

# Utjecaj abiotičkih i biotičkih čimbenika na zooplankton Vranskog jezera kod Biograda na Moru

---

**Bilić, Žanet**

**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:217:576246>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-05**



*Repository / Repozitorij:*

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

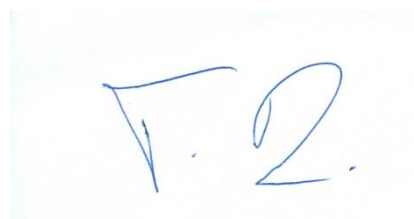


Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Žanet Bilić

**Utjecaj abiotičkih i biotičkih čimbenika na zooplankton Vranskog  
jezera kod Biograda na Moru**

Diplomski rad



Zagreb, 2021.

Ovaj diplomski rad, izrađen na Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, pod vodstvom doc. dr. sc. Tvrтка Dražine, predan je na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u svrhu stjecanja zvanja magistar ekologije i zaštite prirode.

*Prije svega, najviše zahvaljujem mentoru, docentu Tvrtku Dražini, na pomoći i strpljenju prilikom izrade ovog diplomskog rada. Hvala Vam na uloženom trudu, prenesenom znanju, radu, konstruktivnim savjetima i riječima podrške. Hvala na profesionalnom, ali i prijateljskom pristupu koji mi je olakšao pisanje diplomskog rada unatoč svim poteškoćama i izazovima.*

*Iskreno se zahvaljujem doc. dr.sc. Zoranu Marčiću na pomoći oko literaturnih podataka o ihtiofauni te o ustupljenim recentnim podacima.*

*Veliko hvala mojoj obitelji i dečku, posebno mojim roditeljima i sestri Nicole, koji su mi omogućili akademsko obrazovanje. Hvala vam na svim riječima podrške koje ste mi uputili u najtežim trenucima mog obrazovanja i uvijek mi pomogli da se ustanem nakon svakog pada!*

*Hvala svim dragim prijateljima koji su mi uljepšali i najteže studentske dane te mi ostavili lijepe uspomene koje ću pamtiti do kraja života.*

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Biološki odsjek

Diplomski rad

### UTJECAJ ABIOTIČKIH I BIOTIČKIH ČIMBENIKA NA ZOOPLANKTON VRANSKOG JEZERA KOD BIOGRADA NA MORU

Žanet Bilić

Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb, Hrvatska

Vransko jezero kod Biograda na Moru krško je polje ispunjeno vodom te je najveće prirodno jezero u Hrvatskoj. Parkom prirode proglašeno je 1999. godine, ponajviše zbog ornitološkog rezervata na njegovom području. Važan dio ekosustava Vranskog jezera je zooplankton, a on obuhvaća tri prevladavajuće skupine: Rotifera (kolnjaci), Copepoda (veselonošci) i Cladocera (rašljoticalci). Zooplankton ima značajnu ulogu u jezerskim ekosustavima, posebice kod određivanja ekološkog stanja jezera. Ciljevi ovog rada bili su: (i) utvrditi brojnost, biomasu i raznolikost zooplanktona; (ii) proučiti utjecaj biotičkih i abiotičkih čimbenika na dinamiku zooplanktona; (iii) proučiti utjecaj predacije riba na dinamiku zooplanktona; (iv) procijeniti utjecaj i važnost zooplanktona u jezerskim ekosustavima. U razdoblju od travnja do studenog 2018. i 2019. godine na tri postaje uzimani su uzorci zooplanktona, a za analizu utjecaja abiotičkih i biotičkih čimbenika na dinamiku zooplanktona promatrali su se i analizirali određeni fizikalno-kemijski čimbenici. Istraživanjem je utvrđen značajan utjecaj temperature, saliniteta, otopljenog kisika, prozirnosti te značajan utjecaj ihtiofaune na strukturu i dinamiku zooplanktona. Proučavanje utjecaja biotičkih i abiotičkih čimbenika na dinamiku zooplanktona dat će uvid u trofičko stanje jezera, čime će se omogućiti određivanje smjernica za daljnje upravljanje Vranskim jezerom i zaštiti ovog vrijednog i važnog staništa.

(51 stranica, 15 slika, 3 tablice, 68 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

**Ključne riječi:** zooplankton, plitka jezera, salinitet, ihtiofauna, biomasa

**Voditelj:** Dr. sc. Tvrtko Dražina, doc.

**Ocjenitelji:**

1. dr.sc. Tvrtko Dražina, doc.
2. dr. sc. Sven Jelaska, red. prof.
3. dr. sc. Jasna Lajtner, izv. prof.

**Rad prihvaćen:** 25.06. 2021.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University of Zagreb

Faculty of Science

Division of Biology

**Graduation thesis**

### **IMPACT OF ABIOTIC AND BIOTIC FACTORS ON ZOOPLANKTON OF LAKE VRANA NEAR BIOGRAD NA MORU**

Žanet Bilić

Rooseveltovo trg 6, 10 000 Zagreb, Croatia

Vrana Lake near Biograd na Moru is a karst field filled with water and is the largest natural lake in Croatia. It was declared a nature park in 1999, mostly because of the ornithological reserve in its area. An important part of the Vrana Lake ecosystem is zooplankton, and it includes three predominant groups: Rotifera, Copepoda and Cladocera. Zooplankton plays a significant role in lake ecosystems, especially in determining the ecological status of lakes. The goals of the research were: (i) to determine the abundance, biomass and diversity of zooplankton; (ii) to study the influence of biotic and abiotic factors on zooplankton dynamics; (iii) to study the impact of fish predation on zooplankton dynamics; (iv) to assess the impact and importance of zooplankton in lake ecosystems. In the period from April to November 2018 and 2019, zooplankton samples were taken at three stations, and for the analysis of the influence of abiotic and biotic factors on the dynamics of zooplankton, certain physicochemical factors were observed and analyzed. The research revealed a significant influence of temperature, salinity, dissolved oxygen, transparency and a significant influence of ichthyofauna on the structure and dynamics of zooplankton. The study of the influence of biotic and abiotic factors on the dynamics of zooplankton will provide insight into the trophic state of the lake, which will enable the determination of guidelines for further management of Vrana Lake and protection of this valuable and important habitat.

(51 pages, 15 figures, 3 tables, 68 references, original in: croatian)

Thesis deposited in Central Biological library

**Keywords:** zooplankton, shallow lakes, salinity, ichthyofauna, biomass

**Supervisor:** Dr. Tvrtko Dražina, Assistant professor

**Reviewers:**

1. dr. Tvrtko Dražina, Assistant professor
2. dr. Sven Jelaska, Full professor
3. dr. Jasna Lajtner, Associate professor

**Thesis accepted:** 25.06.2021.

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1 Zooplankton .....	3
1.1.1. Rotifera .....	4
1.1.2. Copepoda .....	5
1.1.3. Cladocera .....	6
1.2. Utjecaj abiotičkih čimbenika na zooplankton plitkih jezera .....	7
1.3. Biotički čimbenici .....	8
1.4. Alternativni režimi plitkih jezera .....	10
1.5. Ciljevi istraživanja .....	12
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA .....	13
3. MATERIJALI I METODE .....	15
3.1. Prikupljanje uzoraka i analiza zooplanktona .....	15
3.2. Analiza fizikalno - kemijskih čimbenika .....	17
4. REZULTATI .....	19
4.1. Promjene fizikalno - kemijskih čimbenika .....	19
4.2. Sastav i struktura zajednice zooplanktona .....	24
4.3. Interakcije abiotičkih i biotičkih čimbenika Vranskog jezera .....	32
4.4. Ihtiofauna .....	37
5. RASPRAVA .....	38
6. ZAKLJUČAK .....	43
7. LITERATURA .....	44
8. PRILOZI .....	51

## Lista kratica

AFDM – (eng. *ash free dry mass*) vrijednost gubitka mase pri žarenju

Chl  $\alpha$  – klorofil  $\alpha$

DM – (eng. *dry mass*) suha biomasa

DOM – (eng. *dissolved organic matter*) otopljena organska tvar

DOC – (eng. *organic carbon*) otopljeni organski ugljik

FFG – (eng. *functional feeding grids*) funkcionalne prehrambene skupine

JU – Javna uprava

KPK-Mn – kemijska potrošnja kisika

MaF – makrofiltratori

Max – maksimalne vrijednosti

Med – medijani

MiF – mikrofiltratori

Min – minimalne vrijednosti

ODV EU – Okvirna direktiva o vodama Europske unije

P – predatori

PP – Park prirode

POM – (eng. *particulate organic matter*) suspendirane organske tvari

P2 – postaja na sjeverozapadnom dijelu Vranskog jezera

P4 – postaja na sredini Vranskog jezera

P6 – postaja neposredno prije kanala Prosika

PP – park prirode

SD – standardna devijacija

SV – srednja vrijednost

TOC – (eng. *total organic carbon*) ukupni organski ugljik

WM – (eng. *wet mass*) mokra biomasa



# 1. UVOD

Vode stajačice pokrivaju oko 2,1% Zemljine površine. Dije se na tri zone: I. litoralnu zonu; II. pelagijalnu zonu; III. profundalnu zonu (Habdija i Primc, 2019). Litoralna zona je plitka, obalna zona jezera koja je, zbog velike količine svjetlosti, bogata biljnim vrstama. Pelagijalna zona je zona slobodne vode bogata planktonskim vrstama (Bronmark i Hansson, 2005), dok je profundalna zona dubinska zona koju obilježava gradijent bentoskih bakterija i taloženje sedimenta (Habdija i Primc, 2019).

