ljetnim mjesecima (Duncan i sur., 2017). Međutim, u pilot-istraživanju koje je uključivalo Veliki potok i koje se

provodilo tijekom dva tjedna u mjesecu listopadu navodi se kako u kratkom vremenskom razdoblju nema značajnih vremenskih razlika među većinom fizikalno-kemijskih parametara i da su jedini parametri koji značajno variraju u vrlo kratkom vremenskom razmaku konduktivitet i koncentracija nitrita (Haas i sur., 2019).

5.2. Kvalitativan i kvantitativan sastav makrozoobentosa u uzorcima bentosa

5.2.1. Brojnost organizama makrozoobentosa

Brojnost organizama makrozoobentosa raste u područjima većeg zasićenja hranjivim tvarima. Veće koncentracije hranjivih tvari rezultiraju većom primarnom produkcijom koja podupire veći broj organizama makrozoobentosa (Feuchtmayr i sur., 2007). Koncentracija hranjivih tvari povećava se u urbanim potocima posljedično s dotokom otpadnim voda iz industrijskih pogona, kanalizacije, kroz poljoprivredne djelatnosti te putem oborinske vode koja prelazi preko prometnica (EPA, 2017; Bernhardt i Palmer, 2007; Paul i Meyer, 2001; Duncan i sur., 2017). Ovim istraživanjem je utvrđena statistički značajna razlika u brojnosti organizama makrozoobentosa između gornjeg toka (postaja VP1) i donjih dijelova toka (postaja VP3) Velikog potoka. Utvrđeno je kako je u donjim dijelovima toka Velikog potoka veća ukupna brojnost organizama makrozoobentosa, što se može objasniti porastom brojnosti organizama makrozoobentosa s koncentracijom hranjivih tvari (u skladu s prethodno navedenom literaturom). Može se zaključiti kako je u donjim dijelovima toka Velikog potoka povećana koncentracija hranjivih tvari s obzirom na prolazak toka kroz stambeni dio grada Zagreba i farmaceutski istraživački okrug „Pliva Hrvatska d.o.o.“.

5.2.2. Zastupljenost taksonomskih skupina makrozoobentosa u bentosu

Prema nekim istraživanjima, utvrđeno je kako se u dijelovima potoka izloženih nekoj vrsti onečišćenja nastaloj djelovanjem čovjeka smanjuje raznolikost organizama makrozoobentosa (Paul i Meyer, 2001). Organizmi makrozoobentosa su manje ili više osjetljivi na abiotičke (npr. fizikalno-kemijske) čimbenike u slatkovodnom ekosustavu koji nastanjuju pa se stoga promjenom abiotičkih čimbenika često mijenja i struktura makrozoobentosa. Među organizmima makrozoobentosa poznati su predstavnici najpoznatijih indikatorskih skupina prema kojima je moguće odrediti kakvoću vode određenog dijela pojedinog potoka. EPT – svojte, odnosno ličinke skupina vodencvjetova (Ephemeroptera), obalčara (Plecoptera) i tulara (Trichoptera) osjetljive su na smanjene koncentracije kisika, velike promjene pH vrijednosti i temperature

