

# Sastav makrozoobentosa i mikroplastike u dnevno-noćnim uzorcima drifta duž potoka Vrapčak

---

Maksimović, Ines

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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:217:975913>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-13**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Ines Maksimović

**Sastav makrozoobentosa i mikroplastike u  
dnevno-noćnim uzorcima drifta duž potoka  
Vrapčak**

Diplomski rad

Zagreb, 2022.

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Ines Maksimović

**Composition of macrozoobenthos and  
microplastics in day and night drift samples  
along the Vrapčak stream**

Master thesis

Zagreb, 2022.

Ovaj diplomski rad izrađen je na Zoologijskom zavodu Biološkog odjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod stručnim vodstvom doc. dr. sc. Mirele Sertić Perić i u laboratoriju Minerološko-petrografskog zavoda Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom doc. dr. sc. Hane Fajković. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra znanosti o okolišu.

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Diplomski rad

## Sastav makrozoobentosa i mikroplastike u dnevno-noćnim uzorcima drifta duž potoka Vrapčak

Ines Maksimović

Roosveltov trg 6, 10000, Zagreb, Hrvatska

Urbanizacija, odnosno širenje gradova, sve je češća pojava. Gradovi često pridonose svjetlosnom onečišćenju, koje remeti cirkadijane ritmove živih bića, uključujući njihove životne cikluse i migracije te drift (nizvodno otplavlivanje) makrozoobentosa u urbanim potocima. Na makrozoobentos urbanih potoka također može utjecati povećan unos mikroplastike u vodeni tok. Cilj ovog diplomskog rada jest istražiti sastav: (i) makrozoobentosa i (ii) mikroplastike u uzorcima drifta sakupljenih tijekom dana i noći na dvije postaje smještene duž urbanog potoka Vrapčak (Zagreb, Hrvatska). Dvije postaje (V1 i V2) se razlikuju, između ostalog, i u intenzitetu osvijetljenosti noću pa je postaja V1 noću neosvijetljena, a V2 je pod izravnim utjecajem ulične rasvjete. Uzorci drifta i vode uzimani su svaka dva tjedna, danju i noću, tijekom travnja i svibnja 2021. godine te je ukupno sakupljeno 48 uzoraka drifta. Osim izdvajanja i determinacije makrozoobentosa, u uzorcima drifta se provodila i analiza mikroplastike te analiza fizikalno-kemijskih parametara u uzorcima vode. Rezultati ukazuju da umjetna rasvjeta utječe na dnevno-noćne obrasce nekih skupina makrozoobentosa, međutim značajne razlike u ukupnoj gustoći drifta među postajama i dobu dana nisu dokazane. Od čestica za koje se sumnjalo da su mikroplastika (njih 47), svega dvije su sastavom odgovarale polietilenu, što ukazuje da unos mikroplastike u potok Vrapčak nije velik, odnosno da potok vjerojatno nije pod velikim antropogenim pritiskom ovakvog tipa. Većina fizikalno-kemijskih parametara se značajno razlikovala i između doba dana i među postajama. Noću su na obje postaje zabilježene povišene vrijednosti alkaliniteta i koncentracija ortofosfata te snižene vrijednosti koncentracija kisika i nitrata, temperature vode, kemijske potrošnje kisika te osvijetljenja. Utvrđeno je kako s gustoćom drifta organizama značajno korelira samo brzina strujanja vode, odnosno gustoća drifta smanjivala se s povećanjem brzine strujanja vode.

(39 stranica, 23 slike, 2 tablice, 67 literaturnih navoda, 5 priloga, jezik izvornika: hrvatski )  
Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: makroskopski beskralješnjaci, vodeni kukci, svjetlosno onečišćenje, drift, mikroplastika, fizikalno-kemijski parametri

Voditelji: doc. dr. sc. Mirela Sertić Perić  
doc. dr. sc. Hana Fajković

Ocjenitelji: doc. dr. sc. Mirela Sertić Perić  
doc. dr. sc. Hana Fajković  
doc. dr. sc. Ivan Čanjevac  
prof. dr. sc. Sven Jelaska

Rad prihvaćen: 10.2.2022.

# BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Master Thesis

## Composition of macrozoobenthos and microplastics in day and night drift samples along the Vrapčak stream

Ines Maksimović

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Urbanization, also known as urban expansion, is more widespread than in the past. Cities often contribute to light pollution, which affects the circadian rhythms of living beings and disrupts their life cycles and migration pathways, as well as macrozoobenthos drift in urban streams. Increased inputs of microplastic particles to water also may affect macrozoobenthos in urban streams. The goal of this thesis is to determine the composition of: (i) macrozoobenthos and (ii) microplastics in drift samples collected during the day and night at two stations along the urban stream Vrapčak (Zagreb, Croatia). One of the differences between the two stations (V1 and V2) was the light intensity during the night, as station V1 has no artificial light and V2 is directly illuminated by a street lamp. Drift samples were collected every two weeks during the day and night in April and May 2021, resulting in a total of 48 drift samples. Macrozoobenthos was isolated from the drift samples and determined. The remaining sediment was analyzed for microplastic particles, while physicochemical parameters were analyzed from the water samples. Results indicate that artificial light affects some macrozoobenthos taxa, but significant differences in drift density between stations and diurnal patterns were not detected. Of all the particles analyzed that looked like microplastics (47 pieces), only two were found to be polyethylene, indicating that the input of microplastics into the Vrapčak stream is not significant. Therefore, the stream is probably not under great anthropogenic influence of this type. Most physicochemical parameters showed significant differences between the times of the day and between the stations. During the night, alkalinity and orthophosphate values were elevated at both stations, while oxygen, nitrates, water temperature, dissolved organic matter, and illumination values decreased. Drift density correlated only with flow velocity, i.e., drift density decreased as flow velocity increased.

(39 pages, 23 figures, 2 tables, 67 references, 5 appendices, original in: Croatian)

Thesis is deposited in Central Biological Library.

Keywords: macroscopic invertebrates, water insects, light pollution, drift, microplastics, physicochemical parameters

Supervisor: doc. dr. sc. Mirela Sertić Perić

Co-supervisor: doc. dr. sc. Hana Fajković

Reviewers: doc. dr. sc. Mirela Sertić Perić

doc. dr. sc. Hana Fajković

doc. dr. sc. Ivan Čanjevac

prof. dr. sc. Sven Jelaska

Thesis accepted: 10.2.2022.

## Sadržaj

1. Uvod.....	1
<b>1.1. Utjecaj urbanizacije na gradske potoke .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Sastav makrozoobentosa urbanih potoka .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Drift makrozoobentosa u urbanim potocima.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4. Mikroplastika u slatkovodnim sustavima .....</b>	<b>5</b>
2. Cilj istraživanja .....	7
3. Područje istraživanja .....	8
4. Materijali i metode .....	11
<b>4.1. Uzorkovanje drifta .....</b>	<b>11</b>
<b>4.2. Analiza sastava mikroplastike u uzorcima drifta.....</b>	<b>12</b>
<b>4.3. Fizikalno-kemijski parametri.....</b>	<b>14</b>
<b>4.4. Obrada i prikaz podataka .....</b>	<b>15</b>
5. Rezultati .....	17
<b>5.1. Sastav makrozoobentosa u dnevno-noćnim uzorcima drifta .....</b>	<b>17</b>
<b>5.2. Sastav mikroplastike u dnevno-noćnim uzorcima drifta.....</b>	<b>25</b>
<b>5.3. Fizikalno kemijski parametri.....</b>	<b>27</b>
6. Rasprava .....	32
<b>6.1. Sastav makrozoobentosa u dnevno-noćnim uzorcima drifta .....</b>	<b>32</b>
<b>6.2. Sastav mikroplastike u dnevno-noćnim uzorcima drifta.....</b>	<b>35</b>
<b>6.3. Fizikalno kemijski parametri.....</b>	<b>36</b>
7. Zaključak .....	39
8. Literatura .....	40
<b>Životopis.....</b>	<b>44</b>
Prilozi .....	1

## Popis kratica

FTIR - Infracrveni spektrometar s Fourierovom transformacijom

SPT – natrijev polivolframat

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

$t_{\text{vode}}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) – temperatura vode

$\text{O}_2$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) - masena koncentracija otopljenog kisika

$\text{O}_2$  (%) – volumni udio kisika u vodi

TDS – ukupna koncentracija otopljenih soli

lux – mjera osvjetljenja

$\text{KPK}_{\text{KMnO}_4}$  – kemijska potrošnja kisika

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

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

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



# 1. Uvod

## 1.1. Utjecaj urbanizacije na urbane potoke

Urbanizacija, odnosno širenje gradova i gradskog stanovništva, je rastući trend. Sve veći broj stanovnika uviđa prednosti života u gradu. U gradovima je tijekom 20. stoljeća živjelo svega 13% stanovništva, a ako se nastavi trenutni trend, do 2050. na Zemlji će biti oko 70% gradskog stanovništva (Elmqvist i sur., 2013). Ovaj i više nego peterostruki porast bi mogao ostaviti znatne posljedice na manje gradove, gdje se doseljava sve više stanovnika. Kako bi se omogućio život u gradu, zemljišta poput poljoprivrednih površina i šuma su pretvorena u objekte stanovanja, trgovačke centre ili poslovne zgrade. S urbanizacijom dolazi i lokalna promjena u klimi (Elmqvist i sur., 2013). Takozvani efekt toplinskog otoka zamjetno povećava temperaturu u gradovima, koji često nemaju adekvatne alate temperaturne regulacije (npr. mnogo zelenih i vodenih površina).

Osim očitog ljudskog utjecaja, poput ispuštanja onečišćivača i neadekvatnog odlaganja otpada, antropogeni utjecaj se opaža i kroz prisutnost svjetlosnog onečišćenja. Ono podrazumijeva promjenu razine prirodne svjetlosti koja najčešće proizlazi iz umjetnih izvora osvjetljenja. Svjetlosno onečišćenje može štetno djelovati na živa bića poput šišmiša, ptica, kukaca, biljaka te naposljetku i ljudi, tako što remeti njihov cirkadijani ritam. Takvo osvjetljenje može ometati promet te smetati prilikom promatranja neba (Internetski izvor 1). Postoji razlika između „astronomskog svjetlosnog onečišćenja“ i „ekološkog svjetlosnog onečišćenja“. Ono što nam zaklanja pogled na noćno nebo i onemogućuje da noću vidimo zvijezde se smatra astronomskim svjetlosnim onečišćenjem, a ekološko svjetlosno onečišćenje se odnosi na ono koje mijenja režime prirodne svjetlosti u kopnenim i vodenim ekosustavima (Longcore i Rich, 2004). Ljudi već dugo vremena stvaraju umjetnu rasvjetu, koja noću doprinosi većoj sigurnosti i lakšem kretanju (Longcore i Rich, 2004). No, prilikom razvitka ulične rasvjete, rijetko se pozornost pridavala organizmima koji koriste noć kao aktivno doba dana. Dnevno-noćni životni ritam je bitan ne samo za ljude, već i za manje organizme poput ptica, malih sisavaca (npr. šišmiša) i beskralješnjaka (npr. ličinačkih i odraslih stadija kukaca). Prema istraživanju Davies i sur. (2012), na područjima gdje noću prevladava umjetna rasvjeta, odnosno ekološko svjetlosno onečišćenje, nađeno je više predatorskih vrsta kopnenih beskralješnjaka, što posljedično može dovesti do promjena u sastavu zajednica beskralješnjaka, ali i do smanjenja bioraznolikosti u urbanim kopnenim staništima.

Promjene u okolišu, do kojih dovodi urbanizacija, ne utječu samo na kopnene, već i na vodene ekosustave i pripadajuće organizme. Potoci u gradovima pridonose većoj bioraznolikosti, smanjenju efekta toplinskog otoka te su sociološki, rekreacijski i kulturološki važni za gradsko stanovništvo (Walsh i sur., 2005). Međutim, od početka 21. stoljeća sve se češće spominje pojava „sindroma urbanog potoka“ (Walsh i sur., 2005). Taj pojam obuhvaća potoke, u kojima su, pod utjecajem urbanizacije, primarno izmijenjene hidromorfološke značajke (potoci se kanaliziraju), a time i ostale fizikalno-kemijske karakteristike (npr. dolazi do dotoka povišenih koncentracija nutrijenata). Većina urbanih potoka ima kanalizirano korito, kako bi se regulirali bujični tokovi koji mogu prouzročiti štete u gradovima (Konrad i sur., 2005).

## 1.2. Sastav makrozoobentosa urbanih potoka

Praćenje sastava zajednica slatkovodnih makroskopskih bentoskih (pridnenih) beskralješnjaka, tj. makrozoobentosa, može nam pomoći pri analizi stanja onečišćenosti vodenih ekosustava (Hrvatske vode, 2016), uključujući i urbane potoke. Makrozoobentos je zajednica organizama koji nastanjuju dno slatkovodnih, ali i morskih ekosustava. Termin „makro“ se odnosi na jedinke veće od 500  $\mu\text{m}$ . Oni su široko rasprostranjena skupina organizama, koji su manje ili više osjetljivi na onečišćenje (Hauer i Resh, 2007). Važan su dio prehrambenog lanca te ciklusa kruženja hranjivih tvari (Hrvatske vode, 2016). Prema ishrani ih možemo podijeliti na usitnjivače, procjeđivače, sakupljače, herbivore te predatore. Svaka od navedenih skupina je jednako važna za održavanje stabilnosti na različitim trofičkim razinama vodenih ekosustava (Wallace i Webster, 1996). Makroskopski beskralješnjaci koji nastanjuju vodene ekosustave su dobar biološki indikator kakvoće vode, jer su slabo pokretni, žive relativno dugo te imaju očit odgovor na fizikalno-kemijske promjene u vodenom okolišu (Hrvatske vode, 2016). Najveći udio makroskopskih beskralješnjaka čine vodeni kukci (Hauer i Resh, 2007). Oni su cijeli ili pak dio života vezani uz vodeni medij. Druge skupine, poput školjkaša, puževa te vodenih kolutićavaca provode čitav život u vodi (Hauer i Resh, 2007). Svi navedeni organizmi su relativno slabo pokretni i mogu biti nošeni strujom vode.

Na sastav zajednice makrozoobentosa u urbanim potocima mogu utjecati razni biotički i abiotički čimbenici, poput količine dostupne hrane i pritiska predatora, distribucije organske tvari, tipa podloge, brzine strujanja vode, temperature vode i slično (Wallace i Webster, 1996). Veliki utjecaj na potočni makrozoobentos u urbanim područjima ima i antropogeno djelovanje, poput kanalizacijskih ispusta te dovođenje stranih biljnih i životinjskih vrsta, koji mogu

prouzročiti smanjivanje brojnosti i raznolikosti beskralješnjačkih vrsta u vodenim ekosustavima (Elmqvist i dr., 2013). Izmjenom hidromorfologije i kemizma urbanih potoka, mijenjaju se i neki biološki parametri pa u urbanim potocima često dolazi do osiromašenja bioraznolikosti i/ili u njima većinski obitavaju vrste koje su visoko tolerantne na onečišćenje (Walsh i sur., 2005).

### 1.3. Drift makrozoobentosa u urbanim potocima

Drift podrazumijeva makroskopske beskralješnjake (organizme makrozoobentosa) koji su nizvodno otplavljeni u stupcu vode. Na sastav drifta, kao i na njegovu pojavnost u stupcu vode, mogu utjecati mnogobrojni abiotički i biotički čimbenici (Svendsen i dr., 2004) pa stoga drift može biti: (i) aktivan, ako ga iniciraju biotički čimbenici, odnosno sami organizmi (tj. ako se organizmi sami „upuštaju“ u nizvodni transport uslijed potrage za hranom i/ili novim staništem i/ili uslijed promjena u životnom ciklusu) ili (ii) pasivan, koji je rezultat promjene fizikalno-kemijskih parametara (npr. protoka, koncentracije nutrijenata i/ili koncentracije onečišćivača u vodenom mediju). Neki vodeni kukci zahtijevaju određenu temperaturu vode za život (Haidekker i Hering, 2008), dok drugima odgovara specifičan raspon pH (Tippler i sur., 2018) pa se uslijed promjena ovih parametara upuštaju u drift, u potrazi za pogodnim okolišnim uvjetima (Hauer i Resh, 2007). U nekim studijama, opažena je pozitivna korelacija između gustoće drifta i brzine strujanja vode, odnosno opaženo je da se količina drifta povećava prilikom pojave viših voda (Svendsen i sur., 2004). Međutim, povišenje razine vode može proizaći i iz događaja poput ekstremnih pljuskova koji znatno pridonose povećanju drifta pa takvi događaji mogu prouzročiti opću nestabilnost i poremećaj u sastavu zajednica slatkovodnih ekosustava (Svendsen i sur., 2004). Postoje i studije koje su pokazale suprotno – da se gustoća drifta smanjuje s porastom brzine strujanja vode pa se može zaključiti da gustoća drifta ovisi o tipu, geografskom položaju, mikroklimatskim karakteristikama i kompleksnosti staništa promatranog ekosustava (Sertić Perić i sur., 2011).

Utjecaj doba dana također je važan čimbenik za rasprostiranje, migracije i drift makrozoobentosa te su tijekom noći često opažene više gustoće drifta (Waters, 1965; Jenkins i Keeley, 2010). Neki pripadnici redova Ephmeroptera (vodencvjetovi) te Diptera (dvokrilci), kao i pripadnici podrazreda Hirudinea (pijavice) pokazali su značajno veću brojnost u driftu noću, dok su pripadnici reda Trichoptera (tulari) te skupine Hydrachnidia (vodene grinje) uglavnom pokazali veću aktivnost u driftu tijekom dana (Svendsen i dr., 2004). Budući da umjetna rasvjeta utječe na cirkadijane ritmove makroskopskih beskralješnjaka, što posljedično

može dovesti do poremećaja u njihovom životnom ciklusu, migracijama i prehrabnim navikama (Henn i sur., 2014), za očekivati je da će umjetna rasvjeta utjecati i na dnevno-noćne obrasce drifta. Osim dnevno-noćnih razlika u aktivnosti drifta, postoje i sezonske razlike. Općenito je opaženo da svoj vrhunac u gustoći drift doseže tijekom proljetnih i ljetnih mjeseci te tijekom vlažne sezone, u odnosu na zimski period i sezonu suše, kada su gustoće drifta snižene (Svendsen i sur., 2004).

Osim što uvelike ovisi o poremećajima u toku vode (uzrokovanih, primjerice, jakim padalinama), gustoća drifta ovisi o udaljenostima koju pojedini organizmi mogu prijeći u driftu te o životnim ciklusima (i životnom vijeku) organizama nošenih u stupcu vode (Lancaster i sur., 2011). Driftom se neke taksonomske skupine makrozoobentosa rasprostranjuju na određenom području bilo radi obrane od predatora i/ili potrage za hranom/pogodnijim staništem (Svendsen i sur., 2004) i/ili radi dinamike u životnom ciklusu (Lancaster i sur., 2011). Naime, vodeni kukci često koriste gornji tok potoka kako bi tamo polegli jaja; njihove ličinke žive na području srednjeg i donjeg toka, odakle se često upuštaju u drift, kako bi dospjele u krajnje nizvodne dijelove toka, da bi naposljetku (nakon preobrazbe) izletjele (emergirale) kao odrasle krilate jedinke, koje će nakon parenja opet poleći jaja na području gornjeg toka (Waters, 1965). Rasprostranjenost i migracije pojedinih organizama duž vodenog toka mogu ovisiti i o njihovoj veličini. Hall i sur. (1980) su primijetili kako ličinke vodencvjetova, koje su veličinom manje, češće nastanjuju nizvodna područja vodenih tokova. Manje jedinke se češće mogu naći u mirnijem (sporijem) toku, jer nastoje štedjeti energiju za rast i razvoj. No, i većim jedinkama može odgovarati mirniji tok, ako nemaju prilagodbe za život u brznoj struji vode (Hauer i Resh, 2007) i/ili ako traže adekvatno mjesto za emergenciju (Hall i dr., 1980).

