

# Utjecaj različitih metoda restauracije na sastav zooplanktona priobalnih jadranskih lokvi

---

Thür, Edi

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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:217:210449>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-22**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Edi Thür

**Utjecaj različitih metoda restauracije na  
sastav zooplanktona priobalnih  
jadranskih lokvi**

Diplomski rad

Zagreb, 2021.

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Edi Thür

**Impact of different restoration methods on  
the zooplankton assemblage in the  
Adriatic coastal ponds**

Master thesis

Zagreb, 2021.

Ovaj rad je izrađen u Laboratoriju za beskralježnjake na Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom prof. dr. sc. Marije Špoljar. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra eksperimentalne biologije.

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno- matematički fakultet  
Biološki odsjek

Diplomski rad

## Utjecaj različitih metoda restauracije na sastav zooplanktona priobalnih jadranskih lokvi

Edi Thür

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Zooplankton je važna komponenta biocenoza brojnih lentičkih ekosustava te je ujedno i izuzetan indikator promjena okolišnih čimbenika i ekološkog stanja. U hranidbenim mrežama ovih ekosustava zooplankton ima ključnu ulogu u prijenosu energije i hranjivih tvari od primarnih proizvođača do viših trofičkih razina. Antropogeni utjecaj i globalne klimatske promjene smanjuju bogatstvo plitkih vodenih tijela te se u svrhu njihovog očuvanja danas provode brojne restauracijske metode kako bi se održala i poboljšala njihova bioraznolikost. Stoga su ciljevi ovog rada bili: (i) usporediti strukturalni i funkcionalni sastav zooplanktona; (ii) utvrditi čimbenike koji određuju sastav zooplanktona; i (iii) odrediti stupanj trofije i ekološko stanje restauriranih plitkih vodenih tijela i onih bez primijenjenih restauracijskih metoda s izraženim antropogenim utjecajem u priobalnom jadranskom području. U devet lokvi determinirane su 42 vrste, a raznolikosti vrsta su najviše doprinijeli kolnjaci (26). Najveće brojnosti zooplanktona zabilježene su u lokvama na kojima je bila provedena redukcija makrofita, a najmanje brojnosti opažene su u lokvama bez primjene restauracijskih metoda. Značajan utjecaj na sastav zooplanktona imali su konduktivitet i koncentracija suspendirane organske tvari, kompleksnost građe makrofita te biomasa fitoplanktona. Rezultati ovog rada potvrđuju važnost pravilnog provođenja restauracijskih metoda u svrhu očuvanja bioraznolikosti i održavanja dobrog ekološkog stanja plitkih vodenih tijela.

(72 stranice, 15 slika, 6 tablica, 100 literaturnih navoda, hrvatski jezik)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: kolnjaci, rašljoticalci, veslonošci, redukcija makrofita, drenaža sedimenta, ekološki status

Voditelj: Dr. sc. Maria Špoljar, prof.

Ocjenitelji: Dr. sc. Maria Špoljar, prof.

Dr. sc. Mirela Sertić Perić, doc.

Dr. sc. Goran Kovačević, prof.

Dr. sc. Tvrtko Dražina, doc. (zamjena)

Rad prihvaćen: 15. rujna 2021.

# BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Master Thesis

## Impact of different restoration methods on the zooplankton assemblage in the Adriatic coastal ponds

Edi Thür

Rooseveltovo trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

Zooplankton is an important component of the biocenoses in many lentic ecosystems and is also an exceptional indicator of changes in environmental variables and ecological status. In food webs, zooplankton is considered to have a key role in transfer of energy and nutrients from primary producers to higher trophic levels. Anthropogenic impact and global climate changes reduce the richness of shallow water bodies, and in order to preserve them, numerous restoration methods are being carried out. The main objectives of this study were: (i) to compare structural and functional composition of zooplankton; (ii) to indicate the factors that determine the composition of zooplankton; (iii) to determine trophy degree and ecological status of restored ponds and shallow water bodies without applied restoration methods with a pronounced anthropogenic influence of coastal Adriatic area. In nine ponds, 42 species were determined, and the diversity of species was mostly contributed by rotifers (26). The greatest abundance of zooplankton was observed in shallow lakes which were restored by macrophyte reduction, while the least abundance of zooplankton was observed in shallow water bodies without applied restoration methods. Conductivity, suspended organic matter concentration, complexity of macrophyte structure and phytoplankton biomass had a significant influence on the zooplankton composition. The results of this study confirm the importance of proper implementation of restoration measures in order to preserve biodiversity and maintain good ecological status of shallow water bodies.

(72 pages, 15 figures, 6 tables, 100 references, original in: Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library.

Keywords: rotifers, cladocerans, copepods, macrophyte reduction, sediment drainage, ecological status

Supervisor: Dr. Maria Špoljar, Prof.

Reviewers: Dr. Maria Špoljar, Prof.

Dr. Mirela Sertić Perić, Asst. Prof.

Dr. Goran Kovačević, Prof.

Dr. Tvrtko Dražina, Asst. Prof. (replacement)

Thesis accepted: 15<sup>th</sup> September, 2021.

*Zahvaljujem mentorici prof. dr. sc. Mariji Špoljar na pomoći pri izboru teme diplomskog rada kao i na pomoći pri radu u laboratoriju te razumijevanju i savjetima tijekom pisanja ovog diplomskog rada.*

## Lista kratica

A – algivori

AN – plitka vodena tijela bez primijenjenih restauracijskih metoda s izraženim antropogenim utjecajem

ANOSIM – analiza sličnosti temeljem brojnosti populacija zooplanktona

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

BR – Brestići

CCA – (eng. *Canonical Correlation Analysis*) kanonička analiza korespondencije

Chl *a* – klorofil *a*

CLA – Cladocera (rašljoticalci)

COP – Copepoda (veslonošci)

D – detrivori

DM – (eng. *Dry Mass*) suha biomasa

DOM – (eng. *Dissolved Organic Matter*) otopljene organske tvari

DS – lokve obnovljene drenažom sedimenta

FFG – (eng. *Functional Feeding Guilds*) funkcionalne trofičke skupine

KA – Kadrijol

L – litoralni

LK – Leprićanski kal

P – predatori/planktonski

PA – močvara Palud

PA1 – Palud ušće

PA2 – Palud pelagijal

PA3 – Palud litoral

PE17 – Pešćine 2017. godine

PE18 – Pešćine 2018. godine

PM – Premantura

POM – (eng. *Particulate Organic Matter*) suspendirane organske tvari

RI – Rijavac

RM – lokve obnovljene redukcijom makrofita

ROT – Rotifera (kolnjaci)

SD – standardna devijacija

ST – Staja



SV – srednja vrijednost

TN – (eng. *Total Nitrogen*) ukupni dušik

TP – (eng. *Total Phosphorus*) ukupni fosfor

TSI – (eng. *Trophic State Index*) indeks stupnja trofije

TSI<sub>CR</sub> – (eng. *Crustacean Trophic State Index*) indeks stupnja trofije Crustacea

TSI<sub>ROT</sub> – (eng. *Rotifer Trophic State Index*) indeks stupnja trofije Rotifera

TSI<sub>ZOO</sub> – (eng. *Zooplankton Trophic State Index*) indeks stupnja trofije ukupnog zooplanktona

UČ – Učinovac

WM – (eng. *Wet Mass*) mokra masa

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Osnovna strukturalna i funkcionalna obilježja zooplanktona mediteranskih lokvi .....	3
1.2. Utjecaj okolišnih čimbenika na zooplankton mediteranskih lokvi .....	4
1.3. Metode restauracije lokvi .....	6
1.4. Uloga zooplanktona kao indikatora u procjeni kvalitete vode plitkih vodenih tijela.....	8
1.5. Ciljevi istraživanja.....	8
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA .....	11
3. MATERIJALI I METODE .....	19
3.1. Sakupljanje i analiza uzoraka zooplanktona .....	19
3.2. Analiza fizikalno-kemijskih parametara .....	19
3.3. Analiza i obrada podataka .....	20
4. REZULTATI.....	23
4.1. Fizikalno-kemijski čimbenici u istraživanim lokvama poluotoka Istre .....	23
4.2. Obilježja zooplanktona u istarskim lokvama .....	26
4.3. Stanišni ekološki tipovi i trofička struktura zooplanktona u lokvama Istre .....	29
4.4. Interakcije abiotičkih i biotičkih čimbenika u istraživanim lokvama Istre .....	33
4.5. Procjena ekološkog stanja istraživanih lokvi Istre .....	37
5. RASPRAVA.....	40
6. ZAKLJUČAK .....	46
7. LITERATURA.....	46
8. PRILOZI.....	58
9. ŽIVOTOPIS .....	59

## 1. UVOD

Plitka jezera i lokve najrasprostranjeniji su slatkovodni ekosustavi na Zemlji čiji su organizmi prilagođeni na životne uvjete s čestim i velikim oscilacijama okolišnih čimbenika (Zacharias i sur. 2007). Zbog malih dimenzija i vrlo male dubine, lokve su ugrožena staništa uslijed mnogobrojnih antropogenih utjecaja kao što su poljoprivreda, urbanizacija, turizam, otpadne vode, odlaganje otpada i ostalih oblika narušavanja sustava (Grillas i sur. 2004). Navedeni negativni utjecaji u plitkim vodenim tijelima najčešće dovode do eutrofikacije – povećane koncentracije organske tvari kao posljedice stalnog porasta koncentracija hranjivih tvari, dušika i fosfora (Moss i sur. 2003; Jeppesen i sur. 2007; 2012). Stoga se u mnogim zemljama u svijetu (npr. Danska, Nizozemska, Kina, SAD) pristupilo procesu obnavljanja ili restauracije plitkih vodenih tijela koristeći mehaničke, kemijske ili biološke metode (Jeppesen i sur. 2007; 2012).

Mediterransko priobalno područje obuhvaća široku raznolikost plitkih vodenih tijela; od močvara, malih povremenih lokvi pa sve do obalnih laguna (Blondel i sur. 2010). Mediteranske lokve su mala, ali važna žarišta biološke raznolikosti (De Meester i sur. 2005) te pružaju velik broj usluga ekosustava: izvor su pitke vode, važne su u navodnjavanju i brojnim poljoprivrednim aktivnostima, određuju su brojnih društvenih aktivnosti (Beklioglu i sur. 2016; Špoljar i sur. 2018a; Mullins i Doyle 2019).

Naime, mediteranske lokve često su povremena vodena tijela, u kojima se voda ne zadržava tijekom cijele godine, već se kod njih izmjenjuju hidroperiodi – razdoblja zadržavanja vode s razdobljima suše, a trajanje i brzina izmjene hidroperioda ujedno određuje vrstu lokve (Tablica 1; Sahuquillo i Miracle 2013). Mediteranske lokve, s obzirom na klimu s izrazito vrućim i sušnim ljetima i prohladnim zimama, najčešće presušuju tijekom ljeta dok su u ostalim godišnjim dobima u njihovim bazenima izražene oscilacije razine vode.

Tablica 1. Vrste lokvi s obzirom na duljinu trajanja hidroperioda (prema Sahuquillo i Miracle 2013).

Vrsta lokve	Trajanje hidroperioda
povremene s kratkim hidroperiodom (eng. <i>temporary short</i> - TS)	manje od 3 mjeseca
povremene s umjereno dugim hidroperiodom (eng. <i>temporary intermediate</i> - TM)	između 3 i 6 mjeseci
povremene s dugim hidroperiodom (eng. <i>temproray long</i> - TL)	od 6 do 9 i više mjeseci uz godišnje ljetno isparavanje
polustalne (eng. <i>semi-permanent</i> - SP)	presuše svakih nekoliko godina
stalne (eng. <i>permanent</i> - P)	trajne

Trajanje hidroperioda značajno utječe na funkcioniranje i strukturu akvatičkih biocenoza, a time i na brojnost i raznolikost zooplanktona plitkih vodenih tijela (Compte i sur. 2015). Naime, prema Williamsu (1987), kraći hidroperiodi uglavnom onemogućuju pojedina staništa u postizanju ravnotežnog stanja. Uz navedeno, Serrano i Fahd (2005), prilikom istraživanja utjecaja hidroperioda na sastav i raznolikost zooplanktona u 19 plitkih vodenih tijela Nacionalnog Parka Doñana (jugozapadna Španjolska), su utvrdili da prilikom prolongacije hidroperioda dolazi do značajnije promjene okolišnih uvjeta i povećanja raznolikosti kolnjaka i rašljoticalaca.

Lokve su rijetko zaštićena staništa, međutim, mediteranske povremene lokve označene su kao prioritetna, a ujedno i ranjiva te ugrožena staništa prema Natura 2000 mreži Europske unije (Direktiva o staništima 92/43/EEZ). Pronađeni su brojni arheološki nalazi koji pružaju brojne informacije o ekološkom funkcioniranju samih lokvi u prošlosti, o okolišu u kojem su se nalazile te o načinu života naših predaka i njihovog odnosa prema lokvama ([www.europeanponds.org](http://www.europeanponds.org)).

Najvažniji razlozi za zaštitu lokvi su sljedeći:

- 1) lokve su općenito izrazito mali ekosustavi čije se ekološko funkcioniranje u potpunosti razlikuje od velikih ekosustava (Søndergaard i sur. 2005);
- 2) lokve su mala vodena tijela koja na globalnoj razini pokrivaju ukupno veću površinu od jezera (Downing i sur. 2006);
- 3) mediteranske lokve obilježava posebna kombinacija okolišnih čimbenika koji se odnose na strukturu i dinamiku zajednica koje pokazuju značajne razlike u odnosu na druge ekosustave umjerenog klimatskog pojasa (Peñuelas i sur. 2007);
- 4) ova staništa uključena su u mediteranski biom koji obuhvaća vrlo malo (otprilike 5%) Zemljine površine, ali je identificiran kao jedan od svjetskih žarišta biološke raznolikosti (Myers i sur. 2000).

### **1.1. Osnovna strukturalna i funkcionalna obilježja zooplanktona mediteranskih lokvi**

Zooplankton (kolnjaci – Rotifera, rašljoticalci – Cladocera, veslonošci – Copepoda) je važna komponenta biocenoza lentičkih ekosustava, a ujedno je i izuzetan indikator promjena okolišnih čimbenika (Špoljar i sur. 2012a; Kuczyńska-Kippen i sur. 2020). Mikrofauna, u planktonu i bentosu, čini ključnu komponentu u prijenosu energije i hrane od primarnih proizvođača, algi i pojedinih bakterija, do primarnih potrošača i viših trofičkih razina te se stoga zooplankton općenito smatra temeljem hranidbenih mreža u lentičkim ekosustavima (Kuczyńska-Kippen 2005; Špoljar i sur. 2011). Također, zooplankton posjeduje niz prilagodbi (brza reprodukcija, otporni mirujući stadij, kratki životni ciklus) koje omogućavaju preživljavanje velikih oscilacija okolišnih čimbenika, npr. temperature, koncentracije kisika, razine vode (Špoljar i sur. 2016).

Rotifera (kolnjaci) su uglavnom organizmi širokog areala, a preko 90% svih poznatih vrsta živi u slatkim vodama. Jednim dijelom su to planktonski i semiplanktonski oblici, a većinu čine oblici vezani uz obraštaje i bentos te su važna komponenta slatkovodnog zooplanktona (Castro i sur. 2007; Habdija i sur. 2011; Compte i sur. 2015). Cladocera (rašljoticalci) su najbrojnija skupina škrgonožaca (razreda Branchiopoda) od kojih većina vrsta živi u vodama na kopnu dok je iznimno mali broj morskih vrsta (Forró i sur. 2008). Copepoda (veslonošci) su uglavnom planktonski morski rakovi, ali također određen broj vrsta živi i u slatkim vodama.

Prema načinu ishrane, veslonošci su uglavnom algivori, ali postoje i predatorske vrste dok su kolnjaci i rašljoticalci prvenstveno filtratori detritivori (hrane se suspenzijom detritusa-organske tvari i bakterija) i algivori, uz također poneku predatorsku vrstu (Wallace i sur. 2006).

## **1.2. Utjecaj okolišnih čimbenika na zooplankton mediteranskih lokvi**

Na raznolikost, brojnost i biomasu zooplanktona kao i na razne životne funkcije kao što su prehrana, rast, razmnožavanje te migracije utječu brojni abiotički (temperatura, koncentracija kisika, intenzitet svjetlosti) i biotički (dostupnost hrane, predacija, kompeticija) čimbenici, pozitivno ili negativno. Uz to, globalne klimatske promjene u posljednje vrijeme imaju vrlo velik utjecaj na funkcioniranje brojnih ekosustava, posebno plitkih gdje su organizmi u litoralnoj zoni suočeni s čestim promjenama staništa voda/kopno (Jeppesen i sur. 2014).

Meditersku klimu obilježavaju vruća, suha ljeta i pro hladne, vlažne zime s izrazitom sezonskom raspodjelom padalina. Padaline su češće u zimskom dijelu godine dok su ljeta pod utjecajem subtropskih anticiklona s izrazito visokom stopom sunčeve insolacije (Beck i sur. 2018). Kod plitkih vodenih tijela vrlo mala promjena u temperaturi može bitno utjecati na njihovo funkcioniranje. Primjerice, više temperature vode rezultiraju u velikoj brojnosti malih riba zbog ranijeg spolnog sazrijevanja i više ciklusa razmnožavanja (Jeppesen i sur. 2010a). Povećanjem brojnosti riba direktno se povećava predacijski pritisak na zooplankton. Naime, odrasle planktivorne ribe konzumiraju veće zooplanktonske vrste, posebice rašljoticalce, koji stoga migriraju u litoralnu zonu dok se veslonošci uglavnom štite reakcijom bijega jer brže plivaju u odnosu na rašljoticalce (Burks i sur. 2002). S druge strane, kolnjaci zbog svog malog tijela, nisu pod izravnim predatorskim pritiskom odraslih planktivornih riba iako su glavna hrana pojedinih ličinačkih stadija riba i taktilnih beskralježnjaka, starijih stadija kopepodita i ličinki kukaca (Miracle i sur. 2007). Povećana stopa predacije riba može dovesti do nepovratnih posljedica, mutnoće i cvjetanja fitoplanktona, u pokušaju vodenog ekosustava da zadrži ravnotežu, odnosno prozirnost i potrebnu kontrolu fitoplanktona (Moss i sur. 2004; Meerhoff i sur. 2007).

Plitka vodena tijela često pokazuju alternativna stanja, prozirno stanje s dominacijom submerznih makrofita te mutno stanje s dominacijom fitoplanktona (Scheffer i van Nes 2007). U mutnim vodama, zbog izuzetno velike biomase fitoplanktona i resuspenzije sedimenta, odsutni su submerzni makrofiti. U tim sustavima povećana je biomasa planktivorne ribe te

njihova aktivnost direktno utječe na smanjenje brojnosti algivornih rašljoticalaca velikog tijela (npr. jedinki iz rodova *Daphnia*, *Ceriodaphnia*, *Simocephalus*) (Meerhoff i sur. 2007).

Kako bi izbjegli predatore, zooplanktonski organizmi razvili su razne oblike ponašanja pri odabiru skloništa uključujući naseljavanje različitih zona i slojeva vode. U plitkim vodenim tijelima najčešće su horizontalne migracije u kojima većina rašljoticalaca u prisustvu vizualnih predatora tj. riba, najprije migrira u litoralnu zonu bogatu makrofitima (Kuczyńska-Kippen 2001; Meerhoff i sur. 2007) ili u pridnene slojeve vode (Castro i sur. 2007). Nadalje, prema rezultatima istraživanja hranidbenih mreža koje su proveli Špoljar i suradnici (2018b) proizlazi da su pojedine vrste planktonskih rakova, koje inače nastanjuju pelagijalna i litoralna staništa plitkih jezera, zbog velikog predacijskog pritiska bile prisiljene migrirati u sediment.

Salinitet je jedan od abiotičkih čimbenika koji može bitno promijeniti strukturu zooplanktona u pojedinim vodenim tijelima. Prema rezultatima istraživanja u plitkim vodenim tijelima semi-aridnog područja Irana, pojedine halobiontske vrste kolnjaka iz rodova *Brachionus*, *Hexarthra*, *Synchaeta*, *Notholca* postigle su vrlo visoku abundanciju u vodenim tijelima većeg saliniteta (Malekzadeh-Viayeh i Špoljar 2012). Nadalje, Horváth i suradnici (2014), prilikom istraživanja rasprostranjenosti, brojnosti i raznolikosti zooplanktona u 110 slanih lokvi karpatskog bazena dokazali su da povišenje saliniteta rezultira manjom brojnošću planktonskih rakova reda bezljuskaša (*Anostraca*) te većom brojnošću i manjom raznolikošću kolnjaka.

Nadalje, vodeno bilje ili makrofiti - makroskopski fotoautotrofni organizmi prilagođeni životu u vodi - mogu svojom prisutnošću značajno promijeniti brojne abiotičke i biotičke čimbenike (Cazzanelli i sur. 2008; Špoljar i sur. 2012b). Makrofitske sastojine, posebno submerznih (u potpunosti uronjene u vodu te mogu biti ukorijenjene i neukorijenjene u sedimentu) vrsta, imaju brojne značajne uloge u održavanju ravnoteže lentičkih ekosustava kao što su stabiliziranje sedimenta i sprječavanje njegove resuspenzije, smanjenje obalne erozije, asimilacije hranjivih tvari u biomasu, a rezultat toga je smanjenje biomase fitoplanktona (Scheffer i van Nes 2007; Špoljar i sur. 2012b).

