



Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Denis Bućan

**DINAMIKA NASELJAVANJA  
MAKROZOOBENTOSA U POVREMENOM I  
STALNOM LOTIČKOM STANIŠTU**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2026.



Sveučilište u Zagrebu

PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
BIOLOŠKI ODSJEK

Denis Bućan

**DINAMIKA NASELJAVANJA  
MAKROZOOBENTOSA U POVREMENOM I  
STALNOM LOTIČKOM STANIŠTU**

DOKTORSKI RAD

Mentori:

Marko Miliša

Vlatka Mičetić Stanković

Zagreb, 2026.



University of Zagreb

FACULTY OF SCIENCE  
DEPARTMENT OF BIOLOGY

Denis Bućan

**COLONIZATION DYNAMICS OF BENTHIC  
MACROINVERTEBRATES IN  
INTERMITTENT AND PERENNIAL LOTIC  
HABITATS**

DOCTORAL DISSERTATION

Supervisors:

Marko Miliša

Vlatka Mičetić Stanković

Zagreb, 2026.

*Ovaj doktorski rad izrađen je u Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu i Hrvatskom prirodoslovnom muzeju, pod vodstvom prof. dr. sc. Marka Miliše i nasl. doc. dr. sc. Vlatke Mičetić Stanković u sklopu Sveučilišnog poslijediplomskog studija pri Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu.*

## ZAHVALE

*Ovaj rad je rezultat velikog truda, rada i odricanja tijekom proteklih godina. Njegov završetak ne bi bio moguć bez svih vas koji ste mi bili potpora na ovom putovanju te vam se ovim putem od srca želim zahvaliti.*

*Prije svega, veliko i iskreno hvala mojim najboljim mentorima prof. dr. sc. Marku Miliši i nasl. doc. dr. sc. Vlatki Mičetić Stanković, što su prihvatili mentorstvo, vodili me, usmjeravali i podržavali tijekom terenskog rada, analize podataka i pisanja, ne samo doktorata nego i znanstvenih radova tijekom svih ovih godina. Hvala vam na svim primjedbama, savjetima, strpljenju i vremenu koje ste nesebično utrošili.*

*Veliko hvala mojim roditeljima, Nenadu i Ibri, bez čije pomoći bi bilo iznimno teško provesti terenska istraživanja. Moja ste najveća potpora zadnje 33 godine, vjerovali ste u mene i na tome ću vam zauvijek biti zahvalan. Bez vas ne bih stajao gdje stojim danas.*

*Posebno hvala mojoj Lei koja mi je svojom ljubavlju, podrškom, razumijevanjem i pomoći uvelike olakšala ovo putovanje. Hvala ti što si bila uz mene, što si imala strpljenja i što si vjerovala u mene čak i onda kad sam sam sumnjao.*

*Veliko hvala izv. prof. dr. sc. Marini Vilenici, dr. sc. Valentini Dorić i dr. sc. Marini Šumanović na pomoći pri pregledu materijala, korisnim savjetima i izdvojenom vremenu.*

*Posebno hvala dr. sc. Ivani Pozojević koja je bila moj „joker zovi“ svaki put kada bih se našao u problemu tijekom analize podataka.*

*Hvala ravnateljici prof. dr. sc. Tatjani Vlahović na podršci i vremenu koje mi je omogućila tijekom izrade doktorata.*

*Veliko hvala prof. dr. sc. Đurađu Miloševiću na pomoći oko novih analiza i kvalitetnijoj interpretaciji podataka.*

*Veliko hvala mojim najboljim kolegicama, dr. sc. Martini Šašić Kljajo, dr. sc. Ireni Grbac, dr. sc. Ivi Mihoci i nasl. doc. dr. sc. Martini Podnar Lešić, na nesebičnoj potpori, razumijevanju i prijateljstvu tijekom svih ovih godina.*

*Veliko hvala dr. sc. Viktoriji Ergović na pomoći pri pregledu materijala, kao i na podršci i vedrom raspoloženju.*

*Veliko hvala izv. prof. dr. sc. Ivanu Čanjevcu i prof. dr. sc. Mariji Gligori Udovič na podršci tijekom terena na Papuku te na korisnim prijedlozima i savjetima.*

*Zahvaljujem i članovima povjerenstva, izv. prof. dr. sc. Mariji Ivković, dr. sc. Ireni Grbac, prof. dr. sc. Marku Čaleti i doc. dr. sc. Tvrtku Dražini, na uloženom vremenu, komentarima i vrijednim sugestijama koje su pridonijele unaprjeđenju ovog rada.*

*Na kraju, hvala svima koji su na bilo koji način bili dio ovog puta, vjerovali u mene i pomogli da ovaj rad dobije svoj konačni oblik.*

## INFORMACIJE O MENTORIMA

prof. dr. sc. Marko Miliša

Prof. dr. sc. Marko Miliša je rođen 6. lipnja 1978. godine u Zagrebu, gdje je završio studij biologije. Doktorirao je u lipnju 2007. godine. Zaposlen je u Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta od rujna 2001. godine. Titulu redovitog profesora pri Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka PMF-a stječe u srpnju 2023. godine.

Marko Miliša nositelj je kolegijima: Beskralježnjaci, Invertebrata, Zoologija 2, Načela metodologije znanstvenog rada, Istraživački zadaci u nastavi biologije, Znanstvena komunikacija, Energetika ekosustava, dvjema terenskim nastavama za studente 2. godine preddiplomskih studija biologije i znanosti o okolišu te je na Doktorskom studiju biologije jedan od nositelja kolegija Stupanj trofije i protok energije u ekosustavu. Bio je mentor dva doktorska rada, 14 diplomskih radova, 14 završnih radova te jednog studentskog rada nagrađenog Rektorovom nagradom.

Područje znanstveno-istraživačkog rada dr. sc. Marka Miliše je slatkovodna ekologija, s naglaskom na krške ekosustave. Marko Miliša do sada je u koautorstvu ukupno objavio više od 50 znanstvenih radova u h-indeks 19 s preko 1300 navoda.

Marko Miliša je u koautorstvu objavio dva sveučilišna udžbenika i tri poglavlja u knjizi, a urednik je dvije znanstvene knjige. Sudjelovao je u koautorstvu na preko 60 priloga na znanstvenim skupovima. Održao je 5 pozvanih predavanja (4 plenarna) na međunarodnim skupovima i jedno na domaćem skupu. Marko Miliša sudjelovao je na Erasmus+ i H2020 projektima kao glavni istraživač u Hrvatskoj. Bio je nacionalni koordinator COST akcije EU. Voditelj je niza međunarodnih kao i domaćih projekata, kako edukacijskih tako i znanstveno-stručnih.

Član je i osnivač Hrvatskog udruženja slatkovodnih ekologa čiji je bio i predsjednik u dva mandata. Aktivno sudjeluje u znanstvenim i organizacijskim odborima međunarodnih znanstvenih kongresa od čega je najvažnije istaknuti da je bio predsjednik organizacijskog odbora 11th European Symposium for Freshwater Sciences (SEFS11) 2019. godine u Zagrebu. Bio je član i voditelj niza odsječkih tijela i povjerenstava.

## INFORMACIJE O MENTORIMA

nasl. doc. dr. sc. Vlatka Mičetić Stanković

Vlatka Mičetić Stanković rođena je 7. prosinca 1981. godine u Kutini. Inženjerski smjer Ekologije na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu upisuje 2000., diplomira 2005., dok doktorira 2012. godine na temu taksonomije i ekologije vodenih kornjaša (Insecta, Coleoptera) krških tekućica. Zapošljava se kao znanstveni novak 2006. godine, a viši asistent 2012. godine na Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (PMF). Godine 2013. zapošljava se na mjesto kustosice i voditeljice zbirki kornjaša Hrvatskoga prirodoslovnog muzeja u Zagrebu. Višom kustosicom postaje 2019., a 2022. godine naslovna docentica Zoologijskog zavoda. Sudjelovala u osmišljavanju, pripremi i izvođenju nastave iz kolegija Zoologija, Entomologija, Primijenjena entomologija, Ekologija kukaca, Terenska nastava iz botanike i zoologije (PMF) te je trenutno suradnik na kolegiju Znanstvena i veterinarska entomologija (PMF) te suvoditelj na kolegijima Znanost o kukcima (PMF) i Izvanučionička nastava u poučavanju prirodoslovlja (Učiteljski fakultet). Suvoditelj je bila na pet diplomskih radova i jedne doktorske disertacije.

Znanstveno-istraživački rad usmjeren je primarno na taksonomiju i ekologiju vodenih kornjaša, s posebnim naglaskom na porodice Elmidae i Hydraenidae kao i na stručnu i znanstvenu valorizaciju muzejskih zbirki kornjaša. Do sada je objavila, samostalno ili u koautorstvu, 50 znanstvenih i stručnih radova i ostalih publikacija, 48 kongresnih priopćenja i jednu međunarodnu znanstvenu knjigu. Uređivala je četiri zbornika kongresnih sažetaka i dva specijalna izdanja znanstvenih časopisa te recenzirala dva srednjoškolska udžbenika i dvije radne bilježnice te bila stručni suradnik na dva sveučilišna udžbenika. Recenzent je u više renomiranih znanstvenih časopisa. Kao koautor, recenzent ili stručni suradnik je do sada sudjelovala na devet muzejskih izložbi, bila koautor pet kataloga te koautor muzeološke koncepcije novog stalnog postava Hrvatskog prirodoslovnog muzeja (2017. – 2024.) i koordinator realizacije zoološkog postava. Kao članica organizacijskog odbora organizirala je šest kongresa s međunarodnim sudjelovanjem. Sudjelovala je na više znanstvenih i stručnih projekata od kojih je na jednom bila voditelj, a na dva stručni suradnik koji su financirani od Hrvatske zaklade za znanost. Članica je više znanstvenih i strukovnih organizacija i redovito održava pozvana znanstveno-popularna predavanja i radionice u cilju promicanja znanosti i struke.

**DINAMIKA NASELJAVANJA MAKROZOOBENTOSA U POVREMENOM I  
STALNOM LOTIČKOM STANIŠTU**

DENIS BUĆAN

Biološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu  
Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb

Slatkovodni ekosustavi izloženi su intenzivnim antropogenim pritiscima, što dovodi do njihove degradacije i utjecaja na vodene organizme, osobito makrozoobentos, kao pokazatelja promjena okolišnih uvjeta. Ključno je poznavanje procesa oporavka zajednice nakon poremećaja, no istraživanja su još uvijek rijetka. Ovo istraživanje predstavlja prvo takve vrste fokusirano na dinamiku naseljavanja makrozoobentosu u dva lotička sustava različite hidrologije: stabilnom krškom izvoru na umjetnim podlogama i povremenom potoku na prirodnoj podlozi. Cilj istraživanja bio je objasniti dinamiku naseljavanja zajednice u odnosu na okolišne čimbenike, naročito antropogeno uvjetovane te utvrditi vrijeme oporavka zajednice nakon poremećaja. Na temelju 29 668 jedinki ustanovljeno je brzo naseljavanje (nakon 12 sati izvor, pet dana potok) s pionirskim svojstama poput Chironomidae (Diptera), Baetidae (Ephemeroptera), Plecoptera i Coleoptera. Naseljavanje je primarno definirano brzinom strujanja vode, zasjenjenošću korita, temperaturom vode i vremenom nakon plavljenja. Količina organske tvari je također utjecala na dinamiku naseljavanja, naročito onom povremenog potoka. U stabilnom izvorišnom sustavu dinamika zajednice je definirana mikrostanišnim čimbenicima, dok je u povremenom potoku vremenskim. Rezultati potvrđuju da su istraživani tipovi staništa prikladni prirodni laboratoriji za proučavanje procesa naseljavanja i oporavka zajednica, važnim u zaštiti i upravljanju slatkovodnim ekosustavima.

(120 stranica/31 slika/6 tablica/234 literaturnih navoda/5 priloga/jezik izvornika: hrvatski)

Ključne riječi: pioniri naseljavanja, sezonalnost, antropogeni učinak, umjetne podloge, krš

Mentori: prof. dr. sc. Marko Miliša i nasl. doc. dr. sc. Vlatka Mičetić Stanković

Ocjenjivači: izv. prof. dr. sc. Marija Ivković; dr. sc. Irena Grbac; prof. dr. sc. Marko Čaleta;

zamjena: izv. prof. dr. sc. Tvrtko Dražina

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Division of Biology

Doctoral thesis

## **COLONIZATION DYNAMICS OF BENTHIC MACROINVERTEBRATES IN INTERMITTENT AND PERENNIAL LOTIC HABITATS**

DENIS BUĆAN

University of Zagreb, Faculty of Science, Department of Biology, Division of Zoology,  
Rooseveltova trg 6, Zagreb, Croatia

Freshwater ecosystems are exposed to intense anthropogenic pressures, leading to their degradation and affecting aquatic organisms, particularly benthic macroinvertebrates as indicators of change in environmental conditions. Understanding community recovery processes is therefore essential, yet studies remain scarce. This study is the first one of its kind focused on colonisation dynamics of benthic macroinvertebrates in two lotic systems with different hydrology: a stable karst spring using artificial substrates and an intermittent stream on natural substrate. The aim of this study was to explain the community colonisation dynamics regarding environmental factors, particularly anthropogenic, and to determine the time required for recovery after disturbance. Based on 29 668 individuals, rapid colonisation was recorded (within 12 hours in the spring and five days in the stream), with pioneer taxa such as Chironomidae (Diptera), Baetidae (Ephemeroptera), Plecoptera and Coleoptera. Colonisation was primarily driven by water flow velocity, canopy cover, water temperature, and time after rewetting. Organic matter influenced colonisation dynamics in the intermittent stream. In the stable spring, community dynamics were mainly structured by microhabitat factors, whereas in the intermittent stream by temporal dynamics. The results confirm that these habitat types represent suitable natural laboratories for studying colonisation and recovery processes, providing insights important for the protection and management of freshwater ecosystems.

(120 pages/31 figures/6 tables/234 references/5 supplementary materials/original in: Croatian)

Keywords: pioneer colonisers, seasonality, anthropogenic impact, artificial substrates, karst

Supervisors: Prof. Marko Miliša, PhD and Assoc. Prof. Vlatka Mičetić Stanković, PhD

Reviewers: Associate Professor Marija Ivković, PhD; Irena Grbac, PhD; Professor Marko Čaleta, PhD; replacement: Associate Professor Tvrtko Dražina, PhD

## Sadržaj

1. UVOD.....	1
1.1. CILJEVI ISTRAŽIVANJA.....	3
2. LITERATURNI PREGLED.....	5
2.1. Makrozoobentos.....	5
2.2. Tekućice.....	6
2.2.1. Krški izvori.....	6
2.2.2. Povremene tekućice.....	8
2.3. Dinamika naseljavanja makrozoobentosa.....	9
2.3.1. Okolišni čimbenici.....	9
2.3.2. Naseljavanje makrozoobentosa i okolišni čimbenici.....	12
2.3.3. Umjetne i prirodne podloge u istraživanjima procesa naseljavanja.....	15
3. MATERIJALI I METODE.....	16
3.1. Izvor potoka Jankovac.....	16
3.1.1. Istraživana postaja izvorišno područje potoka Jankovac.....	17
3.1.2. Postupak uzorkovanja.....	18
3.2. Povremeni potok Prkos Lasinjski.....	20
3.2.1. Istraživane postaje potoka Prkos Lasinjski.....	21
3.2.2. Postupak uzorkovanja.....	25
3.3. Laboratorijska obrada i determinacija.....	27
3.4. Analiza organske i anorganske tvari.....	28
3.5. Statistička obrada podataka.....	29
3.5.1. Statistička obrada podataka u stalnom krškom izvoru.....	30
3.5.2. Statistička obrada podataka u povremenom vodotoku.....	31
3.5.3. Programi korišteni za obradu podataka.....	33
4. REZULTATI.....	34
4.1. Stalno izvorišno područje potoka Jankovac.....	34
4.1.1. Fizikalno-kemijski čimbenici vode.....	34
4.1.2. Sastav i struktura zajednice makrozoobentosa.....	36
4.1.3. Dinamika naseljavanja.....	38
4.1.4. Odnos naseljavanja i okolišnih čimbenika.....	41
4.2. Povremeni potok Prkos Lasinjski.....	47
4.2.1. Fizikalno-kemijski čimbenici vode.....	47

4.2.2. Sastav zajednice makrozoobentosa.....	51
4.2.3. Odnos zajednice i okolišnih čimbenika .....	61
4.2.4. Prostorno-vremenska distribucija i obrasci naseljavanja.....	62
5. RASPRAVA .....	67
6. ZAKLJUČAK.....	85
7. LITERATURA.....	88
8. PRILOZI.....	110
9. ŽIVOTOPIS.....	116

## 1. UVOD

Slatkovodni ekosustavi, iako na prvi pogled stabilni, ubrajaju se među najugroženija staništa na Zemlji (Piczak i sur., 2024). Pritisci na tekućice posljednjih desetljeća rastu zbog niza razloga poput regulacije korita, onečišćenja te klimatskih promjena, ali i izravnog utjecaja čovjeka na fizička svojstva vodnih tijela. Voda je temeljni resurs potreban za život te njezina zaštita i očuvanje kakvoće predstavljaju jedan od ključnih izazova suvremene zaštite prirode (Mishra i sur., 2021). Degradacija staništa posebno utječe na vodene organizme koji su izravno vezani uz dinamiku protoka i prostorno-vremenske promjene okolišnih čimbenika. U takvim uvjetima zajednice reagiraju promjenama u svojem sastavu i brojnosti, što može utjecati na funkcioniranje ekosustava u cjelini. Stoga, razumijevanje procesa koji oblikuju te zajednice nužno je i za njihovu zaštitu, ali i zaštitu staništa te upravljanje vodnim resursima (Schlenker i sur., 2024).

Zajednica makroskopskih beskralješnjaka (makrozoobentos) jedna je od temeljnih komponenti vodenih ekosustava. Naseljava dno vodenih staništa te sudjeluje u razgradnji organske tvari, kruženju hranjivih tvari i prijenosu energije kroz hranidbene mreže. Najzastupljeniji predstavnici su člankonošci, osobito ličinački stadiji vodenih kukaca, zatim mekušci, kolutićavci, virnjaci i dr. (Kerovec, 1988). Zbog relativno dugog životnog ciklusa i ograničene pokretljivosti, oni odražavaju okolišne uvjete tijekom duljeg razdoblja pa se koriste kao pokazatelji stanja i promjena u slatkovodnim sustavima (Ivković i sur., 2013; Agouridis i sur., 2015; Stubbington i sur., 2017a).

Sastav i strukturu zajednice makrozoobentosa određuju brojni okolišni čimbenici. Među najvažnijima su tip i stabilnost podloge, brzina strujanja vode (lotičko – tekućica ili lentičko – stajaćica), zasjenjenost obalnom vegetacijom te dostupnost hrane (Miliša i sur., 2006a; Moog i Hartmann, 2017; Habdija i Primc, 2019). Tip podloge određuje raspoloživa mikrostaništa i utječe na to koje se skupine mogu uspješno zadržati u staništu, osobito nakon poremećaja (Schwendel i sur., 2011; Schröder i sur., 2013; Phillips i Prestie, 2017). Zasjenjenost utječe na temperaturu vode i razvoj obraštaja (perifiton), a time i na količinu dostupne hrane (Yoshimura i Kubota, 2022; Bućan i Miliša, 2023). Organska tvar, posebice listinac iz riparijske vegetacije, važan je izvor energije za brojne skupine (Casotti i sur., 2015). U povremenim vodotocima organska tvar nakupljena tijekom sušne faze može imati ključnu ulogu u ranoj fazi oporavka nakon ponovnog plavljenja (Shumilova i sur., 2019; Oester i sur., 2023).

Jedan od procesa koji snažno oblikuje zajednicu makrozoobentosa je naseljavanje nakon poremećaja (Mackay, 1992; Matthaei i sur., 1996). Tako su lotička staništa prirodno izložena poplavama, promjenama u brzini strujanja vode i sezonskim oscilacijama u količini vode. Povremeni vodotoci su dodatno obilježeni ciklusima presušivanja i ponovnog plavljenja. Takvi događaji mogu dovesti do smanjenja brojnosti ili potpunog nestanka zajednice makrozoobentosa, nakon čega započinje proces njihovog ponovnog naseljavanja (Mackay, 1992; Miliša i sur., 2010b). Način, brzina i uspješnost naseljavanja imaju važnu ulogu u oblikovanju strukture zajednice i njezine dugoročne stabilnosti u nekom staništu (Mackay, 1992; Pařil i sur., 2019b).

U ovom radu uspoređuju se dva lotička sustava koja se razlikuju po svojoj hidrologiji: stabilni krški izvor i povremeni potok s dominantnom glinenom podlogom koji presušuje od lipnja do studenog. Krške izvore obilježavaju relativno ujednačeni fizikalno-kemijski uvjeti i manja kolebanja protoka, ali su zbog specifične hidrogeološke građe osjetljivi na promjene u okolišu (Stoch i sur., 2011; Bonacci, 2015; Reiss i Chiffard, 2015). Povremeni vodotoci, s druge strane, obilježeni su izraženom hidrološkom varijabilnošću i sukcesijskim promjenama nakon plavljenja (Datry i sur., 2014; Stubbington i sur., 2017b). Upravo navedene značajke čine ova dva tipa vodenih staništa povoljnim za istraživanje dinamike naseljavanja makrozoobentosa.

Iako su sastav i raznolikost makrozoobentosa u krškim izvorima i tekućicama kontinentalne Hrvatske relativno dobro istraženi (npr. Mićetić Stanković i sur., 2019; Pozojević i sur., 2020; Grgić i sur., 2022; Vilenica i sur., 2023), procesi ranog naseljavanja i dinamika ostaju većinom nedovoljno istraženi. Literaturni podaci su sporadični i nedostatni, osobito oni vezani uz vodene sustave kontinentalnog područja s karakterističnom glinenom podlogom. Stoga je cilj ovog rada pridonijeti boljem razumijevanju dinamike naseljavanja makrozoobentosa u stabilnom krškom izvorišnom sustavu i povremenom potoku te utvrditi kako okolišni čimbenici oblikuju početnu strukturu zajednice i njezin oporavak nakon poremećaja. Nova saznanja o tim procesima omogućit će potpunije razumijevanje ekoloških mehanizama koji stoje iza promjena u zajednicama te pružiti temelj za buduće smjernice u očuvanju i upravljanju ovim osjetljivim i vrijednim slatkovodnim staništima.

## 1.1. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

**Glavni ciljevi** istraživanja su:

**Istražiti** dinamiku naseljavanja makrozoobentosa u stalnom lotičkom staništu, na podlogama učvršćenim u sediment i podlogama koje se slobodno kreću kroz sediment.

**Utvrđiti** utjecaj strukture i stabilnosti umjetnih podloga na dinamiku naseljavanja makrozoobentosa u stalnom lotičkom staništu. Utvrđiti utjecaj zasjenjenosti staništa na dinamiku naseljavanja makrozoobentosa u stalnom lotičkom staništu.

**Istražiti** dinamiku naseljavanja makrozoobentosa na prirodnu podlogu u povremenoj tekućici.

**Utvrđiti** utjecaj količine organske i anorganske tvari na sastav i dinamiku naseljavanja makrozoobentosa u stalnom i povremenom lotičkom staništu.

**Odrediti** utjecaj fizikalno-kemijskih čimbenika vode na dinamiku naseljavanja makrozoobentosa u stalnom i povremenom lotičkom staništu.

**Istražiti** dinamiku naseljavanja makrozoobentosa na antropogeno utjecanim i neutjecanim dijelovima povremene tekućice. Definirati nova znanja o uporabi metoda korištenja umjetnih podloga u istraživanju ekologije slatkih voda.

**Utvrđiti** raznolikost makrozoobentosa u stalnom i povremenom lotičkom staništu s posebnim naglaskom na kukce iz redova Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera i Coleoptera.

**Osnovna pretpostavka** ovog istraživanja je da je dinamika naseljavanja makrozoobentosa na različite tipove podloge **uvjetovana okolišnim čimbenicima** u stalnom i povremenom lotičkom staništu.

Naseljavanje makrozoobentosa na umjetne podloge **izraženije je na učvršćenim** umjetnim podlogama koje se nalaze na **osvijetljenom** dijelu stalnog lotičkog staništa od naseljavanja na učvršćenim podlogama na zasjenjenom dijelu istog staništa.

Količina organske i anorganske tvari **ima utjecaj** na dinamiku naseljavanja makrozoobentosa u stalnom i povremenom lotičkom staništu.

Veća količina organske i anorganske tvari **nakuplja se na učvršćenim** nego na neučvršćenim umjetnim podlogama u stalnom lotičkom staništu.

Makrozoobentos povremenog lotičkog staništa **uspješnije** naseljava područje s **više** organske tvari na prirodnoj podlozi.

Količina nitrata i fosfata **veća je na antropogeno utjecanim** dijelovima povremenog lotičkog staništa u usporedbi s antropogeno neutjecanim dijelovima toka.

Makrozoobentos se, u povremenom lotičkom staništu, **uspješnije** vraća u početno ravnotežno stanje na lokacijama gdje je **manje** izražen antropogeni učinak onečišćenja hranjivim tvarima.

Raznolikost makrozoobentosa je **veća u stalnom** nego u povremenom lotičkom staništu, u kojemu je pak raznolikost veća na antropogeno neutjecanim dijelovima toka.

## 2. LITERATURNI PREGLED

### 2.1. Makrozoobentos

Makrozoobentos, makroskopski beskralješnjaci, obuhvaća zajednicu beskralješnjaka vidljivih golim okom koja nastanjuje dno vodnih tijela. Najčešći predstavnici makrozoobentosa su vodeni kukci, osobito redovi Ephemeroptera (vodencvjetovi), Plecoptera (obalčari), Trichoptera (tulari), Coleoptera (kornjaši) i Diptera (dvokrilci). Uz kukce zajednicu čine i Turbellaria (virnjaci), Mollusca (mekušci), Annelida (kolutićavci), Crustacea (rakovi) i Hydrachnidia (vodengrinje) (Kerovec, 1988). Ekološka važnost makrozoobentosa često prođe neopažena sve dok u ekosustavu ne dođe do neočekivanih promjena, kada promjene u sastavu i strukturi zajednice postaju jasno vidljive. Zbog svoje iznimne taksonomske i funkcionalne raznolikosti, ograničene pokretljivosti, relativno dugog životnog ciklusa te osjetljivosti na promjene okolišnih uvjeta, makrozoobentos se široko koristi kao pokazatelj kvalitete staništa (bioindikator) i pokazatelj promjena u slatkovodnim ekosustavima (Ivković i sur., 2013; Agouridis i sur., 2015; Stubbington i sur., 2017a). Upravo su vodeni kukci, zbog svoje osjetljivosti na fizikalne i kemijske promjene u staništu, među najčešće korištenim skupinama u biomonitoringu vodenih staništa (Sánchez-Fernández i sur., 2006; Elbrecht i sur., 2016).

Budući da je makrozoobentos vrlo taksonomski kompleksna skupina životinja koja obuhvaća nekoliko koljena, provedena su brojna taksonomska i ekološka istraživanja u raznim tipovima vodenih staništa (npr. Vilenica i sur., 2015; Mičetić Stanković i sur., 2015; Pařil i sur., 2019b; Pozojević i sur., 2020; Grgić i sur., 2022; Miliša i sur., 2022; Dorić i sur., 2025). Ipak, kompleksnost ekoloških čimbenika te inter i intraspecijski odnosi znače da svako novo istraživanje može otkriti dodatne značajke i prilagodbe pojedinih skupina, ali i zajednice u cjelini. Prema tome, zajednice makrozoobentosa ne odražavaju isključivo trenutno stanje staništa, nego i promjene u okolišu kroz vrijeme, poput sezonalnosti, povremenih poremećaja i oporavka. Upravo zato je makrozoobentos dobar model za proučavanje naseljavanja i sukcesije u vodenim sustavima (Fournier i sur., 2023).

Među najvažnijim čimbenicima koji oblikuju zajednice u vodenim staništima ističu se brzina strujanja vode, tip i stabilnost podloge te količina i dostupnost organske tvari (Miliša i sur., 2006a; Moog i Hartmann, 2017; Habdija i Primc, 2019). Navedeni čimbenici su međusobno povezani i određuju raspoloživost mikrostaništa, dostupnost hrane i omogućuju zadržavanje

jedinki u staništu, a njihov učinak često je najuočljiviji u ranim fazama naseljavanja nakon poremećaja (Baumgartner i Robinson, 2017).

## 2.2. Tekućice

Slatkovodni ekosustavi posljednjih su desetljeća izloženi snažnim i sve intenzivnijim antropogenim pritiscima, koji rezultiraju degradacijom velikog broja vodnih tijela diljem Europe (Piczak i sur., 2024). Upravo razumijevanje procesa oporavka ekosustava, pogotovo nakon poremećaja, postaje ključno za učinkovito upravljanje i obnovu slatkovodnih staništa (Schlenker i sur., 2024). Vodena staništa dijele se na stajačice (lentička staništa, lat. *lentus* – spor) i tekućice (lotička staništa, lat. *lotus* – odnešen). Pod tekućicama se podrazumijeva cjelokupno kretanje vodene mase u određenom smjeru. Postoje razne podjele tekućica, a za ovo istraživanje važna je podjela prema stalnosti gdje se razlikuju stalne i povremene. Dok stalne tekućice teku tijekom cijele godine, povremene tekućice povremeno presušuju (Datry i sur., 2017; Bonacci i sur., 2019). Udio povremenih tekućica se danas povećava kao posljedica klimatskih promjena i sve većih potreba za vodom pa čine više od polovine globalne mreže rijeka (Acuña i sur., 2014). Tekućice su izrazito dinamični ekosustavi u kojima prostorno-vremenska varijabilnost hidroloških uvjeta ima ključnu ulogu u oblikovanju bioloških zajednica (Crabot i sur., 2020).

Iako su opće značajke lotičkih sustava relativno dobro poznate, velik dio istraživanja usmjeren je na velike riječne sustave i mediteransku regiju, dok su mali vodotoci u kontinentalnim područjima znatno slabije istraženi, posebno u kontekstu njihove funkcionalne dinamike (Stubbington i sur., 2017b; Mičetić Stanković i sur., 2019; Pařil i sur., 2019a; Chattopadhyay i sur., 2021). Upravo mali vodotoci često su prostorno izolirani te podložni brzim promjenama hidrološkog režima, što ih čini osobito pogodnima za proučavanje procesa naseljavanja i oporavka zajednica nakon poremećaja (Ivković i Plant, 2015).

### 2.2.1. Krški izvori

Krš je naziv za skup morfoloških, hidroloških i hidrogeoloških značajki terena koji su izgrađeni od stijena topivih u vodi, gdje je glavni proces njegovog oblikovanja kemijsko otapanje (Bonacci i Roje-Bonacci, 2000). Krški reljef prepoznat je diljem svijeta kao poseban

kompleksan sustav u kojem nalazimo razne formacije poput vrtača, jama, spilja, ponora i ponornica. Također, specifikum je nedostatak vode na površini, jer se znatan dio vode procjeđuje u podzemlje pa su površinski vodotoci relativno rijetki (Vlahović, 2010). Najvažniji čimbenik u krškom hidrološkom sustavu su padaline, koje pune vodonosni sloj i utječu na količinu vode koja izvire (Bonacci i sur., 2019) (Petrič i Kogovšek, 2005). Krška područja Hrvatske pripadaju dinaridskom kršu, a izgrađena su od vapnenca i dolomita te zauzimaju oko 46 % površine (Vlahović, 2010). U Hrvatskoj je krš svojstven za alpsku i mediteransku biogeografsku regiju dok je u kontinentalnoj regiji prisutan na nekoliko manjih, izoliranih područja, od kojih je najistočnije gorje Papuk. Krška vodena staništa imaju veliku važnost, među ostalim, jer su izvori pitke vode te se koriste u navodnjavanju poljoprivrednih površina (Grgić i sur., 2022).

Krški izvori su jedinstvena staništa, jer predstavljaju složene ekosustave koji ne slijede fizikalno-kemijsku, biološku i hidromorfološku sukcesiju nizvodnih dijelova vodotoka (Cantonati i sur., 2006). Izvor se definira kao otvor, na ili blizu površine kroz koji podzemna voda izlazi na površinu i predstavlja početni dio riječnog toka. Pojavljuju se uglavnom na kontaktu između propusnih (npr. karbonatnih stijena) i nepropusnih slojeva (npr. silita ili fliša) (Bonacci, 2015). Prema trajanju, izvori mogu biti stalni i povremeni, dok se prema načinu izbijanja vode na površinu razlikuju reokreni (tekući), limnokreni (ujezereni) te helokreni (močvarni ili difuzni) tip (Hynes, 1970). U mnogim krškim izvorišnim sustavima važnu geomorfološku i ekološku značajku predstavlja sedra, karbonatna stijena koja nastaje taloženjem kalcijeva karbonata iz krških voda prezasićenih kisikom (Miliša i Ivković, 2023). Sedra dodatno oblikuje strukturu i dostupnost staništa za bentoske organizme. Njezin nastanak rezultat je međudjelovanja fizikalno-kemijskih i bioloških procesa, pri čemu mahovine, alge te ostaci beskralježnjaka mogu služiti kao podloga za taloženje kristala kalcita (Miliša i sur., 2010a; Miliša i Ivković, 2023).

Izvorišna područja obilježavaju relativna ujednačenost ekoloških uvjeta i raznolika fauna, ali s relativno malim brojem vrsta, koje obuhvaćaju raspon od eurivalentnih generalista do visoko specijaliziranih stenovalentnih organizama, poput krenobionata (Stoch i sur., 2011; Bonacci, 2015; Reiss i Chiffard, 2015). Zbog stabilnih, ali specifičnih uvjeta, i najmanja promjena (prirodna ili antropogena) u izvorskom ekosustavu može ozbiljno utjecati i poremetiti uvjete te negativno utjecati na vrste koje nisu prilagođene na velika kolebanja ekoloških čimbenika (stenovalentne vrste) (Kerovec, 1988; Bonacci, 2015; Reiss i Chiffard, 2015). Upravo zbog

stabilnosti abiotičkih uvjeta, pogotovo u hladnim rekrenim izvorima, gdje izbijanje vode stvara stabilno lotičko stanište, izvori se smatraju prikladnim prirodnim laboratorijima za ekološka istraživanja (npr. Ivković i sur., 2015; Pešić i sur., 2019; Pozojević i sur., 2020; Bućan i Miliša, 2023). Provođenje istraživanja u takvim staništima smanjuje broj varijabli koje je potrebno uzeti u obzir, dok relativno niska raznolikost i brojnost vrsta omogućuju detaljnija i fokusiranija istraživanja. Budući da su izvori često izolirana staništa, pri čemu su rijetko dva ili više izvora dovoljno blizu da bi omogućili migraciju organizama među njima, česta je prisutnost populacija s filogenetski starim predstavnicima (Di Sabatino i sur., 2008). Takva izoliranost pogoduje pojavi endemizma i prisutnosti još neotkrivenih vrsta, čime se dodatno povećava konzervacijska vrijednost krških izvorišnih staništa. To potvrđuju i Previšić i sur., (2009) te Ivković i Plant (2015) naglašavajući da riječna mreža Balkana predstavlja faunistički jedinstveno područje zbog visokog stupnja endemizma. Hynes (1970) je među prvima istaknuo istraživački potencijal izvorskih područja, ali i naglasio kako su često zanemareni u istraživanjima i posljedično u zaštiti područja.

Dosadašnja istraživanja u krškim izvorima uglavnom su bila usmjerena na sastav zajednice makrozoobentosa (npr. Kućinić i sur., 2011; Ostojić i sur., 2012; Špoljar i sur., 2012; Previšić i sur., 2013; Vilenica i sur., 2018b; Pozojević i sur., 2020; Mičetić Stanković i sur., 2022), dok su istraživanja dinamike njihova naseljavanja i dalje rijetka. Nedavno su objavljeni podaci iz diplomskog rada (Bućan i Miliša, 2023), u kojem su provedena prva istraživanja dinamike naseljavanja makrozoobentosa na krškom izvoru korištenjem umjetnih podloga.

### **2.2.2. Povremene tekućice**

Povremene tekućice su izrazito dinamični i raznoliki slatkovodni ekosustavi koje obilježava izražena prostorno-vremenska varijabilnost hidroloških uvjeta, zbog čega se smatraju važnim dijelovima riječne mreže (Datry i sur., 2017; Shumilova i sur., 2019). Obilježava ih izmjena tekuće, stajaće i koptene faze, čime nastaje veliki broj staništa s različitim ekološkim uvjetima (Datry i sur., 2014; Stubbington i sur., 2018). Ponavljajući ciklusi presušivanja i ponovnog plavljenja, uvjetovani temperaturnim i oborinskim režimima, vremenski ograničavaju funkcioniranje ekosustava (Vander Vorste i sur., 2016; Fournier i sur., 2023) te potiču razvoj prilagodbi koje mnogim vodenim organizmima omogućuju preživljavanje u takvim uvjetima (Datry i sur., 2014; Stubbington i sur., 2018; Straka i sur., 2019; Blackman i sur., 2021). Na ove procese danas dodatno utječu klimatske promjene (Datry i sur., 2017; Stubbington i sur.,

2017b), koje mijenjaju sezonalnost i životne cikluse makroskopskih beskralješnjaka što ih dodatno razlikuje od zajednica u stalnim tekućicama (von Schiller i sur., 2017). U takvim sustavima upravo makrozoobentos ima ključnu ulogu u kruženju hranjivih tvari, razgradnji organske tvari i funkcioniranju hranidbenih mreža (von Schiller i sur., 2017; Bylak i Kukuła, 2022).

Unatoč njihovoj zastupljenosti i ekološkoj važnosti, povremene tekućice dugo, a i danas, su bile zanemarene u istraživanjima u odnosu na stalne vodotoke. Zanimanje za povremene tekućice i njihov utjecaj na makrozoobentos započelo je tek 1960-ih godina (Clifford, 1966), dok su krajem 20. stoljeća započela intenzivnija istraživanja usmjerena na razumijevanje interakcija između vodnog režima i zajednica makrozoobentosa, kao i promjena koje donose klimatske promjene (Stubbington i sur., 2018). U Hrvatskoj su se istraživanja povremenih izvora i tekućica uglavnom provodila u mediteranskoj biogeografskoj regiji (Grgić i sur., 2022; Vilenica i sur., 2023; Vilenica i sur., 2025), dok detaljni podaci o procesima naseljavanja i sastavu zajednica u povremenim potocima i dalje nedostaju (Magand i sur., 2020; Sauquet i sur., 2020). Time se dodatno naglašava potreba za istraživanjima koja obuhvaćaju rane faze oporavka nakon ponovnog plavljenja, osobito u kontinentalnim područjima, gdje se hidrološki režimi i tipovi podloge često razlikuju od mediteranskih sustava.

## **2.3. Dinamika naseljavanja makrozoobentosa**

### **2.3.1. Okolišni čimbenici**

Među najvažnijim čimbenicima koji utječu na zajednicu makrozoobentosa u lotičkim staništima ističu se vrsta i stabilnost podloge, brzina strujanja vode, zasjenjenost te dostupnost hrane (Moog i Hartmann, 2017; Habdija i Primc, 2019).

#### **Vrsta podloge**

Unutar pojedinih dijelova toka razlikuju se mikrostaništa na osnovu fizikalno-kemijskih čimbenika vode, ali i prisutnosti i raspodjeli različitih vrsta podloge (npr. granulaciji). Vrsta podloge ima višestruku ulogu u strukturiranju zajednica makrozoobentosa, jer ne samo da definira raspoloživa mikrostaništa, nego određuje i vrstu te dostupnost hranjivih tvari (Schwendel i sur., 2011; Schröder i sur., 2013; Phillips i Prestie, 2017). Istraživanja su pokazala da povećanje udjela finije granulacije sedimenta često rezultira smanjenjem brojnosti osjetljivih

svojtj (npr., Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera), ali i pozitivno utječe na svojte kojima ovakva vrsta sedimenta odgovara (npr., Oligochaeta, Gastropoda i Bivalvia) (Giller i Malmquist, 1998; Bruen i sur., 2017; Loskotová i sur., 2021). Ekologija pojedinih vrsta u odnosu na mikrostaništa je vrlo dobro istražena te je poznato da različite skupine pokazuju jasnu sklonost prema određenim vrstama sedimenta, ovisno o morfološkim i funkcionalnim prilagodbama (Ríos-Touma i sur., 2011; Schröder i sur., 2013; Vilenica i sur., 2018b). U kontekstu naseljavanja, podloga ima važnu ulogu, jer određuje koje će se skupine moći uspješno zadržati u staništu, pogotovo u ranim fazama nakon poremećaja kada su dostupnost prikladnih mikrostaništa i hrane ograničavajući čimbenici (Braccia i sur., 2014; Bućan i Miliša, 2023).

### **Stabilnost podloge**

Stabilnost podloge dodatno utječe na sposobnost organizama da se uspješno nasele i zadrže u staništu, pri čemu su nestabilne podloge povezani s čestim poremećajima i izraženijim fluktuacijama u brojnosti organizama (Monteiro i Vieira, 2017). Ovi su učinci osobito izraženi u vodotocima s većim brzinama strujanja i sezonskim poplavama, kada dolazi do snažnih kolebanja u brojnosti makrozoobentosa (Lancaster i Briers, 2008; Chattopadhyay i sur., 2021). Sjedilačke svojte imaju manju pokretljivost i izrazito su osjetljive na takve poremećaje (npr. Gastropoda, i Bivalvia), jer ovise o stabilnosti podloge, dok pokretljivije skupine, poput Ephemeroptera, mogu relativno brzo naseliti nove, dostupne površine podloge (Schwendel i sur., 2011; Bućan i Miliša, 2023). Dosadašnja su istraživanja pokazala da umjerena pokretljivost podloge osigurava optimalne uvjete za naseljavanje, što rezultira većom taksonomskom raznolikošću bentoskih zajednica (Suren i Duncan, 1999; Huston, 2014).