Jedan od bitnih biotičkih čimbenika, koji utječe na gustoću drifta makrozoobentosa, jest prisutnost predatora. Najčešće se radi o ribama koje se hrane beskralješnjacima. Kako su ribe vizualni predatori, koriste dan za lov. Makroskopski beskralješnjaci (organizmi makrozoobentosa) su stoga češće aktivniji noću, kako bi izbjegli dnevne predatore (Svendsen i sur., 2004). U istraživanju Wilzbacha i sur. (1986) se pokazalo kako uklanjanjem pastrva iz vodenog toka posljedično dolazi do povećanog drifta makroskopskih beskralješnjaka danju. No, predacija nije rijetka ni među beskralješnjacima te je dokazano kako prisustvo predatorskih jedinki reda Plecoptera (obalčari) može utjecati na drift jedinki reda Ephemeroptera (Lancaster, 1990). Dakle, mnogo čimbenika utječe na prisutnost i brojnost jedinki u driftu, no ono što je od posebnog interesa za ovaj rad jest antropogeni utjecaj na drift. Ono što se smatra bitnim za ovo

istraživanje jest utjecaj umjetne rasvjete kao abiotičkog čimbenika koji utječe na sastav dnevno-noćnog drifta duž zagrebačkog potoka Vrapčak.

#### 1.4. Mikroplastika u slatkovodnim sustavima

Plastika je danas sveprisutan materijal te se koristi za proizvodnju jednokratnog pribora za jelo i piće, vrećica, posuda, elektroničkih uređaja, igračaka, interijera automobila itd. (Hale i sur., 2020). Odlaganje i recikliranje, ali i razlaganje plastike velik su problem današnjice. Plastični otpad, na globalnoj razini iznosi oko 6300 milijuna metričkih tona od čega okvirno 4,8 do 12,7 metričkih tona završi u svjetskim oceanima. Veliki dio te plastike dolazi s kopna te je u oceane prenesen pomoću rijeka ili vjetra (Windsor i sur., 2019). Ona može biti sastavljena od raznih organskih polimera poput polietilena visoke gustoće, polietilena niske gustoće, propilena, polivinil klorida i slično. S obzirom na veličinu, plastika se može podijeliti na: makroplastiku (čestice plastike  $> 25$  mm), mezoplastiku (5-25 mm), mikroplastiku (0.0001-5 mm) te nanoplastiku ( $< 100$  nm) (Windsor i sur., 2019). U ovom je radu fokus stavljen na mikroplastiku, koja se može podijeliti na primarnu i sekundarnu. Primarna mikroplastika je proizvedena tako da bude manja od 5 mm te oblikom odgovara perlicama i kuglicama. Sekundarna mikroplastika je nastala raspadom većih komada plastike te se prema obliku razvrstava u fragmente i vlakna (Mora-Teddy i Matthaei, 2020). Iako se mikroplastika češće istražuje u morima, u slatkovodnim ekosustavima je također često zastupljena - u samom toku, ali i u sedimentu. Komadići plastike veličine do 5 mm su nađeni ne samo na područjima gdje je velika naseljenost, već i na područjima koja su iznimno rijetko, ako i uopće naseljena. Pojavnost mikroplastike u okolišu se povezuje s antropogenim utjecajem te prirodnim pojavama poput obalnih vjetrova te struja u vodi (Mora-Teddy i Matthaei, 2020). Kod tekućica, na rasprostiranje plastike, osim antropogenog utjecaja, utječe i brzina strujanja vode te padaline, koje podižu razinu vode te uzburkavaju sediment (Mora-Teddy i Matthaei, 2020). Prema istraživanju Hoelleina i sur. (2019), pokazalo se kako brzina strujanja vode utječe na rasprostiranje čestica mikroplastike. Duljina transporta je bila veća kod perlica i vlakana, a manja kod fragmentiranih čestica, dok je vrijeme potrebno za taloženje čestica mikroplastike bilo najdulje kod fragmentiranih čestica, a najkraće kod perlica (Hoellein i sur., 2019). Opasnost taloženja mikroplastike, ali i njena prisutnost u stupcu vode, leži u tome što životinje koje se hrane sedimentom ili planktonom, lako mogu zamijeniti plastiku za svoju hranu. To posljedično može dovesti do oštećenja organa i/ili smrti organizama, jer se uz mikroplastiku u organizam unose i ostali zagađivači te kemikalije (Browne i sur., 2013). Koliko mikroplastika utječe na

životne zajednice organizama u vodi, pokazuje prisutnost čestica plastike u kućicama ličinkama kukaca reda Trichoptera (tulari). Naime, ličinke reda Trichoptera izlučuju svilenkastu ljepljivu tekućinu koja im omogućava da na tijelo zalijepe okolni sediment (Weaver III i Morse, 1986) te tako oblikuju kućice, koje im služe kao kamuflaža i mehanička zaštita od predatora. Najčešće se kućice sastoje od organske tvari ili minerala koji se mogu naći u neposrednoj okolini ličinke. Mnogo kralježnjaka, ali i neki beskralješnjaci se hrane ličinkama Trichoptera (Johansson, 1991), stoga je bitno da njihove kućice ne sadrže tvari antropogenog porijekla, poput komadića plastike, jer ta plastika može završiti na višim trofičkim razinama i prouzročiti zdravstvene probleme onima koji je nesvjesno konzumiraju. Iako je plastika sveprisutna u različitim oblicima i dimenzijama, treba paziti da je se ne stvara još više kako bi svi vodeni, ali i kopneni organizmi bili manje izloženi opasnostima njenog djelovanja.

## 2. Cilj istraživanja

Glavni cilj ovog rada je istražiti u kojoj mjeri umjetna rasvjeta utječe na sastav dnevno-noćnog drifta organizama makrozoobentosa te kolika se količina i vrsta mikroplastike transportira (nakuplja) u dnevno-noćnim uzorcima drifta duž zagrebačkog potoka Vrapčak.

Specifični ciljevi ovog rada su usporediti: (i) brojnost (gustoću drifta), i taksonomski sastav organizama makrozoobentosa te (ii) kvalitativni i kvantitativni sastav mikroplastike u uzorcima dnevnog i noćnog drifta prikupljenih tijekom travnja i svibnja 2021. godine na dvjema postajama na potoku Vrapčak, od kojih je jedna pod direktnim utjecajem ulične rasvjete (umjetnog osvjetljenja). Dodatno, cilj je i (iii) korelirati mjerene fizikalno-kemijske okolišne parametre (za vodu i osvjetljenje) s mjerenim parametrima drifta.

### 3. Područje istraživanja

Područje ovog istraživanja obuhvaća dvije lokacije na potoku Vrapčak u gradu Zagrebu. S Medvednice se prema središtu Zagreba slijeva 31 potok, a neki od njih, približavajući se gradu, sve više poprimaju karakteristike urbanih potoka (Price i sur., 2018). Dok dio potoka ima izmijenjen tok, drugi dio potoka grada Zagreba je zatrpan te prenamijenjen kao dio kanalizacijskog sustava (Deduš i Rogulja, 2001). Potok Vrapčak jedan je od nekolicine urbanih potoka grada Zagreba. Izvire na području gorja Medvednice te ga u gornjim tokovima krase atraktivan slap Sopot, koji je sa svojih 9 metara najveći slap na području Parka prirode Medvednica (Internetski izvor 2). Daljnji tok ovog potoka, nizvodno od područja Parka prirode Medvednica, pod intenzivnijim je antropogenim utjecajem. Odnosno, veliki dio potoka je kanaliziran te mu je korito mjestimično popločeno. Vrapčak prolazi kroz sljedeće kvartove: Vrapče, Malešnicu, Špansko, Oranice, Rudeš, Vrbane, Staglišće, Jarun i Trešnjevku. S potokom Črnomerec se spaja na području Jaruna te završava u rijeci Savi (Slika 1). Vrapčak je dijelom otkriven (u dijelovima grada potok je vidljiv), a dijelom je zatrpan, odnosno u nekim dijelovima grada je potok postao dio podzemne gradske infrastrukture (Internetski izvor 3).





Slika 1. Karta mjesta ulijevanja potoka Črnomerec u potok Vrapčak te ulijevanja potoka Vrapčak u rijeku Savu (napravljeno u programu Qgis 3.16)

Prema Gradskom urbanističkom planu iz 1971., potok je trebao ostati otkriven, s obzirom na njegov stalni tok, sve do njegovog ulijevanja u Savu kod Jaruna. Također su oko njega planirane šetnice koje bi djelovale kao zeleni pojas koji spaja sjever s jugom zapadnog dijela grada (UZGZ, 1971). Stoga je potok danas otvoren te sve do Jaruna seže šetnica koja ga prati. Uređene šetnice se danas najčešće koriste u rekreacijske svrhe. Postaje uzorkovanja na potoku Vrapčak udaljene su svega kilometar zračne udaljenosti jedna od druge, a nalaze se u kvartovima Špansko i Rudeš (Slika 2).



Slika 2. Karta potoka Vrapčak s postajama uzorkovanja (V1, V2) (napravljeno u programu Qgis 3.16)

Prva (uzvodna) postaja (V1) razlikuje se od druge (nizvodne; V2) u tome što se noću nalazi u gotovo potpunom mraku. Postaja V2 noću je pod utjecajem umjetne rasvjete koja izravno obasjava potok (Slika 3). Uzvodna postaja (V1) nalazi se na  $45^{\circ}48'13.43''S$  geografske širine i na  $15^{\circ}54'24.79''I$  geografske dužine. Nizvodna postaja (V2) je na  $45^{\circ}47'45.02''S$  geografske širine i na  $15^{\circ}54'24.79''I$  geografske dužine. Prilikom uzorkovanja na navedenim postajama nisu uočena znatna onečišćenja, iako je na postaji V2 u potoku znalo biti vidljivog plastičnog otpada. Postaja V1 ima strmiji pristup i uže korito od postaje V2 (Slika 4).



postaja V1



postaja V2

Slika 3. Razlika u noćnom osvjetljenju između postaja uzorkovanja (foto: Ines Maksimović)



postaja V1



postaja V2

Slika 4. Razlika u pristupu između postaja (foto: doc. dr. sc. Mirela Sertić Perić)



## 4. Materijali i metode

### 4.1. Uzorkovanje drifta

Uzorkovanje drifta na potoku Vrapčak provedeno je tijekom četiri terenska izlaska u travnju i svibnju 2021. godine. Terenski izlasci odvijali su se u vremenskim razmacima od dva tjedna. Uzorci drifta uzimani su oko podneva te oko devet sati navečer istoga dana, a sakupljeno ih je ukupno 48. Na postajama V1 i V2 postavljeni su drift-uzorkivači, koji se sastoje od drift-mreže duljine 1,5 m i promjera oka 214  $\mu\text{m}$  pričvršćene na cilindričnu plastičnu cijev dimenzija 50 cm x 7,5 cm te površine otvora 44,2  $\text{cm}^2$ . Postavljena su po tri drift-uzorkivača prilikom svakog uzorkovanja (Slika 5). Uz svaki drift-uzorkivač mjerena je dubina stupca vode u centimetrima (pomoću ručnog metra) te brzina strujanja vode u  $\text{m s}^{-1}$  (pomoću protočne sonde za tekućine Mini Water 6050-1008 i uređaja P-670-M). Drift-mreže su se nakon 30-ak minuta izvukle iz vode, odvojile od plastičnih cilindara te pohranile, zajedno s prikupljenim driftom, u 70%-tnom alkoholu. Zabilježeno je vrijeme postavljanja mreža u potok i vrijeme uklanjanja mreža iz potoka, da bi se nakon vađenja mreža izračunalo točno vrijeme trajanja uzorkovanja drifta i volumen vode koja je prošla kroz drift-uzorkivače (Prilog I).



Slika 5. Drift-uzorkivači za vrijeme uzorkovanja drifta na postaji V1 (foto: Ines Maksimović)

### Analiza sastava makroskopskih beskralješnjaka u uzorcima drifta

Uzorci drifta su naknadno (u laboratoriju) ispirani s drift-mreža i pohranjeni u plastične posudice, u 70%-tnom alkoholu. Potom su pregledani uz pomoć lupe, pri čemu su se iz uzoraka izdvojili svi pronađeni makroskopski beskralješnjaci (Slika 6). Izdvojeni organizmi su determinirani uglavnom do razine reda, a kod nekih Diptera do razine porodice

(Chironomidae, Simuliidae) pomoću dostupnih ključeva za determinaciju (Nilsson, 1996, 1997). Nakon izdvajanja i determinacije makroskopskih beskralješnjaka, ostatak uzorka se sačuvao za analizu mikroplastike.

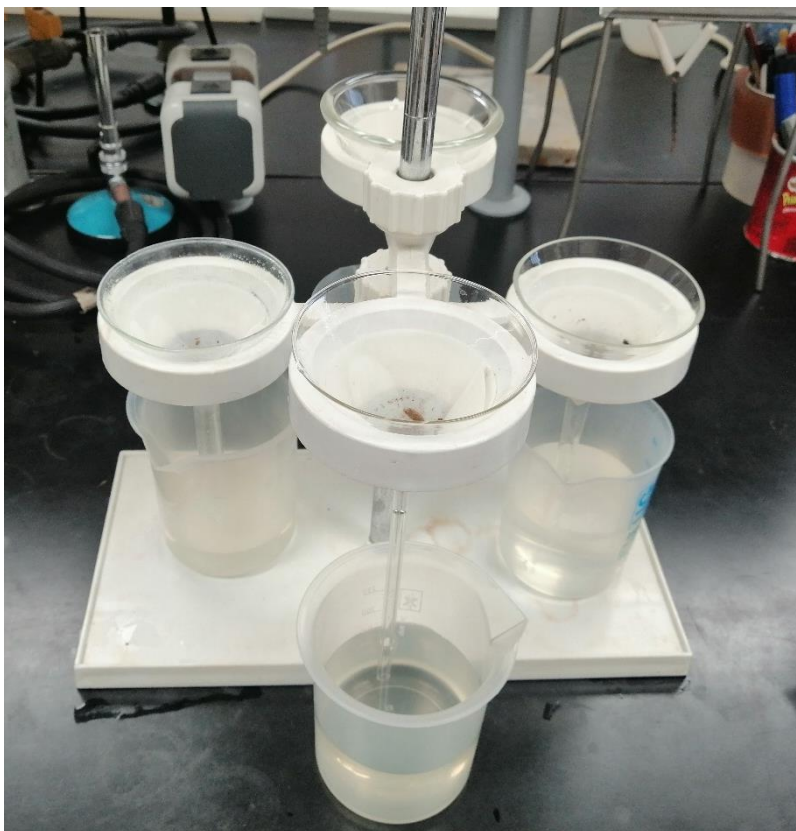


Slika 6. Makroskopski beskralješnjaci pod lupom (foto: Ines Maksimović)

#### 4.2. Analiza sastava mikroplastike u uzorcima drifta

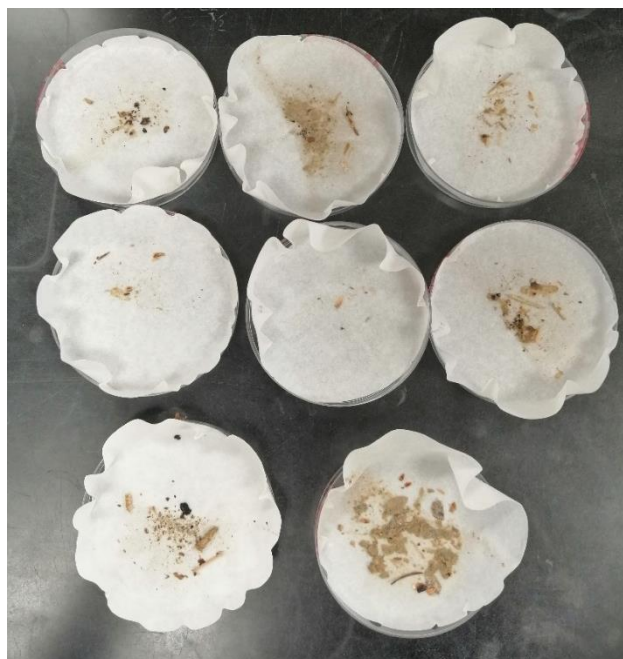
Triplikati istog uzorka drifta, koji su preostali nakon izdvajanja i determinacije makroskopskih beskralješnjaka, su spojeni u jedan uzorak koji je potom ispiran od alkohola pomoću destilirane vode, preko filter papira (s oznakom bijele vrpce). Isprani uzorci su se potom tretirali vodikovim peroksidom ( $H_2O_2$ ), kako bi se uklonila suvišna organska tvar. Prvotno je dodano 200 ml 10%-tnog vodikovog peroksida te je nakon smirivanja reakcije dodano 200 ml koncentriranog vodikovog peroksida. Zatim su se uzorci dodatno isprali destiliranom vodom preko bijelog filter papira te tretirali klorovodičnom kiselinom (HCl, konc.), kako bi se uklonila karbonatna komponenta. Kiselina se dodavala kapanjem te se po količini šuštanja procijenila količina dodane kiseline (u slučaju jakog šuštanja, dodalo se malo kiseline, a u slučaju slabog šuštanja, dodalo se više kiseline). Po završetku reakcije, uzorci su isprani destiliranom vodom preko bijele vrpce te su stavljeni na sušenje ( $85^{\circ}C$ , preko noći). Nadalje, suhi uzorci su se vagali radi dobivanja ukupne mase suhog uzorka, a zatim se u plastičnu kivetu dodalo maksimalno 5 g uzorka i 20 ml SPT (natrijev polivolfamat) gustoće  $1,65 \text{ g cm}^{-3}$ . SPT se zbog svoje specifične gustoće koristi u svrhe izdvajanja čestica na temelju njihove težine. U prisustvu SPT-a

definirane gustoće areometrom, čestice lakše od  $1,65 \text{ g cm}^{-3}$  su se izdvojile na vrhu kivete, dok su teže čestice potonule na dno kivete. Uzorci su potom stavljeni u centrifugu (2500 okretaja, 5 minuta). Kivete s uzorcima podjednake težine stavljene su nasuprotno kako bi se uspostavila ravnoteža prilikom centrifugiranja. Uzorci su potom pohranjeni u zamrzivač. Izdvojene lakše čestice, koje su se nalazile na vrhu zaleđenog uzorka, smatrale su se mikroplastikom te su one isprane preko filter papira s oznakom bijele vrpce (Slika 7).