Osnovno obilježje jezerskih ekosustava je stratifikacija vodenog stupca, odnosno pojava uslojavanja životnih uvjeta u vertikalnom profilu jezera. Stratifikacija u jezerima uzrokuje gradijent promjene ekoloških čimbenika, odnosno gradijent promjene fizikalnih, kemijskih i bioloških čimbenika od površine do dna jezera. Primarni čimbenici stratifikacije su svjetlost i toplinsko zračenje. Vertikalna termička stratifikacija nastaje zbog nejednakog zagrijavanja slojeva vode, a razlikuju se tri sloja: I. epilimnij, odnosno površinski, topli sloj; II. metalimnij (termoklina), odnosno sloj u kojem se temperatura naglo mijenja s dubinom; III. hipolimnij, to jest hladni dubinski sloj vode ujednačene temperature (Habdija i Primc, 2019). Duboka jezera povremeno su stratificirana zbog čega je epilimnij (kao topliji sloj) odvojen od hipolimnija (hladnog donjeg sloja) metalimnijem u kojem dolazi do naglih promjena temperature i promjene gustoće. Stratifikacija dubokih jezera, osim što odvaja epilimnij od hipolimnija, sprječava i interakciju površinskog sloja vode sa sedimentom (Scheffer, 2001a). Zbog termičke stratifikacije miješanje stupca vode u dubokim jezerima događa se jednom godišnje, tijekom zime (monomiktična jezera) ili dva puta godišnje, tijekom proljeća i jeseni (dimiktična jezera), uslijed nestajanja temperaturnog gradijenta (izotermije). Za razliku od dubokih, plitka jezera zbog male dubine nemaju izraženu stratifikaciju, a miješanje stupca vode odvija se pod utjecajem vjetra i vrlo je često, ponekad čak i svakodnevno. Takva se jezera nazivaju polimiktičkim jezerima (Bronmark i Hansson, 2005; Scheffer, 1998). Plitka jezera, uključujući okolno močvarno područje, izuzetno su bogata staništa biljnim i životinjskim vrstama zbog čega imaju veliku ekološku, ali i ekonomsku vrijednost i značaj (Scheffer, 1998).

U Hrvatskoj ima malo prirodnih jezera, a s obzirom na njihov položaj, način nastanka te klimatske uvjete jezera su podjeljena u tri kategorije: I. nizinska jezera panonske ekoregije;

II. krška jezera dinaridskog kontinentalnog područja; III. priobalna jezera primorskog pojasa. Okvirna direktiva o vodama Europske unije (ODV EU) važan je dokument prema kojem se određuje vodna politika na području Europske unije, a prema direktivi je provedena tipologija prirodnih jezera u Hrvatskoj (Tablica 1). Prema direktivi, Vransko se jezero svrstava u „HRL-Tip 5: Nizinska, plitka, velika jezera; Kriptodepresije na karbonatnoj podlozi“ (Habdija i Primc, 2019).

Tablica 1. Tipovi prirodnih jezera prema Okvirnoj direktivi o vodama Europske unije (uređeno prema Habdija i Primc, 2019)

HRL - Tip	Regionalna podjela	Nadmorska visina	Maksimalna dubina	Površina	Geološka podjela
<b>HRL - Tip 1</b>	Panonska ekoregija	< 200 m	< 6 m	0,5-1 km <sup>2</sup>	organogena
Nizinska, plitka, mala jezera na fluvijalnoj organogenoj podlozi					
<b>HRL - Tip 2</b>	Dinaridska ekoregija, kontinentalna subregija	> 600 m	> 35 m	0,5-1 km <sup>2</sup>	karbonatna
Planinska, duboka, mala jezera na karbonatnoj podlozi					
<b>HRL - Tip 3</b>	Dinaridska ekoregija, kontinentalna subregija	< 200 m	> 35 m	1-10 km <sup>2</sup>	karbonatna
Nizinska, duboka, srednje velika jezera; Kriptodepresije na karbonatnoj podlozi					
<b>HRL - Tip 4</b>	Dinaridska ekoregija, primorska subregija	< 200 m	< 35 m	0,5-1 km <sup>2</sup>	karbonatna
Nizinska, srednje duboka, mala jezera; Kriptodepresije na karbonatnoj podlozi					
<b>HRL - Tip 5</b>	Dinaridska ekoregija, primorska subregija	< 200 m	< 6 m	10-100 km <sup>2</sup>	karbonatna
Nizinska, plitka, velika jezera; Kriptodepresije na karbonatnoj podlozi					
<b>HRL - Tip 6</b>	Dinaridska ekoregija, primorska subregija	< 200 m	< 35 m	1-10 km <sup>2</sup>	karbonatna
Nizinska, plitka, mala jezera na fluvijalnoj organogenoj podlozi					

## 1.1 Zooplankton

Plankton je zajednica organizama koji slobodno lebde u vodi, a je čije kretanje ovisno o strujanju vode. Unatoč tome što mnogi planktonski organizmi imaju organe ili organele za pokretanje, oni su pasivno nošeni strujanjem vode te se nasuprot tome strujanju ne mogu kretati (Habdija i Primc, 2019). Slatkovodni zooplankton sastoji se od slijedećih skupina: Rotifera (kolnjaci), Copepoda (veselonošci) i Cladocera (rašljoticalci). S obzirom na položaj u hranidbenoj mreži, zooplankton ima vrlo važnu ulogu u jezerskim ekosustavima, osobito u regulaciji gustoće fitoplanktona (Peroš-Pucar, 2007). Mnoge vrste zooplanktona imaju dnevno-noćne vertikalne migracije zbog kojih imaju važnu ulogu u kruženju hranjivih tvari (dušika, fosfora i ugljika) u jezerskim ekosustavima (Bledzky i Rybak, 2016), a migracije se događaju pod utjecajem intenziteta svjetlosti. Smanjenjem intenziteta svjetlosti većina vrsta migrira u površinske slojeve, dok se tijekom dana, kada je intenzitet svjetlosti veći, vraća u dublje slojeve vode. Migracije su mehanizmi koji omogućavaju izbjegavanje vizualnih predatora (u ovom slučaju riba), a zabilježene su i u plitkim jezerima gdje zooplanktonske vrste, radi zaštite od predatora, migriraju do samog dna, a ponekad se zadržavaju čak i u sedimentu (Špoljar i sur., 2018a). Osim vertikalnih postoje i horizontalne migracije. Kod njih se zooplankton kreće između pelagijala (otvoreno more ili jezero) i litoralne (obalne) zone gdje ima makrofita (biljke koje djelomično ili u potpunosti rastu u vodi) u svrhu bijega od predatora za vrijeme dobre osvjetljenosti jezera u uvjetima dobre prozirnosti vode (Meerhoff i sur., 2007).

Zooplankton je karika u hranidbenoj mreži koja vodi prema višim trofičkim kategorijama (Jeppesen i sur., 2011; Špoljar i sur., 2018a), odnosno povezuje primarne proizvođače (detritus i fitoplankton) i potrošače (ribe). S obzirom na navedeni položaj u ekosustavu, na zooplankton i njegov sastav utječu takozvani odozdo prema gore ("*bottom-up*") i odozdo prema dolje ("*top-down*") mehanizmi (Meerhoff i sur., 2007). Kod odozdo prema gore ("*bottom-up*") mehanizma sastav zooplanktona ovisi o dostupnosti hranjivih tvari te sastavu i koncentraciji fitoplanktona. Odozdo prema dolje mehanizam ("*top-down*") je mehanizam u kojemu viša trofička razina djeluje na nižu, primjerice algivorni zooplankton svojom prehranom kontrolira sastav fitoplanktona. Planktivorne vrste riba hrane se većim vrstama zooplanktona te na njega utječu odozdo prema dolje mehanizmom. Povećanje

gustoće populacije planktivornih riba mijenja sastav zajednice, odnosno utječe na brojnost i biomasu zooplanktona. Osim toga, populacija zooplanktona postaje dominirana manjim vrstama relativno neučinkovitim za ispašu fitoplanktonom zbog čega se brojnost fitoplanktona povećava (Scheffer, 1998).

Jeppesen i sur. (2011) navode zooplankton kao vrlo dobar indikator strukture i stanja jezerskih ekosustava s obzirom na to da reagira na nagle promjene (poput onih povezanih sa smanjenjem populacije riba ili smanjenjem hranjivih tvari). Također, zooplankton ima dovoljno kratko generacijsko vrijeme (prosječno vrijeme između dvije uzastopne generacije) da brzo reagira na trenutne promjene, a sastavom zajednice ukazuje na stalne promjene ekosustava. Struktura zooplanktona mijenja se ovisno o izmjeni sezona, varira u ovisnosti od temperature i ostalih abiotičkih, ali i biotičkih čimbenika (odnos predator-plijen, interspecijska i intraspecijska kompeticija). Struktura i gustoća populacije zooplanktona može se koristiti kao indikator stupnja trofije (Peroš-Pucar, 2007). Zooplanktonske su vrste većinom kozmopoliti, odnosno geografski su široko rasprostranjene.

### 1.1.1. Rotifera

Rotifera (kolnjaci) su životinje koje su zbog sposobnosti brzog razmnožavanja široko rasprostranjene, a zbog dobre sposobnosti adaptacije pojavljuju se u svim vodenim ekosustavima, uključujući slatkovodne i morske, pa čak i u vlažnom tlu (Bielańska-Grajner i sur., 2007). Dijele se u tri skupine: Bdelloidea i Monogononta, koje nastanjuju vode kopna, te morske Seisonidea (Segers, 2007). Nastanjuju pelagijal, perifiton (obraštaj) bentosa i sediment (Wallace i sur., 2006). Do danas je opisano preko 2000 vrsta.

Rotifera su većinom bilateralno simetrične, pseudocelomatske životinje (Wallace i sur., 2006). Na tijelu im se razlikuju glava, trup te stopalo s prstima. Na glavi se nalazi trepetljikava struktura koja se naziva rotatorni organ (*corona*), a nalik je rotirajućem obruču od trepetljika koji zajedno s glavom izviruje iz trupa. Pomoću rotatornog organa kolnjaci usmjeravaju hranu prema ustima. Hrana se zatim usitnjava u mišićavom ždrijelu (*mastax*), koji sadrži čvrste hitinizirane čeljusti (žvačnjak ili *trophi*). Oblik žvačnjaka Rotifera od iznimne je taksonomske važnosti, a proučava se i izolira prilikom određivanja vrsta (Wallace i sur., 2006). Većinom su filtratori (filtriraju detritus, alge i bakterije), dok su neki čak i predatori (Wallace i sur., 2006).

Površina tijela im ne prekriva „klasična“ kutikula, već imaju intracelularnu proteinsku (kolagensku) laminu, koja se nalazi unutra sincicijalne epiderme. Pojedine vrste imaju izrazito dobro razvijenu laminu, koja tvori čvrst ovoj i naziva se lorika.

