

# Oporavak zajednice makrozoobentosa u obnovljenim tokovima Krke nakon uklanjanja invazivne biljne vrste *Ailanthus altissima*

---

Maruna, Martina

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:353176>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-04**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Martina Maruna

**Oporavak zajednice makrozoobentosa u  
obnovljenim tokovima Krke nakon  
uklanjanja invazivne biljne vrste *Ailanthus*  
*altissima***

Diplomski rad

Zagreb, 2024.

Ovaj rad je izrađen u Laboratoriju za beskralješnjake na Zoologijskom zavodu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, pod mentorstvom prof. dr. sc. Marka Miliše. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra edukacije biologije i kemije.

Najviše želim zahvaliti prof. dr. sc. Marku Miliši na svojoj podršci, motivaciji, savjetima, prenesenom znanju i smijehu u trenucima kad je smijeh bio najpotrebniji. Hvala i na stručnosti, strpljenju i svom izdvojenom vremenu.

Zahvaljujem se i svojoj obitelji na razumijevanju, podršci i ljubavi.

Hvala svim kolegama, prijateljima i kolegama koji su postali prijatelji za cijeli život.

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Biološki odsjek

Diplomski rad

## Oporavak zajednice makrozoobentosa u obnovljenim tokovima Krke nakon uklanjanja invazivne biljne vrste

*Ailanthus altissima*

Martina Maruna

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

U Nacionalnom parku Krka zamijećeno je izraženo širenje invazivne vrste pajasena (*Ailanthus altissima*) koje je uzrokovalo mjestimičnu izmjenu sporednih tokova rijeke Krke. U sklopu projekta za suzbijanje pajasena, jedinice invazivne flore su uklonjene na pokusnoj plohi i obnovljeni su presušeni tokovi. Time je počela i rekolonizacija akvatičkih zajednica. Tijekom 2017. i 2018. godine provela sam istraživanje u trajanju 13 mjeseci o oporavku makrozoobentosa te fizikalno-kemijskom stanju vode na pokusnoj plohi. Istraživačke postaje su bile: kontrolna lokacija u neprekinutom toku i četiri lokacije u nanovo naplavljenim tokovima. Uzorke bentala uzimala sam kružnim jezgriplom. Fizikalno-kemijski parametri vode mjereni su na licu mjesta ili u laboratoriju. Sveukupno je izolirano 17 taksonomskih skupina makrozoobentosa u kojima su dominirale ličinke vodenih kukaca. Mjerenja fizikalno-kemijskih parametara vode pokazala su očekivane sezonske promjene i podjednake uvjete na svim postajama. Izračunom Sørensenovog indeksa sličnosti, dokazana je velika sličnost sastava zajednica kontrolne i ostalih lokacija. Najveća gustoća makrozoobentosa bila je na lokacijama 2 i 3 koje su najbliže kontrolnoj lokaciji. Raznolikost makrozoobentosa slična kontrolnoj lokaciji uspostavljena je otprilike 3 mjeseca nakon obnove tokova. Primarno su obnovljene tokove kolonizirali maločetinaši, mušice svrbljivice i trzalci. Vodencvjetovi, tulari i komarčići kolonizirali su nanovo naplavljenе tokove mjesecima nakon prethodno navedenih skupina.

Ključne riječi: terestifikacija, rekolonizacija, makrobeskralješnjaci, kakvoća vode

(38 stranica, 15 slika, 5 tablica, 63 literaturna navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Mentor: prof. dr. sc. Marko Miliša

Ocjenitelji:

Prof. dr. sc. Marko Miliša

Prof. dr. sc. Ines Radanović

Izv. prof. dr. sc. Nenad Judaš

Rad prihvaćen: 04.07.2024.

---

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Faculty of Science

Department of Biology

Master thesis

# **Macroinvertebrate community recovery in the revitalized channels of Krka River after the removal of invasive plant species**

## *Ailanthus altissima*

Martina Maruna

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

Spread of the invasive species *Ailanthus altissima* was observed in the Krka National Park causing local changes in the Krka River side-streams. As part of the spreading control project, invasive plants were removed from the experimental plot, dried streams were restored and recolonization of aquatic communities started. I conducted a research on the recovery of macroinvertebrate community and the physico-chemical state of water in that area lasting for 13 months in 2017-2018. The research stations were: control location in uninterrupted stream and four locations in newly flooded streams. I took benthic samples with a circular corer. Physico-chemical parameters of water were measured on site or in the laboratory. In total, 17 taxonomic groups of macroinvertebrates were isolated, mostly larvae of aquatic insects. Water physico-chemical parameters measurements showed expected seasonal changes and same conditions at all locations. Sørensen's index of similarity calculation proved similar composition of the communities among all tested locations. Locations 2 and 3 (closest to the control location) showed the highest density of macroinvertebrates. Macroinvertebrate diversity similar to the control site was established after approximately 3 months. Newly

flooded streams were firstly colonized by worms, non-biting midges and blackflies. Mayflies, caddisflies and biting midges colonized them months after.

Keywords: terrestriation, recolonization, macroinvertebrates, water quality

(38 pages, 15 figures, 5 tables, 63 references, original in: Croatian)

Thesis is deposited in Central Biological Library.

Mentor: Prof. Marko Miliša, PhD

Reviewers:

Prof. Marko Miliša, PhD

Prof. Ines Radanović, PhD

Assoc. Prof. Nenad Judaš, PhD

Thesis accepted: 04.07.2024.



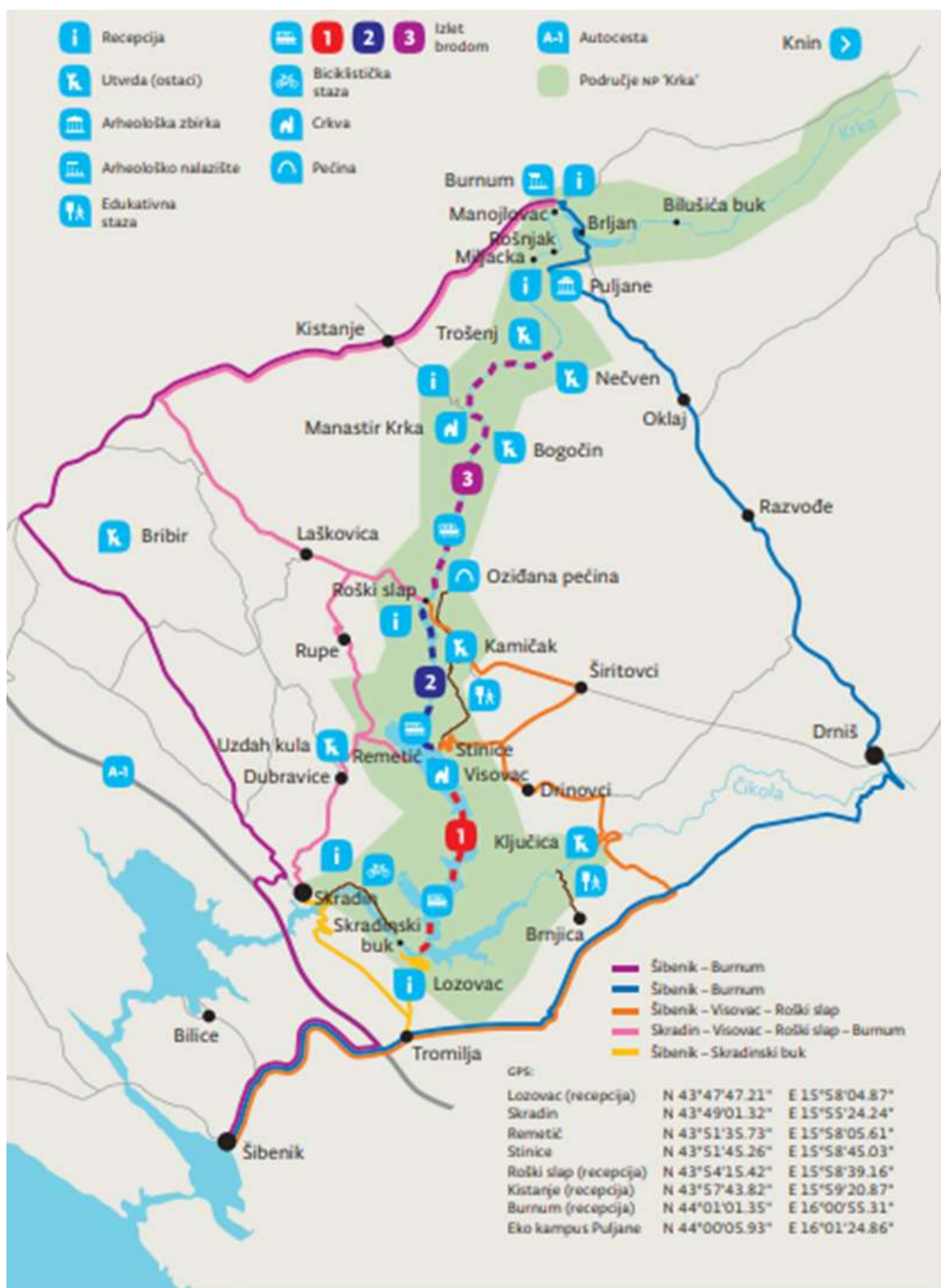
# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
1.1. Nacionalni park Krka .....	1
1.2. Pajasen .....	3
1.3. Makrozoobentos .....	3
1.4. Terestifikacija .....	4
<b>2. CILJ ISTRAŽIVANJA</b> .....	6
<b>3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA</b> .....	7
<b>4. MATERIJALI I METODE</b> .....	9
4.1. Analiza vode .....	9
4.2. Analiza bentala .....	9
<b>5. REZULTATI</b> .....	11
5.1. Fizikalno-kemijski parametri vode .....	11
5.2. Gustoća i sastav zajednice makrozoobentosa .....	18
<b>6. RASPRAVA</b> .....	24
<b>7. ZAKLJUČAK</b> .....	30
<b>8. LITERATURA</b> .....	31
<b>9. ŽIVOTOPIS</b> .....	38

# 1. UVOD

## 1.1. Nacionalni park Krka

Nacionalni park Krka obuhvaća većinom netaknuto područje porječja rijeke Krke, službeno zaštićeno 1985. godine. Ipak, još 1971. godine prepoznata je važnost zaštite rijeke Krke i okolnog područja zbog višestrukih prirodnih vrijednosti koje je bilo potrebno očuvati. Tada je izrađen prostorni plan naziva „Nacionalni park „Krka“: razvojni prostorni plan u cilju proglašenja Nacionalnog parka“. Rijeka Krka izvire u podnožju Dinare, teče kanjonom duljine 75 km, zatim protječe kroz Brljansko, Visovačko i Prokljansko jezero. Rijeka Krka utječe u Šibenski zaljev. Prvotno su granice Parka uključivale geografsko područje (veličine 142 km<sup>2</sup>) od utvrda Nečven i Trošenj do Šibenskog mosta, i dio toka rijeke Čikole duljine 3,5 km. Zbog izgradnje autoceste Zagreb-Split i blizine četiriju gradova, razvoja turizma i ostalih djelatnosti 1997. godine granice su revidirane pa je granica Parka na južnoj strani pomaknuta uzvodno do Skradinskog mosta. Sjeverna je granica pomaknuta blizu Knina. Danas površina Parka od 109 km<sup>2</sup> obuhvaća 50 km gornjeg i srednjeg toka rijeke Krke i donji dio toka rijeke Čikole unutar područja gradova Knina, Skradina, Drniša i Šibenika, te unutar općina Ervenik, Kistanje i Promina. Veliku vrijednost predstavlja i 7 sedrenih slapova: Bilušića buk, Slap Brljan, Manojlovački slap, Slap Rošnjak, Miljacka slap, Roški slap i Skradinski buk (Slika 1.) (Bergam 2012).



Slika 1. Nacionalni park Krka (preuzeto s: <https://www.npkrka.hr/wp-content/uploads/NPKrka-karta-HR.pdf>; pristupljeno: 23.06.2024.)