Slika 7. Ispiranje SPT-a preko filter papira s oznakom bijele vrpce (foto: Ines Maksimović)

Ostatak uzorka (teže čestice na dnu kivete) nisu uzete u daljnju analizu. Nakon što su isprane čestice ostavljene preko noći da se suše prirodnim putem, izvagane su kako bi se dobio podatak o masi mikroplastike (Slika 8). Čestice su se potom promatrale i fotografirale pod lupom te analizirale na infracrvenom spektrometru s Fourierovom transformacijom (FTIR-u). Iz svakog uzorka analizirane su sve čestice koje su vizualno nalikovale plastici (najčešće ih je bilo dvije do četiri) te su se analizirale pomoću FTIR-a. Vrpce, odnosno prikazi signala određenih valnih duljina, dobiveni analizom pojedinih čestica konačno su se usporedili sa standardiziranim spektrima, kako bi se utvrdila vrsta mikroplastike.



Slika 8. Izdvojene čestice, spremne za fotografiranje pod lupom i analizu na FTIR-u (foto: Ines Maksimović)

#### 4.3. Fizikalno-kemijski parametri

Na obje postaje, tijekom dana i noći, mjereno je osvjetljenje pomoću luxmetra (TROTEC BF06).

Tijekom dnevnog i noćnog terena, na svakoj postaji, uzimani su uzorci vode (1 L) za fizikalno-kemijsku analizu koja se provodila naknadno u laboratoriju Zoologijskog zavoda PMF-a. Parametri poput temperature vode, zasićenosti vode kisikom, masene koncentracije otopljenog kisika u vodi mjereni su WTW OXI 96 oksimetrom. Konduktivitet te ukupna otopljena kruta tvar mjereni su Hach Sension 5 mjeračem, a pH vode WTW 330i pH-metrom. Svi gore navedeni parametri mjereni su na samim postajama prilikom uzorkovanja.

Ukupna tvrdoća vode (UTV) zbroj je kalcijeve i magnezijeve tvrdoće, a čine ju sve njihove soli koje možemo pronaći otopljene u vodi. U uzorak ispitivane vode je stavljena jedna tableta indikatora te 2 ml amonijaka. Zatim se uzorak titrirao kompleksalom III do zelenog obojenja. Metoda mjerenja ukupne tvrdoće vode temelji se na kompleksometrijskoj titraciji, pri čemu se kompleksal III veže za određene metalne katione.

Količina otopljene organske tvari (KPK) određivala se temeljem potrošnje kalijevog permanganata, po Kubel-Tiemann-u. Tom se metodom provodi oksidacija otopljene nerazgradive organske tvari u kiselom mediju. U uzorak vode se dodala otopina kalijevog

permanganata (0,01N) i koncentrirana sumporna kiselina, a nakon zagrijavanja i kuhanja uzorka vode s reagensima, dodala se otopina natrijevog oksalata (0,01N). Otopina se potom titrirala kalijevim permanganatom (0,01N) te se mjerila količina kalijevog permanganata utrošenog za titraciju do blijedo ružičastog obojenja analiziranog uzorka vode. Daljnjim izračunima dobila se količina utrošenog kisika, koja je ekvivalentna količini otopljene organske tvari u uzorku.

Alkalinitet je sposobnost vode da se opire promjeni pH vrijednosti. Određen je tako da se u uzorak vode dodao indikator metiloranž, koji je nakon titracije klorovodičnom kiselinom (0,1N) poprimio boju kore luka. Alkalinitet se potom odredio na temelju količine utrošene kiseline.

Prema APHA (1985), masene koncentracije fosfata ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), nitrita ( $\text{NO}_2^-$ ) i nitrata ( $\text{NO}_3^-$ ) mjerene su spektrofotometrom HACH DR/2000. Dodavanjem reagensa u uzorak vode nastali su obojeni kompleksi gore navedenih aniona, koji apsorbiraju svjetlost određene valne duljine ( $\lambda$ ). Količina apsorbirane svjetlosti ovisi o koncentraciji nitrita, nitrata i fosfata u analiziranom uzorku vode. Svaki anion apsorbira određenu valnu duljinu – prilikom mjerenja spektrofotometrom propušta se valna duljina od 520 nm za nitrite, 420 nm za nitrata te 690 nm za fosfate. Koncentracija aniona išitala se iz apsorbancije uzorka, odnosno razlike valnih duljina zadanog i propuštenog svjetlosnog zračenja ( $\Delta\lambda$ ).

#### 4.4. Obrada i prikaz podataka

Svi rezultati prikupljeni tijekom travnja i svibnja 2021. godine obrađeni su, statistički analizirani te grafički ili tablično prikazani u računalnim programima Microsoft Office Excel 2016 (Microsoft Corporation, 2016) i Statistica 10 (Statsoft Inc., 2013).

Brojnost jedinki u uzorcima drifta izražena je kao gustoća drifta (*engl.* drift density), koja se izražava kao broj jedinki po jedinici volumena vode ( $\text{m}^3$ ). Pri izračunu gustoće drifta, u obzir se uzimaju vrijeme uzorkovanja, brzina strujanja vode i trajanje uzorkovanja prema formuli:

$$\text{Gustoća drifta} = N / t [\text{h}] * P [\text{m}^2] * v [\text{m s}^{-1}] * 3600 [\text{s h}^{-1}]$$

u kojoj je:

N = broj jedinki u uzorku drifta

t = vrijeme tj. trajanje uzorkovanja [h]

P = površina otvora drift-mreže [ $\text{m}^2$ ]

v = brzina strujanja vode [ $\text{m s}^{-1}$ ]

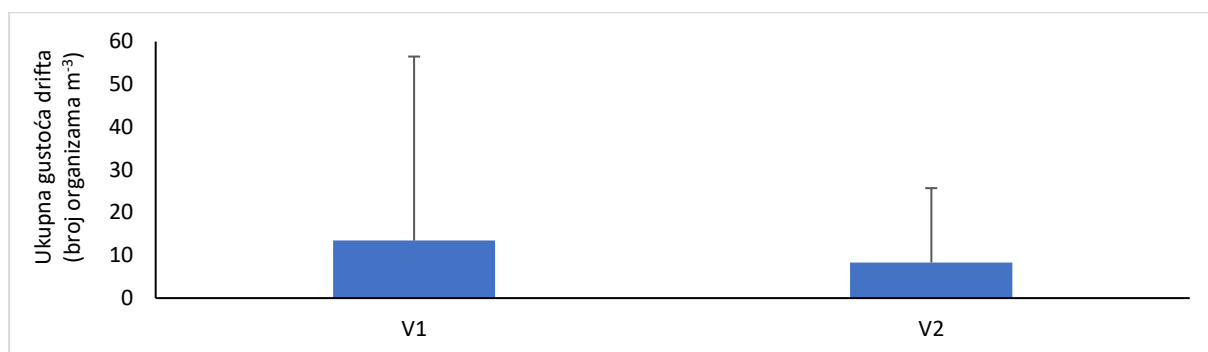
Rezultati kvantitativne analize uzoraka drifta prikazani su standardnim statističkim mjerama kao što su srednja vrijednost (SV) i standardna devijacija (SD). Neparometrijski Mann-Whitney U-test korišten je za uspoređivanje gustoće drifta makrozoobentosa te mjerenih fizikalno-kemijskih parametara između dana i noći i između dviju postaja, a za statističku analizu razlika u gustoćama drifta između različitih datuma uzorkovanja korišten je neparometrijski Kruskal-Wallis test. PCA (Principal Component analiza) primijenjena je kako bi se utvrdio utjecaj okolišnih čimbenika na razlike među postajama. Osim same vrijednosti parametara, tijekom PCA analize, uzimani su obzir i mjesec uzorkovanja, doba dana te postaja na kojoj je uzorkovanje provedeno. Spearman Rank Order Correlations metoda se koristila kako bi se utvrdila korelacija između gustoće drifta i fizikalno kemijskih parametara. Rezultati dobivenih vrpci čestica mikroplastike uspoređivani su s literaturnim podacima kako bi se dobila informacija o vrsti mikroplastike (Jung i sur., 2017).



## 5. Rezultati

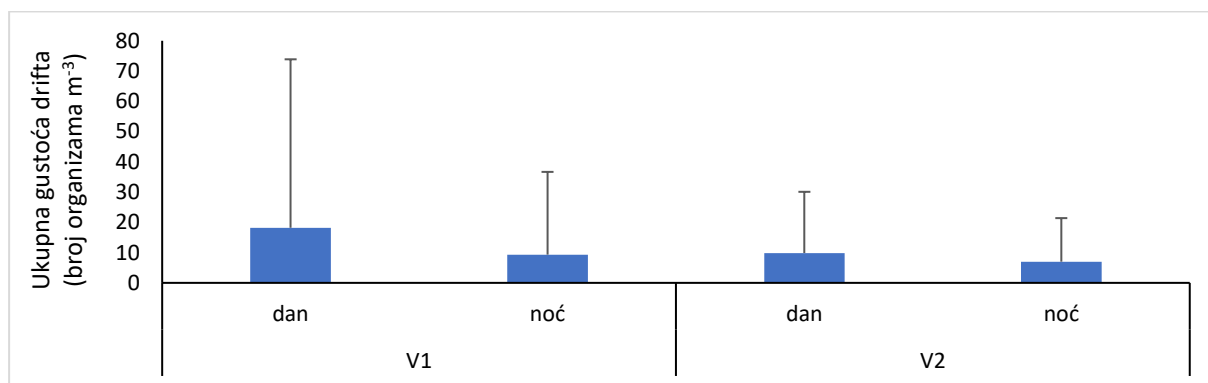
### 5.1. Sastav makrozoobentosa u dnevno-noćnim uzorcima drifta

Ukupna gustoća makroskopskih beskralješnjaka u dnevnim i noćnim uzorcima, tijekom svih uzorkovanja, bila je veća na postaji V1 nego na postaji V2 (Slika 9), no ova razlika nije dokazana značajnom (Mann-Whitney U Test,  $p = 0,881$ ).



Slika 9. Razlika u prosječnoj ukupnoj gustoći drifta ( $\pm$ SD) između postaja V1 i V2.

Danju je na postaji V1 zabilježena dvostruko veća gustoća drifta nego noću (Slika 10). Statistički, ta razlika nije bila značajna (Mann-Whitney U Test,  $p = 0,568$ ). Na postaji V2 gustoće drifta su bile podjednake i danju i noću (Slika 10) te značajna razlika nije opažena (Mann-Whitney U Test,  $p = 0,822$ ).



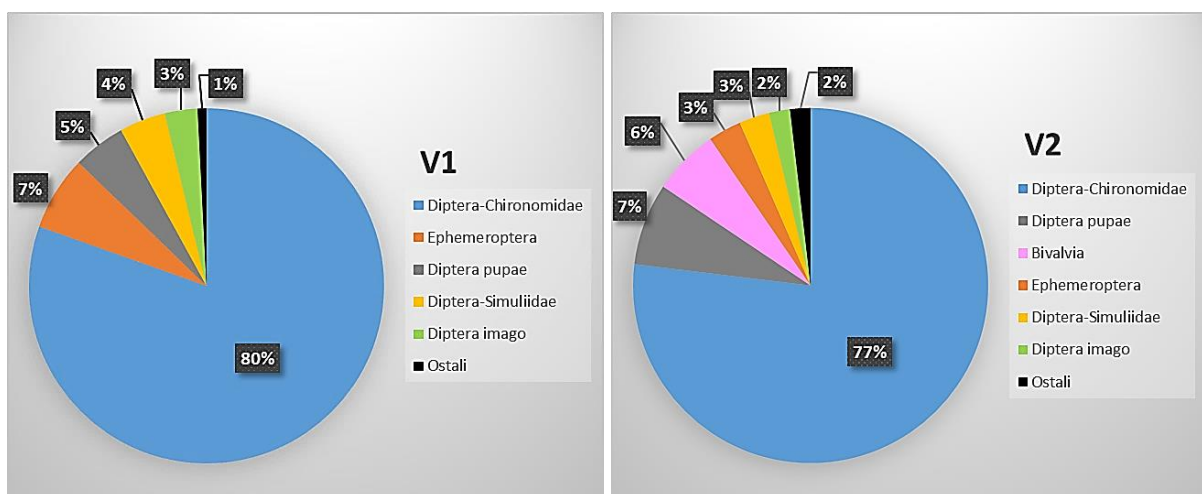
Slika 10. Razlika u prosječnoj ukupnoj gustoći drifta ( $\pm$ SD) između dnevnih i noćnih uzoraka na postajama V1 i V2.

Sastav makroskopskih beskralješnjaka je prilično uniforman na obje postaje. Na slici 11 je vidljivo kako su na obje postaje u najvećoj mjeri u driftu bili zastupljeni predstavnici reda Diptera (dvokrilci), odnosno porodice Chironomidae (trzalci) s preko 75%. Uočljiva razlika među postajama je prisustvo skupine Bivalvia (školjkaši), koja je na postaji V2 treća po

zastupljenosti (6%). U svim sakupljenim uzorcima drifta, na postaji V1 tijekom razdoblja istraživanja, najzastupljeniji organizmi (tj. organizmi nađeni s  $>5$  jedinki  $m^{-3}$ ) su bili predstavnici reda Diptera iz porodice Chironomidae (80%), Ephemeroptera (7%), kukuljice reda Diptera (5%), predstavnici reda Diptera iz porodice Simuliidae (4%) te odrasle jedinke reda Diptera (3%). Ostali organizmi (Tablica 1) su bili zastupljeni sa svega 1% (Slika 11).

Na postaji V2 su najzastupljeniji organizmi bili Chironomidae (77%), kukuljice reda Diptera (7%), predstavnici razreda Bivalvia (6%), Ephemeroptera (3%), predstavnici reda Diptera iz porodice Simuliidae (3%), odrasle jedinke reda Diptera (2%) te Ostali (Tablica 1) sa zastupljenošću od 2 %.

Iz tablice 1 se iščitava da je najveća razlika u sastavu drifta između postaja bila u prisutnosti skupine Bivalvia, koja nije nađena na postaji V1, a treća je po zastupljenosti na postaji V2. Generalno je veći broj svojiti u driftu pronaden na postaji V1, gdje su se našle ličinke redova Odonata i Plecoptera te predstavnici skupina Amphipoda, Colembolla, Hirudinomorpha te Nematoda. Svega 57,1 % jedinki koje su nađene na postaji V1 su nađene i na postaji V2.

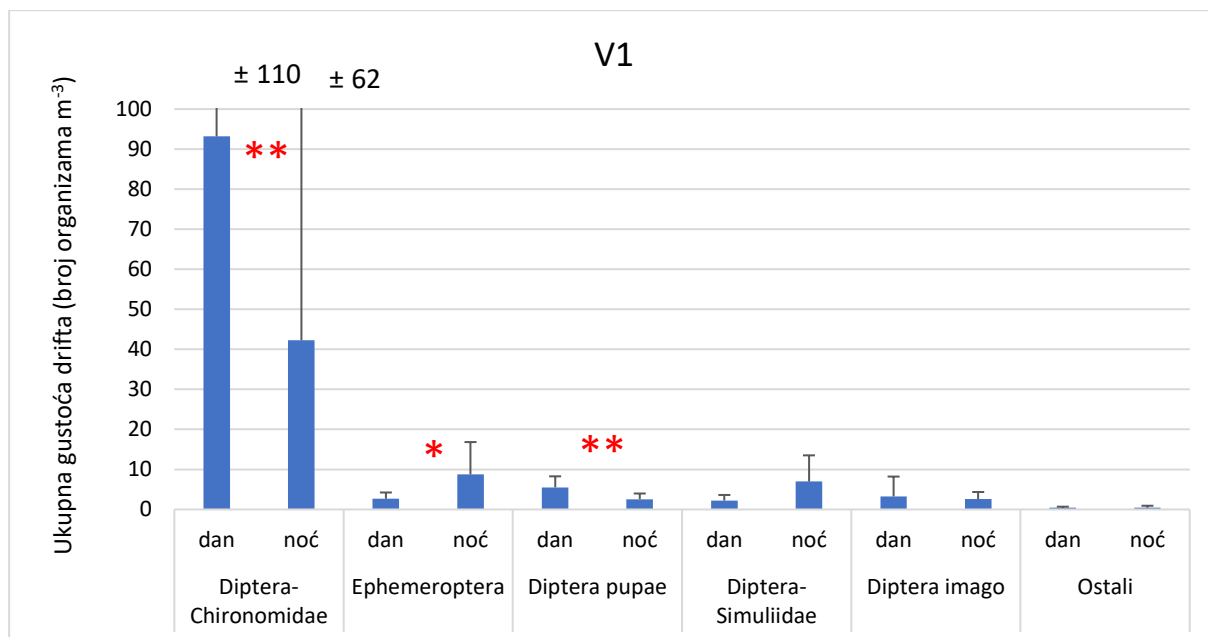


Slika 11. Zastupljenost makroskopskih beskraljješnjaka na postajama V1 i V2

Tablica 1. Srednja vrijednost gustoća drifta (broj jedinki  $m^{-3}$ ) tijekom razdoblja istraživanja na postajama V1 i V2. Sivo označena polja ukazuju na organizme nađene s  $<6$  jedinki  $m^{-3}$  (s iznimkom Gastropoda koji je nađena s  $>6$  jedinki  $m^{-3}$ ) u uzorcima drifta tijekom razdoblja istraživanja (u tekstu i na slikama navedeni su kao „Ostali organizmi“).

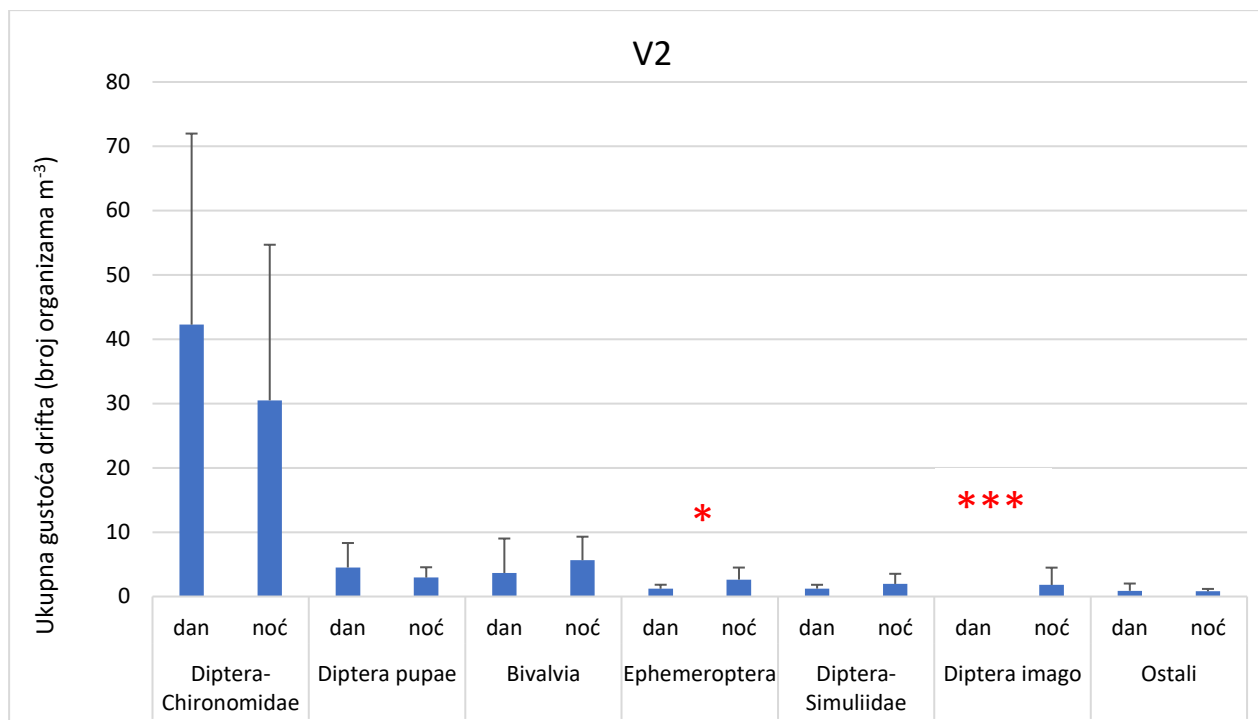
Skupina	V1	V2
Nematoda	0,50	0,0
Oligochaeta	3,0	2,1
Hirudinomorpha	0,2	0,0
Gastropoda	0,2	8,9
Bivalvia	0,0	68,5
Arachnida	0,5	0,4
Amphipoda	0,5	0,0
Collembola	0,2	0,0
Coleoptera	2,0	1,3
Diptera imago	60,3	21,6
Diptera pupae	97,0	84,9
Diptera-Ceratopogonidae	1,4	1,9
Diptera-Chironomidae	1624,9	873,1
Diptera-Simuliidae	84,8	31,4
Ephemeroptera	137,0	34,3
Isopoda	0,4	0,3
Odonata	0,2	0,0
Plecoptera	0,2	0,0
Trichoptera	1,5	0,3
Terestrički organizmi	5,5	6,0

Na postaji V1, najzastupljenija je bila porodica Chironomidae te je brojnost njenih predstavnika u driftu danju (Slika 12) na postaji V1 općenito bila značajno viša nego noću (Mann-Whitney U Test,  $p = 0,0086$ ). Noću su u driftu na postaji V1 bile brojnije jedinice reda Ephemeroptera i reda Diptera, odnosno porodice Simuliidae. Značajna razlika u dnevno-noćnom driftu uočena je kod reda Ephemeroptera (Mann-Whitney U Test,  $p = 0,0262$ ) i kukuljica reda Diptera (Mann-Whitney U Test,  $p = 0,0051$ ). Odrasle jedinice reda Diptera nisu pokazale značajne varijacije u brojnosti u odnosu na doba dana. Ostali organizmi su bili podjednako zastupljeni i danju i noću u uzorcima drifta i to u malom broju (Slika 12).