Razmnožavanje u Rotifera u potpunosti je partenogenetski (jajna stanica se dijeli bez prisustva spermija) kod razreda Bdelloidea, dok se razred Monogononta razmnožava cikličnom partenogenezom (heterogonijom). Kod heterogonije partenogenetska se faza izmjenjuje sa spolnom kao odgovor na određene promjene u okolišu poput promjene temperature, količine ili kvalitete hrane te gustoće populacije (Wallace i sur., 2006). Isto tako, Rotifera imaju dormantne faze (faza mirovanja) u kojima produciraju mirujuća jaja s čvrstom i debelom ovojnicom što im omogućava preživljavanje nepovoljnih uvjeta poput suše. Nakon razdoblja dormacije, u povoljnim okolišnim uvjetima, pokreće se postupak izlijeganja te se oslobađaju diploidne ženke (Wallace i sur., 2006).

Zbog brze reprodukcije, gustoća populacije Rotifera može premašiti 1000 jedinki po litri (Wallace i sur., 2006), a s obzirom na veliku gustoću, imaju važnu ulogu u hranidbenim mrežama (Fontaneto i De Smet, 2015). U slatkovodnim ekosustavima, upravo zbog velike gustoće populacije, omogućavaju povezivanje hranidbenih mreža te su važna veza između mikrobne petlje i viših trofičkih razina (Wallace i sur., 2006). Mikrobna petlja dio je hranidbenog ciklusa koji započinje otopljenom organskom tvari (DOM - *dissolved organic matter*) koja je izvor hrane bakterija u jezerskom ekosustavu. Bakterije jedine mogu reciklirati DOM čime započinju osnovne interakcije u hranidbenom lancu – organska tvar ugrađena u bakterije prenosi se od nižih prema višim trofičkim razinama u ekosustavu (Habdija i Primc, 2019). Rotifera su izvor hrane brojnim drugim vrstama, kao na primjer drugim vrstama zooplanktona, ličinkama kukaca, ličinkama riba i ribama (Fontaneto i De Smet, 2015).

### 1.1.2. Copepoda

Copepoda (veselonošci) su sitni rakovi veličine 0.5-15 mm (Habdija i sur., 2011a). Vrlo su važna skupina morskog planktona s više od 11 500 neparazitskih vrsta te u svim oceanskim područjima diljem svijeta čine 55-95% ukupnih jedinki zooplanktona (Hamm, 2015). U slatkovodnim staništima ističu se dva reda: Calanoida i Cyclopoida, a procjenjuje se da postoji

oko 2814 slatkovodnih vrsta (Bledzky i Rybak, 2016) od kojih oko 1200 vrsta nastanjuju paleoarktičku regiju (Habdija i Primc, 2019).

Tijelo Copepoda je cilindrično, najčešće ušiljeno, a na njemu se razlikuje glavopršnjak i zadak. Na glavopršnjaku se ističu dva para ticala i središnje nauplijevo oko. Privjesci 1. prsnog kolutića preobraženi su u čeljusne nožice, dok su prsni dvograni privjesci noge koje služe za plivanje. Posljednji par tjelesnih privjesaka (pereiopoda) drugačije je građe od ostalih, a može zakržljati ili nestati. Kod mužjaka je taj par tjelesnih privjesaka preobražen u pomoćni organ pri parenju, a koji služi za pričvršćivanje spermatofora. Zadak završava rašljastom strukturom - vilica (ili furka). Copepoda nemaju škrge, a disanje se odvija preko površine tijela. Odrasla jedinka ženke od mužjaka se razlikuje po parnim vrećicama s jajima koje se nalaze na zatku. Copepoda su razdvojenog spola, a razmnožavaju se spolno (Bledzky i Rybak, 2016) zbog čega nemaju potencijal za brzo razmnožavanje te brze promjene populacije odraslih jedinki (Habdija i Primc, 2019). Dijapauzom (razdoblje mirovanja u kojem se prekida embrionalni razvoj), mirovanjem (kopepoditi ili odrasli) ili dijavauznim (mirujućim) jajima kopepoda preživljavaju nepovoljne uvjete (Bledzky i Rybak, 2016). Copepoda se izliježu kao slobodnoplivajuće ličinke (nauplij) koji se presvlače kroz šest stadija nakon čega se produljuju i metamorfozom prelaze u idući stadij - kopepodit. Kopepoditi se presvlače pet do šest puta prije formiranja odraslih, spolno zrelih jedinki. Broj generacija u godini kod Copepoda manji je nego kod Rotifera i Cladocera (od 1 do 15 generacija), a razvojni ciklus dulji nego kod navedenih skupina (Habdija i Primc, 2019).

### 1.1.3. Cladocera

Cladocera ili rašljoticalci su sitni rakovi koji su naziv dobili prema modificiranim drugim rašljastim ticalima koji im služe za pokretanje. Najbrojnija su skupina škrgonožaca (Branchiopoda). Većina vrsta živi u kopnenim vodama, a mali je broj morskih. Žive planktonski, kao bentoske vrste ili na površini vodenih biljaka (makrofita) (Habdija i sur., 2011a).

Ime ove skupine potječe od dugih rašljastih ticala koja služe za veslanje. Prsa imaju 4-6 kolutića, a broj tjelesnih privjesaka reduciran je na 5 ili 6 pari pereiopoda. Zadak je

također reduciran zbog čega se područje iza prsa naziva postabdomen. Postabdomen je okrenut prema naprijed i nema tjelesne privjeske nego samo furku čije grane čine par postabdominalnih pandica i par dugih četina. Oblik i veličina četina proučavaju se u taksonomske svrhe (Bledzki i Rybak, 2016). Karapaks se sastoji od dva dijela, a on zatvara tijelo, dok je glava slobodna. Cladocera se najčešće hrane filtriranjem bakterija, detritusa i fitoplanktona (mikrofiltratori) dok su neke vrste grabežljivci koji nogama hvataju pokretljivi plijen (Bledzki i Rybak, 2016). Razmnožavaju se cikličkom (u nekih vrsta i obligatnom) partenogenezom. Ovim načinom razmnožavanja omogućen je brzi rast populacije u povoljnim uvjetima, dok se spolnim načinom razmnožavanja osigurava genetska raznolikost populacije, osobito u nepovoljnim uvjetima poput nedostatka hrane, kisika ili niskih temperatura (Habija i Primc, 2019; Bledzki i Rybak, 2016).

S obzirom na to da zauzimaju središnji položaj u hranidbenoj mreži, Cladocera omogućavaju praćenje kratkoročnih i dugoročnih promjena u ekosustavu te praćenje odozdo prema gore i odozgo prema dolje procesa. Također, imaju važnu ulogu u protoku energije pelagičkih hranidbenih mreža te utječu na sastav i gustoću fitoplanktonske zajednice (Bledzki i Rybak, 2016).

## 1.2. Utjecaj abiotičkih čimbenika na zooplankton plitkih jezera

Temperatura je jedan od važnih čimbenika, a ona utječe na rast i razvoj zooplanktona te može utjecati i na njihov mortalitet. Različite vrste zooplanktona imaju različitu temperaturnu valenciju, a jedinkama koje su posebno osjetljive na promjene temperature ona može biti limitirajući čimbenik (Paturej i sur., 2017). Pronađene su značajne razlike u zooplanktonu i njegovoj dinamici u vodenim ekosustavima različitih klimatskih zona. U uvjetima toplije klime, gustoća i raznolikost zooplanktona je manja, a veličina Cladocera je manja u odnosu na njihovu veličinu u sličnim jezerima umjerene klime (Meerhoff i sur., 2007). Povišenje temperature može utjecati i na populaciju riba. Viša temperatura uzrokuje smanjenje veličine tijela riba, povećanje gustoće populacije zbog pojačane i ranije reprodukcije te kraći životni vijek jer, za većinu ektotermičnih vrsta, termalne varijacije utječu na stope rasta pokretanjem promjena u fiziološkim mehanizmima (Brucet i sur., 2010). Otopljeni kisik važan je abiotički čimbenik neophodan za preživljavanje zooplanktona. Zbog

hipoksije i anoksije dolazi do migracije zooplanktona, a migracije direktno utječu na ribe koje se njime hrane (Paturej i sur., 2017). Mutnoća vode važan je čimbenik koji utječe na biotičke interakcije zooplanktona jer utječe na efikasnost vizualnih predatora smanjujući njihov pritisak na zooplankton koji je u uvjetima veće mutnoće homogeno raspoređen od litorala do pelagijala (Castro i sur., 2007). Značajan utjecaj na brojnost i raznolikost zooplanktona može imati pH vode. Nizak pH uzrokuje smanjenje brojnosti i bioraznolikosti zooplanktona, a ponekad utječe na nestanak nekih vrsta. S druge strane, alkalni uvjeti pogoduju rastu i abundanciji zooplanktona (Paturej i sur., 2017). Priobalna su jezera često povezana s morem te su izložena prodiranju morske vode što rezultira privremenim povećanjem saliniteta jezera. Osim direktnog utjecanja morske vode u jezero, na salinitet utječe i podizanje razine mora, utjecanje slatke vode te evaporacija (Schallenberg, Hall, Burns, 2003). Salinitet utječe na sposobnost osmoregulacije organizama (Schallenberg, Hall, Burns, 2003), a prema istraživanju Malekzadeh Viayeh i Špoljar (2012) pozitivno utječe na abundanciju Rotifera, ali negativno na njihovu raznolikost. Promjene saliniteta uzrok su pojavnosti ili nestanka nekih vrsta zooplanktona (Paturej i sur., 2017).