Za razliku od niza istraživanja o utjecaju tipa podloge na sastav makrozoobentosa ili pojedinu vrstu (Larsen i sur., 2011; Bylak i Kukuła, 2022) svega ih je do sada nekoliko fokusirano kako stabilnost podloge utječe na ranu dinamiku naseljavanja zajednice (Lancaster i Briers, 2008; Chattopadhyay i sur., 2021; Bućan i Miliša, 2023).

### **Brzina strujanja vode**

Brzina strujanja vode predstavlja jedan od ključnih čimbenika koji oblikuju sastav zajednice u lotičkim staništima (Merten i sur., 2014; Wolters i sur., 2018). Osim što na organizme izravno djeluje kao sila kojoj se moraju prilagoditi, strujanje vode određuje dostupnost hrane, unos i otplovljivanje organske tvari te raspodjelu čestica podloge, čime utječe na dinamiku i

uspješnost naseljavanja (Zbinden i sur., 2008; Miliša i sur., 2006a; Doretto i sur., 2021b). U ranim fazama naseljavanja upravo brzina strujanja može imati važnu ulogu u oblikovanju zajednice i pojavi pionirskih svojti, pri čemu prednost imaju organizmi prilagođeni većim brzinama strujanja vode (Zbinden, 2008; Vilenica i sur., 2018a; Bućan i Miliša, 2023). Također, brzina strujanja vode razlikuje se između gornjih i donjih tokova, kao i između površinskog sloja vode i dna korita, čime se stvara heterogenost mikrostanišnih uvjeta, što omogućuje istodobnu prisutnost svojti s različitim ekološkim prilagodbama.

### **Zasjenjenost**

Zasjenjenost tekućica obalnom vegetacijom također utječe na sastav i raspodjelu zajednica makrozoobentosa. U osvjetljenim dijelovima tekućica veća primarna produkcija često omogućuje veću raznolikost i/ili brojnost u usporedbi sa zasjenjenim staništima (Progar i Moldenke, 2009; Ivković i sur., 2015; Mičetić Stanković i sur., 2019). Budući da zasjenjenost posredno utječe na temperaturu vode, intenzitet primarne produkcije i razvoj perifitona, može se očekivati da mijenja dostupnost hranidbenih resursa te posljedično utječe na obrasce rane kolonizacije i početnu strukturu zajednice (Yoshimura i Kubota, 2022; Bućan i Miliša, 2023). Stoga zasjenjenost ne djeluje samo kao prostorni gradijent unutar vodotoka, već kao čimbenik koji može usmjeravati dinamiku naseljavanja u vremenu. Dosadašnja istraživanja uglavnom su uspoređivala brojnosti i raznolikosti između osvjetljenih i zasjenjenih dijelova vodotoka, dok je vremenska komponenta promjena tijekom samog procesa naseljavanja, u odnosu na zasjenjenost, rjeđe bila predmet istraživanja (Braccia i sur., 2014; Ivković i sur., 2015; Bućan i Miliša, 2023).

### **Dostupnost hrane**

Obalna vegetacija ima važnu ulogu u oblikovanju zajednice makrozoobentosa, jer predstavlja glavni izvor alohtone organske tvari te sudjeluje u regulaciji hranidbenih mreža i kruženju hranjivih tvari u lotičkim ekosustavima (Casotti i sur., 2015). Organska tvar, osobito krupna (CPOM), poput listinca, čini temelj energetske toka u tekućicama, a istodobno je stanište i izvor hrane za usitnjivače. Sitnija organska tvar (FPOM), uključujući i fekalne čestice, osnovni je hranidbeni resurs za detritivore i filtratore (Mackay, 1992; Miliša i sur., 2006b; Moog i Hartmann, 2017). Uz organsku tvar, u koritu tekućica prisutna je i anorganska tvar, čija veličina i dinamika ovise o kemijskom trošenju minerala te hidrodinamičkim procesima, poput resuspenzije sedimenta turbulentnim tokom ili mehaničkog usitnjavanja većih čestica. Iako

anorganska tvar nema izravnu hranidbenu ulogu, njezina prisutnost može utjecati na strukturu mikrostaništa i zadržavanje organske tvari u koritu (Mathers i sur., 2022a).

Dostupnost organske tvari izravno utječe na dinamiku naseljavanja i održavanje zajednica makrozoobentosa, pogotovo u staništima izloženima čestim poremećajima. Iako je uloga organske tvari u strukturiranju bentoskih zajednica dobro istražena u stalnim tekućicama (Habdija i sur., 2004; De Nadaï-Monoury i sur., 2014; Mulholland i Webster, 2014), njezina uloga u povremenim sustavima još uvijek je slabije istražena (Datry i sur., 2014; von Schiller i sur., 2017). U povremenim tekućicama posebnu važnost može imati organska tvar akumulirana tijekom sušne faze, koja po ponovnom plavljenju predstavlja istodobno izvor hrane i stanište te može utjecati na brzinu i smjer rane sukcesije zajednice (Shumilova i sur., 2019; Oester i sur., 2023).

### 2.3.2. Naseljavanje makrozoobentosa i okolišni čimbenici

Prirodni i antropogeno uvjetovani fizikalni poremećaji predstavljaju ključne čimbenike u dinamici i stabilnosti lotičkih zajednica, jer mogu potaknuti migracije organizama i njihovo naseljavanje na nova staništa. Praćenjem dinamike naseljavanja makrozoobentosa moguće je dobiti uvid u procese koji se odvijaju unutar zajednice te u načine na koje zajednice reagiraju na poremećaje (Bućan i Miliša, 2023; Fournier i sur., 2023). Tako oscilacije u brzini strujanja vode mogu uzrokovati raseljavanje jedinki, dok ekstremni događaji, poput velikih protoka, smrzavanja ili presušivanja, mogu dovesti do djelomičnog ili potpunog nestanka zajednica (Mackay, 1992). Od kraja 20. stoljeća antropogeni učinci dodatno su intenzivirali pritisak na već ionako osjetljive slatkovodne ekosustave, čime se povećava učestalost i intenzitet poremećaja (Linares i sur., 2021).

Nakon ponovne uspostave stabilnijih hidroloških i okolišnih uvjeta započinje proces ponovnog naseljavanja makrozoobentosa. Naseljavanje može biti višesmjerno te uključuje horizontalna (uzvodna i nizvodna (*drift*) kretanja), lateralna kretanja te vertikalne migracije unutar podloge (Řezníčková i sur., 2007; Lancaster i Briers, 2008). Vertikalna migracija predstavlja važan etološki mehanizam kojim organizmi izbjegavaju pritisak grabežljivaca i nepovoljne okolišne uvjete u stalnim vodotocima, dok u povremenim vodotocima nakon ponovnog uspostavljanja toka često naseljavaju iz hiporeičke zone (npr. Oligochaeta, Amphipoda, Plecoptera i

Chironomidae) (Dole-Olivier i sur., 1997; Pařil i sur., 2019a; Fournier i sur., 2023). Dublji slojevi podloge pritom djeluju kao refugiji i izvori ponovnog naseljavanja, pogotovo za mlade jedinke koje bi u površinskim slojevima bile izložene jaćem kompeticijskom i pritisku grabežljivaca (Miliša i sur., 2006b). Veće jedinke zbog svojih dimenzija najćešće ne mogu zauzeti male intersticijske prostore (Miliša i sur., 2006b). Horizontalna kretanja najćešće se odvijaju nizvodno putem *drifta*, koji uključuje i pasivne i aktivne komponente. Pasivno kretanje podrazumijeva prijenos organizama pod utjecajem sile toka, dok aktivne migracije omogućuju napuštanje nepovoljnih staništa i dospijevanje u dijelove vodotoka s povoljnijim uvjetima i stabilnijim okolišnim znaćajkama. Uz nizvodna kretanja, organizmi u potrazi za boljim uvjetima mogu migrirati i uzvodno ili boćno unutar korita, poput rakušaca iz reda Amphipoda (Bogan i sur., 2017). Za neke skupine, poput Trichoptera i Simuliidae (Diptera), ćije su lićinke slabiji plivaći, *drift* predstavlja jedan od glavnih mehanizama širenja i naseljavanja novih staništa (Sertić Perić i sur., 2015). Također, važnu ulogu u procesima naseljavanja imaju i odrasli stadiji kukaca s razvijenim krilima (npr., Coleoptera i Heteroptera) (Fournier i sur., 2023) što im omogućuje brzo ponovno naseljavanje staništa nakon poremećaja. Takvi mehanizmi kretanja omogućuju relativno brzu ponovnu uspostavu zajednica, ćesto unutar nekoliko tjedana, iako potpuni oporavak sastava zajednice na stanje prije poremećaja moćže zahtijevati i nekoliko mjeseci (Archambault i sur., 2010; Datry i sur., 2012; Vander Vorste i sur., 2016; Bogan i sur., 2017; Pařil i sur., 2019b; Fournier i sur., 2023). Dosadašnja istraživanja su pokazala da se raznolikost u pravilu oporavlja brće od ukupne brojnosti jedinki, što upućuje na različitu dinamiku oporavka brojnosti i raznolikosti (Mackay, 1992; Death, 1996). Proces oporavka ovisi o intenzitetu i prostornom opsegu poremećaja, svojstvima staništa te sposobnosti pojedinih svojti da ponovno nasele podlogu. Brzina naseljavanja moćže biti veća ako nepovoljni uvjeti nastupe nakon završetka reproduktivnog ciklusa pojedinih svojti (Zawal i sur., 2016). Također, naseljavanje je brće na podlogama na kojima je već razvijen biofilm (bakterije, praživotinje i alge) (Risse-Buhl i Küsel, 2009; Kulaš i sur., 2021), kao i u uvjetima povećane brzine strujanja tijekom ranih faza naseljavanja (Mackay, 1992; Matthaei i sur., 1996; Dole-Olivier i sur., 1997; Wantzen, 2006; Lancaster i Briers, 2008).

Makrozoobentos pritom pokazuje izražene sezonske promjene u brojnosti i raznolikosti, zbog ćega je pri njegovoj analizi nućžno uzeti u obzir vrijeme uzorkovanja (Kerovec, 1988). Mnoge svojte makrozoobentosa (npr. Simuliidae, Oligochaeta) također pokazuju pravilne dnevno-noćne migracije, pri ćemu su aktivniji tijekom noći kada se hrane kako bi izbjegli vizualne grabežljivce aktivne danju, dok se tijekom dana povlaće u zaklon podloge ili drugih

mikrostaništa (Guareschi i sur., 2016; Bućan i Miliša, 2023). Stoga doba dana može imati važnu ulogu u interpretaciji ranog naseljavanja, osobito u istraživanjima kratkoročnih promjena u brojnosti i sastavu zajednice.

U povremenim tekućicama ponovno plavljenje predstavlja prijelaznu fazu u kojoj je struktura zajednice primarno određena vremenom proteklom od plavljenja, a manje prostornom raspodjelom unutar vodotoka (Bogan i Boersma, 2012; Pařil i sur., 2019b). Rane faze nakon ponovnog plavljenja najčešće su obilježene dominacijom oportunističkih i pokretljivih svojti, poput Chironomidae, Ephemeroptera i Oligochaeta, dok kasnije faze naseljavanja odražavaju postupno filtriranje i stabilizaciju zajednice (Pařil i sur., 2019b; Doretto i sur., 2020). Razumijevanje procesa naseljavanja ključno je za predviđanje dinamike oporavka zajednica nakon plavljenja, posebno u uvjetima sve izraženije hidrološke nestabilnosti (Fournier i sur., 2023).

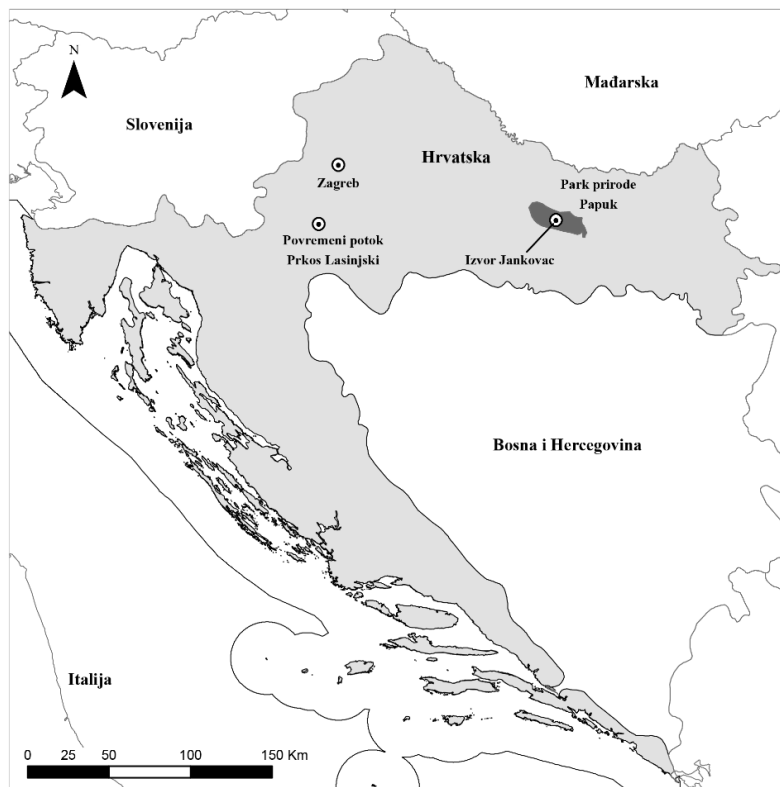
Naseljavanje u stalnim i povremenim tekućicama razlikuje se u dinamici i ekološkim značajkama sustava. Proces naseljavanja u povremenom potoku složeniji je, jer vrste koje ga nastanjuju moraju razviti posebne prilagodbe kako bi preživjele razdoblje presušivanja. Stalni izvori predstavljaju relativno stabilne ekosustave s manjim kolebanjima fizikalno-kemijskih čimbenika pa zajednica nakon kratkotrajnog poremećaja može brzo ponovno naseliti dostupnu podlogu. Suprotno tome, u povremenom potoku riječ je o dugotrajnijem poremećaju, nakon kojeg proces naseljavanja započinje gotovo od početne sukcesijske faze. Upravo zato ovi sustavi su pogodni za proučavanje sukcesijskih promjena nakon poremećaja. U tom kontekstu beta-raznolikost i njezine komponente, zamjena svojti (eng. *turnover*) i ugniježđenost (eng. *nestedness*), omogućuju preciznije razumijevanje mehanizama promjena u sastavu zajednica tijekom procesa naseljavanja (Crabot i sur., 2020; Doretto i sur., 2021a; Perkin i sur., 2021; Mathers i sur., 2022b). Iako su kratkoročna dinamika naseljavanja nakon poremećaja u stabilnim izvorišnim sustavima i povremenim vodotocima već istraživane (npr. Zbinden i sur., 2008; Bućan i Miliša, 2023), još uvijek nedostaju detaljne analize utjecaja fizikalno-kemijskih čimbenika na ove procese, osobito u povremenim potocima s dominantno glinenom podlogom. Dosadašnja istraživanja uglavnom su provedena u drugačijim hidrogeomorfološkim sustavima, poput alpskih vodotoka, što dodatno naglašava potrebu za istraživanjima u kontinentalnim glineno-dominiranim povremenim sustavima.

### 2.3.3. Umjetne i prirodne podloge u istraživanjima procesa naseljavanja

Umjetne podloge su alati za istraživanje dinamike naseljavanja koji oponaša željene značajke prirodnog vodenog staništa u koje su postavljene (Rosenbergh i Resh, 1982). Njihova primjena započela je već početkom 20. stoljeća, kada su Shelford i Eddy (1929) te Moon (1935) među prvima koristili umjetne podloge za praćenje kretanja makrozoobentosa. Danas se sve češće primjenjuju, pogotovo u istraživanjima migracijskih procesa i procesa naseljavanja, budući da je prepoznato kako klasične metode uzorkovanja (npr. mrežama), često ne omogućuju dobivanje potpunog i reprezentativnog uzorka makrozoobentosa, osobito u kontekstu istraživanja kratkoročne dinamike naseljavanja (Rosenbergh i Resh, 1982). Korištenje prirodnog sedimenta može dovesti do uzurpacije staništa, potaknuti *drift* organizama te rezultirati nepotpunim ili pristranim rezultatima, što je važno izbjeći u istraživanjima usmjerenim na rane faze naseljavanja (Rosenbergh i Resh, 1982). Smještajem većeg broja umjetnih podloga u sličnim mikrostaništima smanjuje se subjektivnost pri odabiru lokacija za uzorkovanje, a istodobno se pojednostavljuje postupak obrade uzoraka (Fenoglio i sur., 2002; Braccia i sur., 2014). Umjetne podloge najčešće su male, lagane i imaju poznatu površinu, što omogućuje standardizaciju i usporedivost rezultata. Njihova učinkovitost uvelike ovisi o tome koliko dobro svojom strukturom i bojom oponašaju prirodne podloge, poput vodene vegetacije koja vodenim organizmima služi kao mjesto hranjenja, razvoja ili zaklona (Kerovec, 1988). Takav pristup je prikladan u sustavima u kojima dominira određeni tip mikrostaništa. Iako se umjetne podloge već dugo koriste u istraživanjima migracijskih procesa i dinamike naseljavanja makrozoobentosa (Rosenbergh i Resh, 1982; Fenoglio i sur., 2002; Braccia i sur., 2014; Wulf i Pearson, 2017), još uvijek nedostaju detaljniji podaci o njihovoj primjenjivosti i reprezentativnosti pogotovo u staništima gdje dominira jedan tip podloge.

### 3. MATERIJALI I METODE

Terenski dio istraživanja je proveden u dva segmenta, prvi je pratio dinamiku naseljavanja makrozoobentosa na umjetne podloge u stalnom krškom izvorišnom području u stabilnim uvjetima, dok je drugi dio pratio naseljavanje makrozoobentosa na prirodnu podlogu, u povremenom vodotoku koji presušuje te je djelomično izložen antropogenim pritiscima. Oba istraživana vodena sustava nalaze se u Panonskoj biogeografskoj regiji: krški izvor stalnog potoka Jankovac u Parku prirode Papuk i povremeni potok u selu Prkos Lasinjski (Slika 1).



Slika 1. Zemljopisni položaj istraživanih područja: stalno izvorišno područje potoka Jankovac (Park prirode Papuk) i povremeni potok u selu Prkos Lasinjski.

#### 3.1. Izvor potoka Jankovac

Izvor potoka Jankovac nalazi se u kontinentalnom dijelu Hrvatske na gorju Papuk, u Parku prirode Papuk (45°31'06" N, 17°41'09" E), oko 500 m JI od planinarskog doma Jankovac, na nadmorskoj visini od 520 m. Izvor Jankovac je najznačajniji izvor po količini vode sjevernog dijela Papuka s kapacitetom 12–49 L s<sup>-1</sup>, a nalazi se polušpilji dugoj nekoliko metara, gdje voda izbija na površinu (Javna ustanova Park prirode Papuk, 2023). Potok Jankovac prelijeva se

preko sedrene barijere i slapom utječe u potok Kovačicu. Potok Kovačica pritoka je rijeke Drave, a sustav pripada crnomorskom slivu (Hrvatske vode, 2022).

Park prirode Papuk nalazi se u kontinentalnom dijelu Središnje i Istočne Hrvatske i obuhvaća najveći dio gore Papuk i dio Krndije te se prostire u smjeru sjeverozapad–jugoistok na površini od 343 km<sup>2</sup>. Parkom prirode proglašen je 1999. godine zbog biološke, geološke i kulturne raznolikosti na relativno malom prostoru (Javna ustanova Park prirode Papuk, 2023). Područje Parka prirode Papuk odlikuje se iznimnom geološkom raznolikošću, jer su na relativno malom prostoru prisutne magmatske, metamorfne i sedimentne stijene različite geološke starosti, od paleozoika do kenozoika. Posebnu hidrogeološku važnost imaju karbonatne naslage mezozojske starosti koje čine dobro propustan krški vodonosnik, što uvjetuje pojavu snažnih izvora, uključujući izvor Jankovac. Zbog litološke raznolikosti i prisutnosti krških obilježja, Papuk predstavlja jedinstveno krško područje u kontinentalnom dijelu Hrvatske, s brojnim površinskim i podzemnim krškim oblicima te izrazito osjetljivim hidrološkim sustavima (Javna ustanova Park prirode Papuk, 2023).

Prema Köppenovoj klasifikaciji, izvorišno područje potoka Jankovac ima umjereno toplu i vlažnu klimu s toplim ljetima (Cfb) (Šegota i Filipčić, 2003). Srednja godišnja temperatura zraka iznosi 7,0–8,0 °C, a godišnja količina oborina 800–900 mm (Zaninović i sur., 2008).

### 3.1.1. Istraživana postaja izvorišno područje potoka Jankovac

Uzorkovanje makrozoobentosa provedeno je na izvorišnom području u duljini od približno 60 m, s prosječnom širinom od oko 3 m i nagibom od 3,8° (Slika 2). Istraživano područje predstavlja gotovo netaknuti reokreni izvor (Glazier, 2009; Batzer i Boix, 2016) okružen obalnom vegetacijom koju pretežito čini bjelogorična šuma bukve (*Fagus sylvatica* L.) i graba (*Carpinus betulus* L.). Dno vodotoka prekriveno je oblucima, šljunkom, sedrenim naslagama te gustim mahovinskim obraštajima. Mahovine, uglavnom iz rodova *Cratoneuron* i *Eurhynchium*, čine dominantno biološko mikrostanište u izvorišnom području (Špoljar i sur., 2012). Područje istraživanja razlikovao se u zasjenjenosti te je podijeljeno na: (i) uzvodni, zasjenjeni dio (manje od 30 % vidljivog neba), duljine oko 30 m i (ii) nizvodni, osvjetljeni dio (više od 80 % vidljivog neba), također duljine oko 30 m (Slika 2).



a)

b)

Slika 2. Osvijetljeni (a) i zasjenjeni (b) dio stalnog izvorišnog područja potoka Jankovac, 04.06.2018.

### 3.1.2. Postupak uzorkovanja

Terensko istraživanje provedeno je tijekom šest uzastopnih dana u lipnju 2018. godine, s ukupno jedanaest uzorkovanja. U korito potoka postavljeno je ukupno 88 umjetnih plastičnih podloga koje su strukturom oponašale mahovinu (Slika 3). Dimenzije pojedine podloge iznosile su  $12 \times 12$  cm, a prosječni ukupni volumen  $12 \text{ cm}^3 \pm 3 \%$ . Prije postavljanja u potok podloge su sedam dana držane u destiliranoj vodi te potom temeljito isprane. Sve podloge postavljene su istovremeno prvoga dana istraživanja (ujutro), na podjednakoj međusobnoj udaljenosti.

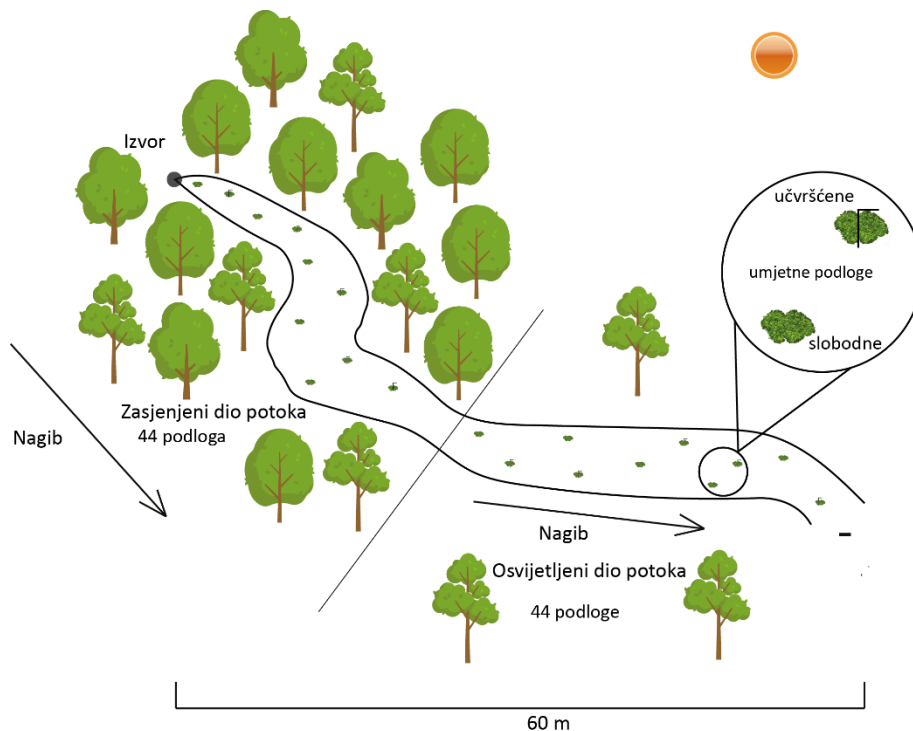


Slika 3. Umjetne podloge korištene u istraživanju u stalnom izvorišnom području potoka Jankovac.

Podloge su bile raspoređene s obzirom na:

- i) zasjenjenost staništa
- ii) stabilnost podloge

Ukupno 44 podloge postavljene su u zasjenjeni dio potoka, dok je jednak broj podloga postavljen u osvjetljeni dio potoka (Slika 4). Unutar svakog od ta dva područja, polovica podloga bila je učvršćena u stabilnom položaju pomoću nehrđajućih čeličnih kukica, dok je druga polovica ostala slobodno pokretna, opterećena malim kamenom mase približno 70 g, čime je omogućena pokretljivost podloga u koritu potoka (Slika 5).



Slika 4. Shematski prikaz područja i protokola istraživanja u stalnom izvorišnom području potoka Jankovac.

Umjetne podloge bile su plastične i kemijski inertne, čime je omogućeno praćenje reakcije zajednice na novu, prethodno nepoznatu tvar, koja se u slatkovodnim ekosustavima sve češće pojavljuje kao posljedica antropogenog djelovanja.



Slika 5. Kamen korišten za slobodne i čelična kukica korištena za učvršćene umjetne podloge u stalnom izvorišnom području potoka Jankovac.

Umjetne podloge prikupljane su svakih 12 sati, u 7 i u 19 sati, pri čemu su po dvije podloge (replikati) uzimane za svaku kombinaciju svojstava: zasjenjeno–učvršćeno, zasjenjeno–slobodno, osvjetljeno–učvršćeno, osvjetljeno–slobodno. Prikupljene podloge konzervirane su u 96 % etanolu te su po dolasku u laboratorij prekonzervirane. Jutarnji uzorci definirani su kao noćne migracije, dok su večernji uzorci korišteni za analizu dnevnih migracija makrozoobentosa.

Tijekom svakog uzorkovanja mjereni su standardni fizikalno-kemijski čimbenici vode, temperatura vode, koncentracija otopljenog kisika, zasićenost kisikom, pH vrijednost i električna provodljivost, primjenom elektroničkih sondi (WTW Oxi 95, WTW pH 330i i Hach sensION) na osvjetljenom i zasjenjenom dijelu potoka. Brzina strujanja vode mjerena je neposredno prije uzorkovanja ispred svake umjetne podloge pomoću uređaja P-670-M serije (Dostmann electronic), pri čemu su za daljnje analize korištene najveće izmjerene vrijednosti.

Nakon izolacije organizama iz uzoraka analizirana je i preostala organska i anorganska tvar akumulirana na podlogama tijekom vremena izloženosti u potoku. Time je omogućena analiza dinamike nakupljanja tvari i odnosa između količine organske/anorganske tvari te dinamike naseljavanja makrozoobentosa (Dangles i sur., 2001; Ann i sur., 2019).

### 3.2. Povremeni potok Prkos Lasinjski

Drugi dio istraživanja proveden je u malom povremenom potoku u selu Prkos Lasinjski, oko 20 km istočno od Karlovca, u blizini rijeke Kupe. Potok se nalazi u kontinentalnom dijelu Hrvatske (45°30'53" N, 15°48'02" E) (Slika 1), i pritoka je rijeke Kupe, koja pripada

crnomorskom slivu (Hrvatske vode, 2022). Istraživani potok nalazi se na nadmorskoj visini od 110 m, u podnožju dvaju brežuljaka, prosječne širine približno 1–2 m i ukupnom duljinom od oko 2 km. Gusta vegetacija čini potok teško pristupačnim duž gotovo cijelog njegova toka tako da je ukupna duljina procijenjena. Dominantna podloga dna potoka čini glina (argilal), neogensko-pleistocenske starosti (Hrvatski geološki institut, 2009; Velić i Vlahović, 2009). Potok teče u razdoblju od studenoga do lipnja, uz moguća odstupanja u nekoliko tjedana, budući da razina vode izravno ovisi o količini oborina.

Okolnu vegetaciju čine mješovite hrastovo-grabove šume i čiste grabove šume prema NKS (nacionalnoj klasifikaciji staništa) (MINGOR, 2021). Obični grab (*Carpinus betulus* L.) rasprostranjen je na cijelom istraživanom području, dok nizvodne lokalitete dodatno obilježava prisutnost sive vrbe (*Salix cinerea* L.) i crne johe (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.). Uzvodni prirodni dio potoka (N) dodatno je obrastao hrastom lužnjakom (*Quercus robur* L.) i cerom (*Quercus cerris* L.). Od grmlja prevladavaju obična lijeska (*Corylus avellana* L.), svib (*Cornus sanguinea* L.), glogovi (*Crataegus* sp.) te vrste roda *Prunus* (Topić i sur., 2006).

Klima je umjereno topla i vlažna s toplim ljetima prema Köppenovoj klasifikaciji (Cfb) (Šegota i Filipčić, 2003), sa srednjom godišnjom temperaturom zraka 10–11 °C te godišnjom količinom oborina 900–1100 mm (Zaninović i sur., 2008).

### 3.2.1. Istraživane postaje potoka Prkos Lasinjski

Uzorkovanje je provedeno na 10 lokacija, a istraživani dio potoka podijeljen je na tri dijela prema morfološkim razlikama korita i prisutnosti antropogenih utjecaja (Slika 6). Antropogeni utjecaji uključivali su prisutnost stoke, ispuštanje otpadnih voda te fizičku izmjenu korita (kanaliziranje).

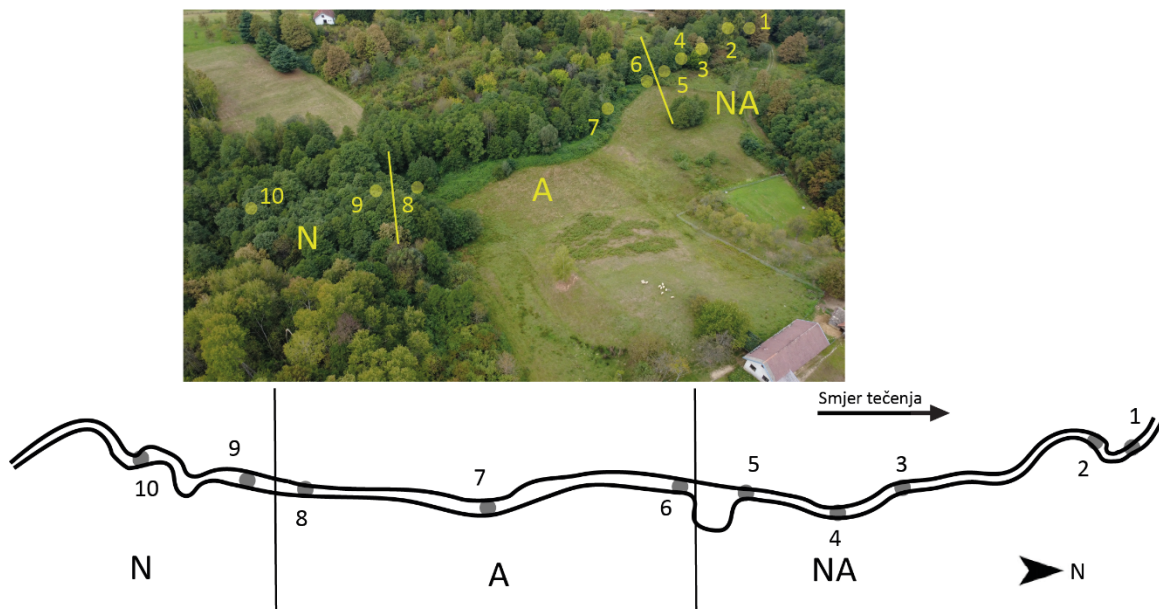
Prema navedenome definirana su tri dijela potoka:

- a) nizvodni dio potoka s kombiniranim prirodnim i antropogenim utjecajem (NA) – dio bez uočljivih izravnih antropogenih utjecaja, ali koji se zbog svog položaja i hidrološke povezanosti ne može smatrati istim kao uzvodni prirodni dio potoka (lokacije 1–5) (Slika 7–9);
- b) uzvodni prirodni dio potoka (N) – dio bez vidljivih antropogenih utjecaja (lokacije 9–10) (Slika 12–13);

- c) srednji dio s antropogenim utjecajem (A) – dio u kojem su prisutni stoka, ispuštanje otpadnih voda i kanaliziranje korita (lokacije 6–8) (Slika 10–12).

Dijelovi potoka A i NA su također razdvojeni malim umjetno formiranim jezerom ( $4 \times 4$  m), u kojem je voda prisutna tijekom cijele godine (Slika 10).

Lokacije uzorkovanja odabrane su tako da obuhvate prijelaze između različitih mikrostaništa duž vodotoka, pri čemu je svaki lokalitet bio odabran na mjestu izraženih promjena u morfologiji korita, tipu podloge ili stupnju zasjenjenosti. Na taj je način osigurano obuhvaćanje svih prisutnih mikrostaništa na pojedinom lokalitetu.



Slika 6. Fotografija i shematski prikaz lokacija i tri dijela potoka u istraživanom povremenom potoku: uzvodni prirodni (N), srednji antropogeni (A) i nizvodni kombinirani (NA) dio potoka. Lokacije (1–10) su označene žutim (na fotografiji), odnosno sivim točkama (na shematskom prikazu).

U skladu s AQEM protokolom (Hering i sur., 2004) prepoznato je sedam tipova mikrostaništa: lital (kamenje i šljunak; veličina zrna  $> 2$  cm), akal (sitni šljunak; veličina zrna  $0,2-2$  cm), psamal (pijesak; veličina zrna  $0,063-2$  mm), argilal (mulj i glina; veličina zrna  $< 0,063$  mm), fital (alge, mahovine i makrofiti), ksilal (korijenje drveća) te POM (čestice ustinjene organske tvari).



a) 17.02.2018.



b) 25.11.2018.

Slika 7. Lokacije uzorkovanja 1 (a) i 2 (b) u nizvodnom kombiniranom dijelu (NA) povremenog potoka. Žuta strelica pokazuje mjesto uzorkovanja na lokaciji 1, dok crvena pokazuje mjesto uzorkovanja na lokaciji 2.



a) 17.02.2018.



b) 17.02.2018.

Slika 8. Lokacije uzorkovanja 3 (a) i 4 (b) u nizvodnom kombiniranom dijelu (NA) povremenog potoka.



a) 17.02.2018.



b) 25.11.2018.

Slika 9. Lokacija uzorkovanja 5 (a,b) u nizvodnom kombiniranom dijelu (NA) potoka te stalno jezero koje dijeli srednji antropogeni (A) dio od nizvodnog kombiniranog (NA) dijela povremenog potoka. Žuta strelica prikazuje mjesto uzorkovanja.



a) 17.02.2018.



b) 25.11.2018.

Slika 10. Lokacija uzorkovanja 6 (a,b) u srednjem antropogenom dijelu (A) povremenog potoka te stalno jezero koje dijeli srednji antropogeni (A) dio od nizvodnog kombiniranog (NA) dijela povremenog potoka. Žuta strelica prikazuje mjesto uzorkovanja.



a) 17.02.2018.



b) 25.11.2018.

Slika 11. Lokacija uzorkovanja 7 (a, b) u srednjem antropogenom dijelu (A) povremenog potoka.



a) 17.02.2018.



b) 25.11.2018.

Slika 12. Lokacije uzorkovanja 8 (a, b) u srednjem antropogenom dijelu (A) i 9 (a, b) u uzvodnom prirodnom dijelu (N) povremenog potoka. Žuta strelica pokazuje mjesto uzorkovanja na lokaciji 8, dok crvena pokazuje mjesto uzorkovanja na lokaciji 9.



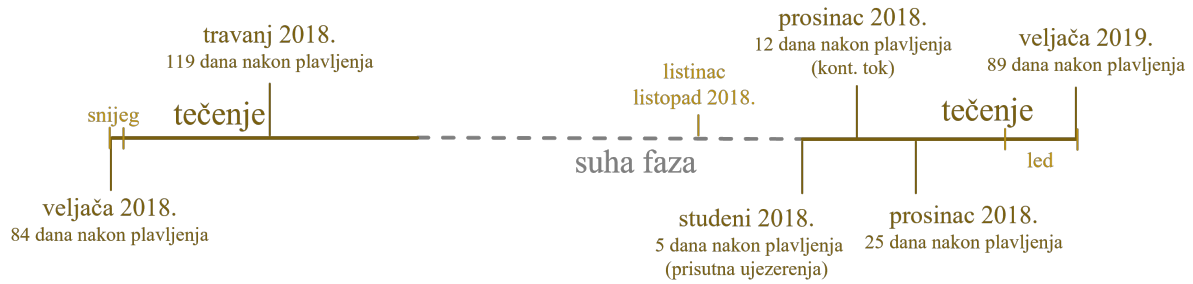
a) 17.02.2018.

b) 25.11.2018.

Slika 13. Lokacije uzorkovanja 8 (a, b) u srednjem antropogenom dijelu (A) i 9 (a, b) u uzvodnom prirodnom dijelu (N) povremenog potoka. Žuta strelica pokazuje mjesto uzorkovanja na lokaciji 8, dok crvena pokazuje mjesto uzorkovanja na lokaciji 9.

### 3.2.2. Postupak uzorkovanja

Makrozoobentos je prikupljan u razdoblju od veljače 2018. do veljače 2019. godine korištenjem ručne bentos mreže ( $20 \times 20$  cm; veličina okašaca  $500 \mu\text{m}$ ), pri čemu je na svakom lokalitetu prikupljen uzorak s površine  $20 \times 20$  cm, uz uzimanje replikata. Uzorkovanje je započelo krajem veljače 2018. godine, kada su se stekli povoljni hidrološki uvjeti – topljenje snijega i leda te stalan tok vode 84 dana od plavljenja. Drugo uzorkovanje provedeno je 35 dana kasnije, u travnju 2018. godine, kada je potok tekao ukupno 119 dana. Treće uzorkovanje bilo je planirano u istom vremenskom razmaku, no potok je presušio. Potok je ponovno počeo teći krajem studenoga 2018. godine, nakon čega su provedena sljedeća uzorkovanja: u studenome (5 dana nakon ponovnog plavljenja), u prosincu (12 i 25 dana nakon ponovnog plavljenja) te zadnje u veljači 2019. godine. Tada je ukupno prošlo 89 dana nakon ponovnog plavljenja, što približno odgovara početnom broju dana nakon plavljenja na samom početku istraživanja. U siječnju 2019. godine potok je bio djelomično zaleđen, zbog čega uzorkovanje nije bilo moguće (Slika 14).



Slika 14. Vremenska linija hidroloških faza i uzorkovanja prikazanih kao broj dana nakon plavljenja (DAR) u istraživanom povremenom potoku.

Ovakav raspored uzorkovanja omogućio je praćenje sezonalnosti zajednice makrozoobentosa i promjene okolišnih čimbenika, ali i bilježenje rane dinamike naseljavanja zajednice neposredno nakon plavljenja. Također valja napomenuti kako je u veljači 2018. godine uz potok bio prisutan snježni pokrivač debljine 5–7 cm koji se talio. U studenome 2018. godine, pet dana nakon ponovnog plavljenja, korito je bilo ispunjeno vodom uz vlažan listinac i obalnu vegetaciju koja se razvila tijekom suhog razdoblja, dok kontinuirani tok još nije bio uspostavljen. Međutim, već sedam dana kasnije, u prosincu, potok je kontinuirano tekao cijelom duljinom istraživanog područja (Slika 14). Nakon sakupljanja uzorci makrozoobentosa su konzervirani u 96 % etanolu te prekonzervirani po dolasku u laboratorij.

Tijekom svakog uzorkovanja na svakom lokalitetu mjereni su standardni fizikalno-kemijski čimbenici vode: temperatura vode, koncentracija otopljenog kisika, zasićenost kisikom, pH vrijednost, električna provodljivost, ukupne otopljene tvari (TDS) i salinitet, primjenom elektroničkih sonda (WTW Oxi 95, WTW pH 330i i Hach sensION). Brzina strujanja vode mjerena je neposredno prije uzorkovanja pomoću uređaja serije P-670-M (Dostmann electronic), pri čemu su za daljnje analize korištene najveće izmjerene vrijednosti. Koncentracije nitrata i ortofosfata određene su spektrofotometrijskom metodom (HACH DR/2000) iz uzoraka vode prikupljenih na svakom lokalitetu prije uzorkovanja makrozoobentosa. Dodatno, na svakom lokalitetu vizualno je procijenjena pokrovnost krošnje, pri čemu su lokaliteti svrstani u dvije kategorije: zasjenjeni ( $\geq 80$  % zaklonjenog neba) i osvjetljeni ( $\geq 40$  % vidljivog neba) (Tablica 3).

Kako bi se procijenio utjecaj alohtone organske tvari na procese naseljavanja, tijekom suhe faze u listopadu, prije ponovnog plavljenja, prikupljeni su uzorci listinca iz korita potoka na svakom uzorkovnom lokalitetu, u triplikatima ( $15 \times 15$  cm po uzorku) (Slika 14).