vode, dok ličinke većine svojiti porodice Chironomidae, kao i predstavnici maločetinaša (Oligochaeta) toleriraju smanjene koncentracije kisika, promjene u pH vrijednostima vode te povišene temperature (Thorp i Chovich, 1991; Hauer i Resh, 2006). Ćuk i sur. (2011) navode kako u gornjim tokovima nekih tekućica na području grada Zagreba i Zagrebačke županije, za koje su ujedno utvrdili i da su područja čiste, nezagađene vode, dominiraju Amphipoda (prvenstveno vrsta *Gammarus fossarum*) i Ephemeroptera. Za donje tokove već navedenih tekućica, s utvrđenim određenim stupnjem zagađenja, karakterističan red bili su dvokrilci (Diptera) (Ćuk i sur., 2011). Gornji tok Velikog potoka (postaja VP1) protječe zagrebačkom planinom Medvednicom, koja je velikim dijelom obuhvaćena istoimenim zaštićenim Parkom prirode (Martinić, 2011) te je prema rezultatima mjerenja fizikalno-kemijskih parametara vode utvrđeno kako je voda gornjeg toka u dobrom ekološkom stanju. Taj navod također potvrđuje udio Amphipoda koji prevladavaju u uzorcima bentosa s gornjeg toka potoka. Prema Ćuk i sur. (2011), u gornjim tokovima zagrebačkih tekućica utvrđen je udio od 38,32% za red Amphipoda, dok je u gornjem toku Velikog potoka utvrđen udio od 83%. Udio EPT-svojiti u gornjem toku Velikog potoka u ovom istraživanju je manji za 23% od udjela zabilježenog u istraživanju Ćuk i sur. (2011), ali je također pokazatelj dobrog ekološkog stanja. Udio Chironomidae i Oligochaeta u gornjim dijelovima toka Velikog potoka je manji od udjela osjetljivih svojiti, čime se može potvrditi da je voda gornjeg toka u ekološki dobrom stanju, jer su prisutne skupine osjetljive na značajne promjene fizikalno-kemijskih parametara, a također je i velika raznolikost skupina makrozoobentosa. Za razliku od gornjeg toka Velikog potoka, donji dijelovi toka (postaje VP2 i VP3) imaju najveću zastupljenost porodice Chironomidae iz reda Diptera. Organizmi porodice Chironomidae izdvajane su posebno iz reda Diptera upravo zbog svoje važnosti kao indikatorskih organizama. Njihov veliki udio ukazuje na opterećenost vode iz koje su organizmi prikupljeni, što se utvrdilo i izmjerenim fizikalno-kemijskim parametrima, koji su pokazali kako su donji dijelovi toka pod velikim antropogenim utjecajem. Međutim, predstavnici EPT-svojiti bili su prisutni i u donjim dijelovima toka Velikog potoka što dovodi do pretpostavke da ti dijelovi možda nisu još došli do toliko velikog stupnja zagađenosti, ali dobiveni podatci (značajan udio tolerantnih skupina) svakako trebaju biti upozoravajući. Osim toga, moguće je da su predstavnici uzvodno otpušteni u drift (aktivno ili pasivno) te da su se pričvrstili nizvodno u donjim dijelovima toka. Također, raznolikost organizama makrozoobentosa u donjim dijelovima toka se nije smanjila, štoviše, povećala se. Mogući razlog je povećana koncentracija hranjivih tvari čime se i brojnost organizama povećava (Feuchtmayr i sur., 2007). Međutim, postoji opasnost od eutrofikacije uslijed velikog povećanja koncentracije hranjivih tvari koja bi mogla dovesti donje dijelove toka potoka do anoksičnih uvjeta čime bi se znatno smanjili broj i raznolikost organizama makrozoobentosa (EPA, 2017).

5.2.3. Usporedba brojnosti predstavnika najpoznatijih indikatorskih skupina u makrozoobentosu po istraživanim postajama

Već je navedeno koji su predstavnici najpoznatijih indikatorskih skupina u makrozoobentosu, a s obzirom na njihovu važnost, promatrana je njihova zastupljenost po postajama zasebno od ostalih skupina. Proveden je Kruskal-Wallis test i utvrđeno je kako zapravo nema statistički značajne razlike u brojnosti organizama indikatorskih skupina između istraživanih postaja (VP1, VP2, VP3) Velikog potoka, premda postotci zastupljenosti pokazuju razlike. Naime, usporedbom samo indikatorskih organizama po postajama moguće je uočiti kako je brojnost organizama EPT-svojt velika u donjim dijelovima toka Velikog potoka, što se u principu ne slaže s polaznom pretpostavkom istraživanja. Moguće je da donji dijelovi toka pokazuju promjene u fizikalno-kemijskim parametrima koji ukazuju na onečišćenost, ali je izgledno da onečišćenje u donjim dijelovima toka Velikog potoka još uvijek nije toliko, da bi osjetljivim organizmima kao što su EPT-svojte štetilo u velikoj mjeri. Također, moguće je da su iz nekog razloga predstavnici EPT-svojt ušli u drift u gornjem dijelu toka potoka te ih je struja vode donijela u donje dijelove toka.