### 1.3. Biotički čimbenici

Od biotičkih čimbenika, jedan od najvećih utjecaja na strukturu zooplanktonske zajednice ima predacija (Ersoy i sur., 2019). Vizualni (ribe) i taktilni predatori (neke vrste Copepoda i ličinke kukaca) uzrokuju promjene u ponašanju i morfologiji zooplanktonskih vrsta te imaju značajan utjecaj na oblikovanje zajednice zooplanktona (Meerhoff i sur., 2007; Compete i sur., 2011). Vizualni predatori najprije utječu na veličinsku strukturu zooplanktona s obzirom na to da se hrane većim jedinkama (Brooks i Dodson, 1965). Osim toga, predacija uzrokuje morfološke i bihevioralne promjene (Compete i sur., 2011). Kako bi se obranile od predatora, kod nekih vrsta zooplanktona javljaju se morfološke promjene tijela kao rezultat ciklomorfoze. Ciklomorfoza je vremenska (sezonska ili povremena), ciklička ili inducirana morfološka promjena koja se pojavljuje kao rezultat promjene abiotičkih i biotičkih čimbenika kod nekih vrsta zooplanktona, najčešće u toplijim mjesecima. Oblici s izduženim bodljama i oblici bez bodlji izmjenjuju se tijekom godine, a ukupna tjelesna veličina može varirati ili ostati ista. Pojava sezonske ciklomorfoze često je vrlo upečatljiva, osobito zbog toga što neke vrste imaju različit ljetni i zimski oblik. Ciklomorfoza djeluje kao adaptivni mehanizam za obranu od



predatora ili kao mehanizam za stabiliziranje i održavanje uzgona u stupcu vode (Odigie i Olomukoro, 2019). Neke vrste iz skupine Copepoda predatore izbjegavaju i brzim, iznenadnim plivanjem ili migracijama unatoč tome što su većih dimenzija. Zbog male veličine, vrste iz skupine Rotifera su manje uočljive za ribe dok su, zbog slabije pokretljivosti i većih dimenzija, vrste iz skupine Cladocera najčešći izvor hrane planktivornih riba. Složenost staništa, odnosno pokrovnost makrofita može utjecati na sposobnost zooplanktona u izbjegavanju predatora (Compete i sur., 2011).

Vodeni makrofiti su fotosintetski organizmi rasprostranjeni u litoralnoj zoni vodenih ekosustava, a dijelimo ih na submerzne (biljke potpuno uronjene u vodi i zakorijenjene na dnu), emerzne (biljke koje su zakorijenjene na dnu, a dijelovi se nalaze na površini vode) te flotantne (biljke koje plutaju na površini vode, a mogu i ne moraju biti zakorijenjene) (Chambers i sur., 2007). U vodenim ekosustavima makrofiti imaju važnu ulogu s obzirom na to da imaju mogućnost mijenjanja abiotičkih uvjeta i biotičkih interakcija. Submerzne su biljke izvor hrane, osiguravaju raznolikost staništa i dovoljnu količinu kisika te su utočište zooplanktona prilikom vertikalnih i horizontalnih migracija u plitkim jezerima (Špoljar i sur., 2018b). „Učinak utočišta“ submerznih biljaka je poboljšavanje mogućnosti preživljavanja nekih vrsta zooplanktona, a posljedica je veći pritisak na fitoplankton i perifiton, što pomaže održavanju prozirnosti vode plitkih jezera. Nadalje, „učinak utočišta“ ovisi o sastavu biljnih vrsta, gustoći i volumenu biljnih vrsta te o trofičkom stanju jezera - znatno je niži u toplijim klimama zbog veće gustoće populacije riba, dok bi se dodatno smanjivao s povećanjem turbidnosti (mutnoće) vode. Prema istraživanju Brucet i sur. (2010) s povećanjem temperature povećava se i gustoća populacije riba - toplija jezera imaju populaciju omnivornih riba manje veličine koje se češće mrijeste. Manje, omnivorne ribe mogu se skupljati u vodenim makrofitima zbog čega se „učinak utočišta“ smanjuje, odnosno zooplanktonske vrste u manjoj mjeri mogu koristiti vegetaciju (makrofite) kao dnevno utočište. Rezultat je veći pritisak riba na zooplankton, smanjenje brojnosti većih jedinki zooplanktona koje se hrane filtriranjem zbog čega se posljedično smanjuje prozirnost vode, osobito kod toplih jezera. S druge strane, flotantni i emerzni makrofiti mogu i negativno utjecati na kvalitetu staništa zooplanktona jer površinom svojih listova mogu povećati zasjenjenje, zbog kojeg dolazi do hipoksije uslijed smanjene fotosintetske aktivnosti algi (Špoljar i sur., 2018b). Makrofiti održavaju veću prozirnost vode asimiliranjem hranjivih tvari iz vode i sedimenta čime se smanjuje resuspenzija sedimenta i organske tvari (Meerhoff i sur., 2007).

## 1.4. Alternativni režimi plitkih jezera

Kako bi se održala povoljna prozirnost jezera važan je odnos između makrofita i fitoplanktona (Špoljar i sur., 2018b). Primarno stanje plitkih jezera je prozirno stanje u kojem dominiraju makrofiti. Prema istraživanju Scheffer i van Nes (2007), plitka jezera mogu biti u dva alternativna stabilna stanja ekosustava, a to su stanje prozirne vode (*clear water state*) i stanje mutne vode (*turbid water state*). Stanje prozirne vode obilježeno je dominacijom makrofita, dok je kod mutnog stanja vode obilno razvijen fitoplankton, smanjena je količina svjetlosti i utjecaj riba te je onemogućen razvoj makrofita (Scheffer, 1998). Prelazak iz prozirnog u mutno stanje događa se pod utjecajem povećanja nutrijenata koje dovodi do povećanja biomase fitoplanktona. Daljnjom eutrofikacijom smanjuje se količina svjetlosti zbog porasta biomase fitoplanktona i perifitona te opada biomasa makrofita. Posljedično dolazi do zamućivanja vode zbog bujanja algi (Scheffer i van Ness, 2007; Scheffer, 1998). Također, ribe svojom ishranom smanjuju brojnost zooplanktona, što pozitivno utječe na razvoj fitoplanktona i na daljnju eutrofikaciju (Scheffer i van Nes, 2007). Kretanjem riba u blizini sedimenta prilikom potrage za hranom, dodatno se podiže sediment doprinoseći tako dodatnom zamućivanju vode uslijed veće resuspenzije sedimenta (Scheffer, 2001b). Kada bi došlo do smanjenja opterećenja jezera hranjivim tvarima, većina plitkih jezera vratila bi se u stanje prozirne vode. Prema tome, većina je plitkih jezera u relativno mutnom stanju, bez makrofita, ili u prozirnog stanju s većom pokrovnošću makrofita (Tatrai i sur., 2009).

Povratak jezera iz mutnog u prozirno stanje vrlo je teško, a to dokazuje i pokušaj biomanipulacije ekosustava Vranskog jezera introduciranjem vrsta iz porodice Cyprinidae koje su, nakon povećanja populacije, povećale turbiditet vode hranjenjem u blizini sedimenta čime su omogućile njegovu resuspenziju. Zatim su introducirani som i štika kao predatorske vrste kako bi omogućili postizanje ravnoteže, ali bez obzira na to, prozirno, oligotrofno stanje jezera više nikad nije postignuto, a jezero je neizbježno krenulo prema eutrofikaciji (Katalinić, 2007). S druge strane, prema istraživanju Tatrai i sur. (2005), biomanipulacijom riba iz porodice Cyprinidae (šarani), odnosno prilikom smanjenja populacije riba za 60%, došlo je do brzog rasta makrofita i biomase fitoplanktona, a posljedično i zooplanktona. Nakon kraćeg mutnog razdoblja, u proučavanom „Velikom jezeru“, koje je dio zaštićenog područja „Kis-Balaton Water Protection System“, došlo je do povećanja brojnosti makrofita, povećanja prozirnosti vode te smanjenja koncentracije klorofila  $\alpha$  (Chl  $\alpha$ ), fosfora i fitoplanktona. Smanjenje vanjskog

opterećenja nutrijentima može imati mali utjecaj zbog toga što, prilikom eutrofikacije, dolazi do apsorpcije fosfora u sedimentu (zbog visoke koncentracije) dok se, prilikom smanjenja koncentracije fosfora u vodi, on ponovno oslobađa iz sedimenta te predstavlja vrlo važan izvor nutrijenata za razvoj fitoplanktona. Stoga, unatoč smanjenju vanjskog opterećenja nutrijentima, dolazi do povećanja unutrašnjeg opterećenja oslobađanjem fosfora iz sedimenta (Scheffer, 2001b).

Trofičko stanje, odnosno intenzitet organske produkcije, značajno utječe na strukturu i brojnost zooplanktona (Paturej i sur., 2017). U uvjetima niske trofije, dominiraju velike herbivorne vrste (Calanoida, velike vrste Cladocera), dok u vodama bogatim nutrijentima dominiraju sitni detritivori i neke vrste predatora (Cyclopoda, Rotifera, Cladocera) (Paturej i sur., 2017).

## 1.5. Ciljevi istraživanja

Bočata, krška jezera, kao što je Vransko jezero, slabo su istraženi ekosustavi, a njihov mali broj, osobito u obalnom području Mediterana, ukazuje na njihovu važnost. Takvi su ekosustavi od izrazite prirodne, ekološke i krajobrazne vrijednosti, a njihovo iskorištavanje uzrokuje promjene prirodnih obilježja što dovodi do rizika od eutrofikacije, sukcesije i terestifikacije. S obzirom na dostupnost vode u obalnoj regiji važna je točnost u predviđanju i upravljanju takvim vodenim tijelima te njihovo konstantno istraživanje i praćenje stanja (Rubinić i Katalinić, 2014). Zooplankton je značajna karika hranidbenih mreža jezerskih ekosustava te indikator trofičkog statusa jezera. Proučavanje utjecaja biotičkih i abiotičkih čimbenika na dinamiku zooplanktona dat će uvid u trofičko stanje Vranskog jezera. Time će se omogućiti određivanje smjernica za daljnje upravljanje Parkom prirode Vransko jezero i zaštitu vrsta na višim trofičkim razinama hranidbene mreže jezera. Kako bi se analiziralo trenutno stanje i omogućila bolja zaštita jezera, ciljevi ovog rada bili su:

- I. Utvrditi brojnost, biomasu i raznolikost zooplanktona;
- II. Proučiti utjecaj biotičkih i abiotičkih čimbenika na dinamiku zooplanktona;
- III. Proučiti utjecaj predacije riba na dinamiku zooplanktona;
- IV. Procijeniti utjecaj i važnost zooplanktona u jezerskim ekosustavima.

## 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Vransko jezero kod Biograda na Moru (Slika 1), s površinom od 30 km<sup>2</sup>, najveće je prirodno jezero u Hrvatskoj te je jedna od dvije močvare u mediteranskoj Hrvatskoj (Katalinić, 2007).