### 3.3. Laboratorijska obrada i determinacija

Uzorci makrozoobentosa određeni su do najniže moguće taksonomske razine koristeći relevantnu literaturu za pojedine skupine organizama: Ephemeroptera (Bauernfeind i Humpesch, 2001), Plecoptera (Zwick, 2004), Trichoptera (Waringer i Graf, 2011), Coleoptera (Olmi, 1976; Nilsson, 1996; Jäch i Brojer, 2006), Chironomidae (Cranston, 1982; Schmid, 1993; Vallenduuk i Moller Pillot, 2007; Andersen i sur., 2013; Cuppen i Tempelman, 2018), Heteroptera (Soós i sur., 2009), Diptera (Knoz, 1965; Rivosecchi, 1984; Nilsson, 1997; Disney, 1999; Rozkošný i Kniepert, 2000; Jedlička i sur., 2004; Sundermann i sur., 2007; Day i sur., 2010; Mauch, 2017; Oosterbroek, 2019), Amphipoda (Eggers i Martens, 2001), Gastropoda (Glöer, 2002) te Turbellaria (Knezović i sur., 2015). Kada god je to bilo moguće, ličinački stadiji određivani su do razine vrste.

Odraslim jedinkama Coleoptera i Heteroptera su u svrhu determinacije do razine vrste izdvojeni spolni organi pomoću stereolupe (Kern OZL 463), a analizirani su pomoću mikroskopa (Carl Zeiss). Nakon identifikacije jedinke su entomološkim ljevilom i mekanim kistom lijepljene na kartončice (svaka jedinka na zaseban kartončić), uz pripadajući spolni organ u donji desni kut kartončića (mužjak) odnosno u sredinu (ženka) (Slika 15). Zajedno sa neophodnim pripadajućim podacima (ime vrste, lokacija i datum sakupljanja, legator) tako preparirani kukci su pohranjeni u zbirke Hrvatskog prirodoslovnog muzeja. Ostali predstavnici makrozoobentosa pohranjeni su u 80 % etanolu u odgovarajućim bočicama u muzejskoj čuvaonici i pripremljeni za daljnju stručnu obradu.



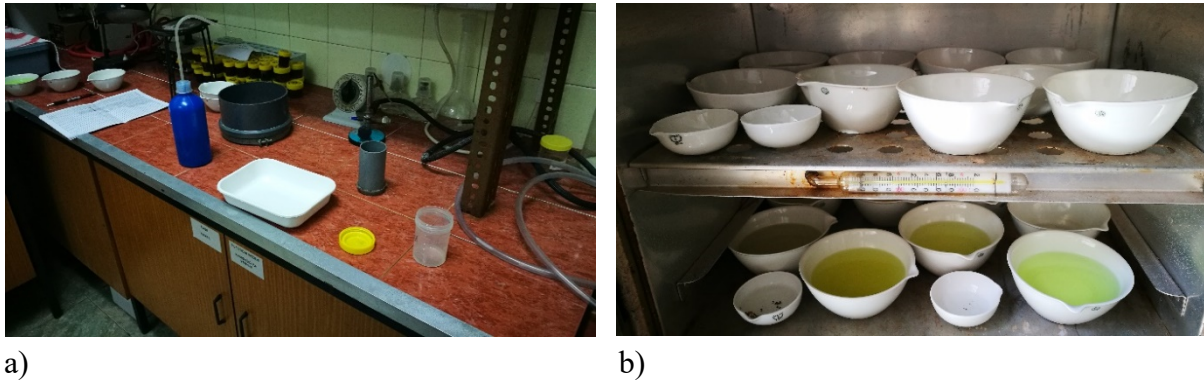
Slika 15. Determinacija i prepariranje prikupljenih jedinki makrozoobentosa u muzejskoj čuvaonici.

Važno je naglasiti da zbog taksonomske i sistematske kompleksnosti makrozoobentosa provedene determinacije pojedinih skupina su revidirane od strane renomiranih taksonomskih stručnjaka: M. Vilenica (Ephemeroptera i Plecoptera), M. Šumanović (Trichoptera), V. Dorić (Diptera), Coleoptera (V. Mičetić Stanković), V. Ergović (Gastropoda).

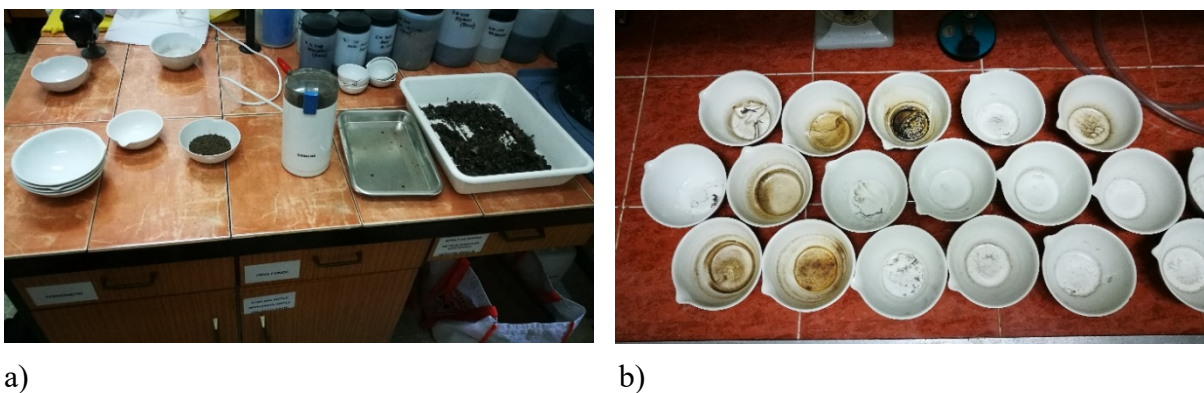
### 3.4. Analiza organske i anorganske tvari

Prikupljeni uzorci organske i anorganske tvari prosijani su u frakcije ovisno o veličini čestica. Preostala organska i anorganska tvar akumulirana na umjetnim podlogama u stalnom izvoru razdvojena je u dvije veličinske frakcije pomoću sita različitih veličina pora: krupnu frakciju ( $> 1$  mm; CPOM i CPIM), finu frakciju ( $< 1$  mm; FPOM i FPIM) (Naiman i Sedell, 1979) (Slika 16). Prikupljeni listinac tijekom suhe faze u povremenom potoku je usitnjena i nije dijeljen po veličinskim frakcijama.

Nakon razdvajanja, pojedine veličinske frakcije sušene su na  $104$  °C, vagane, potom žarene četiri sata na  $400$  °C te ponovno vagane. Razlika u masi korištena je za izračun mase suhe organske tvari (AFDW), dok je masa pepela nakon žarenja predstavljala količinu anorganske tvari (PIM) (Ann i sur., 2019) (Slika 17).



Slika 16. Podjela u veličinske frakcije (a) i sušenje (b) organske tvari akumulirane na umjetnim podlogama u stalnom izvorišnom području potoka Jankovac.



Slika 17. Usitnjavanje listinca prije sušenja prikupljenog tijekom suhe faze u povremenom potoku (a) i zdjelice nakon žarenja s preostalom anorganskom tvari iz povremenog potoka (b).

### 3.5. Statistička obrada podataka

U svim analizama u kojima su uzorci prikupljeni u ponavljanjima, za daljnju statističku obradu korištene su ukupne srednje vrijednosti brojnosti makrozoobentosa.

Prije provedbe statističkih analiza, podaci su testirani na normalnost distribucije primjenom D'Agostinijevog K-kvadrat testa normalnosti raspodjele i Kolmogorov–Smirnov testa normalnosti podataka. Biološki podaci (brojnosti i indeksi raznolikosti) log-transformirani su, dok su fizikalno-kemijski podaci normalizirani kako bi se smanjio utjecaj različitih mjernih jedinica i osigurala usporedivost varijabli u analizama.

### 3.5.1. Statistička obrada podataka u stalnom krškom izvoru

Razlike u fizikalno-kemijskim čimbenicima vode između osvijetljenih i zasjenjenih dijelova potoka analizirane su primjenom t-testa za nezavisne uzorke.

Odnosi između fizikalno-kemijskih čimbenika vode i okolišnih čimbenika (zasjenjenost, stabilnost podloge, doba dana i vrijeme izloženosti umjetnih podloga) analizirani su pomoću Pearsonovog koeficijenta korelacije ( $r$ ).

Odnosi između srednje brojnosti zajednice makrozoobentosa i okolišnih čimbenika (fizikalno-kemijski čimbenici vode, zasjenjenost, stabilnost podloge, doba dana i vrijeme izloženosti umjetnih podloga) analizirani su Spearmanovim koeficijentom korelacije ( $\rho$ ) te su uključivali osam najzastupljenijih porodica (Gammaridae, Baetidae, Nemouridae, Elmidae, Glossosomatidae, Limnephilidae, Simuliidae i Chironomidae). Za svaki uzorak izračunat je Shannonov indeks raznolikosti ( $H'$ ), koji je uključen u analize korelacije s okolišnim čimbenicima. S obzirom na rezultat testa normalnosti, Spearmanov koeficijent korelacije korišten je i za procjenu odnosa akumulacije organske (CPOM, FPOM) i anorganske tvari (CPIM, FPIM) na umjetnim podlogama s okolišnim čimbenicima (zasjenjenost, stabilnost podloge i vrijeme izloženosti podloga).

Analiza beta raznolikosti napravljena je primjenom Bray–Curtisova indeksa sličnosti, koji je razdvojen na komponente zamjene svojti (eng. *turnover*; uravnotežene promjene u brojnosti, *BC\_bal*) i ugniježđenosti (eng. *nestedness*; gradijenti brojnosti, *BC\_gra*) prema Baselga (2010). Komponenta zamjene predstavlja zamjenu svojti između zajednica, dok komponenta ugniježđenosti objašnjava razlike u bogatstvu vrsta koje proizlaze iz dopune ili gubitka vrsta između zajednica (Doretto i sur., 2021b). Analize su primijenjene su na skali vremena izloženosti umjetnih podloga, odnosno uzorkovanjima, koristeći srednje vrijednost brojnosti svih svojti naseljenih na umjetne podloge.

Analiza sličnosti sastava zajednice makrozoobentosa između uzoraka provedena je primjenom klaster i ordinacijske metode nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja (NMDS) temeljenog na Bray–Curtisovom indeksu sličnosti (Zuur i sur., 2007). Analiza je provedena na najzastupljenijim svojtima (> 1,5 % ukupne brojnosti) te na skupinama Plecoptera i Coleoptera determiniranim do najniže moguće taksonomske razine. Budući da se pretpostavljalo postupno

povećanje intenziteta naseljavanja i stabilizacija tijekom vremena, u NMDS analizu uključeni su samo podaci od osmog uzorkovanja nadalje.

Kako bi se utvrdila sličnost u sastavu zajednice makrozoobentosa između: i) osvjetljenog i zasjenjenog dijela potoka, ii) učvršćenih i slobodnih podloga te iii) doba dana, primijenjena je multivarijantna neparametrijska analiza sličnosti (ANOSIM) s 10 000 permutacija, također na temelju Bray–Curtisovog indeksa sličnosti.

Odnos najzastupljenijih svojti makrozoobentosa i okolišnih čimbenika analiziran je pomoću kanoničke analize podudarnosti (eng. *Canonical correspondence analysis*, CCA). Prije glavne analize provedeno je predtestiranje varijabli radi identifikacije koje varijable značajno utječu na svojte makrozoobentosa, pri čemu su brzina strujanja i zasjenjenost izdvojene kao ključne varijable. U CCA analizu uključeno je osam najzastupljenijih porodica (Gammaridae, Baetidae, Nemouridae, Elmidae, Glossosomatidae, Limnephilidae, Simuliidae i Chironomidae) te jedanaest okolišnih varijabli (zasjenjenost, stabilnost podloge, vrijeme izloženosti umjetnih podloga, doba dana, temperatura vode, brzina strujanja, CPOM, FPOM, CPIM, FPIM i Shannonov indeks raznolikosti). Također, napravljena je zasebna CCA analiza makrozoobentosa u odnosu na značajne varijable. Varijable zasjenjenosti (0 – zasjenjeni dio potoka, 1 – osvjetljeni dio potoka) i stabilnost podloge (0 – učvršćena, 1 – slobodna) rangirane su radi interpretacije smjera vektora. Na temelju Draftsman's plot analize autokorelacije iz modela su isključene koncentracija otopljenog kisika, pH vrijednost i električna provodljivost vode. Statistička značajnost odnosa u korespondencijskim analizama testirana je Monte Carlo permutacijskim testom s 999 permutacija.

### 3.5.2. Statistička obrada podataka u povremenom vodotoku

Razlike u okolišnim čimbenicima i količini alohtone organske i anorganske tvari u potoku tijekom suhe faze (prije ponovnog plavljenja) između tri dijela potoka (N, A i NA) analizirane su primjenom Kruskal–Wallisove analize varijance uz neparametrijske višestruke usporedbe rangova srednjih vrijednosti kao *post hoc* postupak (Siegel i Castellan, 1988).

Kako bi se analizirao utjecaj vremena nakon ponovnog plavljenja (šest uzorkovanja koja predstavljaju dane nakon ponovnog plavljenja; DAR) i tri dijela potoka (N, A i NA) na Shannonov indeks raznolikosti ( $H'$ ) primijenjena je analiza varijance (ANOVA), uz Tukey HSD

*post hoc* test. Prije provođenja analize, provjerena je normalnost distribucije podataka Shapiro–Wilkovim testom.

Analiza sličnosti sastava zajednice makrozoobentosa između tri dijela potoka (N, A i NA) s obzirom na vrijeme (DAR) provedena je primjenom klaster i ordinacijske metode nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja (NMDS) temeljene na Bray–Curtisovom indeksu sličnosti (Zuur i sur., 2007). U ovoj analizi zajednica je izražena srednjim vrijednostima brojnosti, izračunatima za svaki dio potoka i svako uzorkovanje, čime su obuhvaćeni i vremenski i prostorni obrasci promjena zajednice.

Analiza beta raznolikosti napravljena je primjenom Bray–Curtisova indeksa sličnosti, koji je razdvojen na komponente zamjene svojti (eng. *turnover*; uravnotežene promjene u brojnosti, *BC\_bal*) i ugniježđenosti (eng. *nestedness*; gradijenti brojnosti, *BC\_gra*) prema Baselga (2010). Komponenta zamjene predstavlja zamjenu svojti između zajednica, dok komponenta ugniježđenosti objašnjava razlike u bogatstvu vrsta koje proizlaze iz dopune ili gubitka vrsta između zajednica (Doretto i sur., 2021b). Analize su provedene na vremenskoj skali (DAR) pri čemu su srednje brojnosti objedinjene po lokalitetima kako bi se dobila jedna matrica zajednice po uzorkovanju. U analizu su uključene svojte makrozoobentosa prisutne u više od 40 % uzoraka, budući da rijetke svojte mogu nerazmjerno utjecati na rezultate ordinacije, čime bi obrasci strukture zajednice mogli biti prikriveni. Budući da su na svakoj lokaciji prikupljena dva ponovljena uzorka, svojta je smatrana prisutnom na lokalitetu ako je zabilježena u barem jednom replikatu. Ukupno je analizirano 19 svojti, koje su se razlikovale u taksonomskim kategorijama s obzirom na stupanj determinacije: Oligochaeta, Gastropoda, Bivalvia, Hydrachnidia, Copepoda, Amphipoda, *Asellus aquaticus* (Isopoda), *Siphonurus aestivalis* (Ephemeroptera), *Nemoura* sp. (Plecoptera), Coleoptera, Trichoptera i Diptera: *Diplocladius cultriger*, *Hydrobaenus* sp., *Parametriocnemus stylatus*, *Mesocricotopus thienemanni*, *Micropsectra* sp. (Chironomidae), Palpomyiini (Ceratopogonidae), Cecidomyiidae i Limoniidae.

Za određivanje indikatorskih svojti za: i) pojedina uzorkovanja (DAR) te ii) pet klasa zajednica definiranih NMDS ordinacijom, provedena je metoda indikatorske vrijednosti (IndVal) (Dufrière i Legendre, 1997). Metoda IndVal kombinira podatke o relativnoj brojnosti i učestalosti pojavljivanja pojedine svojte unutar određene skupine, pri čemu indeks poprima vrijednosti od 0 (bez indikatorske vrijednosti) do 1 (najveća indikatorska vrijednost). Statistička

značajnost testirana je Monte Carlo permutacijskim testom s 999 permutacija. Kao i u prethodnoj analizi, uključene su samo svojte prisutne u više od 40 % uzoraka.

Odnos najzastupljenijih svojti makrozoobentosa i okolišnih čimbenika analiziran je primjenom redundantne analize (eng. *Redundancy analysis*, RDA). Prije odabira metode provedena je detrendentska analiza korespondencije (eng. *Detrended correspondence analysis*, DCA), koja je pokazala kratke duljine gradijenata, opravdavajući primjenu RDA. Na temelju Draftsman's plot analize autokorelacije iz modela su isključene koncentracija otopljenog kisika, električna provodljivost i salinitet. Napravljene su dvije zasebne RDA analize odnosa najzastupljenijih svojti prema: i) fizikalno-kemijskim čimbenicima vode (brzina strujanja, temperatura vode, pH vrijednost, zasićenost kisikom, ukupne otopljene tvari (TDS), koncentracija nitrata i koncentracija ortofosfata) i broj dana nakon plavljenja (DAR); te ii) broj dana nakon plavljenja (DAR) kao vremenska varijabla koja predstavlja sukcesijski stadij zajednice. Kao i u prijašnjim analizama, uključene su samo svojte prisutne u više od 40 % uzoraka.

### 3.5.3. Programi korišteni za obradu podataka

Za statističku obradu podataka korišteni su sljedeći računalni programi: Primer 6 (Clarke i Gorley, 2006), CANOCO 5.0 (ter Braak i Šmilauer, 2012), Statistica 12 (Dell Inc., 2015), SPSS 26.0 (IBM Statistics) (Pallant, 2020) te R 4.5.1 (The R Core Team, 2025). Grafički prikazi izrađeni su korištenjem programa Grapher 16.2 (Golden Software LLC, 2021), RAWGraphs (Mauri i sur., 2017), a prilagođeni i doradjeni pomoću Adobe Illustrator CS6 (Adobe illustrator, 2019).

## 4. REZULTATI

### 4.1. Stalno izvorišno područje potoka Jankovac

#### 4.1.1. Fizikalno-kemijski čimbenici vode

Statistički značajne razlike između osvjetljenog i zasjenjenog dijela potoka utvrđene su za temperaturu vode (t-test,  $F = 1,83$ ;  $p < 0,01$ ), koncentraciju otopljenog kisika ( $F = 2,03$ ;  $p < 0,01$ ) te ukupnu količinu krupne organske tvari (CPOM) ( $F = 17,14$ ;  $p < 0,05$ ), dok za ostale fizikalno-kemijske čimbenike nisu zabilježene značajne razlike ( $p > 0,05$ ). Temperatura vode bila je viša u osvjetljenom dijelu potoka (Pearsonov koeficijent korelacije,  $r = 0,55$ ;  $p < 0,01$ ), dok je koncentracija otopljenog kisika u istom dijelu bila niža ( $r = -0,30$ ;  $p < 0,01$ ) (Tablica 1). Električna provodljivost pokazivala je izražene oscilacije tijekom istraživanja, pri čemu je drugog dana istraživanja zabilježen nagli pad s 545 na 395  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (Prilog 1). Ukupna srednja količina CPOM-a bila je veća u osvjetljenom dijelu potoka (Spearmanov koeficijent korelacije,  $\rho = 0,28$ ;  $p < 0,01$ ), dok su se sitna organska (FPOM) i sitna anorganska tvar (FPIM) nakupljale podjednako na umjetnim podlogama te nisu pokazale značajnu povezanost sa zasjenjenošću (FPOM:  $\rho = 0,14$ ;  $p > 0,05$ ; FPIM:  $\rho = 0,08$ ;  $p > 0,05$ ) (Tablica 1). S obzirom na stabilnost podloga, ukupna srednja količina FPOM-a nije pokazala značajne razlike u nakupljanju između slobodnih i učvršćenih podloga ( $\rho = 0,07$ ;  $p > 0,05$ ). Međutim, ukupna srednja količina FPIM-a pokazala je pozitivnu korelaciju s slobodnim podlogama ( $\rho = 0,35$ ;  $p < 0,01$ ), dok je ukupna srednja količina krupne anorganske tvari (CPIM) pokazala značajnu razliku između učvršćenih (3,487 g) i slobodnih podloga (0,273 g), uz negativnu korelaciju sa slobodnim podlogama ( $\rho = -0,31$ ;  $p < 0,01$ ). Ovaj obrazac jasno ukazuje na diferencirano nakupljanje anorganske frakcije ovisno o stabilnosti podloge.

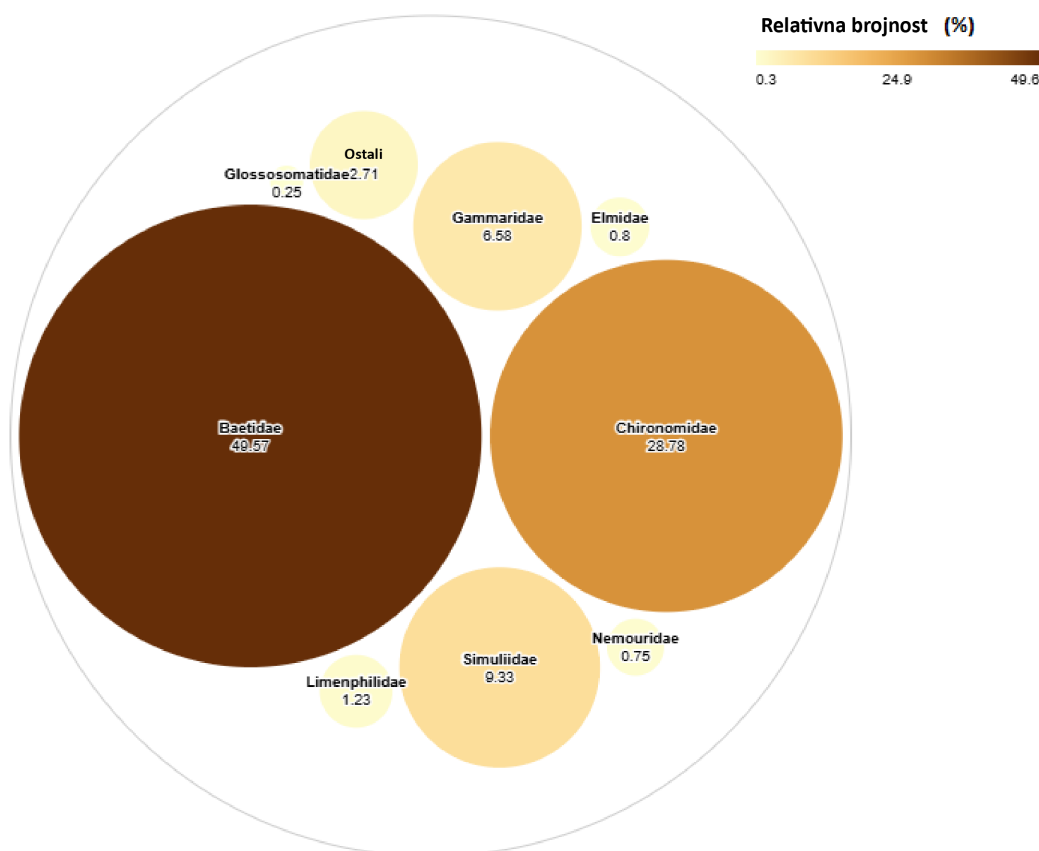
Također, organska tvar (CPOM:  $\rho = 0,24$ ;  $p < 0,05$ ; FPOM:  $\rho = 0,56$ ;  $p < 0,01$ ) te FPIM ( $\rho = 0,323$ ;  $p < 0,01$ ) pokazale su statistički značajnu pozitivnu korelaciju s vremenom izloženosti umjetnih podloga, potvrđujući progresivnu akumulaciju tvari tijekom trajanja istraživanja.

Tablica 1. Fizikalno-kemijski čimbenici vode u osvjetljenom i zasjenjenom dijelu potoka u stalnom izvorišnom području potoka Jankovac. Kratice: OS: osvjetljeno, ZS: zasjenjeno, SV: srednja vrijednost, SD: standardna devijacija, stabilnost podloga: S: slobodne, U: učvršćene.

Zasjenjenost		OS	ZS	
Temperatura vode (°C)	SV	10,48	10,25	
	SD	0,20	0,14	
Koncentracija otopljenog kisika (mg dm <sup>-3</sup> )	SV	10,55	10,65	
	SD	0,19	0,13	
Zasićenost vode kisikom (%)	SV	100,19	100,46	
	SD	1,36	1,06	
pH vrijednost	SV	7,71	7,74	
	SD	0,11	0,07	
Električna vodljivost vode (μS cm <sup>-1</sup> )	SV	407,73	408,27	
	SD	43,95	43,13	
Brzina strujanja vode <sub>max</sub> (cm s <sup>-1</sup> )	SV	14,91	15,02	
	SD	9,00	9,46	
<b>Stabilnost podloge</b>				
Ukupan CPOM (g)	S	U	S	U
	0,814	0,399	0,171	0,195
Ukupan FPOM (g)	S	U	S	U
	0,359	0,331	0,311	0,301
Ukupan CPIM (g)	S	U	S	U
	0,200	0,858	0,073	2,629
Ukupan FPIM (g)	S	U	S	U
	0,364	0,378	0,321	0,280

#### 4.1.2. Sastav i struktura zajednice makrozoobentosa

Ukupno je 3 891 jedinki makrozoobentosa naselilo umjetne podloge, koje su raspoređene unutar 10 svojti, 13 porodica, 12 rodova i osam vrsta (Tablica 2). Najzastupljenija skupina bile su ličinke reda Ephemeroptera, koje su činile 49,57 % ukupne srednje brojnosti (Slika 18). Unutar reda zabilježene su dvije porodice, Baetidae i Heptageniidae te dvije vrste *Baetis rhodani* i *Electrogena ujhelyii*. Slijedili su predstavnici reda Diptera, koji su činili 38,14 % ukupnog broja jedinki, pri čemu su porodice Chironomidae sudjelovali s 28,78 %, a Simuliidae s 9,33 %. Najmanju brojnost imao je razred Gastropoda (0,10 %). Red Amphipoda i razred Turbellaria bili su zastupljeni s po jednom vrstom, *Gammarus fossarum* i *Crenobia alpina*. Red Plecoptera bio je zastupljen rodnom *Protonemura* iz porodice Nemouridae, dok je red Coleoptera obuhvatio tri roda i dvije vrste iz porodice Elmidae. Red Trichoptera je obuhvatio četiri porodice, a rod *Chaetopteryx* bio je najzastupljeniji unutar tog reda. Relativni udjeli dominantnih porodica jasno pokazuju da su redovi Ephemeroptera i Diptera činili temeljnu strukturu zajednice, dok su ostale skupine bile prisutne u znatno manjoj brojnosti (Slika 18).



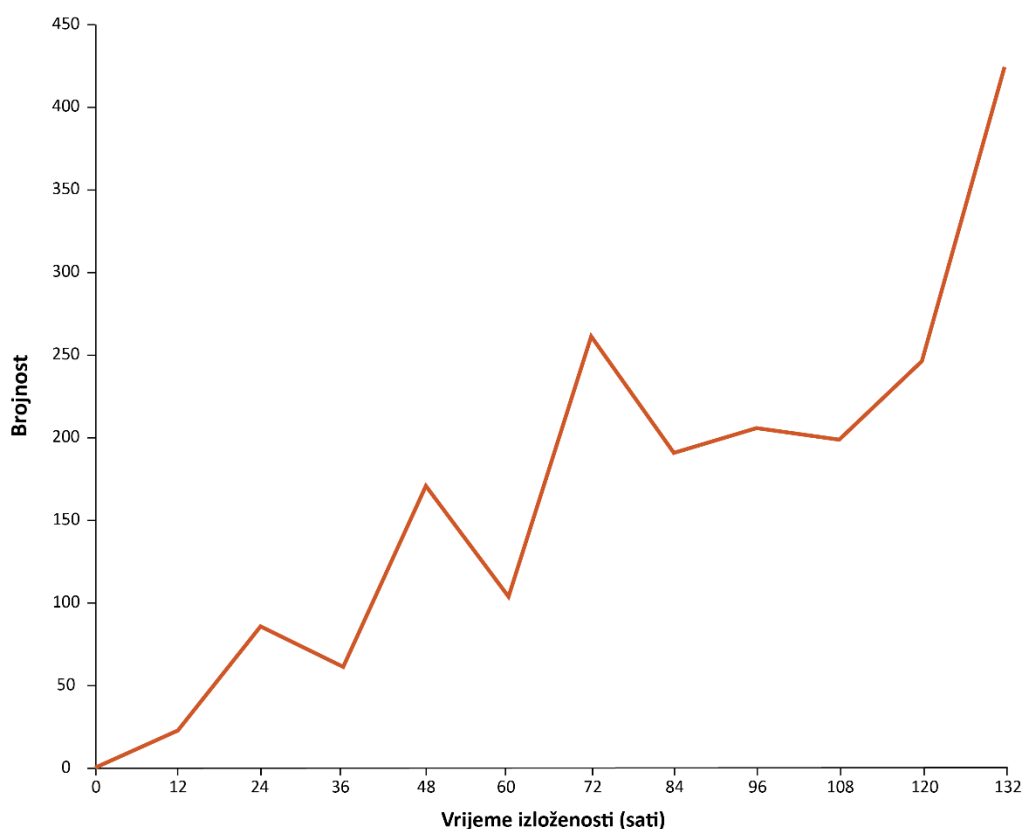
Slika 18. Relativna brojnost analiziranih porodica makrozoobentosa u odnosu na ostale svojte zabilježene na umjetnim podlogama u stalnom izvorišnom području potoka Jankovac.

Tablica 2. Sistematski popis, ukupna srednja brojnost i udio pojedine svojte u zabilježenoj fauni makrozoobentosa koje su naselile umjetne podloge u stalnom izvorišnom području potoka Jankovac. Kratice: ad.: imago, f: ženka, m: mužjak, lv: ličinka.

Svojta	Porodica	Vrsta	Broj jedinki	Udio (%)
<b>Turbellaria</b>	Planariidae	<i>Crenobia alpina</i> (Dana, 1766)	<b>20,5</b>	<b>1,05 %</b>
<b>Gastropoda</b>	Hydrobiidae	<i>Graziana papukensis</i> Radoman, 1975	1,5	0,07 %
		<i>Graziana papukensis</i> Radoman, 1975 / <i>G. slavonica</i> Radoman, 1975	0,5	0,03 %
<b>Gastropoda (ukupno)</b>			<b>2</b>	<b>0,10 %</b>
<b>Clitellata, Oligochaeta</b>		non det.	<b>12,5</b>	<b>0,64 %</b>
<b>Arachnida, Hydrachnidia</b>		non det.	<b>8,5</b>	<b>0,44 %</b>
<b>Crustacea, Amphipoda</b>	Gammaridae	<i>Gammarus fossarum</i> Koch, 1836	<b>128</b>	<b>6,58 %</b>
<b>Insecta, Ephemeroptera</b>	Baetidae	<i>Baetis rhodani</i> (Pictet, 1843)	6,5	0,33 %
		<i>Baetis</i> sp. non det.	958	49,24 %
	Heptageniidae	<i>Electrogena ujhelyii</i> (Sowa, 1981)	7,5	0,39 %
<b>Ephemeroptera (ukupno)</b>			<b>972</b>	<b>49,96 %</b>
<b>Insecta, Plecoptera</b>	Nemouridae	<i>Protonemura</i> sp.	14,5	0,75 %
<b>Insecta, Coleoptera</b>	Elmidae	<i>Elmis</i> sp. lv	12	0,61 %
		<i>Limnius</i> sp. lv	0,5	0,03 %
		<i>Riolus</i> sp. lv	1,5	0,07 %
		<i>Elmis</i> sp. ad. f	0,5	0,03 %
		<i>Elmis bosnica</i> Zaitzev, 1908 ad. m	0,5	0,03 %
		<i>Riolus subviolaceus</i> (Müller, 1817) ad. m	0,5	0,03 %
<b>Coleoptera (ukupno)</b>			<b>15,5</b>	<b>0,80 %</b>
<b>Insecta, Trichoptera</b>	Glossosomatidae	<i>Glossosoma</i> sp.	3	0,15 %
		Glossosomatidae non det.	2	0,10 %
	Beraeidae	Beraeidae non det.	0,5	0,03 %
	Goeraidae	<i>Goera pilosa</i> (Fabricius, 1775)	0,5	0,03 %
	Limnephilidae	<i>Chaetopteryx</i> sp.	23,5	1,20 %
Limnephilidae non det.		0,5	0,03 %	
<b>Trichoptera (ukupno)</b>			<b>30</b>	<b>1,54 %</b>
<b>Insecta, Diptera</b>	Simuliidae		181,5	9,33 %
	Chironomidae		560	2,78 %
	Chironomidae (pupae)		0,5	0,03 %
<b>Diptera (ukupno)</b>			<b>742</b>	<b>38,14 %</b>
<b>UKUPNO</b>			<b>1945,5</b>	<b>100,00 %</b>

### 4.1.3. Dinamika naseljavanja

Naseljavanje makrozoobentosa na umjetne podloge pokazalo je izraženu vremensku dinamiku. Ukupna srednja brojnost postupno se povećavala tijekom prvih 12 do 72 sata izloženosti podloga, uz uočljive dnevno-noćne oscilacije. Između 72 i 108 sati zabilježena je faza stabilizacije, tijekom koje je brojnost ostala relativno konstantna, dok je nakon 108 sati uslijedila nova faza intenzivnog porasta, s najvišom vrijednosti zabilježenom nakon 132 sata izloženosti (Slika 19).



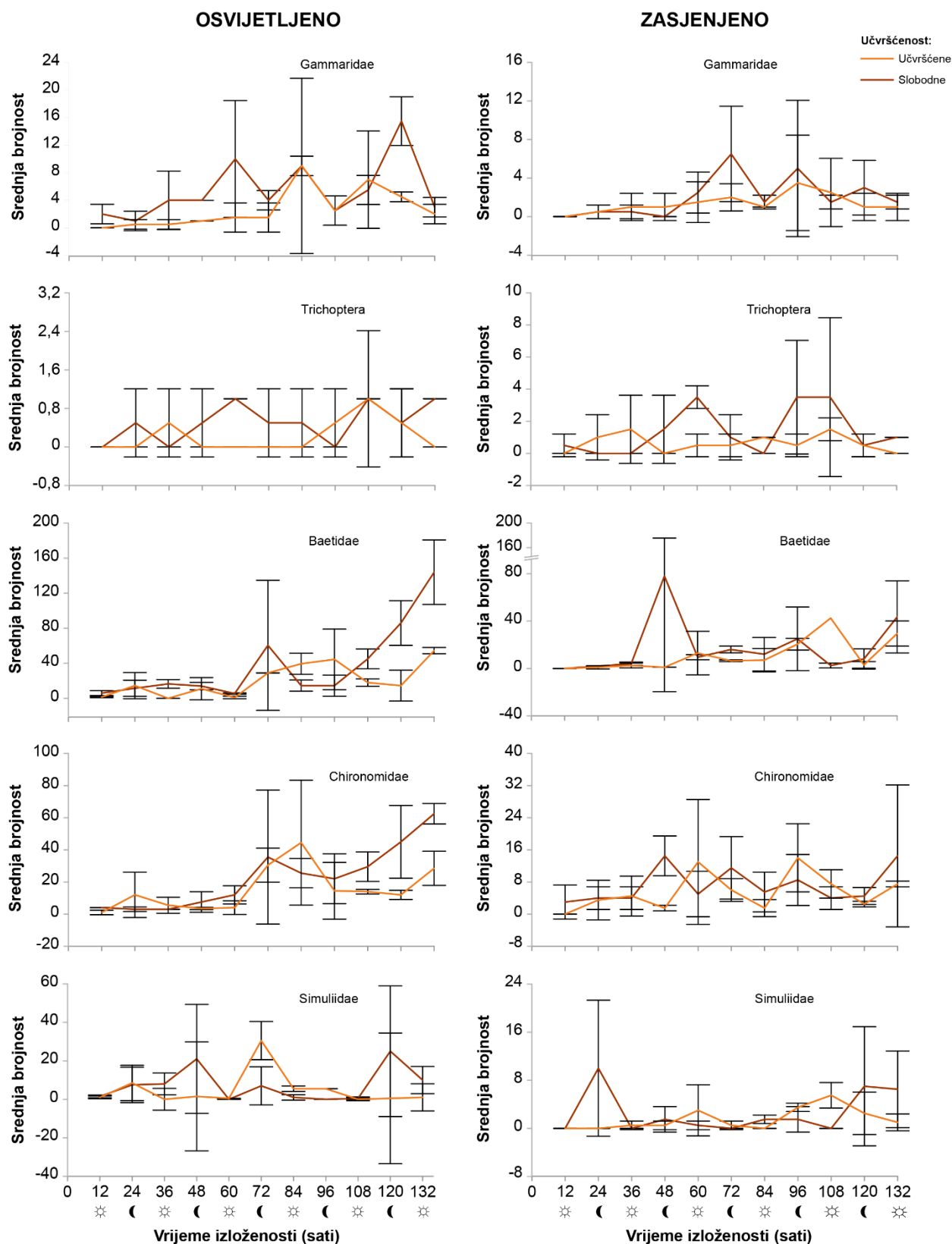
Slika 19. Ukupna srednja brojnost makrozoobentosa koji su tijekom istraživanog razdoblja naselili umjetne podloge u stalnom izvorišnom području potoka Jankovac.

Rezultati su također pokazali pozitivnu korelaciju Shannonovog indeksa raznolikosti s vremenom izloženosti podloga (Spearmanov koeficijent korelacije,  $\rho = 0,39$ ;  $p < 0,01$ ), što ukazuje na postupno povećanje raznolikosti tijekom trajanja eksperimenta.

Prosječna Bray–Curtisova različitost iznosila je 0,47, što ukazuje na umjerenu razinu promjene u sastavu zajednice na umjetnim podlogama kroz vrijeme. Analizom beta raznolikosti utvrđeno je da je doprinos ugniježđenosti (eng. *nestedness*;  $BC\_gra = 0,35$ ) bio veći od doprinosa zamjene

svojt (eng. *turnover*; BC\_bal = 0,12), što upućuje na to da su promjene u sastavu zajednice primarno bile posljedica dopune ili gubitka, a ne zamjene svojt.

Sve analizirane porodice započele su naseljavanje unutar prvih 24 sata izloženosti podloga (Slika 20). Porodice Baetidae (Ephemeroptera) ( $\rho = 0,55$ ;  $p < 0,01$ ) i Chironomidae (Diptera) ( $\rho = 0,48$ ;  $p < 0,01$ ) pokazale su kontinuirani porast brojnosti kroz vrijeme. Porodica Simuliidae (Diptera) je pokazala drugačiji obrazac, visoku brojnost u početku, zatim pad te ponovni porast u završnim uzorcima ( $\rho = 0,101$ ;  $p > 0,05$ ). Brojnost porodice Gammaridae (Amphipoda) također je kontinuirano rasla ( $\rho = 0,41$ ;  $p < 0,01$ ). Iako su jedinke unutar reda Trichoptera zabilježene u relativno niskim brojnostima, uz povremene poraste (60 i 108 sati), porodica Limnephilidae je značajno pozitivno korelirala s vremenom izloženosti ( $\rho = 0,239$ ;  $p < 0,05$ ) (Slika 20). Porodica Nemouridae (Plecoptera) je ostala rijetka i ujednačeno raspoređena (1–2 jedinke po uzorku;  $\rho = 0,048$ ;  $p > 0,05$ ) s naseljavanjem unutar prvih 48 sati. Red Coleoptera je zabilježen već 24 sata nakon postavljanja podloga (ličinački stadiji rodova *Elmis* i *Limnius*), dok je rod *Riolus* zabilježen nakon 72 sata. Odrasli stadiji zabilježeni su tek nakon 96 sati izloženosti podloga. Zbog niske ukupne srednje brojnosti (15,5 jedinki), Coleoptera nisu grafički prikazani na Slici 20.

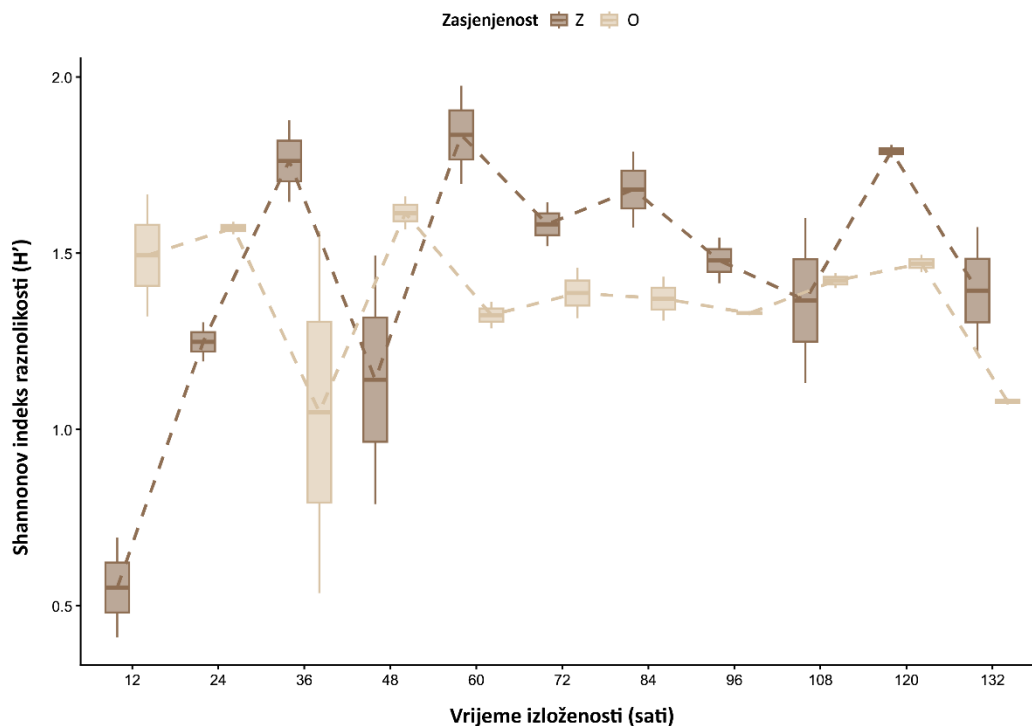


Slika 20. Ukupna srednja brojnost najbrojnijih porodica makrozoobentosa koje su naselile umjetne podloge s obzirom na: i) zasjenjenost, ii) stabilnost i iii) vrijeme izloženosti podloga u stalnom izvorišnom području potoka Jankovac. Simboli: ☀- dan, ☾ - noć.