## 1.2. Pajasen

Pajasen (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle 1916) spada u porodicu Simaroubaceae (pajaseni). Unutar navedene porodice nalazimo više od 170 drvenastih i grmolikih biljaka raspoređenih u 32 roda. Radi se o drvenastoj biljci srednje veličine koja brzo raste i doseže do 35 m visine i širinu debla do 1,5 m (Sušić i Radek 2008). Jedinke ove vrste mogu rasti u raznolikim klimatskim uvjetima (Petrova i sur. 2013) pa ih je moguće naći diljem svijeta izuzev Antarktike. Odrasle jedinke mogu proizvesti i do milijun sjemenki, a rasprostiru se i korijenovim izdancima te potiskuju druge vrste aleopatijom (Weber 2003; Nikolić i sur. 2014). Pajasen je stoga svrstan među najinvazivnije vrste na svijetu (Weber 2003). Izravno utječe na smanjenje bioraznolikosti formirajući monokulture (Novak i Kravarščan 2014). Autohtona je vrsta na području Kine (Novak i Novak 2017). U Europi se pajasen pojavio 1740. godine kada je korišten kao ukrasna biljka, a u razdoblju između 1960. i 1970. godine se u Hrvatskoj sadio i u svrhu saniranja klizišta (Boršić i sur. 2008; Novak i Kravarščan 2014).

Do sad provedena istraživanja potvrdila su prisutnost pajasena na cijelom teritoriju Republike Hrvatske uz izraženiju stopu rasta uz obalu (Idžojtić i Zebec 2006).

## 1.3. Makrozoobentos

Makrozoobentos je zajednica akvatičkih beskralježnjaka vidljivih golim okom (većih od 300 µm). Najveći udio zajednice čine vodeni kukci čiji život može biti djelomično ili u potpunosti vezan uz dno vodenih staništa. Potpuna vezanost uz dno vodenih staništa je rijetka (primjer su neki od pripadnika skupine kornjaša (Coleoptera). U većem broju skupina poput tulara (Trichoptera), obalčara (Plecoptera) i vodencvjetova (Ephemeroptera), radi se o djelomičnoj vezanosti za dno. To podrazumijeva da jedinke ličinački dio života provode u vodi, dok odrasle jedinke izlijeću i žive na kopnu (Giller i Malmqvist 1998). Sastav zajednice makrozoobentosa ovisi o kombinaciji biotičkih i abiotičkih čimbenika, ali i kompeticiji između jedinki iste vrste ili između jedinki različitih vrsta. S obzirom na njihovu osjetljivost na promjene ekoloških značajki određenog staništa, ograničenu pokretljivost i relativno dug

životni vijek, čine odlične indikatore stanja vodenih tijela. Stoga ne čudi da ispitivanje sastava takvih zajednica služi kao jedan od bioloških elemenata procjene stanja površinskih voda (Hrvatske vode 2016). Primjerice, promjene fizikalnih svojstava vode poput temperature ili brzine protoka vode, kemijskih svojstava poput zasićenosti kisikom, količine hranjivih tvari ili pH vrijednosti imaju direktan utjecaj na kvalitativni i kvantitativni sastav zajednice makrozoobentosa (Trichkova i sur. 2013). Prilikom ocjene ekološkog stanja voda, makrozoobentos obilježavaju brojne prednosti u odnosu na druge skupine organizama. Neke od njih su: lagano prikupljanje, prikladna veličina koja olakšava prikupljanje, lako razvrstavanje i determinacija, vrste koje su rasprostranjene na više područja što omogućava uspoređivanje većeg područja, postojanje priručnika za determinaciju, poznate reakcije na stresore u okolišu, ograničena pokretljivost i sl. (Hrvatske vode 2016).

Osim promjene sastava, moguć je i potpuni nestanak zajednica u slučaju isušivanja ili antropogenog utjecaja (Smith i Wood 2002).

#### **1.4. Terestifikacija**

Zaustavljanje smanjenja bioraznolikosti postaje sve veći ekološki problem koji je sve teže riješiti. Osim antropogenog utjecaja (zagađenja okoliša, poljoprivrede i sl.), sve je primijećeniji utjecaj globalnih klimatskih promjena. Vodeni režim tekućica i stajaćica, prema globalnom klimatskom modelu, podložniji je promjenama više nego ikad (Prudhomme i sur. 2014). Uz promjene hidrološkog režima korištenjem energije vode i promjene klimatskih uvjeta, u ovom se stoljeću očekuje povećanje broja vodenih tijela koja će presušivati, ili još ekstremnije suše onih vodenih tijela koja su presušivala i u prošlosti. Isušivanje tokova jedna je od ključnih odrednica sastava flore i faune određenog vodenog staništa i direktan uzrok smanjenja bioraznolikosti. Ekstreman slučaj presušivanja malih tokova rijeke Krke zabilježen je unutar Nacionalnog parka Krka. Prekomjerno i nekontrolirano širenje pajasena za posljedicu je imalo degradaciju staništa i potpuni gubitak vodene životne zajednice. (Šiljeg i sur. 2020). Pokretanjem projekta „LIFE CONTRA *Ailanthus* – Uspostava kontrole invazivne strane vrste *Ailanthus altissima* (pajasen) u Hrvatskoj“ počelo je uklanjanje jedinki pajasena u svrhu očuvanja kulturne baštine, staništa i sprječavanja daljnjeg širenja (Nacionalni park Krka

2024). Nakon 2 mjeseca, obnovljeni su presušeni tokovi, a time je započela i rekolonizacija makrozoobentosa.

## 2. CILJ ISTRAŽIVANJA

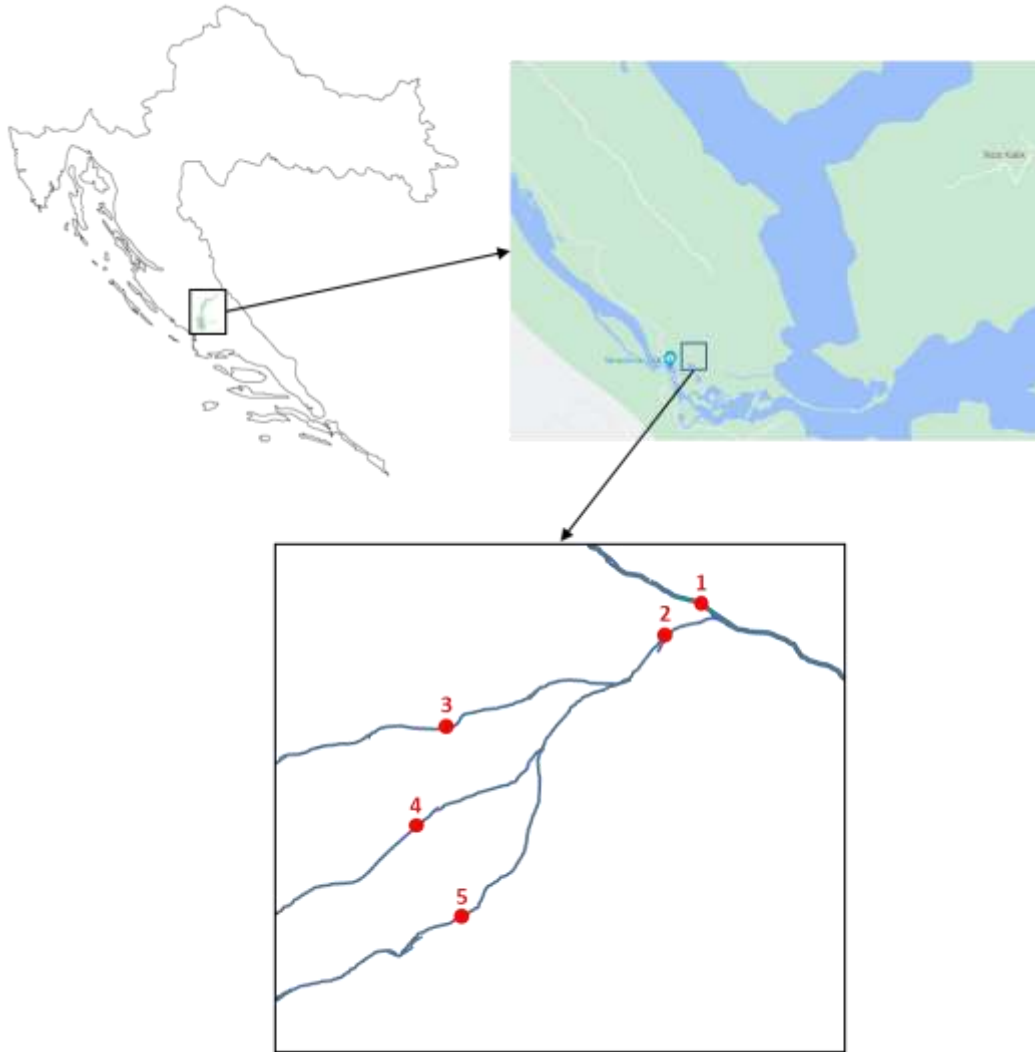
Ciljevi mog istraživanja su:

1. Odrediti utjecaj uklanjanja invazivne vegetacije pajasena *Ailanthus altissima* unutar pokusne plohe na gustoću i broj skupina makrozoobentosa.
2. Usporediti raznolikost makrozoobentosa kontrolne lokacije s ostale četiri lokacije obuhvaćene istraživanjem i procijeniti vrijeme potrebno da se raznolikost među njima ujednači.
3. Analizirati promjene fizikalno-kemijskih svojstava vode u nanovo naplavljenim kanalima.

### 3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je provedeno unutar Nacionalnog parka Krka u neposrednoj blizini sedrene barijere Skradinski buk. Skradinski buk je zadnja u nizu sedrena barijera rijeke Krke koja je ujedno i najduža sedrena barijera u Europi. Pokusna ploha veličine 1 ha predstavlja područje na kojem su prije početka istraživanja u sklopu projekta „Upravljanje i održavanje makrovegetacije na Skradinskom buku – izrada multikriterijskog modela održivog upravljanja“ mehanički uklonjene jedinice invazivne vrste pajasena *A. altissima*. Razlog uklanjanja invazivne vegetacije je prekomjerno širenje pajasena koje je za posljedicu imalo potiskivanje autohtonih vrsta, dominaciju među biljnim vrstama i potpunu terestifikaciju, tj. isušivanje manjih tokova rijeke Krke. Otprilike 2 mjeseca nakon uklanjanja invazivne vegetacije, ponovno su uspostavljeni donedavno isušeni manji tokovi rijeke Krke unutar pokusne plohe. Ponovno naplavljeni tok izlazi jednim kanalom iz neprekidno naplavljenog dijela toka nakon čega se grana na tri kanala. Ovim je istraživanjem obuhvaćeno uzorkovanje na ukupno 5 lokacija (Slika 2.) od kojih se jedna nalazi unutar neprekidno naplavljenog dio toka i u ovom je radu označena brojem 1 i po jedna unutar svakog ponovno naplavljenog kanala (lokacije označene brojevima 2, 3, 4 i 5).





Slika 2. Lokacije uzorkovanja; 1. kontrolna točka (neprekinut tok), 2., 3. 4., i 5. ponovno naplavljeni kanali

## **4. MATERIJALI I METODE**

Uzorke bentala i vode sam uzimala na 5 lokacija. Lokacija 1 nalazi se u nepresušenom dijelu toka i predstavlja kontrolnu lokaciju, dok lokacije 2, 3, 4 i 5 označavaju obnovljene tokove. Uzorkovanje sam provodila 8 puta tijekom 12 mjeseci. Točni datumi uzorkovanja su bili: 21. rujna 2017., 30. listopada 2017., 4. prosinca 2017., 29. siječnja 2018., 27. ožujka 2018., 14. svibnja 2018., 26. lipnja 2018. i 5. rujna 2018. godine. Na svakoj sam lokaciji uzela uzorak vode od 1 L, izmjerila standardne fizikalno-kemijske parametre vode i uzela po dva uzorka bentala.

### **4.1. Analiza vode**

Uzorke vode uzimala sam prije uzorkovanja bentala i pohranjivala u hladnjak do laboratorijske analize, najdulje 48 sati na temperaturi manjoj od 8 °C. Fizikalno-kemijske parametre vode mjerila sam pomoću prijenosnih sondi. Temperaturu, koncentraciju otopljenog kisika i zasićenost kisikom mjerila sam sondom WTW OXI 96, pH vrijednost sondom WTW 330i, brzinu protoka vode sondom Dostmann electronic P600, a električnu provodljivost i koncentraciju ukupnih otopljenih tvari sondom Hach SensION 5. Radi tehničkih poteškoća nedostaju podaci o vrijednostima provodljivosti u listopadu i prosincu 2017. godine i lipnju 2018. godine te ukupne koncentracije otopljenih tvari za rujnu, listopad, i prosinac 2017. godine i za siječanj 2018. godine. Laboratorijskim analizama određene su vrijednosti kemijske potrošnja kisika (COD), alkaliniteta te koncentracije nitrita, nitrata i ortofosfata u svakom uzorku.