Razlike u klimatskim područjima (hladnija umjerena vs. toplija mediteranska ili (sub)tropska) i različita distribucija te brojnost planktivornih riba imaju veliku ulogu u strukturiranju i izmjeni sastava zooplanktona plitkih vodenih tijela. Prema Meerhoff i suradnicima (2007), makrozoobentos i rašljoticalci imaju veću brojnost u umjerenim područjima dok je predatorski pritisak znatno izraženiji u makrofitskim sastojinama subtropskih vodenih tijela. Ovi rezultati

u skladu su s istraživanjem koje su proveli Moss i suradnici (2004) na šest plitkih vodenih tijela rasprostranjenih od Finske do južne Španjolske gdje se predacijski pritisak riba i opterećenje hranjivim tvarima povećavaju u toplim južnim vodenim ekosustavima u usporedbi sa sličnim ekosustavima umjerenog područja.

Zooplankton vrlo brzo reagira i na promjene uzrokovane trofičkim interakcijama, predacijskim pritiskom riba (*top-down kontrola*) ili dostupnošću fitoplanktona i hranjivih tvari (*bottom-up kontrola*) (Špoljar i sur. 2018b). *Top-down* kontrola potencijalno je veća u plitkim vodenim tijelima s iznimkom onih vodenih tijela s visokim udjelom submerznih makrofita jer u takvom okruženju zooplankton unutar makrofitskih sastojina brže nalazi zaklon od predatora. Kao primjer, prisutnost gambuzije (*Gambusia holbrooki* (Girard, 1859)) (*top-down kontrola*) utjecala je na smanjenje brojnosti i biomase zooplanktona u istraživanjima lokvi Dugog otoka i Raba (Špoljar i sur. 2019). Nadalje, Brett i suradnici (1997) te Du i suradnici (2015) utvrdili su da je količina i kvaliteta biomase fitoplanktona (*bottom-up kontrola*) regulirana dostupnošću nutrijenata te nadalje fitoplankton utječe na više trofičke skupine, točnije algivore koji se njima hrane. Navedena dva temeljna mehanizma kontrole akvatičnih populacija čine zooplankton odličnim bioindikatorom antropogenih utjecaja kao što su eutrofikacija ili općenito narušenost kvalitete vode (Jeppesen i sur. 2011).

### **1.3. Metode restauracije lokvi**

Posljednjih godina biološka raznolikost plitkih slatkovodnih ekosustava nesrazmjerno se smanjuje, u odnosu na velike slatkovodne te kopnene i morske ekosustave, kao posljedica sve većeg iskorištavanja i antropogenog utjecaja plitkih slatkovodnih tijela te klimatskih promjena koje dovode do kontinuiranog gubitka biološke raznolikosti (Garcia-Berthou i sur. 2007; Moss i sur. 2009). Restauracija/obnova degradiranih ili stvaranje novih plitkih vodenih tijela danas su uobičajene metode za očuvanje biološke raznolikosti (Cooke i sur. 2016). Prilikom restauracije plitkih vodenih tijela određuju se ciljevi koji se žele postići pojedinim metodama kao što su poboljšanje prozirnosti (smanjenje brojnosti pojedinih vrsta algi koje uzrokuju замуćenje vode, sniženje stope raspršivanja sedimenta), uklanjanje te kontroliranje nepoželjnih vrsta (primjerice invazivne gambuzije), kontroliranje prekomjernog rasta makrofita (npr. emerznih makrofita), poboljšanje staništa za poželjne vrste te ublažavanje potrošnje kisika kako bi se spriječili hipoksični, a u konačnici i anoksični uvjeti (Moss i sur. 1996).



Metode restauracije jezera, dijele se na: 1. kemijske metode – npr. dodavanje herbicida i/ili tvari koje stvaraju precipitate (najčešće pri kontroli fosfora); 2. fizičke metode – mehanička manipulacija sedimentom ili vodom; i 3. biološke metode uvođenje/uklanjanje organizama radi kontrole cvjetanja alga ili nekog drugog čimbenika koji narušava stabilnost ekosustava.

Eutrofikacija je i nadalje najveći globalni problem koji zahvaća brojne vodene ekosustave, a time sprječava postizanje poželjnog ekološkog stanja svojim štetnim utjecajem na njihovu bioraznolikost (Beklioglu i sur. 2017). Inaktivacija fosfora jedna je od kemijskih metoda restauracije koja bi mogla donekle smanjiti utjecaj eutrofikacije plitkih vodenih tijela, a temelji se na kontroli cvjetanja algi i povećanju prozirnosti vode. Provodi se dodavanjem soli željeza, aluminijske ili kalcijevog hidroksida te u konačnici precipitat adsorbira ortofosfate i male suspendirane čestice te ih precipitira u sediment. Ovom se metodom postiže poboljšana prozirnost vode, smanjuje se koncentracija fosfora u stupcu vode kao i stopa oslobađanja fosfora iz sedimenta (Moss i sur. 1996).

Drenaža je fizička (mekanička) metoda uklanjanja sedimenta koja je ujedno i jedna od najčešće primjenjivanih metoda restauracije plitkih vodenih tijela. Ciljevi ove metode su uklanjanje viška sedimenta koji je bogat nutrijentima i brojnim onečišćivačima te kontrola prekomjernog rasta makrofita. Premda se ova metoda restauriranja čini najjednostavnijom, ona može uslijed resuspenzije sedimenta i imobilizacije hranjivih tvari uzrokovati smanjenje prozirnosti vode i kratkotrajno cvjetanja algi (Moss i sur. 1996).

Bio-manipulacija obuhvaća niz metoda kojima se konstruiraju biocenoze slatkovodnih ekosustava radi poboljšanja kvalitete voda s ciljem kontroliranja rasta algi kada regulacija nutrijenata nije moguća. Ova metoda se bazira na manipuliranju hranidbenom mrežom kako bi se smanjio broj planktivornih riba i povećala brojnost velikog zooplanktona (npr. *Daphnia* sp.) te limitiranja brojnosti planktivornih (predatori nad algivornim rašljoticalcima) i bentoskih (bioturbacijom utječu na sediment i resuspenziju tvari) riba što reducira biomasu fitoplanktona i dodatan fosfora u stupac vode (Moss i sur. 1996; Jeppesen i sur. 2012).

Restauracija plitkih vodenih tijela procesom ponovnog uspostavljanja makrofita smatra se jednom od ekološki vrlo prihvatljivih metoda koja se najčešće temelji na direktnom zakorjenjivanju makrofita, praćenju njihove pokrovnosti i raznolikosti. Nedostatak ove metode je što može potrajati godinama, čak i desetljećima, dok se ne uspostavi pravilna zajednica

makrofita, a na nekim staništima nikada se neće moći povratiti prvobitna gustoća makrofita (Bakker i sur. 2013).

Proširenjem našeg razumijevanja na odgovore slatkovodnih ekosustava brojnim neprilikama kojima su pogođeni, bit ćemo u mogućnosti pridonijeti očuvanju iznimno velike bioraznolikosti te odabrati odgovarajuću metodu restauracije ovih iznimno važnih staništa (Jeppesen i sur. 2010a; 2010b).

#### **1.4. Uloga zooplanktona kao indikatora u procjeni kvalitete vode plitkih vodenih tijela**

Za praćenje kvalitete vode koriste se brojni indeksi. Primjerice, za procjenu indeksa stupnja trofije plitkih vodenih tijela najčešće se koristi Carlsonov indeks stupnja trofije koji uključuje informacije prozirnosti vode te koncentracijama ukupnog fosfora i fitoplanktonskog pigmenta klorofila *a* (eng. *Trophic State Index*, TSI; Carlson, 1977). Ove indekse u svojim radovima za procjenu indeksa stupnja trofije, posebno u jezerima umjerene i mediteranske klime koriste i drugi autori (Ejsmont-Karabin 2012; Stamou i sur. 2019). Naime, fitoplankton se smatra jednim od najprikladnijih elemenata za procjenu trofičkog stanja plitkih vodenih tijela zbog kratkog generacijskog vremena i direktnih odgovora na promjenjive koncentracije hranjivih tvari, fosfora i dušika (Lyche-Solheim i sur. 2013). Unazad deset godina uvedeni su i novi indeksi za procjenu stupnja trofije koji koriste podatke vezane uz obilježja zooplanktona, odnosno kolnjaka TSI<sub>ROT</sub> (Ejsmont-Karabin 2012) i planktonskih rakova TSI<sub>CR</sub> (Ejsmont-Karabin i Karabin 2013). Navedeni indeksi korišteni su ne samo u pružanju informacija o kvaliteti vode (Haberman i Haldna 2014), već i u vodenoj ekotoksikologiji (Kulkarni i sur. 2013). Uz spomenuta dva indeksa za procjenu stanja stupnja trofije, Stamou i suradnici (2019) predložili su novi indeks TSI<sub>ZOO</sub> koji daje točnije informacije o stupnju trofije temeljem biomase zooplanktona, a udružuje više prethodnih biotičkih parametara zooplanktona. Zooplankton, zbog svojih strukturalnih (raznolikosti, brojnosti, biomase) i funkcionalnih obilježja (prehrambene skupine, stanišni tipovi) može brzo reagirati na promjene ekoloških čimbenika što ga čini iznimno dobrim i pouzdanim bioindikatorom.

#### **1.5. Ciljevi istraživanja**

Dosadašnja istraživanja povremenih lokvi uglavnom su bila provedena u plitkim vodenim tijelima na području sjeverne i zapadne Europe (Švedska, Finska, Nizozemska, Francuska, Velika Britanija, Portugal, Španjolska). Istraživanja su se pretežno bazirala na utjecaju

submerznih makrofita (Thomaz i Cunha 2010), predaciji riba (Moss i sur. 2004), eutrofikaciji (Jeppesen i sur. 2010b; 2016), sastavu makrozoobentosa (Špoljar i sur. 2018b) te koncentracije hranjivih tvari, ukupnog fosfora i nitrata (Stephen i sur. 2004a,b; Jeppesen i sur. 2007a) na strukturiranje zooplanktona plitkih vodenih tijela.

Nažalost, vrlo je malo objavljenih radova koji doprinose spoznajama o biotičkim interakcijama i ekologiji zooplanktona plitkih vodenih tijela posebice u Mediteranskoj regiji kao i primjenjivosti raznih metoda restauracije istih (Grillas i sur. 2004; Brucet i sur. 2009; Compte i sur. 2015). Stoga su istraživanja provedena u ovom radu jedna od prvih na ovom području koja će doprinijeti razumijevanju i poznavanju primjenjivosti brojnih restauracijskih metoda i njihovog učinka na sastav zooplanktona plitkih vodenih tijela toplijeg umjerenog pojasa.

Na istarskom poluotoku lokve su od iznimne važnosti za tamošnje stanovništvo u prirodnom i kulturološkom smislu jer su u nekim mjestima bile i jedini izvor vode (za piće, napajanje stoke i divljih životinja). Veliki dio Istre nalazi se na crljenicom pokrivenom kršu s jako malo površinskih voda pa su se u prošlosti oko tih lokvi razvijala brojna sela. Lokve su povijesno smatrane i izvorima brojnih bolesti kao što je, primjerice, malarija, stoga su ili zatrpavane ili zaslanjivane, da se spriječi razvoj komaraca, međudomadara uzročnika malarije. Prema nekim procjenama u Istri danas ima oko tisuću do dvije tisuće lokvi, no mnoge od njih prepuštene su propadanju. Postupnim napuštanjem tradicijskog načina stočarenja i redovitog održavanja, lokve prirodnim putem obrastaju vegetacijom i postupno nestaju. Uz to, lokve su ugrožene i ljudskim djelatnostima, posebno turizmom - mnoge su zatrpane otpadnim materijalom ili prenamijenjene u druge svrhe (parkirališta, terase, gradilišta i sl.).

Važnost ovog istraživanja proizlazi iz sljedećeg:

- 1) pojedine jadranske lokve bile su na rubu terestifikacije te su primijenjene različite metode restauracije da se uspostavi njihovo funkcioniranje;
- 2) mali je broj istraživanja koja su provedena na jadranskim lokvama, a znanstveni radovi koji istražuju ekologiju zooplanktona u njima gotovo da nisu evidentirani.

S obzirom na navedeno, potrebna su daljnja istraživanja ovih jedinstvenih ekosustava gdje će se temeljem obilježja zooplanktona i okolišnih čimbenika analizirati učinci primijenjenih metoda restauracije na funkcioniranje ekosustava lokvi.

Stoga su ciljevi ovog rada bili:

- 1) usporediti kvalitativno i kvantitativno sastav zooplanktona između restauriranih lokvi i plitkih vodenih tijela bez primijenjenih restauracijskih metoda s izraženim antropogenim utjecajem priobalnog jadranskog područja;
- 2) utvrditi čimbenike koji određuju sastav zooplanktona između restauriranih lokvi i plitkih vodenih tijela bez primijenjenih restauracijskih metoda s izraženim antropogenim utjecajem priobalnog jadranskog područja;
- 3) utvrditi stupanj trofije i procijeniti ekološko stanje između restauriranih lokvi i plitkih vodenih tijela bez primijenjenih restauracijskih metoda s izraženim antropogenim utjecajem priobalnog jadranskog područja.

Mediterranske lokve općenito, zbog raznolikosti staništa i brojnih rijetkih i endemičnih vrsta, uvelike doprinose bioraznolikosti, a poznavanjem funkcioniranja ovih ekosustava mogu se provesti efikasne metode restauracije i donijeti mjere zaštite za očuvanje lokvi kao žarišta biološke raznolikosti (Špoljar i sur. 2019).

## 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Uzorkovanje zooplanktona provedeno je u ljetnim mjesecima 2017. i 2018. godine na 9 lokvi poluotoka Istre (Slika 1, Tablica 2) koje su bile podijeljene u tri skupine s obzirom na antropogene utjecaje i provedene metode restauracije:

- a) plitka vodena tijela bez primijenjenih restauracijskih metoda s izraženim antropogenim utjecajem (AN): močvara Palud (PA) (PA1 – Palud ušće; PA2 – Palud pelagijal; PA3 – Palud litoral) i lokva Leprićanski kal (LK);
- b) lokve obnovljene redukcijom makrofita (RM): Kadrijol (KA) i Peščine u 2017. (PE17) i 2018. godini, PE18);
- c) lokve obnovljene drenažom sedimenta (DS): Brestići (BR), Premantura (PM), Rijavac (RI), Staja (ST), Učinovac (UČ).

Palud je prirodna depresija na jugozapadu poluotoka Istre koja se nalazi u neposrednoj blizini mora, a zbog pritjecanja vode s okolnih brda pretvorila se u močvaru. 1906. godine, austrougarska vojska je prokopala kanal koji spaja močvaru s morskom vodom. Zbog prirodnih vrijednosti (od 2001. godine zaštićeno područje u kategoriji Posebni ornitološki rezervat) šire područje Paluda zaštićeno je u kategoriji Značajni krajobraz, a također je i dio ekološke mreže Republike Hrvatske. Obala lokve Leprićanski kal je tijekom godina bila sustavno uređivana i iz tog razloga su ova dva lokaliteta smještena u skupinu AN.

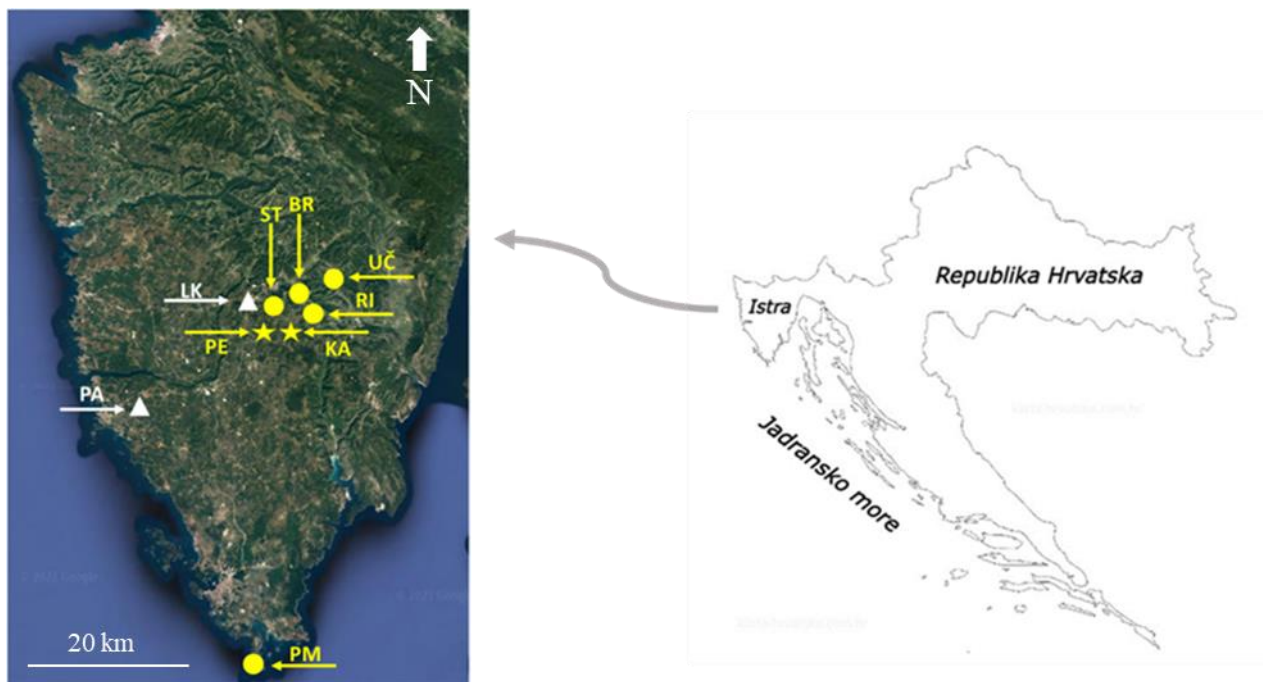
Neke od istraživanih lokvi bile su gotovo terestricirane i bez vode 20 do 40 godina, a restauracijskim metodama koje su se počele primjenjivati od 2012. godine voda se permanentno zadržava u njima (Tablica 2). Lokva Rijavac jedna je od lokvi Istre poznata kao stanište čak 16 vrsta vretenaca i ostalih životinja kao što su barski puž, *Lymnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758), veliki, *Triturus carnifex* (Laurenti, 1768) i mali vodenjak, *Lissotriton vulgaris* (Linnaeus, 1758), smeđa šumska žaba, *Rana dalmatina* (Fitzinger, 1839).

Premanturska lokva smještena je u Zaštićenom području Rt Kamenjak (Značajan krajobraz od 1996. godine) i jedna je od zanimljivijih lokvi Istre koja je povremeno stanište vrsti vretenca (Odonata, Insecta), grofu skitnici *Anax ephippiger* (Burmeister, 1839), koja je globalno migrirala iz Afrike te tijekom cijelog reproduktivnog ciklusa boravi na ovom području.

Lokva Staja jedna je od najvećih i među prvima u Istri koja je bila restaurirana učvršćivanjem dna bazena pomoću gline i vapna kako bi se stvorio vodonepropusni sloj. Vode u ovoj lokvi nije bilo gotovo trideset godina, a u prošlosti je bila od iznimne važnosti za divljač i stoku.

Od ihtiofaune u pojedinim lokvama (PA, LK, KA, PM) bile su opažene invazivna vrsta *G. holbrooki* te jegulja (*Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758)) i cipal bataš (*Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758)) u močvari Palud, a od vodozemaca gatalinka (*Hyla arborea* (Laurenti, 1768)) i smeđa krastača (*Bufo bufo* (Linnaeus, 1758)) te njihovi razvojni stadiji - punoglavci.

Od makrofita, u lokvama su bile zabilježene emerzne vrste obična trska (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud, 1841), uskolisni rogoz (*Typha angustifolia* (Linnaeus, 1753)), močvarni ljutak (*Cladium mariscus* ((L.) Pohl, 1809)), oštri sit (*Juncus acutus* (Linnaeus, 1753)), morska groznica (*Juncus maritimus* Linnaeus, 1753)), vrsta *Ranunculus peltatus* (Schrank, 1789) i ljuskavi zvjezdan (*Aster squamatus* (Spreng.) Hieron, 1901). Od submerznih makrofita zabilježene su vrsta plivajući mrijesnjak (*Potamogeton natans* (Linnaeus, 1753)) i mrijesnjak (*Potamogeton pectinatus* (Linnaeus, 1753)) te flotantna vrsta vodena leća (*Lemna minor* (Linnaeus, 1753)).



Slika 1. Prikaz istraživanih lokaliteta lokvi na poluotoku Istri.  $\Delta$  – Plitka vodena tijela bez primijenjenih restauracijskih metoda s izraženim antropogenim utjecajem (AN): Palud (PA), Leprićanski kal (LK);  $\star$  – Lokve obnovljene redukcijom makrofita (RM): Kadrijol (KA), Pešćine (PE17; PE18);  $\circ$  – Lokve obnovljene drenažom sedimenta (DS): Brestići (BR), Premantura (PM), Rijavac (RI), Staja (ST), Učinovac (UČ).

Tablica 2. Morfometrijska i ekološka obilježja istraživanih lokvi poluotoka Istre. Kratice: AN (a) – plitka vodena tijela bez primijenjenih restauracijskih metoda s izraženim antropogenim utjecajem (PA, LK); RM (b) – lokve obnovljene redukcijom makrofita (KA, PE17, PE18); DS (c) – lokve obnovljene drenažom sedimenta (BR, PM, RI, ST, UČ).

<b>Skupina AN</b>			
<b>a)</b>	<b>Toponim</b>	<b>Palud</b>	<b>Leprićanski kal</b>
	Kratica	PA	LK
	Koordinate	45° 01' 40" N 13° 42' 04" E	45° 07' 38" N 13° 54' 23" E
	Duljina max (m)	600,98	26,33
	Širina max (m)	336,6	20
	Dubina max (m)	0,2 - 0,7	2
	Prozirnost (m)	0,2 - 0,5	0,1
	Ribe	+	+
	Pokrovnost makrofitima (%)	50	96
	Tip makrofita	emerzni	submerzni
	Vrsta makrofita	<i>Phragmites australis</i> Cav. <i>Typha angustifolia</i> L. <i>Cladium mariscus</i> L. <i>Juncus acutus</i> L. <i>J. maritimus</i> L.	<i>Potamogeton natans</i> L.