#### 4.1.4. Odnos naseljavanja i okolišnih čimbenika

Analizom sličnosti utvrđeno je da se sastav zajednica makrozoobentosa statistički značajno razlikovao između umjetnih podloga s obzirom na zasjenjenost (ANOSIM,  $R = 0,16$ ;  $p < 0,01$ ), pri čemu je zajednica pokazala sklonost prema podlogama u osvjetljenom dijelu. Vrijednosti analize upućuju na umjerenu, ali dosljednu raznolikost zajednice između dva dijela potoka. Analizom pojedinih porodica, pozitivna korelacija s osvjetljenim dijelom zabilježena je za porodice Gammaridae (Amphipoda) ( $\rho = 0,32$ ;  $p < 0,01$ ), Baetidae (Ephemeroptera) ( $\rho = 0,29$ ;  $p < 0,01$ ), Glossosomatidae (Trichoptera) ( $\rho = 0,29$ ;  $p < 0,01$ ) i Chironomidae (Diptera) ( $\rho = 0,37$ ;  $p < 0,01$ ), dok je negativna korelacija s osvjetljenim dijelom zabilježena za porodicu Limnephilidae (Trichoptera) ( $\rho = -0,41$ ;  $p < 0,01$ ).

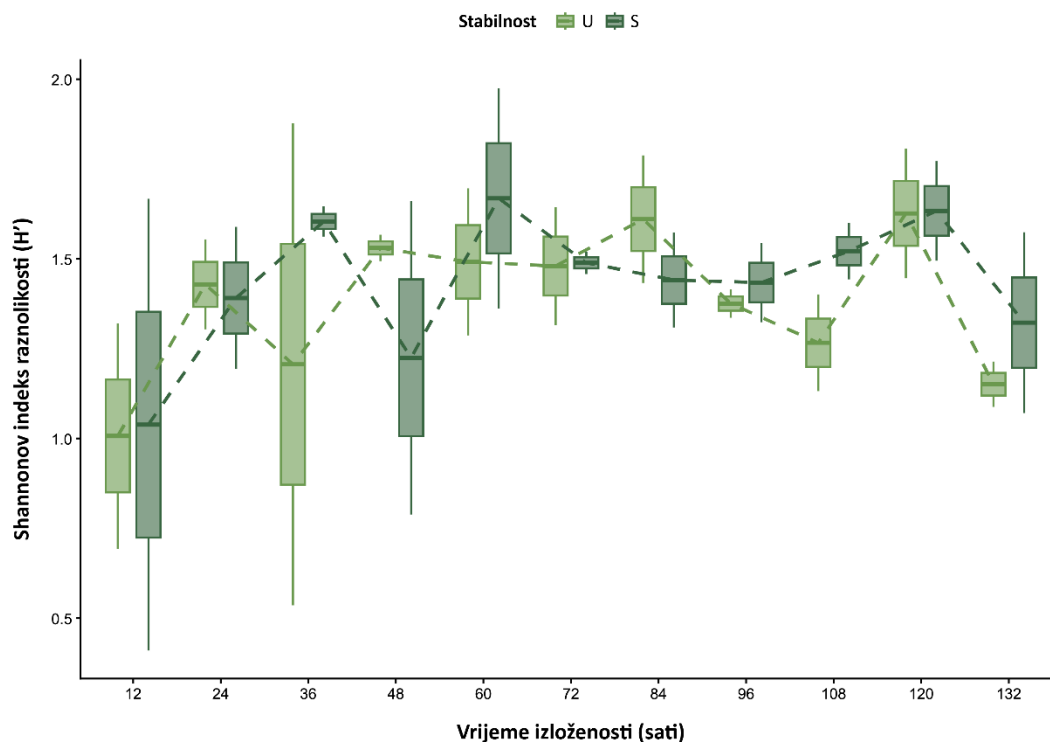
Iako je ukupna srednja brojnost makrozoobentosa bila veća u osvjetljenom dijelu potoka, Shannonov indeks raznolikosti bio je nešto viši u zasjenjenom dijelu, ali bez statistički značajne razlike ( $\rho = -0,03$ ;  $p > 0,05$ ). Ovaj obrazac ukazuje da povećanje brojnosti u osvjetljenom dijelu nije bilo praćeno proporcionalnim povećanjem raznolikosti. Vremenska dinamika indeksa raznolikosti razlikovala se s obzirom na zasjenjenost. U osvjetljenom dijelu već nakon 12 sati izloženosti umjetnih podloga zabilježene su vrijednosti indeksa raznolikosti usporedive s vrijednostima u kasnijim uzorkovanjima. Nasuprot tome, u zasjenjenom dijelu potoka zabilježene su izraženije fluktuacije vrijednosti indeksa, pri čemu je približavanje vrijednostima ostalih uzorkovanja nastupilo tek nakon 36 sati izloženosti podloga. U oba dijela potoka zabilježen je pad vrijednosti indeksa raznolikosti između 36 i 48 sati izloženosti, kao i tijekom završnog uzorkovanja, nakon 132 sata izloženosti podloga (Slika 21).



Slika 21. Promjena Shannonovog indeksa raznolikosti ( $H'$ ) makrozoobentosa s obzirom na zasjenjenost i vrijeme izloženosti umjetnih podloga u istraživanom stalnom izvorišnom području potoka Jankovca. Kratice: Z: zasjenjeno, O: osvjetljeno.

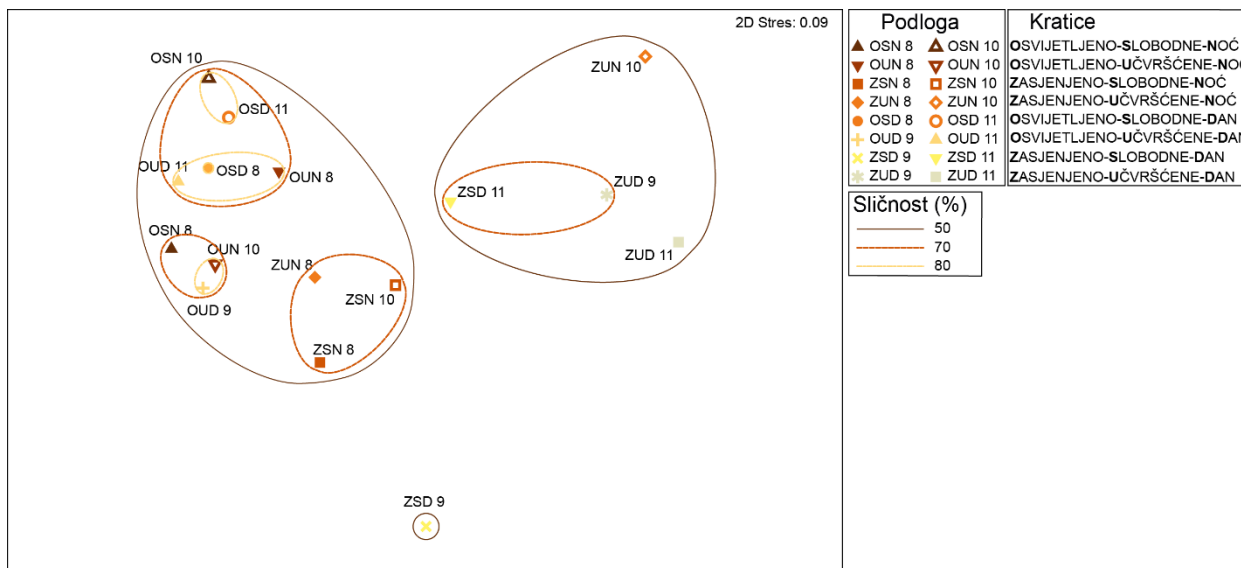
Analiza sličnosti zajednica s obzirom na stabilnost podloge pokazala je slabu, ali značajnu razliku između slobodnih i učvršćenih umjetnih podloga ( $R = 0,03$ ;  $p < 0,05$ ). Porodice Gammaridae (Amphipoda) ( $\rho = 0,21$ ;  $p < 0,05$ ) i Glossosomatidae (Trichoptera) ( $\rho = 0,29$ ;  $p < 0,01$ ) pokazali su značajnu sklonost prema pokretnim podlogama, dok za ostale skupine nije utvrđena značajna povezanost sa stabilnošću podloge.

Vrijednosti Shannonovog indeksa ( $H'$ ) na oba tipa podloga pokazivale su gotovo identičan vremenski obrazac ( $\rho = 0,19$ ;  $p > 0,05$ ). U početnoj fazi (12 sati) zabilježene su nešto niže i varijabilnije vrijednosti raznolikosti, nakon čega je već od 24 sata izloženosti došlo do stabilizacije indeksa na oba tipa podloga. Kod zadnjeg uzorkovanja uočen je blagi pad raznolikosti na oba tipa podloga (Slika 22).



Slika 22. Promjena Shannonovog indeksa raznolikosti ( $H'$ ) makrozoobentosa s obzirom na stabilnost i vrijeme izloženosti umjetnih podloga u istraživanom stalnom izvorišnom području potoka Jankovca. Kratice: U: učvršćene, S: slobodne.

U NMDS analizi sličnosti zajednice makrozoobentosa na umjetnim podlogama u odnosu na zasjenjenost, stabilnost podloge i doba dana, uzorci su se primarno grupirali prema zasjenjenosti, dok stabilnost podloge i doba dana nisu rezultirali jasnom odvajanjem skupina (Slika 23). Podloge u osvjetljenom dijelu potoka pokazale su veću međusobnu sličnost u odnosu na podloge u zasjenjenom dijelu. Najveća sličnost (80 %) zabilježena je između slobodnih podloga u osvjetljenom dijelu tijekom posljednja dva uzorkovanja (10. i 11.) te tijekom 9. i 10. uzorkovanja na učvršćenim podlogama u osvjetljenom dijelu potoka. Suprotno tome, zajednica makrozoobentosa na slobodnoj podlozi prikupljenoj tijekom dana (9. uzorkovanje) u zasjenjenom dijelu potoka izdvojila se od ostalih uzoraka, što ukazuje na lokaliziranu diferencijaciju sastava zajednice (Slika 23).



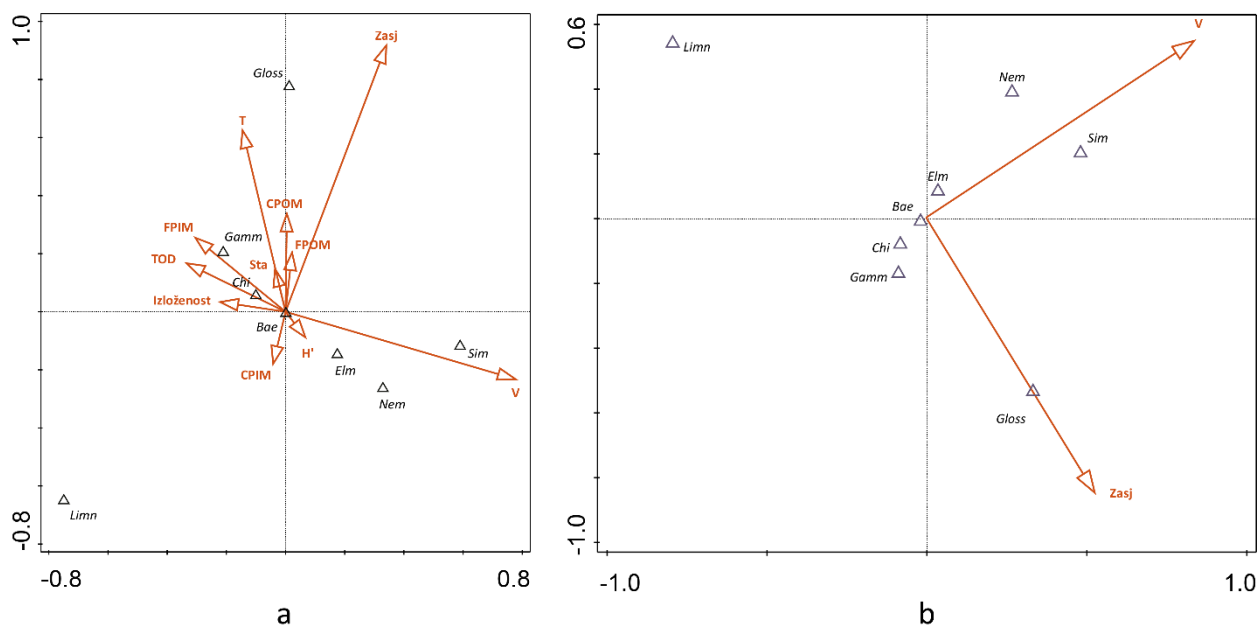
Slika 23. NMDS analiza sličnosti sastava zajednice makrozoobentosa naseljenih na umjetne podloge u odnosu na: i) zasjenjenost, ii) stabilnost podloga i iii) izmjenu dana i noći u stalnom izvorišnom području potoka Jankovac. Brojevi uz nazive podloga označavaju broj uzorkovanja podloga, odnosno vrijeme izloženosti: 8: 96 sati, 9: 108 sati, 10: 120 sati, 11: 132 sata.

Korelacijska analiza pokazala je da su četiri okolišna čimbenika imala najveći utjecaj na naseljavanje makrozoobentosa: temperatura vode (Gammaridae (Amphipoda) ( $\rho = 0,26$ ;  $p < 0,05$ )), brzina strujanja (Nemouridae (Plecoptera) ( $\rho = 0,31$ ;  $p < 0,01$ ), Baetidae (Ephemeroptera) ( $\rho = 0,28$ ;  $p < 0,01$ ) i Simuliidae (Diptera) ( $\rho = 0,61$ ;  $p < 0,01$ )), organska tvar (CPOM: Gammaridae (Amphipoda) ( $\rho = 0,39$ ;  $p < 0,01$ ); Elmidae (Coleoptera) ( $\rho = 0,24$ ;  $p < 0,05$ ); Nemouridae (Plecoptera) ( $\rho = 0,30$ ;  $p < 0,01$ ); Baetidae (Ephemeroptera) ( $\rho = 0,53$ ;  $p < 0,01$ ); Simuliidae (Diptera) ( $\rho = 0,51$ ;  $p < 0,01$ ); Chironomidae (Diptera) ( $\rho = 0,43$ ;  $p < 0,01$ ) i FPOM: Gammaridae (Amphipoda) ( $\rho = 0,46$ ;  $p < 0,01$ ); Nemouridae (Plecoptera) ( $\rho = 0,24$ ;  $p < 0,05$ ); Baetidae (Ephemeroptera) ( $\rho = 0,61$ ;  $p < 0,01$ ); Chironomidae (Diptera) ( $\rho = 0,65$ ;  $p < 0,01$ )) i anorganska tvar (CPIM: Elmidae (Coleoptera) ( $\rho = 0,28$ ;  $p < 0,01$ ); Baetidae (Ephemeroptera) ( $\rho = 0,34$ ;  $p < 0,01$ ); Simuliidae (Diptera) ( $\rho = 0,29$ ;  $p < 0,01$ ); Chironomidae (Diptera) ( $\rho = 0,33$ ;  $p < 0,01$ ) i FPIM: Gammaridae (Amphipoda) ( $\rho = 0,46$ ;  $p < 0,01$ ); Baetidae (Ephemeroptera) ( $\rho = 0,38$ ;  $p < 0,01$ ); Chironomidae (Diptera) ( $\rho = 0,46$ ;  $p < 0,01$ )).

Analiza sličnosti zajednica makrozoobentosa u odnosu na doba dana nije utvrdila statistički značajne razlike u zajednici između podloga prikupljenih u večernjim (dnevno naseljavanje) i onih prikupljenih u jutarnjim (noćno naseljavanje) uzorkovanjima ( $R = -0,02$ ;  $p > 0,05$ ). Međutim, pojedine porodice Diptera su pokazale jasan obrazac dnevno-noćne aktivnosti - Chironomidae su

pokazali negativnu korelaciju s dnevnim uzorcima ( $\rho = -0,07$ ;  $p > 0,05$ ), dok su Simuliidae pokazali statistički značajnu negativnu povezanost s dnevnim uzorcima ( $\rho = -0,23$ ;  $p < 0,05$ ), što upućuje na izraženiju noćnu aktivnost ove skupine (Slika 20).

U kanoničkoj analizi podudarnosti (CCA) koja je uključivala sve analizirane okolišne čimbenike, jedinične vrijednosti prve dvije kanoničke osi iznosile su 0,08 i 0,03 s objašnjenjem odnosa za dvije osi od 71,78 %. Monte Carlo permutacijski test potvrdio je statističku značajnost ordinacije (CCA, sve osi: F-omjer = 2,2;  $p < 0,01$ ). Prva kanonička os pokazala je najveću korelaciju s brzinom strujanja vode ( $R_1 = 0,54$ ), dok je druga kanonička os najviše korelirala s osvijetljenim dijelom potoka ( $R_2 = 0,45$ ) i temperaturom vode ( $R_2 = 0,31$ ) (Slika 24). Porodice Simuliidae (Diptera), Nemouridae (Plecoptera) i Elmidae (Coleoptera) pokazale su najjaču povezanost s brzinom strujanja vode. Od Trichoptera ističu se dvije porodice od kojih su Glossosomatidae bili snažno povezani s osvijetljenim dijelom potoka, temperaturom i CPOM, dok su Limnephilidae pokazali negativnu korelaciju s osvijetljenim dijelom potoka. Porodice Chironomidae (Diptera) i Gammaridae (Amphipoda) korelirale su s FPIM, večernjim uzorkovanjima i duljima vremenom izloženosti podloga. U ordinacijskom dijagramu okolišne varijable zasjenjenost, temperatura vode i organska tvar (CPOM i FPOM) grupirale su se zajedno, dok su brzina strujanja i Shannonov indeks ( $H'$ ) činili zasebnu skupinu (Slika 24).



Slika 24. Kanonička analiza podudarnosti (CCA) analiziranih porodica makrozoobentosa koji su naselili umjetne podloge i okolišnih čimbenika: a) sve varijable, b) prediktorne varijable u stalnom izvorišnom području potoka Jankovac. Kratice: TOD: dio dana, Izloženost: vrijeme izloženosti, Sta: Stabilnost podloge, T: temperatura vode, V: brzina strujanja vode, H': Shannonov indeks, Gamm: Gammaridae, Bae: Baetidae, Nem: Nemouridae, Elm: Elmidae, Gloss: Glossosomatidae, Limn: Limnephilidae, Sim: Simuliidae, Chi: Chironomidae. Za kratice organske i anorganske tvari vidi Tablicu 1.

Kada su u istu analizu uključene samo značajne okolišne varijable (prediktorne), brzina strujanja vode (F-omjer = 7,3;  $p < 0,01$ ) i zasjenjenost (F-omjer = 5,8;  $p < 0,01$ ), jedinične vrijednosti prve dvije kanoničke osi iznosile su 0,06 i 0,03, pri čemu je objašnjenje odnosa za dvije osi iznosila 100,00 %. Monte Carlo permutacijski test potvrdio je značajnost ordinacije (prva os: F-omjer = 0,9;  $p < 0,01$ ; sve osi: F-omjer = 2,2;  $p < 0,01$ ). Prva kanonička os pokazala je najveću korelaciju s brzinom strujanja vode ( $R_1 = 0,51$ ), dok je druga os pokazala najveću negativnu korelaciju s osvjetljenim dijelom potoka ( $R_2 = -0,39$ ).

Zajednica makrozoobentosa pokazala je gotovo identičan raspored u obje CCA analize, čime je potvrđena dominantna uloga brzine strujanja vode i zasjenjenosti u strukturiranju zajednice na umjetnim podlogama (Slika 24).

## 4.2. Povremeni potok Prkos Lasinjski

### 4.2.1. Fizikalno-kemijski čimbenici vode

Fizikalno-kemijski čimbenici vode na uzorkovanim lokacijama tijekom istraživnog razdoblja pokazali su izraženu vremensku varijabilnost (Tablica 4, Prilog 2). Najniže srednje pH vrijednosti zabilježene su u veljači 2018. (84 dana nakon plavljenja), dok su najviše vrijednosti izmjerene u travnju (119 dana nakon plavljenja). Temperatura vode imala je sličan obrazac, s najnižim srednjim vrijednostima zabilježenim u veljači 2018. i 2019. godine (84 i 89 dana nakon plavljenja) te najvišim vrijednostima izmjerenim u travnju (119 dana nakon plavljenja). Zasićenost kisikom bila je najviša u travnju (119 dana nakon plavljenja), dok su najniže srednje vrijednosti zabilježene neposredno nakon ponovnog plavljenja u studenom (5 dana nakon plavljenja). Ukupne otopljene tvari (TDS) bile su najviše u veljači 2018. i travnju (84 i 119 dana nakon ponovnog plavljenja), dok su najniže vrijednosti zabilježene u prosincu (12 i 25 dana nakon ponovnog plavljenja). Koncentracije ortofosfata bile su najniže neposredno nakon ponovnog plavljenja (5–25 dana), dok su najviše srednje vrijednosti zabilježene u veljači 2018. i 2019. godine (84 i 89 dana nakon plavljenja). Koncentracije nitrata pokazivale su drugačiji obrazac, s najnižom srednjom vrijednosti zabilježenom u travnju (119 dana nakon plavljenja), dok je najveća srednja vrijednost bila u prosincu (25 dana nakon plavljenja).

Usporedbom tri dijela potoka (N, A i NA) utvrđene su statistički značajne razlike u pH vrijednostima (usporedba rangova srednjih vrijednosti,  $R = 37,73$ ;  $p < 0,01$ ) te u TDS-u ( $R = 36,88$ ;  $p < 0,05$ ) (Tablica 3). *Post hoc* usporedbe rangova srednjih vrijednosti pokazale su da se nizvodni kombinirani dio (NA) statistički značajno razlikuje od uzvodnog prirodnog dijela potoka (N) za pH i TDS, pri čemu je NA imao više rangove u odnosu na N. Uz to, razlike među dijelovima potoka bile su statistički značajne i za zasićenost kisikom, međutim *post hoc* analiza višestrukih usporedbi nije jasno izdvojila koji se dijelovi potoka međusobno značajno razlikuju (Prilog 3).

Količina alohtone organske tvari (POM) koja se akumulirala u koritu potoka tijekom suhe faze razlikovala se među dijelovima potoka. Najniže srednje vrijednosti POM-a zabilježene su u antropogeno utjecanom dijelu (A) (2,835 g), dok su najviše srednje vrijednosti zabilježene u uzvodnom prirodnom dijelu potoka (N) (14,108 g). Kruskal–Wallis analiza potvrdila je statistički značajnu razliku u količini akumuliranog POM-a između pojedinih dijelova potoka ( $H = 20,34$ ;  $p < 0,01$ ), pri čemu su *post hoc* usporedbe pokazale da se antropogeno utjecani dio potoka (A) ( $R = 7,83$ ) statistički značajno razlikuje od nizvodnog kombiniranog (NA) ( $R = 25,70$ ;  $p < 0,01$ ) i

uzvodnog prirodnog dijela potoka (N) ( $R = 26,50$ ;  $p < 0,01$ ). Za alohtonu anorgansku tvar (PIM) nije utvrđena statistički značajna razlika među dijelovima potoka, no uočljiv je prostorni obrazac gdje su najniže srednje vrijednosti zabilježene u antropogeno utjecanom dijelu (A) (0,795 g), dok su najviše vrijednosti zabilježene u uzvodnom prirodnom dijelu potoka (N) (1,298 g) (Prilog 4). Važno je naglasiti da PIM u uzorcima suhe faze predstavlja uglavnom frakciju koja se prikupljala zajedno s listincem.

Tablica 3. Fizikalno-kemijski čimbenici vode, zasjenjenost i količina alohtone organske (POM) i anorganske (PIM) tvari izmjerene na svakoj lokaciji između pojedinih dijelova povremenog potoka (N, A i NA) u Prkosu Lasinjskom. Kratice: N: uzvodni prirodni dio, A: srednji antropogeni dio, NA: nizvodni kombinirani dio, SD: standardna devijacija, SV: srednja vrijednost, TDS: ukupna količina otopljenih čvrstih tvari, POM: čestice organske tvari.

Dio potoka	NA										A						N			
Lokacija	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
Koordinate	45,515887°N 15,803043°E		45,515872°N 15,802918°E		45,515223°N 15,803095°E		45,515077°N 15,803095°E		45,514998°N 15,803103°E		45,514877°N 15,803110°E		45,514382°N 15,803300°E		45,513480°N 15,803205°E		45,513408°N 15,803237°E		45,512918°N 15,803193°E	
Zasjenjenost	60 %		40 %		90 %		90 %		90 %		50 %		90 %		30 %		80 %		90 %	
	SD	SV	SD	SV	SD	SV	SD	SV	SD	SV	SD	SV	SD	SV	SD	SV	SD	SV	SD	SV
Brzina strujanja max (m s <sup>-1</sup> )	0,05	0,06	0,06	0,17	0,14	0,10	0,03	0,06	0,14	0,22	0,03	0,07	0,10	0,15	0,11	0,15	0,04	0,04	0,08	0,09
Temperatura vode (°C)	4,10	6,42	4,17	6,25	4,52	6,80	5,07	7,40	4,82	7,40	4,94	7,10	5,44	7,70	5,05	7,60	5,39	7,40	5,73	7,40
pH vrijednost	0,39	7,58	0,42	7,25	0,32	7,08	0,32	7,03	0,54	6,94	0,58	6,87	0,45	6,88	0,52	6,77	0,48	6,60	0,36	6,70
Zasićenost vode kisikom (%)	5,34	89,60	5,17	90,80	8,58	92,40	9,35	94,10	9,19	94,30	9,91	97,00	8,54	93,40	14,48	82,25	15,88	84,10	6,72	89,20
Koncentracija otopljenog kisika (mg dm <sup>-3</sup> )	1,28	11,04	1,41	11,26	1,44	11,27	1,50	11,31	1,39	11,34	1,73	11,77	1,34	11,14	1,57	9,76	1,46	10,01	1,24	10,75
Električna vodljivost vode (μS cm <sup>-1</sup> )	45,65	87,90	9,58	63,93	9,39	60,90	8,92	60,30	8,91	59,80	6,39	56,5	8,72	58,70	9,92	55,90	10,88	54,50	11,57	53,90
TDS (mg dm <sup>-3</sup> )	30,79	57,60	5,88	40,90	5,91	38,9	6,04	38,70	5,24	38,20	5,67	37,3	5,24	37,30	6,36	35,90	6,95	34,80	7,20	34,50
Salinitet (mg dm <sup>-3</sup> )	24,14	44,60	3,24	32,00	3,00	30,27	3,17	30,20	3,23	30,13	2,91	29,2	3,09	29,30	5,54	29,15	3,92	27,05	4,41	26,80
Količina otopljenih nitrata (mg dm <sup>-3</sup> )	1,126	3,788	1,198	3,086	0,938	3,354	0,967	2,259	0,393	2,602	1,379	3,067	0,829	3,617	1,453	3,246	1,120	2,727	0,713	2,711
Količina otopljenih otrofosfata (mg dm <sup>-3</sup> )	0,009	0,025	0,011	0,024	0,009	0,026	0,012	0,025	0,019	0,032	0,008	0,026	0,012	0,029	0,009	0,028	0,010	0,029	0,014	0,033
POM (g)	1,041	5,110	6,873	10,255	5,907	14,186	19,805	31,850	3,354	8,125	3,105	5,138	0,193	2,113	0,961	1,254	1,347	7,174	4,091	21,041
PIM (g)	1,043	1,010	0,396	0,852	0,574	1,096	0,667	2,023	0,236	0,723	0,543	1,038	1,176	0,984	0,320	0,362	0,282	0,884	0,609	1,713

Tablica 4. Fizikalno-kemijski čimbenici vode s obzirom na uzorkovanje (broj dana nakon plavljenja) u povremenom potoku u Prkosu Lasinjskom.

Kratice: SD: standardna devijacija; SV: srednja vrijednost; TDS: ukupna količina otopljenih čvrstih tvari.

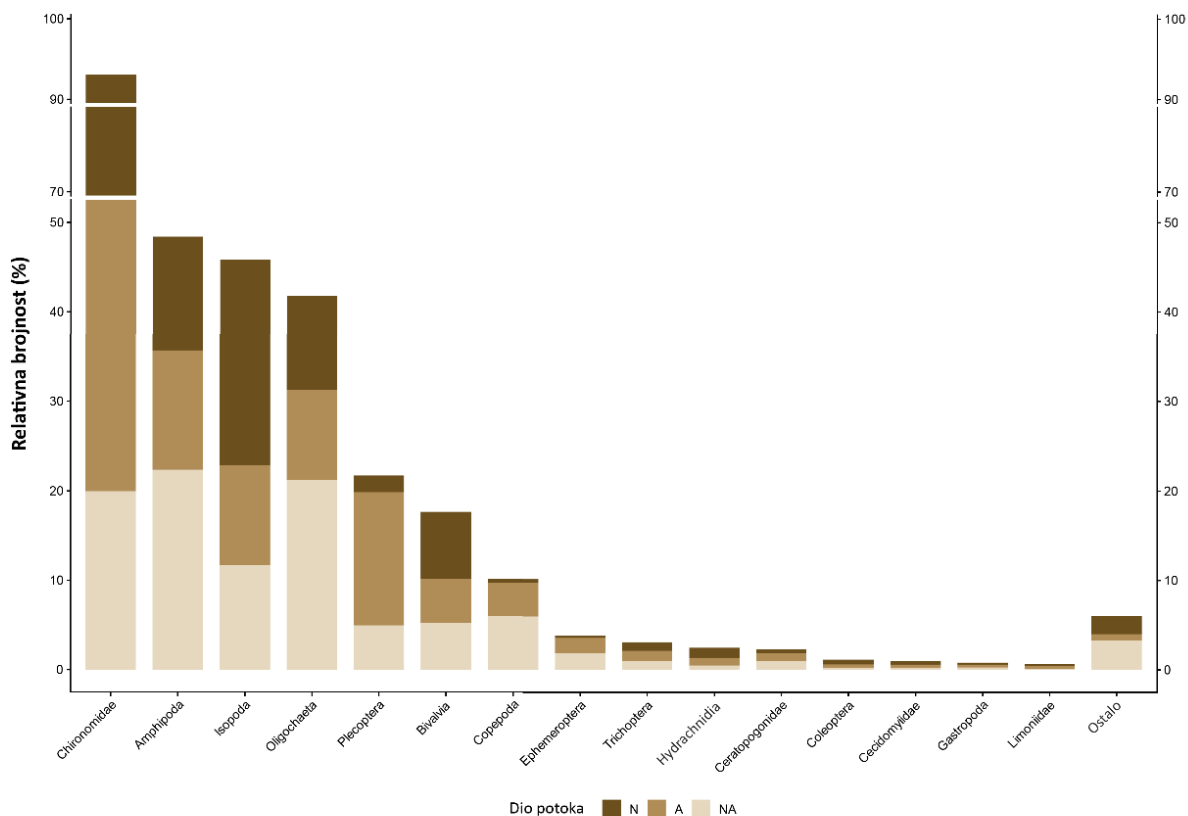
Uzorkovanje (broj dana nakon plavljenja)	Veljača 2018 (84)		Travanj (119)		Studeni (5)		Prosinac (12)		Prosinac (25)		Veljača 2019 (89)	
	SD	SV	SD	SV	SD	SV	SD	SV	SD	SV	SD	SV
Brzina strujanja $\text{max}$ ( $\text{m s}^{-1}$ )	0,14	0,20	0,05	0,09	0,06	0,09	0,12	0,16	0,07	0,11	0,04	0,04
Temperatura vode ( $^{\circ}\text{C}$ )	0,43	3,50	1,85	16,36	0,15	8,07	0,31	5,63	0,37	6,41	0,92	2,94
pH vrijednost	0,57	6,42	0,45	7,39	0,42	7,17	0,30	6,70	0,18	6,91	0,18	7,24
Zasićenost vode kisikom (%)	3,09	98,36	5,82	103,18	2,93	81,96	2,32	87,85	3,53	86,89	15,20	86,08
Koncentracija otopljenog kisika ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	0,45	12,96	0,45	10,03	0,32	9,56	0,28	10,83	0,47	10,61	2,15	11,79
Električna vodljivost vode ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	5,86	71,07	7,55	71,32	3,49	57,07	1,96	49,81	5,94	50,67	38,68	67,53
TDS ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	5,25	45,76	3,52	46,16	2,19	36,50	1,31	31,87	3,84	32,48	26,03	43,59
Salinitet ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	3,25	33,56	3,14	34,73	1,72	29,66	1,10	25,86	3,09	26,29	20,37	35,14
Količina otopljenih nitrata ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	0,97	3,00	0,38	2,10	0,76	3,29	0,75	3,30	1,33	4,02	0,96	2,99
Količina otopljenih otrofosfata ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	0,007	0,041	0,003	0,025	0,001	0,019	0,002	0,018	0,007	0,022	0,006	0,042

#### 4.2.2. Sastav zajednice makrozoobentosa

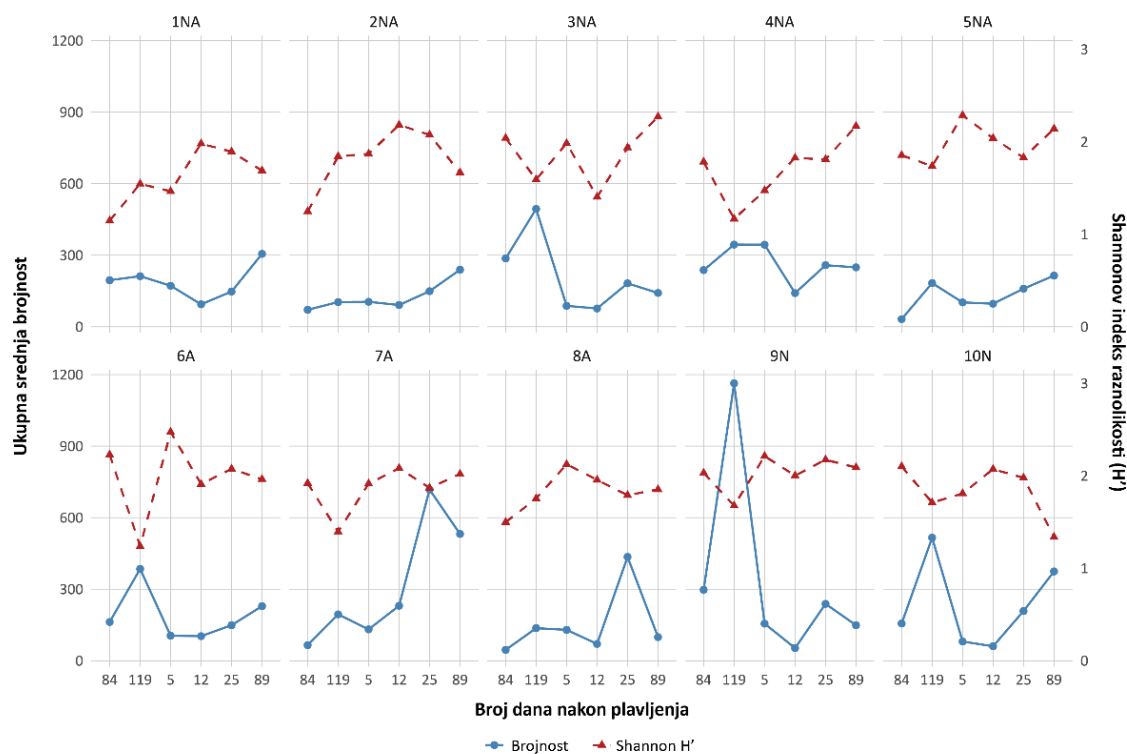
Tijekom istraživanja prikupljeno je ukupno 25 777 jedinki makrozoobentosa, koje su raspoređene unutar 109 svojti, 32 porodice, 59 rodova i 29 vrsta (Tablica 5). Najbrojnija i najčešća svojta bili su Chironomidae (Diptera), koja je činila 29,41 % ukupne srednje brojnosti te je bila prisutna u svim uzorcima (Slika 25). Unutar porodice, vrsta *Diplocladius cultriger* bila je najzastupljenija, s 9,37 % ukupne srednje brojnosti i 31,87 % srednje brojnosti Chironomidae.

Najveća srednja brojnost od 3732,5 jedinke zabilježena je u travnju (119 dana nakon plavljenja), dok je najmanja srednja brojnost od 1016,5 jedinki zabilježena u prosincu (12 dana nakon plavljenja). S obzirom na dijelove potoka, najveća ukupna srednja brojnost zabilježena je u nizvodnom kombiniranom dijelu potoka (NA) (5514 jedinki), dok je najmanja ukupna srednja brojnost zabilježena u uzvodnom prirodnom dijelu potoka (N) (3453 jedinki). Također, najveća srednja brojnost jedinki zabilježena je na lokaciji 9 (N) (2057 jedinki), dok je najmanja srednja brojnost zabilježena na lokaciji 2 (NA) (757 jedinki) (Slika 26).

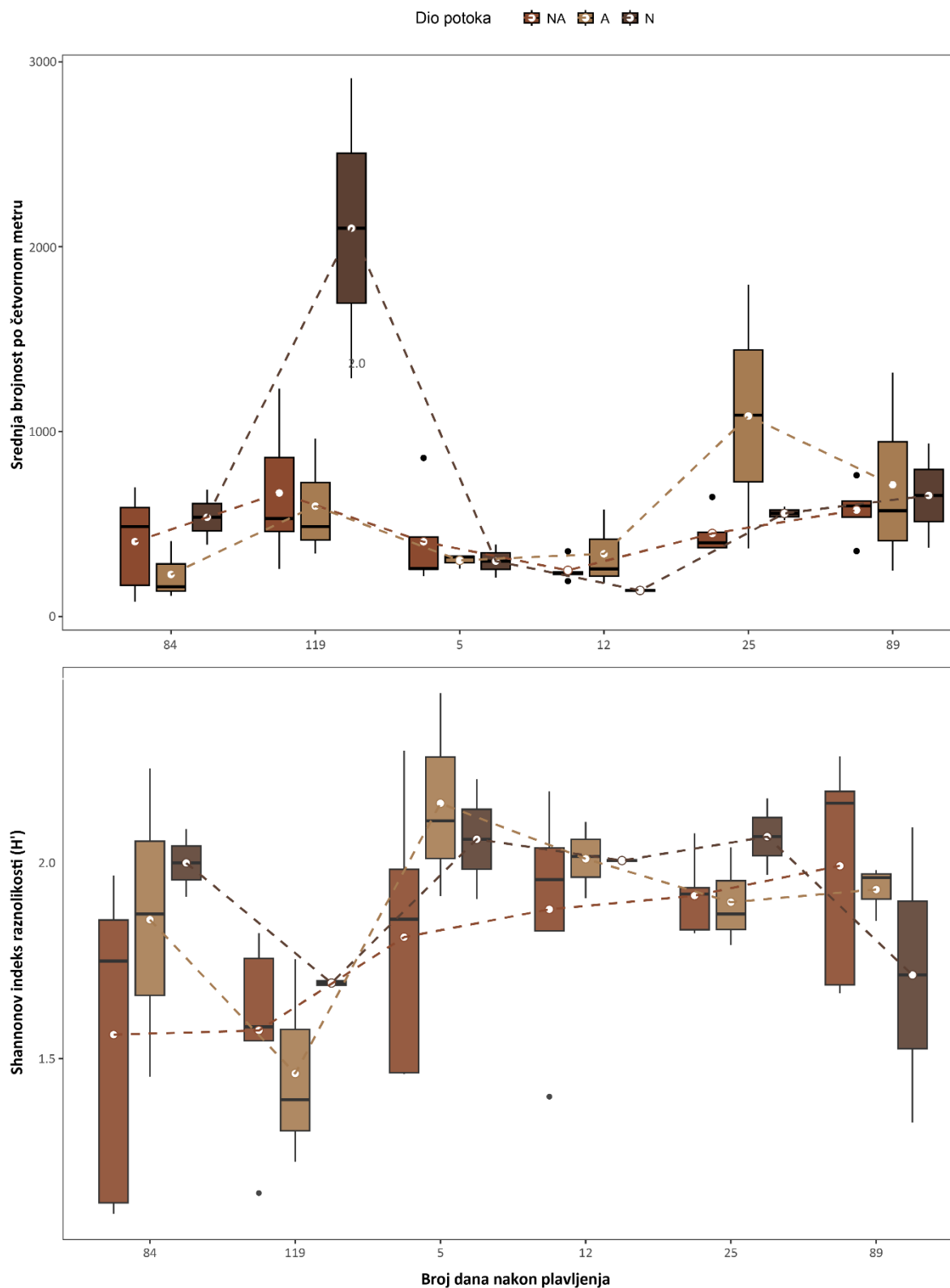
Shannonov indeks raznolikosti ( $H'$ ) značajno se razlikovao među uzorkovanjima (ANOVA,  $F_{5,42} = 2,91$ ;  $p < 0,05$ ), pri čemu je u travnju (119 dana nakon plavljenja) bio najniži u odnosu na uzorkovanja neposredno nakon plavljenja (5–25 dana nakon plavljenja) (Tukey HSD;  $p < 0,05$ ). Suprotno tome, između pojedinih dijelova potoka nije utvrđena značajna razlika u vrijednostima indeksa raznolikosti ( $F_{2,42} = 1,29$ ;  $p > 0,05$ ) (Slika 27).