### **4.2. Analiza bentala**

Uzorke bentala sam uzimala kružnim jezgriplom promjera 5 cm u dvama mjestima nizvodno i uzvodno na udaljenosti od oko 1 m. Utiskivanjem jezgrila u podlogu obuhvatila sam supstrat

približno jednakog volumena prilikom svakog uzorkovanja te takvog fiksirala u 70 %-tnom etanolu do laboratorijske analize.

Uzorkovanje bentala se iznimno u rujnu 2017. godine sastojalo od uzimanja uzoraka samo na lokacijama 1 i 2 zbog još nedovoljne formiranosti toka unutar kanala u kojima se nalaze lokacije 3, 4 i 5.

Svaki od uzoraka bentala analizirala sam zasebno. Fiksiranim uzorcima sam izmjerila točan volumen kako bih sve brojnosti mogla izraziti kao gustoću jedinki u 100 mL uzorka. Nakon toga sam, koristeći stereomikroskop Zeiss Stemi c2000, izolirala sve jedinke makrozoobentosa. Jedinke sam razvrstavala prema pripadnosti određenoj skupini te ih čuvala u Eppendorf tubama sa 70 %-tnim etanolom. Pripadnike reda vodencvjetova i tulara sam dodatno determinirala do razine porodice radi procjene njihovog udjela u izoliranim uzorcima. Pripadnike porodice trzalaca (Chironomidae) i komarčića (Ceratopogonidae) sam zbog velike brojnosti svrstala odvojeno od reda dvokrilaca.

Za procjenu sličnosti sastava zajednice makrozoobentosa između kontrolne lokacije i ostalih lokacija koristila sam statističku metodu Sørensenov indeks sličnosti ( $IS_S$ ) kao jedan od često korištenih indeksa sličnosti. Slijedeći pretpostavku da svaka vrsta ima jednaku teoretsku šansu pojavljivanja u dvije različite zajednice kada se usporede, ovim je indeksom moguće izraziti realan broj zajedničkih i teoretski mogućih zajedničkih vrsta. Pri tome je izraženija vrijednost vrsta zajedničkih u uspoređenim zajednicama nego vrsta specifičnih samo za jednu od zajednica. Vrijednost indeksa kreće se u rasponu od 0 do 1, pri čemu 0 označava nepostojanje sličnosti između zajednica, a 1 potpuno poklapanje vrsta unutar zajednica (Krebs 1999).

Formula za izračunavanje  $IS_S$  je:

$$ISS = \frac{2c}{a + b} \times 100$$

gdje je

$IS_S$  = Sørensenov indeks sličnosti,

$a$  = ukupan broj skupina na kontrolnoj lokaciji (1),

$b$  = ukupan broj skupina na lokaciji 2, 3, 4 ili 5,

$c$  = ukupan broj zajedničkih skupina.

Sve sam preračune, tablične i grafičke prikaze izradila u programu MS Office Excel 2016.

## 5. REZULTATI

### 5.1. Fizikalno-kemijski parametri vode

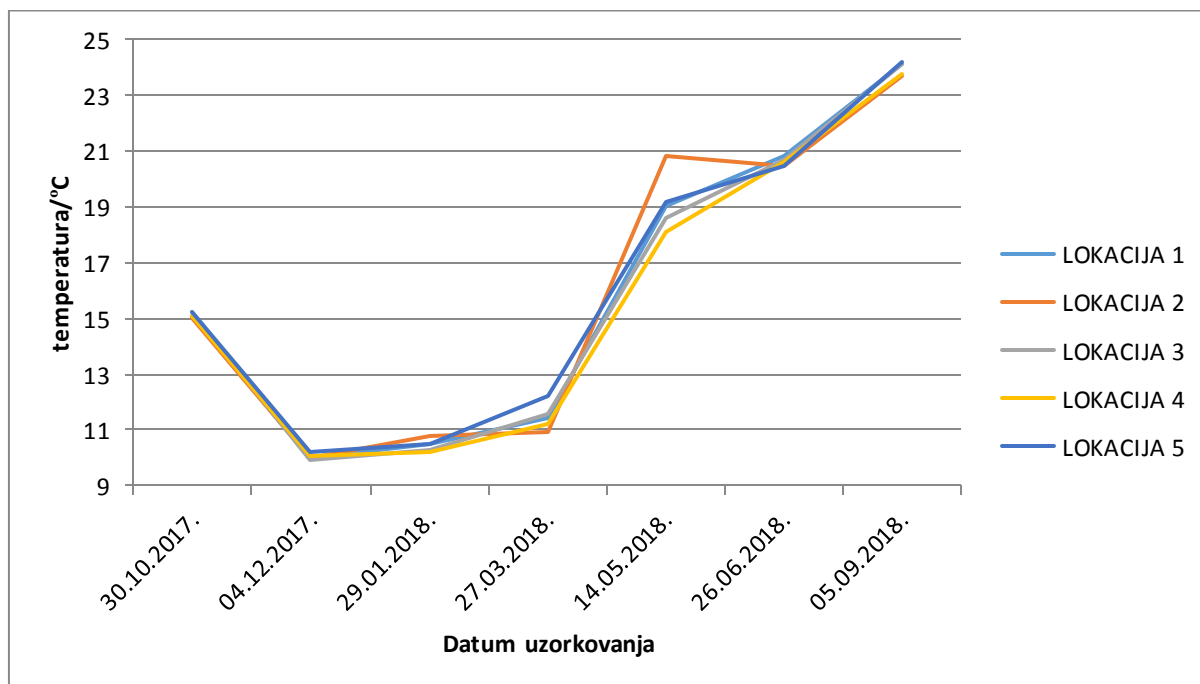
Prosječne godišnje vrijednosti svih izmjerenih fizikalno-kemijskih parametara vode prikazuju veliku sličnost među postajama (Tablica 1.). Iako u pojedinačnim mjerenjima razlike postoje, one su minimalne i dokazuju približno jednake uvjete na svim lokacijama mjerenja.

Tablica 1. Prosječne vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode tijekom istraživanja

PARAMETAR	LOKACIJA				
	1	2	3	4	5
$t_{\text{vode}}(^{\circ}\text{C})$	15,80	16,00	15,80	15,60	16,00
pH	8,03	7,98	8,19	8,08	8,06
$\text{O}_2$ ( $\text{mgL}^{-1}$ )	9,91	9,79	9,92	9,94	9,85
$\text{O}_2$ (%)	98,50	98,00	98,90	98,60	98,40
BRZINA STRUJANJA ( $\text{ms}^{-1}$ )	0,43	0,56	0,44	0,73	0,61
KONDUKTIVITET ( $\mu\text{S/cm}$ )	482,00	489,00	484,00	496,00	482,00
TDS ( $\text{mgL}^{-1}$ )	276,00	274,00	275,00	279,00	275,00
COD $\text{KMnO}_4$ ( $\text{mg O}_2 \text{L}^{-1}$ )	1,33	1,01	2,45	0,99	1,63
ALKALINITET ( $\text{mg CaCO}_3 \text{L}^{-1}$ )	149,00	140,00	144,00	151,00	143,00
UKUPNA TVRDOĆA VODE ( $\text{mg CaCO}_3 \text{L}^{-1}$ )	203,68	187,41	195,80	180,29	179,02
$\text{N-NO}_2^-$ ( $\text{mgL}^{-1}$ )	0,04	0,03	0,02	0,03	0,02
$\text{N-NO}_3^-$ ( $\text{mgL}^{-1}$ )	0,68	0,61	0,63	0,71	0,60
$\text{P-(PO}_4)_3^-$ ( $\text{mgL}^{-1}$ )	0,08	0,12	0,08	0,06	0,06

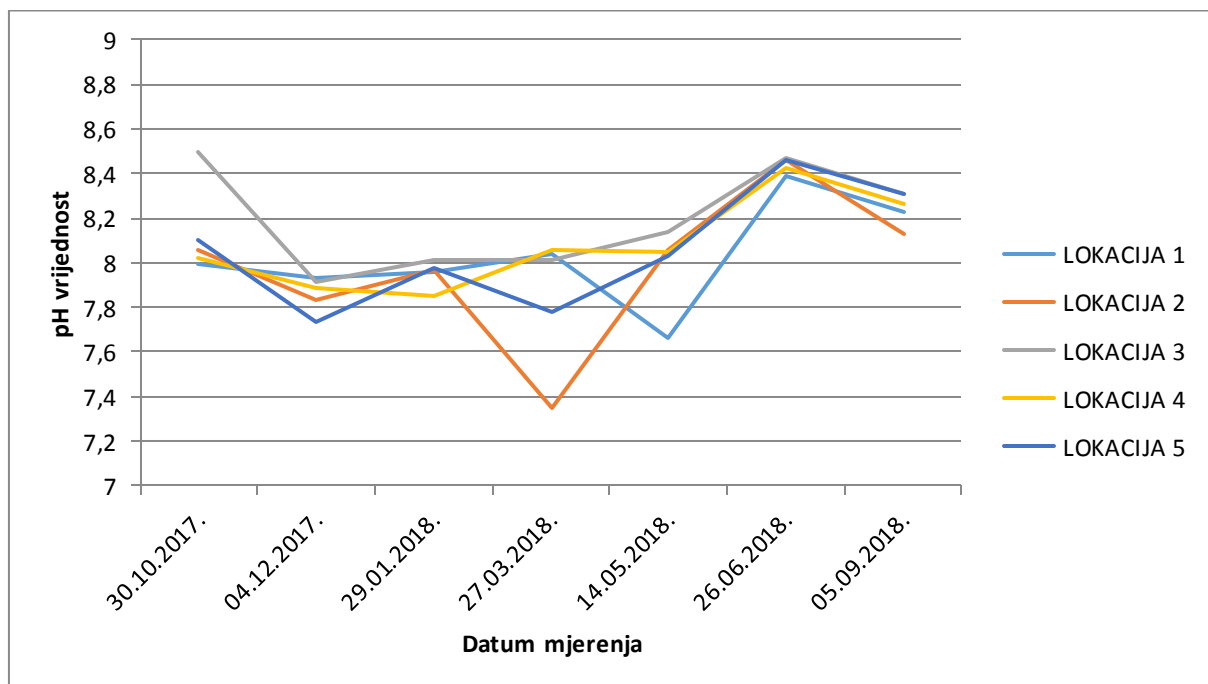
Temperatura vode je kolebala u skladu s očekivanjima s obzirom na godišnja doba. Temperaturne vrijednosti su približno jednake na svim lokacijama tijekom pojedinog datuma mjerenja (Slika 3.). Nisu uočene značajne razlike u temperaturi između lokacija izuzev temperaturne razlike od 2,7 °C između lokacija 2 i 4 u svibnju. Tijekom ostatka istraživanja,

temperaturne razlike između lokacija su bile manje od 2 °C, a uglavnom su bile i manje od 1 °C.



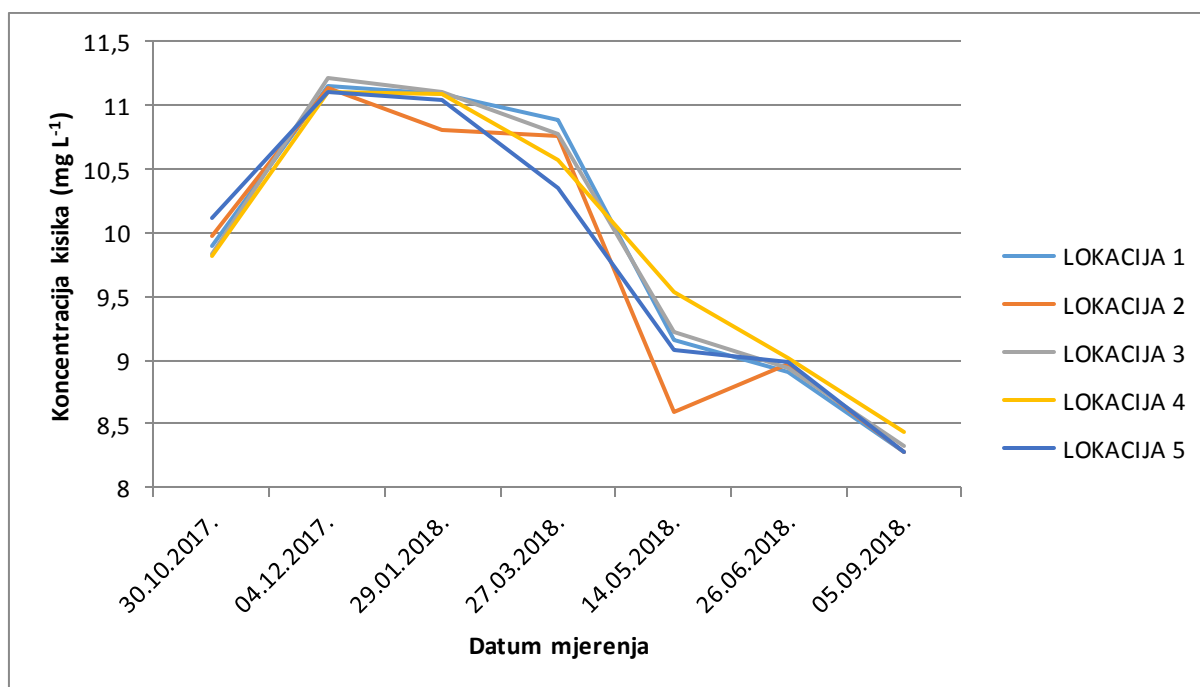
Slika 3. Vrijednosti temperature na svim lokacijama.