Tablica 2. nastavak. Morfometrijska i ekološka obilježja istraživanih lokvi poluotoka Istre. Kratice: AN (a) – plitka vodena tijela bez primijenjenih restauracijskih metoda s izraženim antropogenim utjecajem (PA, LK); RM (b) – lokve obnovljene redukcijom makrofita (KA, PE17, PE18); DS (c) – lokve obnovljene drenažom sedimenta (BR, PM, RI, ST, UČ).

<b>Skupina RM</b>				
<b>b)</b>	<b>Toponim</b>	<b>Kadrijol</b>	<b>Pešćine'17</b>	<b>Pešćine'18</b>
	Kratica	KA	PE17	PE18
	Koordinate	45° 06' 20"N 13° 53' 41" E	45° 06' 42" N 13° 52' 29" E	45° 06' 42" N 13° 52' 29" E
	Duljina max (m)	23	8,05	8,05
	Širina max (m)	23	6	6
	Dubina max (m)	2,3	1,5	1,5
	Prozirnost (m)	0,5	0,1	0,6
	Ribe	+	-	-
	Pokrovnost makrofitima (%)	100	98	60
	Tip makrofita	emerzni	flotantni, submerzni	submerzni
	Vrsta makrofita	<i>P. australis</i> Cav.	<i>Lemna minor</i> L. <i>P. natans</i> L.	<i>P. natans</i> L.
	Stupanj sukcesije prije restauracije	Potpuna pokrivenost emerznim makrofitima	nikad presušeno	nikad presušeno

Tablica 2. nastavak. Morfometrijska i ekološka obilježja istraživanih lokvi poluotoka Istre. Kratice: AN (a) – plitka vodena tijela bez primijenjenih restauracijskih metoda s izraženim antropogenim utjecajem (PA, LK); RM (b) – lokve obnovljene redukcijom makrofita (KA, PE17, PE18); DS (c) – lokve obnovljene drenažom sedimenta (BR, PM, RI, ST, UČ).

Skupina DS						
c)	Toponim	Brestići	Premantura	Rijavac	Staja	Učinovac
Kratice	BR	PM	RI	ST	UČ	
Koordinate	45° 06' 38" N 13° 56' 0" 46" E	44° 47' 37" N 13° 54' 43" E	45° 06' 55" N 13° 54' 07" E	45° 06' 22,7"N 13° 57' 58,4" E	45° 06' 48" N 13° 53' 45" E	
Duljina max (m)	11	20	15	12	10	
Širina max (m)	7	20	15	8	7	
Dubina max (m)	1	1	1	2	2,2	
Prozirnost (m)	0,5	0,2	1	0,3	0,8	
Ribe	-	+	-	-	-	
Pokrovnost makrofitima (%)	0	20	0	20	30	
Tip makrofita	/	emerzni	/	submerzni	submerzni	
Vrsta makrofita	0	<i>Ranunculus peltatus</i> Schrank <i>Aster squamatus</i> (Spreng.) Hieron	0	<i>P. natans</i> L. <i>Potamogeton pectinatus</i> L.	<i>P. natans</i> L.	
Stupanj sukcesije prije restauracije	terestifikacija 40 godina bez vode	terestifikacija 30 godina bez vode	uznapredovala terestifikacija	terestifikacija 40 godina bez vode	terestifikacija 20 godina bez vode	



Palud



Leprićanski kal

Slika 2. Plitka vodena tijela bez primijenjenih restauracijskih metoda (Palud), ali s izraženim antropogenim utjecajem (AN). Močvara Palud – vrlo velika pokrovnost običnom trskom (*P. australis*). Leprićanski kal – s dominacijom plivajućeg mrijesnika (*P. natans*).



Kadrijol



Pešćine

Slika 3. Lokve obnovljene redukcijom makrofita (RM). Kadrijol nakon redukcije emerznih maktofita (obična trska – *P. australis*) i Pešćine nakon redukcije submerznih makrofita (vodena leća – *L. minor* i plivajući mrijesnik – *P. natans*).





Brestići



Premantura

Slika 4. Lokve obnovljene drenažom sedimenta (DS). Kod lokve Brestići nisu bili zabilježeni makrofiti dok su u lokvi Premantura dominirali *R. peltatus* i *A. squamatus*.



Rijavac



Staja



Učinovac

Slika 4. nastavak. U lokvi Rijavac zabilježena je uznapredovala terestifikacija bez makrofita dok je na lokvama Staja i Učinovac dominirao plivajući mriješnjak *P. natan.s*

### 3. MATERIJALI I METODE

#### 3.1. Sakupljanje i analiza uzoraka zooplanktona

Na svakom lokalitetu, ako je bilo moguće, uzorci su bili uzimani iz sredine lokve (slobodni stupac vode/pelagijal), uz rub makrofita prema pelagijalu te litoralnoj zoni unutar makrofitskih sastojina. Uzorci su uzimani u triplikatima filtrirajući 10 L vode kroz planktonsku mrežu promjera oka 26  $\mu\text{m}$ , a svaki triplikat (100 mL) bio je konzerviran formalinom (4 %). Nakon toga, u laboratoriju, uzorci su centrifugirani (3000 rpm, u trajanju od 5 minuta; EBA-20, Hettich) na volumen od 10 do 15 mL. Svaki je uzorak analiziran kvalitativno i kvantitativno u tri poduzorka korištenjem mikroskopa Carl Zeiss Jenaval (povećanje 250 $\times$ , 400 $\times$ ). Za determinaciju vrsta bili su upotrijebljeni sljedeći ključevi: Rotifera (Voigt i Koste 1978), Cladocera (Amoros 1984) i Copepoda (Einsle 1993), a brojnost jedinki izražena je po litri (jed/L). Kod izračunavanja biomase zooplanktona korištene su jednadžbe bazirane na geometrijskim tijelima koji odgovaraju obliku tijela pojedinih vrsta (Ruttner-Kolisko 1977) te je dobivena vrijednost biovolumena uzeta kao mokra masa, WM (eng. *Wet Mass*), iz koje je izračunata suha masa, DM (eng. *Dry Mass*) kao vrijednost od 10% mokre biomase (Radwan 2007).

S obzirom na funkcionalna obilježja vrste su bile raspoređene u stanišne ekološke tipove (litoralne, planktonske) i prehrambene ili trofičke skupine (algivori, detrivori, predatori; Špoljar i sur. 2012b; Kuczyńska-Kippen i sur. 2020). Za podjelu zooplanktona u trofičke/funkcionalne prehrambene skupine, FFG (eng. *Functional Feeding Guilds*) korištena je podjela na: Detrivore (D – hrane se suspenzijom čestica detritusa, bakterija i jednostaničnih algi, veličine 2 – 20  $\mu\text{m}$ ; Algivore (A – hrane se česticama veličine 5 – 50  $\mu\text{m}$ , uglavnom algama, uključujući i nitaste alge, a ponekad i praživotinjama); Predatore (P – hrane se uglavnom drugim zooplanktonima i praživotinjama) (Špoljar i sur. 2018a; 2018b).

#### 3.2. Analiza fizikalno-kemijskih parametara

Na terenu su izmjereni osnovni fizikalno-kemijski čimbenici temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), koncentracija otopljenog kisika (mg/L), pH (Hatch HQ30d), konduktivitet ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ , Hatch sensION5), prozirnost (m, Secchi disk). Na terenu su također, zabilježene i vrste makrofita te stupanj njihove pokrovnosti (%) kao i prisutnost (+) ili odsutnost riba (-). Paralelno s uzorcima zooplanktona uzimani su i parametri za kemijsku analizu vode koja je provedena u laboratoriju

Ionskom kromatografijom određene su hranjive tvari (kolona IonPAC AS22, Dionex ICS-3000, APHA 1995): amonijak (mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L), nitriti (mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L), nitrati (mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L), ortofosfati (mg P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>). Ukupni fosfor (eng. *Total Phosphorus*) (mg P/L) određen je prevođenjem u ortofosfate, spektrofotometrijski metodom s amonijevim molibdatom (APHA 1995), dok je ukupni dušik, TN (eng. *Total Nitrogen*) (mg N/L) određen Kjeldahlovom metodom (APHA 1995).

Otopljena organska tvar, DOM (eng. *Dissolved Organic Matter*) određena je volumetrijskom metodom i temeljem kemijske potrošnje kisika iz kalij-permanganata (KPK, mg O<sub>2(Mn)</sub>/L), kao jakog oksidansa. Grijanjem otopine kalij-permanganata u kiselom mediju oslobađa se kisik koji oksidira organsku tvar otopljenu u vodi (Špoljar i sur. 2005).

Izvore hrane zooplanktonskim organizmima predstavljaju suspendirane organske tvari (POM, eng. *Particulate Organic Matter*, mg/L) i biomasa fitoplanktona izražena kao koncentracija klorofila *a* (Chl *a*, µg/L). Gravimetrijskom metodom, postupkom suhog i žarenog ostatka, određena je koncentracija suspendirane organske tvari (Špoljar i sur. 2011). Uzorci su najprije sušeni na 105 °C čime se dobiva i izvaže suhi ostatak. Nakon toga uzorci su žareni u mufolnoj peći na 600 °C/6 h i izvagani, a ostatak predstavlja anorgansku tvar, tj. žareni ostatak. Razlika mase, između suhog i žarenog ostatka, predstavlja vrijednost gubitka mase pri žarenju, AFDM (engl. *Ash Free Dry Mass*) (mg/L). Metoda korištena za indicaciju biomase fitoplanktona je etanolska ekstrakcija klorofila *a*, osnovnog fotosintetskog pigmenta većine autotrofnih organizama (Nusch 1980).

### **3.3. Analiza i obrada podataka**

#### *Indeksi stupnja trofije i ekološkog stanja*

Za vrednovanje trofičkog stupnja vodenih tijela, točnije istraživanih lokvi, bit će korišten Carlsonov indeks stupnja trofije (eng. *Trophic State Index*, TSI; Carlson 1977) prema sljedećim kategorijama: < 30 – 40 oligotrofno; 40 – 50 mezotrofno; 50 – 70 eutrofno; > 70 – 100 hipertrofno. Ovaj indeks je izveden kao srednja vrijednost indeksa koji koriste vrijednosti prozirnosti vode mjerene Secchijevim diskom (zSD, m) te koncentracije klorofila *a* (Chl *a*) i ukupnog fosfora (TP). TSI<sub>CHL<sub>a</sub></sub> je indeks koji ukazuje na biomasu fitoplanktona te je uvelike usvojen u nacionalnim (Carlson 1977; Wolfram i sur. 2009), europskim (EC 2008) i svjetskim (OECD 1982) programima za nadzor i klasifikaciju plitkih vodenih tijela.

Indeks koji ukazuje na stupanj trofije na bazi biomase zooplanktona kao biocenološke komponente je  $TSI_{ZOO}$  u ovome radu izračunat aritmetičkom sredinom iz dobivenih vrijednosti  $TSI_{ROT} = 5.38 \ln(N) + 19.28$  (Ejsmont-Karabin i Karabin 2012) i  $TSI_{CR} = 25.5N^{0.142}$  (Ejsmont-Karabin i Karabin 2013).  $TSI_{ZOO}$  su Stamou i suradnici (2019) koristili prilikom kategorizacije plitkih vodenih tijela mediteranskog područja, prema sljedećoj klasifikaciji: < 45 – mezotrofno; 45 – 55 – mezoeutrofno; 55 – 65 – eutrofno; > 65 – hipertrofno. U njihovom radu  $TSI_{ZOO}$  također je predstavljao aritmetičku sredinu ali je uzimano više indeksa stupnja trofije na bazi biocenološke komponente.

Za procjenu ekološkog stanja lokvi uzeti su parametri koji se općenito uključuju u ocjenu kakvoće vode (Uredba o standardu kakvoće voda, Narodne Novine 96, 2019) s dodanim obilježjima zooplanktona, a svim parametrima dodijeljeni su sljedeći rangovi: kompleksnost habitusa makrofita: E – emerznji, jednostavni (1); F – flotantni, umjereno kompleksni (2) i S – submerznji, kompleksni (3); pokrovnost makrofitima (%): (1) od 0 do 20 % pokrovnosti, (3) od 30 do 60% i (5) od 70 do 100 %; prisutnost (- 1)/odsutnost (0) riba; bogatstvo vrsta (1) od 3 do 6, (2) od 7 do 12 i (3) od 13 do 17; Shannonov indeks  $H'$  zooplanktona, vrijednosti od 1 do 3; omjer biomasa algivora i detrivora u skupinama Rotifera i Cladocera: (0) za izjednačen omjer skupina, (-1) dominacija detrivora, (1) dominacija algivora.

#### *Statističke metode u analizi abiotičkih i biotičkih parametara lokvi*

Prilikom prezentiranja podataka korištene su osnovne statističke mjere kao što su srednja vrijednost (SV) i standardna devijacija (SD). Grafički i tabelarni prikazi izrađeni su u programu Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corporation 2007).

Za analizu fizikalno-kemijskih čimbenika, brojnosti, raznolikosti i biomase zooplanktona između analiziranih skupina lokvi (AN, RM, DS) korištene su neparametrijske analize (Kruskal-Wallis test, Spearmanov koeficijent korelacije; program Statistica 8). Programski paket Primer 6 (PRIMER-E, Ltd) je korišten kako bi se izračunali biocenološki indeksi (Shannon-Wienerov indeks raznolikosti,  $H'$ ), a za usporedbu biocenološke sličnosti između skupina/lokaliteta provedene su analize: ANOSIM i klaster (usporedba sličnosti temeljem fizikalno-kemijskih parametara, brojnosti populacija zooplanktona) te SIMPER (postotak sličnosti između analiziranih skupina lokvi temeljem sastava zooplanktona). Kanonička analiza korespondencije (CCA, eng. *Canonical Correlation Analysis*; programski paket Canoco 5) korištena je za utvrđivanje odnosa između zooplanktona (brojnost 6 dominantnih planktonskih

svojtji) i okolišnih čimbenika: Makrofiti (%) i tip makrofita (Mtip): emerzni, jednostavni (1); flotantni, umjereno kompleksni (2) i submerzni, kompleksni (3), prozirnost<sub>SD</sub> (m), temperatura (°C), otopljeni kisik (mg/L), pH, konduktivitet (EK; μS/cm), KPK (mg/O<sub>2</sub>), ortofosfati (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), ukupni fosfor (TP), nitrati (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), nitriti (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), amonijak (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), ukupni dušik (TN), biomasa fitoplanktona (Chl *a* μg/L), suspendirana organska tvar (POM; mg AFDM/L).



## 4. REZULTATI

### 4.1. Fizikalno-kemijski čimbenici u istraživanim lokvama poluotoka Istre

U 9 istraživanih istarskih lokvi analizirano je 15 fizikalno-kemijskih čimbenika, a rasponi njihovih vrijednosti prikazani su u Tablici 3 dok su vrijednosti za svaki lokalitet prikazane u Prilogu 1.

Tablica 3. Minimalne (Min), maksimalne (Max), srednje vrijednosti (SV) i standardne devijacije (SD) fizikalno – kemijskih čimbenika u istraživanim lokvama Istre.

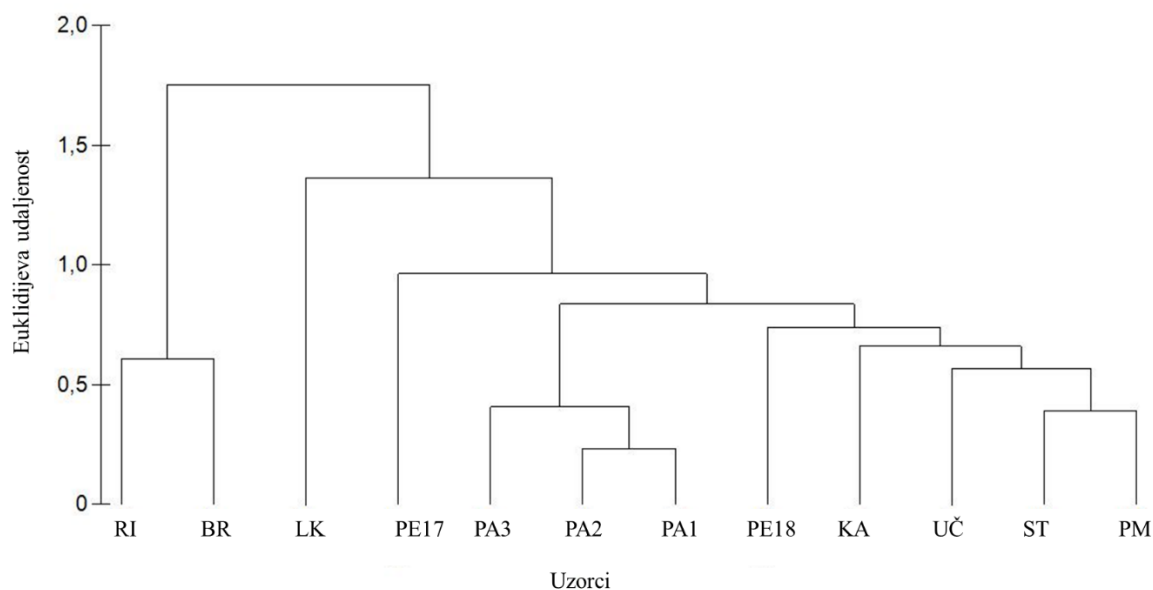
Limnološki čimbenici	Min	Max	SV	±	SD
Pokrivenost makrofitima (%)	0	100	44,5	±	32,3
Prozirnost (m)	0,1	1	0,4	±	0,3
Temperatura (°C)	18,6	29	24,8	±	4,4
Kisik (mg/L)	1,5	14,6	6,1	±	4,2
pH	7,4	8,9	8	±	0,4
Konduktivitet (µS/cm)	98,4	41400	10531	±	18515
DOM (mg O <sub>2(Mn)</sub> /L)	3,3	18,6	7,1	±	3,8
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	0	0,1	0	±	0
TP (mg/L)	0	0,1	0	±	0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0,1	2	0,9	±	0,5
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0	0	0	±	0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	0	1	0,2	±	0,3
TN (mg/L)	0,6	2	1,2	±	0,5
CHL <i>a</i> (µg/L)	0,6	7,7	3,1	±	2,5
POM (mg AFDL/L)	0	6,2	0,6	±	1,8

Značajne razlike okolišnih čimbenika istraživanih lokvi ukazuju na veći postotak pokrivenosti makrofitima u RM u odnosu na DS lokve, dok je u DS lokvama vidljiva značajno veća vrijednost otopljenog kisika u odnosu na AN lokve te pH u odnosu na RM lokve (Tablica 4).

Tablica 4. Značajne razlike okolišnih čimbenika i strukturalnih obilježja zooplanktona (Kruskal – Wallis test i post hoc test višestruke usporedbe;  $p < 0,05$ ). Kratice: N Cla –Cladocera; Cla L – litoralni Cladocera.

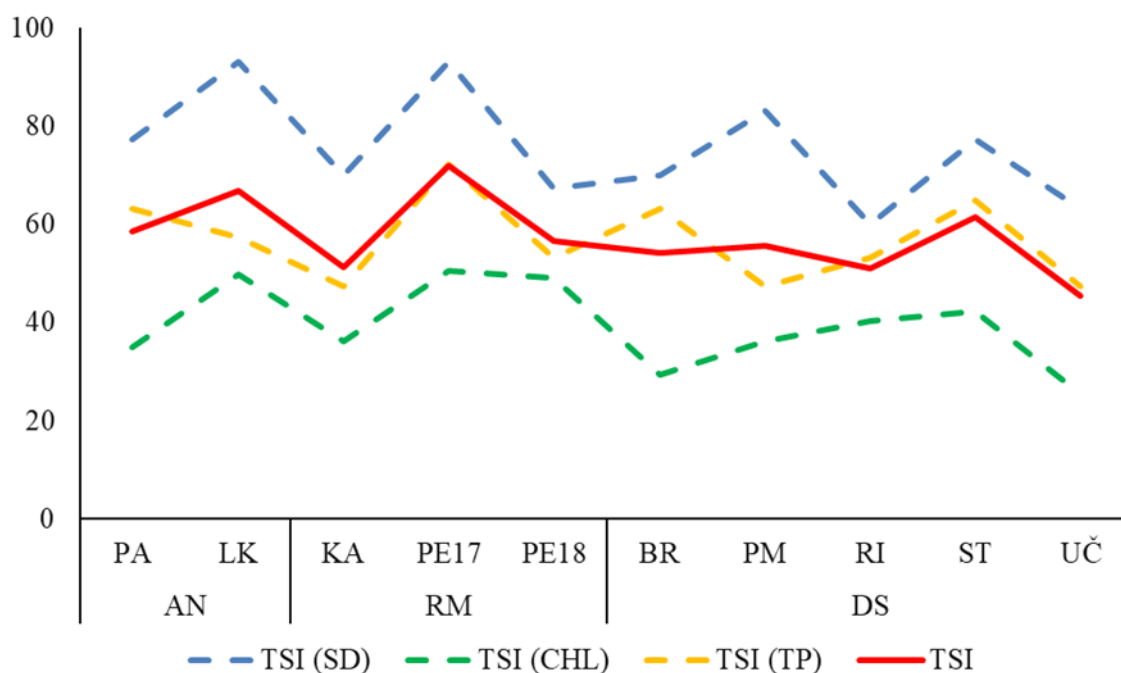
Okolišni čimbenici	H	p	višestruka usporedba
Makrofiti (%)	9,02	0,01	RM>DS
Kisik (mg/L)	5,68	0,05	DS>AN
pH	5,91	0,05	DS>RM
Strukturalna obilježja zooplanktona			
Cla (jed/L)	7,58	0,02	RM>DS>AN
Cla L (jed/L)	6,73	0,03	RM>AN
<i>Lepadella patella</i> (Müller, 1773) (jed/L)	5,55	0,05	RM>AN
Naupliji (jed/L)	6,73	0,03	RM>AN

Rezultati ANOSIM analize ( $r = 0,91$ ,  $p < 0,03$ ) ukazuju na značajne razlike fizikalno-kemijskih čimbenika između istraživanih lokvi s obzirom na primijenjene restauracijske metode i tip makrofita. Prema dendrogramu utvrđeno je udruživanje lokaliteta u 3 skupine koje se djelomično podudaraju sa skupinama lokvi podijeljenih s obzirom na antropogeni utjecaj (AN) ili metode restauracije (RM, DS; Slika 5). Prvu skupinu lokvi (RI, BR), na kojima je bila provedena drenaža sedimenta, obilježavaju značajno veće vrijednosti otopljenog kisika i pH te odsutnost makrofitskih sastojina (Tablica 4, Slika 5) u odnosu na ostale lokve. Kod druge skupine lokvi (LK, PA1, PA2, PA3, PE17), koje uglavnom prema podjeli u ovom istraživanju pripadaju skupini AN, zabilježen je veći postotak pokrovnosti makrofitima, ujednačene i niske vrijednosti otopljenog kisika te manja prozirnost u odnosu na ostale lokve. Treću skupinu lokvi obilježava veća pokrovnost makrofitima u odnosu na lokve iz prve skupine u ovom dendrogramu. Nadalje, ova skupina ima dva udruženja: a) lokve iz skupine DS (PM, ST, UČ) kojima je zabilježen niži konduktivitet i b) lokve RM (KA, PE18) u kojima su zabilježene niže vrijednosti pH u odnosu na prvu skupinu (Tablica 4, Slika 5).