Slika 25. Relativna brojnost (%) najzastupljenijih svojti makrozoobentosa u odnosu na ostale svoje u uzvodnom prirodnom (N), srednjem antropogenom (A) i nizvodnom kombiniranom (NA) dijelu povremenog potoka u Prkosu Lasinjskom.



Slika 26. Ukupna srednja brojnost i Shannonov indeks raznolikosti (H') makrozoobentosa kroz uzorkovanja na pojedinim lokalitetima u povremenom potoku u Prkosu Lasinjskom. Kratice: N: uzvodni prirodni dio, A: srednji antropogeni dio, NA: nizvodni kombinirani dio, oznaka lokacije (1–10) kao na Slici 6.



Slika 27. Srednja brojnost po četvornom metru i Shannonov indeks raznolikosti ( $H'$ ) makrozoobentosa u različitim dijelovima povremenog potoka u Prkosu Lasinjskom u odnosu na broj dana nakon plavljenja. Kratice: N: uzvodni prirodni dio, A: srednji antropogeni dio, NA: nizvodni kombinirani dio.

Tablica 5. Sistematski popis, ukupna srednja brojnost i udio pojedine svojte u zabilježenoj fauni makrozoobentosa u povremenom potoku u Prkosu Lasinjskom. Kratice: agg.: agregat, ad.: imago, cf.: confer, gr.: grupa, lv: ličinka.

Svojta	Porodica	Vrsta	Broj jedinki	Udio (%)
<b>Hydrozoa</b>			<b>12,5</b>	<b>0,10 %</b>
<b>Turbellaria</b>			<b>1</b>	<b>0,01 %</b>
<b>Nematoda</b>			<b>50,5</b>	<b>0,39 %</b>
<b>Gastropoda</b>			<b>35</b>	<b>0,27 %</b>
<b>Bivalvia</b>			<b>739,5</b>	<b>5,74 %</b>
<b>Annelida, Oligochaeta</b>			<b>1927</b>	<b>14,95 %</b>
<b>Annelida, Hirudinea</b>			<b>10,5</b>	<b>0,08 %</b>
<b>Arachnida, Hydrachnidia</b>			<b>100,5</b>	<b>0,78 %</b>
<b>Crustacea, Amphipoda</b>			<b>2193,5</b>	<b>17,02 %</b>
<b>Crustacea, Isopoda</b>	Asellidae	<i>Asellus aquaticus</i> (Linnaeus, 1758)	<b>1875</b>	<b>14,55 %</b>
<b>Crustacea, Copepoda</b>			<b>491,5</b>	<b>3,81 %</b>
<b>Insecta, Ephemeroptera</b>	Siphonuridae	<i>Siphonurus aestivalis</i> (Eaton, 1903)	142	1,10 %
	Leptophlebiidae	<i>Habrophlebia</i> sp. (juv.)	10	0,08 %
	Baetidae	<i>Cloeon dipterum</i> (Linnaeus, 1761)	21,5	0,17 %
Ephemeroptera juv. non det.			5	0,04 %
<b>Ephemeroptera (ukupno)</b>			<b>178,5</b>	<b>1,38 %</b>
<b>Insecta, Odonata</b>			<b>11</b>	<b>0,08 %</b>
<b>Insecta, Plecoptera</b>	Nemouridae	<i>Nemoura</i> sp.	<b>921,5</b>	<b>7,15 %</b>
<b>Insecta, Heteroptera</b>	Corixidae	<i>Sigara</i> sp.	1	0,01 %
	Notonectidae	<i>Notonecta maculata</i> Fabricius, 1794	0,5	0,01 %
<b>Heteroptera (ukupno)</b>			<b>1,5</b>	<b>0,01 %</b>

Tablica 5. Nastavak.

<b>Insecta, Coleoptera</b>	Dryopidae	<i>Dryops</i> sp. lv.	7,5	0,06 %
		<i>Dryops ernesti</i> Des Gozis, 1886 ad.	0,5	0,01 %
	Dytiscidae	<i>Agabus</i> sp. lv.	0,5	0,01 %
		<i>Agabus (Gaurodytes) biguttatus</i> (Olivier, 1795) ad.	1	0,01 %
		<i>Colymbetinae</i> lv.	1,5	0,01 %
		<i>Hydroporus (Hydroporus)</i> sp. cf. <i>pubescens</i> ad.	3,5	0,03 %
		<i>Hydroporus pubescens</i> (Gyllenhal, 1808) ad.	3	0,02 %
		<i>Hydroporus (Hydroporidius)</i> sp. cf. <i>melanarius</i> ad.	0,5	0,01 %
		<i>Hydroporus (Hydroporidius)</i> sp. ad.	0,5	0,01 %
		Hydrophilidae	<i>Laccobius</i> sp. lv.	3
	<i>Cercyon</i> sp. lv.		3,5	0,03 %
	<i>Anacaena limbata</i> (Fabricius, 1792) ad.		4	0,03 %
	<i>Anacaena</i> sp. ad.		0,5	0,01 %
	<i>Coelostoma</i> sp. ad.		0,5	0,01 %
	Helophoridae	<i>Helophorus</i> sp.ad.	8	0,06 %
	Hydraenidae	<i>Hydraena</i> sp. ad.	4	0,03 %
		<i>Hydraena melas</i> ad.	0,5	0,01 %
		<i>Hydraena nigrita</i> Germar, 1823 ad.	0,5	0,01 %
		<i>Hydraena riparia</i> Kugelann, 1794 ad.	3	0,02 %
<b>Coleoptera (ukupno)</b>		<b>46</b>	<b>0,36 %</b>	

Tablica 5. Nastavak.

<b>Insecta, Trichoptera</b>	Phryganeidae	<i>Oligostomis reticulata</i> (Linnaeus, 1761)	14,5	0,11 %
		juv. non det.	9	0,07 %
	Beraeidae	juv. non det.	0,5	0,01 %
		Limnephiliidae	<i>Chaetopterygini</i>	18,5
	<i>Limnephilus</i> sp.		10	0,08 %
	<i>Micropterna</i> sp.		1,5	0,01 %
	<i>Stenophylax vibex</i> (Curtis, 1834)		9	0,07 %
	Stenophylacini		58	0,45 %
	<i>Anabolia brevipennis</i> (Curtis, 1834)		1	0,01 %
	<i>Glyphotaelius pellucidus</i> (Retzius, 1783)		0,5	0,01 %
	<i>Grammotaulius nigropunctatus</i> (Retzius, 1783)		0,5	0,01 %
	<i>Grammotaulius submaculatus</i> (Rambur, 1842)	1,5	0,01 %	
	non det.	9	0,07 %	
	Trichoptera (pupae)	0,5	0,01 %	
	<b>Trichoptera (ukupno)</b>		<b>134</b>	<b>1,04 %</b>
<b>Insecta, Lepidoptera</b>	Crambidae		118	0,91 %
	Crambidae (pupae)		0,5	0,01 %
<b>Lepidoptera (ukupno)</b>			<b>118,5</b>	<b>0,92 %</b>
<b>Insecta, Diptera</b>	Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.	0,5	0,01 %
	Chironomidae	<i>Micropsectra</i> sp.	642	4,98 %
		<i>Cladotanytarsus</i> sp.	2,5	0,02 %
		<i>Paratanytarsus</i> sp.	7	0,05 %
		<i>Stempellina bausei</i> (Kieffer, 1911)	1,5	0,01 %

Tablica 5. Nastavak.

<b>Insecta, Diptera</b>	Chironomidae	<i>Brillia bifida</i> (Kieffer, 1909)	2	0,02 %
		<i>Corynoneura</i> sp.	10,5	0,08 %
		<i>Cricotopus fuscus</i> gr.	1	0,01 %
		<i>Hydrobaenus</i> sp.	730,5	5,67 %
		<i>Diplocladius cultriger</i> Kieffer, 1908.	1208	9,37 %
		<i>Mesocricotopus thienemanni</i> (Goetghebuer, 1940)	933	7,24 %
		<i>Parametricnemus stylatus</i> (Kieffer, 1924)	117	0,91 %
		<i>Psectrocladius limbatelus / sordidellus</i>	19	0,15 %
		<i>Rheocricotopus unidentatus</i> Saether & Schnell, 1988	7,5	0,06 %
		<i>Orthocladius rivicola</i> Kieffer, 1911	2,5	0,02 %
		<i>Orthocladius</i> sp.	7	0,05 %
		<i>Orthoclaadiinae</i> juv.	10,5	0,08 %
		<i>Prodiamesa olivacea</i> (Meigen, 1818)	18	0,14 %
		<i>Procladius</i> sp.	13	0,10 %
		<i>Zavrelimyia</i> sp.	1	0,01 %
		<i>Kiefferulus tendipediformis</i> (Goetghebuer, 1921)	10,5	0,08 %
		<i>Chironomus plumosus</i> agg.	38,5	0,30 %
		<i>Endochironomus albipennis</i> (Meigen, 1830)	9	0,07 %
		Chironomidae (pupae)	41	0,32 %
	Limoniidae	<i>Molophilus</i> sp.	5	0,04 %
<i>Neolimnomyia</i> sp.		2,5	0,02 %	
<i>Idioptera</i> sp.		3	0,02 %	
	<i>Pilaria</i> sp.	5	0,04 %	

Tablica 5. Nastavak.

<b>Insecta, Diptera</b>	Limoniidae	<i>Heliuss</i> sp.	0,5	0,01 %	
		<i>Rhypholophus</i> sp.	0,5	0,01 %	
		<i>Gonomyia</i> sp.	3,5	0,03 %	
		<i>Cheilotrichia</i> sp.	3,5	0,03 %	
		<i>Ormosia</i> sp.	0,5	0,01 %	
		<i>Phylidorea</i> sp.	0,5	0,01 %	
		non det.	2	0,02 %	
		Forcipomyiinae	6,5	0,05 %	
	Ceratopogonidae	Palpomyiini		98	0,76 %
				43,5	0,34 %
	Cecidomyiidae			2,5	0,02 %
	Chaoboridae	<i>Psychoda</i> sp.		2,5	0,02 %
	Psychodidae	<i>Pericoma</i> sp.		1	0,01 %
		non det.		0,5	0,01 %
				5,5	0,04 %
	Dolichopodidae			0,5	0,01 %
	Stratiomyidae	<i>Notiphila</i> sp.		1,5	0,01 %
	Ephydriidae	<i>Hydrellia</i> sp.		0,5	0,01 %
		non det.		3	0,02 %
	Empididae	<i>Wiedemannia</i> sp.		0,5	0,01 %
	Sciaridae			6	0,05 %
	Sciaridae (pupae)			0,5	0,01 %
	Sciomyzidae			1,5	0,01 %
Tipulidae			0,5	0,01 %	

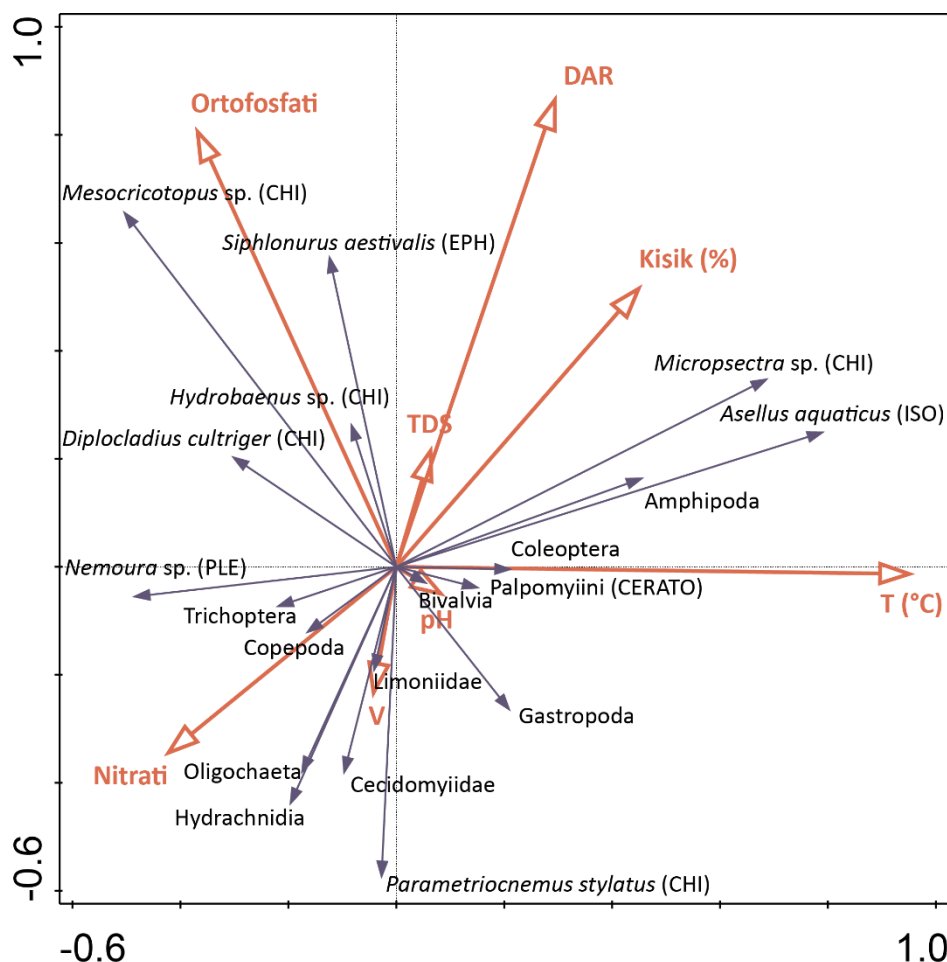
Tablica 5. Nastavak.

<b>Insecta, Diptera</b>	Muscidae	0,5	0,01 %
	Scatophagidae	0,5	0,01 %
	Culicidae	4,5	0,03 %
Diptera non det.		1,5	0,01 %
<b>Diptera (ukupno)</b>		<b>4041</b>	<b>31,35 %</b>
<b>UKUPNO</b>		<b>12888,5</b>	<b>100,00 %</b>

### 4.2.3. Odnos zajednice i okolišnih čimbenika

U redundantnoj analizi (RDA) odnosa najzastupljenijih svojti makrozoobentosa i odabranih okolišnih čimbenika, jedinične vrijednosti prve dvije osi iznosile su 0,181 i 0,128, pri čemu je objašnjenje odnosa za dvije osi iznosila 75,4 %. Monte Carlo permutacijski test potvrdio je statističku značajnost ordinacije (RDA, sve osi:  $F = 4,43$ ;  $p < 0,01$ ). Prva os pokazala je najveću korelaciju s temperaturom vode ( $R_1 = 0,83$ ), dok je druga os najviše korelirala s brojem dana nakon plavljenja (DAR) ( $R_1 = 0,74$ ) (Slika 28).

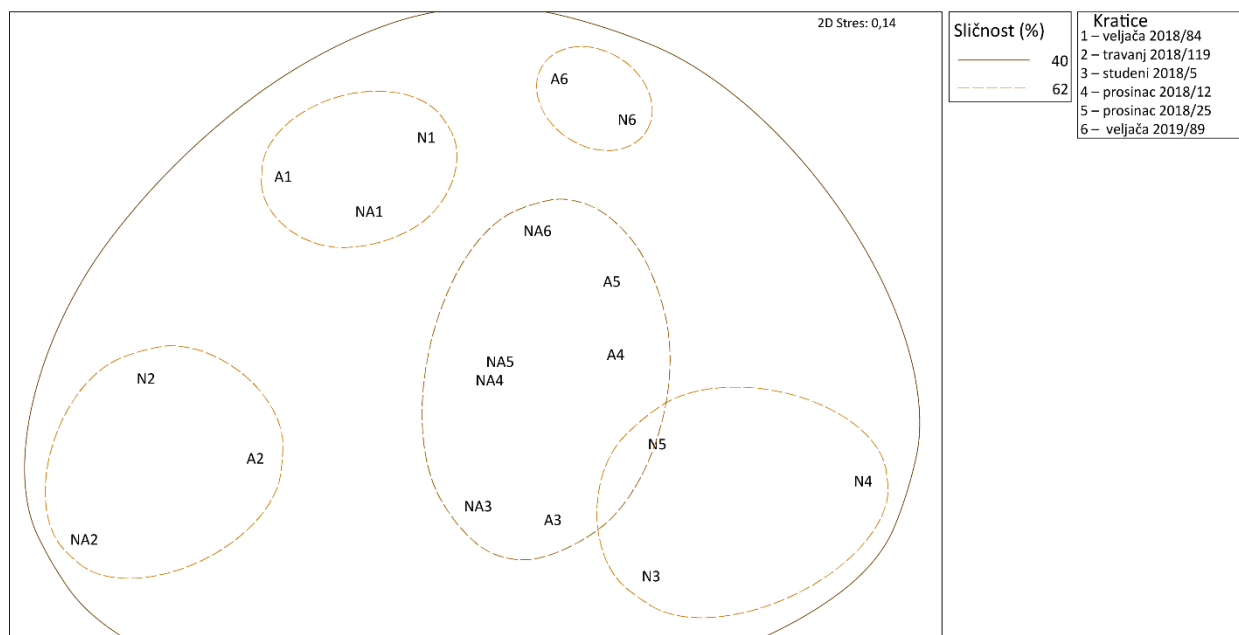
S obzirom na raspored svojti u ordinacijskom prostoru, vrste *Asellus aquaticus* (Isopoda), *Micropsectra* sp. (Chironomidae) i red Amphipoda pokazali su snažnu povezanost s višim vrijednostima temperature vode i brojem dana nakon plavljenja (DAR), a s time i većom zasićenosti kisikom. Nasuprot tome, vrste *Mesocricotopus* sp., *Diplocladius cultriger* i *Hydrobaenus* sp. (Chironomidae) te *Nemoura* sp. (Plecoptera) korelirali su s ortofosfatima i pokazali negativnu korelaciju s temperaturom vode. Svojte Oligochaeta, Hydrachnidia, Cecidomyiidae i *Parametriocnemus stylatus* (Chironomidae) pokazali su snažnu korelaciju s brzinom strujanja vode, odvajajući se od gradijenta temperature vode i DAR. Takav raspored jasno razdvaja zajednice u ranim od kasnijih faza naseljavanja.



Slika 28. Redundantna analiza (RDA) odnosa najzastupljenijih svojti makrozoobentosa i okolišnih čimbenika duž povremenog potoka. Kratice: TDS: ukupna količina otopljenih čvrstih tvari, T: temperatura vode, V: brzina strujanja vode, DAR: broj dana nakon plavljenja, CHI: Chironomidae, CERATO: Ceratopogonidae, EPH: Ephemeroptera, ISO: Isopoda, PLE: Plecoptera.

#### 4.2.4. Prostorno-vremenska distribucija i obrasci naseljavanja

NMDS analiza sličnosti pokazala je jasno grupiranje uzoraka prema sastavu makrozoobentosa, pri čemu se istovremeno očituju i vremenski i prostorni obrasci (Slika 29). Prva dva uzorkovanja, veljača 2018. i travanj (84 i 119 dana nakon plavljenja), kao i uzvodni prirodni (N) i srednji antropogeno utjecani (A) dio potoka uzorkovani u veljači 2019., izdvojili su se u zasebne grupe od ostalih uzorkovanja. Uzorkovanja provedena u ranoj fazi nakon plavljenja (5–25 dana nakon plavljenja) na lokacijama u NA i A dijelu potoka su se grupirala u jednu grupu, dok su uzorci iz uzvodnog prirodnog (N) dijela potoka tvorili drugu, što upućuje na određenu longitudinalnu razliku u sastavu zajednice u ranoj fazi naseljavanja (Slika 29).



Slika 29. NMDS analiza sličnosti sastava zajednice makrozoobentosa između dijelova povremenog potoka u Prkosu Lasinjskom (N, A, NA) kroz šest uzorkovanja.

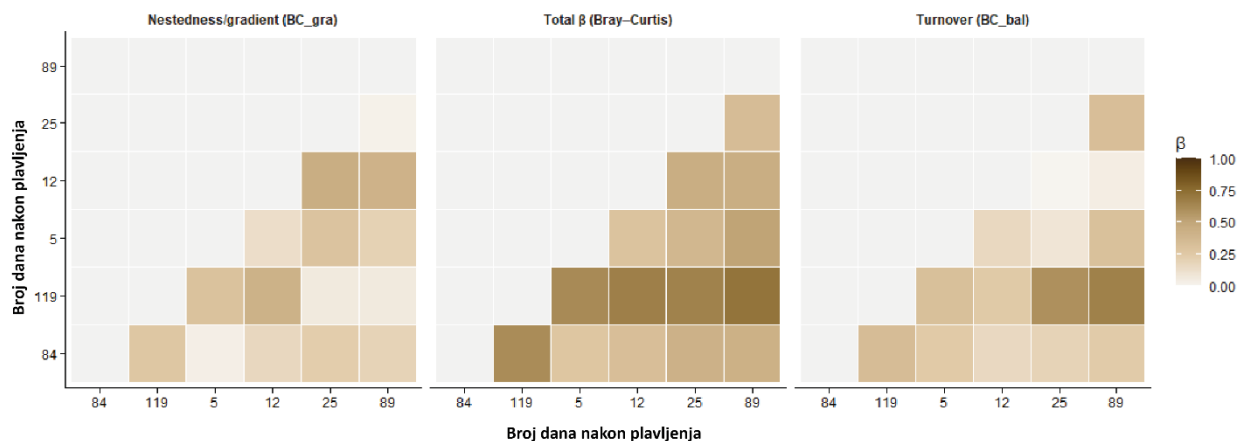
IndVal analiza pokazala je jasnu diferencijaciju zajednica među NMDS klasama, pri čemu je 11 od 19 analiziranih svojti identificirano kao značajni indikatori ( $p < 0,05$ ) (Slika 29; Tablica 6). Klasa 2 (119 dana nakon plavljenja) bila je obilježena redom Amphipoda i vrstama *Asellus aquaticus* (Isopoda) i *Micropsectra* sp. (Chironomidae), što je u skladu s njihovom pozicijom u RDA ordinaciji i s povećanjem njihove brojnosti u kasnijoj fazi naseljavanja. Klasa 3 (5–25 dana nakon plavljenja) bila je obilježena s račićima Copepoda. Klasa 6 (89 dana nakon plavljenja) imala je najveći broj značajnih indikatora, od kojih se istaknula vrsta *Mesocricotopus thienemanni* (Chironomidae).

U analizi prema danima nakon ponovnog plavljenja (DAR) identificirano je 13 od 19 svojti koje su bile značajni indikatori ( $p < 0,05$ ). Uzorkovanje u studenom (5 dana nakon plavljenja) obilježeno je s redom Coleoptera, dok je u uzorkovanju u prosincu (25 dana nakon plavljenja) zabilježen veći broj indikatorskih svojti kao ranih kolonizatora (npr. račići Copepoda, vrsta *Nemoura* sp. (Plecoptera) te dvije vrste dvokrilca, *Hydrobaenus* sp. i *Diplocladius cultriger* (Chironomidae)). Suprotno tome, uzorkovanja u veljači 2019. i travnju (89 i 119 dana nakon plavljenja) bila su obilježena manjim brojem indikatorskih svojti, ali s izrazito višim indikatorskim vrijednostima. To je osobito vidljivo za dvokrilce *Mesocricotopus thienemanni* i *Micropsectra* sp. (Chironomidae) te vrstu *Asellus aquaticus* (Isopoda), koji su pokazali snažnu povezanost s kasnijim sukcesijskim fazama (Tablica 6).

Tablica 6. Značajne indikatorske svojte (IndVal) u odnosu na broj dana nakon plavljenja (vidi Sliku 14) i NMDS klase (vidi Sliku 29) u povremenom potoku u Prkosu Lasinjskom. Kratice: CHI: Chironomidae, PLE: Plecoptera, EPH: Ephemeroptera, ISO: Isopoda, DAR: broj dana nakon plavljenja.

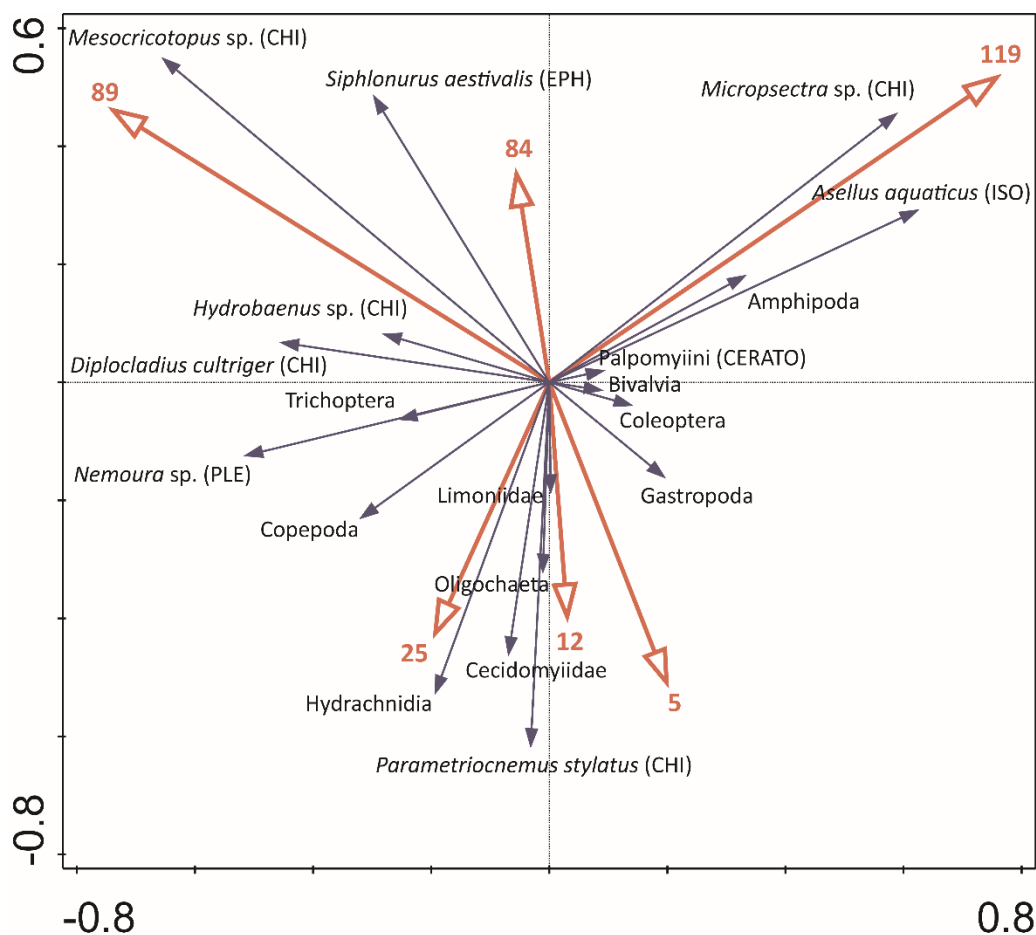
Svojte	DAR (IndVal %)	<i>p</i> -vrijednost	NMDS klase (IndVal %)	<i>p</i> -vrijednost
<b>Coleoptera</b>	5 (21,90)	< 0,05	–	–
<i>Hydrobaenus</i> sp. (CHI)	25 (40,95)	< 0,01	–	–
<i>Nemoura</i> sp. (PLE)	25 (40,41)	< 0,05	6 (47,64)	< 0,05
<i>Diplocladius cultriger</i> (CHI)	25 (38,53)	< 0,01	–	–
<b>Copepoda</b>	25 (33,04)	< 0,01	3 (43,68)	< 0,01
<i>Parametriocnemus stylatus</i> (CHI)	25 (24,68)	< 0,01	N (56,07)	< 0,01
<b>Hydrachnidia</b>	25 (22,69)	< 0,05	N (50,80)	< 0,01
<i>Mesocricotopus thienemanni</i> (CHI)	89 (79,21)	< 0,01	6 (82,66)	< 0,01
<i>Siphonurus aestivalis</i> (EPH)	89 (42,64)	< 0,01	6 (45,20)	< 0,01
<b>Trichoptera</b>	89 (26,19)	< 0,05	–	–
<i>Asellus aquaticus</i> (ISO)	119 (82,43)	< 0,01	2 (85,01)	< 0,01
<i>Micropsectra</i> sp. (CHI)	119 (74,02)	< 0,01	2 (74,41)	< 0,01
<b>Amphipoda</b>	119 (33,17)	< 0,01	2 (40,68)	< 0,01
<b>Cecidomyiidae</b>	–	–	N (47,53)	< 0,01

Prosječna Bray–Curtisova različitost među uzorkovanjima iznosila je 0,48, što ukazuje na umjerenu razinu vremenske promjenjivosti zajednice. Analizom beta raznolikosti utvrđeno je da je doprinos zamjene svojti (eng. *turnover*; BC\_bal = 0,26) bio nešto veći od doprinosa ugniježđenosti (eng. *nestedness*; BC\_gra = 0,21) (Slika 8), što upućuje na to da su vremenske promjene u strukturi zajednice bile više posljedica zamjene nego jednostavne dopune ili gubitka svojti (Slika 30, Prilog 5).



Slika 30. Toplinska karta beta raznolikosti ( $\beta$ ) (ukupna Bray–Curtis sličnost, zamjena svojiti (eng. *turnover*) i ugnježđenost (eng. *nestedness*)) makrozoobentosa između uzorkovanja (broj dana nakon plavljenja) u povremenom potoku u Prkosu Lasinjskom.

U redundantnoj analizi (RDA) odnosa najzastupljenijih svojiti makrozoobentosa i broja dana nakon plavljenja (DAR), jedinične vrijednosti prve dvije osi iznosile su 0,19 i 0,11, pri čemu je objašnjenje odnosa za dvije osi iznosila 78,5 %. Monte Carlo permutacijski test potvrdio je statističku značajnost ordinacije ( $F = 6,82$ ;  $p < 0,01$ ). Obje osi bile su snažno korelirane s varijablom 119 dana nakon ponovnog protjecanja ( $R_1 = 0,67$ ;  $R_2 = 0,43$ ) (Slika 31). Ordinacija je pritom potvrdila razdvajanje zajednica zabilježenih neposredno nakon plavljenja (5–25 dana) od zajednica zabilježenih u kasnijim fazama (84, 89 i pogotovo 119 dana). Takav uzorak podupire interpretaciju da DAR u ovom sustavu ne predstavlja samo “vrijeme od događaja”, nego bitan čimbenik u oblikovanju zajednice, što se uočava i u ostalim provedenim analizama (NMDS, IndVal i beta raznolikost).



Slika 31. Redundantna analiza (RDA) dinamike naseljavanja najzastupljenijih svojiti makrozoobentosa kroz vrijeme, pri čemu je broj dana nakon plavljenja korišten kao varijabla u povremenom potoku u Prkosu Lasinjskom. Broj dana nakon ponovnog plavljenja prikazan je crvenom bojom. Kratice: CHI: Chironomidae, CERATO: Ceratopogonidae, EPH: Ephemeroptera, ISO: Isopoda, PLE: Plecoptera.

## 5. RASPRAVA

Stalni vodotoci, osobito krški izvori, obilježeni su relativno stabilnim hidrološkim uvjetima i manjim kolebanjima fizikalno-kemijskih čimbenika vode (Miliša i sur., 2006b). Takvi uvjeti omogućuju kontinuirani razvoj zajednice makrozoobentosa, pri čemu se promjene u strukturi i sastavu zajednice češće povezuju s razlikama u mikrostaništima, zasjenjenošću ili sezonskim varijacijama, nego s naglim poremećajima unutar samog staništa. Upravo zbog te stabilnosti, izvorišni sustavi predstavljaju pogodne prirodne laboratorije za proučavanje odnosa između okolišnih čimbenika i zajednice makrozoobentosa te praćenje dinamike naseljavanja (Ivković i sur., 2015).

Nasuprot tome, povremene vodotoke obilježava izražena vremenska i prostorna varijabilnost okolišnih uvjeta, što snažno oblikuje strukturu, sastav i dinamiku naseljavanja zajednice makrozoobentosa (Stubbington i sur., 2017b; Miliša i sur., 2022). Kontinuirana izmjena faza tečenja, ujezerenja i presušivanja rezultira naglim promjenama dostupnosti staništa, resursa i fizikalno-kemijskih čimbenika vode, stvarajući specifične ekološke pritiske koji određuju opstanak organizama, ponovno naseljavanje nakon plavljenja i daljnji sukcesijski razvoj zajednice (Bonada i sur., 2020).

U ovom istraživanju stabilni krški izvor omogućio je analizu utjecaja okolišnih čimbenika unutar hidromorfološki stabilnog sustava, dok su hidrološke promjene u povremenom potoku, u kombinaciji s prostornom heterogenošću uvjetovanom lokalnim antropogenim utjecajem, omogućile praćenje promjena u sastavu zajednice nakon poremećaja, presušivanja (Ivković i sur., 2015; von Schiller i sur., 2017). Prepoznavanje glavnih čimbenika koji utječu na naseljavanje u oba tipa sustava je ključno za razumijevanje procesa oporavka nakon prirodnih ili antropogenih poremećaja te za tumačenje vremenske varijabilnosti koja se često uočava u zajednicama makrozoobentosa (Smith i Wood, 2002; Braccia i sur., 2014; Bućan i Miliša, 2023).

### **Fizikalno-kemijski čimbenici vode**

U stalnom krškom izvorišnom području fizikalno-kemijski čimbenici vode slabo su kolebali tijekom istraživanja, što je u skladu s očekivanom hidromorfološkom stabilnošću takvih sustava (Miliša i sur., 2006b; Ivković i sur., 2015). U skladu s tim, utvrđene su tek male razlike između osvjetljenog i zasjenjenog dijela potoka, uz niske vrijednosti standardne devijacije. Ograničena

duljina istraživanog područja vjerojatno nije omogućila izraženije prostorne razlike, što je već zabilježeno u sličnim izvorišnim sustavima (Glazier, 2009; Pozojević i sur., 2020). Ipak, unutar tog stabilnog hidrološkog okvira zasjenjenost se pokazala kao značajan čimbenik koji utječe na temperaturu vode. Ovakav obrazac može se povezati s duljom i pretežito izravnom insolacijom tijekom lipnja, kada je istraživanje provedeno (Death i Collier, 2010; Braccia i sur., 2014; Ivković i sur., 2015; Bućan i Miliša, 2023). Negativna korelacija koncentracije otopljenog kisika s osvjetljenim dijelom potoka očekivana je, budući da su temperatura vode i koncentracija otopljenog kisika u obrnuto proporcionalnom odnosu (Harvey i sur., 2011). Zabilježeni pad vrijednosti električne vodljivosti može se dovesti u vezu s obilnim oborinama tijekom drugog dana istraživanja (npr. Ravbar i sur., 2011; Wang i sur., 2020). Može se zaključiti kako su fizikalno-kemijski čimbenici stalnog izvora pokazali visok stupanj stabilnosti, pri čemu su uočene razlike primarno odražavale mikrostanišne uvjete (zasjenjenost), a ne hidrološke poremećaje.

Za razliku od stalnog izvora, fizikalno-kemijski čimbenici vode u povremenom potoku pokazali su izraženiju vremensku i prostornu varijabilnost. Utvrđene su razlike među dijelovima potoka, ali i između pojedinih uzorkovanja, što ukazuje na snažnu povezanost hidrološkog režima i sezonalnosti (Gómez i sur., 2017; Lafuente i sur., 2023). Sezonske promjene temperature vode slijedile su očekivani obrazac, s najnižim vrijednostima zimi (veljača 2018. i 2019.) te najvišim vrijednostima u travnju, što potvrđuje izravnu povezanost s temperaturom zraka (Harvey i sur., 2011). Zasićenost kisikom bila je najviša u proljeće (travanj), kada su se uvjeti tečenja stabilizirali, a riparijska vegetacija počela razvijati (Gómez i sur., 2017; Pařil i sur., 2019a). Najniže vrijednosti zabilježene su neposredno nakon plavljenja, što se može objasniti, među ostalim, pojačanim staničnim disanjem mikroorganizama i početkom razgradnje akumulirane alohtone organske tvari u koritu potoka (von Schiller i sur., 2017). Koncentracije ortofosfata bile su više tijekom veljače 2018. i 2019., što je u skladu s ispiranjem tla tijekom oborina i topljenja snijega (Habdija i Primc, 2019).

Iako je istraživanje provedeno na prostorno ograničenom odsječku potoka, razlike u nekoliko fizikalno-kemijskih čimbenika između njegovih dijelova bile su jasno izražene, što potvrđuje da se takva heterogenost može uočiti i na relativno kratkim odsječcima (Pozojević i sur., 2020; Lafuente i sur., 2023). Više vrijednosti pH i TDS u nizvodnom kombiniranom dijelu (NA) u odnosu na uzvodne dijelove (A i N) vjerojatno su povezane s višom temperaturom vode, manjom zasjenjenošću i duljim zadržavanjem vode, što pogoduje povećanju koncentracije

otopljenih tvari, kako je zabilježeno i u ranijim istraživanjima (Hayashi, 2004; Santiago i sur., 2011). Na osnovi rezultata se pretpostavka da je koncentracija nitrata i fosfata veća na antropogeno utjecanim dijelovima povremenog lotičkog staništa u usporedbi s antropogeno neutjecanim dijelovima toka odbacuje, budući da između analiziranih dijelova potoka nisu utvrđene statistički značajne razlike u koncentracijama navedenih čimbenika. Za razliku od stalnog izvora, gdje su uočene razlike primarno odražavale razlike u mikrostaništima, u povremenom potoku fizikalno-kemijski čimbenici prikazivali su dinamičan hidrološki režim i sezonsku varijabilnost, čime su stvoreni promjenjivi uvjeti za naseljavanje i razvoj zajednice makrozoobentosa.

### **Akumulacija usitnjene organske i anorganske tvari**

U stalnom krškom izvoru potvrđena je povećana akumulacija usitnjene organske (POM) i anorganske tvari (PIM) na umjetnim podlogama s povećanjem vremena izloženosti podloga, što upućuje na postupno taloženje čestica i stabilizaciju mikrostaništa. Dosadašnja istraživanja navode da se POM i PIM na učvršćenim podlogama akumuliraju pretežito iz vodenog stupca, dok se na pokretnim podlogama akumulira iz vodenog stupca i s dna potoka (Miliša i sur., 2006a). Učinkovitija akumulacija POM zabilježena je na slobodnim podlogama, dok se PIM u većoj mjeri akumulirao na učvršćenim podlogama. Takav obrazac može se objasniti morfologijom istraživanog područja. Strmiji nagib u zasjenjenom dijelu izvora vjerojatno je pojačavao transport težih čestica anorganske tvari (CPIM), osobito fragmenata sedre, koji su se učinkovitije zadržavali na stabilnim, učvršćenim podlogama. Suprotno tome, lakši CPOM (npr. listinac i čestice  $> 1$  mm) transportirao se nizvodno i taložio na podlogama u osvijetljenom dijelu potoka, gdje je nagib blaži. Nadalje, ukupne količine FPOM i FPIM akumulirane na podlogama bile su podjednake što upućuje na zaključak da se te frakcije primarno akumuliraju iz vodenog stupca (Hutchens i sur., 2017; Piano i sur., 2020; Levenstein i sur., 2021).

Na osnovi rezultata se postavlja pretpostavka da se veća količina organske i anorganske tvari nakuplja na učvršćenim nego na neučvršćenim umjetnim podlogama u stalnom lotičkom staništu odbacuje s obzirom na činjenicu da se usitnjena organska tvar (POM) podjednako akumulirala na slobodnim i učvršćenim podlogama, dok je anorganska (PIM) pokazivala veće vrijednosti CPIM na učvršćenim podlogama, a FPIM na slobodnim.

U povremenom potoku količina alohtone organske tvari varirala je duž vodotoka, što je vjerojatno posljedica razlika u zasjenjenosti i morfologiji korita (Santiago i sur., 2011). Tijekom sušne faze listinac i drugi organski materijal akumuliraju se u koritu potoka, čime određuju

strukturu staništa, osiguravaju refugije i površinu za pričvršćivanje te predstavljaju važan izvor hrane za makrozoobentos (Shumilova i sur., 2019; Oester i sur., 2023). Ovakve zabilježene oscilacije u količini organske tvari odražavaju izraženu okolišnu promjenjivost tipičnu za povremene vodotoke, u usporedbi sa stabilnijim stalnim sustavima, pri čemu nastaje promjenjiv i često stresan okoliš za vodene organizme (Shumilova i sur., 2019; Loskotová i sur., 2021).

### **Sastav zajednice makrozoobentosa**

Relativno velik broj jedinki zabilježen u kratkom razdoblju naseljavanja u stalnom krškom izvorišnom području naglašava učinkovitost korištenih umjetnih podloga, što je u skladu s ranijim istraživanjima (Bućan i Miliša, 2023). Takav obrazac potvrđuje da umjetne podloge, koje oponašaju vodenu vegetaciju, mogu uspješno simulirati prirodna mikrostaništa te omogućiti praćenje rane dinamike naseljavanja.

Dominacija redova Ephemeroptera i Diptera, pogotovo porodica Chironomidae, u uzorcima odgovara tipičnoj fauni krških izvora u ovom području (Malmquist i sur., 1991; Progar i Moldenke, 2009; Ivković i sur., 2015; Vilenica i sur., 2018b). Unutar reda Ephemeroptera zabilježena je vrsta *Baetis rhodani*, koja je bila brojna u ranim ličinačkim stadijima, što je očekivano s obzirom na to da je istraživanje provedeno u lipnju (Vilenica i sur., 2018a; Vilenica i sur., 2018c). Budući da vrsta *B. rhodani* predstavlja kompleks kriptičnih vrsta (Williams i sur., 2006), za precizno određivanje vrste potrebna su dodatna molekularna istraživanja. Također, prisutnost ranih stadija ličinki porodice Baetidae (osobito *B. rhodani*) na umjetnim podlogama dodatno potvrđuje da su takve podloge prikladno sredstvo za proučavanje dinamike naseljavanja, budući da je poznato kako te ličinke imaju izraženu sklonost naseljavanju mahovina (Vilenica i sur., 2018a).