Vrijednosti pH bile su podjednake na svim lokacijama. Najveća izmjerena pH vrijednost bila je 8,47, a najniža 7,35 (Slika 4.).



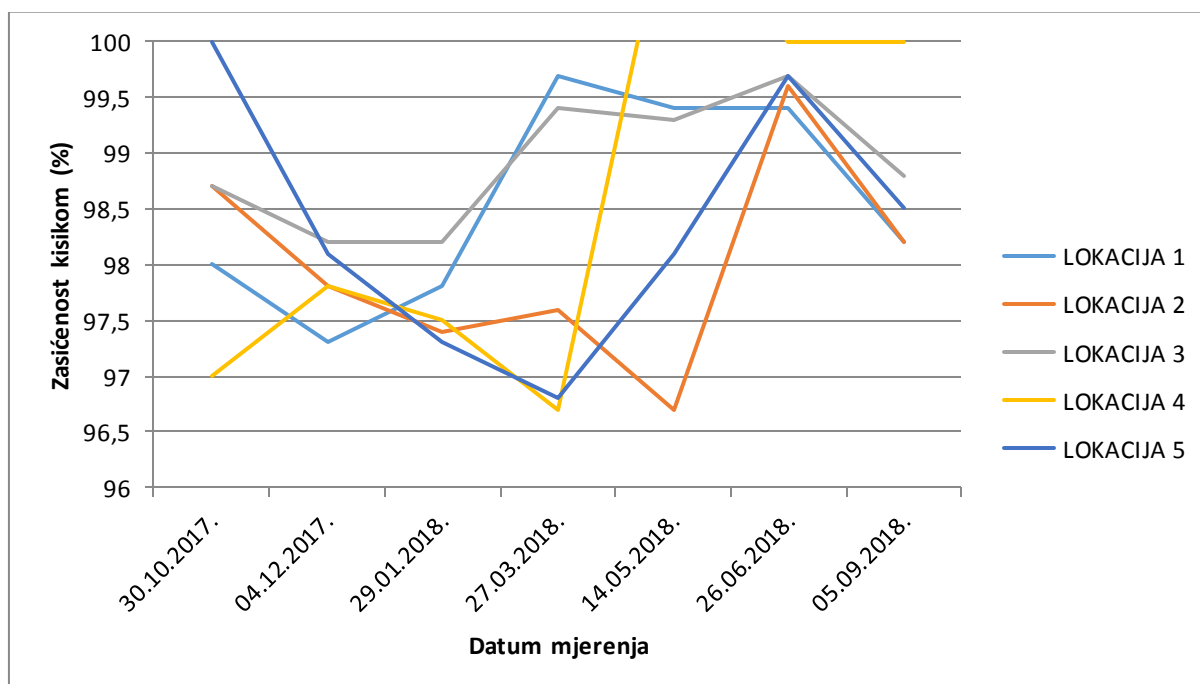
Slika 4. pH vrijednosti na svim lokacijama.

Koncentracija kisika bila je podjednaka na svim lokacijama prilikom mjesečnih mjerenja, ali je vidljivo pad vrijednosti od prosinca do rujna.(Slika 5.). Najveće razlike u koncentraciji kisika u vodi između lokacija unutar istog datuma mjerenja izmjerene su u svibnju. Tada je vrijednost na lokaciji 2 bila vidljivo niža, a na lokaciji 4 vidljivo viša nego na ostalim lokacijama. U zimskim su mjesecima zabilježene više koncentracije kisika nego u ljetnim mjesecima.



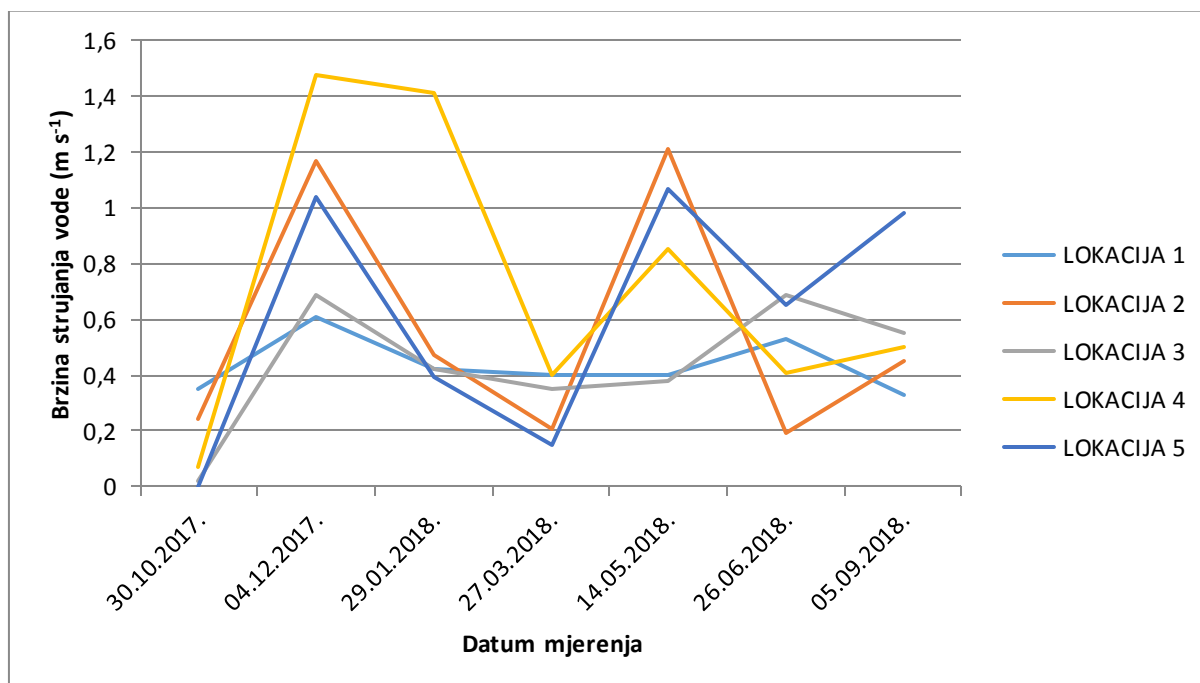
Slika 5. Koncentracije kisika na svim lokacijama.

Zasićenost vode kisikom je tijekom cijelog istraživanja na svim postajama bila viša od 96 % (Slika 6.). Vrijednosti među postajama su različite, a najveća razlika između postaja izmjerena je u svibnju između postaja 2 i 4. Iznosila je 4,2 %.



Slika 6. Zasićenosti vode kisikom na svim lokacijama.

Gledajući ukupnu godišnju srednju vrijednost, brzine strujanja vode bile su više na lokacijama 4 i 5. Vrijednosti brzine strujanja vode bile su više u zimskim, nego u ljetnim mjesecima (Slika 7.).



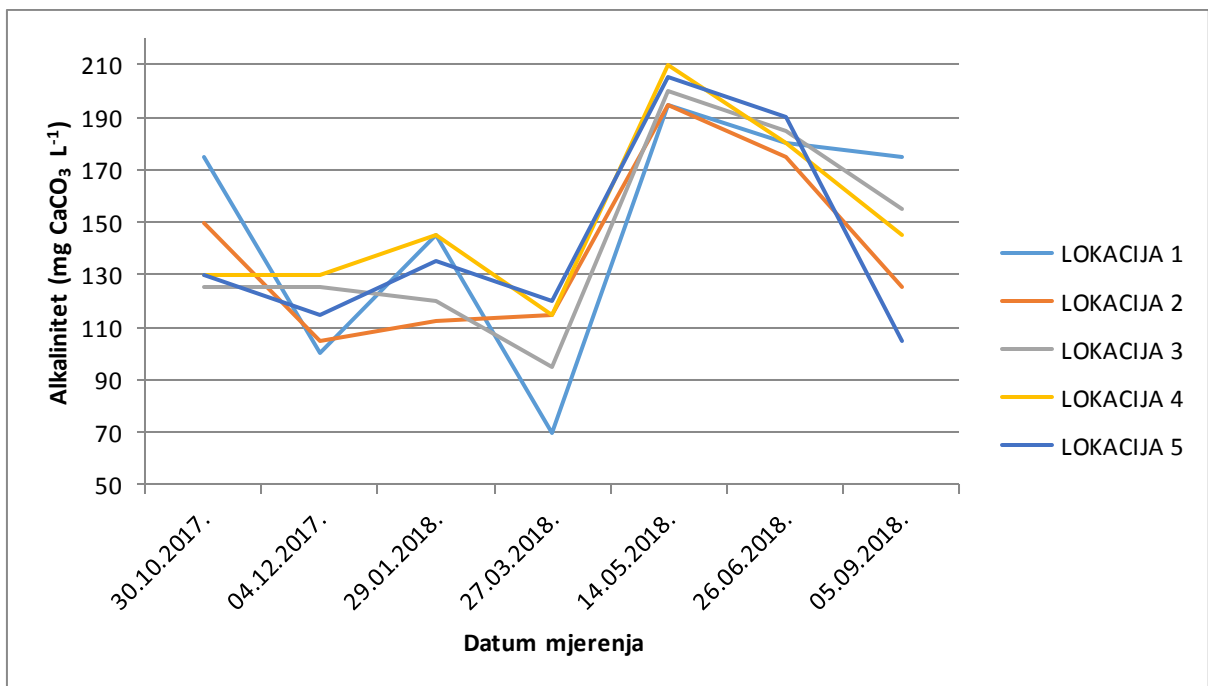
Slika 7. Brzine strujanja vode na svim lokacijama.

Provodljivost je gledajući godišnji prosjek bila podjednaka na svih 5 lokacija, a varirala je od  $374 \mu\text{S cm}^{-1}$  do  $554 \mu\text{S cm}^{-1}$ . Vrijednosti su više tijekom zimskih i proljetnih mjeseci (najveća izmjerena vrijednost iznosi  $554 \mu\text{S cm}^{-1}$ ), a niže tijekom ljetnih mjeseci (najviša izmjerena vrijednost iznosi  $382 \mu\text{S cm}^{-1}$ ).

Kemijska potrošnja kisika bila je niska tijekom cijelog istraživanja uz jedno odstupanje u prosincu 2017. godine ( $8,44 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ ). Same vrijednosti variraju tijekom cijele godine na svim lokacijama i nije vidljiv ponavljajući uzorak.