Slika 12. Srednja vrijednost ukupne gustoće drifta ( $\pm$ SD) u odnosu na doba dana na postaji V1 (\* $p < 0,05$  \*\* $p < 0,01$  \*\*\* $p < 0,001$ )

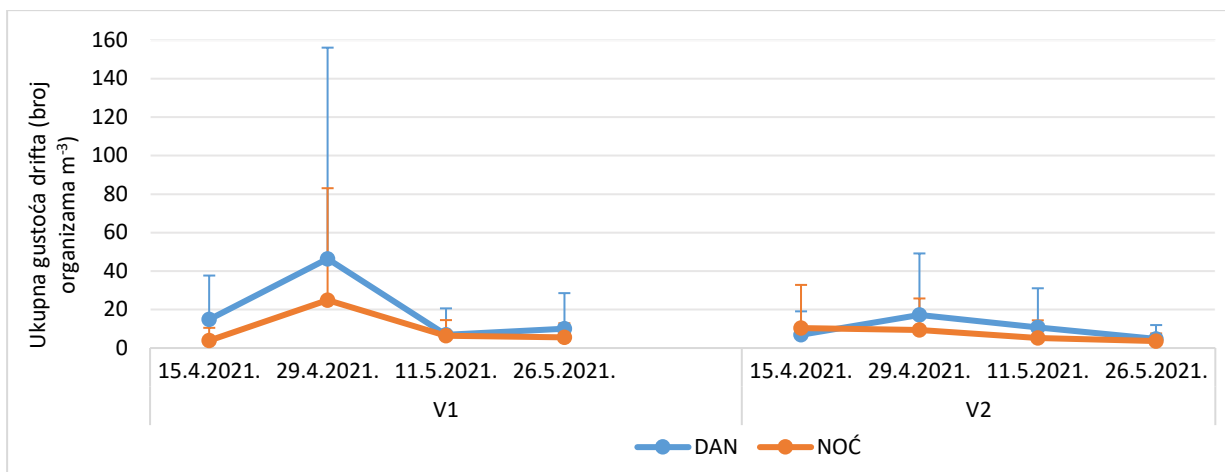
Kao što je vidljivo na slici 13, na postaji V2 također su u driftu prevladavale jedinke porodice Chironomidae te je njihova zastupljenost bila veća danju. Danju su u uzorcima drifta bile brojnije i kukuljice reda Diptera. Skupine koje su bile zastupljenije u noćnim uzorcima drifta na postaji V2 su Bivalvia, Ephemeroptera, sa skoro dvostruko više jedinki te porodica Simuliidae sa tek ponešto više jedinki. Razlika u brojnosti jedinki Ephemeroptera između dana i noći je dokazana statistički značajnom (Mann-Whitney U Test,  $p = 0,04307$ ). Značajna je bila i razlika kod odraslih jedinki reda Diptera (Mann-Whitney U Test,  $p = 0,00001$ ), gdje niti jedna jedinka nije nađena u dnevnim uzorcima. Ostali organizmi su bili podjednako zastupljeni i u dnevnim i u noćnim uzorcima drifta (Slika 13).



Slika 13. Srednja vrijednost ukupne gustoće drifta ( $\pm$ SD) u odnosu na doba dana na postaji V2 (\* $p < 0,05$  \*\* $p < 0,01$  \*\*\* $p < 0,001$ )

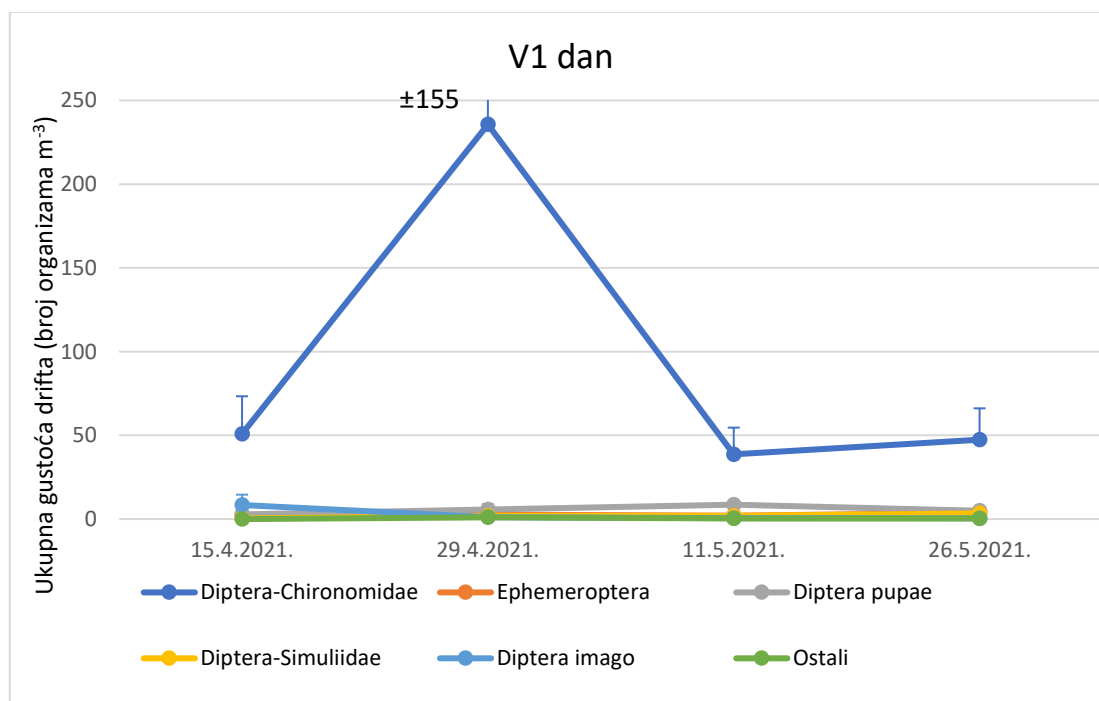
Na postaji V1, 29.4.2021., vidljiv je znatan porast u prosječnoj gustoći organizama u driftu u odnosu na 15.4.2021. te je porast bio očitiji danju (Slika 14). Pad u prosječnoj gustoći organizama u driftu zabilježen je 11.5.2021., a blagi porast je slijedio prilikom idućeg uzorkovanja (26.5.2021.), gdje je ponovno veći porast gustoće drifta uočen u dnevnim uzorcima.

Postaja V2 nema upečatljive razlike u gustoći drifta između datuma uzorkovanja, ali kao i kod postaje V1, uočen je porast prosječne gustoće organizama u driftu prilikom drugog uzorkovanja (29.4.2021.). Datume 11.5.2021. i 26.5.2021. obilježio je nešto veći prosječan broj organizama u driftu danju, dok je 26.5.2021. opažena nešto veća prosječna gustoća drifta noću (Slika 14).



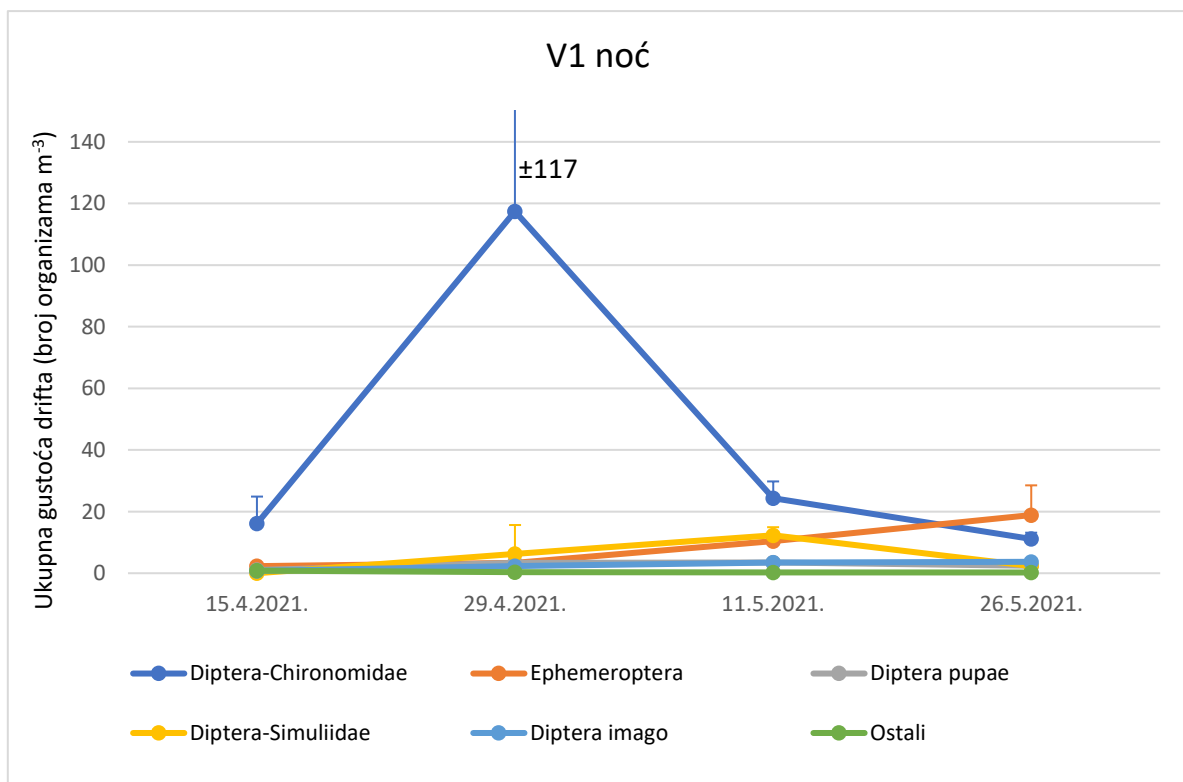
Slika 14. Razlika u prosječnoj gustoći drifta ( $\pm$ SD) između postaja i doba dana po datumima uzorkovanja

Na postaji V1, kod dnevnih uzoraka, vidljiv je znatan porast u prosječnoj gustoći drifta kod porodice Chironomidae 29.4.2021. (Slika 15). Blagi porast u ukupnoj gustoći drifta opažen je za kukuljice reda Diptera na datum 11.5. Ličinke reda Ephemeroptera, reda Diptera - porodice Simuliidae, odrasle jedinice Diptera te Ostali organizmi, kao što je vidljivo na slici 15, nisu imali većih odstupanja u gustoći drifta po datumima uzorkovanja. Statistički značajne razlike u gustoći drifta na postaji V1 među datumima nisu utvrđene (Kruskal-Wallis test,  $p > 0,05$ ).



Slika 15. Razlika u prosječnoj gustoći drifta ( $\pm$ SD) pojedinih skupina organizama na postaji V1 po danu

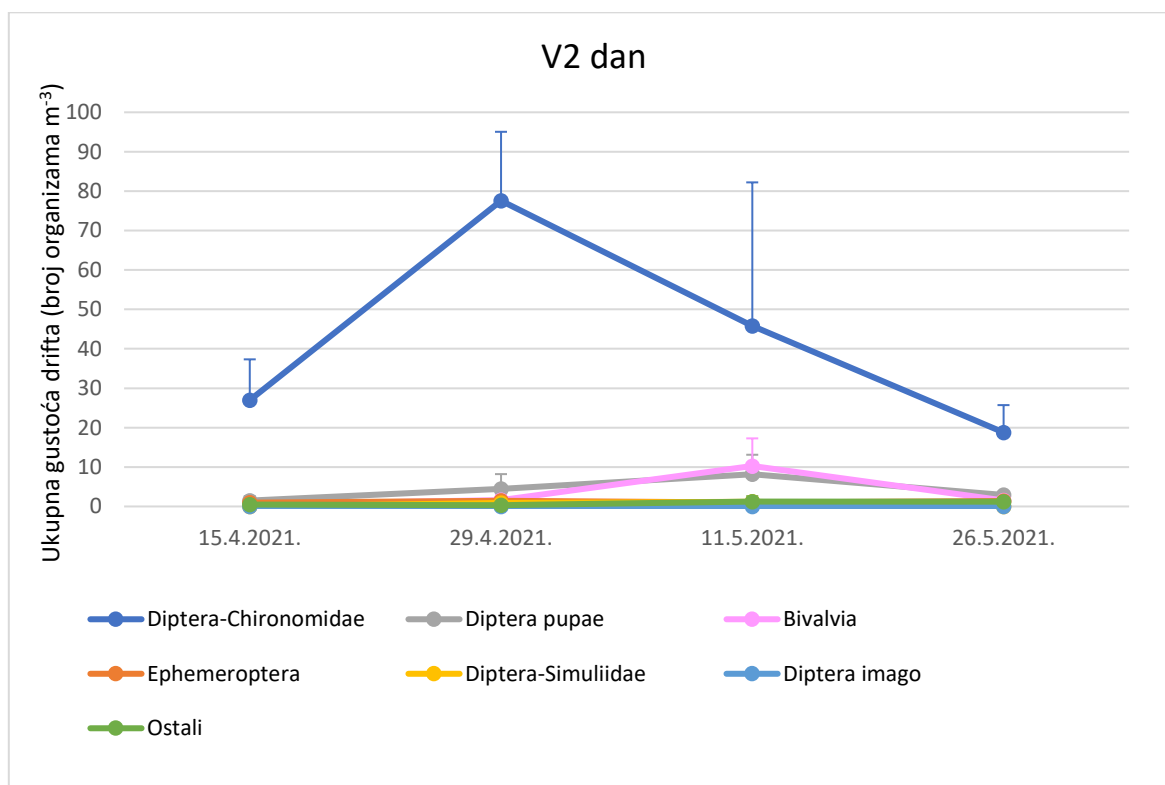
Na slici 16 se može uočiti da je u noćnim uzorcima na postaji V1 znatan porast prisutan kod porodice Chironomidae, gdje je brojnost jedinki u driftu 29.4.2021. narasla sedmerostruko u odnosu na brojnosti opažene 15.4.2021. Taj je rast dokazan statistički značajnim (Kruskal-Wallis test,  $p = 0,0307$ ). Nakon ovog naglog porasta, 11.5. i 26.5. opažen je pad u gustoći drifta za porodicu Chironomidae. Skupina Ephemeroptera, od prvog do zadnjeg datuma uzorkovanja, pokazuje statistički značajan porast (Kruskal-Wallis test,  $p = 0,0227$ ) te je njihova brojnost u driftu krajem svibnja devet puta veća od brojnosti opažene 15.4.2021. Kukuljice reda Diptera nisu imale znatne varijacije u brojnosti. Jedinke porodice Simuliidae te odrasle jedinke reda Diptera bile su brojnije u driftu na datume 29.4. i 11.5., no taj porast u brojnosti se nije pokazao statistički značajnim (Kruskal-Wallis test,  $p > 0,05$ ). Varijacije u brojnosti organizama u driftu su se pokazale statistički značajnim za Ostale skupine organizama te je njihova brojnost bila najveća 15.4.2021. (Kruskal-Wallis test,  $p = 0,0437$ ).



Slika 16. Razlika u prosječnoj gustoći drifta ( $\pm$ SD) pojedinih skupina organizama na postaji V1 po noći

Kao i na postaji V1, na postaji V2 u dnevnim uzorcima znatan porast u gustoći drifta je opažen kod porodice Chironomidae i to na datum 29.4.2021. (Slika 17). Nakon tog porasta, u svibnju je uslijedio pad brojnosti predstavnika porodice Chironomidae u driftu. Kukuljice jedinki Diptera, kao i jedinke skupine Bivalvia, najveću brojnost u driftu su imale 29.4.2021.

Ephemeroptera, porodica Simuliidae te Ostali organizmi nisu imali primjetne varijacije u brojnosti tijekom travnja i svibnja. Razlike u gustoći noćnog drifta na postaji V2 među datumima nisu se pokazale statistički značajnim (Kruskal-Wallis test,  $p > 0,05$ ). Kukuljice reda Diptera nisu pronađene u dnevnim uzorcima na postaji V2.