Slika 5. Dendrogram dobiven Bray – Curtis klaster analizom sličnosti/udaljenosti fizikalno - kemijskih čimbenika istraživanih istarskih lokvi.

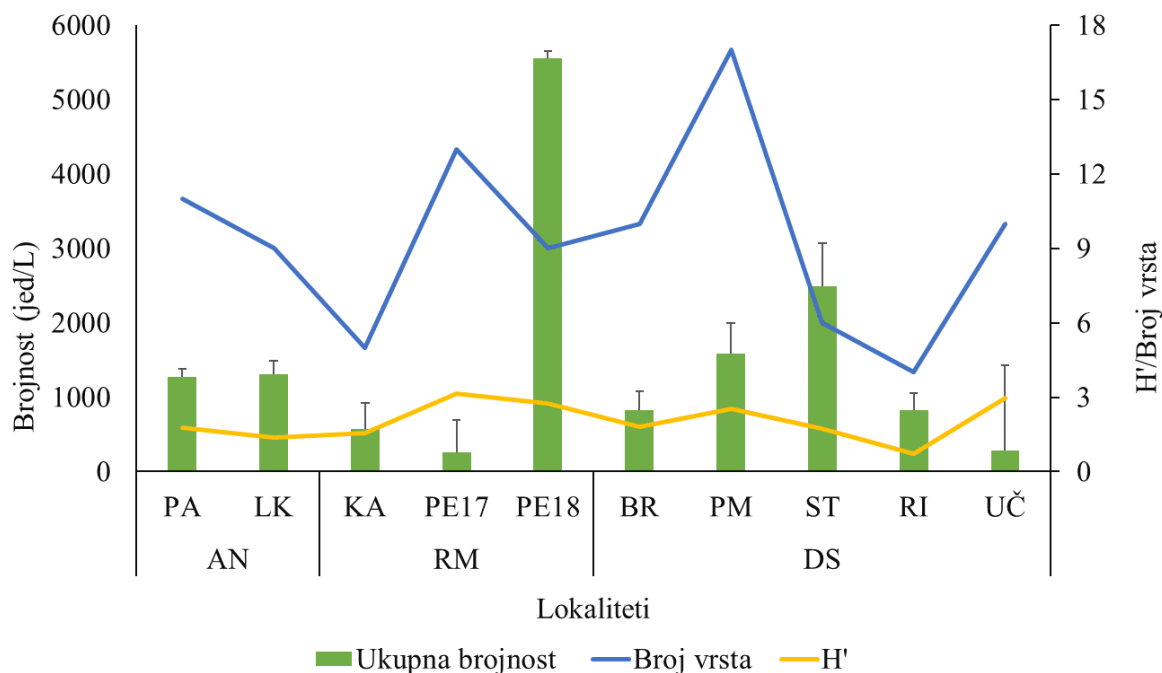
Vrijednosti indeksa stupnja trofije bazirane na prozirnosti ( $TSI_{SD}$ ) bile su veće u odnosu na vrijednosti  $TSI_{CHL}$  što ukazuje na povećano taloženje otopljenog fosfora i prisutnost zamućenja vode istraživanih lokvi u uvjetima slabog razvoja fitoplanktona (Slika 6). U svim istraživanim lokvama, vrijednosti  $TSI_{TP}$  su bile veće u odnosu na  $TSI_{CHL}$  što je indiciralo, povećanu zamućenost vode izazvanom resuspenzijom sedimenta i bioturbacijom riba (u porobljenim lokvama). Ukupne vrijednosti indeksa stupnja trofije ( $TSI$ ) oscilirale su u rasponu od 45 do 72. Kod većine istraživanih lokaliteta vrijednost  $TSI$  ( $< 60$ ) ukazivale su na eutrofiju, s izuzetkom lokaliteta PE17 gdje je zabilježena gornja granica eutrofije, prema hipertrofiji. Manje vrijednosti  $TSI$ , na gornjoj granici mezotrofije zabilježene su na lokalitetima KA i RI, dok je najniža  $TSI$  vrijednost zabilježena u lokvi UČ, indicirajući mezotrofiju (Slika 6).



Slika 6. Vrijednosti indeksa stupnja trofije (TSI) na istraživanim lokalitetima. Kratice: SD – prozirnost; CHL – klorofil a; TP – ukupni fosfor; AN – plitka vodena tijela bez primijenjenih restauracijskih metoda s izraženim antropogenim utjecajem; RM – lokve obnovljene redukcijom makrofita; DS – lokve obnovljene drenažom sedimenta.

#### 4.2. Obilježja zooplanktona u istarskim lokvama

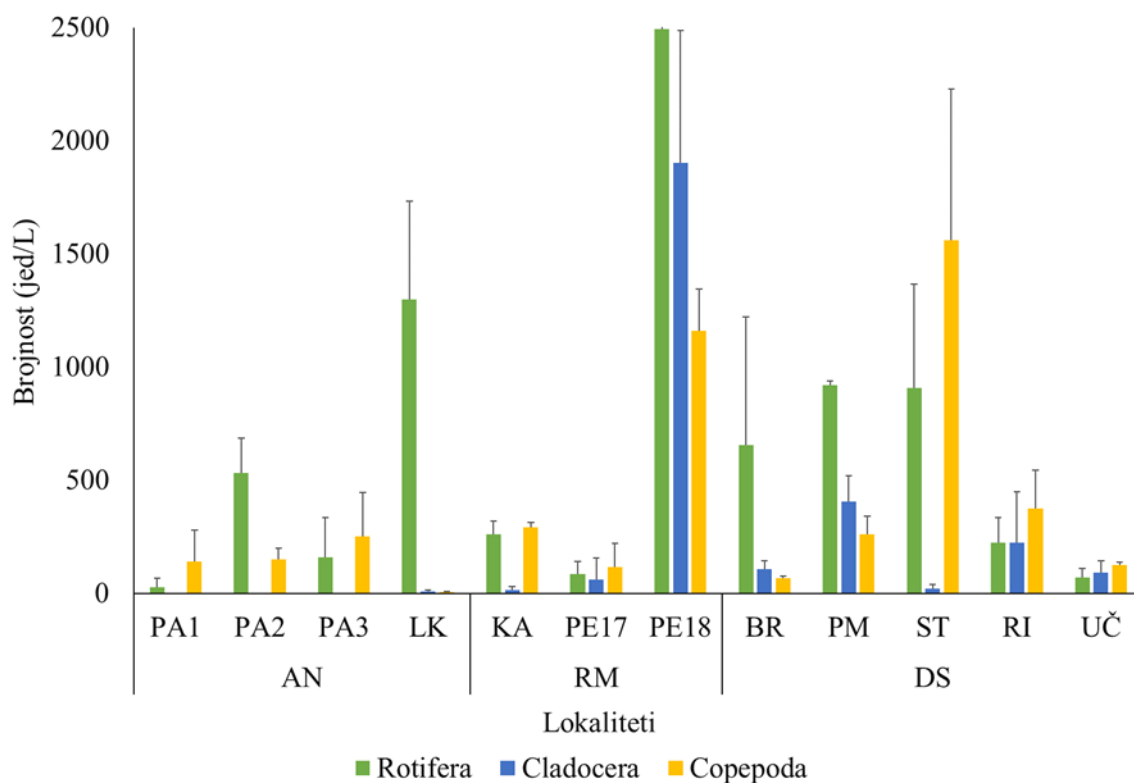
U zooplanktonu 9 istraživanih istarskih lokvi, izloženih značajnim antropogenim utjecajima i restauraciji, zabilježene su 42 vrste. Najveću raznolikost zabilježili su kolnjaci s 26 vrsta, a gotovo je trostruko manje identificirano planktonskih rakova, rašljoticalaca, 9 vrsta i veslonožaca, 7 vrsta (Prilog 2). Raznolikost vrsta u lokvama skupine AN bila je relativno visoka (PA 11, LK 9 vrsta), ali je najveća raznolikost zooplanktona zabilježena u lokvi PM (17 vrsta) dok je najmanja raznolikost vrsta bila na lokalitetima s kratkim razmakom nakon restauracije, redukcije makrofita (KA – 5 vrsta) i drenaže sedimenta (RI – 4 vrste). Vrijednosti Shannonovog indeksa raznolikosti kretale su se u rasponu od 0,71 do 3,15. Najveća raznolikost zooplanktona zabilježena je u lokvama u kojima je provedena redukcija makrofita PE17 ( $H' = 3,15$ ) i PE18 ( $H' = 2,76$ ), ali je pokrovnost makrofitima i dalje bila visoka (98% i 60%), a najmanja raznolikost je zabilježena u lokvi RI ( $H' = 0,71$ ), iz skupine DS, čija je pokrivenost makrofitima iznosila 20% (Slika 7).



Slika 7. Oscilacije ukupne brojnosti, raznolikosti vrsta i Shannonovog indeksa raznolikosti zooplanktona u istraživanim lokvama Istre. Kratice: AN – plitka vodena tijela bez primijenjenih restauracijskih metoda s izraženim antropogenim utjecajem; RM – lokve obnovljene redukcijom makrofita; DS – lokve obnovljene drenažom sedimenta.

Ukupna brojnost zooplanktona značajno je oscilirala između lokvi, od  $170 \pm 113$  jed/L (PA1) do  $5557 \pm 411$  jed/L (PE18). Najveće oscilacije brojnosti zooplanktona bile su u lokvama skupine RM, od  $262 \pm 248$  jed/L (PE17) sve do  $5557 \pm 411$  jed/L (PE18) dok je u lokvama skupine AN ukupna brojnost zooplanktona bila približno ujednačena (PA  $1267 \pm 637$  jed/L ; LK  $1314 \pm 436$  jed/L). Kod lokvi skupine DS uočene su, također, velike oscilacije brojnosti zooplanktona; od najniže vrijednosti u UČ ( $287 \pm 46$  jed/L) do deseterostruko veće vrijednosti u ST ( $2489 \pm 1140$  jed/L) (Slika 7).

Najveća brojnost kolnjaka ( $2494 \pm 592$  jed/L) i rašljoticalaca ( $1903 \pm 584$  jed/L) zabilježena je u lokvi PE18 iz skupine RM (Tablica 4;  $p < 0,02$ ), a veslonošci su svoj maksimum ( $1561 \pm 171$  jed/L) postigli u lokvi ST iz skupine DS. U lokvama skupine AN, točnije LK zabilježene su iznimno niske vrijednosti veslonožaca i rašljoticalaca, dok niti jedna vrsta rašljoticalaca nije zabilježena u močvari Palud (Slika 8).



Slika 8. Brojnosti Rotifera, Cladocera i Copepoda u istraživanim lokvama Istre. Kratice: AN – plitka vodena tijela bez primijenjenih restauracijskih metoda s izraženim antropogenim utjecajem; RM – lokve obnovljene redukcijom makrofita; DS – lokve obnovljene drenažom sedimenta.

Međusobna različitost sastava zooplanktona između tri istraživane skupine lokvi bila je izrazito visoka i iznosila je > 90% (SIMPER analiza). Najveća različitost zabilježena je između lokvi s izrazitim antropogenim utjecajem (AN) i lokvi s provedenom drenažom sedimenta (DS), a tome su pridonijele vrste: *Keratella valga* (Ehrenberg, 1832), *Anuraeopsis fissa* (Gosse, 1851), *Polyarthra* sp., *Brachionus angularis* (Gosse, 1951) i Bdelloidea od kolnjaka te *Alonella excisa* (Fischer, 1854) od rašljoticalaca. Od navedenih vrsta, zabilježena je veća brojnost jedinki vrste *A. fissa* u lokvama s izraženim antropogenim utjecajem (PA i LK) u odnosu na lokve s provedenom redukcijom makrofita (RM). Uz to, jedinke vrsta *K. valga* i *B. angularis* zabilježene su isključivo u lokvama na kojima je bila provedena drenaža sedimenta (DS), lokve ST i PM. Rezultati SIMPER analize također ukazuju na veću brojnost jedinki vrsta *Polyarthra* spp. i *A. excisa* u lokvama skupine DS u odnosu na lokve iz skupina AN i RM (Tablica 5).

Tablica 5. Razlike u sastavu zooplanktona (SIMPER analiza) između istraživanih skupina lokvi poluotoka Istre. Kratice: AN – plitka vodena tijela bez primijenjenih restauracijskih metoda s izraženim antropogenim utjecajem; RM – lokve obnovljene redukcijom makrofita; DS – lokve obnovljene drenažom sedimenta.

	<b>Antropogeni utjecaj</b>	<b>Redukcija makrofita</b>
<b>Različitoost (%)</b>	<b>95</b>	
Vrste doprinos (%)	<i>Anuraeopsis fissa</i> (20) AN>RM <i>Ascomorpha saltans</i> (6) AN>RM <i>Gastropus stylifer</i> (6) AN>RM	<i>Alona costata</i> (9) RM>AN <i>Lepadella patella</i> (7) RM>AN Bdelloidea (11) RM>AN
	<b>Antropogeni utjecaj</b>	<b>Drenaža sedimenta</b>
<b>Različitoost (%)</b>	<b>96</b>	
Vrste doprinos (%)	<i>Anuraeopsis fissa</i> (13) AN>DS	<i>Keratella valga</i> (13) DS>AN <i>Alonella excisa</i> (12) DS>AN <i>Polyarthra</i> spp. (10) DS>AN <i>Brachionus angularis</i> (7) DS>AN Bdelloidea (6) DS>AN
	<b>Redukcija makrofita</b>	<b>Drenaža sedimenta</b>
<b>Različitoost (%)</b>	<b>91</b>	
Vrste doprinos (%)	Bdelloidea (10) RM>DS <i>Alona costata</i> (9) RM>DS <i>Anuraeopsis fissa</i> (8) RM>DS <i>Lepadella patella</i> (6) RM>DS	<i>Keratella valga</i> (12) DS>RM <i>Alonella excisa</i> (11) DS>RM <i>Polyarthra</i> spp. (9) DS>RM <i>Brachionus angularis</i> (7) DS>RM

#### 4.3. Stanišni ekološki tipovi i trofička struktura zooplanktona u lokvama Istre

Na slici 9 prikazane su oscilacije relativne brojnosti pojedinih skupina zooplanktona s obzirom na njihov odabir staništa. U močvari Palud (PA) najveća je bila prisutnost planktonskih oblika (75% do 100%). Od kolnjaka u planktonu su prevladavale vrste *Ascomorpha saltans* (Bartsch, 1870), *Gastropus stylifer* (Imhof, 1891) i *Notholca labis* (Gosse, 1887), a od veslonožaca kopepoditi. U lokvi LK dominirali su planktonski kolnjaci (79%) s dominantnom vrstom *A. fissa* (74%) te litoralni kolnjaci (19%) predvođeni bdeloidnim oblicima (11%).

U lokvama iz skupine RM dominirali su litoralni oblici (71%), posebno na lokalitetu PE18 nakon redukcije makrofita i uspostavljanja submerznih makrofita. U lokvi KA, zabilježena je

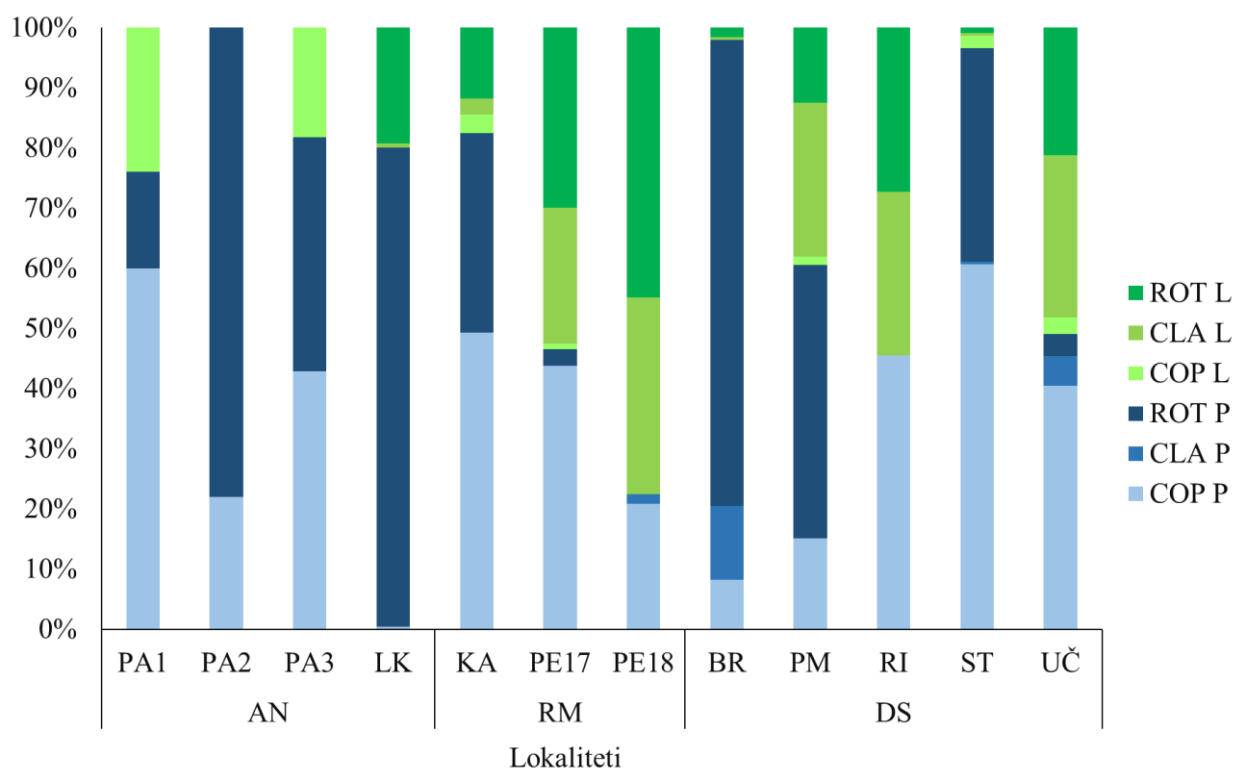
najveća brojnost planktonskih oblika (83%), među kojima su prevladavali naupliji (47%) i kolnjak *A. fissa* (33%). U lokvi PE17 zabilježene su podjednaki udjeli litoralnog i planktonskog zooplanktona s nešto većim udjelom litoralnog zooplanktona (53%) kojem su najviše doprinijele vrste litoralnih kolnjaka (30%), posebno *Lepadella patella* (Müller, 1773). Suprotno tome, u lokvi PE18 zabilježena je gotovo sedam puta veća brojnost zooplanktona, s udjelom brojnosti litoralnih vrsta od 78%, u odnosu na prethodne dvije lokve iste skupine. Najveći udio litoralnog zooplanktona imali su kolnjaci (45%) (Slika 9).

Na ovim lokalitetima zabilježene su statistički značajno veće brojnosti rašljoticalaca (Kruskal-Wallis test  $H_{(7,58)}$ ;  $p = 0,02$ ), vrste *L. patella* (Kruskal-Wallis test  $H_{(5,55)}$ ;  $p = 0,05$ ), litoralnih rašljoticalaca (Kruskal-Wallis test  $H_{(6,73)}$ ;  $p = 0,03$ ; Tablica 4) (33% s vrstama *Alona costata* (G.O. Sars, 1862), *Ceriodaphnia quadrangula* (O.F. Müller, 1785) i *Ceriodaphnia* sp.) i nauplija (Kruskal-Wallis test  $H_{(6,73)}$ ;  $p = 0,03$ ) nego na lokalitetima skupine AN (Tablica 4, Slika 9).

Uz navedeno, na ovim lokalitetima su također zabilježene najveće brojnosti vrsta *Lecane luna* (Müller, 1776) te velik udio bdeloidnih kolnjaka i planktonskih rakova (naupliji i kopepoditi; 21%) (Slika 9).