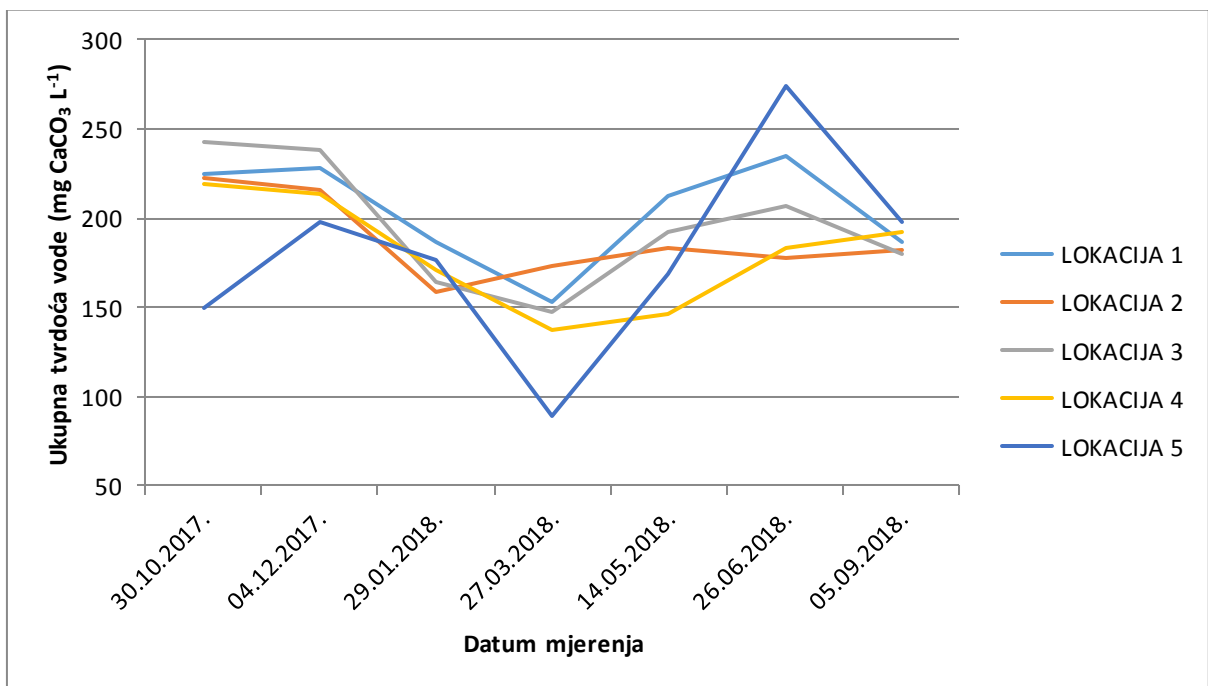
Prosječne vrijednosti alkaliteta su podjednake za sve postaje tijekom cijelog istraživanja i kreću se od  $70 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$  do  $210 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$  (Slika 8.). Izmjerene vrijednosti su veće u ljetnim nego u zimskim mjesecima.





Slika 8. Alkalinitet na svim lokacijama.

Ukupna tvrdoća vode tijekom cijelog istraživanja varira od 89 mg CaCO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> do 274,12 mg CaCO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> (Slika 9.). Najveća razlika izmjerena je u ožujku 2018. godine između lokacija 2 i 5 (83,66 mg CaCO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>). Najveći raspon rezultata mjerenja izražen je na lokaciji 5 na kojoj su izmjeren i minimum i maksimum svih vrijednosti na svim lokacijama.



Slika 9. Ukupna tvrdoća vode na svim lokacijama.

U listopadu 2017. godine zabilježene su najviše vrijednosti nitrita na lokacijama 1, 2, 3 i 4, dok je maksimum na lokaciji 5 zabilježen u rujnu 2018. godine, ali nije pretjerano odudara od vrijednosti na drugim lokacijama (Tablica 2.).

Koncentracija nitrata značajnije varira i među lokacijama i u različim terminima mjerenja. Tako su najveće koncentracije nitrata izmjerene u listopadu 2017. godine na lokaciji 1, u siječnju na lokacijama 1, 3, 4 i 5, te u rujnu 2018. na lokacijama 2, 3, 4 i 5. Iako vrijednosti variraju među datumima mjerenja na pojedinoj lokaciji, u istom terminu mjerenja su približno jednake na svim lokacijama (Tablica 2.).

Najviše vrijednosti fosfata tijekom cijelog istraživanja zabilježene su u svibnju 2018. godine (Tablica 2.).

Tablica 2. Vrijednosti nitrita, nitrata i ortofosfata.

LOKACIJA		DATUM						
		30.10. 2017.	04.12. 2017.	29.01. 2018.	27.03. 2018.	14.05. 2018.	26.06. 2018.	05.09. 2018.
1	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mgL <sup>-1</sup> )	<b>0,14</b>	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,10
	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mgL <sup>-1</sup> )	<b>1,25</b>	0,06	<b>1,22</b>	0,00	1,02	0,37	0,81
	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mgL <sup>-1</sup> )	0,00	0,03	0,00	0,01	<b>0,39</b>	0,00	0,11
2	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mgL <sup>-1</sup> )	<b>0,09</b>	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	<b>0,06</b>
	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mgL <sup>-1</sup> )	0,51	0,31	0,89	0,00	1,00	0,37	<b>1,18</b>
	P-(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mgL <sup>-1</sup> )	0,00	0,03	0,00	0,01	<b>0,70</b>	0,00	0,10
3	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mgL <sup>-1</sup> )	<b>0,07</b>	0,00	0,01	0,03	0,02	0,01	0,03
	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mgL <sup>-1</sup> )	0,44	0,52	<b>1,03</b>	0,00	0,96	0,41	<b>1,04</b>
	P-(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mgL <sup>-1</sup> )	0,03	0,05	0,00	0,00	<b>0,39</b>	0,00	0,11
4	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mgL <sup>-1</sup> )	<b>0,09</b>	0,00	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02
	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mgL <sup>-1</sup> )	0,82	0,55	<b>1,18</b>	0,00	<b>1,10</b>	0,25	<b>1,06</b>
	P-(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mgL <sup>-1</sup> )	0,02	0,02	0,00	0,01	<b>0,31</b>	0,00	0,07
5	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mgL <sup>-1</sup> )	0,03	0,00	0,04	0,01	0,02	0,02	<b>0,05</b>
	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mgL <sup>-1</sup> )	0,33	0,38	<b>0,96</b>	0,00	<b>1,07</b>	0,36	<b>1,11</b>
	P-(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mgL <sup>-1</sup> )	0,02	0,04	0,00	0,01	<b>0,31</b>	0,00	0,07

## 5.2. Gustoća i sastav zajednice makrozoobentosa

Izolirala sam ukupno 7647 jedinki i svrstala ih u pripadajuće skupine. Ukupan broj jedinki na pojedinoj lokaciji izražen kao gustoća jedinki u 100 mL uzorka i ukupan broj izoliranih skupina, prikazani su u Tablici 3.

Tablica 3. Ukupna gustoća makrozoobentosa i broj skupina.

Datum uzorkovanja	Lokacija uzorkovanja	Ukupna gustoća makrozoobentosa / 100 mL	Ukupan broj izoliranih skupina
21.09.2017.	1	97	11
	2	20	3
30.10.2017.	1	267	5
	2	314	5
	3	206	3
	4	0	0
	5	0	0
04.12.2017.	1	720	11
	2	538	11
	3	1312	9
	4	560	7
	5	626	10
29.01.2018.	1	209	13
	2	423	5
	3	203	8
	4	315	7
	5	338	9
27.03.2018.	1	66	9
	2	224	7
	3	492	6
	4	352	5
	5	292	9

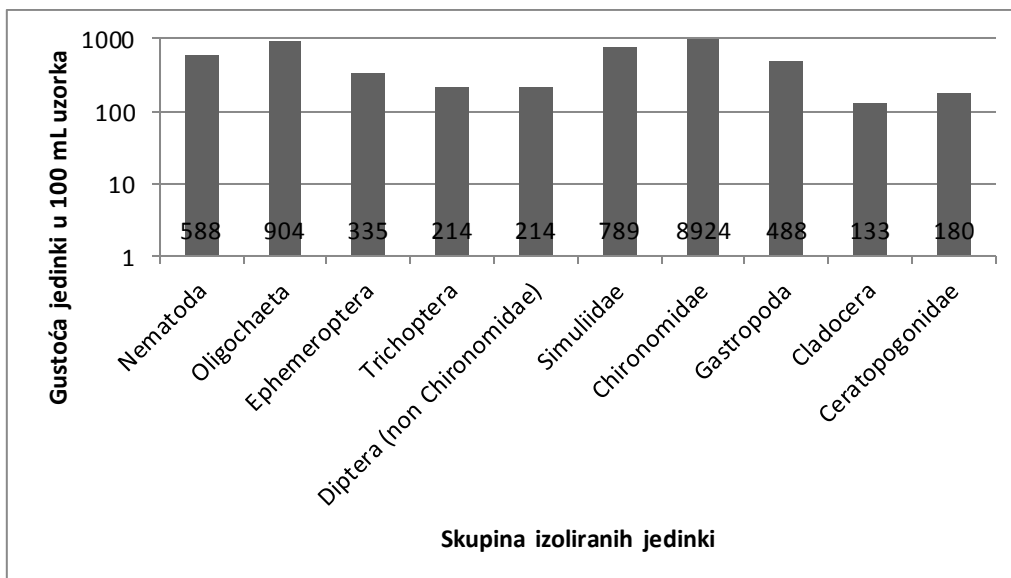
Tablica 3. nastavak

14.05.2018.	1	246	9
	2	1075	8
	3	561	9
	4	217	7
	5	1118	9
26.06.2018.	1	78	10
	2	243	9
	3	340	9
	4	817	8
	5	256	9
05.09.2018.	1	56	9
	2	60	9
	3	111	7
	4	53	8
	5	124	6
Ukupno	12929		

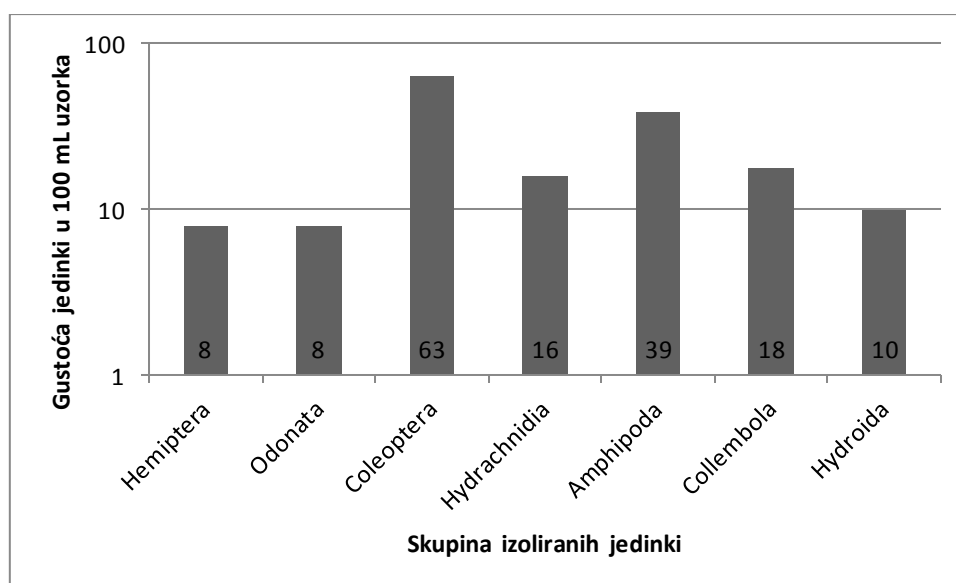
Utvrđila sam 17 viših taksonomskih kategorija makrozoobentosa:

vodencvjetovi (Ephemeroptera), tulari (Trichoptera), kornjaši (Coleoptera), polukrilci (Hemiptera), mušice svrbljivice (Simuliidae), vretenca (Odonata), dvokrilci (Diptera) uz posebno izdvojenu porodicu trzalaca (Chironomidae) i komarčića (Ceratopogonidae), vodene grinje (Hydrachnidia), skokuni (Collembola), rakušci (Amphipoda), rašljoticalci (Cladocera), oblići (Nematoda), maločetinaši (Oligochaeta), puževi (Gastropoda) i hidre (Hydroida).

Od ukupnog broja izoliranih jedinki makrozoobentosa, 83,03 % čine ličinke vodenih kukaca. Od njih, najbrojnije su bile ličinke trzalaca, mušica svrbljivica i vodencvjetova koje čine 93,60 %. Od skupina koje ne pripadaju vodenim kukcima, najbrojniji su bili maločetinaši, oblići i puževi. Udio tih skupina u ukupnoj gustoći iznosi 15,31 %. U uzorcima su najmanje zastupljeni pripadnici skupina polukrilaca, vretenaca i hidri (Slika 10 A i B.).



Slika 10A. Ukupna gustoća makrozoobentosa na svim lokacijama prema svojstama veće brojčane zastupljenosti (napomena: skala je logaritamska)



Slika 10B. Ukupna gustoća makrozoobentosa na svim lokacijama prema svojstama manje brojčane zastupljenosti (napomena: skala je logaritamska)

Detaljnije sam determinirala vodencvjetove i tulare. Sve determinirane jedinke iz reda Ephemeroptera su juvenilne jedinke iz porodice Baetidae (Slika 11.). Determinirane jedinke iz reda Trichoptera pripadaju porodici Rhyacophilidae (66,39 %) (Slika 12.) i porodici Hydropsychidae (33,61 %) (Slika 13.).



Slika 11. Izolirana jedinka iz porodice Baetidae (Ephemeroptera).