5.3. Kvalitativan i kvantitativan sastav makrozoobentosa u uzorcima drifta

5.3.1. Gustoća drifta

Drift može biti uzrokovan fizikalnim promjenama i poremećajima unutar potočnog dna ili onečišćenjima usred pojačane urbanizacije (Svendsen i sur., 2004). Urbani potoci su uglavnom kanalizirani, ujednačenog toka i supstrata, s bržim strujanjem vode i manjim brojem mikrostaništa (Paul i Meyer, 2001). U takvim uvjetima, organizmi makrozoobentosa izloženi su većem riziku da ih brza struja vode odnese (Svendsen i sur., 2004), a sve veći nedostatak mikrostaništa prisilno ih tjera u drift, kako bi si pronašli novo mikrostanište. Drift uzrokovan antropogenim utjecajem naziva se katastrofičnim driftom i moguće je da se odvio u donjim dijelovima toka Velikog potoka (postaja VP3) zbog različitih (prethodno navedenih) antropogenih utjecaja. Međutim, Kruskal-Wallis testom nije utvrđena statistički značajna razlika gustoće drifta između istraživanih postaja (VP1, VP2, VP3) Velikog potoka, što može značiti da su organizmi makrozoobentosa jednostavno u drift ulazili prirodno - bilo pasivno ili aktivno. Gornji tok Velikog potoka (postaja VP1), za razliku od donjih dijelova toka (postaje VP2 i VP3), imao je vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara koje nisu upućivale na zagađenje, a gustoća drifta na tom području bila je podjednaka gustoći drifta u donjim dijelovima toka. Neka istraživanja navode kako organizmi makrozoobentosa češće ulaze u drift za vrijeme obilnih padalina i poplava, kada se sav sediment na dnu uzburka i pomakne (Paul i Meyer,

2001.; Wilcox i sur., 2008). S obzirom da je istraživanje provedeno u proljetnim mjesecima, travnju i lipnju, moguće je da su obilne padaline također uzrok podjednake gustoće drifta jer su za proljeće (pogotovo travanj) karakteristične obilnije padaline.

5.3.2. Zastupljenost taksonomskih skupina makrozoobentosa u driftu

U uzorku drifta s neke postaje moguće je pronaći organizme makrozoobentosa te određene postaje ili neke uzvodne postaje (Schmal i Sanders, 1978). Postoji pozitivna korelacija između gustoće drifta i brojnosti organizama makrozoobentosa u bentosu kojom se može objasniti mogući razlog drifta pojedinih skupina. Područja s velikom brojnošću organizama makrozoobentosa u bentosu uslijed drifta dobivaju jedinke (imigracija > emigracija), dok područja s malom brojnošću organizama makrozoobentosa u bentosu gube jedinke uslijed drifta (imigracija < emigracija) (Wilcox i sur., 2008). U gornjem toku (postaja VP1) Velikog potoka u bentosu su bili najzastupljeniji Amphipoda, a odmah iza njih i predstavnici EPT-svojtji. Navedene dvije skupine bile su najzastupljenije i u driftu gornjeg toka Velikog potoka, međutim, u driftu su predstavnici EPT-svojtji bili brojniji od Amphipoda. Moguće je da su organizmi navedenih taksonomskih skupina ušli u drift uzvodno od postaje VP1 te su potom uhvaćene u driftu na postaji VP1, gdje im je ujedno i najveća zastupljenost u bentosu. Međutim, moguće je da je velika zastupljenost navedenih organizama u driftu upravo razlog otpuštanja velikog broja tih organizama s potočnog dna na postaji VP1. Ista korelacija vrijedi i za donje tokove Velikog potoka. U donjim dijelovima toka (postaje VP2 i VP3) Velikog potoka najzastupljenija taksonomska skupina u bentosu bile su Chironomidae koje su ujedno i najzastupljenija skupina u driftu donjih dijelova toka Velikog potoka. Rezultati istraživanja prema tome odgovaraju navedenoj činjenici o pozitivnoj korelaciji zastupljenosti određene skupine u driftu i njene brojnosti u bentosu. Duž toka Velikog potoka više taksonomskih skupina (Chironomidae, ostale porodice reda Diptera, EPT-svojte, Amphipoda) značajno su zastupljene u driftu. Drift predstavnika EPT-svojtji moguć je zbog onečišćenja koja smanjuju koncentraciju kisika, na što su ti organizmi osjetljivi, pa su prisiljeni otpustiti se u drift. Također, neki organizmi reda Ephemeroptera skloni su driftu zbog opasnosti od predatora (Svendsen i sur., 2004). Tim navodom može se opravdati zastupljenost predstavnika EPT-svojtji u driftu. U donjim dijelovima toka Velikog potoka (postaje VP2 i VP3) moguć uzrok drifta predstavnika EPT-svojtji su nepovoljni uvjeti uzrokovani raznim onečišćenjima, međutim, moguć je i drift zbog prisutnosti predatora, što vrijedi i za gornji tok (postaja VP1). Svendsen i sur. (2004) navode kako je veća gustoća drifta pojedinih taksonomskih skupina moguća i zbog kompeticije između organizama iste skupine, ako im je velika zastupljenost u bentosu, što bi dodatno potvrdilo zašto su u driftu na određenim postajama Velikog potoka najviše zastupljeni organizmi makrozoobentosa kao i u bentosu. Uz mnogo

mogućih razloga drifta pojedinih skupina makrozoobentosa, potrebno je navesti kako zapravo u driftu tekućica uglavnom dominiraju kukci u koje ubrajamo i EPT-svojte i Chironomidae te ostale porodice Diptera (Ramirez i Pringle, 2001), a koje su ujedno i najzastupljenije u uzorcima drifta s Velikog potoka. Također, Ramirez i Pringle (2001) navode kako je gustoća ličinki reda Crustacea dominantna u driftu šumskih potoka. Gornji tok Velikog potoka protječe zagrebačkom planinom Medvednicom, odnosno šumskim područjem, a upravo tamo (postaja VP1) ustanovljena je velika zastupljenost reda Amphipoda u driftu.