Dobiveni rezultati potvrđuju ranije spoznaje da red Diptera u izvorišnim sustavima često čine približno jednu trećinu ukupne biomase i više od polovice ukupnog bogatstva vrsta (Gerecke i sur., 2011; Ivković i sur., 2015; Adler i Courtney, 2019).

Redovi Coleoptera i Trichoptera imali su najnižu ukupnu srednju brojnost među analiziranim skupinama, što je u skladu s istraživanjima u kojima su opisani kao sporiji kolonizatori novih podloga (Lancaster i Briers, 2008; Bućan i Miliša, 2023). Iako pojedini Trichoptera iz porodice Limnephilidae mogu prijeći udaljenosti do 25 m dnevno (Resh i sur., 2011), što bi im omogućilo dosezanje umjetnih podloga unutar šestodnevnog istraživanja, a prijašnja faunistička istraživanja navode njihovu brojnost na istraživanom području (Previšić i sur., 2013), njihova ograničena prisutnost na podlogama vjerojatno odražava selektivnost u odabiru staništa i

ovisnost o dostupnosti hrane, budući da se pretežito radi o strugačima i usitnjivačima (Moog i Hartmann, 2017). Niska brojnost Coleoptera iz porodice Elmidae može se povezati s njihovim prehrambenim navikama. Kao strugači, Elmidae naseljavaju staništa bogata obraštajem kojim se hrane pa neće naseljavati nove podloge (Jäch i Balke, 2008; Mičetić Stanković i sur., 2015; Moog i Hartmann, 2017).

Zabilježeni su tipični predstavnici faune izvora (krenobionti) poput vrste porodice Elmidae - *Elmis bosnica* (Mičetić Stanković i sur., 2015; Mičetić Stanković i sur., 2022), zatim vrste Turbellaria - *Crenobia alpina* (Kabir i sur., 2024) ili Gastropoda iz porodice Hydrobiidae (Jalžić i Lajtner, 2011; Falniowski i sur., 2021). Izvorišno područje potoka Jankovac poznato je i kao stanište endemskih slatkovodnih puževa vrsta *Graziana papukensis* i *G. slavonica* (Radoman, 1983; Jalžić i Lajtner, 2011; Crnčan i Jagić, 2019), koji su također zabilježeni i na podlogama. Budući da su vrste morfološki vrlo slične, u ovom su istraživanju zabilježene kao *Graziana papukensis/slavonica*, a za pouzdanu determinaciju do razine vrste potrebne su dodatne molekularne analize. Zbog niske brojnosti Gastropoda, procesi naseljavanja te skupine nisu dalje analizirani.

Relativno visok broj jedinki zabilježen u povremenom potoku podudara se s nalazima Straka i sur., (2019), koji su pokazali da i mali povremeni vodotoci mogu imati visoke brojnosti zajednice makrozoobentosa te funkcionirati kao sustavi pogodni za proučavanje dinamike naseljavanja (Crabot i sur., 2020; Blackman i sur., 2021). U sastavu zajednice dominirali su dvokrilci (Diptera), osobito porodica Chironomidae, te red Amphipoda, što je u skladu s ranijim istraživanjima povremenih vodotoka (Sánchez-Montoya i sur., 2018; Pařil i sur., 2019a). Red Diptera također kako u stalnim tako i u povremenim vodenim staništima često čine približno jednu trećinu ukupne biomase i više od polovice ukupne raznolikosti (Ivković i sur., 2015; Pařil i sur., 2019b). Njihova dominacija povezana je s različitim načinima prehrane i prilagodbama na promjenjive uvjete staništa. Takve prilagodbe uključuju sposobnost preživljavanja sušnih faza u hiporeičkoj zoni te brzo ponovno uspostavljanje populacije nakon plavljenja Lancaster i Briers, 2008; Stubbington i sur., 2017a). Pařil i sur., (2019b) navode da brojni organizmi mogu preživjeti sušu u aktivnim oblicima unutar sedimenta korita, čime izravno doprinose ranom oporavku zajednice nakon ponovnog plavljenja. Ipak, kontinuirani antropogeni utjecaj može usporiti oporavak ili smanjiti raznolikost (Linares i sur., 2021; Mundahl, 2025). Unutar porodice Chironomidae, vrsta *Diplocladius cultriger* bila je najbrojnija, što je u skladu s njezinom sklonošću prema naseljavanju povremenih, muljevutih staništa te prilagodbama ličinačkog

stadija na presušivanje (Moller Pillot, 2013). Redovi Coleoptera i Trichoptera imali su relativno niske brojnosti, no njihova prisutnost u više od 40 % uzoraka upućuje na cjelogodišnju aktivnost i izdržljivost, što potvrđuju ranija istraživanja prema kojima im treba dulje vrijeme za učinkovito naseljavanje novih staništa (Lancaster i Briers, 2008; Bućan i Miliša, 2023). Iako su istraživani hidrološki različiti sustavi (stalni i povremeni), uočeni sastav i struktura zajednice pokazuju određene podudarnosti u obrascima dominacije, dok se potencijalne razlike u mehanizmima naseljavanja i raspodjele svojiti s obzirom na djelovanje okolišnih čimbenika razmatraju u nastavku.

Dobiveni rezultati pokazuju da su svojite viših taksonomskih kategorija (npr. Amphipoda, Oligochaeta) bili dovoljni za tumačenje općih ekoloških obrazaca, dok je niža razina determinacije (rod/vrsta) nužna za precizno razlikovanje obrazaca naseljavanja unutar taksonomski heterogenih skupina (npr. Ephemeroptera, Coleoptera, Trichoptera) (Dorić i sur., 2025). Na osnovi rezultata se pretpostavka da je raznolikost makrozoobentosa veća u stalnom nego u povremenom lotičkom staništu, u kojemu je pak raznolikost veća na dijelovima toka koji nisu bili pod antropogenim utjecajem odbacuje s obzirom na činjenicu da je veća ukupna raznolikost zabilježena u povremenom potoku, dok je u stalnom izvorišnom potoku broj svojiti bio niži. Niža raznolikost u izvorišnom području može se objasniti visokom hidrološkom stabilnošću i relativno uskim rasponom fizikalno-kemijskih čimbenika, što pogoduje manjim, ali specijaliziranim zajednicama prilagođenima konstantnim uvjetima. Takav obrazac potvrđuju i ranija istraživanja krških izvora, koja navode ograničeno bogatstvo svojiti unatoč stabilnosti sustava, pri čemu dominiraju specijalizirane i često stenovalentne vrste (Miliša i sur., 2006b; Ivković i sur., 2015). S druge strane, veća raznolikost u povremenom potoku vjerojatno je posljedica izraženije prostorne i vremenske heterogenosti te izmjene hidroloških faza. Takva dinamičnost omogućuje koegzistenciju svojiti koje zauzimaju različite ekološke niše (Leigh i Datry, 2017; Stubbington i sur., 2017b). Povremeni potok pokazao se kompleksnijim sustavom nego što se pretpostavilo prije samog istraživanja. Unutar povremenog potoka raznolikost zajednice nije se značajno razlikovala između pojedinih dijelova potoka. Rezultati naglašavaju kako hidrološka stabilnost nije presudna za definiranje raznolikosti makrozoobentosa, već da ključnu ulogu imaju kombinacija heterogenosti staništa, dinamika poremećaja i dostupnost hrane.

### Utjecaj okolišnih čimbenika na strukturu zajednice

U stalnom krškom izvoru zasjenjenost se pokazala kao jedan od ključnih čimbenika koji je utjecala na zajednicu makrozoobentosa. Zajednica je bila brojnija u osvjetljenom dijelu potoka u odnosu na zasjenjeni dio, što je u skladu s ranijim istraživanjima u sličnim staništima (Ivković i sur., 2015). Za razliku od jasno izraženih razlika u brojnosti, alfa raznolikost nije se statistički značajno razlikovala između dijelova potoka, premda je tijekom istraživanja nešto veća raznolikost zabilježena u zasjenjenom dijelu. Budući da je ukupni broj svojti bio relativno nizak, razlika od svega nekoliko svojti mogla je utjecati na taj obrazac. Rezultati upućuju na bržu stabilizaciju strukture zajednice u osvjetljenom dijelu potoka, dok je u zasjenjenom dijelu taj proces bio sporiji. Privremeni pad raznolikosti tijekom istraživanja vjerojatno je povezan s kratkotrajnim hidrološkim poremećajem uzrokovanim oborinama, što je moglo dovesti do djelomičnog otplavlivanja ili povlačenja jedinki s podloge. Veća brojnost u osvjetljenom dijelu može se povezati s većom dostupnošću hrane (Doi i sur., 2024), jer povećana dostupnost svjetla omogućuje intenzivniji razvoj autotrofnih organizama te veću produkciju POM-a (alge, mahovine, makrofiti), pogotovo u izvorima na višim nadmorskim visinama koja su u pravilu zasjenjena (De Nadaï-Monoury i sur., 2014; Ivković i sur., 2015). Time se u osvjetljenim dijelovima potoka stvara povoljnije mikrostanište i veća dostupnost resursa za brojne skupine makrozoobentosa (Progar i Moldenke, 2009; Bruno i sur., 2012; Ivković i sur., 2015). U izvorišnim područjima često se bilježi povećana ukupna brojnost, dok je raznolikost niža zbog prisutnosti manjeg broja svojti (Ivković i sur., 2015; Monteiro i sur., 2023). Stoga se može zaključiti da su upravo zasjenjenost i temperatura vode bili određujući čimbenici koji su oblikovali prostornu raspodjelu brojnosti i sastava zajednice u stalnom lotičkom staništu.

Veća brojnost porodice Gammaridae zabilježena je u osvjetljenom dijelu potoka, što je u skladu s ranijim istraživanjima (Braccia i sur., 2014; De Nadaï-Monoury i sur., 2014; Bućan i Miliša, 2023), vjerojatno zbog veće akumulacije njihova primarnog izvora hrane, CPOM, u tom dijelu (Ivković i sur., 2015; Moog i Hartmann, 2017). Za razliku od Bućan i Miliša (2023), u ovom su istraživanju Baetidae pokazale pozitivnu korelaciju s osvjetljenim dijelom potoka. Ovakav rezultat može biti posljedica povećanih oborina tijekom istraživanja, koje su mogle uzrokovati *drift* ličinki nizvodno prema osvjetljenom dijelu, što su u sličnim staništima zabilježili i Lancaster i Briers (2008) te Sertić Perić i sur., (2015). Osim toga, vrste iz porodice Baetidae su poznati strugači perifitona, koji bi u osvjetljenom dijelu trebao biti razvijeniji zbog veće dostupnosti svjetla (Ivković i sur., 2015; Moog i Hartmann, 2017; Vilenica i sur., 2018a). Prema navedenome, može se zaključiti kako Baetidae posjeduju prilagodbe koje im omogućuju odabir

povoljnijih mikrostaništa, što su potvrdili i Verkaik i sur., (2013) te Vilenica i sur., (2021). Pritom su se Baetidae pokazali kao izvrsni pioniri naseljavanja, budući da se njihova brojnost povećala unutar prvih 12 do 48 sati izloženosti umjetnih podloga (Mackay, 1992; Matthaei i sur., 1996; Greathouse i sur., 2006; Baumgartner i Robinson, 2017; Bućan i Miliša, 2023). U ovom istraživanju porodice Baetidae, ali i Simuliidae pokazale su se kao pionirske skupine koje su vrlo brzo naselile novodostupne podloge tijekom prvih 72 sata, što je u skladu s ranijim istraživanjima u sličnim lotičkim sustavima (Ríos-Touma i sur., 2011; Bruno i sur., 2012; Bućan i Miliša, 2023).

Unutar reda Trichoptera utvrđeno je zauzimanje različitih ekoloških niša između analiziranih porodica, što se može povezati s razlikama u načinu prehrane i sklonosti prema zasjenjenosti. Porodica Glossosomatidae pokazala je sklonost prema osvjetljenom dijelu potoka, što se može povezati s činjenicom da se primarno hrane vodenom vegetacijom koja je obilnija u osvjetljenom dijelu (npr. Ivković i sur., 2015; Batzer i Boix, 2016; Doi i sur., 2024). S druge strane, porodica Limnephilidae je pokazala sklonost prema zasjenjenom dijelu potoka (Bućan i Miliša, 2023). Budući da su nalazi za Limnephilidae neočekivani i ne podudaraju se u potpunosti s poznatim sklonostima prema tipu staništa te porodice (Leberfinger i Herrmann, 2010; Moog i Hartmann, 2017), potrebne su dodatne detaljnije analize kako bi se bolje razumio utjecaj zasjenjenosti na sastav reda Trichoptera.

Snažna pozitivna korelacija porodice Nemouridae (Plecoptera) s brzinom strujanja potvrđena je već u ranijim istraživanjima (Elbrecht i sur., 2016; Piano i sur., 2020). Porodica Elmidae (Coleoptera) se pokazala kao najsporiji kolonizator umjetnih podloga zbog prethodno navedenih razloga povezanih s razvojem obraštaja i njihove prehrane (Jäch i Balke, 2008; Mičetić Stanković i sur., 2019; Vodeneeva i sur., 2024). Pozitivna korelacija Elmidae s prisutnošću CPIM-a je očekivana, budući da obitavaju u zonama prskanja slapova s visokim brzinama strujanja vode i visokim koncentracijama kisika (Jäch i Balke, 2008; Mičetić Stanković i sur., 2019).

Za razliku od reda Coleoptera, porodica Simuliidae (Diptera) se pokazala kao izvrstan pionir naseljavanja, budući da su podloge naselile unutar prvih 12 sati izloženosti, što je u skladu s ranijim istraživanjima (Malmquist i sur., 1991; Zbinden i sur., 2008; Ligeiro i sur., 2010; Zawal i sur., 2016; Bućan i Miliša, 2023). Međutim, njihova se brojnost prema kraju istraživanja smanjivala, moguće zbog pojave pritiska grabežljivavca i kompeticije s drugim skupinama koje su kasnije naselile podloge (Ligeiro i sur., 2010). Također, važno je naglasiti kako se brzina

strujanja vode pokazala kao najvažniji čimbenik njihove prisutnosti, što je u skladu i s Matoničkin Kepčija i sur., (2006). Porodica Chironomidae su pozitivno korelirale s osvjetljenim dijelom potoka, što odgovara ranijim nalazima (Banks i sur., 2007; Progar i Moldenke, 2009; Ivković i sur., 2015). Njihova povezanost s osvjetljenim dijelom može se tumačiti i kroz količinu POM-a, njihov glavni izvor hrane, koji se u tom dijelu bolje akumulirao zbog razvoja autotrofnih organizama, ali i potencijalne produkcije fecesa koji ulazi u FPOM (Death i Zimmermann, 2005; Hutchens i sur., 2017). Iz rezultata se može zaključiti da bi osobito porodice Chironomidae i Baetidae mogli biti prikladni indikatori za praćenje obrazaca naseljavanja, jer njihova brojnost raste s akumulacijom organske tvari, što je česta pojava u slatkovodnim staništima.

Dobiveni rezultati samo djelomično prihvaćaju pretpostavku da je naseljavanje makrozoobentosa na umjetne podloge izraženije na učvršćenim umjetnim podlogama koje se nalaze na osvjetljenom dijelu stalnog lotičkog staništa od naseljavanja na učvršćenim podlogama na zasjenjenom dijelu istog staništa s obzirom na veću brojnost na slobodnim podlogama te u osvjetljenom dijelu potoka. Povećana brojnost na slobodnim podlogama može se povezati s učinkovitijom akumulacijom organske tvari, što je već prethodno istaknuto. Ovakav obrazac djelomično je u skladu s konceptom umjerenog poremećaja, prema kojem umjeren stupanj poremećaja može poticati veću brojnost ili raznolikost, dok podloge s vrlo malim ili vrlo velikim kretanjima često imaju nižu raznolikost u odnosu na podloge s umjerenim stupnjem pomicanja (Suren i Duncan, 1999; Townsend i sur., 1997; Huston, 2014).

Zaključno, u stabilnom izvorišnom sustavu raspodjela zajednice ponajprije je bila određena zasjenjenošću i temperaturom vode te hidrodinamičkim uvjetima (brzina strujanja vode), dok se razlike među skupinama mogu objasniti kroz dostupnost hrane i brzinu razvoja mikrostaništa (npr. biofilm). Budući da je riječ o hidrološki stabilnom sustavu i relativno male promjene fizikalno-kemijskih čimbenika, pogotovo temperature vode povezane sa zasjenjenošću, bile su dovoljne da utječu na prostornu raspodjelu i brojnost svojti. U takvim uvjetima okolišni čimbenici imaju izraženiji učinak, jer nema prisutnih snažnih hidroloških poremećaja. Dodatno, u stalnom izvorišnom sustavu s većom brzinom strujanja nakupljanje organske tvari na umjetnim podlogama, pogotovo iz riparijske vegetacije, bilo je izazovno zbog aktivne brzine strujanja vode. Time je razvoj autotrofne produkcije i perifitona zbog osvjetljenosti imao bitnu ulogu u dostupnosti hrane i posljedično brojnosti pojedinih skupina.

Za razliku od stabilnih izvorišnih sustava, u povremenim vodotocima isti funkcionalni procesi odvijaju se unutar znatno promjenjivijeg hidrološkog okvira. U ovom istraživanju sastav zajednice pokazao je snažnu vremensku strukturiranost, pri čemu su se broj dana nakon plavljenja (DAR) i sezonske promjene temperature vode izdvojili kao ključni čimbenici koji su oblikovali zajednicu, što je potvrđeno i u ranijim istraživanjima (Brysiewicz i sur., 2022; Bonacina i sur., 2023). Temperatura je postupno rasla s porastom DAR-a, odražavajući sezonsko zagrijavanje, dok je DAR istodobno označavao sukcesijsku fazu razvoja zajednice. Brzo naseljavanje i izražene vremenske promjene brojnosti odrazile su se i na obrasce alfa raznolikosti, koja je bila primarno uvjetovana sezonskim razlikama, vjerojatno, među ostalim, pod utjecajem godišnje varijabilnosti oborina (Perkin i sur., 2021). Suprotno istraživanom stabilnom sustavu, u povremenom potoku zasjenjenost nije imala statistički značajan utjecaj na strukturu zajednice. Umjesto toga, količina akumulirane organske tvari, osobito one nakupljene tijekom suhe faze, predstavljala je jedan od ključnih čimbenika u oblikovanju zajednice nakon plavljenja. Time se pokazuje da u dinamičnim sustavima dostupnost resursa i sukcesijska faza nadilaze utjecaj lokalnih mikrostanišnih razlika (Karaouzas i sur., 2018).

Godina 2018. bila je 20–30 % sušnija od 2017. i 2019., a prisutnost snježnog pokrivača tijekom uzorkovanja u veljači 2018. vjerojatno je smanjila dostupnost vode i unos resursa tijekom zimskog razdoblja (CMHS – Croatian Meteorological and Hydrological Service, 2026). Posljedično je zabilježena niža ukupna srednja brojnost i niži Shannonov indeks raznolikosti u veljači 2018. u odnosu na veljaču 2019. S druge strane, iako je početkom 2019. na dijelovima potoka zabilježeno zaleđivanje, ono nije rezultiralo značajnim padom brojnosti ili raznolikosti, što se može objasniti činjenicom da led nije bio prisutan na uzorkovanim postajama, što je zabilježeno i u drugim lotičkim sustavima (Scotti i sur., 2019; Tian i sur., 2022). Najizraženiji pad raznolikosti zabilježen je u travnju (119 dana nakon plavljenja), unatoč najvećoj ukupnoj srednjoj brojnosti jedinki. Moguće je da ovakav obrazac upućuje na stabilizaciju zajednice, pri čemu su slabiji kompetitori postupno nestajali ili smanjivali brojnost, dok su kompetitivno uspješnije svojite povećavale svoj udio u zajednici (Zawal i sur., 2016). Posljedično je došlo do smanjenja raznolikosti uslijed dominacije manjeg broja svojiti. Rezultati također pokazuju da su pojedine svojite koje su naselile stanište u ranim fazama nakon plavljenja kasnije nestale ili im je brojnost znatno opala, što potvrđuje sukcesijsku dinamiku i postupnu kompetitivnu selekciju unutar zajednice (Řezníčková i sur., 2007; Brysiewicz i sur., 2022).

Zajednice makrozoobentosa u povremenim vodotocima obilježene su svojstama s prilagođenim životnim ciklusima i rasprostranjivanjem, što im omogućuje preživljavanje presušivanja i brzo naseljavanje korita nakon plavljenja (Stubbington i sur., 2017a; Fournier i sur., 2023). Temperatura vode i DAR kao ključni čimbenici koji su oblikovali zajednicu, jasno su razdvojile rane uzorke nakon plavljenja (5–25 dana) od kasnijih (84–119 dana). Prema tome se prihvaća pretpostavka da je dinamika naseljavanja makrozoobentosa na različite tipove podloge uvjetovana okolišnim čimbenicima u stalnom i povremenom lotičkom staništu.

Rezultati su pokazali da su pojedine svoje bile jasno povezane s određenim fazama nakon plavljenja. Povećane brojnosti vrsti *Micropsectra* sp. (Chironomidae), *Asellus aquaticus* (Isopoda) i reda Amphipoda u travnju (119 dana nakon plavljenja) vjerojatno su povezane s višim temperaturama vode, odnosno sezonalnošću, kako je već ranije navedeno. Iako rod *Micropsectra* (Chironomidae) obuhvaća široki raspon staništa, od hladnih i termalnih izvora do mezotrofnih jezera i povremenih sustava (Andersen i sur., 2013), prijašnja istraživanja navode njihovu učestalost u toplijem dijelu godine te sezonske promjene u položaju unutar sedimenta, pri čemu se organizmi premještaju u dublje ili pliće slojeve ovisno o uvjetima (Ivković i sur., 2015), što je u skladu s obrascem uočenim u ovom istraživanju. Drugačiji obrazac pokazali su vrste *Mesocricotopus thienemanni* (Chironomidae) i *Siphonurus aestivalis* (Ephemeroptera), koji su bili brojniji u hladnijem razdoblju, u veljači 2019. (89 dana nakon plavljenja). Vrsta *S. aestivalis* (Ephemeroptera) obilježava visoka ekološka tolerancija, niski zahtjevi za kisikom, mogućnost postizanja visoke gustoće populacije te sposobnost jajašaca da podnesu isušivanje (Fiedler i Bohle, 1994), što povećava preživljavanje sušnog razdoblja i iskorištavanje povoljnih uvjeta nakon plavljenja (Řezníčková i sur., 2013; Straka i sur., 2019). Vrsta *M. thienemanni* (Chironomidae) često se povezuje sa staništima niže brzine strujanja vode i lentičkim staništima (Andersen i sur., 2013), a u ovom istraživanju njegova prisutnost u svim dijelovima potoka može se povezati sa s hidromorfološki izmijenjenim dijelovima vodotoka, u kojima dolazi do lokalnog zadržavanja vode i formiranja sporotekućih ili gotovo stajaćih mikrostaništa s duljim zadržavanjem vode (ujezerenje), uz posljedično smanjen *drift* na pojedinim lokacijama.

Iako se alfa raznolikost nije statistički značajno razlikovala među dijelovima potoka, bila je nešto manja u nizvodnim antropogeno utjecanim dijelovima, obilježenima većom osvjetljenošću i prisutnošću umjetno stvorenog ujezerenja (proširenja korita potoka). Uklanjanje priobalne vegetacije može lokalno povećati heterogenost staništa i raznolikost (Banks i sur., 2007), dok stalno umjetno jezero može predstavljati stabilan refugij koji olakšava

nizvodno naseljavanje (npr. *drift*) i doprinosi stabilnijim obrascima kroz vrijeme (Doretto i sur., 2018; Fournier i sur., 2023). Međutim, dobiveni rezultati pokazuju da antropogeni utjecaj nije bio primarni čimbenik koji je određivao raznolikost, odnosno strukturu zajednice.

Kada se analizira zajednica po dijelu toka u uzvodnom prirodnom dijelu potoka (N), unatoč očekivanoj visokoj sličnosti zajednica u ranoj fazi nakon plavljenja (Pařil i sur., 2019b), zabilježena su određena odstupanja. U travnju (119 dana nakon plavljenja) u uzvodnom prirodnom dijelu potoka (N), najviše brojnosti vrste *Micropsectra* sp. (Chironomidae), kao i *Asellus aquaticus* (Isopoda) te reda Amphipoda, vjerojatno su odražavale povoljne uvjete staništa i veću dostupnost organske tvari, a ne isključivo utjecaj zasjenjenosti (Bućan i Miliša, 2023; Leroy i sur., 2023). Navedene skupine poznate su kao detritivori ili usitnjivači, pri čemu organska tvar, listinac i drugi oblici POM-a, predstavlja njihov primarni izvor hrane (Moog i Hartmann, 2017). Osim toga, prijašnja istraživanja navode da upravo u proljetnom razdoblju, kada dolazi do povećane dostupnosti organske tvari i intenzivnije detritalne obrade, ove skupine često dosežu vrhunac brojnosti (Chalmandrier i sur., 2025; Ergović i sur., 2025). Zajednice u antropogeno utjecanom dijelu (A) razlikovale su se od uzvodnog prirodnog dijela (N) većom brojnošću vrste *Nemoura* sp. (Plecoptera), uz dominantnu porodicu Chironomidae (Diptera). Ovaj obrazac može se povezati s promjenama korita (suženje i produbljivanje) koje su utjecale na hidrodinamiku i brzinu strujanja, što je odgovaralo svojstama tipičnim za uzvodnija ili staništa s većom brzinom strujanja (Becker i sur., 2025). Iako je brojnost usitnjivača često negativno povezana s prekidom tečenja zbog smanjenja CPOM-a tijekom sušnih faza (Pinna i sur., 2016; Piano i sur., 2020), prilagodbe roda *Nemoura* (Plecoptera), ubrzan ličinački razvoj i sposobnost preživljavanja u stadiju dormantnog jajeta ili ranih stadija ličinke, omogućuju život i brzo ponovno pojavljivanje nakon plavljenja u povremenim staništima (Piano i sur., 2020; Becker i sur., 2025). Predstavnici svojti Amphipoda i Oligochaeta imali su najveće brojnosti u nizvodnom kombiniranom dijelu potoka (NA), obilježenog akumulacijom finog sedimenta i organske tvari, što odgovara njihovim poznatim ekološkim sklonostima (Moog i Hartmann, 2017; Mathers i sur., 2022b). Distribucija račića Copepoda bila je u skladu s njihovom povezanošću s lentičkim i hiporeičkim staništima te tolerancijom na promjenjive fizikalno-kemijske čimbenike, budući da su najveće srednje brojnosti zabilježene na lokacijama oko jezera (uzvodno i nizvodno) (Bruno i sur., 2012; Doretto i sur., 2018; Tabilio Di Camillo i sur., 2023).

Zaključno, rezultati ne podupiru u potpunosti pretpostavku da se makrozoobentos u povremenom lotičkom staništu uspješnije vraća u početno ravnotežno stanje na lokacijama gdje je manje izražen antropogeni učinak onečišćenja hranjivim tvarima. Procesi naseljavanja odvijali su se usporednim intenzitetom među dijelovima potoka, a značajna razlika u raznolikosti između pojedinih dijelova potoka nije zabilježena. Sezonalnost i sukcesijska faza imale su snažniji utjecaj na strukturu zajednice od lokalnog antropogenog opterećenja. U povremenom potoku dominantan čimbenik nije bio mikrostanišni gradijent (kao u izvorišnom području), nego sukcesijska faza nakon plavljenja i sezonski termički režim. Iako nisu bile statistički značajne, lokalne prostorne razlike među dijelovima potoka su se vjerojatno odražavale na raspodjelu resursa i lokalnu hidrodinamiku.

Također, rezultati djelomično prihvaćaju pretpostavku da količina organske i anorganske tvari ima utjecaj na dinamiku naseljavanja makrozoobentosa u stalnom i povremenom lotičkom staništu, premda se intenzitet i način tog utjecaja razlikuju između sustava. U stalnom izvorišnom potoku zabilježeno je statistički značajno povećanje količine organske (POM) i anorganske tvari (PIM) s povećanjem vremena izloženosti umjetnih podloga, što upućuje na postupnu akumulaciju hrane i razvoj mikrostaništa pogodnih za naseljavanje. S obzirom na nedostatak dostupnih literaturnih podataka, ovaj rezultat predstavlja jedan od prvih uvida u dinamiku akumulacije POM-a i PIM-a na umjetnim podlogama u stabilnom krškom izvorišnom lotičkom staništu. Pritom su utvrđene pozitivne korelacije između količine akumulirane organske tvari i brojnosti pojedinih svojti, što potvrđuje da je dostupnost hrane jedan od ključnih čimbenika rane dinamike naseljavanja u hidrološki stabilnom sustavu (Bo i sur., 2014; Sertić Perić i sur., 2015; Bućan i Miliša, 2023). U povremenom potoku, utvrđene su značajne razlike u količini akumulirane organske tvari među dijelovima potoka, osobito u uzvodnom prirodnom (N) i nizvodnom kombiniranom dijelu (NA) u kojima je bilo više akumulirane organske tvari nego u antropogeno utjecanom dijelu potoka (A), što odražava razlike u morfologiji korita, zasjenjenosti i zadržavanju vode tijekom sušne faze. Iako izravne statističke korelacije između količine POM-a i pojedinih svojti nisu bile potvrđene, poznate ekološke značajke upućuju na njihovu povezanost s POM-om kao primarnim izvorom hrane (Moog i Hartmann, 2017). Stoga se može zaključiti da je akumulirana organska tvar tijekom sušne faze, imala važnu ulogu u oblikovanju rane sukcesijske dinamike nakon plavljenja. Nasuprot tome, anorganska tvar (PIM) nije pokazala izražen učinak na strukturu zajednice jer se radilo o maloj količini finog sedimenta prikupljenog zajedno s listincem koji nije predstavljao bitnu

komponentu. Time se potvrđuje da je u oba tipa lotičkih staništa organska tvar imala važnu funkcionalnu ulogu u procesu naseljavanja (Miliša i sur., 2006b; Wantzen, 2006).

### **Indikatorske svojte i dinamika naseljavanja nakon plavljenja**

Pojedine svojte pokazale su se kao indikatori specifičnih faza nakon plavljenja. U najranijem uzorkovanju (5 dana nakon plavljenja) zajednica je bila obilježena jednim izraženim indikatorom, redom Coleoptera, ali uz vrlo nisku brojnost. Rodovi Coleoptera zabilježeni u toj fazi (npr. *Agabus*, *Hydroporus*) su izvrsni letači, što im omogućava uspješno naseljavanje novih staništa u potrazi za hranom i/ili za polaganje jajašaca (Malmquist i sur., 1991; Jäch i Balke, 2008; Moog i Hartmann, 2017) te često naseljavaju podloge s finim sedimentom (Dąbkowski i sur., 2016), koji je dominirao u istraživanom potoku. Stoga, u ranoj fazi naseljavanja dominiraju mobilne, oportunističke i generalističke svojte sposobne brzo iskoristiti novodostupna staništa (Westveer i sur., 2018; Pintar i Resetarits Jr, 2020).

Najveći broj indikatorskih svojti je zabilježen u prijelaznoj fazi naseljavanja (25 dana nakon plavljenja), među kojima su se istaknule vrste *Nemoura* sp. (Plecoptera) te *Hydrobaenus* sp. i *Diplocladius cultriger* (Chironomidae), uz nekoliko drugih oportunističkih skupina. Ovakav obrazac upućuje na prijelaznu fazu naseljavanja, u kojoj porast stabilnosti staništa i dostupnosti niša omogućuje uspostavljanje svojti tipičnih za povremene sustave te prijelaz prema stabilnijoj zajednici (Chaves i sur., 2008). Rod *Hydrobaenus* (Chironomidae) svojstven je za povremene vodotoke i prilagođen fazi presušivanja, uključujući estivaciju u drugom stadiju ličinačkog razvoja. Pretežito se hrane detritusom i nastanjuju sustave niske brzine strujanja (Moller Pillot, 2013). Vrsta *D. cultriger* (Chironomidae) često se navodi kao vrsta iz gornjih tokova povremenih vodotoka, ali se javlja i u malim potocima i izvorima s muljevitom podlogom i krupnijim detritusom. Vrsta je rijetko zabilježena u jezerima, ali može biti prisutna u manjim stajaćicama i brojna je u sustavima niske brzine strujanja koji presušuju tijekom ljeta (Moller Pillot, 2013). Prema dobivenim rezultatima može se zaključiti da svojte svojstvene za slabiju brzinu strujanja i s prilagodbama na presušivanje mogu brzo naseliti stanište u ranim fazama nakon plavljenja, ali značajnije brojnosti postižu tek nakon približno mjesec dana, kada se uvjeti stabiliziraju što omogućuje njihov daljnji razvoj.

Indikatorske svojte analizirane u odnosu na prostornu raspodjelu dijelova potoka i prisutnost antropogenog utjecaja pokazale su jasan obrazac izdvajanja u uzvodnom prirodnom dijelu potoka (N), osobito tijekom ranih faza naseljavanja (5–25 dana nakon plavljenja). Vrsta

*Parametrioctenemus stylatus* (Chironomidae), kao i porodica Cecidomyiidae (Diptera) te svojta Hydrachnidia (Arachnida) izdvojili su se kao pioniri u dijelu koji je obilježen većom dostupnošću organske tvari i većom zasjenjenošću. Ovi rezultati upućuju da je rano naseljavanje u povremenim vodotocima za pojedine skupine potaknuto u staništima bogatim listincem i sporije razgradivom organskom tvari, koja osigurava i izvor hrane i prikladna mikrostaništa (Cañedo-Argüelles i sur., 2016; Miliša i sur., 2022; Bućan i Miliša, 2023). Rano pojavljivanje vrste *P. stylatus* (Chironomidae) u skladu je s podacima da ima sklonost prema zasjenjenim izvorima i malim potocima s nižom brzinom strujanja te se primarno hrani na sporo razgradivoj organskoj tvari (Moller Pillot, 2013). Iako su podaci o ekologiji porodice Cecidomyiidae (Diptera) u slatkovodnim sustavima ograničeni (Glime, 2017), njihova učestala pojava tijekom ranih uzorkovanja nakon plavljenja upućuje na prilagodbe na ovakva staništa i potencijalnu ulogu u ranoj fazi naseljavanja. Svojta Hydrachnidia (Arachnida) su gotovo sveprisutne u svim tipovima slatkovodnih sustava (Di Sabatino i sur., 2008; Pozojević i sur., 2020), a njihova rana prisutnost u uzvodnom prirodnom dijelu potoka (N) može upućivati na povoljnije uvjete staništa. Ranija istraživanja navode da su Hydrachnidia (Arachnida) često odsutne iz sustava u kojima je struktura sedimenta narušena ili je kakvoća vode smanjena organskim onečišćenjem (Di Sabatino i sur., 2008), što bi moglo upućivati na nižu razinu antropogenog pritiska u uzvodnom dijelu (N). Iako tijekom terenskih opažanja u uzvodnom prirodnom dijelu potoka (N) nisu uočeni jasni znakovi onečišćenja, ne može se u potpunosti isključiti prisutnost niskog ili povremenog opterećenja. Valja pritom naglasiti da su Hydrachnidia samo jedan od bioindikatora stanja staništa te da njihova prisutnost sama po sebi nije dostatna za konačnu procjenu razine antropogenog utjecaja. Stoga ovaj nalaz prije svega sugerira da izraženiji antropogeni pritisak u tom dijelu potoka vjerojatno nije bio prisutan, odnosno nije bio dovoljno intenzivan da značajno utječe na naseljavanje Hydrachnidia. Dobiveni rezultati ukazuju da su pioniri nakon plavljenja sastavljeni od više oportunističkih svojti umjerene indikatorske snage, dok su kasnije faze obilježene manjim brojem specijaliziranih svojti, što odražava pomak prema stabilizaciji zajednice (Pařil i sur., 2019b).

Indikatorske svojte jasno razgraničavaju *ranu*, *prijelaznu* i *stabilizacijsku* fazu nakon plavljenja te potvrđuju da se sukcesija u povremenom sustavu odvija usmjereno, kroz promjene u dostupnosti niša i resursa. Na osnovi rezultata pretpostavka da makrozoobentos povremenog lotičkog staništa uspješnije naseljava područje s više organske tvari na prirodnoj podlozi je samo djelomično prihvaćena budući da je značajna količina pionirskih svojti zabilježena samo u uzvodnom prirodnom dijelu u ranoj fazi nakon plavljenja. Stoga količina dostupne organske

tvori može imati važnu ulogu u oblikovanju dinamike ranog naseljavanja pojedinih svojti, čak i kada se taj utjecaj ne odražava izravno na razini cijelog istraživanog područja (von Schiller i sur., 2017).

### **Dnevno-noćne migracije**

Zajednica makrozoobentosa pokazala je promjene dinamike naseljavanja umjetnih podloga između dana i noći u stalnom izvorišnom dijelu potoka, naglašavajući važnost uključivanja doba dana u istraživanja sastava zajednice (Bućan i Miliša, 2023). Iako nisu utvrđene značajne razlike u ukupnoj brojnosti i raznolikosti između dnevnih i noćnih uzoraka, uočeni su jasni obrasci kod porodica Diptera (Simuliidae i Chironomidae), koji su bili brojniji na podlogama noću nego danju. Takav obrazac u skladu je s poznatim ponašanjem koje može biti potaknuto prisutnošću kompetitora i grabežljivaca (npr. ribe) (Ferreiro, 2014). Dnevno-noćne migracije nisu značajno mijenjale ukupnu brojnost zajednice, ali su otkrile obrasce ponašanja pojedinih skupina, što je važno za interpretaciju ranog naseljavanja na umjetne podloge.

### **Beta raznolikost**

Dok je alfa raznolikost opisivala promjene cjelokupne zajednice kroz vrijeme, beta raznolikost pružila je uvid u odnose zamjene svojti (eng. *turnover*) i dobitka ili gubitka, odnosno ugniježđenosti svojti (eng. *nestedness*) u strukturiranju sastava. Dobiveni rezultati beta raznolikosti u stalnom izvorišnom području pokazuju da tijekom izloženosti umjetnih podloga nije dolazilo do zamjene svojti, već postupnog nadograđivanja. Veći doprinos ugniježđenosti u odnosu na zamjenu svojti upućuje na to da su se nove svojte postupno pridruživale već prisutnima. Takav obrazac očekivan je u stabilnim izvorišnim sustavima, gdje odsutnost izraženih hidromorfoloških poremećaja ne potiče snažnu sukcesijsku zamjenu svojti, nego omogućuje postupno popunjavanje dostupnog prostora, pri čemu rani kolonizatori ostaju prisutni, a nove svojte im se pridružuju. Iako nema mnogo istraživanja o beta raznolikosti makrozoobentosa u izvorišnim područjima (Cívik i sur., 2022; Kreiling i sur., 2022), rezultat upućuje da su umjetne podloge predstavljale stabilno stanište na kojem su se organizmi zadržavali.

Za razliku od stalnog sustava, u povremenom potoku zabilježena je umjerena beta raznolikost između uzorkovanja što upućuje na brzo, ali strukturirano preslagivanje sastava u ranoj fazi nakon plavljenja. Te promjene bile su izraženije povezane sa zamjenom svojti nego s ugniježđenošću, pri čemu se zamjena svojti ističe kao dominantan proces u ranoj fazi

naseljavanja povremenog potoka, što potvrđuju i raniji nalazi (Doretto i sur., 2021b). Visoke vrijednosti zamjene svojti neposredno nakon plavljenja vjerojatno odražavaju brzi dolazak pionira kolonizatora iz refugija hiporeika, *driftom* iz uzvodnih dijelova potoka (ako je bilo prisutne vode) te širenjem zrakom, dok je dio njih kasnije zamijenjen drugim skupinama što upućuje na intenzivne promjene neposredno nakon plavljenja. Zajednice zabilježene neposredno nakon plavljenja jasno su se razlikovale od onih u kasnijim fazama, što upućuje na brzo, ali usmjereno naseljavanje, a ne na nasumičnu akumulaciju svojti (Pařil i sur., 2019b; Doretto i sur., 2020). U kasnijoj fazi naseljavanja (84–119 dana nakon plavljenja) raste komponenta ugnježdjenosti, što upućuje na postupno učvršćivanje zajednice, neke rane svojte nestaju, dok dominantne i bolje prilagođene ostaju i povećavaju brojnost (Pařil i sur., 2019b; Doretto i sur., 2020). Ovakav obrazac odgovara nalazima iz drugih povremenih sustava, gdje je rana sukcesija obilježena visokim vrijednostima zamjene svojti, a potom rastom ugnježdjenosti kako se zajednice stabiliziraju (Pařil i sur., 2019b; Crabot i sur., 2020). Beta raznolikost jasno razdvaja stabilni izvor (ugniježdjenost bez zamjene) od povremenog potoka (rana zamjena svojti pa ugniježdjenost), prema čemu se može zaključiti kako su procesi naseljavanja uvjetovani režimom poremećaja.