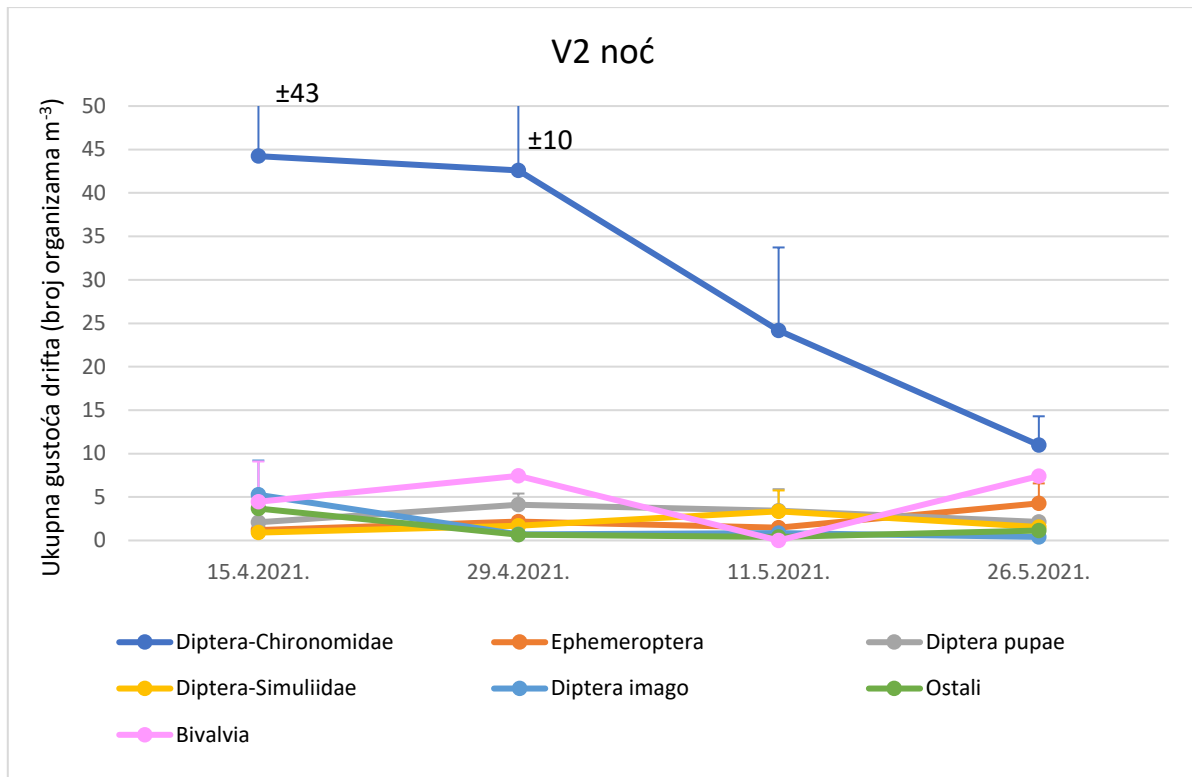


Slika 17. Razlika u prosječnoj gustoći drifta ( $\pm$ SD) pojedinih skupina organizama na postaji V2 po danu

Na postaji V2 u noćnim uzorcima drifta najviše je zastupljena porodica Chironomidae (Slika 18). Nakon 29.4.2021., brojnost ličinki porodice Chironomidae u noćnim uzorcima drifta naglo pada te postaje dvostruko manja u uzorcima u svibnju. Skupina Ephemeroptera nije imala primjetne varijacije u gustoći drifta u noćnim uzorcima na postaji V2, iako je zabilježen porast krajem svibnja, gdje je brojnost Ephemeroptera u driftu bila dvostruko veća od one 29.4.2021. Kukuljice reda Diptera te ličinke porodice Simuliidae nisu imale veće varijacije u gustoći drifta, iako je nešto više jedinki u driftu zabilježeno 11.5.2021. Odrasle jedinke reda Diptera imale su značajne statističke razlike (Kruskal-Wallis test,  $p = 0,0415$ ) u gustoći noćnog drifta na postaji V2 te ih je 15.4. bilo peterostruko više u odnosu na ostale datume uzorkovanja. Ostali organizmi su također imali statistički značajne vremenske razlike u gustoći drifta (Kruskal-Wallis test,  $p = 0,0205$ ) te ih je najviše bilo prilikom prvog uzorkovanja (15.4.2021.). Kod skupine Bivalvia zabilježen je znatan pad gustoće drifta 11.5.2021., kada nije pronađena niti jedna jedinka u



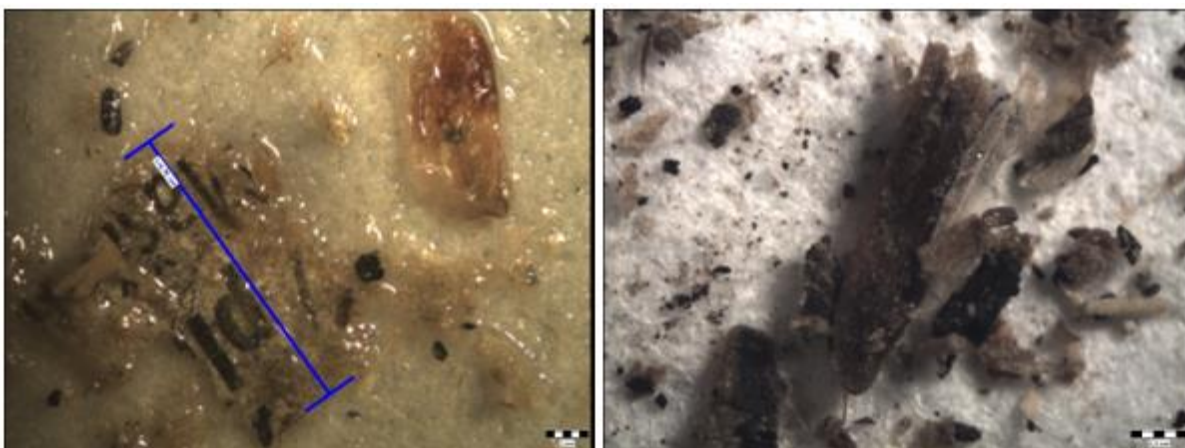
noćnim uzorcima drifta na postaji V2. Jedinke Bivalvia su imale podjednaku brojnost u uzorcima noćnog drifta na postaji V2 krajem svibnja i krajem travnja te nešto manju gustoću drifta 15.4.2021.



Slika 18. Razlika u prosječnoj gustoći drifta ( $\pm$ SD) pojedinih skupina organizama na postaji V2 po noći

## 5.2. Sastav mikroplastike u dnevno-noćnim uzorcima drifta

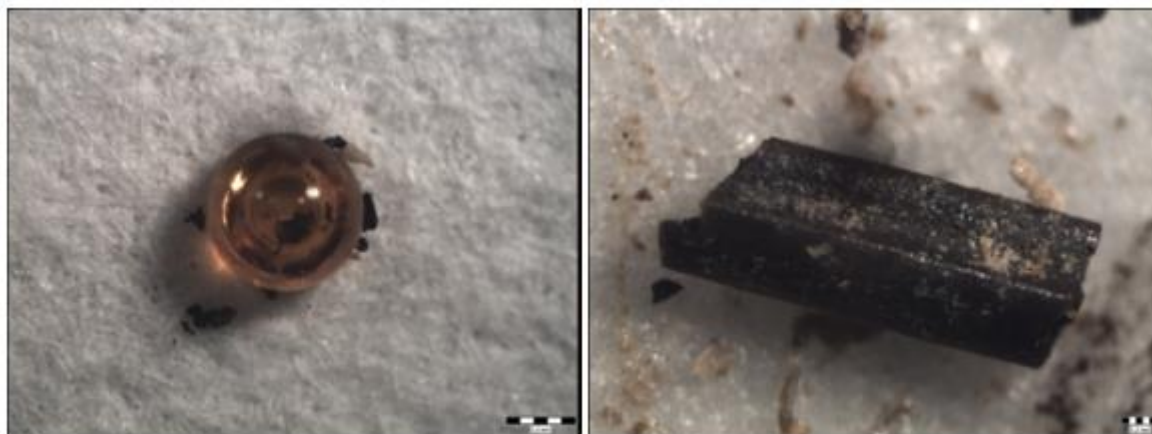
Vizualnom procjenom, pod lupom, mali postotak plastike je bio zastupljen u svim uzorcima te se analizom na FTIR-u pokazalo kako je najviše testiranih čestica organskog podrijetla. U uzorcima su pronađene čestice raznih boja i oblika, ali i papirnati sadržaj, grančice, lišće te ostaci sedimenta (Slika 19).



Slika 19. Različite čestice (gustoće <math>< 1,65 \text{ g cm}^{-3}</math>) od kojih je većina organskog podrijetla pronađene u dnevnim i noćnim uzorcima drifta slikane pod lupom

U većini analiziranih uzoraka su bile prisutne čestice nalik perlicama (Slika 20a) te se pokazalo, nakon analize na FTIR-u, da imaju najveću podudarnost s vrpčama organske tvari. Prisutnost tih čestica je bila češća na postaji V2, u dnevnim i noćnim uzorcima, dok su na postaji V1 pronađene u noćnim uzorcima.

Također, u uzorcima su pronađene mnoge tamne čestice koje su bile mrvljive te ostavljale tamni trag (Slika 20b). Analizom na FTIR-u se pokazalo kako te čestice nisu plastika.



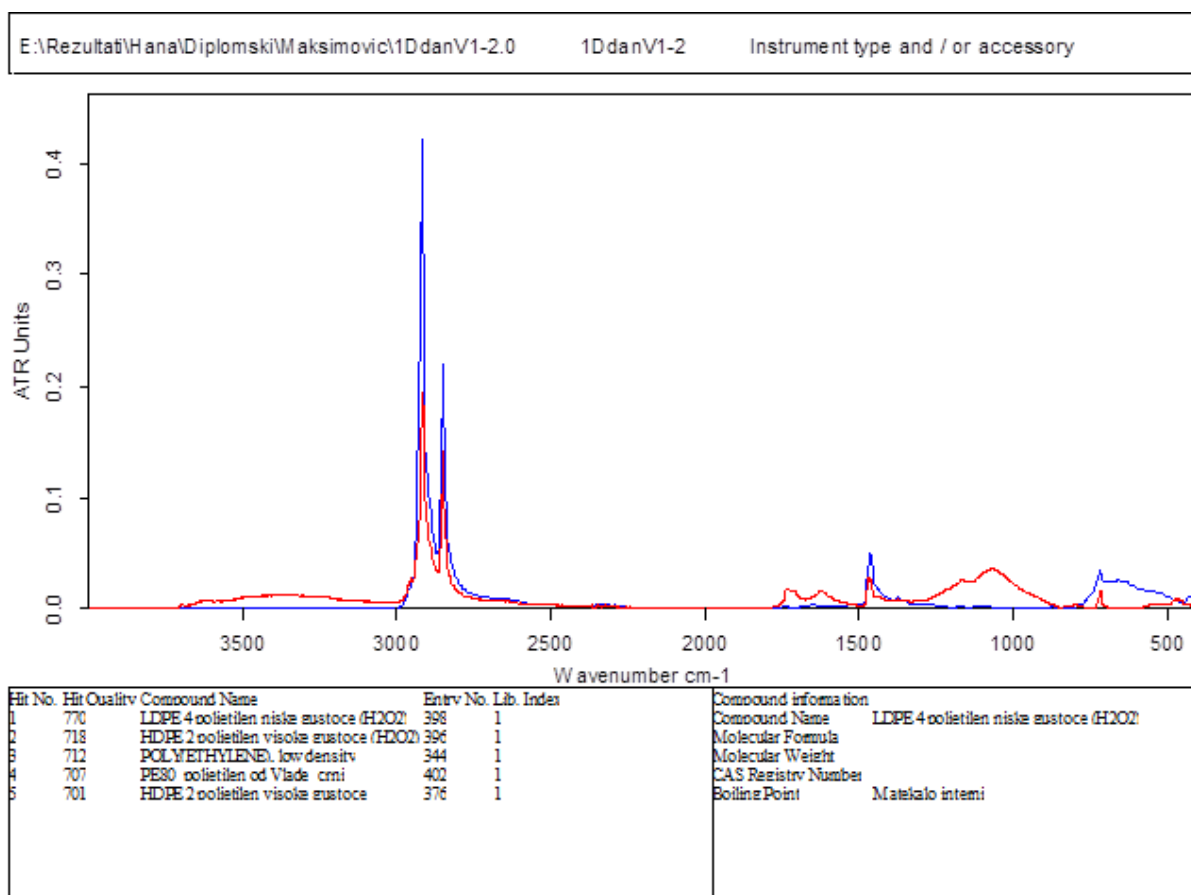
a)

b)

Slika 20. Često nađene čestice u uzorcima drifta. a) okrugle čestice nalik perlicama, organskog podrijetla; b) lako mrvljive tamne čestice koje nisu plastika

Ukupno je analizirano 47 čestica, od kojih se svega dvije vrpce ispitanih čestica poklapaju s vrpčama polietilena. Jedna čestica je nađena u uzorku iz prvog uzorkovanja (15.4.2021), i to na

postaji V1, u dnevnim uzorcima. Druga čestica je nađena na postaji V2 tijekom posljednjeg uzorkovanja (26.5.2021.), u noćnim uzorcima. U postocima, od svih pregledanih čestica, svega je 4,25 % plastičnih čestica. Prilikom obrade podataka nije došlo do potpunog preklapanja vrpce pojedinih čestica s vrpcama koje predstavljaju plastiku. Slika 21 predstavlja preklapanje vrpce analizirane čestice s vrpcom polietilena niske gustoće, no vidljivo je kako preklapanje nije stopostotno. S obzirom na mali broj čestica plastike, razlika između postaja V1 i V2, kao ni razlika u količini plastike između doba dana se nije mogla statistički utvrditi. Nadalje, masa dobivene mikroplastike se nije koristila prilikom analize jer se ispostavilo da su čestice u uzorcima većinski organskog podrijetla.



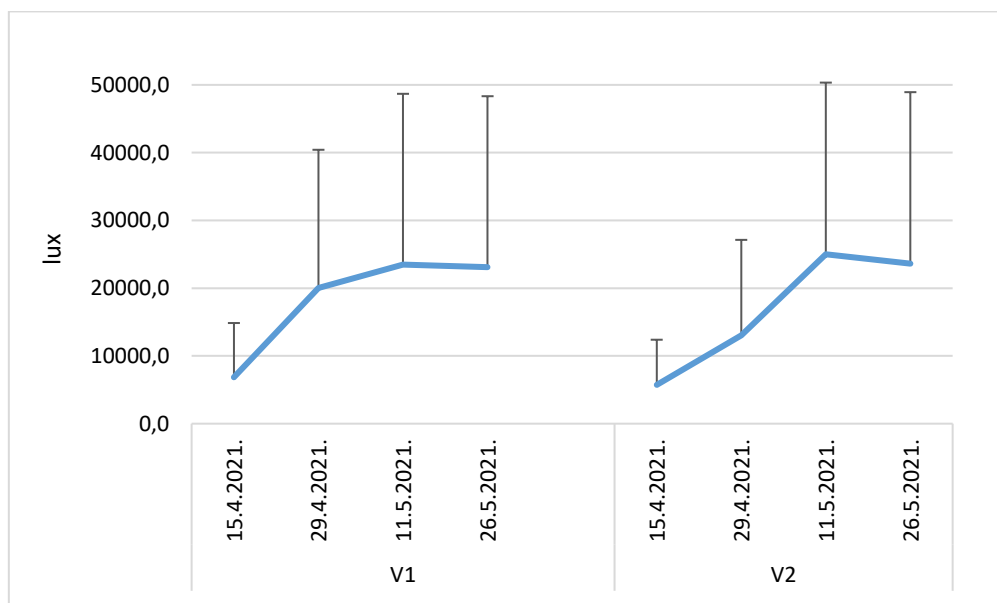
Slika 21. Preklapanje vrpce čestice plastike s vrpcom polietilena snimljene na uređaju FTIR. Crvena vrpca predstavlja česticu plastike nađenu u dnevnim uzorcima na postaji V1, a plava vrpca prikazuje polietilen niske gustoće.

### 5.3. Fizikalno kemijski parametri

Kao što je vidljivo iz tablice 2, statistički značajna razlika između postaja V1 i V2 pokazala se za većinu fizikalno-kemijskih parametara mjerenih u uzorcima vode. Srednja vrijednost ( $\pm$ SD) brzine strujanja vode bila je najviša 11.5.2021. za postaju V1 ( $0,52 \pm 0,09 \text{ m s}^{-1}$ ) te 26.5.2021.

za postaju V2 ( $0,38 \pm 0,05 \text{ m s}^{-1}$ ). Mjerena dubina potoka je varirala te se pokazala značajno različitom među postajama V1 i V2 (Mann-Whitney U Test,  $p = 0,0015$ ; Tablica 2). Prosječna temperatura vode je bila najviša po danu 11.5.2021., a najniža 15.4.2021. na obje postaje.

Zasićenje kisikom ( $\pm$ SD) je bilo najviše 29.4.2021. na postaji V1 ( $125,5 \pm 22,86 \%$ ) te 26.5. na postaji V2 ( $125,1 \pm 24,05 \%$ ). Na obje postaje, pH je dosežao najveću vrijednost prilikom prvog uzorkovanja te su se razlike u njegovoj vrijednosti između postaja V1 i V2 tijekom istraživanja pokazale značajnima (Mann-Whitney U Test,  $p = 0,0000$ ; Tablica 2). Prema tablici 2, konduktivitet i ukupna koncentracija otopljenih krutih tvari (TDS) nisu imali velike promjene po datumima na pojedinoj postaji tijekom perioda uzorkovanja, no statistički se razlika između postaje V1 i postaje V2 pokazala značajnom (tablica 2). Konduktivitet i TDS su na obje postaje bili najviši 15.4.2021., a najniži krajem travnja. Osvjetljenje izraženo u lux-ima je variralo po datumima te se pokazalo značajno različitim među postajama V1 i V2 (Mann-Whitney U Test,  $p = 0,0001$ ; tablica 2). U prosjeku, postaja V2 je manje osvijetljena u odnosu na postaju V1 (Slika 22). No, vidljivo je kako je standardna devijacija dosta visoka svih datuma uzorkovanja.



Slika 22. Prosječna vrijednost ( $\pm$ SD) osvijetljenja na postajama V1 i V2 po datumima

Razlika u kemijskoj potrošnji kisika ( $KPK_{KMnO_4}$ ) između postaja V1 i V2, prema tablici 2, se pokazala značajnom (Mann-Whitney U Test,  $p = 0,0291$ ). Najviša potrošnja kisika, kod obje postaje, bila je u svibnju. Alkalinitet je bio u prosjeku značajno viši na postaji V1 u odnosu na postaju V2, gdje je krajem svibnja dosežao maksimum (Tablica 2). Ukupna tvrdoća vode, kao i alkalinitet, imala je ponešto više vrijednosti na postaji V1 nego na postaji V2, no te razlike

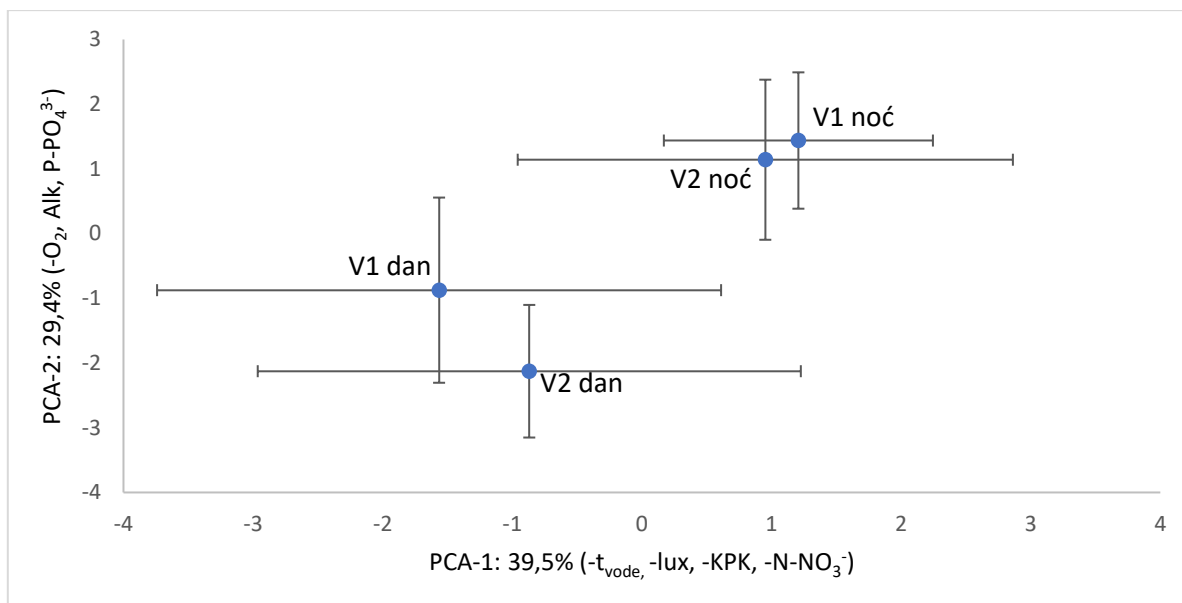
nisu bile statistički značajne (Tablica 2). Razlike u koncentracijama nitrita i nitrata između postaja V1 i V2 nisu se pokazale statistički značajnim (Tablica 2). Najviše koncentracije nitrita zabilježene su 11.5.2021. na obje postaje, dok su najviše koncentracije nitrata na obje postaje zabilježene za prvog uzorkovanja u travnju (Tablica 2). Najviše vrijednosti ortofosfata su izmjerene krajem svibnja te su razlike u njihovoj koncentraciji između postaja V1 i V2 tijekom razdoblja uzorkovanja pokazane značajnim (Mann-Whitney U Test,  $p = 0,0222$ ; tablica 2).