5.3.3. Usporedba gustoće drifta predstavnika najpoznatijih indikatorskih skupina makrozoobentosa po istraživanim postajama

Kako bi se utvrdilo postoji li statistički značajna razlika u gustoći indikatorskih organizama u driftu proveden je Kruskal-Wallis test, kojim je utvrđeno kako postoji statistički značajna razlika samo za gustoću Chironomidae u driftu te je dokazano kako im je zastupljenost najveća u donjim dijelovima toka Velikog potoka (postaja VP3), što se poklapa s navodima o pozitivnoj korelaciji s velikom brojnošću tih organizama i u bentosu tog područja. Donji dijelovi toka Velikog potoka kanalizirani su i morfologija im je izmijenjena u svrhu ljudskih aktivnosti. Kanaliziranjem potoka, u svrhu stvaranja više prostora za razne ljudske aktivnosti, mijenja se potočno dno. Potoci se uglavnom pretvaraju u ravne kanale s bržim strujanjem vode (Paul i Meyer, 2001). Upravo bi brže strujanje vode zbog promijenjene morfologije moglo biti uzrok tako izražene gustoće drifta Chironomidae jer s obzirom na njihovu visoku tolerantnost na promjene fizikalno-kemijskih parametara vode nema indikacije da su takve promjene uzrok drifta.

5.4. Naklonost organizama makrozoobentosa driftu

U urbanim potocima, gdje je izraženo brže strujanje vode, organizmi makrozoobentosa su u većem riziku od pasivnog ili aktivnog ulaska u drift. Pretpostavka je prema tome da će naklonost organizama makrozoobentosa driftu biti veća što je brže strujanje vode (Wilcox i sur., 2008). Donji dijelovi Velikog potoka (postaje VP2 i VP3) kanalizirani su i pretvoreni u homogene, ravne tokove u kojima je brzina strujanja vode nešto veća nego u gornjem toku potoka (postaja VP1), međutim prema rezultatima, naklonost organizama makrozoobentosa driftu najveća je na postaji VP1, odnosno u gornjem dijelu toka potoka. Mogući razlozi veće naklonosti organizama driftu u tom području su biotički čimbenici, odnosno odnosi unutar pojedinih skupina organizama te potraga za novim staništem zbog promjene nekog abiotičkog čimbenika. Naklonost driftu indikatorskih skupina makrozoobentosa (EPT-svojte, Chironomidae i Oligochaeta) poklapa se s navodima o pozitivnoj korelaciji između gustoće drifta pojedine

skupine i njene brojnostu u bentosu (Wilcox i sur., 2008). U ovom istraživanju, EPT-svojte imaju najveću naklonost driftu u gornjem, a Chironomidae u donjim dijelovima potoka, gdje je zabilježena njihova naklonost driftu u iznosu od 115%. Tako visoka vrijednost moguća je zbog brzog strujanja vode u tom dijelu potoka te zbog podizanja sitnog (pjeskovitog i muljevitog) supstrata potoka, uslijed čega su predstavnici skupine Chironomidae pokazali veću naklonost ulaska u drift.