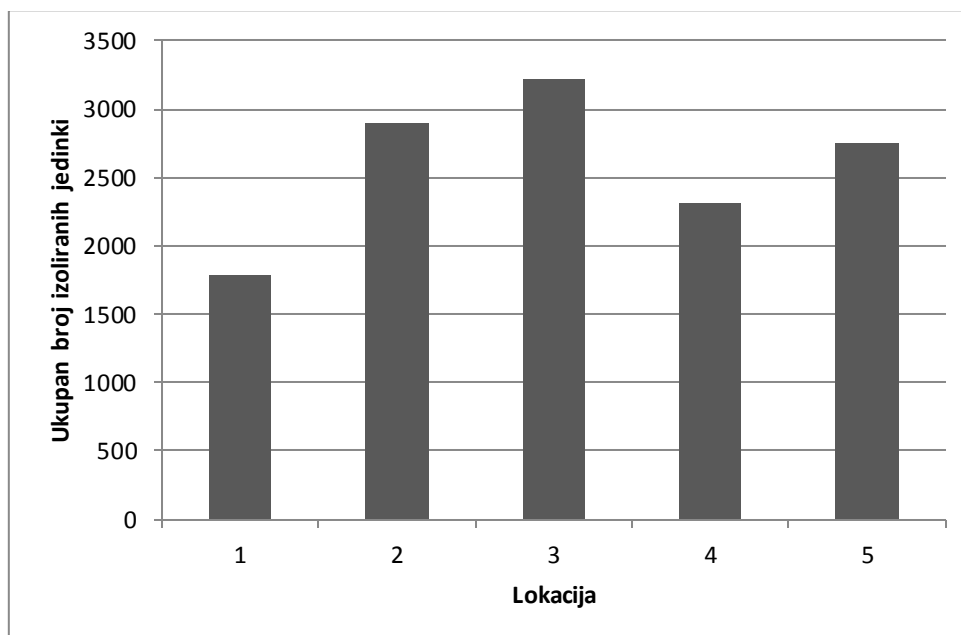
Slika 12. Izolirana jedinka iz porodice Rhyacophilidae (Trichoptera).



Slika 13. Izolirana jedinka iz porodice Hydropsychidae (Trichoptera)  
(IZVOR: <https://www.macroinvertebrates.org/taxa-info/trichoptera-larva/hydropsychidae/hydropsyche/lateral>, pristupljeno: 23.06.2024.).

Najveću gustoću jedinki u uzorku zabilježila sam u prosincu 2017. godine i u svibnju 2018. godine i to redom 3756 i 3217 jedinki. Najveći broj jedinki na jednoj lokaciji zabilježila sam u

prosincu 2017. godine kada je na lokaciji 3 gustoća iznosila 1312 jedinki u 100 mL uzorka (Tablica 3). Najmanja ukupna gustoća jedinki bila je u rujnu 2017. godine (117 jedinki) i u rujnu 2018. godine (404 jedinke). Ukupno gledajući, gustoća makrozoobentosa najveća je u uzorcima uzetim u ljetnim i zimskim mjesecima (čini ukupno 58 % jedinki) u odnosu na 42 % u uzorcima uzetim u proljetnim i jesenskim mjesecima. Lokacija 3 pokazuje najveće vrijednosti gustoće makrozoobentosa, a lokacija 1 pokazuje najmanje vrijednosti (Slika 14.).



Slika 14. Ukupna gustoća makrozoobentosa na pojedinoj lokaciji tijekom cijelog istraživanja.

Iako se u većini slučajeva jedinke pojedinih skupina životinja u većoj gustoći pojavljuju u samo određenim mjesecima u godini, pripadnici maločetinaša, oblića, puževa, trzalaca i mušica svrbljivica pojavljuju se kroz cijelu godinu bez iznimke.

Za usporedbu sličnosti sastava zajednice između kontrolne i ostalih lokacija, izračunala sam Sørensenov indeks sličnosti. Izračun se temeljio na podacima iz Tablice 4.

Tablica 4. Ukupni brojevi izoliranih skupina na svim lokacijama tijekom cijelog istraživanja. ( $a$  = ukupan broj izoliranih svojta na kontrolnoj lokaciji;  $b$  = ukupan broj izoliranih skupina na lokacijama 2, 3, 4 i 5;  $c$  = broj zajedničkih izoliranih skupina između kontrolne i svake pojedine druge lokacije)

LOKACIJA	a	b	c
1	15		
2		13	12
3		11	11
4		14	13
5		15	13

Rezultati pokazuju da su sve lokacije uzorkovanja u ponovno naplavljenim kanalima približno jednako slične u usporedbi s kontrolnom lokacijom. Najveća vrijednost indeksa sličnosti vidljiva je između lokacija 1 i 4 (Tablica 5.).

Tablica 5. Vrijednosti Sørensenovog indeks sličnosti između kontrolne i ostalih lokacija.

USPOREĐENE LOKACIJE	IS <sub>S</sub>
1 i 2	0,86
1 i 3	0,85
1 i 4	0,90
1 i 5	0,87



## 6. RASPRAVA

Temperatura vode je važan i limitirajući faktor za mnoge vodene makrobekralježnjake (Broadmeadow i Nisbet 2004), a rezultat je interakcije mnogih procesa koji na nju utječu. S obzirom na to da su sve lokacije mjerenja međusobno relativno blizu, očekivane su podjednake vrijednosti temperature tijekom cijelog istraživanja. Tako su više temperature mjerene na svim postajama tijekom proljetnih i ljetnih mjeseci u odnosu na jesenske i zimske mjesece. Male temperaturne razlike među lokacijama su uočene tijekom proljeća 2018. godine. Posljedica su nejednake zasjenjenosti pojedinih lokacija okolnom vegetacijom. Čak i rijetka vegetacija uz korita utječe na zagrijavanje i temperaturu vode (Kalny i sur. 2017; Broadmeadow i sur. 2011). Godišnje prosječne temperature su podjednake na svim lokacijama što potvrđuje očekivane rezultate (Broadmeadow i sur. 2011; Kalny i sur. 2017; Bućan i Miliša 2023).

Poput temperature vode, pH vrijednosti bile su podjednake na svim postajama što je vidljivo i iz podataka o prosječnim godišnjim vrijednostima. Nešto veće vrijednosti primijećene su ljeti u odnosu na zimu. Odstupanje u pH vrijednosti vidljivo je na lokaciji 2 u listopadu 2017. i ožujku 2018. Razlog tomu je izgradnja pješačke staze iznad korita u kojem se nalazi lokacija 2. Unos čestica građevinskog materijala poput cementa, opeke ili kisele zemlje za uređenje, mogao je uzrokovati kratkotrajne promjene pH vrijednosti koje kasnije više nisu bile izmjerene već su rezultati bili u skladu s pH vrijednostima na kontrolnoj lokaciji. Izuzev toga, pH je približno jednak tijekom cijele godine na svim lokacijama i odgovara literaturnim podacima o vrijednosti pH krških rijeka (između 6,5 i 8,5) (Štambuk-Giljanović 2005). To je moguće zahvaljujući svojstvu krških voda da zbog velike količine otopljenih iona puferiraju vodu i onemogućavaju velike skokove ili padove pH (Christensen 2005). Prema kiselosti i bazičnosti, voda na mjerenim lokacijama je slabo bazična (Matoničkin Kepčija 2003)

Tijekom cijelog istraživanja, koncentracija kisika u vodi bila je podjednaka na svim postajama. Vrijednosti su veće u zimskim, a manje u ljetnim mjesecima. Topljivost kisika u vodi pada s porastom temperature vode. Tako se pri 25 °C u vodi otapa 8,3 mg L<sup>-1</sup> dok pri 4 °C ta vrijednost raste na 13,1 mg L<sup>-1</sup> (Matoničkin Kepčija 2003). Izmjerene vrijednosti su u skladu s fluktuacijama temperature vode. Najveća razlika između dvije postaje (svibanj 2018.

godine), posljedica je manje temperature vode na lokaciji 2 zbog veće zasjenjenosti od okolne vegetacije.

Zasićenost vode kisikom je na svim lokacijama bila vrlo visoka i u skladu s očekivanjima s obzirom na to da se radi o krškoj rijeci (Cukrov i sur. 2008). Izmjerene vrijednosti ne ukazuju na pretjeranu potrošnju kisika.

Brzina strujanja vode je kolebala najvjerojatnije jer se lokacije mjerenja se ne nalaze na površinama jednakih nagiba i korita nisu jednake širine ni dubine što za posljedicu ima nejednakosti u brzini strujanja vode. Također, dotok vode je bio nejednak pa su se većom količinom vode napajali prvi kanali što je vidljivo i iz uzorkovanja i toga da jedan od kanala niti nije odmah bio naplavljen. Na početku istraživanja, brzina strujanja vode je na svim lokacijama obnovljenih tokova bila vrlo mala zbog nedovoljne formiranosti korita. Vrijednosti su više tijekom zimskih mjeseci zbog povećanog dotoka vode, tj. blagog porasta vodostaja glavnog toka i većeg priljeva vode uslijed kiše i ostalih padalina. Promjene u brzini strujanja vode su česte u slučaju krških rijeka (Pitois 2001; Riđanović 1994).

Iz dostupnih podataka vidljiva je sezonska razlika u vrijednostima provodljivosti. Tijekom zimskih i proljetnih mjeseci i nižih temperatura, izmjerene su vrijednosti provodljivosti slične onima izmjerenim u svibnju. Iako su takve vrijednosti suprotne teoretskim očekivanjima (Smith 1988), više vrijednosti u zimu i proljeće su, u ovom slučaju očekivane, zbog ispiranja podloge korita. Podloga je još uvijek bila rahla zbog čupanja invazivne vegetacije pa je ispiranje soli i minerala iz zemlje bilo pojačano u odnosu na ostatak godine. Iako su u rujnu 2018. godine zabilježene najviše temperature vode tijekom cijelog istraživanja, vrijednosti provodljivosti su manje u odnosu na zimske i proljetne mjesece zbog velikih kiša. Velikim dotokom vode, moguće je razrjeđenje koncentracije karbonantnih i bikarbonantnih iona porijeklom iz krške podloge (Barquin i Death 2011) i pada provodljivosti.

Niske vrijednosti kemijske potrošnje kisika tijekom cijelog istraživanja su u skladu s vrlo visokom zasićenosti vode kisikom i ne ukazuju na prekomjerno trošenje kisika niti na zagađenje organskim tvarima (Kamarudin i sur. 2020).

Vrijednosti alkaliniteta su rasponu očekivanom za slatkovodne sustave (Boyd 2015).

Prema vrijednostima ukupne tvrdoće vode, voda na svim postajama pripada jako tvrdoj vodi (Hoaghia i sur. 2021). Takvi podaci ne čude s obzirom na to da se radi o krškoj rijeci.

Vrijednosti nitrata su niske tijekom cijelog istraživanja. Blago povišene koncentracije vidljive su najviše na kontrolnoj lokaciji potencijalno zbog antropogenog utjecaja jer se nalazi pored pješačke trase.

Nitrati su, kao i nitriti, prirodno prisutni u vodi u niskim koncentracijama između 0 i 2 mg L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Gallovy i sur. 2004). Sve izmjerene koncentracije nitrata pripadaju u navedeni raspon. Takve koncentracije nitrata nemaju nepovoljan utjecaj na vodenu faunu. Koncentracija ortofosfata značajnije je povišena u svibnju 2018. godine na svim lokacijama najvjerojatnije je posljedica ispiranja zemlje. Usporedbom vrijednosti izmjerenih ovim istraživanjem s podacima NP Krka za područje Skradinskog buka (Goreta 2017), koji se nalazi u neposrednoj blizini ispitivane plohe, vidljivo je povećanje prosječne godišnje vrijednosti. Ipak, prosječna godišnja vrijednost je povećana zbog skoka vrijednosti u svibnju, nakon čega su vrijednosti već na idućem mjerenju u lipnju bile vrlo niske. Zbog toga ovo možemo okarakterizirati kao kratkotrajno bezopasno stanje iako dulji periodi viših koncentracija nitrata i fosfata u vodi mogu rezultirati prevelikom eutrofikacijom i predstavljati veliku prijetnju vodenoj fauni (Dodds i Smith 2016).

Uzevši u obzir navedene parametre i konstantno visoke koncentracije kisika u vodi, nema naznaka povećanog rasta vodene vegetacije. Takvi su podaci ohrabrujući za nastavak istraživanja, ali i zaštitu postojećeg stanja.