U većini lokvi iz skupine DS zabilježena je dominacija planktonskih oblika (BR – 98%; PM – 61%; ST – 97%) dok su u lokvama RI i UČ prevladavali litoralni oblici (RI – 55% i UČ – 51%). Od planktonskih oblika, u lokvi BR najviše su prevladavali kolnjaci (77%) s vrstama roda *Polyarthra*. U lokvi PM također su prevladavali planktonski kolnjaci (45%) s najznačajnijom vrstom *B. angularis*. Osim planktonskih kolnjaka na ovome lokalitetu zabilježen je i znatan udio sitnih litoralnih rašljoticalaca (26%), posebno vrste *A. excisa*. U lokvi RI uz dominaciju litoralnih oblika kolnjaka (55%) (*Mytilina ventralis brevispina* (Ehrenberg, 1830)) zabilježen je veći udio bdeloidnih vrsta te rašljoticalaca, *A. excisa*. Među planktonskim oblicima prevladavali su naupliji (45%). U lokvi ST, s najvećim udjelom planktonskih oblika najzastupljeniji su bili naupliji s 56% i kolnjak *K. valga* s udjelom od 35%. U lokvi UČ od ukupnog litoralnog zooplanktona prevladavali su rašljoticalci (27%) te kolnjaci (21%) s vrstama *Lecane closteroerca* (Schmarda, 1859), *L. patella*, *Mytilina mucronata* (Müller, 1773) (Slika 9).





Slika 9. Brojnost ekoloških tipova zooplanktona s obzirom na odabir staništa. Kratice: AN – plitka vodena tijela bez primijenjenih restauracijskih metoda s izraženim antropogenim utjecajem; RM – lokve obnovljene redukcijom makrofita; DS – lokve obnovljene drenažom sedimenta; Cop L – litoralni Copepoda; Cop P – planktonski Copepoda; Cla L – litoralni Cladocera; Cla P – planktonski Cladocera; Rot L – litoralni Rotifera; Rot P – planktonski Rotifera.

U analizi trofičke strukture zooplanktona najveći udio, 48%, imali su veslonošci ( $9359 \pm 1014 \mu\text{g DM/L}$ ), zatim su slijedili rašljoticalci, 39% ( $7529 \pm 1610 \mu\text{g DM/L}$ ) dok su kolnjaci imali biomaseni udio od svega 13% ( $2483 \pm 339 \mu\text{g DM/L}$ ) (Slika 10).

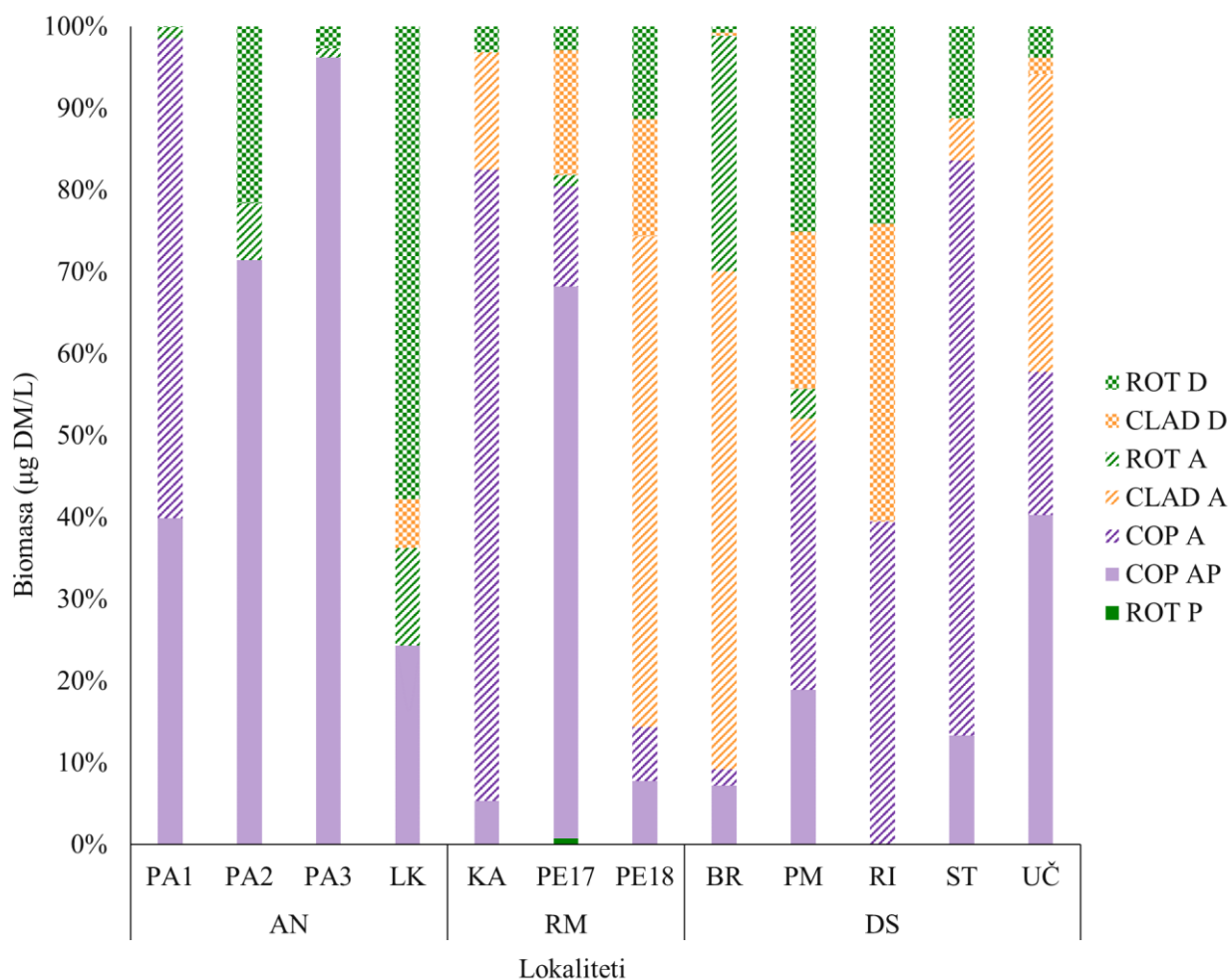
U lokvama iz skupine AN uočene su dominacije algivornih (PA1 – 57%;  $763 \pm 201 \mu\text{g DM/L}$ ; dominantna vrsta *Acanthocyclops* sp.) i algivorno-predatorskih veslonožaca (PA2 – 71%;  $450 \pm 173 \mu\text{g DM/L}$ ; dominacija kopepodita; PA3 – 96%; te adultnih oblika roda *Eudiaptomus*  $1883 \pm 199 \mu\text{g DM/L}$ ) u močvari Palud te detrivornih kolnjaka u lokvi LK (58%;  $68 \pm 33 \mu\text{g DM/L}$ ; dominantna vrsta *A. fissa*) (Slika 10).

Nadalje, u lokvama skupine RM, opaža se slični obrazac kao i u lokvama AN s dominacijom algivornih veslonožaca u lokvi KA (77%;  $475 \pm 194 \mu\text{g DM/L}$ ; pretežno vrsta *Acanthocyclops* sp.), algivorno-predatorskih veslonožaca u lokvi PE17 (67%;  $224 \pm 77 \mu\text{g DM/L}$ ) te algivornih

rašljoticalaca u istoj lokvi godinu dana kasnije PE18 (60%;  $4546 \pm 817 \mu\text{g DM/L}$ ; s dominantnim vrstama roda *Ceriodaphnia* i vrstom *Daphnia pulex* (Leydig, 1860) (Slika 10).

U lokvama iz skupine DS u biomasi zooplanktona izmjenjivali su se u dominaciji algivorni veslonošci i rašljoticalci. U lokvi BR algivorni rašljoticalci su svojom biomasom zauzeli 61% ukupne biomase ( $660 \pm 227 \mu\text{g DM/L}$ ) s dominantnim vrstama *D. pulex* i *Daphnia longispina* (O.F. Müller, 1776) dok je u lokvama PM, RI i ST uočena dominacija algivornih veslonožaca (PM – 31%;  $507 \pm 199 \mu\text{g DM/L}$ ; dominantna vrsta *Acanthocyclops* sp.). Osim toga u lokvi BR utvrđene su značajnije vrijednosti biomase algivornih kolnjaka (29%;  $312 \pm 86 \mu\text{g DM/L}$ ; dominantne vrste *Polyarthra* sp. i *Synchaeta pectinata* (Ehrenberg, 1832)). U lokvi UČ je zabilježena dominacija algivorno-predatorskih veslonožaca, s udjelom od 40% u ukupnoj biomasi zooplanktona ( $433 \pm 118 \mu\text{g DM/L}$ ; dominantna vrsta *Eudiaptomus* sp.) dok su u lokvi UČ, 36% ukupne biomase činili algivorni rašljoticalci ( $392 \pm 74 \mu\text{g DM/L}$ ; dominantna vrsta *Ceriodaphnia* sp.) (Slika 10).

Detrivorni oblici uglavnom su bili zastupljeni s manjim udjelima, od 5% (PA) do 44% (PM) izuzev lokaliteta LK gdje su oni dominirali i činili 64%. U lokvi PE18 također je zabilježen znatan udio detrivornih oblika (26%;  $1946 \pm 501 \mu\text{g DM/L}$ ), a prevladavali su rašljoticalac *A. costata* i kolnjaci *L. luna* i *M. mucronata* dok su u lokvi PM zabilježeni podjednaki udjeli detrivornih kolnjaka (25%;  $418 \pm 102 \mu\text{g DM/L}$ ) s vodećom vrstom *B. angularis* i rašljoticalaca (19%;  $319 \pm 90 \mu\text{g DM/L}$ ) s vrstom *A. exicsa* (Slika 10).



Slika 10. Udio biomase trofičkih skupina zooplanktona u istraživanim lokvama poluotoka Istre. Kratice: AN – plitka vodena tijela bez primijenjenih restauracijskih metoda s izraženim antropogenim utjecajem; RM – lokve obnovljene redukcijom makrofita; DS – lokve obnovljene drenažom sedimenta; ROT A – algivorni Rotifera; ROT D – detrivorni Rotifera; ROT P – predatorski Rotifera; COP A – algivorni Copepoda; COP AP – algivorno-predatorski Copepoda; CLAD A – algivorni Cladocera; CLAD D – detrivorni Cladocera.

#### 4.4. Interakcije abiotičkih i biotičkih čimbenika u istraživanim lokvama Istre

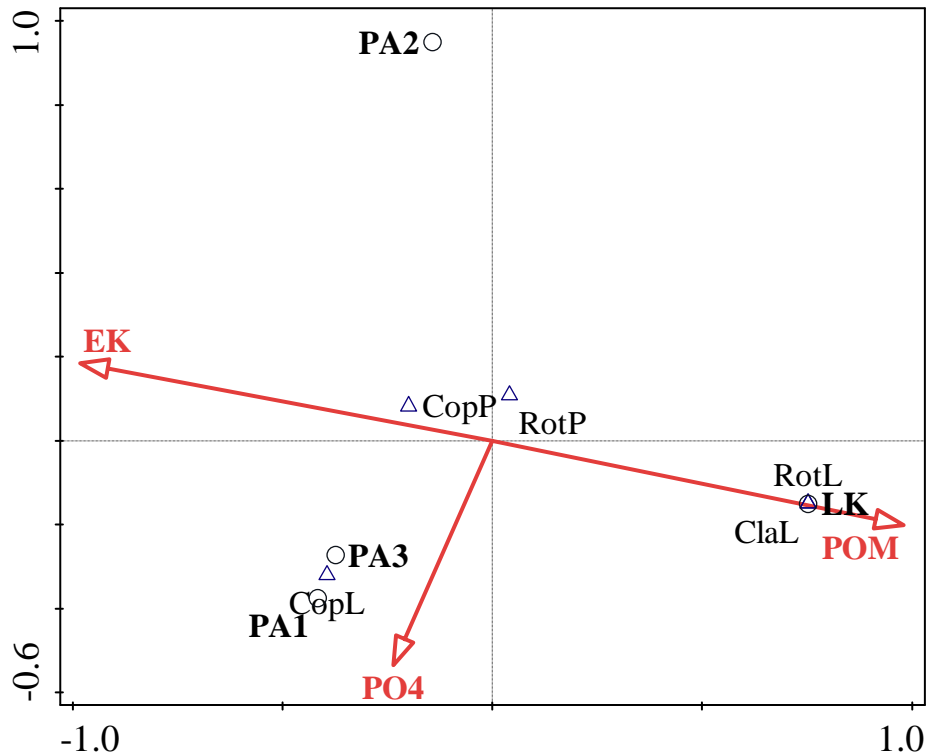
Interakcije abiotičkih i biotičkih čimbenika prikazane su u Tablici 6 (Spearmanov koeficijent korelacije,  $p < 0,05$ ). Rezultati analize indiciraju da veća pokrivenost makrofitima i prisutnost makrofita kompleksnog habitusa značajno doprinose boljem ekološkom stanju dok povećanje prozirnosti vodenih tijela smanjuje stupanj trofije. Na povećanje raznolikosti zooplanktona istraživanih lokvi pozitivno je utjecala prisutnost rašljoticalaca malog tijela ( $r = 0,68$   $p < 0,05$ ) koje najčešće predstavljaju litoralni rašljoticalci ( $r = 0,67$   $p < 0,05$ ). Također, rezultati ukazuju da se povećanjem koncentracija nitrita smanjivala prozirnost vode istraživanih lokvi. Suprotno

tome, povećane koncentracije otopljenog kisika uzrokovale su smanjenje koncentracija nitrita, dok su pozitivno utjecale na brojnost rašljoticalaca i veslonožaca. Nadalje, brojnost kolnjaka u istraživanim lokvama najviše je pridonijela ukupnoj brojnosti zooplanktona ( $r = 0,94$   $p < 0,05$ ). (Tablica 6).

Tablica 6. Statistički značajne vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije,  $r$  ( $p < 0,05$ ,  $n = 9$ ) u interakcijama abiotičkih i biotičkih čimbenika na istraživanim lokalitetima Istre.

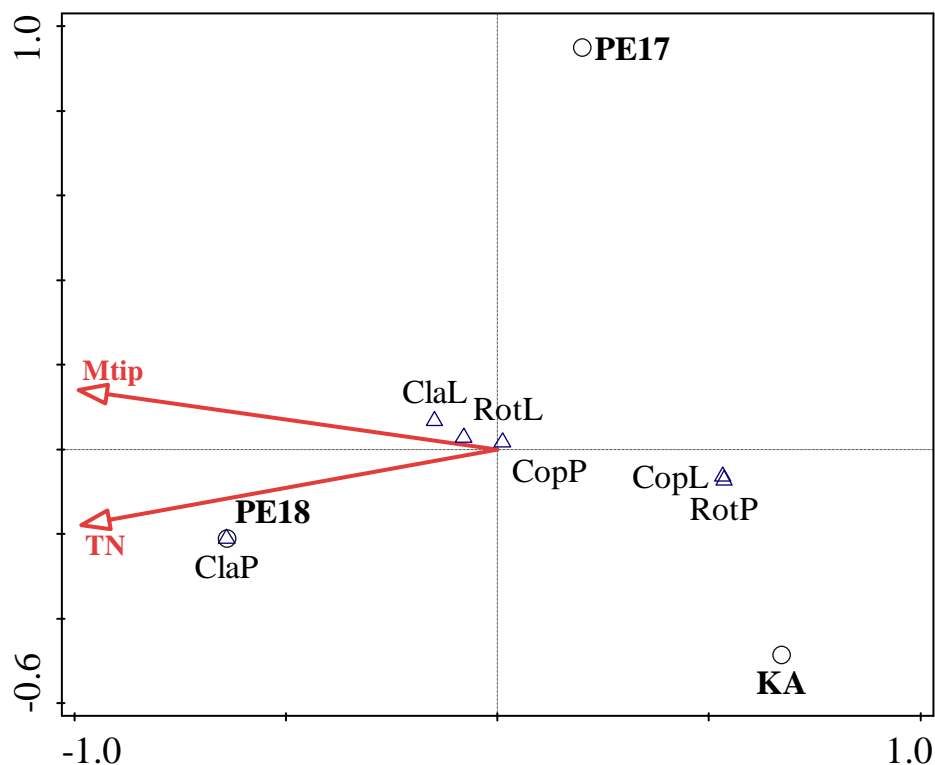
	Prozirnost (m)	Kisik (mg/L)	Tip makrofita
Kisik (mg/L)	0,62		
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	-0,66	-0,65	
Copepoda (jed/L)		0,67	
Cladocera (jed/L)		0,62	
naupliji (jed/L)		0,66	
Ekološki indeks			0,64
TSI	-0,86		

Iz rezultata dobivenih multivarijantnom analizom (CCA) u lokvama iz skupine AN prve dvije osi objašnjavale su 99 % interakcija (Os 1 82 %, Os 2 18 %). Iz rezultata analize proizlazi da je visoka vrijednost konduktiviteta ( $F = 7,8$ ,  $p = 0,05$ ) značajno i pozitivno utjecala na brojnost planktonskih veslonožaca i kolnjaka, dok je povećana koncentracija suspendirane organske tvari (POM) pozitivno ( $F = 7.7$ ,  $p = 0,05$ ) utjecala na brojnosti litoralnih kolnjaka i rašljoticalaca koji su uglavnom detrivori. Uz to, povećana koncentracija ortofosfata ( $F = 7.7$ ,  $p = 0,04$ ) pozitivno je utjecala na brojnosti litoralnih veslonožaca (*Acanthocyclops* sp. i *Diacyclops* sp.) (Slika 11).



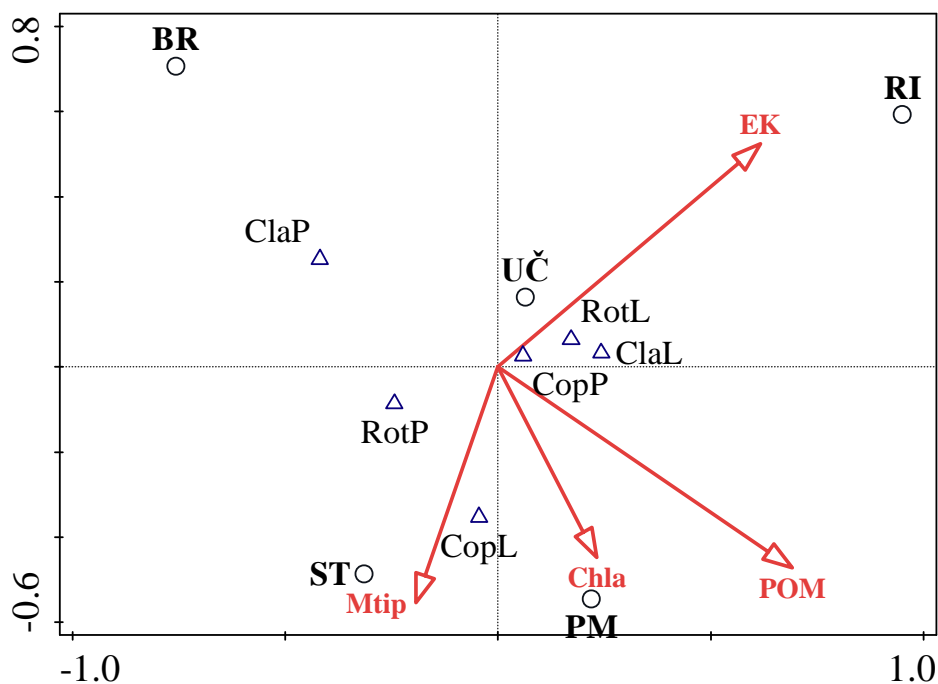
Slika 11. CCA analiza interakcija brojnosti stanišnih ekoloških oblika zooplanktona i čimbenika okoliša u plitkim vodenim tijelima bez primijenjenih restauracijskih metoda s izraženim antropogenim utjecajem (AN). Kratice: Okolišni čimbenici – EK – konduktivitet; PO4 – ortofosfati; POM – suspendirana organska tvar. Zooplankton: RotL – litoralni Rotifera; RotP – planktonski Rotifera; CopL – litoralni Copepoda; CopP – planktonski Copepoda; ClaL – litoralni Cladocera. Lokaliteti – PA1 (Palud ušće); PA2 (Palud pelagijal); PA3 (Palud litoral); LK (Leprićanski kal).

U skupini lokvi obnovljenih redukcijom makrofita (RM) prve dvije osi CCA analize objašnjavaju 99 % (Os 1 94 %, Os 2 5 %) interakcija brojnosti stanišnih ekoloških tipova zooplanktona i okolišnih čimbenika. Vidljiv je pozitivan utjecaj tipa makrofita ( $F = 12.3$ ,  $p = 0.03$ ), gdje oni kompleksnijeg habitusa imaju značajniji utjecaj, na brojnosti litoralnih kolnjaka i rašljoticalaca (Slika 12). Koncentracije ukupnog dušika pozitivno ( $F = 7.7$ ,  $p = 0.05$ ) su utjecale na brojnosti planktonskih rašljoticalaca dok su negativno utjecale na brojnost planktonskih i litoralnih veslonožaca te planktonskih kolnjaka (Slika 12).



Slika 12. CCA analiza interakcija brojnosti stanišnih ekoloških oblika zooplanktona i čimbenika okoliša u lokvama obnovljenim redukcijom makrofita (RM). Kratice: Okolišni čimbenici – Mtip – tip makrofita; TN – ukupni dušik. Zooplankton: RotL – litoralni Rotifera; RotP – planktonski Rotifera; CopL – litoralni Copepoda; CopP – planktonski Copepoda; ClaL – litoralni Cladocera; ClaP – planktonski Cladocera. Lokaliteti – KA (Kadrijol); PE17 (Pešćine '17); PE18 (Pešćine '18).