5.5. Utjecaj okolišnih čimbenika na sastav makrozoobentosa i gustoću drifta na istraživanim postajama

5.5.1. Bentos

Čimbenici: KPK, $N-NO_3^-$, $P-PO_4^{3-}$, $N-NO_2^-$, O_2 (%), pH i ukupna tvrdoća vode mogu se smatrati najutjecajnijima u strukturiranju faune makrozoobentosa na postajama VP1, VP2 i VP3 Velikog potoka. Prema odnosu položaja navedenih abiotičkih čimbenika i pojedinih organizama u PCA osima može se utvrditi kako ti čimbenici djeluju na organizme. EPT-svojte, odnosno ličinke skupina vodencvjetova (Ephemeroptera), obalčara (Plecoptera) i tulara (Trichoptera) osjetljive su na smanjene koncentracije kisika, velike promjene pH-vrijednosti i temperature vode, dok ličinke većine svojti porodice Chironomidae, kao i predstavnici maločetinaša (Oligochaeta) toleriraju smanjene koncentracije kisika, promjene u pH vrijednostima vode te povišene temperature (Thorp i Chovich, 1991; Hauer i Resh, 2006). Prema PCA-ordinaciji, utvrđeno je kako predstavnicima EPT-svojti odgovaraju niže vrijednosti navedenih čimbenika (KPK, $N-NO_3^-$, $P-PO_4^{3-}$, $N-NO_2^-$, O_2 (%), pH i ukupna tvrdoća vode) te se u ordinaciji Plecoptera i Trichoptera poklapaju s postajom VP2, koju karakteriziraju niže vrijednosti navedenih fizikalno-kemijskih čimbenika. Za razliku od njih, Chironomidae i Oligochaeta poklapaju se u PCA-prikazu s postajom VP3, koju karakteriziraju visoke vrijednosti KPK, $N-NO_3^-$, $P-PO_4^{3-}$, $N-NO_2^-$, O_2 (%) i pH. Time se potvrdila tolerantnost ovih skupina makrozoobentosa na promjene u okolišu izazvane urbanizacijom.

5.5.2. Drift

Prema PCA-prikazu, najutjecajnijim čimbenicima u strukturiranju gustoće drifta na istraživanim postajama (VP1, VP2, VP3) Velikog potoka mogu se smatrati: $N-NO_3^-$, $P-PO_4^{3-}$, pH, Temp, $N-NO_2^-$, O_2 (%) i Kond. Gustoća Chironomidae raste u područjima viših vrijednosti pH, Temp, $N-NO_2^-$, $N-NO_3^-$, $P-PO_4^{3-}$ te se u PCA ordinaciji poklapa s postajom VP3, gdje su i zabilježene povišene vrijednosti navedenih fizikalno-kemijskih parametara. Ličinke većine predstavnika porodice Chironomidae toleriraju smanjene

koncentracije kisika, promjene u pH-vrijednostima vode te povišene temperature (Thorp i Chovich, 1991; Hauer i Resh, 2006). PCA analiza zapravo ne otkriva zašto su Chironomidae toliko zastupljene u driftu na tom području ako toleriraju sve navedene uvjete. Gustoća EPT-svojtke raste u područjima viših vrijednosti O_2 (%) i Kond. EPT-svojtke, odnosno ličinke skupina vodencvjetova (Ephemeroptera), obalčara (Plecoptera) i tulara (Trichoptera) osjetljive su na smanjene koncentracije kisika, velike promjene pH-vrijednosti i temperature vode (Thorp i Chovich, 1991; Hauer i Resh, 2006). Povećana gustoća EPT-svojtke u područjima viših vrijednosti O_2 (%) je vjerojatna jer je moguće da su se organizmi na uzvodnim područjima (niskih vrijednosti O_2 (%)) otpustili u drift kako bi došli u područje viših vrijednosti. Organizmi EPT-svojtke se uglavnom poklapaju s položajem postaja VP1 i VP2 u PCA ordinaciji, koje uglavnom imaju visoke vrijednosti O_2 (%). Visoke vrijednosti konduktiviteta predstavljaju povišene vrijednosti koncentracija raznih iona porijeklom iz otpadnih voda (EPA, 2017; Paul i Meyer, 2001). Takve vrijednosti konduktiviteta mogu biti štetne za osjetljive vrste EPT-svojtke zbog kojih su se mogle otpustiti u drift i na taj način povećati gustoću drifta.