Slika 1. Geografski položaj PP Vransko jezero

Jezero je nastalo ispunjavanjem krškog polja vodom uslijed podizanja razine mora nakon zadnjeg glacijalnog razdoblja (Katalinić i sur., 2008). S maksimalnom dubinom od 3,5 m svrstava se u plitka jezera. S obzirom na to da je relativno male dubine, cijeli vodeni stupac jezera osvjetljen je i produktivan. Vransko jezero svrstava se u polimiktična jezera, kod kojih dolazi do potpunog miješanja vertikalnih slojeva jezera više od dva puta godišnje (Habdija i Primc, 2019). Temperatura vode plitkih jezera, poput Vranskog jezera, ovisi o temperaturi zraka. Najviše temperature vode, od oko 25°C, zabilježene su u srpnju dok su najniže, od oko 3°C, zabilježene u veljači. Smrzavanje jezera moguće je u njegovom rubnom i površinskom dijelu prilikom prodora polarnih zračnih masa (Mrakovčić i sur., 2004). Dno jezera nalazi se

ispod razine mora zbog čega ono predstavlja kriptodepresiju (Habdića i Primc, 2019). Najznačajniji pritoci vode Vranskog jezera su vodotok Kotarka, koji prikuplja vodu iz sabirnih kanala, te podzemne vode koje izvire unutar samog jezera ili u njegovim slivovima (Katalinić i sur., 2008). Osim toga, kanalom Prosika, koji je prokopan 1770. godine kako bi se spriječilo plavljenje Vranskog polja sa zapadne strane jezera, jezero je povezano s morem (Mlinarić, 2009). Površinski dio jezera, za razliku od dna, većinu se godine nalazi iznad razine mora zbog čega jezerska voda istječe u more. U jesenskom periodu, obzirom na niski vodostaj jezera, jake morske mijene i povezanost s morem, situacija je obrnuta, odnosno dolazi do utjecanja morske vode u jezero i njegovog zaslanjivanja (Katalinić i sur., 2008). Isto tako, tijekom sušnih razdoblja, kada je veća transpiracija, uvelike se povećava salinitet vode, a posljedično ozbiljno ugrožava jezerski ekosustav (Rubinić i Katalinić, 2014).

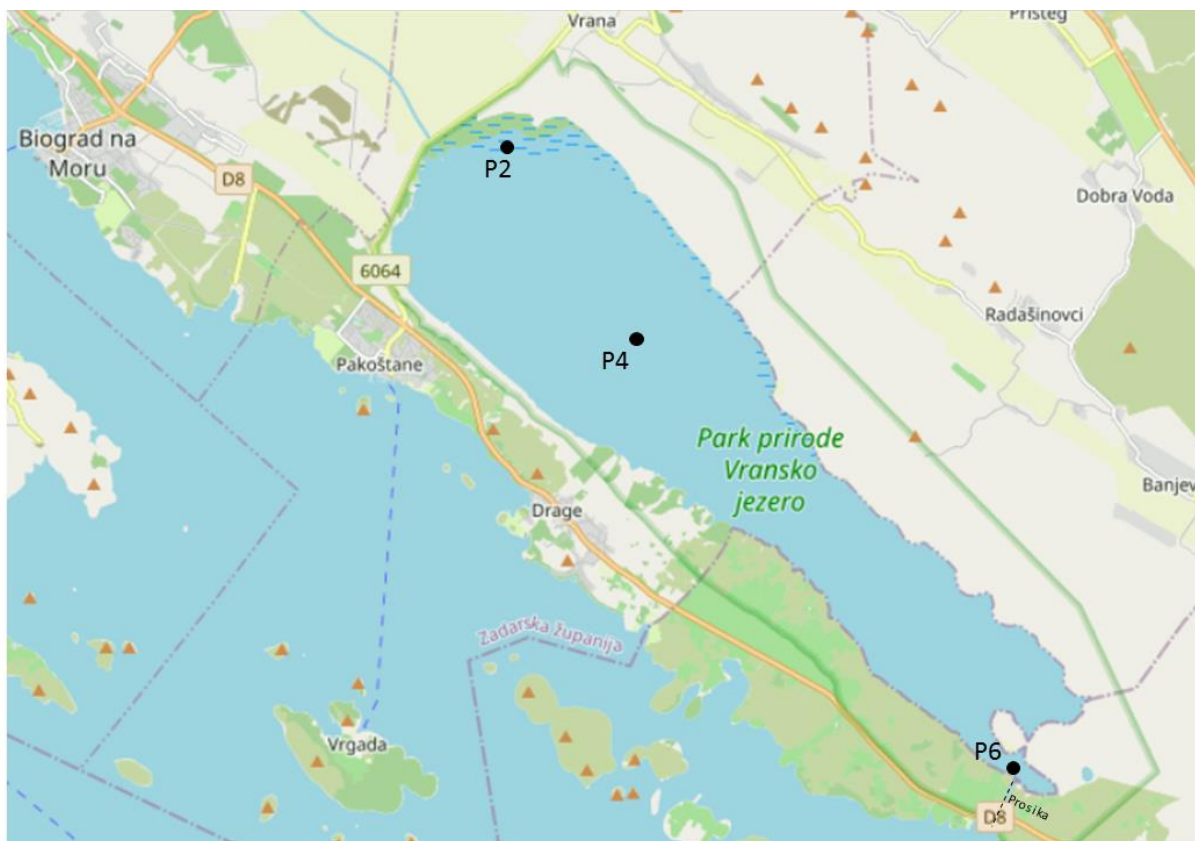
S obzirom na izuzetnu bioraznolikost i brojne prirodne vrijednosti, Vransko je jezero 1999. godine proglašeno parkom prirode te 2013. godine uvršteno na popis zaštićenih močvarnih područja Ramsarskom konvencijom. Temeljni je razlog zaštite Vranskog jezera ornitološki rezervat koji se nalazi na sjeverozapadnom dijelu jezera, u ukupnoj površini od 873 hektara (Katalinić i sur., 2012)., Vransko je jezero jedno od izuzetno važnih močvarnih staništa na području Hrvatske. Jezero zauzima položaj na sjecištu mnogih selidbenih puteva zbog čega park ima funkciju odmorišta prilikom migracije velikog broja vrsta ptica iz Europe sve do njihovih zimovališta. Na području Parka prirode zabilježeno je 249 vrsta ptica (Katalinić i sur., 2012). Ovisno o periodu u godini, broj jedinki ptica varira između 800.000 i 1.000.000, dok oko 200.000 ptica na području Vranskog jezera zimuje. Osim izuzetne ornitološke vrijednosti i bogatstva vrstama ptica, Vransko je jezero jedan od slatkovodnih ekosustava od iznimne su važnosti, osobito zbog dostupnosti vode i njihovog malog broja u obalnom području Mediterana. Vrijednostima Parka prirode doprinose i poplavne livade i tršćaci (Prtenjača i sur., 2010).

U posljednje vrijeme prepoznata je navedena višestruka vrijednost ovakvih ekosustava, a njihovo iskorištavanje dovodi do promjena prirodnih obilježja što dovodi do rizika od eutrofikacije, sukcesije i terestifikacije. Područje oko Vranskog jezera još je od antičkog doba naseljeno ljudima koji su okoliš prilagođavali sebi. Jezero se iskorištava radi njegovog potencijala za ribolov, zbog navodnjavanja, a zbog veoma plodne okolne zemlje, kao što je zemlja Vranskog polja, koristi se za poljoprivredu (Katalinić i sur., 2008).

### 3. MATERIJALI I METODE

#### 3.1. Prikupljanje uzoraka i analiza zooplanktona

Uzorke za ovo istraživanje sakupljali su zaposlenici JU PP Vransko jezero na području Parka prirode Vransko jezero na tri postaje. Postaja P2 ( $43^{\circ}56'03.7''N$ ,  $15^{\circ}31'13.1''E$ ) nalazi se na sjeverozapadnom dijelu jezera, postaja P4 ( $43^{\circ}54'29.8''N$ ,  $15^{\circ}33'17.9''E$ ) je na sredini jezera, a P6 ( $43^{\circ}51'29.5''N$ ,  $15^{\circ}37'14.2''E$ ) je postaja neposredno prije kanala Prosika (Slika 2).



Slika 2. Vransko jezero s ucrtanim postajama uzorkovanja

Uzorci su sakupljeni kroz period od 8 mjeseci, a podijeljeni su u tri sezone: proljeće (travanj, svibanj), ljeto (lipanj, srpanj, kolovoz) i jesen (rujan, listopad i studeni). Na svakoj od tri postaje uzorci su sakupljeni filtriranjem 20 L vode kroz planktonsku mrežu promjera oka 50  $\mu m$  te su konzervirani u 4%-tnoj otopini formaldehida. Filtrati su sakupljeni u bočice od 100 do 150 mL. Uzorke sam pregledala na Opton-Axiovert 35 mikroskopu te sam provela determinaciju vrsta i kvantitativnu analizu zooplanktona. Brojnost planktona izražena je brojem jedinki po litri (jed/L), a za determinaciju vrsta koristila sam sljedeće ključeve:

Cladocera (Margaritora, 1983; Błędzki i Rybak, 2016), Copepoda (Błędzki i Rybak, 2016) te Rotifera (Sanoamuang 2002; Voigt i Koste, 1978).

Prilikom izračuna biomase zooplanktona koristila sam jednadžbe koje su bazirane na geometrijskim formulama koje najviše odgovaraju obliku tijela pojedinih vrsta (Ruttner-Kolisko, 1977). Dobivena vrijednost biovolumena uzeta je kao mokra biomasa, odnosno WM (*wet mass*) iz koje se izračunala suha biomasa, odnosno DM (*dry mass*), a koja iznosi 10% mokre biomase (Radwan, 2007).

Kako bi se omogućila podjela zooplanktona u trofičke ili funkcionalne prehrambene skupine, odnosno FFG (*Functional Feeding Grids*) zooplankton sam podijelila na: mikrofiltratore, makrofiltratore i predatore (Galir Balkić i sur., 2018). Suspenzijom čestica detritusa, bakterija i jednostaničnih algi, veličine 15 – 20 µm, hrane se mikrofiltratori (MiF), odnosno detritivori. U toj kategoriji su vrste iz skupina Rotifera (*Brachionus*, *Keratella*, *Anuraeopsis*). Makrofiltratori (MaF), odnosno algivori, hrane se česticama veličine od 20 do 50 µm, najčešće algama, ponekad praživotinjama, a toj kategoriji pripadaju neke vrste iz skupine Rotifera (*Polyarthra*, *Synchaeta*, *Trichocerca*). Predatori (P) se uglavnom hrane drugim zooplanktonom ili praživotinjama. Predatorske vrste prisutne su unutar sve tri skupine (Rotifera, Copepoda i Cladocera).