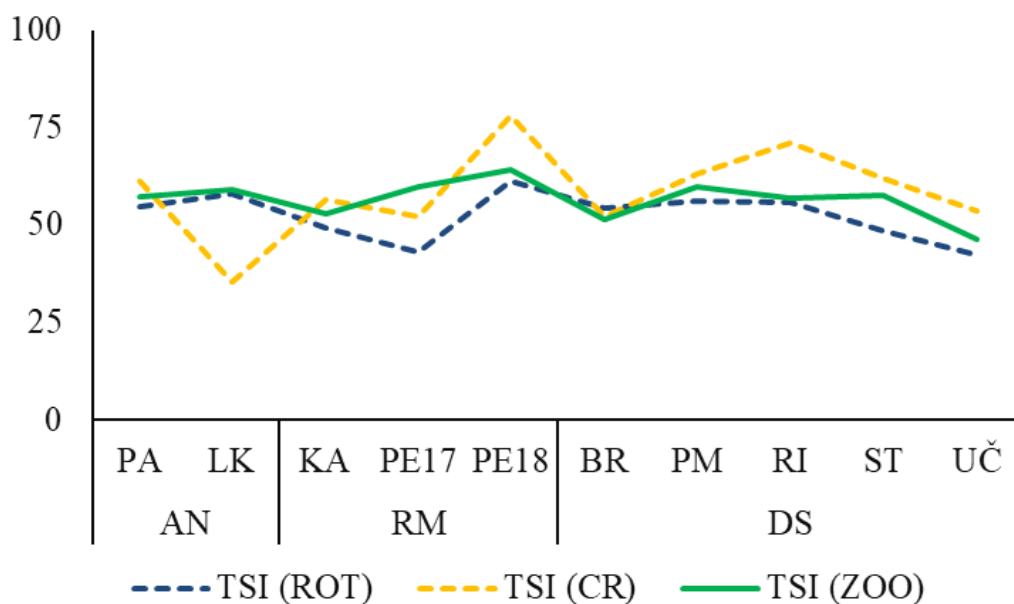
U lokvama obnovljenim drenažom sedimenta (DS), prve dvije osi CCA analize objašnjavaju 89 % (Os 1 63 %, Os 2 25 %) interakcija brojnosti stanišnih ekoloških tipova zooplanktona i okolišnih čimbenika, sa značajnim učinkom tipa makrofita, konduktiviteta, suspendirane organske tvari i koncentracije Chl *a* ( $F = 5.5 - 7.7$ ,  $p \leq 0.05$ ). Iz analize proizlazi da tip makrofita, odnosno kompleksnost građe habitusa, pridonose povećanju brojnosti planktonskih kolnjaka i litoralnih veslonožaca. Veće koncentracije suspendirane organske tvari (POM) i Chl *a*, koje ukazuju na raspoloživost izvora hrane, pozitivno su utjecale na brojnosti litoralnih i planktonskih veslonožaca, dok su negativno utjecale na brojnosti planktonskih rašljoticalca. Visoka vrijednost konduktiviteta u lokvama UČ i RI pozitivno su utjecale na brojnost litoralnih kolnjaka i rašljoticalaca (Slika 13).



Slika 13. CCA analiza interakcija brojnosti stanišnih ekoloških oblika zooplanktona i čimbenika okoliša u lokvama obnovljenim drenažom sedimenta (DS). Kratice: Okolišni čimbenici – Mtip – tip makrofita; Chla – koncentracija klorofila *a*; POM – suspendirana organska tvar; EK – konduktivitet. Zooplankton: RotL – litoralni Rotifera; RotP – planktonski Rotifera; CopL – litoralni Copepoda; CopP – planktonski Copepoda; ClaL – litoralni Cladocera; ClaP – planktonski Cladocera. Lokaliteti – BR (Brestići); PM (Premantura); RI (Rijavac); ST (Staja); UČ (Učinovac).

#### 4.5. Procjena ekološkog stanja istraživanih lokvi Istre

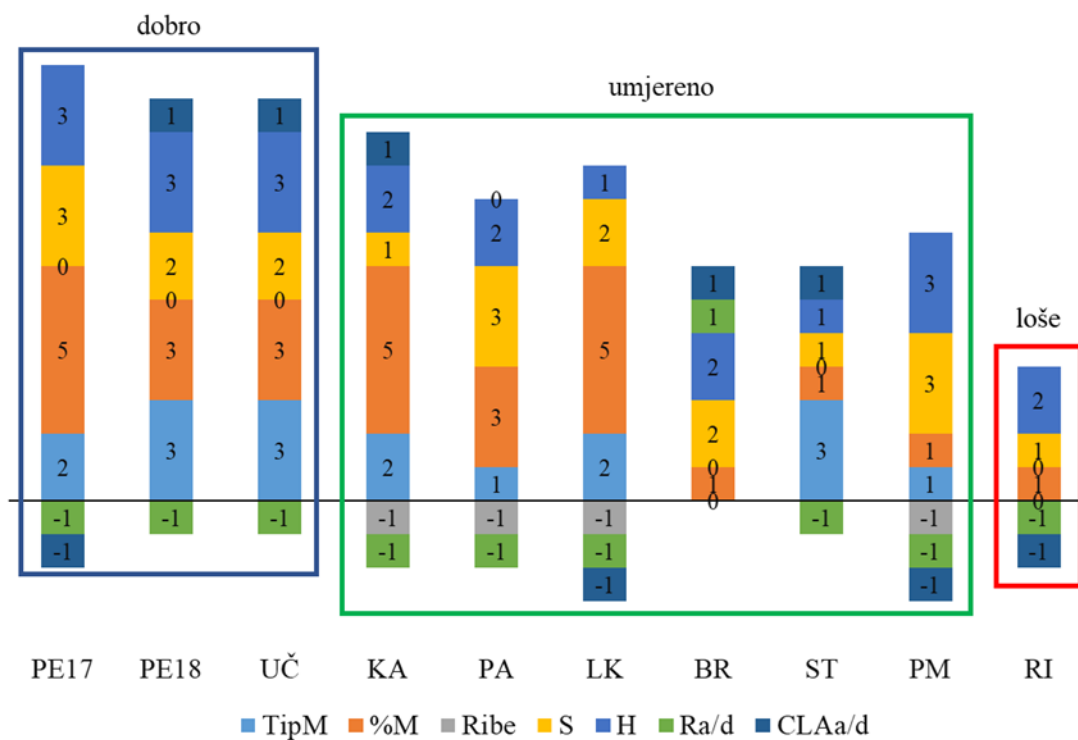
Vrijednosti trofičkog indeksa Rotifera  $TSI_{ROT}$  pokazivale su male oscilacije (42 – 61) dok su se vrijednosti trofičkog indeksa Crustacea  $TSI_{CR}$  kretale između 35 i 78. Vrijednost trofičkog indeksa ukupnog zooplanktona  $TSI_{ZOO}$  (46 – 63) ukazivale su na eutrofno stanje većine lokvi te mezoeutrofno stanje u lokvama KA i BR i mezotrofno stanje u lokvi UČ (Slika 14).



Slika 14. Vrijednost trofičkog indeksa ukupnog zooplanktona ( $TSI_{ZOO}$ ) temeljen na strukturi i sastavu zooplanktona istraživanih istarskih lokvi. Kratice: AN – plitka vodena tijela bez primijenjenih restauracijskih metoda s izraženim antropogenim utjecajem; RM – lokve obnovljene redukcijom makrofita; DS – lokve obnovljene drenažom sedimenta; TSI (ROT) – indeks stupnja trofije Rotifera; TSI (CR) – indeks stupnja trofije Crustacea.

Ekološko stanje istraživanih plitkih vodenih tijela ocijenjeno je s obzirom na obilježja zooplanktona i biotičkih čimbenika u tri kategorije: dobro, umjerenog i lošeg ekološkog stanja (Slika 15, Prilog 3). Staništa na kojima nisu bile zabilježene ribe i ona sa visokim postotkom pokrivenosti bazena makrofitima kompleksnijeg habitusa (submerznim makrofitima) uglavnom podržavaju dobro ekološko stanje (PE17, PE18, UČ). Lokve umjerenog ekološkog stanja obilježavaju sastojine makrofita jednostavnijeg habitusa, emerznim i flotantnim, pojačana predacija riba i niža raznolikost zooplanktona (PA, LK, KA, BR, ST, PM). Lokve lošeg ekološkog stanja (RI) obilježava odsutnost makrofita i iznimno niska raznolikost zooplanktona (Slika 15).





Slika 15. Procjena ekološkog stanja temeljem obilježja zooplanktona i biotičkih čimbenika. Kratice: TipM – kompleksnost habitusa makrofitama; %M – postotak pokrovnosti makrofitama; ribe – prisutnost/odsutnost riba; S – bogatstvo vrsta; H – raznolikost zooplanktona; Ra/d – omjer algivora i detritivora kolnjaka; CLAA/d – omjer algivora i detritivora rašljoticalaca).

## 5. RASPRAVA

Rezultati ovog rada doprinose su poznavanju zooplanktona, utvrđivanju odgovarajućih restauracijskih metoda i ekološkog stanja priobalnih jadranskih lokvi, dosad rijetko istraživane skupine lokvi Mediterana. Uz to, kada se kao glavni cilj određuje odnos utjecaja restauracijskih metoda i sastav zooplanktona, ovo istraživanje pripada pionirskim istraživanjima zooplanktona. Rezultati istraživanja u ovom radu upućuju na značajan utjecaj makrofita (posebice njihovih tipova s obzirom na kompleksnost građe habitusa i postotak pokrovnosti), biomase fitoplanktona i koncentracije suspendirane organske tvari, POM, kao izvora hrane te konduktiviteta, u bočatom staništu, na sastav zooplanktona.

Prisutnost submerznih makrofita u plitkim vodenim tijelima, za koje rezultati mnogih istraživanja (Špoljar i sur. 2011, 2012a; Compte i sur. 2015; Kuczyńska-Kippen i sur. 2021) ukazuju da pozitivno utječu na brojnost i raznolikost zooplanktona, potvrđuju i rezultati dobiveni u ovome radu. Kao iznimno dobar primjer prilikom isticanja pozitivnog utjecaja submerznih makrofita je lokva Peščine (PE18). Naime na spomenutoj lokvi, nakon redukcije dominantne flotantne vrste vodene leće, *L. minor*, koja je dominirala na istom lokalitetu godinu ranije (PE17), uspostavljeni su povoljniji uvjeti s plivajućim mrijesnjakom (*P. natans*) kao dominantnom submerznom vrstom te je došlo do naglog povećanja brojnosti zooplanktona, posebice planktonskih rakova, veslonožaca i rašljoticalaca velikog (*D. pulex*, *Ceriodaphnia* sp. i *C. quadrangula*) i malog tijela (*A. costata*). Brojna istraživanja (Burks i sur. 2002; Meerhoff i sur. 2007; González-Sagrario i sur. 2009) potvrđuju dobivene rezultate gdje su submerzni makrofiti potvrđeni kao sklonište planktonskim račićima, posebice rašljoticalcima, prilikom izbjegavanja vizualnih predatora (riba). Naime, prilikom istraživanja, na lokalitetu PE zabilježena je veća raznolikost vrsta godinu ranije PE17 (13 vrsta) u odnosu PE18 (9 vrsta) nakon provedene restauracijske metode, što se može objasniti uzorkovanjem u kratkom vremenskom razdoblju nakon redukcije makrofita i nemogućnosti adekvatnog oporavka staništa te uspostavljanja veće raznolikosti zooplanktona.

Prisutnost ili odsutnost vizualnih predatora također je utjecala na oblikovanje sastava zooplanktona istraživanih lokvi, posebice u onima u kojima je zabilježena prisutnost gambuzije, planktivorne invazivne ribe koja je vjerojatno utjecala na smanjenje brojnosti zooplanktona, posebice rašljoticalaca, u lokvama KA i LK te močvari Palud. Navedeni rezultati u skladu su s istraživanjima Florian i suradnika (2016) koji su prilikom istraživanja utjecaja invazivne vrste šarana (*Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758)) na sastav zooplanktona u jezeru Laguna de Medina

(jugozapadna Španjolska) ustanovili izrazito smanjenu raznolikost zooplanktona, posebice algivorne vrste rašljoticalca *Daphnia magna* (Straus, 1820). Slične rezultate potvrđuju i Ersoy i suradnici (2019) u dvanaest istraživanih mezokozmosa na Institutu za slatkovodnu ekologiju i ribarstvo u Berlinu te Špoljar i suradnici (2019) u deset istraživanih lokvi na Dugom otoku te dvije na otoku Rabu.

Od abiotičkih čimbenika, najveće vrijednosti koncentracije otopljenog kisika ( $> 9$  mg/L) i pH bile su zabilježene na svim lokvama na kojima je bila provedena drenaža sedimenta. Povećan pH u ovim lokvama rezultat je dodavanja vapna prilikom restauracije, ali iz rezultata ovog rada proizlazi da pH nije značajno utjecao na sastav zooplanktona. Osim na ovim lokalitetima, u PE18 također je zabilježena visoka koncentracija otopljenog kisika. U navedenim lokvama zabilježene su i najveće biomase planktonskih rakova, posebice algivornih rašljoticalaca roda *Daphnia* i *Ceriodaphnia* (BR, UČ), kao i algivornih (*Acanthocyclops* sp.) (PM, ST) i algivorno-predatorskih (naupliji i kopepoditi) (RI) skupina veslonožaca. Ovakvi rezultati u skladu su s istraživanjem koje su proveli Karpowicz i suradnici (2021) prilikom istraživanja utjecaja oksidacijskog stresa na strukturu zooplanktona u 41 jezeru sjeveroistočne Poljske. Naime, autori su utvrdili da promjene u koncentraciji otopljenog kisika znatno utječu na rašljoticalce velikog tijela te da su njihove biomase najbrojnije pri koncentracijama kisika  $> 8$  mg/L.

U lokvama na kojima je bila provedena drenaža sedimenta zabilježene su veće brojnosti veslonožaca, posebice juvenilnih jedinki nauplija i kopepodita te kolnjaka u odnosu na brojnosti rašljoticalaca što je u skladu s istraživanjima drugih autora (Frisch i Green 2007; Olmo i sur. 2016). Također, veće brojnosti kolnjaka i veslonožaca zabilježenih u ovoj skupini lokvi podudaraju se s rezultatima istraživanja kojeg su proveli Badosa i suradnici (2010). Oni su istraživali oporavak raznolikosti zooplanktona prilikom restauracije na osam postaja duž močvarnog područja u Nacionalnom parku Doñana (jugozapadna Španjolska) nakon više od trideset godina dreniranja sedimenta u svrhu agrikulture. Autori su utvrdili da pojedine vrste kolnjaka i veslonožaca puno brže nastanjuju lokve od rašljoticalaca.

Interakcija između povišenih vrijednosti temperature (uzorkovanje u ljetnim mjesecima i utjecaj mediteranske klime) i veće brojnosti veslonožaca u odnosu na rašljoticalce spominje se i u radovima drugih autora (Strecker i sur. 2004; Iskin i sur. 2020). Iskin i suradnici (2020) u istraživanju sastava zooplanktona u mezokozmosu su ukazali na pozitivne korelacije temperature i biomase veslonožaca dok su Strecker i suradnici (2004) prilikom istraživanja četiri mezokozmosa u Nacionalnom Parku Banff, Kanada utvrdili smanjenje biomase

rašljoticalaca, posebice onih velikog tijela, u uvjetima povišene temperature i odsutnosti riba. Rezultati ovog rada u skladu su s navedenom literaturom gdje se isti obrazac opaža i u lokvama Staja (ST), Rijavac (RI) te Učinovac (UČ).

Iznimno visoke vrijednosti biomase fitoplanktona, na koje u ovom radu ukazuje koncentracija klorofila *a* zabilježena je na lokvama (PE17, PE18) u kojima je provedena redukcija makrofita. Naime, redukcijom makrofita povećala se resuspenzija sedimenta i imobilizacija hranjivih tvari što je vjerojatno uzrokovalo povećani razvoja fitoplanktona, a posljedično i veće brojnosti algivornih rašljoticalaca u lokvi PE18 (Špoljar i sur. 2018b).

U močvari Palud, nisu bile provedene restauracijske mjere, ali je postojao antropogeni utjecaj prokapanjem kanala do mora i zaslanjivanje staništa, zbog već opisanog utjecaja na redukciju populacija komaraca kao prijenosnika malarije. Na ovom lokalitetu razmatrane su tri postaje duž gradijenta saliniteta, od ušća kanala s morskom vodom do nasuprotne litoralne zone obrasle emerznim makrofitima. Naime, u ekoton zoni priljeva morske vode u bazen močvare (PA1), na kojemu je ujedno salinitet bio najveći, zabilježena je najmanja brojnost zooplanktona na ovom lokalitetu kao i u odnosu na ostale istraživane lokve, a dominirali su veslonošci, s litoralnom algivornom vrstom roda *Acanthocyclops* te naupliji i algivorno-predatorska vrsta veslonošca, *Eudiaptomus* sp. Zabilježena povećana brojnost veslonožaca u močvari Palud, a posebice na navedenoj postaji (PA1), u odnosu na ostale skupine zooplanktona u skladu je s istraživanjima koje su proveli Brucet i suradnici (2009) na 35 obalnih plitkih bočatih laguna sjeveroistočne Španjolske i 42 lagune Danske i utvrdili da veslonošci dominiraju u uvjetima većeg saliniteta. Najveća brojnost kolnjaka zabilježena je u pelagijalnom dijelu Paluda (PA2) što proizlazi iz više razloga. Prvo, u pelagijalu Paluda izmjerena je najveća dubina te razvoj obligatnih planktonskih vrsta kolnjaka (*A. saltans*, *G. stylifer*, *Notholca squamula* (Müller, 1786)), a drugo, kolnjaci su manji u odnosu na planktonske rakove te iz tog razloga nisu ciljani plijen riba, stoga razvijaju populacije velike brojnosti u pelagijalu. Izuzetno je zanimljivo ukazati da nije zabilježena niti jedna jedinka rakova rašljoticalaca u močvari Palud što se može objasniti prisutnošću bočate vode i niske tolerancije rašljoticalaca na povećanje saliniteta što potvrđuju i drugi autori (Jeppesen i sur. 2007b; Brucet i sur. 2009).

U Leprićanskom kalu (LK), također lokalitetu iz skupine AN lokvi, zabilježene su iznimno visoke brojnosti pelagijalnih kolnjaka, ali i prisutnost detrivornog rašljoticalca malog tijela *A. costata*. Znatno veće brojnosti kolnjaka, posebice detrivornih vrsta (*A. fissa*, *Bdelloidea*), u

Leprićanskom kalu u odnosu na Palud potkrepljuju i puno veća dubina te znatno veća vrijednost suspendirane organske tvari (POM) koja je primarni izvor hrane detritivnih kolnjaka.

Stupanj trofije lokvi u ovome radu izražen je temeljem Carlsonovog indeksa (1977) koji uzima u obzir prozirnost, TP i koncentraciju Chl *a* i temeljem TSI<sub>ZOO</sub> indeksa koji uzima biocenološka obilježja, tj. biomase zooplanktonskih skupina kolnjaka i rakova (Stamou i sur. 2019). Naime, ovaj indeks je izveden modificiranjem prethodno korištenih i dokumentiranih indeksa TSI<sub>ROT</sub> (Ejsmont-Karabin 2012) i TSI<sub>CR</sub> (Ejsmont-Karabin i Karabin 2013) koje su spomenuti autori predložili kao indekse za izražavanje stupnja trofije plitkih vodenih tijela u umjereno hladnim područjima. Stamou i suradnici 2019. godine zaključili su da je spomenuti indeks najprikladniji za mediteransko područje jer je opće poznato da se ovo područje uvelike razlikuje, prema morfometrijskim i klimatskim obilježjima (Alvarez Cobelas i sur. 2005), od onih dobro istraživanih plitkih vodenih tijela umjerenog područja koje su istraživali autori Ejsmont-Karabin i Karabin 2012. i 2013. godine. Rezultati ovog istraživanja ukazuju da su istraživane lokve u velikoj mjeri i dalje izložene eutrofnom stanju, osim lokve UČ na kojem je prema oba indeksa (TSI i TSI<sub>ZOO</sub>) utvrđeno mezotrofnost stanje. Naime, postoje razlike u vrijednostima stupnja trofije u lokvama na kojima su provedene restauracijske mjere i na onima bez takvih zahvata. U lokvama na kojima je bila provedena drenaža sedimenta izmjerena je najmanja vrijednost stupnja trofije (uključujući i TSI i TSI<sub>ZOO</sub>), a u prilog nižim vrijednostima stupnja trofije idu i činjenice da su na ovim lokvama izmjerene i najmanje srednje vrijednosti koncentracije Chl *a* te najviše izmjerene srednje vrijednosti prozirnosti koje su utjecale na smanjenje stupnja trofije ovih lokvi. Najmanje navedene srednje vrijednosti zabilježene su jer su se čestice iz stupca vode u odsutnosti riba sedimentirale i tako povećale prozirnost, a fitoplankton se nakon restauracijske metode nije uspio razviti.

Također, pojedine vrste makrofita su iznimno pouzdani bioindikatori koji ukazuju na ekološko stanje lokvi i stupanj trofije, što je utvrđeno u ranijim istraživanjima ( Pelechaty i sur. 2013; Kuczyńska-Kippen i Pronin 2018). Naime, u lokvama ST i PM izmjerene su najviše vrijednosti stupnja trofije unutar skupine lokvi DS, a od makrofita su bile prisutne vrste *P. natans* i *P. pectinatus* (ST) te vrsta *R. peltatus* (PM) što je u skladu s pojavljivanjem navedenih vrsta na staništima s višim stupnjem trofije (Hargeby i sur. 2007; Søndergaard i sur. 2010; Pelechaty i sur. 2013).

Općenito, najviše vrijednosti TSI zabilježene su na lokalitetima na kojima nisu bile provedene restauracijske metode. Na lokalitetu Leprićanski kal (LK) rezultati ukazuju na hipertrofnost

stanje (nakon PE17) uz izmjerene niže vrijednosti prozirnosti i iznimno visoke vrijednosti Chl *a*. Prema Carlson i Havens (2005) može se zaključiti da je na ovom lokalitetu došlo do povećanja mutnoće vode uzrokovane resuspenzijom sedimenta i bioturbacijom riba te da je efikasnost predacije zooplanktona nad fitoplanktonom znatno limitirala prekomjerno povećanje njegove biomase.