6. Zaključak

- 1) U odnosu na gornji dio toka Velikog potoka (VP1), donji dijelovi toka (VP3) u travnju i lipnju 2016. godine imali su značajno veće koncentracije hranjivih tvari (nitrata, nitrita i fosfata). Brzina strujanja vode i pH vrijednosti vode su bile ujednačene duž toka potoka, premda neznatno povišene u donjim dijelovima toka. U skladu s povišenim vrijednostima pH, povišene su bile i vrijednosti alkaliniteta u donjim dijelovima toka. U donjim dijelovima toka potoka također je utvrđena povećana ukupna tvrdoća vode te je zabilježena veća količina otopljene organske tvari. Temperatura vode rasla je duž toka Velikog potoka (od gornjeg prema donjim dijelovima toka) te je u skladu s tim pretpostavljen pad koncentracije kisika nizvodno. Međutim, veća koncentracija kisika zabilježena je upravo u donjim dijelovima toka. Koncentracija klorofila *a* pokazala se najvećom u gornjem dijelu potoka, za razliku od dubine potoka koja je izmjerena najveća u donjim dijelovima potoka. Najveće vrijednosti konduktiviteta zabilježene su u srednjem dijelu toka potoka (VP2).
- 2) Najveća ukupna brojnost organizama makrozoobentosa u bentosu utvrđena je u donjim dijelovima toka Velikog potoka (VP3), uz dominaciju tolerantnih skupina (Chironomidae). Za razliku od donjih dijelova toka Velikog potoka, gornji dio toka imao je manju ukupnu brojnost organizama makrozoobentosa, ali veću zastupljenost skupina makrozoobentosa osjetljivih na onečišćenje (EPT-svojte). Tolerantna skupina Oligochaeta zabilježena je u svim dijelovima toka potoka podjednakom zastupljenošću. Iako su u donjim dijelovima toka kao dominantna skupina zabilježene Chironomidae, zabilježen je i značajan udio EPT-svojti te je izgledno kako onečišćenje u donjim dijelovima toka Velikog potoka još uvijek nije toliko. Međutim, značajan udio tolerantnih skupina (Chironomidae) svakako treba biti upozoravajući.
- 3) U donjim dijelovima toka Velikog potoka utvrđena je velika zastupljenost Chironomidae u driftu, dok je u gornjem dijelu toka utvrđena velika zastupljenost Amphipoda i EPT-svojti u driftu. EPT-svojte i Amphipoda pokazali su najveću naklonost driftu u gornjem, a Chironomidae u donjim dijelovima toka Velikog potoka.
- 4) Utvrđeno je kako predstavnicima EPT-svojti odgovaraju niže vrijednosti: količine otopljene organske tvari, koncentracije nitrata, nitrita i fosfata, zasićenja kisikom, pH i ukupne tvrdoće vode, zabilježene u gornjem i srednjem dijelu toka Velikog potoka (VP1 i VP2) te je potvrđena njihova najveća zastupljenost upravo u tim dijelovima toka potoka. Za razliku od EPT-svojti, skupine Chironomidae i Oligochaeta zastupljene su u donjim dijelovima toka Velikog potoka (VP3) gdje su

zabilježene povišene vrijednosti navedenih fizikalno-kemijskih parametara vode što potvrđuje njihovu izrazitu tolerantnost. Chironomidae su bile najzastupljenije u driftu u donjim dijelovima toka (VP3) s povišenim vrijednostima: temperature, pH te koncentracije nitrata, nitrita i fosfata, dok su EPT-svojte bile najzastupljenije u gornjem i srednjem dijelu toka (VP1 i VP2) gdje su zabilježene visoke vrijednosti koncentracije kisika i konduktiviteta.

- 5) Ovim diplomskim radom potvrđena je početna pretpostavka o nižoj temperaturi vode u gornjem dijelu toka Velikog potoka, za razliku od donjih dijelova toka. Vežano uz nižu temperaturu navedeno je kako će posljedično s nižom temperaturom vode biti veća koncentracija otopljenog kisika, no ta pretpostavka je opovrgnuta s obzirom da su u donjim dijelovima toka sa zabilježenom višom temperaturom vode, zabilježene i veće koncentracije otopljenog kisika. Osim toga, pretpostavljeno je bilo da će koncentracije nitrita, nitrata i fosfata biti manje u gornjem dijelu toka u odnosu na donje dijelove toka, što je potvrđeno. Zbog mijenjanja morfologije toka donjih dijelova potoka, izmjerena im je veća dubina u odnosu na gornji dio toka potoka, a samim time i veća brzina strujanja vode čime je potvrđena još jedna početna pretpostavka. S obzirom da se gornji dio toka smatra prirodnim i da je u velikoj mjeri zasjenjen, pretpostavka je bila da će koncentracija klorofila *a* u tom dijelu biti manja. Međutim pretpostavka je opovrgnuta s obzirom da je u donjim dijelovima toka koncentracija klorofila *a* bila manja posljedično s onečišćenjem. Veća ukupna brojnost i raznolikost organizama makrozoobentosa očekivana je u gornjem dijelu toka Velikog potoka, međutim zaključeno je kako je ukupna brojnost i raznolikost organizama makrozoobentosa podjednaka u gornjem kao i u donjim dijelovima toka. EPT-svojte pokazatelji su dobrog ekološkog stanja vode te je potvrđena pretpostavka o njihovoj većoj zastupljenosti u gornjem dijelu toka Velikog potoka, kao i pretpostavka o većoj zastupljenosti tolerantnih skupina Chironomidae i Oligochaeta u donjim dijelovima toka gdje je zabilježen određeni stupanj opterećenosti vode. S obzirom na veću opterećenost vode u donjim dijelovima toka Velikog potoka pretpostavljalo se kako će organizmi makrozoobentosa tog područja imati veću naklonost driftu te da će samim time gustoća drifta tog područja biti veća u odnosu na gornji dio toka Velikog potoka. Zaključeno je kako je gustoća drifta podjednaka u svim dijelovima toka Velikog potoka, a naklonost organizama driftu zabilježena je najveća u gornjem dijelu toka što ne potvrđuje početnu pretpostavku u potpunosti.