Mann Whitney U testom se pokazalo kako na postaji V1 postoje značajne razlike između dnevnih i noćnih uzoraka kod svih ispitivanih fizikalno-kemijskih parametara, osim brzine strujanja vode, pH i nitrita (Prilog II). Na postaji V2, također su dokazane značajne razlike u dnevnim i noćnim uzorcima između svih fizikalno-kemijskih parametara, osim brzine strujanja, dubine vode, kemijske potrošnje kisika te nitrita (Prilog III).

Na slici 23 je vidljivo kako su noću na postajama V1 i V2 zabilježeni viši alkalinitet i koncentracije ortofosfata te snižene vrijednosti koncentracije kisika, temperature vode, kemijske potrošnje kisika, osvjetljenja te koncentracije nitrata. Iz PCA-dijagrama (Slika 23), vidljiva je očita polarizacija postaja u odnosu na doba dana, na što su najviše utjecali parametri izdvojeni duž PCA-1 osi (temperatura vode, osvjetljenje, KPK, koncentracija nitrata), ali i parametri izdvojeni duž PCA-2 osi (koncentracija kisika, alkalinitet, koncentracija ortofosfata). Na PCA dijagramu, prva PCA komponenta (PCA-1 os) objašnjava 39,5 % varijacije između postaja tijekom različitih doba dana, a druga PCA komponenta (PCA-2 os) 29,4 % varijacije. PCA-os 1 najviše korelira s temperaturom vode ( $R = -0,95$ ), dok PCA os 2 najviše korelira s koncentracijom kisika ( $R = -0,78$ ). Varijabilnost fizikalno-kemijskih čimbenika grupiranih duž osi PCA-1 između datuma uzorkovanja bile su nešto veće nego varijabilnosti fizikalno-kemijskih čimbenika izdvojenih duž osi PCA-2 (Slika 23).

Tablica 2. Srednje vrijednosti fizikalno kemijskih parametara mjerenih po datumima uzorkovanja na postajama V1 i V2 s p-vrijednostima (Mann-Whitney U Test) koje prikazuju statističku značajnost razlika između postaja V1 i V2 (crveno označene p-vrijednosti označavaju statistički značajnu razliku među postajama, dok simbol n.s. ukazuje da opažene razlike nisu statistički značajne). Plavo obojeni fizikalno-kemijski parametri nemaju potvrđene statistički značajne razlike među postajama, dok crveno obojeni parametri imaju potvrđene statistički značajne razlike među postajama V1 i V2.

		v (m s <sup>-1</sup> )	dubina (cm)	t <sub>vode</sub> (°C)	O <sub>2</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	O <sub>2</sub> (%)
V1	15.4.2021.	0,28	17,9	9,0	11,34	98,6
	29.4.2021.	0,25	13,2	15,1	12,35	125,5
	11.5.2021.	0,52	13,6	18,1	10,77	116,5
	26.5.2021.	0,48	13,4	15,8	11,61	118,7
V2	15.4.2021.	0,16	18,0	9,4	11,21	98,6
	29.4.2021.	0,28	11,5	15,3	12,06	122,7
	11.5.2021.	0,32	14,4	19,0	11,02	121,3
	26.5.2021.	0,38	15,1	17,2	11,84	125,1
p		0,0000	0,0015	n.s.	n.s.	n.s.
		pH	Konduktivitet (μS cm <sup>-1</sup> )	TDS (mg L <sup>-1</sup> )	Osvjetljenost (lux)	KPK <sub>K MnO4</sub> (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )
V1	15.4.2021.	8,45	533	362	6868,3	1,256
	29.4.2021.	7,80	482	325	20050,0	1,650
	11.5.2021.	7,79	515	352	23469,4	2,376
	26.5.2021.	7,97	517	355	23076,9	2,542
V2	15.4.2021.	9,24	517	357	5731,7	0,847
	29.4.2021.	7,76	455	313	13035,5	1,983
	11.5.2021.	8,32	511	349	25003,3	2,868
	26.5.2021.	8,15	512	343	23614,1	2,628
p		0,0000	0,0012	0,0007	0,0001	0,0291
		Alkalinitet (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	Ukupna tvrdoća vode (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )
V1	15.4.2021.	100,3	28,7	0,034	0,807	0,010
	29.4.2021.	100,0	23,1	0,035	0,538	0,009
	11.5.2021.	100,1	19,2	0,055	0,598	0,014
	26.5.2021.	95,4	24,4	0,042	0,789	0,014
V2	15.4.2021.	87,5	22,1	0,033	0,904	0,005
	29.4.2021.	91,9	21,2	0,042	0,482	0,009
	11.5.2021.	87,5	26,7	0,052	0,706	0,013
	26.5.2021.	102,2	24,3	0,041	0,586	0,017
p		0,0244	n.s.	n.s.	n.s.	0,0222



Slika 23. PCA graf dobiven analizom fizikalno kemijskih parametra. U zagradama su poredani najutjecajniji čimbenici (faktori  $> \pm 0,7$  duž PCA-1 i PCA-2). Minus ispred čimbenika označava da se njegova vrijednost duž osi smanjuje. Objašnjenja kratica pojedinih fizikalno-kemijskih parametara su dostupne u poglavlju Materijali i metode. *Error bars* označavaju varijabilnost fizikalno-kemijskih parametara izdvojenih duž osi među datumima uzorkovanja.

Za utvrđivanje korelacije gustoće drifta i ostalih fizikalno kemijskih parametara korišteni su Spearman-ovi koeficijenti korelacije. Utvrđeno je kako s gustoćom drifta organizama značajno ( $p < 0,05$ ) korelira samo brzina strujanja vode ( $R = -0,191$ ), odnosno gustoća drifta smanjivala se s povećanjem brzine strujanja vode.

## 6. Rasprava

### 6.1. Sastav makrozoobentosa u dnevno-noćnim uzorcima drifta

Ukupna gustoća makrozoobentosa u driftu se pokazala većom na postaji V1, a moguće je da je to posljedica veće raznolikosti (većeg broja različitih svojti) organizama na toj postaji (kao što se može opaziti u tablici 1) koja se nalazi uz mirnu šetnicu, dok se postaja V2 nalazi podno velike prometnice (Zagrebačka avenija). Nadalje, na obje postaje je opažena veća brojnost organizama u dnevnim uzorcima drifta. Prema brojnim literaturnim navodima (npr. Svendsen i sur., 2004), gustoća drifta običava biti veća tijekom noći, jer organizmi koriste noć kao aktivno doba dana, kako bi izbjegli pritisak vizualnih dnevnih predatora, poput riba, ali i predatorskih svojti makrozoobentosa (Svendsen i dr., 2004). Veća brojnost jedinki u dnevnim uzorcima drifta u ovom istraživanju može biti posljedica izostanka predatora (riba) i smanjene brojnosti beskralježnjačkih predatora (npr. Plecoptera, Odonata) na postajama V1 i V2 tijekom razdoblja uzorkovanja (Flecker, 1992; Hammock i sur., 2012).

U sastav drifta ulaze organizmi makrozoobentosa određenog staništa, a razlozi njihovog ulaska u drift su različiti. Svaka jedinka koja nastanjuje potočni bentos, u nekom trenu, iz bilo kojeg razloga (izazvano biotičkim ili abiotičkim čimbenicima) može ući u drift. Dakle, s dna tekućice može biti otplavljen bilo koji organizam i stoga ne postoji određena drift fauna (Waters, 1965). Gustoća drifta (brojnost organizama makrozoobentosa u driftu) općenito raste s brzinom strujanja vode i količinom suspendiranog sedimenta u vodenom stupcu (Larsen i Ormerod, 2010). Sposobnost rasprostranjivanja i naklonost driftu razlikuje se između pojedinih svojti. Primjerice, školjkaši i puževi su sjedilački, manje pokretni organizmi i ovise o driftu, da bi kolonizirali nova staništa (kako bi se rasprostranili), dok pokretljivije svojte, poput ličinki Trichoptera i Plecoptera, mogu puzati i plivati te tako zauzimaju nova staništa (Mackay 1992; Milner i sur., 2021). Česte svojte u driftu su Ephemeroptera (posebice porodice Baetidae i Leptophlebiidae), rakušci (Gammaridae) te od Diptera, ličinke Simuliidae i Chironomidae (Giller i Malmqvist, 2003). Do koje mjere pojedine svojte makrozoobentosa koriste drift kako bi izbjegli nepovoljne uvjete ovisi o tome koje su im sve strategije izbjegavanja nepovoljnih uvjeta dostupne/moguće (Milner i sur., 2021).

U ovom istraživanju, na obje postaje, najviše su u driftu bile zastupljene jedinke porodice Chironomidae, što se moglo i očekivati, s obzirom da je ta porodica široko rasprostranjena te podnosi raznolike okolišne uvjete (Cranston, 2004), kao što je to opaženo u različitim



mikrostaništima na postajama V1 i V2. Postaja V2 je imala oko 60% istih organizama kao i postaja V1.

Uočljiva razlika među postajama je bila prisutnost skupine Bivalvia, koja je bila treća najčešće nađena skupina u uzorcima postaje V2, a na postaji V1 nije nađena, te skupine Gastropoda. Razlog tome može biti brzina strujanja vode, koja je u prosjeku viša na postaji V1, a školjkaši imaju tendenciju, iako ne svi, nastanjivanja u stabilnijim staništima, gdje je brzina toka manja (Strayer, 1993). I za Gastropoda je poznato da preferiraju mirnija vodena staništa (Pastuchova, 2010), a postaja V2 je imala nešto sporiji tok te stoga predstavlja pogodno stanište za nastanjivanje Bivalvia i Gastropoda.

Nadalje, red Ephemeroptera te porodica Simuliidae su bili zastupljeniji u driftu na postaji V1. Iako se red Ephemeroptera može pronaći u različitim slatkovodnim ekosustavima, preferiraju kamenita dna (Pond, 2010), koje je prevladavalo na postaji V1. Onečišćenje može uvelike pridonijeti smanjenju brojnosti i raznolikosti jedinki reda Ephemeroptera (Bauernfeind i Moog, 2000). Jedinke porodice Simuliidae se, pak, teško pronalaze u staništima koje su iznimno morfološki modificirana i s visokom koncentracijom otopljenih soli (Feld i sur., 2002). Postaja V1 je imala vidljivo popločeno dno, dok je postaja V2 imala sitniji supstrat, koji vjerojatno nije odgovarao kao stanište za predstavnike porodice Simuliidae. Jedinke porodice Simuliidae ponekad koriste mikrostaništa s većom brzinom strujanja vode (koja su bila brojnija na postaji V1), kako bi izbjegle predaciju od strane jedinki reda Plecoptera (obalčari) (Svendsen i sur., 2004). Rod *Baetis*, pripadnik reda Ephemeroptera, u prisustvu predatorskih jedinki Plecoptera može se naći u većem broju u driftu (Lancaster, 1990). Prema Masese i sur. (2009), redovi Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (tzv. EPT skupine) brojniji su u uzvodnim dijelovima toka tekućica, što je opaženo i u ovom istraživanju (primjerice, predstavnici reda Plecoptera, doduše u malom broju, nađeni su samo na postaji V1, a predstavnici redova Trichoptera i Ephemeroptera su imali znatno smanjenu gustoću drifta na postaji V2). Također, smatra se kako su ovo redovi, koji su nešto osjetljiviji na antropogeni utjecaj (Masese i sur., 2009). Za razliku od EPT skupina, red Odonata se ne smatra dobrim indikatorom za stanje urbaniziranosti potoka (Tippler i dr, 2018).

Na postaji V1 vidljiva je razlika u gustoći drifta nekih skupina u odnosu na doba dana. Ovdje prednjači porodica Chironomidae, koja ima dvostruko veću gustoću drifta danju u odnosu na noć te se ta razlika pokazala značajnom. Slična je situacija opažena i na postaji V2, iako tamo nisu zabilježene značajne razlike između doba dana. Neki rodovi porodice Chironomidae

preferiraju ili noćni ili dnevni drift, dok neki rodovi Chironomidae imaju neperiodični drift (Tilley, 1989). Predstavnici reda Ephemeroptera pokazuju značajnu razliku u dnevno-noćnoj gustoći drifta na objema postajama, iako je ta razlika puno izraženija na postaji V1, gdje se brojnost jedinki u driftu učeterostručuje noću, a kod postaje V2 je ta brojnost tek dvostruko veća po noći. Razlog tome može biti izravna osvjetljenost potoka na postaji V2, koja remeti prirodni životni ritam ovog reda. Ephemeroptera su se pokazali negativno fototaksičnim, odnosno preferiraju manje osvjetljena staništa, odnosno aktivniji su noću (Ulanoski i McDiffett, 1972). Značajna razlika u gustoći drifta između dana i noći se pokazala i za kukuljice reda Diptera, koje su veće brojnosti u driftu dosegle danju na postaji V1, dok se na postaji V2, razlika u brojnosti kukuljica Diptera u driftu između dana i noći nije pokazala značajnom. Zanimljiv je i podatak da se na postaji V1 našlo podjednako odraslih jedinki reda Diptera i danju i noću, a na postaji V2 nije pronađena niti jedna odrasla jedinka Diptera u dnevnim uzorcima drifta. Razlog ovakve pojave može ležati u umjetnoj rasvjeti. Prema istraživanju Mertena i sur. (2014), vodeni kukci često izlijeću iz vode tijekom dana jer to pogoduje sušenju njihovih krila te im podiže metabolizam. No, pokazalo se kako, osim prirodne insolacije, na izlijetanje kukaca, posebice iz porodice Chironomidae, može utjecati i svjetlost koja dolazi s neba, poput mjeseca i zvijezda. U slučaju ovog istraživanja, postaja V2 ima jače osvjetljenje tijekom noći, a danju se nalazi u relativnom hladu jer je smještena ispod nadvožnjaka (Zagrebačka avenija). Na izlijetanje odraslih jedinki Diptera može utjecati i količina hrane te se pokazalo kako je znatno veća emergencija bila upravo na mjestima gdje ima više makrofita, odnosno vodenog bilja (Poepperl, 1999). Također, neke jedinke reda Diptera zahtijevaju da kukuljica, prije pretvaranja u odraslog kukca, bude pričvršćena za čvrsto tlo (Gregory i Cranston, 2015). Postaja V1 je, s obzirom na popločeno dno, imala više pričvršćenog vodenog bilja u odnosu na postaju V2, čiji je supstrat bio sitniji.

Pronalazak kukuljica i odraslih jedinki reda Diptera u uzorcima drifta bio je očekivan s obzirom da su na postajama V1 i V2 nađene i ličinke istog reda. Prema Bouchard Jr. i Ferrington Jr. (2010), 97% jedinki reda Diptera, porodice Chironomidae, izlijeće u razdoblju od travnja do rujna, a naše uzorkovanje se provodilo tijekom travnja i svibnja. U dosadašnjim istraživanjima, kukuljice reda Diptera se češće nalaze tijekom uzorkovanja dnevnog drifta (Turcotte i Harper, 1982). U ovom istraživanju, najveće gustoće drifta kukuljica reda Diptera nađene su na postaji V2 i to u svibnju, kada je i temperatura vode bila najviša. Dakle, vjerojatno je da pojavnost kukuljica Diptera u driftu ovisi o životnim ciklusima ovog reda (i njihovom masivnom izlijetanju u proljeće), a s obzirom da su u velikim brojevima nađene u noćnom driftu na postaji

V2, moguće je da na njihovu povišenu brojnost u driftu noću utjecala direktna umjetna rasvjeta na postaji V2. Za razliku od gustoće drifta kukuljica, broj odraslih Diptera u driftu značajno se razlikovao po datumima u noćnim uzorcima na postaji V2. Odrasle jedinke Diptera, porodice Chironomidae, emergiraju po noći, nekoliko sati nakon sumraka (Ali i sur., 1984). Nadalje, pojedine vrste reda Diptera reagiraju pozitivno fototaksično na umjetnu rasvjetu (Ali i sur., 1984), što je također jedan od mogućih razloga za povišene brojeve odraslih Diptera noću na postaji V2.

Prosječna gustoća drifta po datumima uzorkovanja pokazala je znatan skok na datum 29.4.2021. na postaji V1. Prema podacima DHMZ-a (2021), na datum 28.4.2021. je padala kiša (Internetski izvor 4) koja je potencijalno prouzročila značajniju količinu drifta, podižući sediment i makrozoobentos, koji obitava na/u supstratu.

Na postaji V1, tijekom dana i noći zabilježen je veliki skok u brojnosti jedinki Chironomidae u driftu na datum 29.4.2021. U istraživanju Ladle i sur. (1985), također je zabilježena najveća brojnost Chironomidae krajem travnja te se ta brojnost smanjila tijekom narednih dana. Razlog tome može biti porast temperature vode koja je 29.4. bila u prosjeku 16°C, a 15.4.2021. je bila znatno niža te je u prosjeku iznosila 9°C. Također, brzina strujanja vode je na datum 29.4. bila najniža, na datum 15.4. nešto viša, a u svibnju je pokazala tendenciju daljnjeg rasta. No, volumen vode koji je prošao kroz drift-uzorkivače bio je najveći 11.5.2021. na postaji V1, tijekom dana i noći. Dok je na postaji V2 najveći volumen vode zabilježen na datum 26.5. (Prilog I). Potencijalni razlog nejednakom volumenu vode može ležati u prepreci (poput cigli ili granja) koja je mogla stajati između postaja na datum 11.5. ili različito vrijeme uzorkovanja drifta koje se uračunalo kako bi se dobio volumen vode. Spearmanovi koeficijenti korelacije su ukazali da drift (negativno) korelira jedino s brzinom strujanja vode, što bi moglo biti objašnjenje za opažene gustoće drifta predstavnika Chironomidae.

## 6.2. Sastav mikroplastike u dnevno-noćnim uzorcima drifta

Iako je plastika gotovo sveprisutan materijal, u ovom istraživanju se pokazalo kako je u ukupno 48 uzoraka drifta, potvrđeno samo dvije čestice polietilena. Razlog malom broju čestica polietilena može biti u samoj metodologiji uzorkovanja te u načinu obrade uzorka, s obzirom da se iz nekih uzorka (nakon obrade) uzimao dio dobivenog materijala kako bi se postigla željena masa uzorka. Također, za pouzdanije kvantitativne podatke bi bilo poželjno drift-uzorkivače ostaviti na postajama (u vodenom toku) tijekom duljeg perioda.