U lokvama u kojima je bila provedena redukcija makrofita, također je vidljivo da je restauracija bila vrlo dobro osmišljena i učinkovito izvedena te je pokrovnost makrofita bila uravnotežena na lokalitetima KA i PE18, u kojima su zabilježene niže vrijednosti stupnja trofije (mezotrofno do donje granice eutrofnog stanja). U obje navedene lokve zabilježena je veća brojnost zooplanktona, posebice algivornih rašljoticalaca (*Ceriodaphnia* sp.) i veslonožaca (*Acanthocyclops* sp., naupliji) u odnosu na PE17. Veću brojnost rašljoticalaca u lokvama KA i PE18, posebice većih algivornih vrsta objašnjava razvoj sastojina submerznih makrofita, kao i njihov značaj skloništa zooplanktona od vizualnih predatora (Kuczyńska-Kippen i Nagengast 2006; Meerhoff i sur. 2007; Špoljar i sur. 2012a, 2018b. Povećanje brojnosti algivornih rašljoticalaca sa smanjenjem stupnja trofije utvrdili su Kuczyńska-Kippen i Joniak (2016), a taj je obrazac prepoznat i u ovom istraživanju.

Rezultati ovog istraživanja ukazuju da se u pojedinim lokvama TSI i TSI<sub>ZOO</sub> nisu podudarali. Primjerice, veća vrijednost TSI<sub>ZOO</sub> zabilježena je u PE18, a TSI u PE17 koji je čak upućivao na hipertrofno stanje. Razlike u vrijednostima različitih indeksa stupnja trofije mogle bi se objasniti prvenstveno u razlikama ukupne brojnosti zooplanktona i različitim zabilježenim vrijednostima prozirnosti, Chl *a* te TP. Naime, na lokalitetu PE18 uočeno je dvadeseterostruko povećanje ukupne brojnosti zooplanktona (u odnosu na PE17) i to je doprinijelo većim vrijednostima TSI<sub>ZOO</sub> jer je zooplankton kompleksnija i viša karika hranidbenog lanca te su promjene ipak sporije nego na razini primarnih producenata i hranjivih tvari. Najmanja izmjerena prozirnost te najveće vrijednosti Chl *a* i TP od svih istraživanih lokvi doprinijele izrazito visokom stupnju trofije u PE17.

Ekološko stanje plitkih vodenih tijela u ovome je radu bilo procijenjeno temeljem prethodno utvrđenih obilježja (biološke komponente, fizikalno-kemijskih parametara) koji su se razlikovali od parametara na kojima se temelje stupnjevi trofije (TSI i TSI<sub>ZOO</sub>). Upravo zbog sveobuhvatnosti korištenih parametara prilikom klasificiranja ekološkog stanja dolazi do pojedinih razlika prilikom procjene ekološkog stanja istraživanih lokvi u odnosu na stupanj trofije. Na primjer, lokva PE17 dobila je najvišu ocjenu ekološkog stanja (zajedno sa PE18 i

UČ) unatoč najvećeg procijenjenog stupnja trofije. Lokve dobrog ekološkog stanja bile su pokrivene gustim sastojinama submerznih makrofita te u njima nisu bile zabilježene ribe. U lokvama umjerenog ekološkog stanja pretežno su dominirali makrofiti jednostavnijeg habitusa i pojačana predacija riba koja je rezultirala manjom raznolikošću zooplanktona, što je u skladu sa recentnim istraživanjima Stamou i suradnika (2021) koji su prilikom istraživanja 13 grčkih jezera utvrdili da pojačana predacija riba uzrokuje manju raznolikost zooplanktona. Konačno, samo jedna lokva (RI) kategorizirana je kao lokva lošeg ekološkog stanja, vjerojatno zbog metode restauracije i nedovoljnog vremena za oporavak na kojoj je zabilježena potpuna odsutnost makrofita i iznimno niska raznolikost zooplanktona i bogatstvo vrsta.

Pojedine lokve umjerenog ekološkog stanja sa uspostavljenim gustim sastojinama submerznih makrofita imaju veći potencijal da ublaže i poboljšaju nepovoljne trofičke uvjete koji su možda i privremeni, nastali kod uzorkovanja prilikom resuspenzije sedimenta. Ekološko stanje pojedinih jadranskih lokvi moglo bi se poboljšati temeljitijim uzorkovanjem i uspostavljanjem dodatnih mjera restauracije (npr. biomanipulacijom planktivornih riba) koje imaju značajan utjecaj na raznolikost i brojnost zooplanktona te samim time i na ekološko stanje mediteranskih lokvi (Perrow i sur. 1997; Jeppesen i sur. 2007; Gulati i sur. 2013), a u ovome radu su izostavljene.

Rezultati ovog rada predstavljaju raznolika staništa i biocenoze priobalnih jadranskih lokvi gdje su provedene restauracijske metode pozitivno utjecale na povećanje raznolikosti i brojnosti zooplanktona te smanjenje stupnja trofije i poboljšanje ekološkog stanja istraživanih lokvi. Provedene restauracijske mjere pokazale su se kao iznimno uspješan alat u korigiranju i poboljšanju ekološkog stanja priobalnih jadranskih lokvi.

## 6. ZAKLJUČAK

Prema rezultatima istraživanja strukturalnih (raznolikost, brojnost) i funkcionalnih (trofički i stanišni oblici) obilježja zooplanktona, kao i abiotičkih i biotičkih čimbenika, na devet lokaliteta poluotoka Istre, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Zooplankton na lokalitetima na kojima nisu bile provedene restauracijske metode obilježavaju niske brojnosti i povećana raznolikost dok su na njegovu strukturu ponajviše utjecali konduktivitet te koncentracije suspendiranih organskih tvari i ortofosfata.
- Zooplankton u lokvama na kojima je bila provedena redukcija makrofita obilježavaju populacije visokih brojnosti, a na strukturu zooplanktona su najviše utjecali kompleksnost građe makrofita te koncentracije ukupnog dušika.
- Zooplankton u lokvama na kojima je bila provedena drenaža sedimenta obilježavaju relativno velike brojnosti planktonskih rakova (nauplija i kopepodita) na koji su najviše utjecali koncentracije izvora hrane (suspendirana organska tvar, fitoplankton), konduktivitet te kompleksnost građe makrofita.
- Ukupnom brojnošću i brojem vrsta dominirali su kolnjaci u svim istraživanim skupinama lokvi, što ukazuje da su to vrste koje brzo obnavljaju svoje populacije u novonastalim i promijenjenim uvjetima okoliša.
- U svim lokvama prisutnost submerznih makrofita i odsutnost riba utjecale su na povećanje brojnosti planktonskih rakova, posebice algivornih rašljoticalaca te su ocijenjene kao staništa dobrog ekološkog stanja.
- Većina lokvi s provedenom redukcijom makrofita i one bez primijenjenih restauracijskih metoda ocijenjene su dobrim i umjerenim ekološkim stanjem, što im pruža mogućnost da u kraćem razdoblju poboljšaju narušeno trofičko stanje.
- Lokve sa slabijom ocjenom umjerenog i one lošeg ekološkog stanja su one na kojima je provedena drenaža sedimenta u kratkom vremenskom razdoblju prije uzorkovanja te pozitivni rezultati nisu još bili mjerljivi.
- Pravilan odabir i učinkovita provedba metoda restauracije ključna je u svrhu očuvanja bioraznolikosti i održavanja dobrog ekološkog stanja plitkih vodenih tijela.



## 7. LITERATURA

Alvarez Cobelas M., Rojo C., Angeler D. G. (2005): Mediterranean limnology: current status, gaps and the future. *Journal of Limnology* 64: 13-29.

Amoros C. (1984): Crustacees cladoceres. *Bulletin Mensuel de la Société Linnéenne de Lyon* 3: 1-63.

Badosa A., Frisch D., Arechederra A., Serrano L., Green A. J. (2010): Recovery of zooplankton diversity in a restored Mediterranean temporary marsh in Doñana National Park (SW Spain). *Hydrobiologia* 654: 67-82.

Bakker E. S., Sarneel J. M., Gulati R. D., Liu Z., van Donk E. (2013): Restoring macrophyte diversity in shallow temperate lakes: biotic versus abiotic constraints. *Hydrobiologia* 710: 23-37.

Beck H. E., Zimmermann N. E., McVicar T. R., Vergopolan N., Berg A., Wood E. F. (2018): Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific data*, 5: 1-12.

Beklioğlu M., Bucak T., Coppens J., Bezirci G., Tavşanoğlu Ü. N., Çakıroğlu A. İ., Levi E. E., Erdoğan Ş., Filiz N., Özkan K., Özen A. (2017): Restoration of eutrophic lakes with fluctuating water levels: A 20-year monitoring study of two inter-connected lakes. *Water* 9: 127.

Beklioğlu M., Meerhoff M., Davidson T. A., Ger K. A., Havens K., Moss, B. (2016): Preface: Shallow lakes in a fast changing world. *Hydrobiologia* 778: 9-11.

Blondel J., Aronson J., Bodiou J. Y., Boeuf G. (2010): *The Mediterranean region: Biological Diversity Through Time and Space*. Oxford University Press, Oxford.

Brett M., Goldman C. R. (1997): Consumer versus resource control in freshwater pelagic food webs. *Science* 275: 384-386.

Brucet S., Boix D., Gascón S., Sala J., Quintana X., Badosa A., Søndergaard M., Lauridsen T. L., Jeppesen E. (2009): Species richness of crustacean zooplankton and trophic structure of brackish lagoons in contrasting climate zones: north temperate Denmark and Mediterranean Catalonia (Spain). *Ecography* 32: 692-702.

Burks R., Lodge D., Jeppesen E., Lauridsen T. (2002): Diel horizontal migration of zooplankton: costs and benefits of inhabiting the littoral. *Freshwater Biology* 47: 343-365.

Carlson R. E. (1977): A trophic state index for lakes. *Limnology and oceanography* 22: 361-369.

Carlson R. E., Havens K. E. (2005): Simple graphical methods for the interpretation of relationships between trophic state variables. *Lake and Reservoir Management*, 21: 107-118.

Castro B. B., Marquesç S. M., Gonçalves F. (2007): Habitat selection and diel distribution of the crustacean zooplankton from a shallow Mediterranean lake during the turbid and clear water phases. *Freshwater biology* 52: 421-433.

Cazzanelli M., Warming T. P., Christoffersen K. S. (2008): Emergent and floating-leaved macrophytes as refuge for zooplankton in a eutrophic temperate lake without submerged vegetation. *Hydrobiologia* 605: 113-122.

Chambers P.A., Lacoul P., Murphy K. J., Thomaz S. M. (2007): Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 9-26.

Compte J., Montenegro M., Ruhí A., Gascón S., Sala J., Boix D. (2015): Microhabitat selection and diel patterns of zooplankton in a Mediterranean temporary pond. *Hydrobiologia* 766: 201-213.

Cooke G. D., Welch E. B., Peterson S., Nichols S. A. (2016): Restoration and management of lakes and reservoirs. CRC press, Boca Raton.

De Meester L., Declerck S., Stoks R., Louette G., Van De Meutter F., De Bie T., Brendonck L. (2005): Ponds and pools as model systems in conservation biology, ecology and evolutionary biology. *Aquatic Conservation* 15: 715-725.

Direktiva Vijeća 92/43/EEZ iz 21. svibnja 1992. o očuvanju prirodnih staništa i divlje faune i flore.

Downing J., Prairie Y., Cole J., Duarte C., Tranvik L., Striegl R., McDowell W., Kortelainen P., Caraco N. F., Melack J. M., Middelburg J. (2006): The Global Abundance and Size Distribution of Lakes, Ponds, and Impoundments. *Limnology and Oceanography* 51: 2388-2397.

Du X., García-Berthou E., Wang Q., Liu J., Zhang T. (2015): Analyzing the importance of top-down and bottom-up controls in food webs of Chinese lakes through structural equation modeling. *Aquatic Ecology* 49: 199-210.

EC (2008): Commission Decision of 30 October 2008 establishing, pursuant to Directive 2000/60/EC of the European Parliament and the Council, the values of the Member State monitoring system classifications as a result of the intercalibration exercise 2008/915/EC. *Official Journal of the European Communities*, L332/20. European Commission, Brussels.

Einsle U. (1993): Crustacea: Copepoda: Calanoida und Cyclopoida. U: Schwoerbel J., Zwick P. (ur.). *Süßwasserfauna von Mitteleuropa*, Gustav Fischer Verlag, Berlin.

Ejsmont-Karabin J. (2012): The usefulness of zooplankton as lake ecosystem indicators: rotifer trophic state index. *Polish Journal of Ecology* 60: 339-350.

Ejsmont-Karabin J., Karabin A. (2013): The suitability of zooplankton as lake ecosystem indicators: crustacean trophic state index. *Polish Journal of Ecology* 61: 561-573.

Ersoy Z., Brucet S., Bartrons M., Mehner T. (2019): Short-term fish predation destroys resilience of zooplankton communities and prevents recovery of phytoplankton control by zooplankton grazing. *PLoS ONE* 14, e0212351.

Florian N., Lopez-Luque R., Ospina-Alvarez N., Hufnagel L., Green A. (2016): Influence of a carp invasion on the zooplankton community in Laguna Medina, a Mediterranean shallow lake. *Limnetica* 35: 397-412

Forro L., Korovchinsky N. M., Kotow A. A., Petrusek A. (2008): Global diversity of cladocerans (Cladocera; Crustacea) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 177-184.

Frisch D., Green A. (2007): Copepods come in first: Rapid colonization of new temporary ponds. *Fundamental and Applied Limnology* 168: 289-297.

García-Berthou E., Boix D., Clavero M. (2007): Non-indigenous animal species naturalized in Iberian inland waters. U: Gherardi F. (ur.). *Biological invaders in inland waters: Profiles, distribution and threats*. Dordrecht, Springer, str. 123-140.

González-Sagrario M. A., Balseiro E., Ituarte R., Spivak E. (2009): Macrophytes as refuge or risky area for zooplankton: a balance set by littoral predacious macroinvertebrates. *Freshwater Biology* 54: 1042-1053.

Grillas P., Gauthier P., Yavercovski N., Perennou C. (2004): Mediterranean Temporary Pools. Issues relating to conservation, functioning and management. Station Biologique de la Tour du valat, Arles.

Gulati R. D., Lammens E. H., Meyer M. L., van Donk, E. (2013): *Bio-manipulation Tool for Water Management: Proceedings of an International Conference held in Amsterdam*. Springer Science & Business Media, Amsterdam.

Habdija I., Primc-Habdija B., Radanović I., Špoljar M., Matoničkin-Kepčija R., Vujčić K. S., Miliša M., Ostojić A., Sertić-Perić M. (2011): *Protista-Protozoa i Metazoa-Invertebrata : Strukture i funkcije*. Alfa d.d., Zagreb.

Haberman J., Haldna M. (2014): Indices of zooplankton community as valuable tools in assessing the trophic state and water quality of eutrophic lakes: long term study of Lake Vörtsjärv. *Journal of Limnology* 73: 263-273.

Hargeby A., Blindow I., Andersson G. (2007): Long-term patterns of shifts between clear and turbid states in lake Krankesjön and lake Tåkern. *Ecosystems* 10: 28-35.

Horváth Z., Vad C. F., Tóth A., Zsuga K., Boros E., Vörös L., Ptacnik R. (2014): Opposing patterns of zooplankton diversity and functioning along a natural stress gradient: when the going gets tough, the tough get going. *Oikos* 123: 461-471.

Işkın U., Filiz N., Cao Y., Neif É. M., Öglü B., Lauridsen T. L., Davidson T. A., Søndergaard M., Tavşanoğlu Ü. N., Beklioğlu M., Jeppesen, E. (2020). Impact of nutrients, temperatures, and a heat wave on zooplankton community structure: An experimental approach. *Water* 12: 3416.

Jeppesen E., Meerhoff M., Davidson T.A., Trolle D., Søndergaard M., Lauridsen T.L., Beklioglu M., Bruce S., Volta P., Gonzalez-Bergonzoni I. (2014): Climate change impacts on lakes: an integrated ecological perspective based on a multi-faceted approach, with special focus on shallow lakes. *Journal of Limnology* 73: 88-111.

Jeppesen E., Meerhoff M., Holmgren K., Gonzalez-Bergonzoni I., Teixeira-de Mello F., Declerck S. A. J., De Meester L., Søndergaard M., Lauridsen T. L., Bjerring R., Conde-Porcuna J. M., Mazzeo N., Iglesias C., Reizenstein M., Malmquist H. J., Liu Z., Balaya D., Lazzaro X. (2010a): Impacts of climate warming on lake fish community structure and potential ecosystem effects. *Hydrobiologia* 646: 73-90.

Jeppesen E., Meerhoff M., Jacobsen B. A., Hansen R. S., Søndergaard M., Jensen J. P., Lauridsen T. L., Mazzeo N., Branco C. W. C. (2007): Restoration of shallow lakes by nutrient control and biomanipulation – the successful strategy varies with lake size and climate. *Hydrobiologia* 581: 269-285.

Jeppesen E., Moss B., Bennion H., Carvalho L., de Meester L., Feuchtmayr H., Friberg N., Gessner M. O., Hefting M., Lauridsen T. L., Liboriussen L., Malmquist H. J., May L., Meerhoff M., Olafsson J. S., Soons M. B., Verhoeven J. T. (2010b): Interaction of climate change and eutrophication. U: Kernan, M., Moss, B., Battarbee, R. *Climate change impacts on freshwater ecosystems*. Oxford, Blackwell Publishing, str. 119-151.

Jeppesen E., Noges P., Davidson T. A., Haberman J., Noges T., Blank K., Lauridsen T. L., Søndergaard M., Sayer C., Laugaste R., Johansson L. S., Bjerring R., Amsinck S. L. (2011): Zooplankton as indicator in lakes: a scientific-based plea for including zooplankton in the ecological quality assessment of lakes according to the European Water Framework Directive (WFD). *Hydrobiologia* 67: 279-297.

Jeppesen E., Søndergaard M., Lauridsen T. L., Davidson T. A., Liu Z., Mazzeo N., Trochine C., Özkan K., Jensen H. S., Trolle D., Starling F., Lazzaro X., Johansson L. S., Bjerring R., Liboriussen L., Larsen S. E., Landkildehus F., Egemose S., Meerhoff M. (2012): Biomanipulation as a restoration tool to combat eutrophication. U: Woodward, G., Jacob, U., O'Gorman, J. O. (ur.) *Advances in Ecological Research*. Amsterdam, Elsevier, str. 411-488.

Jeppesen E., Trolle D., Davidson T. A., Bjerring R., Søndergaard M., Johansson L. S., Lauridsen T. L., Nielsen A., Larsen S. E., Meerhoff M. (2016): Major changes in CO<sub>2</sub> efflux when shallow lakes shift from a turbid to a clear water state. *Hydrobiologia* 778: 33-44.

Jeppesen, E., Søndergaard, M., Pedersen, A.R., Jürgens, K., Strzelczak, A., Lauridsen, T.L., Johansson, L.S. (2007b): Salinity induced regime shift in shallow brackish lagoons. *Ecosystems* 10: 47e57.

Karpowicz M., Ejsmont-Karabin J. (2021): Diversity and Structure of Pelagic Zooplankton (Crustacea, Rotifera) in NE Poland. *Water* 13: 456.

Kuczyńska-Kippen N. (2001): Diurnal vertical distribution of rotifers (Rotifera) in the *Chara* zone of Budzyńskie Lake, Poland. *Hydrobiologia* 446: 195-201.

Kuczynska-Kippen N. (2005): On body size and habitat selection in rotifers in a macrophyte-dominated lake Budzyskie, Poland. *Aquatic Ecology* 39: 447-454.

Kuczyńska-Kippen N. (2020): Response of zooplankton indices to anthropogenic pressure in the catchment of field ponds. *Water* 12: 758.

Kuczyńska-Kippen N., Joniak T. (2016): Zooplankton diversity and macrophyte biometry in shallow water bodies of various trophic state. *Hydrobiologia* 774: 39-51.

Kuczyńska-Kippen N., Nagengast B. (2006): The influence of the spatial structure of hydromacrophytes and differentiating habitat on the structure of rotifer and cladoceran communities. *Hydrobiologia* 559: 203-212.

Kuczyńska-Kippen N., Pronin M. (2018): Diversity and zooplankton species associated with certain hydroperiods and fish state in field ponds. *Ecological Indicators* 90: 171-178.

Kuczyńska-Kippen N., Špoljar M., Zhang C., Pronin M. (2020): Zooplankton functional traits as a tool to assess latitudinal variation in the northern-southern temperate European regions during spring and autumn seasons. *Ecological Indicators* 117: 106629.

Kulkarni D., A. Gergs, Hommen U., Ratte H. T., Preuss T. G. (2013): A plea for the use of copepods in freshwater ecotoxicology. *Environmental Science and Pollution Research* 20: 75-85.

Lyche-Solheim A., Feld C. K., Birk S., Phillips G., Carvalho L., Morabito G., Mischke U., Willby N., Søndergaard M., Hellsten S., Kolada A., Mjelde M., Böhmer J., Miler O., Pusch M. T., Argillier C., Jeppesen E., Lauridsen T. L., Poikane S. (2013): Ecological status assessment of European lakes: a comparison of metrics for phytoplankton, macrophytes, benthic invertebrates and fish. *Hydrobiologia* 704: 57-74.

Meerhoff M., Iglesias C., De Mello F. T., Clemente J. M., Jensen E., Lauridsen T. L., Jeppesen E. (2007): Effects of habitat complexity on community structure and predator avoidance

behaviour of littoral zooplankton in temperate versus subtropical shallow lakes. *Freshwater Biology* 52: 1009-1021.

Miracle M. R., Alfonso M. T., Vicente E. (2007): Fish and nutrient enrichment effects on rotifers in a Mediterranean shallow lake: a mesocosm experiment. *Hydrobiologia* 593: 77-94.