7. Literatura

- 1) Allan J.D. (1995): Stream ecology. Chapman&Hall, New York.
- 2) APHA (1985): Standard Methods for the Examination of Water and Waste (12th edn), American Public Health Association, New York, 1268 p.
- 3) Bae Y.J., Kil H.K., Bae K.S. (2005): Benthic Macroinvertebrates for Uses in Stream Biomonitoring and Restoration. *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol.9, No.1, pp. 55-63.
- 4) Bernhardt E.S., Palmer M.A. (2007): Restoring streams in an urbanizing world. *Freshwater Biology* 52, 738-751.
- 5) Bolund P., Hunhammar S. (1999): Ecosystem services in urban areas. *Ecol.Econ.*29: 293-301.
- 6) Chessman B.C., Hutton P.E., Burch J.M. (1992): Limiting nutrients for periphyton growth in sub-alpine, forest, agricultural and urban streams. *Freshwater Biology* 28:349-361.
- 7) Collins J.P., Kinzig A., Grimm N.B., Fagan W.F., Hope D., Wu J., Borer E.T. (2000): A New Urban Ecology: Modeling human communities as integral parts of ecosystems poses special problems for the development and testing of ecological theory, *American Scientist*, Volume 88.
- 8) Curell B., McPartlin A., Steinmetz M. (2018): The Impacts of Climate Change in Winter on Aquatic Macroinvertebrates. Skidmore College. Environmental Science Capstone.
- 9) Deutsches Institut für Normung (1986): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, 16th edn. Vol II. Verlag Chemie, Weinheim.
- 10) Duncan J.M., Welty C., Kemper J.T., Groffman P.M., Band L.E. (2017): Dynamics of nitrate concentration-discharge patterns in an urban watershed. *Water Resour. Res.*, 53, 7349–7365, doi:10.1002/ 2017WR020500.
- 11) 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.
- 12) EPA (2017): CADDIS Urbanization Module. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/caddis-vol2/urbanization-module-document>, Pristupljeno: 26.5.2020.
- 13) EPA (2012): Water: Monitoring & Assessment: 5.7 Nitrates. United States Environmental Protection Agency. <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/vms57.html>, Pristupljeno: 26.5.2020.

- 14) Feuchtmayr H., McKee D., Harvey I.F., Atkinson D., Moss B. (2007): Response of macroinvertebrates to warming, nutrient addition and predation in large-scale mesocosm tanks. *Hydrobiologia* 584:425–432, DOI 10.1007/s10750-007-0588-7.
- 15) 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.
- 16) Haas N., Mateusz W., Sertić Perić M. (2019): Short-term effects of natural stream discharge on the water quality trends along two small urban streams – a pilot study. *Natura Croatica: periodicum Musei historiae naturalis Croatici* 28: 289-303.
- 17) HAUER F.R., RESH V.H. (2006): Macroinvertebrates. U: Hauer FR, Lamberti GA (eds.), *Methods in Stream Ecology*, 2nd edn. Academic Press/Elsevier, New York, 435-463
- 18) Kaushal S.S., Wood K., Galella J., Gion A., Haq S., Goodling P., Haviland K., Reimer J., Morel C., Wessel B., Nguyen W., Hollingsworth J., Mei K., Leal J., Widmer J., Sharif R., Mayer P., Newcomer J.T., Newcomb K., Belt K. (2020): Making 'chemical cocktails' – Evolution of urban geochemical processes across the Periodic Table of elements. *Applied Geochemistry*. 104632. 10.1016/j.apgeochem.2020.104632.
- 19) Martinić M. (2011): 'Geokemijske karakteristike vode i vodotočnih sedimenata Velikog potoka / Črnomerec, južna Medvednica', diplomski rad, diplomski, Prirodoslovno – matematički fakultet, Zagreb.
- 20) Meyer J.L. (2010): Urban Aquatic Ecosystems. U: *River ecosystem ecology: a global perspective*. A derivative of encyclopedia of inland waters (ed. LIKENS, G.E.). pp. 259-269. Elsevier – Academic Press, San Diego – Burlington – London – Amsterdam.
- 21) Mikulčić M. (2017): *Struktura i trofičke značajke makrozoobentosa urbanih potoka grada Zagreba*, diplomski rad, Prirodoslovno – matematički fakultet u Zagrebu, Zagreb.
- 22) Müller K. (1965): Field experiments on periodicity of freshwater invertebrates. U: Aschoff J(ed.) *Circadian Clocks*. Amsterdam, North-Holland Publishing, 314-317
- 23) Nusch E.A. (1980): Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. *Arch. Hydrobiol.*, 14, 14–36.
- 24) Oram B. (2014): Nitrates and Nitrites in Drinking Water Groundwater and Surface Waters. Water research center. <https://water-research.net/index.php/nitrate>,
Pristupljeno: 26.5.2020.