Zaključno, ovaj rad predstavlja prvu sveobuhvatnu analizu naseljavanja zajednice makrozoobentosa u dva tipa lotička vodena staništa, stalnom i povremenom, što predstavlja novi i originalni znanstveni doprinos. Primjenom umjetnih podloga koje oponašaju vodenu vegetaciju u stabilnom izvorišnom sustavu te sezonskom analizom dinamike naseljavanja u povremenom potoku cilj ovog rada je bio objasniti ekološku uvjetovanost okolišnih čimbenika i sezonalnosti naseljavanja zajednice na različite tipove podloga, utvrditi kako antropogeni učinak utječe na zajednicu i koliko je potrebno za povratak u početno ravnotežno stanje. Rezultati su jasno potvrdili utjecaj okolišnih čimbenika, pri čemu su se u stalnom izvorišnom sustavu zasjenjenost i brzina strujanja izdvojili kao ključni čimbenici sastava i strukture zajednice, dok su u povremenom potoku presudni bili broj dana nakon plavljenja i temperatura vode kao pokazatelji sukcesijske faze. Većina analiziranih svojti u stalnom izvorišnom dijelu potoka ima sklonost prema osvjetljenom dijelu potoka i slobodnim podlogama, a porodice Gammaridae (Amphipoda), Baetidae (Ephemeroptera), Simuliidae (Diptera) i Chironomidae (Diptera) istaknuli su se kao skupine izraženog kolonizacijskog potencijala te kao pioniri naseljavanja. U stalnom sustavu proces naseljavanja odvijao se postupno i bez izražene zamjene svojti. To potvrđuje visoku stabilnost fizikalno-kemijskih uvjeta izvorišnog ekosustava i naglašava važnost mikrostaništa u oblikovanju zajednice makrozoobentosa. Suprotno tome, u

povremenom potoku dinamika zajednice bila je obilježena izraženim sukcesijskim preslagivanjem nakon plavljenja, pri čemu su se u ranoj fazi naseljavanja kao pioniri izdvojile svojte Hydrachnidia (Arachnida), Plecoptera, Chironomidae (Diptera), Cecidomyiidae (Diptera) i Coleoptera, dok su kasnije faze pokazale postupnu stabilizaciju i kompetitivnu selekciju svojti. Dobiveni rezultati doprinose boljem razumijevanju načina na koji okolišni čimbenici oblikuju naseljavanje i raspodjelu zajednice makrozoobentosa u vodenim staništima, što je još uvijek nedovoljno istraženo područje, ali istodobno iznimno važno u kontekstu monitoringa, upravljanja i obnove slatkovodnih staništa. Usporedba stabilnog izvora i dinamičnog povremenog potoka pokazala je da dostupnost resursa, sposobnost naseljavanja i sukcesijska selekcija predstavljaju temeljne funkcionalne procese u oba sustava, pri čemu se njihovo djelovanje razlikuje u intenzitetu i vremenskoj dinamici, ovisno o hidrološkom sustavu. Time se omogućuje preciznije tumačenje obrazaca naseljavanja te primjena dobivenih spoznaja u budućim istraživanjima, posebno u kontekstu klimatskih promjena i povećane učestalosti hidroloških poremećaja.

## 6. ZAKLJUČAK

Stalno izvorišno područje potoka Jankovac i povremeni potok Prkos Lasinjski pokazali su se kao prikladni prirodni laboratoriji za proučavanje dinamike naseljavanja makrozoobentosa nakon poremećaja.

U stalnom izvorišnom području ukupno je 3 891 jedinka makrozoobentosa naselila umjetne podloge, raspoređena unutar 10 svojti, 13 porodica, 12 rodova i osam vrsta, dok je u povremenom potoku prikupljeno ukupno 25 777 jedinki, raspoređenih unutar 109 svojti, 32 porodice, 59 rodova i 29 vrsta.

Fizikalno-kemijski čimbenici vode, pH i ukupna količina otopljenih tvari (TDS), razlikovali su se između istraživanih dijelova povremenog potoka. Međutim, između antropogeno utjecanih i neutjecanih dijelova toka nisu utvrđene razlike u koncentracijama nitrata i fosfata, čime se odbacuje pretpostavka da je količina nitrata i fosfata veća na antropogeno utjecanim dijelovima povremenog lotičkog staništa u usporedbi s antropogeno neutjecanim dijelovima toka.

U stalnom izvorišnom području organska tvar se podjednako akumulirala na slobodnim i učvršćenim umjetnim podlogama, dok su razlike u količini anorganske tvari ovisne o tipu frakcije: fina anorganska tvar (FPIM) je bila izraženija na slobodnim, a krupna (CPIM) na učvršćenim podlogama. Time se odbacuje pretpostavka da se veća količina organske i anorganske tvari nakuplja na učvršćenim nego na neučvršćenim umjetnim podlogama u stalnom lotičkom staništu.

U povremenom potoku iako nije utvrđena uvjetovanost u količini organske tvari između antropogeno utjecanih i neutjecanih dijelova potoka, organska tvar akumulirana tijekom sušne faze pokazala kao važan čimbenik budući da je značajna količina pionirskih svojti zabilježena samo u uzvodnom prirodnom dijelu (N) u ranoj fazi nakon plavljenja čime se djelomično prihvaća pretpostavka kako makrozoobentos povremenog lotičkog staništa uspješnije naseljava područje s više organske tvari na prirodnoj podlozi. Također, u stalnom izvorišnom području utvrđena je uvjetovanost količine organske i anorganske tvari s povećanjem vremena izloženosti umjetnih podloga. Time je djelomično prihvaćena pretpostavka kako količina organske i anorganske tvari ima utjecaj na dinamiku naseljavanja makrozoobentosa u stalnom i povremenom lotičkom staništu.

Dinamika naseljavanja makrozoobentosa u oba sustava je snažno uvjetovana okolišnim čimbenicima i to u stabilnom izvorišnom sustavu najviše s zasjenjenošću korita, temperaturom vode i brzinom strujanja vode, dok u povremenom potoku s brojem dana nakon ponovnog plavljenja (DAR) i temperaturom vode. Time se prihvaća pretpostavka da je dinamika naseljavanja makrozoobentosa na različite tipove podloge uvjetovana okolišnim čimbenicima u stalnom i povremenom lotičkom staništu.

Raznolikost makrozoobentosa bila je veća u povremenom potoku nego u stalnom izvorišnom području, pri čemu nisu ustanovljene razlike između dijelova potoka, naročito s aspekta antropogenog učinka. Stoga, odbacuje se pretpostavka da je raznolikost makrozoobentosa veća u stalnom nego u povremenom lotičkom staništu, u kojemu je pak raznolikost veća na antropogeno neutjecanim dijelovima toka.

U stabilnom izvorišnom sustavu prevladavaju mikrostanišni čimbenici, dok u povremenom potoku dominira vremenska dinamika promjena zajednice. Rane faze nakon plavljenja obilježene su pionirskim svojstama, osobito u uzvodnom prirodnom dijelu povremenog potoka (N), no bez razlika u ukupnoj raznolikosti između dijelova potoka. Time je samo djelomično prihvaćena pretpostavka kako se makrozoobentos, u povremenom lotičkom staništu, uspješnije vraća u početno ravnotežno stanje na lokacijama gdje je manje izražen antropogeni učinak onečišćenja hranjivim tvarima.

U stalnom izvorišnom području makrozoobentos je bio brojniji u osvjetljenom dijelu potoka i na slobodnim podlogama, čime se djelomično prihvaća pretpostavka da je naseljavanje makrozoobentosa na umjetne podloge izraženije na učvršćenim umjetnim podlogama koje se nalaze na osvjetljenom dijelu stalnog lotičkog staništa od naseljavanja na učvršćenim podlogama na zasjenjenom dijelu istog staništa.

U oba istraživana sustava utvrđeno je iznimno brzo naseljavanje makrozoobentosa, pri čemu je u stalnom izvorišnom području naseljavanje umjetnih podloga zabilježeno već nakon 12 sati izloženosti, dok su u povremenom potoku prve pionirske skupine zabilježene već pet dana nakon ponovne uspostave toka, odnosno tijekom prvih uzorkovanja. Kao pioniri naseljavanja u stalnom izvorišnom području izdvojile su se porodice Gammaridae (Amphipoda), Baetidae (Ephemeroptera), Simuliidae (Diptera) i Chironomidae (Diptera), a u povremenom potoku

svojte Hydrachnidia (Arachnida), Plecoptera, Coleoptera, Chironomidae (Diptera) i Cecidomyiidae (Diptera).

Stalni izvorišni i povremeni lotički sustavi predstavljaju dva funkcionalno različita, ali usporediva modela za proučavanje ranih faza naseljavanja makrozoobentosa nakon poremećaja. Stabilni krški izvori mogu se smatrati prirodnim laboratorijima za istraživanje kratkoročnog naseljavanja u kontroliranim uvjetima, dok povremeni potoci pružaju vrijedan model za proučavanje procesa naseljavanja nakon jakih hidroloških poremećaja.

Dobivene spoznaje predstavljaju važan doprinos razumijevanju funkcionalnih procesa u slatkovodnim ekosustavima te mogu poslužiti kao osnova za buduća istraživanja, osobito u kontekstu klimatskih promjena i sve veće učestalosti hidroloških poremećaja.

## 7. LITERATURA

- Acuña V, Datry T, Marshall J, Barceló D, Dahm CN, Ginebreda A, McGregor G, Sabater S, Tockner K, Palmer MA (2014) Why should we care about temporary waterways? *Science* 343(6175):1080–1081.
- Adler PH, Courtney GW (2019) Ecological and societal services of aquatic diptera. *Insects* 10(3):1–23.
- Adobe Inc. (2019) Adobe Illustrator. Adobe Inc., San Jose.
- Agouridis CT, Wesley ET, Sanderson TM, Newton BL (2015) Aquatic Macroinvertebrates: Biological Indicators of Stream Health. Agriculture and Natural Resources Publications 175.
- Andersen T, Cranston PS, Epler JH (2013) Chironomidae of the Holarctic Region – Keys and diagnoses. Part 1: Larvae. *Insect Systematics and Evolution Supplements* 66, 573 str.
- Ann V, Freixa A, Butturini A, Romani AM (2019) Interplay between sediment properties and stream flow conditions influences surface sediment organic matter and microbial biomass in a Mediterranean river. *Hydrobiologia* 828(1):199–212.
- Archaimbault V, Usseglio-Polatera P, Garric J, Wasson JG, Babut M (2010) Assessing pollution of toxic sediment in streams using bio-ecological traits of benthic macroinvertebrates. *Freshwater Biology* 55(7):1430–1446.
- Banks JL, Li J, Herlihy AT (2007) Influence of clearcut logging, flow duration, and season on emergent aquatic insects in headwater streams of the Central Oregon Coast Range. *Journal of the North American Benthological Society* 26(4):620–632.
- Baselga A (2010) Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography* 19(1):134–143.
- Batzer D, Boix D (2016) Invertebrates in Freshwater Wetlands: An International Perspective on their Ecology. Springer International Publishing, Switzerland 647 str.
- Bauernfeind E, Humpesch UH (2001) Die Eintagsfliegen Zentraleuropas (Insecta: Ephemeroptera): Bestimmung und Ökologie. Wien, Verlag NMW 240 str.
- Baumgartner SD, Robinson CT (2017) Short-term colonization dynamics of macroinvertebrates in restored channelized streams. *Hydrobiologia* 784(1):321–335.

- Becker E, Vonk JA, Verdonshot RCM, Klaassen J, Chambers Moreira CJ, Verdonshot PFM, Kraak MHS (2025) Resilience and vulnerability of the stonefly *Nemoura cinerea* to increased temperature and drought. *Aquatic Science* 87:103.
- Blackman RC, Altermatt F, Foulquier A, Lefébure T, Gauthier M, Bouchez A, Stubbington R, Weigand AM, Leese F, Datry T (2021) Unlocking our understanding of intermittent rivers and ephemeral streams with genomic tools. *Frontiers in Ecology and Environment* 19(10):574–583.
- Bo T, Cammarata M, López-Rodríguez MJ, De Figueroa JMT, Baltieri M, Varese P, Fenoglio S (2014) The influence of water quality and macroinvertebrate colonization on the breakdown process of native and exotic leaf types in sub-alpine stream. *Journal of Freshwater Ecology* 29(2):159–169.
- Bogan MT, Boersma KS (2012) Aerial dispersal of aquatic invertebrates along and away from arid-land streams. *Freshwater Science* 31(4):1131–1144.
- Bogan MT, Chester ET, Datry T, Murphy AL, Robson BJ, Ruhi A, Stubbington R, Whitney JE (2017) Resistance, Resilience, and Community Recovery in Intermittent Rivers and Ephemeral Streams. In: Datry T, Bonada N, Boulton AJ (eds) *Intermittent Rivers and Ephemeral Streams* 349–376.
- Bonacci O (2015) Karst hydrogeology/hydrology of Dinaric chain and isles. *Environmental Earth Sciences* 74(1):37–55.
- Bonacci O, Roje-Bonacci T (2000) Interpretation of groundwater level monitoring results in karst aquifers: Examples from the Dinaric karst. *Hydrol Process* 14(14):2423–2438.
- Bonacci O, Terzić J, Roje-Bonacci T, Frangen T (2019) An intermittent karst river: The case of the Čikola river (Dinaric karst, Croatia). *Water* 11:2415.
- Bonacina L, Fasano F, Mezzanotte V, Fornaroli R (2023) Effects of water temperature on freshwater macroinvertebrates: a systematic review. *Biological Reviews* 98:191–221.
- Bonada N, Cañedo-Argüelles M, Gallart F, von Schiller D, Fortuño P, Latron J, Llorens P, Múrria C, Soria M, Vinyoles D, Cid N (2020) Conservation and management of isolated pools in temporary rivers. *Water* 12(10):2870.
- Braccia A, Eggert SL, King N (2014) Macroinvertebrate colonization dynamics on artificial substrates along an algal resource gradient. *Hydrobiologia* 727(1):1–18.

- Bruen M, Rymszewicz A, O'sullivan J, Turner J, Lawler D, Conroy E, Kelly-Quinn M (2017) Sediment Flux - Measurement, Impacts, Mitigation and Implications for River Management in Ireland. EPA Research Report. Environmental Protection Agency, Wexford 72 str.
- Bruno MC, Bottazzi E, Rossetti G (2012) Downward, upstream or downstream? Assessment of meio- and macrofaunal colonization patterns in a gravel-bed stream using artificial substrates. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology* 48(4):371–381.
- Brysiewicz A, Formicki K, Czerniejewski P, Dabrowski J (2022) Characterisation of Benthic Macroinvertebrate Communities in Small Watercourses of the European Central Plains Ecoregion. *Animals* 12:606.
- Bučan D, Miliša M (2023) Circadian (re)colonisation dynamics of macroinvertebrates in an isolated karst spring. *Science Progress* 106(2):1–17.
- Bylak A, Kukuła K (2022) Impact of fine-grained sediment on mountain stream macroinvertebrate communities: Forestry activities and beaver-induced sediment management. *Science of the Total Environment* 832:155079.
- Cañedo-Argüelles M, Bogan MT, Lytle DA, Prat N (2016) Are Chironomidae (Diptera) good indicators of water scarcity? Dryland streams as a case study. *Ecological Indicators* 71:155–162.
- Cantonati M, Gerecke R, Bertuzzi E (2006) Springs of the Alps - sensitive ecosystems to environmental change: from biodiversity assessments to long-term studies. *Hydrobiologia* 562:59-96.
- Casotti CG, Kiffer WP, Costa LC, Rangel JV., Casagrande LC, Moretti MS (2015) Assessing the importance of riparian zones conservation for leaf decomposition in streams. *Natureza & Conservation* 13(2):178–182.
- Chalmandrier L, Cunillera-Montcusí D, López-Rojo N, Cañedo-Argüelles M, Csabai Z, Soria M, Foulquier A, Jabot F, Miliša M, Mykrä H, Pařil P, Pernecker B, Polović L, Sarremejane R, Thibault Datry, Snåre H, Bonada N, Munoz F (2025) Natural Disturbances and Connectivity Drive Seasonal Taxonomic and Trait Patterns of Aquatic Macroinvertebrate Communities Across Europe. *Global Ecology and Biogeography* 34(5):e70047.

- Chattopadhyay S, Oglęcki P, Keller A, Kardel I, Mirosław-Świątek D, Piniewski M (2021) Effect of a Summer Flood on Benthic Macroinvertebrates in a Medium-Sized, Temperate, Lowland River. *Water* 13:885.
- Chaves ML, Rieradevall M, Chainho P, Costa JL, Costa MJ, Prat N (2008) Macroinvertebrate communities of non-glacial high altitude intermittent streams. *Freshwater Biology* 53:55–76.
- Cívik J, Beracko P, Bulánková E, Čiamporová Zaťovičová Z, Gregušová K, Kodada J, Krno I, Mišíková Elexová E, Navara T, Rogánska A, Derka T (2022) Are springs hotspots of benthic invertebrate diversity? Biodiversity and conservation priority of rheocrene springs in the karst landscape. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 32(5):843–858.
- Clarke KR, Gorley RN (2006) PRIMER version 6: User Manual/Tutorial. Primer-E, Plymouth 296 str.
- Clifford HF (1966) The Ecology of Invertebrates in an Intermittent Stream. *Investigations of Indiana Lakes and Streams* 7(2):57–98.
- Croatian Meteorological and Hydrological Service (2026) CMHS – Croatian Meteorological and Hydrological Service. hidro.dhz.hr, pristupljeno 14 travnja 2026.
- Crabot J, Heino J, Launay B, Datry T (2020) Drying determines the temporal dynamics of stream invertebrate structural and functional beta diversity. *Ecography* 43:620–635.
- Cranston PS (1982) A key to the larvae of the British Orthocladiinae (Chironomidae). *Freshwater Biology Association* 45:152.
- Crnčan P, Jagić M (2019) Istraživanje distribucije i stanja vrsta endemskih puževa *Graziana slavonica* i *Graziana papukensis* u Parku prirode Papuk. Hrvatski prirodoslovni muzej i Prirodoslovno-matematičkifakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- Cuppen H, Tempelman D (2018) Identification key for the 4th stage larvae of northwest European species of *Cricotopus* (Diptera: Chironomidae: Orthocladiinae). *Lauterbornia* 85:69–90.
- Dąbkowski P, Buczyński P, Zawal A, Stępień E, Buczyńska E, Stryjecki R, Czachorowski S, Śmietana P, Szenejko M (2016) The impact of dredging of a small lowland river on water beetle fauna (Coleoptera). *Journal of Limnology* 75(3):472–487.

- Dangles O, Guerold F, Usseglio-Polatera P (2001) Role of transported particulate organic matter in the macroinvertebrate colonization of litter bags in streams. *Freshwater Biology* 46(5):575–586.
- Datry T, Corti R, Philippe M (2012) Spatial and temporal aquatic-terrestrial transitions in the temporary Albarine River, France: responses of invertebrates to experimental rewetting. *Freshwater Biology* 57:716–727.
- Datry T, Larned ST, Tockner K (2014) Intermittent rivers: A challenge for freshwater ecology. *BioScience* 64(3):229–235.
- Datry T, Singer G, Sauquet E, Jorda-Capdevila D, Von Schiller D, Stubbington R, Magand C, Pařil P, Miliřa M, Acuña V, Alves MH, Augear B, Brunke M, Cid N, Csabai Z, England J, Froebrich J, Koundouri P, Lamouroux N, Martí E, Morais M, Munné A, Mutz M, Pesic V, Previřić A, Reynaud A, Robinson C, Sadler J, Skoulikidis N, Terrier B, Tockner K, Vesely D, Zoppini A (2017) Science and Management of Intermittent Rivers and Ephemeral Streams (SMIRES). *Research Ideas and Outcomes* 3:e21774.
- Day JC, Mustapha M, Post RJ (2010) The subgenus *Eusimulium* (Diptera: Simuliidae: *Simulium*) in Britain. *Aquatic Insects* 32:281–292.
- De Nadař-Monoury E, Gilbert F, Lecerf A (2014) Forest canopy cover determines invertebrate diversity and ecosystem process rates in depositional zones of headwater streams. *Freshwater Biology* 59(7):1532–1545.
- Death RG (1996) The effect of patch disturbance on stream invertebrate community structure: The influence of disturbance history. *Oecologia* 108(3):567–576.
- Death RG, Collier KJ (2010) Measuring stream macroinvertebrate responses to gradients of vegetation cover: When is enough enough? *Freshwater Biology* 55(7):1447–1464.
- Death RG, Zimmermann EM (2005) Interaction between disturbance and primary productivity in determining stream invertebrate diversity. *Oikos* 111(2):392–402.
- Dell Inc. (2015) Dell Statistica (data analysis software system), version 12.0. Dell Inc., Round Rock.
- Di Sabatino A, Smit H, Gerecke R, Goldschmidt T, Matsumoto N, Cicolani B (2008) Global diversity of water mites (Acari, Hydrachnidia; Arachnida) in freshwater. *Hydrobiologia* 595:303–315.

- Disney RHL (1999) British Dixidae (Meniscus Midges) and Thaumaleidae (Trickle Midges) keys with ecological notes. Freshwater Biological Association, Scientific Publication No. 56, Ambleside 129 str.
- Doi H, Ishida Y, Takemon Y (2024) Canopy cover influences food resources for stream grazers and filter feeders on a reach scale. *Hydrobiologia* 851(2):299–311.
- Dole-Olivier MJ, Marmonier P, Beffy JL (1997) Response of invertebrates to lotic disturbance: Is the hyporheic zone a patchy refugium? *Freshwater Biology* 37(2):257–276.
- Doretto A, Morandini D, Bona F, Falasco E, Fenoglio S (2020) Stay with the flow: How macroinvertebrate communities recover during the rewetting phase in Alpine streams affected by an exceptional drought. *River Research and Applications* 36(1):91–101.
- Doretto A, Piano E, Falasco E, Fenoglio S, Bruno MC, Bona F (2018) Investigating the role of refuges and drift on the resilience of macroinvertebrate communities to drying conditions: An experiment in artificial streams. *River Research and Applications* 34(7):777–785.
- Doretto A, Piano E, Fenoglio S, Bona F, Crosa G, Espa P, Quadroni S (2021a) Beta-diversity and stressor specific index reveal patterns of macroinvertebrate community response to sediment flushing. *Ecological Indicators* 122:107256.
- Doretto A, Receveur JP, Baker EA, Benbow ME, Scribner KT (2021b) Nested analysis of macroinvertebrate diversity along a river continuum: Identifying relevant spatial scales for stream communities. *River Research and Applications* 38(2):334–344.
- Dorić V, Pozojević I, Čerba D, Koh M, Vučković N, Mihaljević Z (2025) From ecoregions to specific habitat conditions: unveiling unexpected insights into beta diversity through chironomid communities. *Aquatic Ecology* 59:1369–1383.
- Dufrêne M, Legendre P (1997) Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67(3):345–366.
- Eggers TO, Martens A (2001) Bestimmungsschlüssel der Süßwasser-Amphipoda (Crustacea) Deutschlands: A key to the freshwater Amphipoda (Crustacea) of Germany. *Lauterbornia* 42:1–68.
- Elbrecht V, Beermann AJ, Goessler G, Neumann J, Tollrian R, Wagner R, Wlecklik A, Piggott JJ, Matthaei CD, Leese F (2016) Multiple-stressor effects on stream invertebrates: A mesocosm experiment manipulating nutrients, fine sediment and flow velocity. *Freshwater Biology* 61(4):362–375.

- Ergović V, Koh M, Vučković N, Rumišek M, Čerba D, Vlaičević B, Mihaljević Z (2025) Spatio-Temporal Distribution of *Limnomysis benedeni* Czerniavsky, 1882 and Other Invaders in the Danube Floodplain Kopački Rit Nature Park, Croatia. *Diversity* 17(9):630.
- Falniowski A, Lewarne B, Rysiewska A, Osikowski A, Hofman S (2021) Crenobiont, stygophile and stygobiont molluscs in the hydrographic area of the Trebišnjica river basin. *ZooKeys* 1047:61–89.
- Fenoglio S, Agosta P, Bo T, Cucco M (2002) Field experiments on colonization and movements of stream invertebrates in an Apennine river (Visone, NW Italy). *Hydrobiologia* 474:125–130.
- Ferreiro N (2014) Evidence on Night Movements of Macroinvertebrates to Macrophytes in a Pampean Stream. *Open Journal of Modern Hydrology* 4:95–100.
- Fiedler A, Bohle HW (1994) Ephemeroptera sommertrockener Bäche in Oberhessen. *Entwicklungszyklen und Populationsstruktur. Lauterbornia* 17:97–110.
- Fournier RJ, de Mendoza G, Sarremejane R, Ruhi A (2023) Isolation controls reestablishment mechanisms and post-drying community structure in an intermittent stream. *Ecology* 104:e3911.
- Gerecke R, Cantonati M, Spitale D, Stur E, Wiedenbrug S (2011) The challenges of long-term ecological research in springs in the northern and southern Alps: Indicator groups, habitat diversity, and medium-term change. *Journal of Limnology* 70(Suppl. 1):168–187.
- Giller PS, Malmquist B (1998) *The Biology of Streams and Rivers*, 1st edn. Oxford University Press, Oxford 296 str.
- Glazier DS (2009) Springs. In: Likens GE (ed) *Encyclopedia of Inland Waters*, vol 1. Academic Press Elsevier, Oxford, 734–755.
- Glime JM (2017) Aquatic insects: Holometabola - Diptera, suborder Nematocera. In: Glime JM (ed) *Bryophyte Ecology*. Michigan Technological University and the International Association of Bryologists, 26 str.
- Glöer P (2002) *Süßwassergastropoden Nord- und Mitteleuropas: Bestimmungsschlüssel, Lebensweise, Verbreitung*, 2nd edn. ConchBooks, Hackenheim 327 str.
- Golden Software LLC (2021) *Grapher* version 16.3. Golden, Colorado.

- Gómez R, Arce MI, Baldwin DS, Dahm CN (2017) Water Physicochemistry in Intermittent Rivers and Ephemeral Streams. In: Datry T, Bonada N, Boulton AJ (eds) Intermittent Rivers and Ephemeral Streams. Academic Press, London 109–134.
- Greathouse EA, Pringle CM, McDowell WH (2006) Do small-scale enclosure/enclosure experiments predict the effects of large-scale extirpation of freshwater migratory fauna? *Oecologia* 149(4):709–717.
- Grgić I, Vilenica M, Brigić A, Dorić V, Previšić A (2022) Seasonal and spatial dynamics of the aquatic insect communities of an intermittent Mediterranean river. *Limnologica* 93:125953.
- Guareschi S, Laini A, Fenoglio S, Paveto M, Bo T (2016) Change does not happen overnight: A case study on stream macroinvertebrates. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 417:21.
- Habdija I, Habdija BP, Matoničkin R, Kučinić M, Radanović I, Miliša M, Mihaljević Z (2004) Current velocity and food supply as factors affecting the composition of macroinvertebrates in bryophyte habitats in karst running water. *Biologia* 59(5):577–593.
- Habdija I, Primc B (2019) *Limnologija - Ekologija slatkih voda*, 1st edn. ALFA, Zagreb 352 str.
- Harvey R, Lye L, Khan A, Paterson R (2011) The influence of air temperature on water temperature and the concentration of dissolved oxygen in Newfoundland Rivers. *Canadian Water Resources Journal* 36(2):171–192.
- Hayashi M (2004) Temperature-electrical conductivity relation of water for environmental monitoring and geophysical data inversion. *Environmental Monitoring and Assessment* 96:119–128.
- Hrvatske vode (2022) River basin management plan of the Republic of Croatia 2022–2027. Hrvatske vode, Zagreb 648 str.
- Hrvatski geološki institut (2009) *Geološka karta Republike Hrvatske*. Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- Huston MA (2014) Disturbance, productivity, and species diversity: Empiricism vs. logic in ecological theory. *Ecology* 95(9):2382–2396.

- Hutchens JJ, Wallace JB, Grubaugh JW (2017) Transport and Storage of Fine Particulate Organic Matter. In: Lamberti GA, Hauer FR (eds) *Methods in Stream Ecology: Third Edition*. Academic Press, London 506 str.
- Hynes HBN (1970) The ecology of stream insects. *Annual Review of Entomology* 15:25–42.
- Ivković M, Miliša M, Baranov V, Mihaljević Z (2015) Environmental drivers of biotic traits and phenology patterns of Diptera assemblages in karst springs: The role of canopy uncovered. *Limnologica* 54:44–57.
- Ivković M, Miliša M, Previšić A, Popijač A, Mihaljević Z (2013) Environmental control of emergence patterns: Case study of changes in hourly and daily emergence of aquatic insects at constant and variable water temperatures. *International Review of Hydrobiology* 98(2):104–115.
- Ivković M, Plant A (2015) Aquatic insects in the Dinarides: Identifying hotspots of endemism and species richness shaped by geological and hydrological history using Empididae (Diptera). *Insect Conservation and Diversity* 8(4):302–312.
- Jäch MA, Balke M (2008) Global diversity of water beetles (Coleoptera) in freshwater. *Hydrobiologia* 595(1):419–442.
- Jäch MA, Brojer M (2006) *Wasserkäfer: Skriptum zum Spezialpraktikum*. Forschungsinstitut für Insektenkunde, Naturhistorisches Museum Wien 426 str.
- Jalžić B, Lajtner J (2011) *Graziana papukensis*. IUCN Red List Threatened Species.
- Javna ustanova Park prirode Papuk (2023) Plan upravljanja Parkom prirode Papuk i pridruženim zaštićenim područjem te područjima ekološke mreže (PU 102) te Papuk UNESCO svjetskim geoparkom. Javna ustanova Park prirode Papuk, Velika 243 str.
- Jedlička L, Kúdela M, Stloukalová V (2004) Key to the identification of blackfly pupae (Diptera: Simuliidae) of Central Europe. *Biologia* 59:157–178.
- Kabir J, Biondi G, Gething KJ, Aspin T, Sykes T, Stubbington R (2024) Spring forth diversity: Specialist species contribute to the conservation value of headwater springs and streams at the landscape scale. *River Research and Applications* 40(5):863–874.
- Karaouzas I, Theodoropoulos C, Vardakas L, Kalogianni E, Skoulikidis NT (2018) A review of the effects of pollution and water scarcity on the stream biota of an intermittent Mediterranean basin. *River Research and Applications* 34:291–299.

- Kerovec M (1988) Ekologija kopnenih voda. Mala ekološka biblioteka, Hrvatsko ekološko društvo 75 str.
- Knezović L, Miliša M, Kalafatić M, Rajević N, Planinić A (2015) A key to the freshwater triclads (Platyhelminthes, Tricladida) of Herzegovina watercourses. *Periodicum Biologorum* 117:425–433.
- Knoz J (1965) To Identification of Czechoslovakian Black-Flies (Diptera, Simuliidae). *Folia Facultatis Scientiarum Naturalium Universitatis Purkynianae Brunensis*, VI(5), Brno 54 str.
- Kreiling AK, Govoni DP, Pálsson S, Ólafsson JS, Kristjánsson BK (2022) Invertebrate communities in springs across a gradient in thermal regimes. *PLoS ONE* 17(5):e0264501.
- Kučinić M, Previšić A, Graf W, Šerić Jelaska L, Stanić-Koštrovan S, Waringer J (2011) Larval description, genetic and ecological features of *Drusus radovanovici radovanovici* Marinković-Gospodnetić, 1971 (Trichoptera, Limnephilidae) with some phylogenetic and taxonomic data on the bosnicus group in the Balkan Peninsula. *Mitteilungen aus dem Museum für Naturkunde Berlin - Deutsche Entomologische Zeitschrift* 58(1):135–153.
- Kulaš A, Gulin V, Matoničkin Kepčija R, Žutinić P, Sertić Perić M, Orlić S, Kajan K, Stoeck T, Lentendu G, Čanjevac I, Martinić I, Gligora Udovič M (2021) Ciliates (Alveolata, Ciliophora) as bioindicators of environmental pressure: A karstic river case. *Ecological Indicators* 124:107430.
- Lafuente W, Carpio AJ, Alcácer C, Moreno JL (2023) Spatio-temporal variability of physicochemical conditions in the headwaters of neotropical streams. *Journal of South American Earth Sciences* 126:1–8.
- Lancaster J, Briers RA (2008) *Aquatic insects: Challenges to Populations*. CABI 332 str.
- Larsen S, Pace G, Ormerod SJ (2011) Regional frameworks applied to hydrology: can landscape-based frameworks capture the hydrologic variability? *River Research and Applications* 27(2):257–267.
- Leberfinger K, Herrmann J (2010) Secondary production of invertebrate shredders in open-canopy, intermittent streams on the island of land, southeastern Sweden. *Journal of the North American Benthological Society* 29(3):934–944.
- Leigh C, Datry T (2017) Drying as a primary hydrological determinant of biodiversity in river systems: a broad-scale analysis. *Ecography* 40(4):487–499.

- Leroy CJ, Claeson SM, Garthwaite IJ, Thompson MA, Thompson LJ, Kamakawiwo BK, Froedin AM, Victoria M, Joy M, Hobbs MR, Stancheva R, Albano CM, Finn DS (2023) Canopy development influences early successional stream ecosystem function but not biotic assemblages. *Aquatic Science* 85(3):77.
- Levenstein B, Lento J, Culp J (2021) Effects of prolonged sedimentation from permafrost degradation on macroinvertebrate drift in Arctic streams. *Limnology and Oceanography* 66:S157–S168.
- Ligeiro R, Moretti MS, Gonçalves JF, Callisto M (2010) What is more important for invertebrate colonization in a stream with low-quality litter inputs: Exposure time or leaf species? *Hydrobiologia* 654(1):125–136.
- Linares MS, Callisto M, Macedo DR, Hughes RM (2021) Chronic urbanization decreases macroinvertebrate resilience to natural disturbances in neotropical streams. *Current Research in Environmental Sustainability* 3:100095.
- Loskotová B, Straka M, Polášek M, Dostálová A, Pařil P (2021) Macroinvertebrate seedbank survival in pristine and nutrient-enriched intermittent streams and its contribution to flow phase communities. *Hydrobiologia* 848:1911–1923.
- Mackay R (1992) Colonization by Lotic Macroinvertebrates: A review of processes and patterns. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49:617–628.
- Magand C, Alves MH, Calleja E, Datry T, Dörflinger G, England J, Gallart F, Gómez R, Jorda-Capdevila D, Marti E, Munne A, Pastor VA, Stubbington R, Tziortzis I, Von Schiller D (2020) Intermittent Rivers and Ephemeral streams: What water managers need to know. Technical report – Cost ACTION CA 15113 181 str.
- Malmquist B, Rundle S, Brönmark C, Erlandsson A (1991) Invertebrate colonization of a new, man-made stream in southern Sweden. *Freshwater Biology* 26(2):307–324.
- Mathers KL, Doretto A, Fenoglio S, Hill MJ, Wood PJ (2022a) Temporal effects of fine sediment deposition on benthic macroinvertebrate community structure, function and biodiversity likely reflects landscape setting. *Science of the Total Environment* 829: 154612.
- Mathers KL, Robinson CT, Weber C (2022b) Patchiness in flow refugia use by macroinvertebrates following an artificial flood pulse. *River Research and Applications* 38(4):696–707.

- Matoničkin Kepčija R, Habdija I, Primc-Habdija B, Miliša M (2006) Simuliid silk pads enhance tufa deposition. *Archiv für Hydrobiologie* 166(3):387–409.
- Matthaei CD, Uehlinger U, Meyer EI, Frutiger A (1996) Recolonization by benthic invertebrates after experimental disturbance in a Swiss prealpine river. *Freshwater Biology* 35(2):233–248.
- Mauch E (2017) Aquatische Diptera-Larven in Mittel-, Nordwest- und Nordeuropa. Übersicht über die Formen und ihre Identifikation. *Lauterbornia* 83 404 str.
- Mauri M, Elli T, Caviglia G, Uboldi G, Azzi M (2017) RAWGraphs: A visualisation platform to create open outputs. *Proceedings of CHIItaly '17, Cagliari* 5 str.
- Merten EC, Snobl ZR, Wellnitz TA (2014) Microhabitat influences on stream insect emergence. *Aquatic Sciences* 76(2):165-172.
- Mičetić Stanković V, Bruvo Mađarić B, Kučinić M (2022) Ubiquitous but Ignored? A Case of Water Beetle in Southeastern Europe. *Diversity* 14(1):26.
- Mičetić Stanković V, Jäch MA, Ivković M, Stanković I, Kruzić P, Kučinić M (2019) Spatio-temporal distribution and species traits of water beetles along an oligotrophic hydrosystem: A case study. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology* 55:22.
- Mičetić Stanković V, Jäch MA, Kučinić M (2015) Annotated checklist of Croatian riffle beetles (Insecta: Coleoptera: Elmidae). *Natura Croatica* 24(1):93–109.
- Miliša M, Belančić A, Kepčija RM, Sertić-Perić M, Ostojić A, Habdija I (2010a) Calcite deposition in karst waters is promoted by leaf litter breakdown and vice versa. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology* 46(4):225–232.
- Miliša M, Habdija I, Primc-Habdija B, Radanović I, Kepčija RM (2006a) The role of flow velocity in the vertical distribution of particulate organic matter on moss-covered travertine barriers of the Plitvice Lakes (Croatia). *Hydrobiologia* 553(1):231–243.
- Miliša M, Ivković M (2023) *Plitvice lakes*, 1st edn. Springer Nature 372 str.
- Miliša M, Kepčija RM, Radanović I, Ostojić A, Habdija I (2006b) The impact of aquatic macrophyte (*Salix* sp. and *Cladium mariscus* (L.) Pohl.) removal on habitat conditions and macroinvertebrates of tufa barriers (Plitvice Lakes, Croatia). *Hydrobiologia* 573(1):183–197.

- Miliša M, Stubbington R, Datry T, Cid N, Bonada N, Šumanović M, Milošević D (2022) Taxon-specific sensitivities to flow intermittence reveal macroinvertebrates as potential bioindicators of intermittent rivers and streams. *Science of Total Environment* 804:150022.
- Miliša M, Živković V, Habdija I (2010b) Destructive effect of quarry effluent on life in a mountain stream. *Biologia* 65(3):520–526.
- MINGOR (2021) Pravilnik o popisu stanišnih tipova i karti staništa. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Zagreb 7 str.
- Mishra B, Kumar P, Saraswat C, Chakraborty S, Gautam A (2021) Water Security in a Changing Environment: Concept, Challenges and Solutions. *Water* 13(4):490.
- Moller Pillot HKM (2013) Chironomidae Larvae, vol 3: Aquatic Orthocladiinae. KNNV, Zeist 172 str.
- Monteiro J, Vieira C (2017) Determinants of stream bryophyte community structure: bringing ecology into conservation. *Freshwater Biology* 62(4):695–710.
- Monteiro J, Vieira C, Branquinho C (2023) Bryophyte assembly rules across scales. *Journal of Ecology* 111(7):1531–1544.
- Moog O, Hartmann A (2017) Fauna Aquatica Austriaca, 3rd edition. Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management, Wien.
- Moon HP (1935) Methods and apparatus suitable for an investigation of the littoral region of oligotrophic lakes. *International Review of Hydrobiology* 32:319–333.
- Mulholland PJ, Webster JR (2014) Nutrient dynamics in streams and the role of J-NABS. *Journal of the North American Benthological Society* 29(1):100–117.
- Mundahl ND (2025) Characterizing Stream Condition with Benthic Macroinvertebrates in Southeastern Minnesota, USA: Agriculture, Channelization, and Karst Geology Impact Lotic Habitats and Communities. *Insects* 16:59.
- Naiman RJ, Sedell JR (1979) Characterization of Particulate Organic Matter Transported by Some Cascade Mountain Streams. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 36(1):17–31.
- Nilsson A (1996) Aquatic Insects of North Europe, vol 1. Apollo Books, Stenstrup 274 str.

- Nilsson A (1997) Aquatic insects of Northern Europe. A taxonomic handbook, vol 2: Odonata. Diptera. Apollo Books, Stenstrup 440 str.
- Oester R, Paula C, Oliveira R, Moretti MS, Altermatt F, Bruder A (2023) Leaf-associated macroinvertebrate assemblage and leaf litter breakdown in headwater streams depend on local riparian vegetation. *Hydrobiologia* 850(15):3359–3374.
- Olmi M (1976) Fauna d'Italia. Vol. XII. Coleoptera: Dryopidae, Elminthidae. Vol. XII. Edizioni Calderini, Bologna 280 str.
- Oosterbroek P (2019) Catalogue of the Craneflies of the World (Diptera, Tipuloidea: Pediciidae, Limoniidae, Cylindrotomidae, Tipulidae). <https://ccw.naturalis.nl/>, pristupljeno 15 travnja 2026.
- Ostojić A, Špoljar M, Dražina T (2012) Utjecaj ekoloških čimbenika na raznolikost i brojnost životnih zajednica potoka Jankovac, Park prirode Papuk. *Hrvatske Vode* 20(79):11–21.
- Pallant J (2020) SPSS survival manual: a step by step guide to data analysis using IBM SPSS, 7th edn. Open University Press. McGraw-Hill Education, London 362 str.
- Pařil P, Leigh C, Polářek M, Sarremejane R, Řezníčková P, Dostálová A, Stubbington R (2019a) Short-term streambed drying events alter amphipod population structure in a central European stream. *Fundamental and Applied Limnology* 193(1):51–64.
- Pařil P, Polářek M, Loskotová B, Straka M, Crabot J, Datry T (2019b) An unexpected source of invertebrate community recovery in intermittent streams from a humid continental climate. *Freshwater Biology* 64:1971–1983.
- Perkin JS, Papraniku IF, Gibbs WK, Hoeninghaus DJ, Walker DM (2021) Temporal trajectories in metacommunity structure: Insights from interdisciplinary research in intermittent streams. *WIREs Water* 8(4):e1531.
- Pešić V, Dmitrović D, Savić A, Milošević Đ, Zawal A, Vukašinović-Pešić V, Von Fumetti S (2019) Application of macroinvertebrate multimetrics as a measure of the impact of anthropogenic modification of spring habitats. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 29(3):341–352.
- Petrič M, Kogovšek J (2005) Hydrogeological characteristics of the area of intermittent karst lakes of Pivka. *Acta Carsologica* 34(3):599–618.