Za statističku analizu podataka dobivene rezultate tumačila sam mjesečno i/ili sezonski. U prikazu podataka koristila sam osnovne statističke mjere: srednja vrijednost (SV), standardna devijacija (SD), minimalne (Min) i maksimalne (Maks) vrijednosti te medijani (Med). Grafičke i tablične prikaze izradila sam u programu Microsoft Excel 2016. Zabilježenim skupinama i vrstama izračunala sam dominantnost i konstantnost.

Za izračun dominantnosti koristila sam sljedeću formulu:

$$D_n = \frac{a_n}{\sum_{i=1}^n a_i} 100\%$$

gdje je  $D_n$  dominantnost skupine  $n$ ;  $a_n$  broj jedinki unutar skupine  $n$ , dok je u nazivniku ukupan broj uzorkovanih jedinki.

Za izračun konstantnosti koristila sam sljedeću formulu:



$$C_n = \frac{u_n}{21} 100\%$$

gdje je  $C_n$  konstantnost skupine  $n$ ;  $u_n$  broj lokaliteta na kojima se pojavljuje skupina  $n$ , a u nazivniku je ukupan broj lokaliteta na kojima je provedeno uzorkovanje. Kategorije prema konstantnosti vrsta su: eukonstantne vrste (75-100% uzoraka), konstantne (50-75% uzoraka), akcesorne (25-50% uzoraka) i rijetke (1-25% uzoraka).

Za analizu fizikalno – kemijskih čimbenika, brojnosti, raznolikosti i biomase zooplanktona koristila sam neparametrijske analize Kruskal-Wallis test (KW test), Mann-Whitney U test (MW test) i Spearmanov koeficijent korelacije (programski paket Statistica 14) te kanonsku analizu korespondencije (CCA). Za utvrđivanje značajnosti interakcija između abiotičkih i biotičkih čimbenika koristila sam Spearmanov koeficijent korelacije. Kanonsku analizu korespondencije koristila sam za utvrđivanje odnosa između zooplanktona i abiotičkih čimbenika. Za CCA analizu koristila sam programski paket CANOCO 5. U programu Primer 6 izračunala sam Shannon-Wienerov indeks raznolikosti ( $H'$ ).

### 3.2. Analiza fizikalno - kemijskih čimbenika

Analizirani fizikalno - kemijski čimbenici mjereni su od strane JU PP Vransko jezero, laboratorija Hrvatskih voda i Zavoda za javno zdravstvo Zadarske županije. Prilikom terenskih istraživanja dodatno su mjereni limnološki čimbenici: temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), koncentracija otopljenog kisika (mg/L), zasićenost kisikom (%), pH (Hatch HQ30d), vodljivost ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ , Hach sensION5), salinitet, kloridi, alkalinitet, tvrdoća, kemijska potrošnja kisika, ukupni organski ugljik, Chl  $\alpha$ . Osim toga, prikupljeni su uzorci za dodatnu kemijsku analizu nutrijenata tj. hranjivih tvari (amonijak, nitrati, nitriti, ukupni dušik, ortofosfati i ukupni fosfor).

Koncentracija otopljene organske tvari, DOM, određena je metodom potrošnje kisika iz kalij permanganata (Špoljar i sur., 2005). Kada se grije otopina kalij-permanganata u kiselom mediju, dolazi do oslobađanja kisika koji zatim oksidira organsku tvar otopljenu u vodi.

Biomasa fitoplanktona (izražena kao koncentracija Chl  $\alpha$ ) i suspendirana organska tvar (POM) smatraju se izvorom hrane zooplanktonskih organizama. Uz pomoć vrijednosti gubitka pri žarenju (AFDM) određena je masa suspendirane tvari (POM), a ona određuje količinu

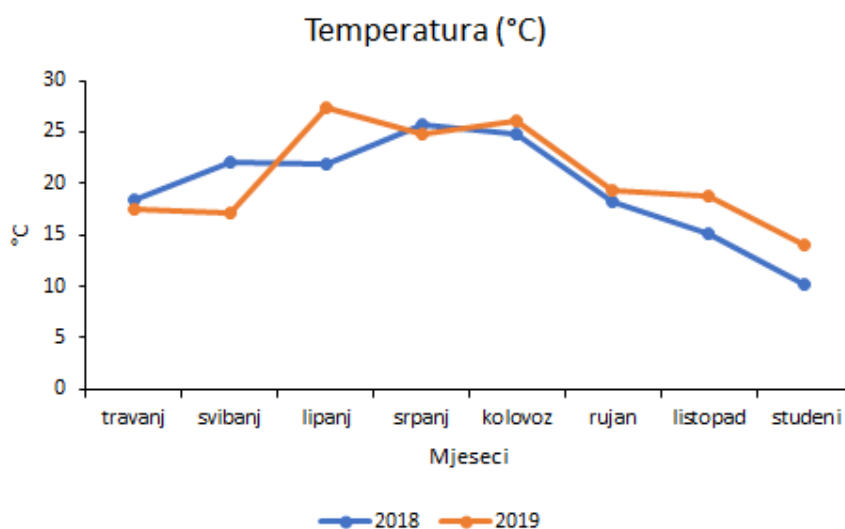
detritusa u vodi. Uzorci su sušeni u keramičkim posudama na temperaturi od 105°C te je tako dobivena masa suhog ostatka (DM). Žarenjem u peći na 600°C/6h dobivena je masa žarenog ostatka koji sadržava anorgansku tvar. Razlika suhog i žarenog ostatka predstavlja količinu organske tvari, AFDM (mg/L) (Špoljar i sur., 2011). Prilikom određivanja biomase fitoplanktona korištena je metoda mjerenja koncentracije Chl  $\alpha$  kao osnovnog fotosintetskog pigmenta u većine autrofnih organizama. Sadržaj Chl  $\alpha$  ovisi o broju i vrstama fotosintetskih organizama, stupnju trofije i njegovom fiziološkom statusu. Mjerenje koncentracije Chl  $\alpha$  jedna je od najobjektivnijih metoda koja ukazuje na biomasu fitoplanktonske komponente i potencijalnog fotosintetskog kapaciteta.

## 4. REZULTATI

### 4.1. Promjene fizikalno - kemijskih čimbenika

U Prilogu 1 prikazani su podaci izmjerenih vrijednosti najvažnijih limnoloških čimbenika Vranskog jezera za 2018. i 2019. godinu. Statistička neparametrijska analiza ukazuje da su se prozirnost, pH, salinitet, vodljivost, nitrati, Chl  $\alpha$  i kemijska potrošnja kisika (KPK-Mn) statistički značajno razlikovali (MW,  $p < 0,05$ ) između 2018. i 2019. godine. Vrijednosti temperature, otopljenog kisika, amonija, nitrita i otopljenog ortofosfata nisu se statistički značajno razlikovale u periodu između 2018. i 2019. godine (Prilog 1).

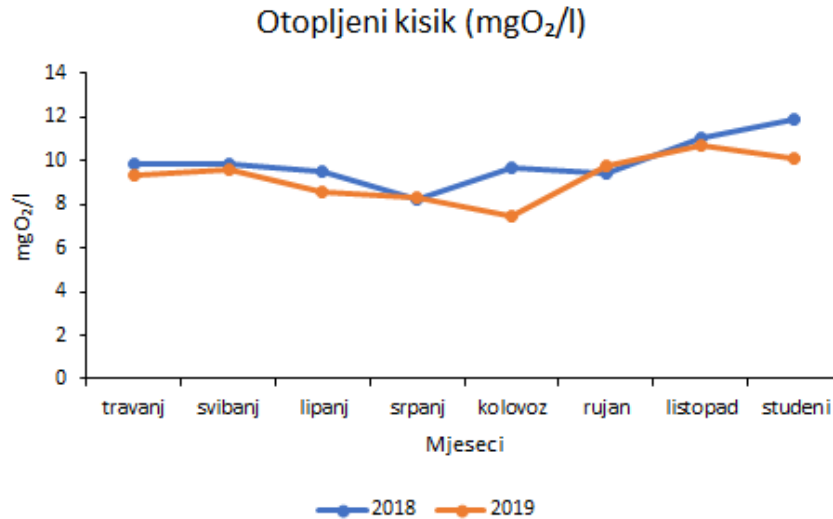
Temperatura vode u 2018. i 2019. godini statistički je značajno oscilirala između pojedinih sezona (KW, za 2018.  $H = 22,39$ ;  $p < 0,00001$ , za 2019.  $H = 26$ ;  $p < 0,00001$ ). Najniže temperature zabilježene su u jesen (listopad, studeni; Slika 3), a najviše u ljetnim mjesecima, što su i očekivani rezultati.



Slika 3. Promjena temperature vode Vranskog jezera u 2018. i 2019. godini

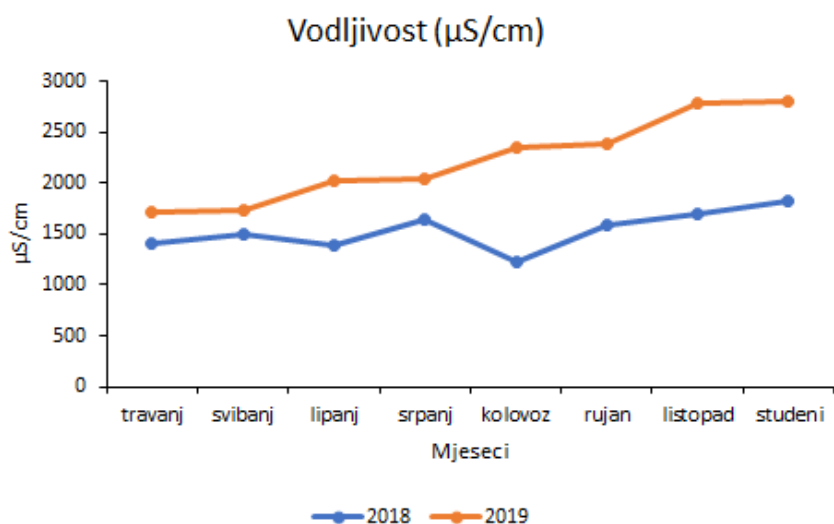
Koncentracija otopljenog kisika u istraživanom periodu bila je relativno visoka, bez većih oscilacija te ukazuje na dobru oksigeniranost površinskog sloja vode (Slika 4). U obje godine, na svim postajama koncentracija kisika bila je između 8,23 i 10,99 mg/L. Krivulja koncentracije kisika pokazuje blagi pad tijekom ljetnih mjeseci obje godine

zbog povećavanja temperature vode. Najveća koncentracija kisika zabilježena je u jesenskim mjesecima pojavom nižih temperatura.