- 25) Oram B. (2014): Phosphate in Surface Water Streams Lakes. Water research center. <https://water-research.net/index.php/phosphate-in-water>, Pristupljeno: 26.5.2020.
- 26) Paul M. J., Meyer J. L. (2001): Streams in the urban landscape. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 32: 333-365.
- 27) Kuriata-Potasznik A., Szymczyk S. (2015): Magnesium and calcium concentrations in the surface water and bottom deposits of a river-lake system. *Journal of Elementology.* 20. 677-692. 10.5601/jelem.2015.20.1.788.
- 28) Ramirez A., Pringle C.M. (2001): Spatial and temporal patterns of invertebrate drift in streams draining a Neotropical landscape. *Freshwater Biol* 46: 47-62.
- 29) Richards C., Host G. (1994): Examining Land Use Influences on Stream Habitats and Macroinvertebrates: A GIS Approach. *Water Resources Bulletin* 30(4):729-738.
- 30) Schmal R.N., Sanders D.F. (1978): Effects on stream canalization on aquatic macroinvertebrates, Buena Vista Marsh, Portage County, Wisconsin. Biological Services Program, FWS/OBS-78/92.
- 31) 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.
- 32) Thorp J. H., Covich A. P. (1991): Classification of North American Freshwater Invertebrates. Academic Press, San Diego, 1056 str.
- 33) Narodne novine (2019): Uredba o standardu kakvoće vode. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_10_96_1879.html, Pristupljeno: 26.5.2020.
- 34) Walsh C. J., Roy A.H., Feminella J.W., Cottingham P.D., Groffman P.M., Morgan R.P. (2005): The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. *Journal of the North American Benthological Society*, 24(3):706-723.
- 35) Wilcox A.C., Peckarsky B.L., Taylor B.W., Encalada A.C. (2008): Hydraulic and geomorphic effects on mayfly drift in high-gradient streams at moderate discharges. *Ecohydrology* 1: 176-186.

8. Životopis

OSOBNJE INFORMACIJE

Ime i prezime: Mihaela Štargl

Datum i mjesto rođenja: 14.5.1996., Bjelovar, Republika Hrvatska

OBRAZOVANJE I OSPOSOBLJAVANJE

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

2011. – 2015. Gimnazija Bjelovar

2003. – 2011. Osnovna škola Veliko Trojstvo

OSOBNJE VJEŠTINE

- Poznavanje stranih jezika: Engleski jezik
- Komunikacijske vještine: Otvorena i komunikativna. Orijehtirana prema timskom radu.
- Organizacijske vještine: Sposobna raditi konstruktivno u timu, a po potrebi i preuzeti ulogu vođe.
- Poslovne vještine: Sistematična, ambiciozna i odgovorna. Spremna primijeniti nove metode poučavanja i osmisliti brojne aktivnosti za obradu nastavnih sadržaja.
- Digitalne vještine: Poznavanje rada na računalu, Microsoft Office programa

STRUČNA EDUKACIJA I SUDJELOVANJA

- Posterska priopćenja
Begić, V., Sertić Perić, M., Štargl, M., Svoboda, M., Korać, P., Radanović I. 2020. Analiza očuvanosti makromolekula u arhivskim uzorcima makrozoobentosa. Simpozij studenata doktorskog studija PMFa. Knjiga sažetaka, str.56.
- Nastava na daljinu
Dijeljenje primjera dobre prakse primjene inovativnih metoda poučavanja u nastavi na daljinu objavljenih na mrežnim stranicama Škole za život <https://skolazazivot.hr/video-lekcije/> od 16.3.2020. do 10.6.2020. Utjecaj čovjeka na ekosustav 1.dio, Biologija, 1.razred SŠ (1 nastavni sat)