Obnavljanje presušanih tokova nakon uklanjanja invazivne vegetacije omogućilo je rekolonizaciju makrozoobentosa. Već nakon jednog mjeseca od početka istraživanja, vidljivo je povećanje gustoće makrozoobentosa, ali i povećanje broja različitih svojiti izoliranih u uzorcima uzetim na lokacijama nanovo naplavljenih kanala. Zajednica makrozoobentosa ispitivanih lokacija je raznolika i sadržava skupine životinja raznih ekoloških niša i uloga u ekološkom sustavu. Prisutnost različitih taksonomskih skupina ukazuje na složenu i dinamičnu zajednicu makrozoobentosa (Bućan i Miliša 2023).

Od sveukupno 17 utvrđenih svojiti, najveći udio makrozoobentosa čine ličinke vodenih kukaca, što je i očekivano s obzirom na to da se radi o pionirskim vrstama koje su vrlo dobri kolonizatori.

Trzalci su u najvećem broju činili sastav zajednice ispitivanih lokacija. Činjenica da su pronađeni u gotovo svim uzorcima i u svim vremenima uzorkovanja (pa čak i na samom početku istraživanja) govori u prilog tome da su vrlo dobri kolonizatori. Ovakav tip staništa i sporih struja im pogoduje jer zbog nedostatka organa za prijanjanje uz podlogu nisu prilagođeni životu u brzim strujama (Konig i Santos 2013). Jako se dobro adaptiraju kolebanju ekoloških uvjeta i degradiranim staništima (Mori i Brancelj 2006) pa ne čudi njihovo prisustvo i gustoća u svim uzorcima tijekom cijele godine. Kratak reproduktivni period i velik broj potomaka uz odgovarajuću temperaturu za posljedicu je imalo rast gustoće

trzalaca nađenih u uzorcima kroz godinu, odnosno smanjenje gustoće zbog izlijetanja koje je temperaturno ovisno (Batzer i Boix 2016; Ivković i sur. 2015)

Druga najzastupljenija skupina među ličinkama vodenih kukaca su ličinke mušica svrbljivica. Ličinke se uglavnom hrane filtriranjem, ali i struganjem organskih stvari s dna i predatorstvom. Vrijednosti fizikalno-kemijskih svojstava vode, najviše temperatura, alkalinitet, provodljivost i tip staništa (Ivković i sur. 2014), ali i količina hranjivih stvari (Halgoš i sur. 2001) i degradacija staništa (Hamada i sur. 2002) izravno uvjetuju njihovu prisutnost na nekom staništu. Determinacija jedinki do vrste, omogućila bi dublji uvid u odnos biotičkih i abiotičkih čimbenika i u kolonizacijsku sposobnost vrste (Ross i Meritt 1987). Ipak, prisutnost ličinki mušica svrbljivica u uzorcima od početka istraživanja potvrđuje visoku kolonizacijsku sposobnost skupine i govori u prilog prednostima uklanjanja invazivne vegetacije u obnavljanju degradiranih staništa.

Vodencvjetovi su treća skupina najbrojnijih izoliranih ličinki vodenih kukaca. Kao skupina su osjetljivi na promjene ekoloških uvjeta što ih čini dobrim indikatorima kvalitete vode (Sartori i Brittain 2015). Promjene u gustoći i zastupljenosti pojedinih vrsta vodencvjetova mogu biti povezane s promjenama u vodnom režimu, fizikalno-kemijskim svojstvima vode ili supstratu pa bi detaljnije proučavanje bilo od velike koristi zbog dubljeg uvida u životne uvjete određenog staništa, ali i za praćenje potencijalnih onečišćenja. Sve izolirane jedinke pripadaju porodici Baetidae. U uzorcima su bile prisutne od samog početka istraživanja i broj im se postupno povećavao. Najviše ih je zabilježeno u svibnju i lipnju 2018. godine, nakon čega početkom rujna taj broj naglo opada. Pad gustoće vodencvjetova uzrokovan je emergencijom koja se kod te skupine događa najviše u svibnju i lipnju (Baxter i sur. 2005), a značajno je uvjetovana temperaturom vode i fotoperiodom jer o njima ovisi razvoj ličinki (Vilenica i Ivković 2021).

Pripadnici tulara i dvokrilaca su u uzorcima zastupljeni jednakom gustoćom.

Prisutnost tulara na ovim staništima ne iznenađuje. Zbog svojih posebnih prilagodbi poput predljivih niti koje koriste za izgradnju tunela, skloništa ili mreža, nastanjuju raznolika staništa. Staništa mogu biti unutar raznolikih ekoloških uvjeta (Holzenthal i sur. 2007). Njihove su mreže od velike važnosti jer njima mijenjaju svoj okoliš djelujući na ekosustav (Cardinale i sur. 2004), ali i zbog toga što sudjeluju u osedranju tijekom procesa nukleacije kalcita (Carthew i sur. 2003). Radi osjetljivosti na onečišćenja, još su jedna od skupina zabilježenih ovim istraživanjem koje mogu koristiti kao dobri indikatori ekološkog stanja ovakvih staništa (Graf i sur. 2002; Morse 2003). Izolirane su jedinke iz porodica Hydropsychidae i Rhyacophilidae. Pripadnici Hydropsychidae su procjeđivači kojima ovakav

tip staništa odgovara zbog struje, odnosno stalnog dotoka hrane (Cardinale i sur. 2004). Ličinke porodice Rhyacophilidae su slobodnoplutajuće (Hickin 1967), grabežljive i ne grade mreže.

U proljeće i rano ljetno je zabilježena najveća gustoća jedinki, nakon čega se, kao i kod vodencvjetova, njihova gustoća početkom rujna drastično smanjuje što je u skladu s literaturnim podacima o vremenu emergiranja tijekom ljetnih mjeseci (Baxter i sur. 2005).

Dvokrilci zahvaljujući razvijenim prilagodbama mogu živjeti na svim vodenim staništima (Alder i Courtney 2019) zbog čega su odlični indikatori kvalitete vode, ali i ekoloških i klimatskih promjena (Alder i Courtney 2019; Walker 1987). S obzirom na navedeno, pronalazak dvokrilaca u uzetim uzorcima ne iznenađuje. Kao i kod vodencvjetova i tulara, najveći broj dvokrilaca zabilježen je u svibnju i lipnju nakon čega naglo opada početkom rujna. Odgovarajuća temperatura i fotoperiod su najznačajniji faktori koji utječu na emergenciju dvokrilaca (Ivković i Pont 2016) pa pad gustoće dvokrilaca možemo dovesti u vezu s emergencijom s obzirom na to da se radilo o višim temperaturama vode i danima duljeg trajanja dnevne svjetlosti.

Gustoća kornjaša nađenih u uzorcima je mala. Najviše su se pojavljivali u uzorcima uzetima na kontrolnoj lokaciji uz sporadično pojavljivanje u uzorcima uzetima na lokacijama unutar nanovo naplavljenih kanala. Gustoća u uzorcima iz nanovo naplavljenih kanala je bila vrlo mala. Vjerojatno se radi o tome da je jedan od određujućih faktora za sastav i brojnost zajednice kornjaša trajnost staništa (Lundkvist i sur. 2001). S obzirom na to da se radi o ponovno aktiviranim tokovima i staništima, moguće je da je upravo vrijeme bilo odlučujuć faktor koji je utjecao na njihovu gustoću.

Skokuni, polukrilci, vretenca i vodene grinje su u uzorcima nađeni vrlo rijetko i u vrlo malom broju radi čega ne postoji dovoljno informacija na temelju kojih bi se moglo izvesti više zaključaka.

Maločetinaši su od samog početka prisutni u velikoj većini uzoraka. Generalisti su, pa je njihova konstantna prisutnost očekivana. Važni su bioindikatori, prilagodljivi promjenama ekoloških uvjeta. Eurivalentni su organizmi pa nastanjuju velik broj staništa (Uzunov i sur. 1988). Osetljivi su na promjene pH vrijednosti (Miliša i sur. 2010), a s obzirom na prilično stabilan pH tijekom cijelog istraživanja, fizikalno-kemijski parametri idu u prilog njihovom životu na ovakim staništima.

Oblici zauzimaju različite trofičke razine i važna su stavka mnogih ekoloških procesa. Doprinosu zdravlju okoliša vodenih kopnenih i vodenih staništa. Mogu se koristiti kao biološki indikatori ekološkog stanja određenog staništa zbog raznolikih načina hranjenja, ali i

osjetljivosti na promjene okolišnih uvjeta. Problem je u tome što je determinacija oblića vrlo zahtjevna i obično moguća samo u slučaju da ih determinira stručnjak za samu skupinu. U ovom bi slučaju determinacija mogla biti korisna zbog praćenja promjena u sastavu zemlje. Lokacije unutar nanovo naplavljenih kanala pokazuju višu gustoću oblića nego kontrolna lokacija. Razlog tomu vjerojatno je veći udio zemlje u podlozi korita zbog uklanjanja pajasena.

Puževi su kontinuirano prisutni u uzorcima tijekom cijele godine od početka istraživanja. Mnogi fizikalno-kemijski parametri vode poput temperature, pH vrijednosti, količine otopljenog kisika, koncentracije kalcijevih iona i sl. utječu na rast i razvoj slatkovodnih puževa (Glöer 2002). Ovim je istraživanjem obuhvaćeno mjerenje mnogih fizikalno-kemijskih parametara vode što bi u kombinaciji s detaljnom determinacijom puževa moglo pridonijeti novim saznanjima o njihovoj brojnosti i raznolikosti. Također, moglo bi pridonijeti i očuvanju skupine jer su prema istraživanjima slatkovodni mekušci vrlo ugroženi (Cuttelod i sur. 2011). Jedan od najvećih razloga ugroženosti je degradacija staništa pa bi testna ploha praćena tijekom ovog istraživanja mogla koristiti i za daljnja istraživanja zbog obnove degradiranih staništa.

Rakušci i hidre su se u uzorcima pojavljivali sporadično na temelju čega nisam mogla donijeti više zaključaka.

Vrijednosti Sørensenovog indeksa sličnosti između kontrolne i ostalih lokacija pokazuju vrlo visoke sličnosti (0,85-0,90) između kontrolne i ostalih lokacija. Relativna blizina lokacija uzorkovanja, podjednake vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode i rekolonizacijske mogućnosti pripadnika makrozoobentosa potvrdile su očekivanja o postepeno m izjednačavanju raznolikosti nanovo naplavljenih lokacija s kontrolnom.

## 7. ZAKLJUČAK

Tijekom 13 mjeseci provedeno je istraživanje utjecaja uklanjanja invazivne vegetacije pajasena na oporavak makrozoobentosa uz praćenje fizikalno-kemijskih parametara vode. Promjene su praćene na 4 lokacije unutar obnovljenih staništa i uspoređene s kontrolnim staništem koje nije degradirano.

Uklanjanje invazivne vegetacije omogućilo je obnavljanje presušenih tokova rijeke Krke i degradiranih vodenih staništa. Vrlo brzo, uslijedila je rekolonizacija makrozoobentosa. Raznolikost se s kontrolnom lokacijom ujednačila nakon 3-4 mjeseca. U sastavu zajednice većinski su prevladavale ličinke vodenih kukaca među kojima su nabrojniji bili trzalci, mušice svrbljivice i vodencvjetovi. Od ostalih su skupina najbrojniji bili maločetinaši, oblići i puževi. Na temelju provedenih mjerenja fizikalno-kemijskih parametara na svim lokacijama zaključujem da ne postoje značajne razlike u kakvoći vode između kontrolne lokacije i nanovo naplavljenih lokacija. Iako su zabilježena odstupanja, radilo se o kratkotrajnim posljedicama vanjskih utjecaja, a ne promjenama u kakvoći vode. Vrijednosti kolebaju u skladu sa sezonskim promjenama i vodnim režimom područja.

Sa sigurnošću se može reći da je uklanjanje pajasena imalo velik pozitivan utjecaj na okoliš, bioraznolikost i očuvanje istih.

## 8. LITERATURA

Alder, P.H., Courtney, G.W. (2019): Ecological and Societal Services of Aquatic Diptera. **Insects** 10: 70.

Barquin, J., Death, R. G. (2011): Downstream changes in spring-fed stream invertebrate communities: the effect of increased temperature range. **Journal of limnology** 70: 134-146.

Batzer, D., Boix, D. (2016): Invertebrates in freshwater wetlands. Springer, Cham

Baxter, C. V., Fausch, K. D., Saunders, W. C. (2005): Tangled webs: reciprocal flows of invertebrate prey link streams and riparian zones. **Freshwater Biology** 50: 201-220.

Bergam, D. (2012): Nacionalni park Krka. Završni rad, Veleučilište "Marko Marulić" u Kninu, Knin

Boršić, I., Milović, M., Dujmović, I., Bogdanović, S., Cigić, P., Rešetnik, I., Nikolić, T., Mitić, B. (2008): Preliminary check-list of invasive alien plant species (IAS) in Croatia. **Natura Croatica** 17: 55-71.