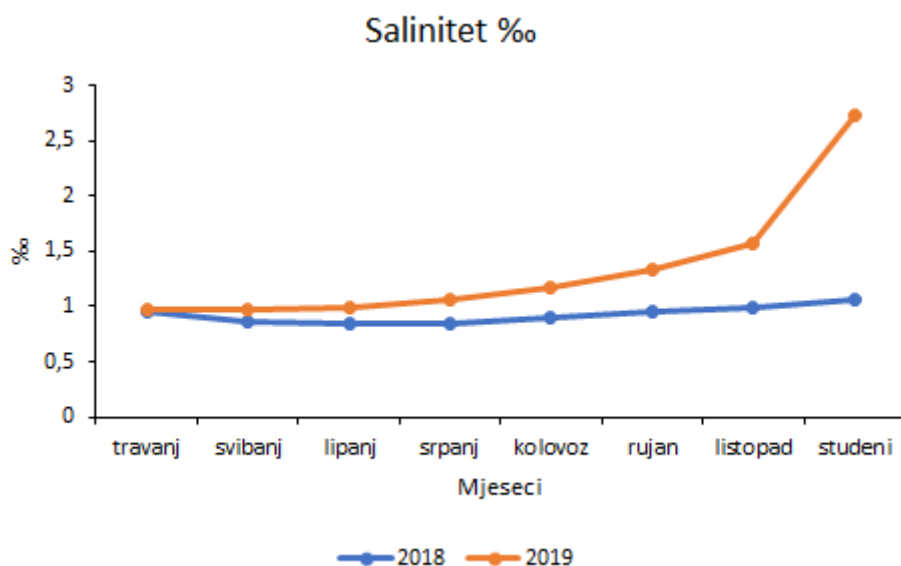
Slika 4. Promjene koncentracije otopljenog kisika Vranskog jezera u 2018. i 2019. godini

Vrijednosti vodljivosti (Slika 5) između pojedinih sezona 2018. godine nisu statistički značajno oscilirale. U 2019. godini, vrijednosti vodljivosti statistički su značajno oscilirale između svih pojedinih sezona (KW test,  $H = 48$ ;  $p < 0,0001$ ). Vrijednosti vodljivosti u 2018. godini kretale su se između 1229 i 1820  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , dok su u 2019. godini imale tendenciju laganog porasta, od minimuma u travnju (1714  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) do maksimuma u studenom (2803  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).



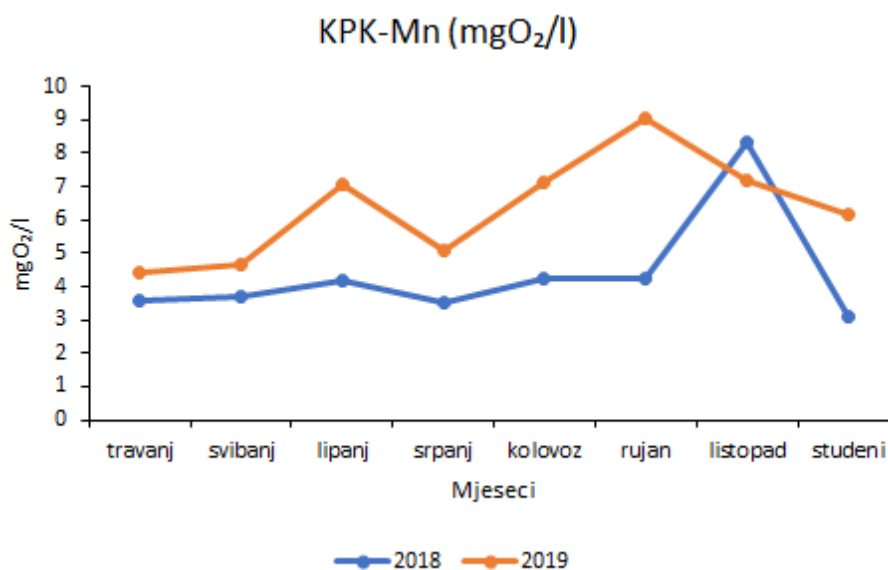
Slika 5. Promjene vodljivosti Vranskog jezera u 2018. i 2019. godini

Oscilacije saliniteta između pojedinih sezona u 2018. (KW test,  $H = 0$ ;  $p < 1$ ) i 2019. godini (KW test,  $H = 47$ ;  $p < 0,0001$ ) bile su statistički značajne (Slika 6). U 2018. i 2019. godini salinitet ima tendenciju laganog rasta, a najmanje zabilježene vrijednosti za 2018. godinu su u lipnju (0,84 ‰) dok su najviše zabilježene u studenom (1,05 ‰). U 2019. godini najniži salinitet zabilježen je u travnju (0,97 ‰), dok je najviša vrijednost zabilježena u studenom (2,72 ‰).



Slika 6. Promjene vrijednosti saliniteta u Vranskom jezeru u 2018. i 2019. godini

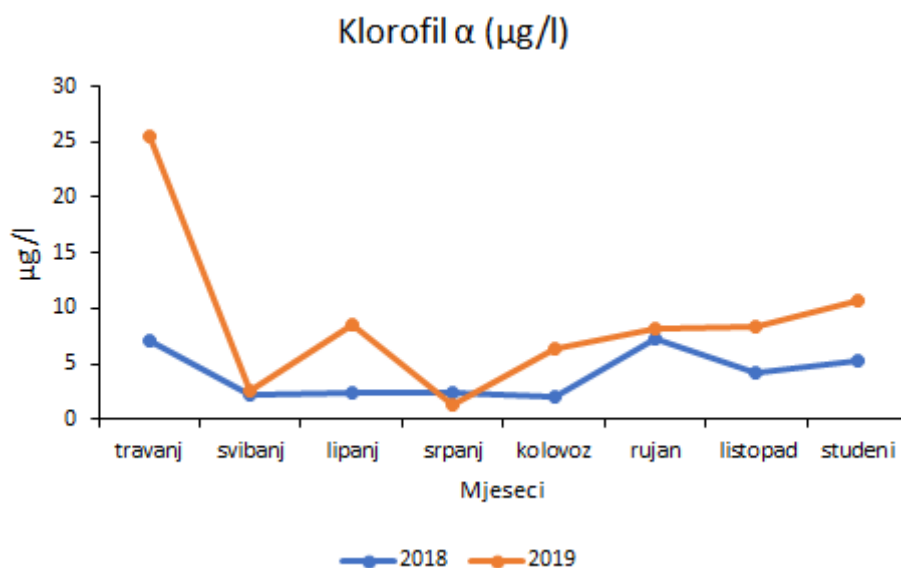
Kemijska potrošnja kisika (KPK-Mn; Slika 7) detektira količinu otopljene organske tvari (DOM). U istraživanom periodu vrijednosti KPK-Mn imaju uzlaznu krivulju, s najvećim padom vrijednosti u studenom obje godine. Najniže vrijednosti zabilježene su u ljetnom razdoblju 2018. te proljetnom razdoblju 2019. godine, a najviše u jesenskom za obje promatrane godine. Kemijska potrošnja kisika nije statistički značajno varirala između pojedinih sezona 2018. kao ni 2019. godine



Slika 7. Promjene vrijednosti kemijske potrošnje kisika (KPK-Mn) Vranskog jezera u 2018. i 2019. godini

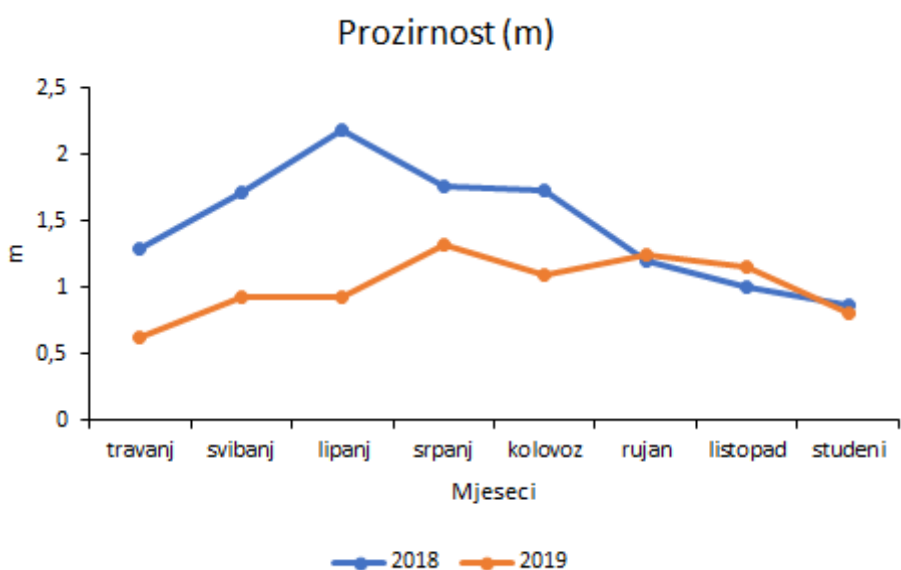
Tijekom 2018. i 2019. godine mjerene su i hranjive tvari, odnosno vrijednosti amonijaka, nitrita, ukupnog dušika, ortofosfata i ukupnog fosfora. U 2018. i 2019. godini sve navedene vrijednosti bile su relativno niske (Prilog 1).

Koncentracije Chl  $\alpha$  (Slika 8) su u travnju 2018. i 2019. godine imale maksimalne vrijednosti, nakon čega je uočljiv pad koncentracije kroz ljetno razdoblje, te lagani rast krivulje kroz jesensko razdoblje. Vrijednosti Chl  $\alpha$  statistički su se značajno razlikovale između pojedinih sezona 2018. godine (KW, H = 6,3; p < 0,04), dok se 2019. godine vrijednosti Chl  $\alpha$  nisu statistički značajno razlikovale između pojedinih sezona.