Nadalje, uzrok malog broj plastičnih čestica može biti i u samom potoku, koji nije pod znatnim antropogenim pritiskom. Nakon obrade uzoraka i pregledavanjem pod lupom, pokazalo se kako je većina čestica u uzorku organskog podrijetla (grančice, lišće, sediment) (Prilog IV). Isto se utvrdilo i analizom na FTIR-u, kojom se potvrdilo da je svega 4,25% čestica plastičnog podrijetla.

### 6.3. Fizikalno kemijski parametri

Opažene razlike u brzini strujanja vode između dviju postaja i između pojedinih datuma uzorkovanja mogu biti posljedica padalina tijekom ili prije (dan prije) uzorkovanja. U prosjeku je dubina potoka bila veća na postaji V1, koja ima uže i popločeno korito, za razliku od postaje V2, na kojoj se supstrat sastoji uglavnom od nepropusnog sitnog sedimenta (pijeska, mulja), koji je karakterističan za mikrostaništa sa sporijom strujom vode. Uži i kamenom prekriveni kanal na postaji V1 brže „propušta“ vodu od šireg pjeskovitog kanala na postaji V1 (Shuirman i Slosson, 1992). Temperatura nije pokazala značajne varijacije, ali je, između ostalih parametara, mogla biti ključna za količinu kisika u vodi. Zasićenost kisikom igra bitnu ulogu u životu i rasprostranjenosti makrozoobentosa. Razina kisika se mijenja tijekom dana jer ovisi o fotosintezi, respiraciji te atmosferskim uvjetima (Connolly i dr., 2004). Najveće zasićenje kisikom je bilo krajem travnja na postaji V1, kada je zabilježena i najveća gustoća drifta. Tijekom razdoblja istraživanja, pH je pokazao značajnu razliku između postaje V1 i postaje V2 te je najvišu vrijednost na obje postaje dosegao sredinom travnja. U ovom istraživanju nije potvrđena značajna korelacija između gustoće drifta organizama i pH, ali je u nekim prethodnim istraživanjima dokazano da postoji pozitivna korelacija između vrijednosti pH i emergencije kukaca (Bell, 1971) pa je moguće da su razlike u pH između postaja V1 i V2 donekle utjecale i na gustoće drifta Diptera, koji su bili jako zastupljeni u driftu u sva tri razvojna stadija – u stadiju ličinke, kukuljice i odraslih jedinki. Visoke vrijednosti konduktiviteta mogu imati negativne posljedice na brojnost makrozoobentosa u tekućicama (Cormier i dr., 2013). Vrijednosti konduktiviteta u ovom istraživanju nisu imale velike razlike na pojedinoj postaji po datumima uzorkovanja, no opažene su nešto niže brojnosti organizama u driftu na datume kada su konduktivitet i TDS bili viši. Prema istraživanju Cormier i sur. (2012), povišene koncentracije nekih iona u vodi pridonose smanjenju ili potpunom nestanku pojedinih skupina beskralješnjaka. Organizmi koji su u stupcu vode, u direktnom su kontaktu s raznim otopljenim ionima. Vodeni organizmi filtriraju vodu kako bi opskrbili tijelo kisikom, a povišene koncentracije otopljenih soli mogu negativno utjecati na škrge ili druge dišne organe vodenih organizama. Stoga je moguće da organizmi koji su osjetljivi na povišene koncentracije

otopljenih soli u stupcu vode, izbjegavali ulazak u vodeni stupac na datume kada su opažene povišene vrijednosti konduktiviteta/TDS-a, zbog čega ih je tada potencijalno bilo manje u driftu.

Osvjetljenje je na obje postaje bilo najniže u travnju pri početku istraživanja, a najviše u svibnju na kraju istraživanja, što je u skladu s proljetnim lokalnim vremenom i vremenskim prilikama. Međutim, iznenađujuće je što je na postaji V1, koja nije bila pod direktnim utjecajem umjetne rasvjete noću, u prosjeku bila veća vrijednost osvjetljenja nego na postaji V2. Razlog tomu može biti lokalna naoblaka, mjerenje na području hlada, mjerenje koje nije zahvatilo umjetnu rasvjetu noću na postaji V2, odnosno činjenica da su u obzir uzete srednje vrijednosti trenutnog osvjetljenja tijekom uzorkovanja. Najveća kemijska potrošnja kisika (koja je surogat-parametar za otopljenu organsku tvar u vodi) je na obje postaje opažena tijekom svibnja. Ovaj parametar pozitivno korelira s brzinom strujanja vode ( $R = 0,514$ ) te s temperaturom vode ( $R = 0,850$ ), što objašnjava pojavu prosječno viših vrijednosti KPK na postaji V2, gdje je i prosječna temperatura vode nešto viša nego na postaji V1. Fotooksidacija (razgradnja polimera u prisutnosti kisika) otopljene organske tvari u otopljenu anorgansku tvar češća je pri nižim temperaturama, a prisutnost otopljene organske tvari je češća pri višim temperaturama. Također, više vrijednosti otopljene organske tvari pri višim temperaturama se mogu pripisati i većoj aktivnosti mikroorganizama (Porcal i sur., 2015). Alkalinitet, pak, negativno korelira s temperaturom vode ( $R = -0,426$ ) te se pokazao značajno višim na postaji V1, gdje je i temperatura u prosjeku bila nešto niža. Alkalinitet direktno ovisi o koncentraciji ugljikova dioksida čija je topivost manja pri višim temperaturama vode (Crolet i Bonis, 1983). Pri otapanju u vodi stvara ugljičnu kiselinu koja posljedično dovodi do promjene u kiselosti vode (Internetski izvor 5). Ukupna tvrdoća vode te koncentracija nitrita i nitrata nisu pokazali značajnu razliku između postaja V1 i V2, za razliku od koncentracija ortofosfata koje su u prosjeku bile značajno više na postaji V1. Ortofosfati su važni za organizme poput algi kojima su oni važan izvor nutrijenata (Tate i dr., 1995). Vizualno je prilikom uzorkovanja opaženo da na postaji V1 ima više algi i mahovina na dnu korita, nego na postaji V2, gdje prevladavaju pijesak i mulj (Prilog V). Visoke koncentracije fosfata mogu biti posljedica poljoprivredne aktivnosti u neposrednoj blizini postaje V1. Naime, nekoliko metara od postaje uzorkovanja se nalaze staklenici te omanje polje na kojem se uzgaja sezonsko povrće. Preko puta staklenika se nalazi i tvornica začina Šafram d.o.o. koja se bavi proizvodnjom začina i dodataka hrani. Tvornička proizvodnja bi, u slučaju ispusta, mogla imati znatan utjecaj na razine fosfata, ali i nitrata.

Značajne razlike u dobu dana su se pokazale kod gotovo svih fizikalno kemijskih parametara na obje postaje. Takvi rezultati su bili očekivani, pogotovo za parametre poput osvjetljenja, temperature te zasićenost vode kisikom, čije su vrijednosti (u umjerenom pojasu, gdje je smješten i naš grad/potok) uobičajeno niže noću, u odnosu na dan. Viša temperature vode i veće osvjetljenje se može pripisati insolaciji, a viši udio kisika se može pripisati radu fotosintetskih organizama, koji - koristeći Sunčevu svjetlost - proizvode veće količine kisika danju. U ovom istraživanju su alkalinitet, ortofosfati te nitrati imali u prosjeku veće vrijednosti noću. Alkalinitet je veći noću, najvjerojatnije zbog smanjene aktivnosti fotosintetskih organizama poput algi i vodenog bilja (Vidal-Abarca i dr., 2002). Povećana aktivnost vodenog bilja doprinosi smanjenju koncentracije slobodnog ugljikovog dioksida u vodi te to posljedično može utjecati na alkalinitet vode.

PCA dijagram ukazuje da su na obje postaje noću zabilježene više koncentracije ortofosfata, ali niže koncentracije otopljene organske tvari (vrijednosti KPK) i nitrata. Veće koncentracije fosfata noću te manje vrijednosti KPK mogu se pripisati smanjenoj aktivnosti fotosintetskih organizama (Ramirez i Bicudo, 2005). Koncentracije nitrata se također mogu pripisati autotrofnim organizmima te se u istraživanju Mikoša (2009) pokazalo kako su i u slovenskom potoku Padež zabilježene veće koncentracije nitrata danju.

## 7. Zaključak

1) Statistički značajna razlika u gustoći drifta u odnosu na doba dana na obje postaje nije dokazana. No, pojedine skupine makrozoobentosa, poput Ephemeroptera, Chironomidae te kukuljice reda Diptera pokazale su značajne razlike u brojnosti s obzirom na doba dana. Na postaji V1, gustoća drifta predstavnika porodice Chironomidae i kukuljica reda Diptera je bila značajno viša danju nego noću, dok je gustoća drifta Ephemeroptera bila značajno viša noću nego danju. Na postaji V2, gustoća drifta Ephemeroptera je bila značajno viša noću nego danju, što je opaženo i za odrasle jedinke reda Diptera, od kojih niti jedna jedinka nije nađena u dnevnim uzorcima.

2) Iako je postaja V1 imala u prosjeku veće gustoće drifta, statistički značajna razlika između postaja V1 i V2 nije potvrđena. Taksonomski sastav drifta bio je sličan na obje postaje, s iznimkom skupine Bivalvia koja se mogla naći isključivo na postaji V2. Također, na postaji V1 je opažen nešto veći broj svojiti makrozoobentosa u driftu. Znatne razlike u gustoći drifta s obzirom na datume uzorkovanja nisu opažene, ali najveća brojnost organizama u driftu na obje postaje je bila 29.4.2021. Red Ephemeroptera je pokazao razlike u gustoći drifta između postaja te je znatno veću brojnost imao na postaji V1.

3) Od ukupno 47 analiziranih čestica čija je gustoća bila manja od  $1,65 \text{ g cm}^{-3}$ , svega su dvije odgovarale sastavu polietilena. S obzirom na mali broj detektiranih čestica mikroplastike, nije bilo moguće utvrditi postoje li značajne razlike u kvalitativnom i kvantitativnom sastavu mikroplastike u driftu između različitih doba dana i postaja. Mnogo testiranih čestica je bilo organskog podrijetla te se to potencijalno može pripisati čistoći potoka. S obzirom na dobivene rezultate može se zaključiti da potok Vrapčak nije pod znatnim antropogenim pritiskom ovog tipa.

4) Većina fizikalno-kemijskih parametara je pokazala značajne razlike s obzirom na doba dana, ali i razlike između postaja V1 i V2. Znatne promjene s obzirom na doba dana opažene su za vrijednosti temperature vode te za koncentracije otopljenog kisika, ortofosfata, nitrata te otopljene organske tvari u vodi. Noću su, u odnosu na dnevna mjerenja, na obje postaje zabilježene više vrijednosti alkaliniteta i koncentracija ortofosfata te niže vrijednosti koncentracija kisika i nitrata, temperature vode, kemijske potrošnje kisika te osvjetljenja. Te razlike se mogu pripisati prostorno-vremenskim razlikama u aktivnosti fotosintetskih organizama poput algi i vodenog bilja te insolaciji. Korelacija između fizikalno-kemijskih parametara i gustoće drifta potvrđena je samo za brzinu strujanja vode te je dokazano da smanjena brzina strujanja vode pridonosi većoj gustoći drifta.

## 8. Literatura

- Ali, A., Stafford, S. R., Fowler, R. C., Stanley, B. H. (1984): Attraction of Adult Chironomidae (Diptera) to Incandescent Light Under Laboratory Conditions, *Environmental Entomology* 13 (4), 1004-1009.
- Bauernfeind, E., Moog, O. (2000): Mayflies (Insecta: Ephemeroptera) and the assessment of ecological integrity : a methodological approach, *Hydrobiologia* 422/423, 71–83.
- Bell, H. L. (1971): Effect of low pH on the survival and emergence of aquatic insects, *Water Research* 5, 313-319.
- Bouchard Jr., R. W., Ferrington Jr., L. C. (2011): The effects of subsampling and sampling frequency on the use of surface-floating pupal exuviae to measure Chironomidae (Diptera) communities in wadeable temperate streams, *Environmental Monitoring and Assessment* 181, 205–223
- Browne, M. A., Niven, S. J., Galloway, T. S., Rowland, S. J., Thompson, R. C. (2019): Microplastic Moves Pollutants and Additives to Worms, Reducing Functions Linked to Health and Biodiversity, *Current Biology* 23 823), 2388-2392.
- Connolly, N. M., Crossland, M. R., Pearson, R. G. (2004): Effect of low dissolved oxygen on survival, emergence, and drift of tropical stream macroinvertebrates, *Journal of the North American Benthological Society* 23 (2), 251-270.
- Cormier, S. M., Suter, G. W., Zheng, L., Pond, G. J. (2013): Assessing causation of the extirpation of stream macroinvertebrates by a mixture of ions, *Environmental Toxicology and Chemistry* 32 (2), 277–287.
- Cranston, P. S. (2004): Insecta: Diptera, Chironomidae, *Freshwater Invertebrates of the Malaysian Region and Singapore, Academy of Sciences, Kuala Lumpur*, 710-734.
- Crolet, J. L.; Bonis, M. R. (1983). pH Measurements in Aqueous CO<sub>2</sub> Solutions under High Pressure and Temperature., *National Association of Corrosion Engineers* 39(2), 39-46.
- Davies, T. W., Bennie, J., Gaston, K. J. (2012): Street lighting changes the composition of invertebrate communities, *Biology letters* 8, 764-767.
- Deduš, B., Rogulja, V. (2001): GOK u Projektu optimalizacije kanalizacijskog sustava Zagreb (POKS), *Grđevinar* 53 (4), 241-249.
- Elmqvist T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotullio, P. J., McDonald, R. I., Parnell, S. Schewenius, M., Sendstad, M., Seto, K. C., Wilkinson, C. (2013): *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities A Global Assessment*, Springer, Dordrecht Heidelberg New York London.
- Feld, C. K., Kiel, E., Lautenschläger, M. (2002): The indication of morphological degradation and rivers using Simuliidae, *Limnologia* 32,273-288
- Flecker, A. S. (1992). Fish predation and the evolution of invertebrate drift periodicity: evidence from neotropical streams. *Ecology*, 73: 438-448.
- Giller PS, Malmqvist B (2003): The biology of streams and rivers. Oxford University Press, Oxford
- Gregory W. C., Cranston, P. S. (2015): Chapter 40: Order Diptera., u: *Thorpe and Covich's Freshwater Invertebrates.*, 1043–1058.
- UZGZ; Urbanistički zavod grada Zagreb (1971): Generalni urbanistički plan grada Zagreba, Zagreb.



- Haidekker, A., Hering, D. (2008): Relationship between benthic insects (Ephemeroptera, Plecoptera, Coleoptera, Trichoptera) and temperature in small and medium-sized streams in Germany: A multivariate study, *Aquatic Ecology* 42, 463–481.
- Hale, R. C., Seeley, M. E., La Guardia, M. J., Mai, L., Zeng, M. Y. (2020): A Global Perspective on Microplastics, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125 (1), 1-40.
- Hall, R. J., Waters, T. F., Cook, E. F. (1980): The role of drift dispersal in production ecology of a stream mayfly, *Ecology* 61 (1), 37-43.
- Hammock, B. G., N. Y. Krigbaum and M. L. Johnson. (2012). Incorporating invertebrate predators into theory regarding the timing of invertebrate drift. *Aquatic Ecology*, 46(2): 153–163.
- Hauer, F. R., Resh, V. H. (2007): Macroinvertebrates, u: Hauer, F. R., Lamberti, G. A., *Methods in Stream Ecology*, Elsevier, UK, 435-465.
- Hoellein, T. J., Shogren, A. J., Tank, J. L., Risteca, P., Kelly, J. J. (2019): Microplastic deposition velocity in streams follows patterns for naturally occurring allochthonous particles, *Scientific reports* 9:3740, 1-11.
- Hrvatske vode (2016): Metodologija uzorkovanja, laboratorijskih analiza i određivanja omjera ekološke kakvoće bioloških elemenata kakvoće, [https://www.voda.hr/sites/default/files/metodologija\\_uzorkovanja\\_laboratorijskih\\_analiza\\_i\\_odredivanja\\_omjera\\_ekoloske\\_kakvoce\\_bioloskih\\_elementata\\_i\\_odluka.pdf](https://www.voda.hr/sites/default/files/metodologija_uzorkovanja_laboratorijskih_analiza_i_odredivanja_omjera_ekoloske_kakvoce_bioloskih_elementata_i_odluka.pdf) (7.12.2021.)
- Jenkins, A. R., Keeley, E. R. (2010): Bioenergetic assessment of habitat quality for stream-dwelling cutthroat trout (*Oncorhynchus clarkii bouvieri*) with implications for climate change and nutrient supplementation, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 67, 371–385.
- Johansson, A. (1991): Caddis larvae cases (Trichoptera, Limnephilidae) as anti-predatory devices against brown trout and sculpin, *Hydrobiologia* 211, 185-194.
- Jung, M. R., Horgen, F. D., Orski, S. V., Rodriguez, V., Beers, K. L., Balazs, G. H., Jones, T. T., Work, T. M., Brignac, K. C., Royer, S-J., Hyrenbach, K. D., Jensen, B. A., Lynch, J. M. (2017): Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms, *Marine Pollution Bulletin* 127, 704-716
- Ladle, M., Cooling, D. A., Swelton, J. S., Bass, J. A. B. (1985): Studies on Chironomidae in experimental recirculating stream systems. II. The growth, development and production of a spring generation of *Orthocladius (Euorthocladius) calvus* Pinder, *Freshwater Biology* 15, 243-255.
- Lancaster, J. (1990): Predation and drift of lotic macroinvertebrates during colonization, *Oecologia* 85, 48-56.
- Lancaster, J., Hildrew, A. G., Gjerlov, C. (2011): Invertebrate drift and longitudinal transport processes in streams, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53, 572–582.
- Larsen S, Ormerod SJ (2010) Low-level effects of inert sediments on temperate stream invertebrates. *Freshw Biol* 55:476–486.
- Longcore, T., Rich, C. (2004): Ecological light pollution, *Frontiers in Ecology and the Environment* 2(4), 191–198.
- Konrad, C. P., Booth, D. B., Burges, S. J. (2005): Effects of urban development in the Puget Lowland, Washington, on interannual streamflow patterns: Consequences for channel form and streambed disturbance, *Water resources research* 41(7), 1-15.