Moss B., Hering D., Green A. J., Aidoud A., Becares E., Beklioğlu M., Bennion H., Boix D., Carvalho L., Clement B., Davidson T., Declerck S., Dobson M., van Donk E., Dudley B., Feuchtmayr H., Friberg N., Grenouillet G., Hillebrand H., Hobaek A., Irvine K., Jeppesen E., Johnson R., Jones I., Kernan M., Lauridsen T. L., Manca M., Meerhoff M., Olafsson J., Ormerod S., Papastergiadou E., Penning W. E., Ptacnik R., Quintana X., Sandin L., Seferlis M., Simpson G., Triga C., Verschoor A. M., Verdonschot P. F. M., Weyhenmeyer G. A. (2009): Climate change and the future of freshwater biodiversity in Europe: A primer for policy-makers. *Freshwater Reviews* 2: 103-130.

Moss B., Jane M., Geoffrey P. (1996): A guide to the restoration of nutrient-enriched shallow lakes. *Limnology & Oceanography*. Broads Authority, Norwich, UK.

Moss B., McKee D., Atkinson D., Collings S. E., Eaton J. W., Gill A. B., Wilson, D. (2003): How important is climate? Effects of warming, nutrient addition and fish on phytoplankton in shallow lake microcosms. *Journal of Applied Ecology*, 40: 782-792.

Moss B., Stephen D., Balayla D., Becares E., Collings S., Fernández-Aláez C., Fernández-Aláez M., Ferriol C., García P., Gomà J., Gyllström M., Hansson, L. A., Hietala J., Kairesalo T., Miracle M., Romo S., Rueda J., Russell V., Ståhl-Delbanco A., Villena M., (2004): Continental-scale patterns of nutrient and fish effects on shallow lakes: Synthesis of a pan-European mesocosm experiment. *Freshwater Biology* 49: 1633-1649.

Mullins M. L., Doyle R. D. (2019): Big things come in small packages: why limnologists should care about small ponds. *Acta Limnologica Brasiliensia* 31.

Myers N., Mittermeier R. A., Mittermeier C. G., Da Fonseca G. A., Kent J. (2000): Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.

Narodne novine (2019): Uredba o standardu kakvoće voda 96.

Nusch E. A. (1980): Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. *Archiv für Hydrobiologie-Beiheft Ergebnisse der Limnologie* 14: 14-36.

Olmo C., Armengol X., Antón-Pardo M., Ortells R. (2016): The environmental and zooplankton community changes in restored ponds over 4 years. *Journal of Plankton Research* 38: 490-501.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (1982): *Eutrophication of Waters: Monitoring, Assessment and Control*. OECD, Paris.

Pełechaty M., Pronin E., Pukacz A. (2013): Charophyte occurrence in *Ceratophyllum demersum* stands. *Hydrobiologia* 737: 111-120.

Peñuelas J., Prieto P., Beier C., Cesaraccio C., de Angelis P., de Dato G., Emmett B. A., Estiarte M., Garadnai J., Gorissen A., Láng E. K., Kröeldulay G., Llorens L., Pellizzaro G., Riisnielsen T., Schmidt I. K., Sirca C., Sowerby A., Spano D., Tietema A. (2007): Response of plant species richness and primary productivity in shrublands along a north-south gradient in Europe to seven years of experimental warming and drought: Reductions in primary productivity in the heat and drought year of 2003. *Global Change Biology* 13: 2563-2581.

Perrow M. R., Meijer M. L., Dawidowicz P., Coops H. (1997): Biomanipulation in shallow lakes: state of the art. *Hydrobiologia* 342: 355-365.

Radwan S. (2004): Rotifers (Rotifera). *The Freshwater Fauna of Poland*. 32. Polish Hydrobiological Society, University of Łódź.

Ruttner-Kolisko A. (1977): Suggestions for biomass calculations of plankton rotifers. *Archiv für Hydrobiologie – Beiheft Ergebnisse der Limnologie* 8: 71-76.

Sahuquillo M., Miracle M. R. (2013): The role of historic and climatic factors in the distribution of crustacean communities in Iberian Mediterranean ponds. *Freshwater Biology* 58: 1251-1266.

Scheffer M., van Nes E. H. (2007): Shallow lakes theory revisited: various alternative regimes driven by climate, nutrients, depth and lake size. *Hydrobiologia* 584: 455-466.

Serrano L., Fahd K. (2005) Zooplankton communities across a hydroperiod gradient of temporary ponds in the Doñana National Park (SW Spain). *Wetlands* 25: 101-111.



Søndergaard M., Jeppesen E., Jensen J. P. (2005): Pond or lake: does it make any difference? *Archiv für Hydrobiologie* 162: 143-165.

Søndergaard M., Johansson L. S., Lauridsen T. L., Jørgensen T. B., Liboriussen L., Jeppesen E. (2010): Submerged macrophytes as indicators of the ecological quality of lakes. *Freshwater Biology* 55: 893-908.

Stamou G., Katsiapi M., Moustaka-Gouni M., Michaloudi E. (2019): Trophic state assessment based on zooplankton communities in Mediterranean lakes. *Hydrobiologia* 844: 83-103.

Stamou G., Katsiapi M., Moustaka-Gouni M., Michaloudi E. (2021): The neglected zooplankton communities as indicators of ecological water quality of Mediterranean lakes. *Limnetica* 40: 359-373.

Stephen D., Balayla D. M., Becares E., Collings S. E., Fernandez-Alaez C., Fernandez-Alaez M., Ferriol C., Garcia P., Goma J., Gyllstrom M., Hansson L. A., Hietala J., Kairesalo T., Miracle M. R., Romo S., Rueda J., Stahl-Delbanco A., Svensson M., Vakkilainen K., Valentin M., Van de Bund W. J., Van Donk E., Vicente E., Villena M. J., Moss B. (2004a): Continental-scale patterns of nutrient and fish effects on shallow lakes: introduction to a pan-European mesocosm experiment. *Freshwater Biology* 49: 1517-1524.

Stephen D., Balayla D. M., Collings S. E., Moss B. (2004b): Two mesocosm experiments investigating the control of summer phytoplankton growth in a small shallow lake. *Freshwater Biology* 49: 1551-1564.

Strecker A. L., Cobb T. P., Vinebrooke R.D. (2004) Effects of experimental greenhouse warming on phytoplankton and zooplankton communities in fishless alpine ponds. *Limnology and Oceanography* 49: 1182-1190.

Špoljar M., Dražina T., Habdija I., Meseljević M., Grčić Z. (2011): Contrasting zooplankton assemblages in two oxbow lakes with low transparencies and narrow emergent macrophyte belts (Krapina River, Croatia). *International Review of Hydrobiology* 96: 175-190.

Špoljar M., Dražina T., Kahriman K., Medić N., Cvetnić M. (2019): The impact of invasive eastern mosquitofish (*Gambusia holbrooki* Girard, 1859) on zooplankton in small Mediterranean ponds. *sa*54: 411.

Špoljar M., Dražina T., Lajtner J., Kovačević G., Pestić A., Matijašec D., Tomljanović T. (2018a): Impact of water level fluctuation in the shaping of zooplankton assemblage in a shallow lake. *Croatian Journal of Fisheries* 76: 27-34.

Špoljar M., Dražina T., Lajtner J., Sertić M. D., Radanović I., Wallace, R. L., Matulić D., Tomljanović T. (2018b): Zooplankton assemblage in four temperate shallow waterbodies in association with habitat heterogeneity and alternative states. *Limnologica* 71: 51-61.

Špoljar M., Dražina T., Šargač J., Kralj Borojević K., Žutinić P. (2012a): Submerged macrophytes as a habitat for zooplankton development in two reservoirs of a flow-through system (Papuk Nature Park, Croatia). *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology* 48: 161-175.

Špoljar M., Fressl J., Dražina T., Meseljević M., Grčić Z. (2012b): Epiphytic metazoans on emergent macrophytes in oxbow lakes of the Krapina River, Croatia: differences related to plant species and limnological conditions. *Biologia* 69: 363-380.

Špoljar M., Habdija I., Primc-Habdija B., Sipos L. (2005): Impact of environmental variables and food availability on Rotifer assemblage in the karstic barrage lake Visovac (Krka River, Croatia). *International Review of Hydrobiology* 90: 555-579.

Špoljar M., Tomljanović T., Dražina T., Lajtner J., Štulec H., Matulić D., Fressl J. (2016): Zooplankton structure in two interconnected ponds: similarities and differences. *Croatian Journal of Fisheries* 74: 6-13.

Thomaz S. M., Cunha E. R. (2010): The role of macrophytes in habitat structuring in aquatic ecosystems: methods of measurement, causes and consequences on animal assemblages' composition and biodiversity. *Acta Limnologica Brasiliensia* 22: 218-236.

Viayeh R. M., Špoljar M. (2012): Structure of rotifer assemblages in shallow waterbodies of semi-arid northwest Iran differing in salinity and vegetation cover. *Hydrobiologia*, 686: 73-89.

Voigt M., Koste W. (1978): *Die Rädertiere Mitteleuropas*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart.

Wallace R. L., Snell T. W., Ricci C., Nogrady T. (2006): Rotifera. Vol. 1. Biology, ecology and systematics, 2nd edition. U: Dumont H. J. F. (ur.) Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world. Kenobi Productions, Ghent.

Williams D. D. (1987): The ecology of temporary waters. Timber Press, Portland, Oregon.

Wolfram G., Argillier C., De Bortoli J., Buzzi G., Dokulil M. T., Hoehn E., Marchetto A., Martinez P. J., Morabito G., Reichmann M., Remec-Rekar S., Riedmüller U., Rioury C., Schaumburg J., Schulz L., Urbanic G. (2009): Reference conditions and WFD compliant class boundaries for phytoplankton biomass and chlorophyll-*a* in Alpine lakes. *Hydrobiologia* 633: 45-58.

Zacharias I., Dimitriou E., Dekker A., Dorsman E. (2007): Overview of temporary ponds in the Mediterranean region: Threats, management and conservation issues. *Journal of Environmental Biology* 28: 1-9.

[www.europeanponds.org](http://www.europeanponds.org) (pristupljeno 14.7.2021.)

## 8. PRILOZI

1. Fizikalno-kemijski čimbenici istraživanih lokaliteta poluotoka Istre.
2. Brojnost, raznolikost, trofičke skupine (FFG, eng. Functional Feeding Guilds) zooplanktona: P – predatori, D – detrivori, A – algivori, AP – algivorno-predatorski i ekološki tipovi: P – planktonski, L – litoralni, SP - semiplanktonski.
3. Rangiranje funkcionalnih obilježja zooplanktona i biotičkih čimbenika za procjenu ekološkog stanja lokvi. (TipM – kompleksnost habitusa makrofita; %M – pokrovnost makrofitima; S – bogatstvo vrsta; H – raznolikost zooplanktona; ROTa/d – omjer algivora i detrivora Rotifera; CLAA/d – omjer algivora i detrivora Cladocera).

Prilog 1. Fizikalno-kemijski čimbenici istraživanih lokaliteta poluotoka Istre.

Lokaliteti	AN				RM			DS				
	PA1	PA2	PA3	LK	KA	PE17	PE18	BR	PM	RI	ST	UČ
Fizikalno-kemijski čimbenici												
Prozirnost <sub>SD</sub> (m)	0,2	0,5	0,2	0,1	0,5	0,1	0,6	0,5	0,2	1,0	0,3	0,8
Temperatura (°C)	28,8	28,6	28,8	20,6	19,4	18,9	23,2	24,5	28,8	29,0	27,8	18,6
Otopljeni kisik (mg/L)	5,04	3,32	3,46	1,50	1,55	1,54	9,19	5,31	8,98	14,57	11,22	8,04
pH	7,82	7,79	7,77	8,01	7,52	8,01	7,37	7,80	8,08	8,39	8,52	8,92
Konduktivitet (μS/cm)	41400	40900	41400	299	180	417	327	312	286	643	110	98
KPK (mg/O <sub>2</sub> )	6,00	6,40	3,32	6,32	5,61	18,64	6,87	6,00	5,93	7,58	7,27	5,85
PVI (%)	50	50	50	96	100	98	60	0	20	0	20	30
Ortofosfati (mg P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L)	0,45	0,04	0,71	0,05	0,13	0,05	0,02	0,05	0,01	0,17	0,06	0,01
Ukupni fosfor (mg P/L)	0,05	0,05	0,08	0,04	0,02	0,11	0,03	0,06	0,02	0,03	0,07	0,02
Nitrati (mg N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	1,06	0,95	1,98	0,41	0,74	0,10	0,89	0,77	0,61	1,23	1,22	0,62
Nitriti (mg N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Amonijak (mg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L)	0,00004	0,00004	0,00004	0,99910	0,00004	0,15910	0,57000	0,45000	0,00004	0,00004	0,00004	0,00004
Ukupni dušik (mg N/L)	1,08	0,97	2,00	1,96	0,76	0,88	1,47	1,23	0,62	1,24	1,23	0,64
Fitoplankton (Chl <i>a</i> μg/L)	1,18	1,48	2,07	7,10	1,78	7,70	6,51	0,89	1,78	2,66	3,26	0,59
POM (mg AFDM/L)	0,13	0,08	0,12	6,19	0,13	0,10	0,13	0,03	0,10	0,14	0,13	0,11

Prilog 2. Brojnost, raznolikost, trofičke skupine (FFG, eng. Functional Feeding Guilds) zooplanktona: P – predatori, D – detritivori, A – algivori, AP – algivorno-predatorski i ekološki tipovi: P – planktonski, L – litoralni, SP – semiplanktonski.

Svojta/Vrsta	PA1 SV ± SD	PA2 SV ± SD	PA3 SV ± SD	LK SV ± SD	KA SV ± SD	PE17 SV ± SD	PE18 SV ± SD	BR SV ± SD	PM SV ± SD	RI SV ± SD	ST SV ± SD	UČ SV ± SD	EG	FFG
<b>Rotifera</b>														
<i>Anuraeopsis fissa</i> (Gosse, 1851)	17 ± 22			773 ± 308	185 ± 82								P	D
<i>Ascomorpha saltans</i> (Bartsch, 1870)		217 ± 76							54 ± 46				P	A
<i>Asplanchna priodonta</i> (Gosse, 1850)						6 ± 18							P	P
Bdelloidea				120 ± 95	47 ± 11	10 ± 19	949 ± 466	10 ± 17	52 ± 26	112 ± 112		34 ± 7	L	D
<i>Brachionus angularis</i> (Gosse, 1851)									587 ± 210				P	D
<i>Brachionus patulus</i> (Müller, 1773)				15 ± 10									P	D
<i>Brachionus urceolaris</i> (Müller, 1773)										11 ± 10		11 ± 9	P	D
<i>Euchlanis dilatata</i> (Ehrenberg, 1832)								3 ± 6	22 ± 0	37 ± 65			L	D
<i>Gastropus stylifer</i> (Imhof, 1891)		217 ± 58							15 ± 25				P	D
<i>Keratella ticinensis</i> (Callerio, 1920)	5 ± 10												P	D
<i>Keratella valga</i> (Ehrenberg, 1834)											873 ± 461		P	D
<i>Lecane clara</i> (Bryce, 1892)						6 ± 10							L	D
<i>Lecane closterocerca</i> (Schmarda, 1859)				77 ± 29		7 ± 14	38 ± 66		24 ± 21			9 ± 16	L	D
<i>Lecane luna</i> (Müller, 1776)						3 ± 8	618 ± 227		56 ± 41				L	D
<i>Lecane lunaris</i> (Ehrenberg, 1832)						6 ± 18							L	D
<i>Lepadella patella</i> (Müller, 1773)				4 ± 5	18 ± 17	24 ± 21	602 ± 226		29 ± 34		23 ± 21	13 ± 16	L	D
<i>Mytilina mucronata</i> (Müller, 1773)							287 ± 62		15 ± 25			5 ± 8	L	D
<i>Mytilina ventralis brevispina</i> (Ehrenberg, 1830)										75 ± 129			L	D
<i>Notholca labis</i> (Gosse, 1887)			155 ± 179										P	D
<i>Notholca squamula</i> (Müller, 1786)		100 ± 87							18 ± 25				P	D
<i>Polyarthra</i> sp.				40 ± 80				491 ± 524	12 ± 10				P	A
<i>Polyarthra vulgaris</i> (Carlin, 1943)						1 ± 4							P	A
<i>Synchaeta pectinata</i> (Ehrenberg, 1832)	5 ± 10		6 ± 12					39 ± 16	12 ± 21				P	A
<i>Trichocerca pusilla</i> (Jennings, 1903)				8 ± 9				104 ± 70	18 ± 31				P	A
<i>Trichocerca</i> sp.						22 ± 35							L	A
<b>Rotifera ukupno</b>	27 ± 40	533 ± 153	161 ± 173	1300 ± 433	262 ± 57	85 ± 57	2494 ± 592	655 ± 567	920 ± 140	224 ± 112	908 ± 458	71 ± 39		

Prilog 2. nastavak. Brojnost, raznolikost, trofičke skupine (FFG, eng. Functional Feeding Guilds) zooplanktona: P – predatori, D – detrivori, A – algivori, AP – algivorno-predatorski i ekološki tipovi: P – planktonski, L – litoralni, SP – semiplanktonski.

Svojt/Vrsta	PA1 SV ± SD	PA2 SV ± SD	PA3 SV ± SD	LK SV ± SD	KA SV ± SD	PE17 SV ± SD	PE18 SV ± SD	BR SV ± SD	PM SV ± SD	RI SV ± SD	ST SV ± SD	UČ SV ± SD	EG	FFG
<b>Cladocera</b>														
<i>Alona costata</i> (G.O. Sars, 1862)				7 ± 9			1149 ± 560						L	D
<i>Alona guttata</i> (Sars, 1861)								4 ± 7					L	D
<i>Alona quadrangularis</i> (O. F. Müller, 1776)						21 ± 40							L	D
<i>Alonella excisa</i> (Fischer, 1854)						38 ± 58			399 ± 124	224 ± 112		27 ± 9	L	D
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (O.F. Müller, 1785)							380 ± 263						L, SP	A
<i>Ceriodaphnia</i> sp.					15 ± 25		287 ± 391		7 ± 13		9 ± 16	51 ± 40	L, SP	A
<i>Daphnia longispina</i> (O.F. Müller, 1776)								27 ± 6					P	A
<i>Daphnia magna</i> (Straus, 1820)								10 ± 10					P	A
<i>Daphnia pulex</i> (Leydig, 1860)							87 ± 75	65 ± 31			11 ± 20	14 ± 24	P	A
<b>Cladocera ukupno</b>				7 ± 9	15 ± 25	60 ± 95	1903 ± 584	106 ± 38	407 ± 113	224 ± 112	21 ± 18	91 ± 54		
<b>Copepoda</b>														
<i>Acanthocyclops</i> sp.	38 ± 59				17 ± 21				22 ± 38		51 ± 44	8 ± 8	L	A
<i>Calanus</i> sp.			113 ± 144											
<i>Cyclops</i> sp.						6 ± 18							P	A/P
<i>Diacyclops</i> sp.			38 ± 75										L	A/P
<i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars, 1862)				2 ± 5									P	A/P
<i>Eudiaptomus</i> sp.	54 ± 91											38 ± 33	P	A/P
<i>Megacyclops viridis</i> (Jurine, 1820)						2 ± 7							L	A/P
naupliji	47 ± 95				264 ± 23	78 ± 90	965 ± 202	42 ± 14	135 ± 95	373 ± 171	1399 ± 625	57 ± 25	P	A
kopepoditi		150 ± 50	64 ± 108	2 ± 5	11 ± 11	30 ± 27	195 ± 71	26 ± 23	105 ± 79		110 ± 14	21 ± 19	P	A/P
<b>Copepoda ukupno</b>	141 ± 138	150 ± 50	251 ± 195	5 ± 5	292 ± 21	116 ± 104	1161 ± 183	68 ± 9	262 ± 79	373 ± 171	1561 ± 666	124 ± 14		
<b>Ukupna brojnost</b>	170 ± 113	683 ± 176	413 ± 348	1314 ± 436	569 ± 91	262 ± 248	5557 ± 411	829 ± 577	1588 ± 231	821 ± 259	2489 ± 1140	287 ± 46		

Prilog 3. Rangiranje funkcionalnih obilježja zooplanktona i biotičkih čimbenika za procjenu ekološkog stanja lokvi. (TipM – kompleksnost habitusa makrofita; %M – pokrovnost makrofitima; S – bogatstvo vrsta; H – raznolikost zooplanktona; ROTa/d – omjer algivora i detrivora Rotifera; CLAA/d – omjer algivora i detrivora Cladocera).

	TipM	%M	Ribe	S	H	Ra/d	CLAA/d	Sum
PE17	2	5	0	3	3	-1	-1	11
PE18	3	3	0	2	3	-1	1	11
UČ	3	3	0	2	3	-1	1	11
KA	2	5	-1	1	2	-1	1	9
PA	1	3	-1	3	2	-1	0	7
LK	2	5	-1	2	1	-1	-1	7
BR	0	1	0	2	2	1	1	7
ST	3	1	0	1	1	-1	1	6
PM	1	1	-1	3	3	-1	-1	5
RI	0	1	0	1	2	-1	-1	2



## 9. ŽIVOTOPIS

Rođen sam 25. veljače 1996. godine u Požegi. Osnovnu i srednju školu (Klasična gimnazija Požega) završio sam u Požegi te sam 2015. godine upisao preddiplomski studij Biologije i ekologije mora na Sveučilišnom odjelu za studije mora u Splitu kojeg sam završio 2018. godine i stekao akademsko zvanje sveučilišnog prvostupnika (univ. bacc). Iste akademske godine upisao sam diplomski studij Eksperimentalne biologije (modul Zoologija) na Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Aktivno koristim engleski jezik u govoru i pismu (2014. godine položio sam (FCE) „First Certificate in English“ (Council of Europe Level B2) te sam u prosincu 2019. godine položio Tečaj za osposobljavanje osoba koje rade s pokusnim životinjama (LabAnim A kategorija) pri Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu. Od ostalih vještina posjedujem vozačku dozvolu B kategorije i aktivno korištenje Microsoft Office programa.