- Phillips ID, Prestie KS (2017) Evidence for substrate influence on artificial substrate invertebrate communities. *Environmental Entomology* 46(4):926–930.
- Piano E, Doretto A, Falasco E, Gruppuso L, Bona F, Fenoglio S (2020) Flow intermittency negatively affects three phylogenetically related shredder stoneflies by reducing CPOM availability in recently intermittent Alpine streams in SW-Italian Alps. *Hydrobiologia* 847:4049–4061.
- Piczak ML, Perry D, Cooke SJ, Harrison I, Benitez S, Koning A, Peng L, Limbu P, Smokorowski KE, Salinas-Rodriguez S, Koehn JD, Creed IF (2024) Protecting and restoring habitats to benefit freshwater biodiversity. *Environmental Reviews* 32(3):438–456.
- Pinna M, Marini G, Cristiano G, Mazzotta L, Vignini P, Cicolani B, Di Sabatino A (2016) Influence of aperiodic summer droughts on leaf litter breakdown and macroinvertebrate assemblages: testing the drying memory in a Central Apennines River (Aterno River, Italy). *Hydrobiologia* 782:111–126.
- Pintar MR, Resetarits Jr WJ (2020) Aquatic beetles influence colonization of disparate taxa in small lentic systems. *Ecology and Evolution* 10(21):12170–12182.
- Pozojević I, Pešić V, Goldschmidt T, Gottstein S (2020) Crenal habitats: Sources of water mite (Acari: Hydrachnidia) diversity. *Diversity* 12(9):316.
- Previšić A, Ivković M, Miliša M, Kerovec M (2013) Caddisfly (Insecta: Trichoptera) fauna of Papuk Nature Park, Croatia. *Natura Croatica* 22(1):1–13.
- Previšić A, Walton C, Kućinić M, Mitrikeski PT, Kerovec M (2009) Pleistocene divergence of Dinaric *Drusus* endemics (Trichoptera, Limnephilidae) in multiple microrefugia within the Balkan Peninsula. *Molecular Ecology* 18(4):634–647.
- Progar R, Moldenke AR (2009) Aquatic insect emergence from headwater streams flowing through regeneration and mature forests in western Oregon. *Journal of Freshwater Ecology* 24(1):53–66.
- Radoman P (1983) Hydrobioidea - a superfamily of Prosobranchia (Gastropoda). Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade 256 str.
- Ravbar N, Engelhardt I, Goldscheider N (2011) Anomalous behaviour of specific electrical conductivity at a karst spring induced by variable catchment boundaries: The case of the Podstenjšek spring, Slovenia. *Hydrological Processes* 25(13):2130–2140.

- Reiss M, Chiffard P (2015) Hydromorphology and Biodiversity in Headwaters — An Eco-Faunistic Substrate Preference Assessment in Forest Springs of the German Subdued Mountains. In: Blanco JA, Lo Y-H, Shovonlal R (eds) Biodiversity in Ecosystems - Linking Structure and Function. IntechOpen 205–240.
- Resh VH, Hannaford M, Jackson JK, Lamberti GA, Mendez PK (2011) The biology of the limnephilid caddisfly *Dicosmoecus gilvipes* (Hagen) in Northern California and Oregon (USA) Streams. *Zoosymposia* 5(1):413–419.
- Řezníčková P, Pařil P, Zahrádková S (2007) The ecological effect of drought on the macroinvertebrate fauna of a small intermittent stream - An example from the Czech Republic. *International Review of Hydrobiology* 92(4–5):514–526.
- Řezníčková P, Tajmrová L, Pařil P, Zahrádková S (2013) Effects of drought on the composition and structure of benthic macroinvertebrate assemblages - a case study. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 61(6):1853–1865.
- Ríos-Touma B, Prat N, Encalada AC (2011) Invertebrate drift and colonization processes in a tropical andean stream. *Aquatic Biology* 14(3):233–246.
- Risse-Buhl U, Küsel K (2009) Colonization dynamics of biofilm-associated ciliate morphotypes at different flow velocities. *European Journal of Protistology* 45(1):64–76.
- Rivosecchi L (1984) Ditteri (Diptera). Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane. Stamperia Valdonega, Verona 176 str.
- Rosenbergh DM, Resh VH (1982) The Use of Artificial Substrates in the Study of Freshwater Benthic Macroinvertebrates. In: Cairns JJ (ed) *Artificial Substrates*. Ann Arbor, Michigan 175–235.
- Rozkošný R, Kniepert F-W (2000) Insecta: Diptera: Stratomyidae, Tabanidae. Süßwasserfauna von Mitteleuropa. Spektrum, Heidelberg 204 str.
- Sánchez-Fernández D, Abellán P, Mellado A, Velasco J, Millán A (2006) Are water beetles good indicators of biodiversity in Mediterranean aquatic ecosystems? The case of the Segura river basin (SE Spain). *Biodiversity and Conservation* 15(14):4507–4520.
- Sánchez-Montoya MM, von Schiller D, Barberá GG, Diaz AM, Arce MI, del Campo R, Tockner K (2018) Understanding the effects of predictability, duration, and spatial pattern of drying on benthic invertebrate assemblages in two contrasting intermittent streams. *PLoS ONE* 13(3):e0193933.

- Santiago J, Molinero J, Pozo J (2011) Impact of timber harvesting on litterfall inputs and benthic coarse particulate organic matter (CPOM) storage in a small stream draining a eucalyptus plantation. *Forest Ecology and Management* 262(6):1146–1156.
- Sauquet E, van Meerveld I, Gallart F, Sefton C, Parry S, Gauster T, Laaha G, Alves MH, Arnaud P, Banasik K, Beaufort A, Bezdan A, Datry T, De Girolamo AM, Dörflinger G, Elçi A, Engeland K, Estrany J, Fialho A, Fortesa J, Hakoun V, Karagiozova T, Kohnova S, Kriauciuniene J, Morais M, Ninov P, Osuch M, Reis E, Rutkowska A, Stubbington R, Tzoraki O, Želazny M (2020) A catalogue of European intermittent rivers and ephemeral streams. Technical report SMIRES COST Action CA15113 100 str.
- Schlenker A, Brauns M, Fink P, Lorenz AW, Weitere M (2024) Long-term recovery of benthic food webs after stream restoration. *Science of the Total Environment* 923:171499.
- Schmid PE (1993) Random patch dynamics of larval Chironomidae (Diptera) in the bed sediments of a gravel stream. *Freshwater Biology* 30:239–255.
- Schröder M, Kiesel J, Schattmann A, Jähnig SC, Lorenz AW, Kramm S, Keizer-Vlek H, Rolauffs P, Graf W, Leitner P, Hering D (2013) Substratum associations of benthic invertebrates in lowland and mountain streams. *Ecological Indicators* 30:178–189.
- Schwendel AC, Joy MK, Death RG, Fuller IC (2011) A macroinvertebrate index to assess stream-bed stability. *Marine and Freshwater Research* 62(1):30–37.
- Scotti A, Jacobsen D, Tappeiner U, Bottarin R (2019) Spatial and temporal variation of benthic macroinvertebrate assemblages during the glacial melt season in an Italian glacier-fed stream. *Hydrobiologia* 827:123–139.
- Šegota T, Filipčić A (2003) Köppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje. *Geoadria* 8(1):17–37.
- Sertić Perić M, Jakopović S, Primc B (2015) Seasonal drift-benthos trends on a moss-covered tufa barrier within a karst barrage hydrosystem (Plitvice Lakes, Croatia). *Natura Croatica* 24(2):223–246.
- Shelford VE, Eddy S (1929) *Methods for the Study of Stream Communities*. *Ecology* 10(4):382–391.

- Shumilova O, Zak D, Datry T, von Schiller D, Corti R, Foulquier A, Obrador B, Tockner K, Altermatt F, Arce MI, Arnon S, Banas D, Banegas-Medina A, Beller E, Blanchette ML, Blanco-Libreros JF, Blessing J, Boëchat IG, Boersma K, Bogan MT, Bonada N, Bond N, Brintrup K, Bruder A, Burrows R, Cancellario T, Carlson SM, Cauvy-Fraunié S, Cid N, Danger M, de Terra B F, De Girolamo AM, del Campo R, Dyer F, Elozegi A, Faye E, Febria C, Figueroa R, Four B, Gessner MO, Gnohossou P, Cerezo RG, Gómez-Gener L, Graça MAS, Guareschi S, Gücker B, Hwan JL, Kubheka S, Langhans SD, Leigh C, Little C, Lorenz S, Marshall J, McIntosh A, Mendoza-Lera C, Meyer EI, Miliša M, Mlambo MC, Moleón M, Negus P, Niyogi D, Papatheodoulou A, Pardo I, Pařil P, Peřić V, Rodríguez-Lozano P, Rolls RJ, Sánchez-Montoya MM, Savić A, Steward A, Stubbington R, Taleb A, Vander Vorste R, Waltham N, Zoppini A, Zarfl C (2019) Simulating rewetting events in intermittent rivers and ephemeral streams: a global analysis of leached nutrients and organic matter. *Global Change Biology* 25(5):1591–1611.
- Siegel S, Castellan JNJ (1988) *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences*, 2nd edn. McGraw-Hill, London 399 str.
- Smith H, Wood PJ (2002) Flow permanence and macroinvertebrate community variability in limestone spring systems. *Hydrobiologia* 487:45–58.
- Soós N, Boda P, Csabai Z (2009) First confirmed occurrences of *Notonecta maculata* and *N. meridionalis* (Heteroptera: Notonectidae) in Hungary with notes, maps, and a key to the *Notonecta* species of Hungary. *Folia Entomologica Hungarica* 70:67–78.
- Špoljar M, Dražina T, Ostojić A, Miliša M, Udovič MG, Štafa D (2012) Bryophyte communities and seston in a karst stream (Jankovac Stream, Papuk Nature Park, Croatia). *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology* 48(1):125–138.
- Stoch F, Gerecke R, Pieri V, Rossetti G, Sambugar B (2011) Exploring species distribution of spring meiofauna (Annelida, Acari, Crustacea) in the south-eastern Alps. *Journal of Limnology* 70(Suppl 1):65–76.
- Straka M, Polášek M, Syrovátka V, Stubbington R, Zahrádková S, Němejcová D, Šikulová L, Řezníčková P, Opatřilová L, Datry T, Pařil P (2019) Recognition of stream drying based on benthic macroinvertebrates: A new tool in Central Europe. *Ecological Indicators* 106:105486.

- Stubbington R, Bogan MT, Bonada N, Boulton AJ, Datry T, Leigh C, Vander Vorste R (2017a) The Biota of Intermittent Rivers and Ephemeral Streams: Aquatic Invertebrates. In: Datry T, Bonada N, Boulton AJ (eds) Intermittent Rivers and Ephemeral Streams. Academic Press, London 217-243.
- Stubbington R, Chadd R, Cid N, Csabai Z, Miliša M, Morais M, Munné A, Pařil P, Peřić V, Tziortzis I, Verdonschot RCM, Datry T (2018) Biomonitoring of intermittent rivers and ephemeral streams in Europe: Current practice and priorities to enhance ecological status assessments. *Science of the Total Environment* 618:1096–1113.
- Stubbington R, England J, Wood PJ, Sefton CEM (2017b) Temporary streams in temperate zones: recognizing, monitoring and restoring transitional aquatic-terrestrial ecosystems. *WIREs Water* 4(4):e1223.
- Sundermann A, Lohse S, Beck LA, Haase P (2007) Key to the larval stages of aquatic true flies (Diptera), based on the operational taxa list for running waters in Germany. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology* 43:61–74.
- Suren AM, Duncan MJ (1999) Rolling stones and mosses: Effect of substrate stability on bryophyte communities in streams. *Journal of the North American Benthological Society* 18(4):457–467.
- Tabilio Di Camillo A, Diana Maria PG, Fiasca B, Di Cicco M, Galmarini E, Vaccarelli I, Di Lorenzo T (2023) Variation in Copepod Morphological and Life History Traits along a Vertical Gradient of Freshwater Habitats. *Environments* 10:199.
- ter Braak CJF, Šmilauer P (2012) Canoco reference manual and user's guide: software for ordination (ver. 5.0). Microcomputer Power, Ithaca 496 str.
- The R Core Team (2025) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna 3909 str.
- Tian Y, Liu Y, Gao Y, Cui D, Zhang W, Jiao Z, Yao F, Zhang Z, Yang H (2022) The Impacts of the Freezing–Thawing Process on Benthic Macroinvertebrate Communities in Riffles and Pools: A Case Study of China's Glacier-Fed Stream. *Water* 14:983.
- Topić J, Ilijanić L, Tvrtković N, Nikolić T (2006) Staništa: Priručnik za inventarizaciju, kartiranje i praćenje stanja. Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb 64 str.
- Townsend CR, Scarsbrook MR, Doledec S (1997) The intermediate disturbance hypothesis, and biodiversity in streams. *Limnology and Oceanography* 42(5):938–949.

- Vallenduuk H, Moller Pillot H (2007) Chironomidae Larvae of the Netherlands and Adjacent Lowlands – General ecology and Tanypodinae. KNNV Publishing, Zeist 172 str.
- Vander Vorste R, Malard F, Datry T (2016) Is drift the primary process promoting the resilience of river invertebrate communities? A manipulative field experiment in an intermittent alluvial river. *Freshwater Biology* 61:1276–1292.
- Velić I, Vlahović I (2009) Tumač geološke karte 1:300.000. Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- Verkaik I, Rieradevall M, Cooper SD, Melack JM, Dudley TL, Prat N (2013) Fire as a disturbance in mediterranean climate streams. *Hydrobiologia* 719(1):353–382.
- Vilenica M, Bilić M, Mičetić Stanković V, Kučinić M (2018a) Mayfly ecological traits in a European karst spring: Species, microhabitats and life histories. *Community Ecology* 19(3):248–258.
- Vilenica M, Brigić A, Sartori M, Mihaljević Z (2018b) Microhabitat selection and distribution of functional feeding groups of mayfly larvae (Ephemeroptera) in lotic karst habitats. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 419:1–12.
- Vilenica M, Ergović V, Mihaljević Z (2018c) Mayfly (Ephemeroptera) assemblages of a Pannonian lowland mountain, with first records of the parasite *Symbiocladius rhithrogenae* (Zavrel, 1924) (Diptera: Chironomidae). *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology* 54:31.
- Vilenica M, Gattolliat JL, Mihaljević Z, Sartori M (2015) Croatian mayflies (Insecta, Ephemeroptera): Species diversity and distribution patterns. *ZooKeys* 2015(523):99–127.
- Vilenica M, Previšić A, Vinković L, Rebrina F, Matoničkin Kepčija R, Rumišek M, Brigić A (2025) Spatial patterns of Trichoptera diversity and assemblage structure in the Mediterranean Dinaric karst intermittent rivers in the Western Balkans. *Aquatic Ecology* 59(2):741–753.
- Vilenica M, Rebrina F, Ružanović L, Rumišek M, Matoničkin Kepčija R, Brigić A (2023) Are Intermittent Rivers in the Karst Mediterranean Region of the Balkans Suitable as Mayfly Habitats? *Diversity* 15:155.
- Vilenica M, Ternjaj I, Mihaljević Z (2021) What is new in Croatian mayfly fauna? *Natura Croatica* 30(1):73–83.

- Vlahović T (2010) Geologija za građevinare. Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Split 293 str.
- Vodeneeva E, Pichugina Y, Zhurova D, Sharagina E, Kulizin P, Zhikharev V, Okhapkin A, Ermakov S (2024) Epiplastic Algal Communities on Different Types of Polymers in Freshwater Bodies: A Short-Term Experiment in Karst Lakes. *Water* 16:3288.
- von Schiller D, Bernal S, Dahm CN, Martí E (2017) Nutrient and Organic Matter Dynamics in Intermittent Rivers and Ephemeral Streams. In: Datry T, Bonada N, Boulton AJ (eds) *Intermittent Rivers and Ephemeral Streams*. Academic Press, London 135-160.
- Wang F, Chen H, Lian J, Fu Z, Nie Y (2020) Hydrological response of karst stream to precipitation variation recognized through the quantitative separation of runoff components. *Science of Total Environment* 748:142483.
- Wantzen KM (2006) Physical pollution: Effects of gully erosion on benthic invertebrates in a tropical clear-water stream. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 16(7):733–749.
- Waringer J, Graf W (2011) Atlas der mitteleuropäischen Köcherfliegenlarven – Atlas of Central European Trichoptera Larvae. Erik Mauch Verlag, Dinkelscherben 468 str.
- Westveer JJ, van der Geest HG, van Loon EE, Piet F, Verdonschot M (2018) Connectivity and seasonality cause rapid taxonomic and functional trait succession within an invertebrate community after stream restoration. *PLoS ONE* 13(5):e0197182.
- Wolters JW, Verdonschot RCM, Schoelynck J, Verdonschot PFM, Meire P (2018) The role of macrophyte structural complexity and water flow velocity in determining the epiphytic macroinvertebrate community composition in a lowland stream. *Hydrobiologia* 806:157-173.
- Williams HC, Ormerod SJ, Bruford MW (2006) Molecular systematics and phylogeography of the cryptic species complex *Baetis rhodani* (Ephemeroptera, Baetidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 40(2):370–382.
- Wulf P, Pearson RG (2017) Mossy stones gather more bugs: moss as habitat, nurseries and refugia for tropical stream invertebrates. *Hydrobiologia* 790(1):167–182.
- Yoshimura M, Kubota T (2022) Evaluation of sunlight penetration through riparian forest and its effects on stream biota. *Global Ecology and Conservation* 34:e02043.

- Zaninović K, Gajić-Čapka M, Perčec Tadić M, Vučetić M, Milković J, Bajić A, Cindrić K, Cvitan L, Katušin Z, Kaučić D, Likso T, Lončar E, Lončar Ž, Mihajlović D, Pandžić K, Patarčić M, Srnec L, Vučetić V (2008) Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961-1990, 1971-2000. Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb 200 str.
- Zawal A, Czachorowski S, Stępień E, Buczyńska E, Szlauer-Łukaszewska A, Buczyński P, Stryjecki R, Dąbkowski P (2016) Early post-dredging recolonization of caddisflies (Insecta: Trichoptera) in a small lowland river (NW Poland). *Limnology* 17(1):71–85.
- Zbinden M, Hieber M, Robinson CT, Uehlinger U (2008) Short-term colonization patterns of macroinvertebrates in alpine streams. *Fundamental and Applied Limnology* 171(1):75–86.
- Zuur AF, Ieno EN, Smith GM (2007) *Analysing Ecological Data*. Springer, New York 672 str.
- Zwick P (2004) Key to the West Palaearctic genera of stoneflies (Plecoptera) in the larval stage. *Limnologica* 34(4):315–348.

## 8. PRILOZI

Prilog 1. Fizikalno-kemijski čimbenici vode u osvjetljenom i zasjenjenom dijelu potoka u stalnom izvorišnom području potoka Jankovac.

Kratice: J: Jutro, V: Večer, TDS: ukupne otopljene tvari.

Doba dana	Vrijeme izloženosti	Zasjenjenost	pH vrijednost	Temperatura vode (°C)	Zasićenost vode kisikom (%)	Koncentracija otopljenog kisika (mg dm <sup>-3</sup> )	Električna vodljivost vode (μS cm <sup>-1</sup> )	TDS (mg dm <sup>-3</sup> )	Salinitet (mg dm <sup>-3</sup> )
J	0	Osvijetljeno	7,63	10,6	99,5	10,47	536	349	261,0
		Zasjenjeno	7,58	10,0	98,8	10,51	541	345	263,0
V	12	Osvijetljeno	7,56	10,6	97,9	10,26	545	349	262,0
		Zasjenjeno	7,74	10,3	98,4	10,41	543	352	264,0
J	24	Osvijetljeno	7,55	10,3	99,1	10,46	396	250	189,6
		Zasjenjeno	7,65	10,2	99,4	10,51	392	254	188,4
V	36	Osvijetljeno	7,63	10,5	99,2	10,44	396	253	188,6
		Zasjenjeno	7,64	10,2	99,7	10,55	395	252	187,5
J	48	Osvijetljeno	7,61	10,3	99,7	10,36	393	254	188,9
		Zasjenjeno	7,64	10,2	100,0	10,63	393	254	188,9
V	60	Osvijetljeno	7,61	10,7	99,6	10,48	395	251	188,9
		Zasjenjeno	7,76	10,5	100,0	10,55	396	253	188,3
J	72	Osvijetljeno	7,71	10,6	100,1	10,58	396	253	188,1
		Zasjenjeno	7,71	10,3	100,6	10,71	393	254	189,0
V	84	Osvijetljeno	7,82	10,6	100,2	10,58	393	250	189,0
		Zasjenjeno	7,85	10,5	100,6	10,63	396	252	187,4
J	96	Osvijetljeno	7,81	10,4	101,2	10,72	392	253	188,3
		Zasjenjeno	7,83	10,2	101,4	10,77	395	251	189,2
V	108	Osvijetljeno	7,81	10,8	100,4	10,47	396	254	187,2
		Zasjenjeno	7,76	10,3	101,1	10,69	395	250	185,2

## Prilog 1. Nastavak.

J	120	Osvijetljeno	7,85	10,4	101,5	10,69	392	246	187,7
		Zasjenjeno	7,75	10	101,8	10,83	398	254	188,4
V	132	Osvijetljeno	7,81	10,1	103,2	10,97	391	252	187,2
		Zasjenjeno	7,77	10,1	102,1	10,84	395	250	188,8

## Prilog 2. Fizikalno-kemijski čimbenici vode u povremenom potoku u Prkosu Lasinjskom. Kratice: DAR: broj dana nakon plavljenja, TDS: ukupne otopljene tvari.

Uzorkovanje (DAR)	Lokacija	Brzina strujanja vode $v_{max}$ ( $m s^{-1}$ )	pH vrijednost	Temperatura vode ( $^{\circ}C$ )	Zasićenost vode kisikom (%)	Koncentracija otopljenog kisika ( $mg dm^{-3}$ )	Električna vodljivost vode ( $\mu S cm^{-1}$ )	TDS ( $mg dm^{-3}$ )	Salinitet ( $mg dm^{-3}$ )
U1 (84)	1	0,11	7,45	2,8	97,6	13,07	86,0	60,0	42,0
	2	0,15	6,74	2,8	98,9	13,30	76,6	48,5	36,0
	3	0,38	7,04	3,2	100,1	13,40	68,9	44,0	31,5
	4	0,04	6,82	3,7	101,3	13,35	68,8	44,6	32,5
	5	0,44	6,20	3,7	101,6	13,35	69,0	43,4	33,4
	6	0,11	6,10	4,0	101,4	13,12	67,6	43,4	31,7
	7	0,27	6,20	3,9	99,7	12,99	69,8	43,8	32,9
	8	0,22	5,83	3,6	94,6	12,37	68,1	43,4	31,9
	9	0,02	5,69	3,5	95,4	12,51	68,0	43,5	31,8
	10	0,24	6,10	3,8	93,0	12,17	67,9	43,0	31,9
U2 (119)	1	0,13	8,19	13,2	93,9	9,81	88,0	55,0	41,5
	2	0,15	7,73	13,4	94,7	9,84	74,7	47,5	35,2
	3	0,09	7,13	15,2	104,7	10,40	74,6	47,4	34,5
	4	0,04	7,11	17,2	107,5	10,20	73,0	47,2	34,5
	5	0,09	7,60	16,7	108,0	10,46	71,6	45,2	33,7
	6	0,04	7,80	16,3	110,2	10,75	58,2	45,0	32,8

## Prilog 2. Nastavak.

U2 (119)	7	0,11	7,48	18,2	106,9	10,00	68,5	43,4	32,5
	8	0,18	6,95	17,4	98,8	9,39	67,9	43,7	38,8
	9	0,02	6,72	17,7	106,7	10,08	68,0	43,3	31,4
	10	0,04	7,19	18,3	100,4	9,37	68,7	43,9	32,4
U3 (5)	1	0,02	7,86	8,3	84,0	9,74	64,3	40,7	33,0
	2	0,15	7,65	8,2	84,2	9,80	60,0	38,8	31,2
	3	0,04	7,50	8,1	82,7	9,64	57,3	36,8	30,0
	4	0,09	7,42	8,2	83,2	9,68	57,4	36,5	29,8
	5	0,18	7,26	8,2	83,0	9,66	57,2	36,7	29,7
	6	0,09	6,88	7,9	84,7	9,92	57,2	36,8	30,0
	7	0,15	6,92	8,0	83,4	9,75	57,7	36,5	29,9
	8	0,09	6,76	7,9	77,0	9,01	54,6	35,2	28,4
	9	0,04	6,67	7,9	76,5	8,97	52,8	33,8	27,6
	10	0,04	6,76	8,0	80,9	9,47	52,2	33,2	27,0
U4 (12)	1	0,02	7,50	6,1	89,6	10,91	52,6	34,0	27,7
	2	0,29	6,90	5,2	88,8	11,07	52,7	33,6	27,2
	3	0,02	6,60	5,6	89,5	11,03	49,9	32,2	26,1
	4	0,09	6,56	5,3	88,6	11,02	50,2	31,9	26,1
	5	0,29	6,52	5,7	89,9	11,05	50,3	32,2	26,0
	6	0,07	6,55	5,5	88,9	11,01	50,1	31,8	26,0
	7	0,27	6,57	6,2	89,4	10,85	50,1	31,9	25,7
	8	0,33	6,61	5,6	84,2	10,38	47,9	31,1	25,2
	9	0,09	6,63	5,5	83,9	10,38	47,4	30,2	24,6
	10	0,09	6,57	5,6	85,7	10,58	46,9	29,8	24,0
U5 (25)	1	0,07	7,06	6,3	87,7	10,75	60,3	38,7	31,1
	2	0,18	7,03	6,0	89,6	11,06	58,0	37,5	30,4

## Prilog 2. Nastavak.

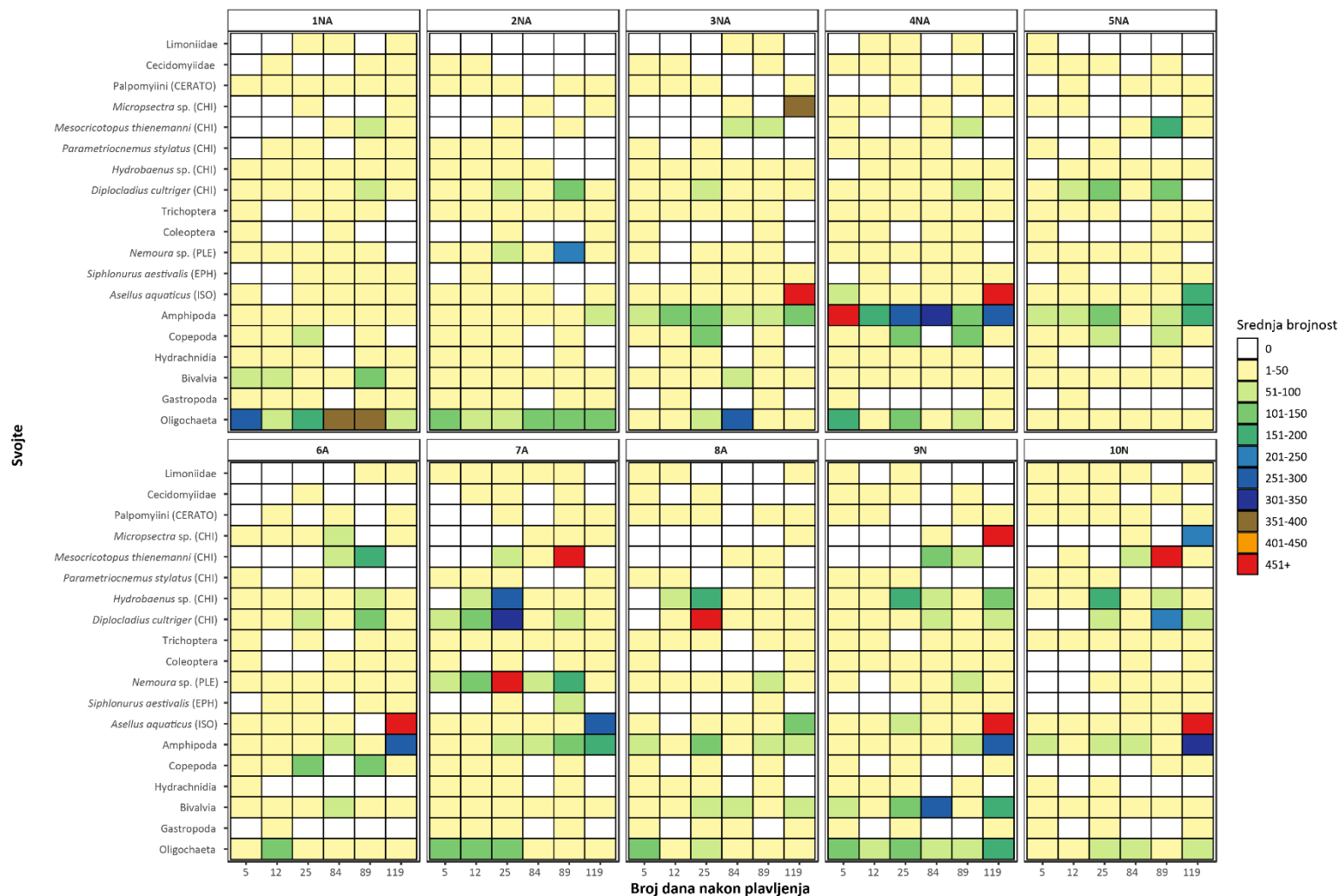
U5 (25)	3	0,02	6,88	5,8	85,0	10,53	53,5	33,7	27,8	
	4	0,09	6,93	6,4	87,1	10,65	53,0	33,8	27,2	
	5	0,27	6,76	6,1	88,5	10,89	51,1	33,4	26,9	
	6	0,07	6,71	6,5	92,2	11,23	50,5	31,9	25,7	
	7	0,11	6,95	6,9	88,3	10,66	49,7	32,2	26,0	
	8	0,09	7,27	6,9	80,9	9,75	45,0	28,4	23,4	
	9	0,09	6,78	6,7	81,4	9,86	43,4	27,7	22,2	
	10	0,09	6,71	6,5	88,2	10,74	42,2	27,5	22,2	
	U6 (89)	1	0,02	7,41	1,8	84,6	11,94	176,5	117	92,5
		2	0,13	7,47	1,9	88,8	12,5	61,6	39,4	32,2
3		0,07	7,33	3,0	92,4	12,63	61,1	39,1	31,7	
4		0,02	7,33	3,8	96,9	12,95	59,4	38,1	30,9	
5		0,07	7,32	4,1	95,3	12,64	59,3	38,1	31,1	
6		0,02	7,20	2,2	104,6	14,58	55,6	35,1	29,0	
7		0,00	7,18	3,2	92,5	12,58	56,5	35,9	28,6	
8		0,02	7,19	4,3	58,0	7,66	52,1	33,6	27,2	
9		0,00	7,10	3,0	60,5	8,25	47,4	30,2	24,7	
10		0,02	6,84	2,1	87,2	12,19	45,8	29,4	23,5	

Prilog 3. Rezultati Kruskal–Wallis testa *s post hoc* usporedbom rangova srednjih vrijednosti za razlike u fizikalno-kemijskim čimbenicima vode između dijelova povremenog potoka (N, A, NA) u Prkosu Lasinjskom. Kratice: N: uzvodni prirodni dio potoka, A: srednji antropogeni dio potoka, NA: nizvodni kombinirani dio potoka, TDS: ukupna količina otopljenih čvrstih tvari, POM: čestice organske tvari.

	H (df = 2; N = 40)	p-vrijednost	NA (rang srednjih vrijednosti)	A (rang srednjih vrijednosti)	N (rang srednjih vrijednosti)
pH vrijednost	8,31	< 0,05	25,58	17,29	12,63
Zasićenost vode kisikom (%)	6,45	< 0,05	23,98	20,67	11,56
TDS (mg dm <sup>-3</sup> )	17,52	<0,01	27,50	17,29	7,81
POM (g)	20,34	<0,01	25,70	7,83	26,50

Prilog 4. Količina akumulirane organske (POM) i anorganske tvari (PIM) tijekom suhe faze u povremenom potoku u Prkosu Lasinjskom. Kratice: N: uzvodni prirodni dio potoka, A: srednji antropogeni dio potoka, NA: nizvodni kombinirani dio potoka, POM: čestice organske tvari, PIM: čestice anorganske tvari.

Lokacija	Dio potoka	m (POM) (g)	m (PIM) (g)
1	NA	5,110	1,010
2	NA	10,255	0,852
3	NA	14,186	1,097
4	NA	31,850	2,023
5	NA	8,125	0,723
6	A	5,138	1,038
7	A	2,113	0,985
8	A	1,254	0,362
9	N	7,174	0,884
10	N	21,041	1,713



Prilog 5. Ukupna srednja brojnost najzastupljenijih svojti makrozoobentosa po četvornom metru na uzorkovanim lokalitetima i tijekom uzorkovanja (broj dana nakon plavljenja) u povremenom potoku u Prkosu Lasinjskom. Kratice: N: uzvodni prirodni dio potoka, A: srednji antropogeni dio potoka, NA: nizvodni kombinirani dio potoka.

## 9. ŽIVOTOPIS

**Denis Bućan, mag. oecol.**, rođen 9. veljače 1993. godine u Zagrebu.

Nakon završetka Prirodoslovne škole Vladimira Preloga u Zagrebu 2011. godine, upisuje preddiplomski studij Znanosti o okolišu na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, gdje 2014. godine stječe akademski naziv sveučilišni prvostupnik struke. Diplomski studij Znanosti o okolišu, smjer, završava 2016. godine, obranivši diplomski rad pod naslovom *Naseljavanje makrozoobentosa na umjetne podloge na izvoru potoka Jankovac (Park prirode Papuk)*.

Od 2016. do 2017. godine obavlja stručno osposobljavanje za zvanje kustosa u Hrvatskom prirodoslovnom muzeju, nakon čega od 2018. do 2023. godine radi kao muzejski tehničar, a od listopada 2023. zaposlen je na radnom mjestu kustosa. U okviru muzejskog rada sudjeluje u terenskim istraživanjima, inventarizaciji, digitalizaciji, zaštiti i održavanju zooloških zbirki, realizaciji novog stalnog postava i povremenih izložbi te stručnom vodstvu posjetitelja. Posebno se ističe rad na entomološkim zbirkama, prepariranju kukaca i zaštiti prirodoslovne građe.

Znanstveno i stručno djeluje u području slatkovodne ekologije, ekologije beskralježnjaka. Sudjelovao je na brojnim projektima inventarizacije, monitoringa i zaštite prirode, uključujući istraživanja leptira, vodenih kornjaša i slatkovodnih beskralježnjaka na području cijele Hrvatske, ali i zaštićenih područja (npr. Park prirode Papuk, Nacionalni park Plitvička jezera te Nacionalni park Krka).

Sudjelovao je u izvođenju praktikumske i terenske nastave na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu od 2017. godine, na kolegijima *Opća ekologije, Entomologija, Ekologija kukaca, Terenska nastava, Terenska nastava iz botanike i zoologije, Beskralježnjaci, Invertebrata i Energetika ekosustava*.

Autor je i koautor 2 znanstvena rada te je sudjelovao na 8 domaćih i međunarodnih znanstvenih i stručnih skupova (6 usmenih priopćenja i 3 posterska priopćenja).

**Znanstveni radovi:**

Bučan D, Miliša M (2023) Circadian (re)colonisation dynamics of macroinvertebrates in an isolated karst spring. *Science Progress*, 106(2): 1–17.

<https://doi.org/10.1177/00368504231166956>

Bučan D, Mičetić Stanković V, Vilenica M, Šumanović M, Miliša M (2025) Studying benthic macroinvertebrates colonisation dynamics in a karst spring: The role of artificial substrates and environment. *Ecologica Montenegrina* 87: 114–134.

<https://doi.org/10.37828/em.2025.87.6>.

**Znanstveni i stručni skupovi:**

**Bučan D**, Miliša M (2017) Dinamika naseljavanja makrozoobentosa na izvorišnom području potoka Jankovac / The dynamics of macroinvertebrate colonization in spring area of Jankovac stream. U: Gračan R i sur. (ur) 2. Simpozij o biologiji slatkih voda. Knjiga sažetaka, 17. veljače 2017., Zagreb. Hrvatsko udruženje slatkovodnih ekologa, Zagreb.

**Bučan D**, Mičetić Stanković V, Babić J, Šašić Kljajo M (2017) Inventarizacija prirodoslovne zbirke – zbirka kukaca Novak / Inventory process of the natural history collection: the Novak insects collection. U: Krklec V i sur. (ur) IV. Kongres muzealaca Hrvatske s međunarodnim sudjelovanjem. Knjiga sažetaka, 11.–14. listopada 2017., Vukovar. Hrvatsko muzejsko društvo, Zagreb.

**Bučan D**, Špoljar M, Dražina T, Fiorentin C, Alegro A, Zrinščak I, Landeka N, Štih A (2019) Benthic invertebrates, fish and zooplankton coupling in freshwater Mediterranean ponds. U: Ivković M i sur. (ur) 3. Simpozij o biologiji slatkih voda. Knjiga sažetaka, 15. veljače 2019., Zagreb. Hrvatsko udruženje slatkovodnih ekologa, Zagreb.

**Bučan D**, Miliša M, Mičetić Stanković V (2019) Colonization of benthic invertebrates in karstic spring area: a case study. U: Bitušić P i sur. (ur) 11th Symposium for European Freshwater Sciences. Book of Abstracts, 30. lipnja – 5. srpnja 2019., Zagreb, Croatia. Hrvatsko udruženje slatkovodnih ekologa, Zagreb.

Dražina T, Špoljar M, Fiorentin C, Polović L, **Bučan D**, Hudina T (2019) Zooplankton in Mediterranean ponds – implications for conservation measures. U: Bitušić P i sur. (ur) 11th Symposium for European Freshwater Sciences. Book of Abstracts, 30. lipnja – 5. srpnja 2019., Zagreb, Croatia. Hrvatsko udruženje slatkovodnih ekologa, Zagreb.

**Bučan D**, Mičetić Stanković V, Miliša M (2022) Intermittent vs. perennial lotic habitat: how fast do they recover? U: Caput Mihalić K i sur. (ur) 14th Croatian Biological Congress. Book of Abstracts, 12.–16. listopada 2022., Pula. Sveučilište Jurja Dobrile u Puli, Fakultet prirodnih znanosti, Pula.

**Bučan D**, Mičetić Stanković V, Šumanović M, Vilenica M, Pozojević I, Miliša M (2023) Benthic macroinvertebrates in an intermittent stream: dynamics of recovery and recolonization patterns. U: Mičetić Stanković V i sur. (ur) 4. Simpozij o biologiji slatkih voda. Knjiga sažetaka, 21. travnja 2023., Zagreb. Hrvatsko udruženje slatkovodnih ekologa, Zagreb.

**Bučan D**, Dorić V, Mičetić Stanković V, Miliša M (2024) Unraveling Chironomidae recolonization dynamics in intermittent streams. U: Milošević Đ, Savić Zdravković D (ur) 22nd International Symposium on Chironomidae. Book of Abstracts, 17.–19. lipnja 2024., Niš, Srbija. Faculty of Sciences and Mathematics, University of Niš, Niš.

**Bučan D**, Mičetić Stanković V, Dorić V, Vilenica M, Šumanović M, Miliša M (2023) Recolonisation dynamics of benthic macroinvertebrates in an intermittent stream. U: Bosak S i sur. (ur) 15. Hrvatski biološki kongres. Zbornik sažetaka, 20.–23. studeni 2025., Zagreb. Hrvatsko biološko društvo, Zagreb.

#### **Sudjelovanje na znanstveno-istraživačkim projektima:**

2025.-2028. Istočnojadranske šavoljike (Ochthebius; Hydraenidae; Coleoptera): Integrativna taksonomija kroz filogenomski pristup (HydrA-PAInT, Hrzz), Institut Ruđer Bošković, vanjski suradnik.

#### **Sudjelovanje na stručnim projektima:**

2017. Monitoring močvarnog plavca (*Phengaris alcon alcon*) te istraživanje kiseličnog vatrenog plavca (*Lycaena dispar*) na području Parka prirode Papuk. Park prirode Papuk, tehničko osoblje.

2018. Prikupljanje entomološkog materijala za potrebe dopune entomološke zbirke Prirodoslovnog muzeja Metković. Prirodoslovni muzej Metković, tehničko osoblje.

2020.-2022. Praćenje močvarnog plavca i kiseličinog vatrenog plavca na području Nacionalnog parka Plitvička jezera. Nacionalni park Plitvička jezera, tehničko osoblje.

2019.-2022. Procjena utjecaja tipa operacije 10.1.3. "Očuvanje travnjaka velike prirodne vrijednosti" na očuvanje travnjačkih staništa i tipa operacije 10.1.5. "pilot mjera za zaštitu leptira" na očuvanje vrsta danjih leptira u Hrvatskoj uz prijedlog poboljšanja provedbe operacija. Ministarstvo poljoprivrede Republike Hrvatske, suradnik.

2021.-2022. SMART - Usluge definiranja SMART ciljeva očuvanja i osnovnih mjera očuvanja ciljnih vrsta i stanišnih tipova Grupa 2: Definiranje ciljeva i mjera očuvanja za nedovoljno poznate vrste leptira. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, tehničko osoblje.

2022.-2023. Usluga razvoja programa praćenja za vrste i stanišne tipove od interesa za EU“ u sklopu OPKK projekta „Razvoj sustava praćenja stanja vrsta i stanišnih tipova Grupa 12. Izrada i razvoj programa praćenja za leptire s jačanjem kapaciteta dionika sustava praćenja i izvješćivanja. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, tehničko osoblje.

2023.-2024. Određivanje stanja vodenih kornjaša na sedrenim barijerama NP „Krka“, Hrvatski prirodoslovni muzej, stručni suradnik.

2023.-2024. Projekt Ecological Interactions 702104. Prirodoslovno-matematički fakultet, vanjski suradnik.

### **Stručno usavršavanje:**

9.–18. travnja 2019. Sudjelovanje na međunarodnom projektu: Drying impact on macroinvertebrate community composition in polluted and non-polluted stream. University of Pecs, Faculty of Sciences, Institute of Biology Department of Hydrobiology, COST Action 15113 SMIRES.

8.–12. prosinca 2025. Sudjelovanje na taksonomskoj radionici: Basic training on Hoverfly Taxonomy – Eastern Region. Novi Sad, Srbija.

**Članstvo:**

Član je Hrvatskog udruženja slatkovodnih ekologa (HUSEk), European Federation for Freshwater Sciences (EFFS) te međunarodne mreže SMIRES (Science and Management of Intermittent Rivers and Ephemeral Streams).