Boyd, C.E. (2020): Water Quality. Springer, Cham

Broadmeadow, S., Nisbet, T. R. (2004): The effects of riparian forest management on the freshwater environment: a literature review of best management practice. **Hydrology and Earth System Sciences** 8: 286-305.

Broadmeadow, S. B., Jones, J. G., Langford, T. E. L., Shaw, P. J., Nisbet, T. R. (2011): The influence of riparian shade on lowland stream water temperatures in southern England and their viability for brown trout. **River Research and Applications** 27: 226-237.

Bućan, D., Miliša, M. (2023): Circadian (re)colonisation dynamics of macroinvertebrates in an isolated karst spring. **Science progress** 106: 368504231166956.



Cardinale, B. J., Gelmann, E. R., Palmer, M. A. (2004): Net spinning caddisflies as stream ecosystem engineers: the influence of Hydropsyche on benthic substrate stability. **Functional ecology** 18: 381-387.

Carthew, D. K., Drysdale, R. N., Taylor, M. P. (2003): Tufa deposits and biological activity, Riversleigh, northwestern Queensland. U: Roach, I. C. (ur.), Advances in regolith: Proceedings of the CRC LEME regional regolith symposia, CRC LEME, Bentley, str. 55-59.

Christensen, E. D. (2005): Assessments, water-quality trends, and options for remediation of acidic drainage from abandoned coal mines near Huntsville, Missouri, 2003-2004. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2005-5202: 7-9.

Cukrov, N., Cmuk, P., Mlakar, M., Omanović, D. (2008): Spatial distribution of trace metals in the Krka River, Croatia: an example of the self-purification. **Chemosphere** 72: 1559-1566.

Cuttelod, A., Seddon, M., Neubert, E. (2011): European Red List of Non-marine Molluscs. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Dodds, W.K., Smith, V.H. (2016): Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in streams. **Inland Waters** 6: 155-164.

Frédéric, P., Jigorel, A., Bertru, G. (2003): Development of cyanobacterial build-up and evolution of river bed morphology in the chalk stream Eaulne (Upper-Normandy, France). **Biodiversity & Conservation** 12: 621-636.

Galloway, J. N., Denterner, F. J., Capone, D. G., Boyer, E. W., Haowarth, R. W., Seitzinger, S. P., Asner, G. P., Cleveland, C. C., Green, P. A., Holland, E. A., Karl, D. M., Michaels, A. F., Porter, J. H., Townsend, A. R., Vörösmarty, C. J. (2004): Nitrogen cycles: past, present, and future. **Biogeochemistry** 70: 153-226.

Giller, P. S., Malmqvist, B. (1998): The Biology of Streams and Rivers. Oxford University press, Oxford.

Girardi, R., Pinheiro, A., Pospissil Garbossa, L. H., Torres, E. (2016): Water quality change of rivers during rainy events in a watershed with different land uses in Southern Brazil. **RBRH** 21: 514-524.

Glöer, P. (2002): Die Süßwassergastropoden Nord- und Mitteleuropas: Bestimmungsschlüssel, Lebensweise, Verbreitung. ConchBooks, Hackenheim.

Goreta, G. (2017): Monitoring kvalitete vode rijeke Krke. **BUK – Glasnik Javne ustanove „Nacionalni Park Krka“** 15: 8-19.

Graf, W., Grasser, U., Waringer, J. (2002): Trichoptera - Part III. U: Moog, O. (ur.), Fauna Aquatica Austriaca, Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Landund Forstwirtschaft, Beč, str. 1-41.

Halgoš, J., Illésová, D., Krno, I. (2001): The effect of some ecological factors on longitudinal patterns of black fly community structure (Diptera, Simuliidae) in a foothill stream. **Biologia** 56: 513-523.

Hamada, N., McCreadie, J. W., Adler, P. H. (2002): Species richness and spatial distribution of blackflies (Diptera: Simuliidae) in streams of Central Amazonia, Brazil. **Freshwater Biology** 47: 31-40.

Hickin, N. E. (1967) : Caddis larvae (Larvae of the British Trichoptera). Hutchinson, London.

Hoaghia, M.-A., Moldovan, A., Kovacs, E., Mirea, I.C., Kenesz, M., Brad, T., Cadar, O., Micle, V., Levei, E.A., Moldovan, O.T. (2021): Water Quality and Hydrogeochemical Characteristics of Some Karst Water Sources in Apuseni Mountains, Romania. **Water** 13: 857.

Holzenthal, R.W., Blahnik, R. J., Prather, A. L., Kjer, K. M. (2007): Order Trichoptera Kirby, 1813 (Insecta), Caddisflies. **Zootaxa** 1668: 639-698.

Hrvatske vode (2016): Metodologija uzorkovanja, laboratorijskih analiza i određivanja omjera ekološke kakvoće bioloških elemenata kakvoće.

Idžojić, M., Zebec, M. (2006): Rasprostranjenost pajasena (*Ailanthus altissima* Mill./Swinge) i širenje invazivnih drvenastih neofita u Hrvatskoj. **Glasnik za šumske pokuse** 5: 315-323.

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: 104-115.

Ivković, M., Kesić, M., Mihaljević, Z., Kudela, M. (2014): Emergence patterns and ecological associations of some haematophagous blackfly species along an oligotrophic hydrosystem. **Medical and Veterinary Entomology** 28: 94-102.

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., Pont, A. C. (2016): Long-time emergence patterns of Limnophora species (Diptera, Muscidae) in specific karst habitats: tufa barriers. **Limnologica** 61: 29-35.

Kalny, G., Laaha, G., Melcher, A., Trimmel, H., Weihs, P., Rauch, H. P. (2017): The influence of riparian vegetation shading on water temperature during low flow conditions in a medium sized river. **Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems** 418: 5.

Kamarudin, M. K. A., Abd Wahab, N., Bati, S., Toriman, M., Mohd, Saudi, A. S., Umar, R., Sunardi, S. (2020): Seasonal Variation on Dissolved Oxygen, Biochemical Oxygen Demand and Chemical Oxygen Demand in Terengganu River Basin, Malaysia. **Journal of Environmental Science and Management** 23: 1-7.

König, R., Santos, S. (2013): Chironomidae (Insecta: Diptera) of different habitats and microhabitats of the Vacacaí-Mirim River microbasin, Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 85: 3.

Krebs, C. J. (1999): *Ecological Methodology*. Benjamin/Cummings, Menlo Park.

Levy, G. J., Smith, H. J. C., Agassi, M. (1988): Water temperature effect on hydraulic conductivity and infiltration rate of soils. **South African Journal of Plant and Soil** 6: 240-244.

Lundkvist, E., Landin, J., Karlsson, F. (2001): Dispersing diving beetles (Dytiscidae) in agricultural and urban landscapes in south-eastern Sweden. **Annales Zoologici Fennici** 39: 109-123.

Matoničkin Kepčija, R. (2003): Program GLOBE – Priručnik za mjerenja, Istraživanje vode. <https://globe.pomsk.hr/prirucnik/voda.PDF> (pristupljeno 23.06.2024.)

Miliša, M., Živković, V., Matoničkin Kepčija, R., Habdija, I. (2010): Siltation disturbance in a mountain stream: aspect of functional composition of the benthic community. **Periodicum biologorum** 112: 173-178.

Mori, N., Brancelj, A. (2006): Macroinvertebrate communities of karst springs of two river catchments in the Southern Limestone Alps (the Julian Alps, NW Slovenia). **Aquatic Ecology** 40: 69-83.

Morse, J. C. (2003): Trichoptera (caddisflies). U: Resh, V. H. i Carde, R.T. (ur.), *Encyclopedia of Insects*, Academic press, San Diego, str. 1145-1151.

Nacionalni park Krka (2024): LIFE CONTRA Ailanthus project (dostupno na: [https://www.npkrka.hr/en\\_US/prirodna-bastina/projekti/projects/life-contr-a-ilanthus/](https://www.npkrka.hr/en_US/prirodna-bastina/projekti/projects/life-contr-a-ilanthus/) ; pristupljeno: 23.06.2024.)

Nikolić, T., Mitić, B., Boršić, I. (2014): Flora Hrvatske, invazivne biljke. Alfa d.d., Zagreb  
Novak, M., Novak, N. (2017): Rasprostranjenost invazivne strane vrste pajasena [*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle] po županijama Republike Hrvatske. **Glasilo biljne zaštite** 17: 329-337.

Novak, N., Kravarščan, M. (2014): Pajasen (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) - strana invazivna biljna vrsta u Hrvatskoj. **Glasilo biljne zaštite** 3: 254-261.

Petrova, A., Vladimirov, V., Georgiev, V. (2013): Invasive alien species of vascular plants in Bulgaria. Institute of Biodiversity and Ecosystem Research, Bulgarian Academy of Sciences

Pitois, F. (2001): Colonization dynamics of an encrusting cyanobacterial mat in a harwater river (Eaulne, France). **Geomicrobiology journal** 18: 139-155

Prudhomme, C., Giuntoli, I., Robinson, E. L., Clark, D. B., Arnell, N. W., Dankers, R., Fekete, B. M., Franssen, W., Gerten, D., Gosling, S. N., Hagemann, S., Hannah, D. M., Kim, H., Masaki, Y., Satoh, Y., Stacke, T., Wada, Y., Wisser, D. (2014): Hydrological droughts in the 21st century, hotspots and uncertainties from a global multimodel ensemble experiment. **PNAS** 111: 9.

Riđanović, J. (1994): Geografski smještaj (položaj) i hidrogeografske značajke Plitvičkih jezera. U: Plitvička jezera-nacionalno dobro Hrvatske, svjetska baština: znanstveni skup, Uprava nacionalnog parka Plitvička jezera, Zagreb, str. 29-42.

Ross, D. H., Merritt, R.W. (1987): Factors affecting larval blackflies distribution and population dynamics. U: Kim, K. C. i Merritt, R. W. (ur.) Black flies: Ecology, Population Management and Annotated World List. The Pennsylvania State University, University Park. str. 90-108.

Sartori, M., Brittain, J.E. (2015) Order Ephemeroptera. U: Thorp, J. i Rogers, D.C. (ur.), Ecology and General Biology: Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates. Academic Press, str. 873-891.

Smith, H., Wood, P. J. 2002 Flow permanence and macroinvertebrate community variability in limestone spring systems. **Hydrobiologia** 487: 45-58.

Sušić, G., Radek, V. (2008): Invazivne strane biljne i životinjske vrste otoka Cresa. Ekocentar Caput Insulae, Beli.

Šiljeg, A., Marić, I., Cukrov, N., Domazetović, F., Roland, V. (2020): A multiscale framework for sustainable management of tufa-forming watercourses: a case study of national park "Krka". **Water** 12: 3096.

Štambuk-Giljanović, N. (2005): The quality of water resources in Dalmatia. **Environmental Monitoring and Assessment** 104: 235-267.

Trichkova, T., Tyufekchieva, V., Kenderov, L., Vidinova, Y., Botev, I., Kozuharov, D., Hubenov, Z., Uzunov, Y., Stoichev, S., Cheshmedjiev, S. (2013): Benthic macroinvertebrate diversity in relation to environmental parameters, and ecological potential of reservoirs, Danube river basin, North-West Bulgaria. **Acta Zoologica Bulgarica** 65: 337-348.

Uzunov, J., Košel, V., Sladeček, V. (1988): Indicator value of freshwater Oligochaeta. **Clean: Soil Air Water** 16: 173-186.

Vilenica, M., Ivković, M. (2021): A decade-long study on mayfly emergence patterns. **Marine and Freshwater Research** 72: 507-519.

Walker, I. R. (1987): Chironomidae (Diptera) in paleoecology. **Quaternary Science Reviews** 6: 29-40.

Weber, E. (2003): *Invasive Plant Species of the World: a Reference Guide to Environmental Weeds*. CAB International Publishing, Wallingford

## 9. ŽIVOTOPIS

Rođena sam 11. 11. 1995. u Zagrebu. Nakon završetka osnovne škole, upisala sam Prirodoslovnu školu Vladimira Preloga. Ondje sam 2014. godine završila smjer Prirodoslovna gimnazija nakon čega sam upisala Prirodoslovno-matematički fakultet u Zagrebu. Tijekom studiranja, pomagala sam u izolaciji makrozoobentosa, sudjelovala na nekoliko skupova i kongresa u području slatkovodne ekologije i studentski radila u farmaceutskoj industriji.