- Mackay RJ (1992) Colonization by lotic macroinvertebrates: a review of processes and patterns. *Can J Fish Aquat Sci* 49(3):617–628. <https://doi.org/10.1139/f92-071>.
- Masele, F. O., Muchiri, M., Raburu, P. O. (2009): Macroinvertebrate assemblages as biological indicators of water quality in the Moiben River, Kenya, *African Journal of Aquatic Science* 34(1), 15–26.
- Merten, E. C., Snobl, Z. R., Wellnitz, T. A. (2014): Microhabitat influences on stream insect emergence. *Aquatic Sciences*, 76(2), 165–172.
- Milner, V.S., Maddock, I.P., Jones, I. et al. Do legacy effects of deposited fine sediment influence the ecological response of drifting invertebrates to a fine sediment pulse?. *Aquat Sci* 83, 70 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00027-021-00825-4>.
- Mikoš, M. (2009): Seasonal variability of diurnal instream nitrate concentration oscillations under hydrologically stable conditions, *Biogeochemistry* 97, 123–140.
- Mora-Teddy, A., K., Matthaei, C., D. (2020): Microplastic pollution in urban streams across New Zealand: concentrations, composition and implications, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 54 (2), 233-250.
- Nilsson A. (1996): Aquatic insects of North Europe 1. Apollo Books, Stenstrup.
- Nilsson A, (1997): Aquatic insects of North Europe 2. Apollo Books, Stenstrup.
- Pastuchova, Z., Greškova, A., Lehotsky, M. (2010): Spatial distribution pattern of macroinvertebrates in relation to morphohydraulic habitat structure: Perspectives for ecological stream assessment, *Polish Journal of Ecology*, 58 (2), 347-360
- Poepperl, R. (1999): Emergence Pattern of Diptera in Various Sections of a Northern German Lowland Stream, *Limnologica* 29, 128-136
- Pond, G J. (2010): Patterns of Ephemeroptera taxa loss in Appalachian headwater streams (Kentucky, USA), *Hydrobiologia* 641, 185–201.
- Porcal, P., Dillon, P. J., Molot, L. A. (2015) Temperature Dependence of Photodegradation of Dissolved Organic Matter to Dissolved Inorganic Carbon and Particulate Organic Carbon. *PLoS ONE* 10(6): e0128884. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128884>.
- Price, E. L., Sertić Perić, M., Romero, G. Q, Kratina, P. (2018): Land use alters trophic redundancy and resource flow through stream food webs, *Journal of animal ecology* 88, 677-689.
- Ramírez, J. J., Bicudo, C. E. M. (2005). Diurnal and spatial (vertical) dynamics of nutrients (N, P, Si) in four sampling days (summer, fall, winter, and spring) in a tropical shallow reservoir and their relationships with the phytoplankton community, *Brazilian Journal of Biology*, 65(1), 141–157
- Sertić Perić, M., Miliša, M., Matoničkin Kepčija, R., Primc-Habdija, B., Habdija, I. (2011): Seasonal and fine-scale spatial drift patterns in a tufa-depositing barrage hydrosystem, *Fundamental and applied limnology* 178: 131-145. doi: 10.1127/1863-9135/2011/0178-0131.
- Shurman, G., Slosson, J. E. (1992): 10 - River morphology: mining versus agriculture u: *Forensic Engineering*, Academic Press, 242-262.
- Strayer, D. L. (1993): Macrohabitats of Freshwater Mussels (Bivalvia: Unionacea) in Streams of the Northern Atlantic Slope, *Journal of the North American Benthological Society*, 12 (3), 236-246.
- Svendsen, C., R., Quinn, T., Kolbe, D. (2004): Review of Macroinvertebrate Drift in Lotic Ecosystems, Department of Environmental Conservation, Skagit Valley College.

- Tate, C. M., Broshears, R. E., McKnight, D. M. (1995): Phosphate dynamics in an acidic mountain stream: Interactions involving algal uptake, sorption by iron oxide, and photoreduction, *Limnology and Oceanography* 40 (5), 938-946.
- Tilley, L. J. (1989): Diel drift of Chironomidae larvae in a pristine Idaho mountain stream, *Hydrobiologia* 174, 133-149.
- Tippler, C, Wright, I. A., Davies, P. J., Evans, C. R. (2018): Are Odonata nymph adversely affected by impaired water quality in urban streams, *Austral Ecology*, doi:10.1111/aec.12630, 1-13.
- Turcotte, P., Harper, P. P. (1982): Drift patterns in a high Andean stream, *Hydrobiologia* 89, 141-151.
- Ulanoski, J. T., McDiffett, W. F. (1972): Diurnal variations in respiration of mayfly nymphs (Ephemeroptera), *Physiological Zoölogy* 45 (2), 97-105.
- Vidal-Abarca, R., Suárez, L., Gómez, R., Moreno, J. L., Guerrero, C. (2002): Diel variations in physical and chemical parameters in a semi-arid stream in Spain (Chicamo Stream), *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 28, 1-5.
- Wallace, J. B., Webster, J. R. (1996): The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function, *Annual Review of Entomology* 41, 115-139.
- Walsh, C. J., Roy, A. H., Feminella, J. W., Cottingham, P. D., Groffman, P. M., Morgan II, R. P. (2005): The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure, *Journal of the North American Benthological Society*, 24(3), 706-723.
- Waters, T. F. (1965): Interpretation of invertebrate drift in streams, *Ecology* 46 (3), 327-334.
- Weaver III, J. S., Morse, J. C. (1986): Evolution of Feeding and Case-Making Behavior in Trichoptera, *Journal of the North American Benthological Society*, 5 (2), 150-158.
- Wilzbach, M. A., Cummins, K. W., Hall, J. D. (1986): Influence of habitat manipulations on interactions between cutthroat trout and invertebrate drift, *Ecology* 67 (4), 898-911.
- Windsor, F. M., Durance, I., Horton, A. A., Thompson, R. C., Tyler, C. R., Ormerod, S. J. (2019): A catchment-scale perspective of plastic pollution, *Global Change Biology* 25, 1207-1221.

Internetski izvori:

- Internetski izvor 1: Svjetlosno onečišćenje (2022): <https://gov.hr/hr/svjetlosno-oneciscenje/1346> (24.1.2022.)
- Internetski izvor 2: Medvednica.info (2022): Slap „Sopot“, <http://www.medvednica.info/2010/10/slap-sopot.html> (5.12.2021.).
- Internetski izvor 3: GUPGZ (2016): Tekstualni dio plana knjiga ii a – obrazloženje plana, [https://www.zagreb.hr/userdocsimages/arhiva/prostorni\\_planovi/GUP%20ZAGREBA\\_KP%20lipanj%202016/KP\\_tekstualni%20dio/02\\_GUP%20GZ\\_ID%202016%20\\_KNJIGA%20IIA%20-%20Obrazlo%20-%20C5%BEenje%20plana\\_KPP.pdf](https://www.zagreb.hr/userdocsimages/arhiva/prostorni_planovi/GUP%20ZAGREBA_KP%20lipanj%202016/KP_tekstualni%20dio/02_GUP%20GZ_ID%202016%20_KNJIGA%20IIA%20-%20Obrazlo%20-%20C5%BEenje%20plana_KPP.pdf) (5.12.2021.)
- Internetski izvor 4: DHMZ (2021): Oborina i trajanje sisanja Sunca, [https://meteo.hr/klima.php?section=klima\\_pracjenje&param=klel&Grad=zagreb\\_maksimir&Mjesec=04&Godina=2021](https://meteo.hr/klima.php?section=klima_pracjenje&param=klel&Grad=zagreb_maksimir&Mjesec=04&Godina=2021) (4.1.2022.)
- Internetski izvor 5: Enciklopedija (2022): <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=63000> (25.1.2022.)

# Životopis

Ime i prezime: Ines Maksimović

Datum rođenja: 2.12.1997.

Mjesto rođenja: Zagreb, Hrvatska

## RADNO ISKUSTVO I PROJEKTI

Tijekom diplomskog studija, od 2021. godine, studentski posao u struci obavljam u firmi BIOTA j. d. o. o. Iste godine sam odrađivala praksu na Energetskom institutu Hrvoje Požar, Odjel za obnovljive izvore energije, klimu i zaštitu okoliša. Od prve godine preddiplomskog aktivno sam sudjelovala na manifestaciji “Noć biologije” 2017., 2018. i 2019. godine u Zagrebu. Godine 2018. asistirala sam na simpoziju “Young life science in Europe 2018” u Sarajevu (Bosna i Hercegovina). Iste godine u ljetnim mjesecima sam sudjelovala u razmjeni mladih “Update Your Status: Nature-Connected” u Bergolu, Italiji. Na kraju druge godine diplomskog studija (2018. godina) imala sam priliku odrađivati laboratorijsku stručnu praksu u laboratoriju za biološke učinke metala na Institutu Ruđer Bošković u Zagrebu. Također sam imala prilike sudjelovati na “European Green Activist Training 2017/2018” u Bruxellesu (Belgija) gdje sam se uključivala u zelene politike Europske Unije. Tijekom cijelog fakultetskog obrazovanja bila sam aktivni član Udruge studenata biologije, BIUS, gdje sam stekla praktična znanja vezana uz biološka istraživanja te sam sudjelovala na mnogim projektima poput: Insula Tilagus 2017, Insula Auri 2019, Žumberak 2020, Žumberak 2021, Endemi Like 2020 i 2021. Godine 2020. postala sam voditeljica sekcije Opnokrilci te vodstvo zadržala do 2021. godine.

## OBRAZOVANJE

Prvostupnicom struke Znanosti o okolišu postala sam 2019. godine na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu. Prethodno sam završila XVI. (jezična) gimnaziju u Zagrebu.

## OSOBNJE VJEŠTINE

Poznavanje jezika: engleski (C1), njemački (A2), talijanski (A1)

Računalne vještine: osnove rada na računalu, vrlo dobro vladanje alatima Microsoft Office™, odlično snalaženje s internetskim pretraživačima (Google, Chrome, Mozilla Firefox), rad u programima Qgis i ArcGIS

Vozačka dozvola: B kategorija

## Prilozi

**Prilog I.** Tablica volumena vode (m<sup>3</sup>) koji je prošao kroz drift-uzorkivače po datumima uzorkovanja i dobu dana na postajama V1 i V2.

Postaja	doba dana	datum	V voda (m <sup>3</sup> )
V1	dan	15.4.2021.	1,77
		29.4.2021.	1,54
		11.5.2021.	4,32
		26.5.2021.	3,43
	noć	15.4.2021.	2,33
		29.4.2021.	2,36
		11.5.2021.	4,14
		26.5.2021.	4,29
V2	dan	15.4.2021.	2,58
		29.4.2021.	2,52
		11.5.2021.	2,82
		26.5.2021.	3,10
	noć	15.4.2021.	1,01
		29.4.2021.	2,82
		11.5.2021.	3,16
		26.5.2021.	3,26

**Prilog II.** Srednje vrijednosti fizikalno kemijskih parametara mjenjenih po danu i noći te po datumima uzorkovanja na postaji V1 s p-vrijednostima (Mann-Whitney U Test) koje prikazuju statističku značajnost razlika između doba dana na postaji V1 (crveno označene p-vrijednosti označavaju statistički značajnu razliku između doba dana, dok simbol n.s. ukazuje da opažene razlike nisu statistički značajne). Plavo obojeni fizikalno-kemijski parametri nemaju potvrđene statistički značajne razlike između dana i noći, dok crveno obojeni parametri imaju potvrđene statistički značajne razlike između doba dana na postaji V1.

V1	v (m s-1)	dubina (cm)	t <sub>vode</sub> (°C)	O2 (mgL-1)	O2 (%)
<b>15.4.2021.</b>	<b>0,28</b>	<b>17,9</b>	<b>9,0</b>	<b>11,34</b>	<b>98,6</b>
dan	0,20	17,5	11,0	11,33	103,3
noć	0,33	18,2	7,5	11,35	95,0
<b>29.4.2021.</b>	<b>0,25</b>	<b>13,2</b>	<b>15,1</b>	<b>12,35</b>	<b>125,5</b>
dan	0,24	13,7	16,8	14,10	148,0
noć	0,26	12,7	13,3	10,60	103,0
<b>11.5.2021.</b>	<b>0,52</b>	<b>13,6</b>	<b>18,1</b>	<b>10,77</b>	<b>116,5</b>
dan	0,52	13,9	21,4	11,09	127,6
noć	0,52	13,3	15,2	10,49	106,7
<b>26.5.2021.</b>	<b>0,48</b>	<b>13,4</b>	<b>15,8</b>	<b>11,61</b>	<b>118,7</b>
dan	0,43	13,7	19,4	12,07	132,4
noć	0,53	13,1	12,8	11,22	107,0
p	n.s.	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,00</b>	<b>0,0</b>
	pH	Konduktivitet (µScm-1)	TDS (mgL-1)	lux	KPKKMnO4 (mg O2 L-1)
<b>15.4.2021.</b>	<b>8,45</b>	<b>533</b>	<b>362</b>	<b>6868,3</b>	<b>1,256</b>
dan	8,65	521	353	15850,0	1,100
noć	8,30	543	368	0,0	1,375
<b>29.4.2021.</b>	<b>7,80</b>	<b>482</b>	<b>325</b>	<b>20050,0</b>	<b>1,650</b>
dan	7,89	451	303	40100,0	1,768
noć	7,71	513	347	0,0	1,532
<b>11.5.2021.</b>	<b>7,79</b>	<b>515</b>	<b>352</b>	<b>23469,4</b>	<b>2,376</b>
dan	7,69	502	339	50000,0	3,064
noć	7,87	526	364	0,1	1,768
<b>26.5.2021.</b>	<b>7,97</b>	<b>517</b>	<b>355</b>	<b>23076,9</b>	<b>2,542</b>
dan	8,06	486	335	50000,0	2,711
noć	7,90	543	372	0,0	2,396
p	n.s.	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,000</b>
	Alkalinitet (mg CaCO3 L-1)	Ukupna tvrdoća vode (mg CaCO3 L-1)	N-NO2- (mgL-1)	N-NO3- (mgL-1)	P-PO43- (mgL-1)
<b>15.4.2021.</b>	<b>100,3</b>	<b>28,7</b>	<b>0,034</b>	<b>0,807</b>	<b>0,010</b>
dan	55,0	19,6	0,031	0,894	0,013
noć	135,0	35,6	0,037	0,741	0,007
<b>29.4.2021.</b>	<b>100,0</b>	<b>23,1</b>	<b>0,035</b>	<b>0,538</b>	<b>0,009</b>
dan	60,0	17,8	0,032	0,553	0,007
noć	140,0	28,5	0,038	0,524	0,011
<b>11.5.2021.</b>	<b>100,1</b>	<b>19,2</b>	<b>0,055</b>	<b>0,598</b>	<b>0,014</b>
dan	55,0	10,7	0,066	0,435	0,014
noć	140,0	26,7	0,045	0,741	0,015
<b>26.5.2021.</b>	<b>95,4</b>	<b>24,4</b>	<b>0,042</b>	<b>0,789</b>	<b>0,014</b>
dan	55,0	19,6	0,042	0,535	0,012
noć	130,0	28,5	0,042	1,006	0,015
p	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	n.s.	<b>0,000</b>	<b>0,005</b>

**Prilog III.** Srednje vrijednosti fizikalno kemijskih parametara mjenjenih po danu i noći te po datumima uzorkovanja na postaji V2 s p-vrijednostima (Mann-Whitney U Test) koje prikazuju statističku značajnost razlika između doba dana na postaji V2 (crveno označene p-vrijednosti označavaju statistički značajnu razliku između doba dana, dok simbol n.s. ukazuje da opažene razlike nisu statistički značajne). Plavo obojeni fizikalno-kemijski parametri nemaju potvrđene statistički značajne razlike između dana i noći, dok crveno obojeni parametri imaju potvrđene statistički značajne razlike između doba dana na postaji V2.

V2	v (m s <sup>-1</sup> )	dubina (cm)	t <sub>vode</sub> (°C)	O <sub>2</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	O <sub>2</sub> (%)
<b>15.4.2021.</b>	<b>0,16</b>	<b>18,0</b>	<b>9,4</b>	<b>11,21</b>	<b>98,6</b>
dan	0,20	18,7	10,9	11,86	107,8
noć	0,14	17,4	8,3	10,72	91,6
<b>29.4.2021.</b>	<b>0,28</b>	<b>11,5</b>	<b>15,3</b>	<b>12,06</b>	<b>122,7</b>
dan	0,26	11,9	15,7	14,56	149,0
noć	0,30	11,2	15,0	9,86	99,4
<b>11.5.2021.</b>	<b>0,32</b>	<b>14,4</b>	<b>19,0</b>	<b>11,02</b>	<b>121,3</b>
dan	0,25	14,2	19,7	12,77	142,0
noć	0,38	14,6	18,2	9,27	100,5
<b>26.5.2021.</b>	<b>0,38</b>	<b>15,1</b>	<b>17,2</b>	<b>11,84</b>	<b>125,1</b>
dan	0,40	16,0	19,7	13,63	150,2
noć	0,37	14,4	15,0	10,24	102,7
p	n.s.	n.s.	<b>0,0</b>	<b>0,00</b>	<b>0,0</b>
	pH	Konduktivitet (μScm-1)	TDS (mgL <sup>-1</sup> )	lux	KPKKMnO <sub>4</sub> (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )
<b>15.4.2021.</b>	<b>9,24</b>	<b>517</b>	<b>357</b>	<b>5731,7</b>	<b>0,847</b>
dan	9,80	502	346	13220,0	0,825
noć	8,81	529	366	5,4	0,864
<b>29.4.2021.</b>	<b>7,76</b>	<b>455</b>	<b>313</b>	<b>13035,5</b>	<b>1,983</b>
dan	7,65	445	307	27800,0	2,004
noć	7,85	464	319	8,0	1,964
<b>11.5.2021.</b>	<b>8,32</b>	<b>511</b>	<b>349</b>	<b>25003,3</b>	<b>2,868</b>
dan	8,56	505	349	50000,0	2,829
noć	8,07	517	348	6,5	2,907
<b>26.5.2021.</b>	<b>8,15</b>	<b>512</b>	<b>343</b>	<b>23614,1</b>	<b>2,628</b>
dan	8,15	487	326	50000,0	2,711
noć	8,15	535	358	5,7	2,554
p	<b>0,05</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,0</b>	n.s.
	Alkalinitet (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	Ukupna tvrdoća vode (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>2</sub> - (mgL <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>3</sub> - (mgL <sup>-1</sup> )	P-PO <sub>4</sub> - (mgL <sup>-1</sup> )
<b>15.4.2021.</b>	<b>87,5</b>	<b>22,1</b>	<b>0,033</b>	<b>0,904</b>	<b>0,005</b>
dan	45,0	16,0	0,028	0,647	0,004
noć	120,0	26,7	0,037	1,100	0,006
<b>29.4.2021.</b>	<b>91,9</b>	<b>21,2</b>	<b>0,042</b>	<b>0,482</b>	<b>0,009</b>
dan	60,0	23,1	0,035	0,388	0,007
noć	120,0	19,6	0,049	0,565	0,012
<b>11.5.2021.</b>	<b>87,5</b>	<b>26,7</b>	<b>0,052</b>	<b>0,706</b>	<b>0,013</b>
dan	55,0	16,0	0,054	0,612	0,011
noć	120,0	37,4	0,049	0,800	0,015
<b>26.5.2021.</b>	<b>102,2</b>	<b>24,3</b>	<b>0,041</b>	<b>0,586</b>	<b>0,017</b>
dan	60,0	19,6	0,042	0,524	0,015
noć	140,0	28,5	0,041	0,641	0,019
p	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	n.s.	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>

**Prilog IV.** Fotografije izdvojenih organskih čestica gustoće  $< 1,65 \text{ g cm}^{-3}$  pod lupom





**Prilog V.** Fotografije supstrata na postajama V1 (a) i V2 (b). Na postaji V1 je vidljivo više algi te kamenitog supstrata, dok je na postaji V2 supstrat sitniji te nema toliko algi. Na fotografiji (a) se mogu opaziti i jedinke porodice Simuliidae pričvršćene na kamen.



(a) postaja V1



(b) postaja V2