Slika 8. Vrijednosti Chl α Vranskog jezera u 2018. i 2019. godini

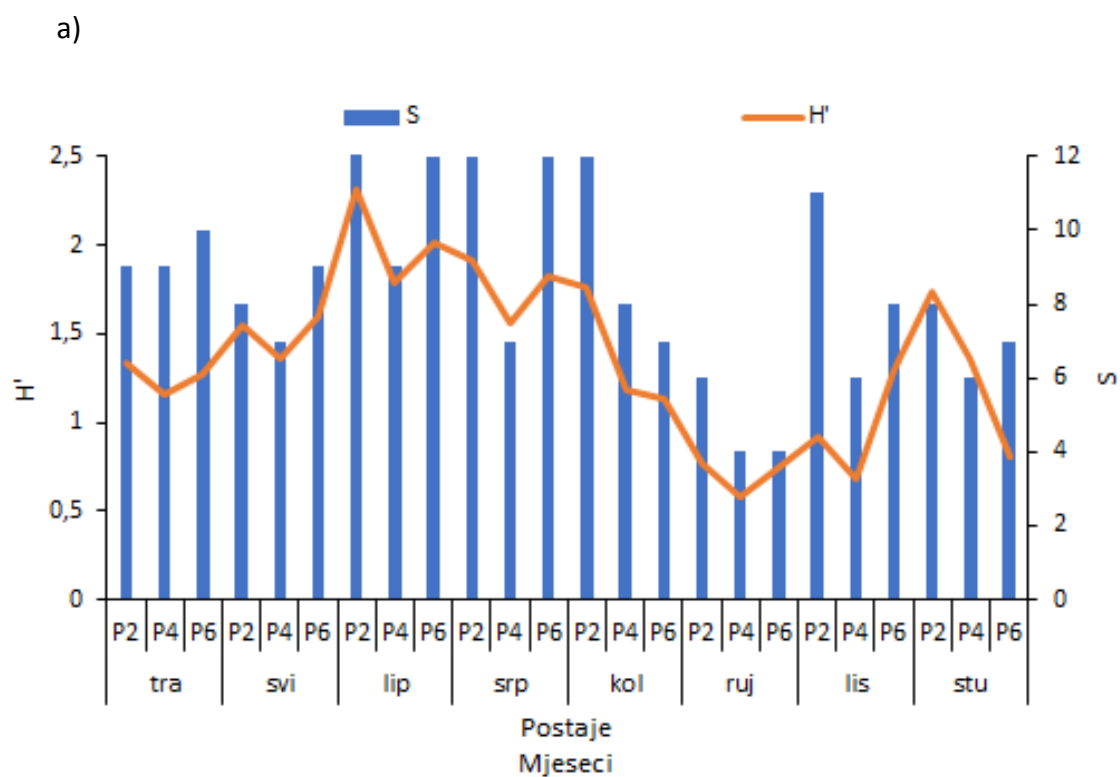
Vrijednosti prozirnosti u 2018. godini relativno su visoke te su se, između svih pojedinih sezona, statistički značajno razlikovale (KW test,  $H = 36,6$ ;  $p < 0,0001$ ). Promjene vrijednosti između proljetne i ljetne te proljetne i jesenske sezone u 2019. godini (Slika 9) statistički su značajne (KW test,  $H = 15,7$ ;  $p < 0,0004$ ). Najveća prozirnost zabilježena je u ljetnom razdoblju 2018. i 2019. (lipanj, srpanj, kolovoz) dok je najniža bila u proljetnom 2019. (travanj, svibanj) i jesenskom (rujan, listopad, studeni) 2018. godine.



Slika 9. Promjene vrijednosti prozirnosti Vranskog jezera u 2018. i 2019. godini

## 4.2. Sastav i struktura zajednice zooplanktona

U Prilogu 2 navedene su svojite zooplanktona koje su prikupljene na sve 3 postaje Vranskog jezera od travnja do studenog 2018. i 2019. godine. U 2018. godini ukupno je utvrđeno 24 svojite zooplanktona, a najveću je raznolikost imala skupina Rotifera s 19 svojiti, nakon čega slijedi Cladocera s 4 svojite te Copepoda s 1 svojtom. Prosječno je po postaji utvrđeno  $9 \pm 3$  svojiti, a Shannonov indeks raznolikosti ( $H'$ ) bio je relativno nizak (Slika 10a) te je prosječno iznosio  $1,36 \pm 0,46$ . Broj svojiti nije se statistički značajno razlikovao prostorno (između postaja), dok se statistički značajno razlikovao između ljetne i jesenske sezone (KW,  $H = 9$ ;  $p < 0,01$ ). U 2019. godini ukupno je utvrđeno 24 svojite zooplanktona, a najveću je raznolikost imala skupina Rotifera s 20 svojiti, nakon čega slijedi Cladocera s 3 svojite te Copepoda s 1 svojtom. Prosječno je po postaji utvrđeno  $8 \pm 1$  svojiti, a Shannonov indeks raznolikosti ( $H'$ ) bio je relativno nizak (Slika 10b) te je prosječno iznosio  $1,78 \pm 0,2$ . Statistički se broj svojiti nije razlikovao prostorno niti sezonski.



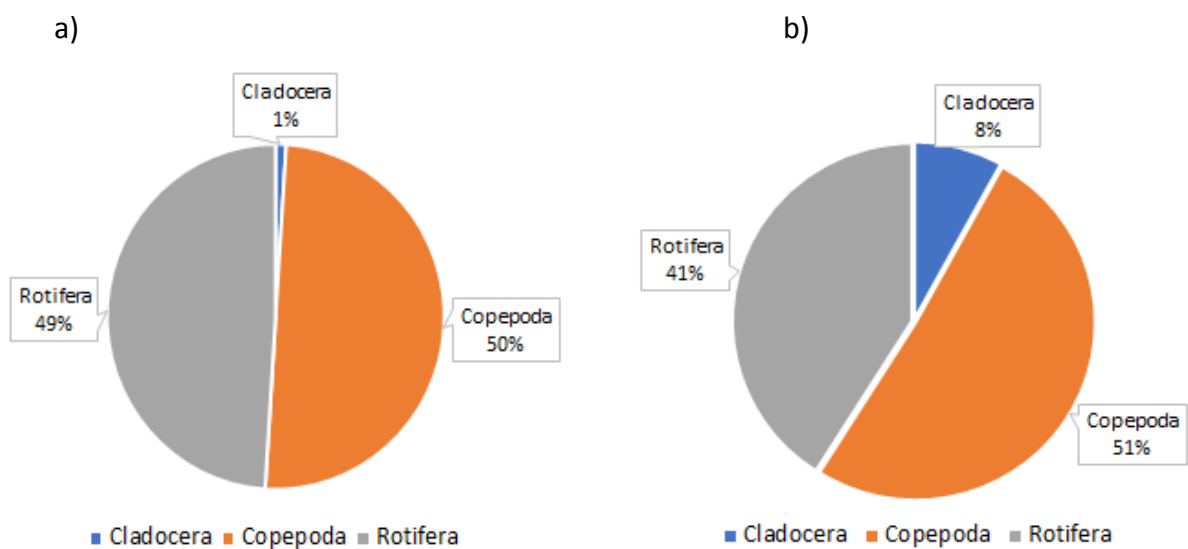




Slika 10. Promjene brojnosti vrsta (S) i raznolikosti (H') zooplanktona Vranskog jezera u: a) 2018. godini; b) 2019. godini

U ukupnoj brojnosti 2018. godine dominirala je skupina Copepoda (Prilog 2; Slika 11a), a zatim su, s nešto manjim udjelom, bili prisutni predstavnici Rotifera gdje su se kao dominantna vrsta isticala *Hexarthra fennica* (Levander, 1892), *Anuraeopsis fissa* (Gosse, 1851), *Collotheca cf. balatonica* i *Filinia terminalis* (Plate, 1886). Skupina Cladocera imala je najmanje brojnosti u zooplanktonu, a dominantna vrsta bila je *Bosmina longirostris* (O.F. Müller, 1785). Skupine Copepoda i Rotifera bile su prisutne u svim uzorcima (odnosno eukonstantno prisutne) u planktonu 2018. godine, dok je skupina Cladocera gotovo potpuno odsutna u ljetno/jesenskom razdoblju. Od svojti jedino su naupliji eukonstantni, dok su sve ostale vrste pokazivale sezonalnost te se sastav zooplanktona dinamično mijenjao iz mjeseca u mjesec. Neparometrijske analize ukazuju da su sezonalne promjene u brojnosti Copepoda i Cladocera bile statistički značajne (KW, Copepoda  $H = 7,4$ ,  $p < 0,03$ ; Cladocera  $H = 9,2$   $p < 0,01$ ), dok promjene brojnosti za skupinu Rotifera nisu bile statistički značajne (KW,  $H = 0,31$ ;  $p > 0,9$ ) uspoređujući 2018. i 2019. godinu. U ukupnoj brojnosti 2018. godine, u proljetnoj je sezoni dominirala skupina Copepoda, a u ljetnoj i jesenskoj skupina Rotifera, kao i 2019. godine. U

ukupnoj brojnosti 2019. godine dominirala je skupina Copepoda (Prilog 2; Slika 11b) s vrstom *Calanipeda aquaedulcis* Krichagin, 1873. Zatim su, s manjim udjelom, bili prisutni predstavnici Rotifera gdje su se, kao dominantne vrste, isticale *H. fennica*, *Keratella quadrata* (Müller, 1786) i *F. terminalis*. Skupina Cladocera imala je najmanje brojnosti u zooplanktonu, a dominantna vrsta bila je *B. longirostris*. Skupine Copepoda i Rotifera, kao i 2018. godine, bile su eukonstantno prisutne u planktonu 2019. godine, dok je skupina Cladocera gotovo potpuno odsutna u ljetno/jesenskom razdoblju. Od svojti jedino su naupliji eukonstantni, dok su sve ostale vrste pokazivale sezonalnost te se sastav zooplanktona dinamično mijenjao iz mjeseca u mjesec kao i 2018. godine.

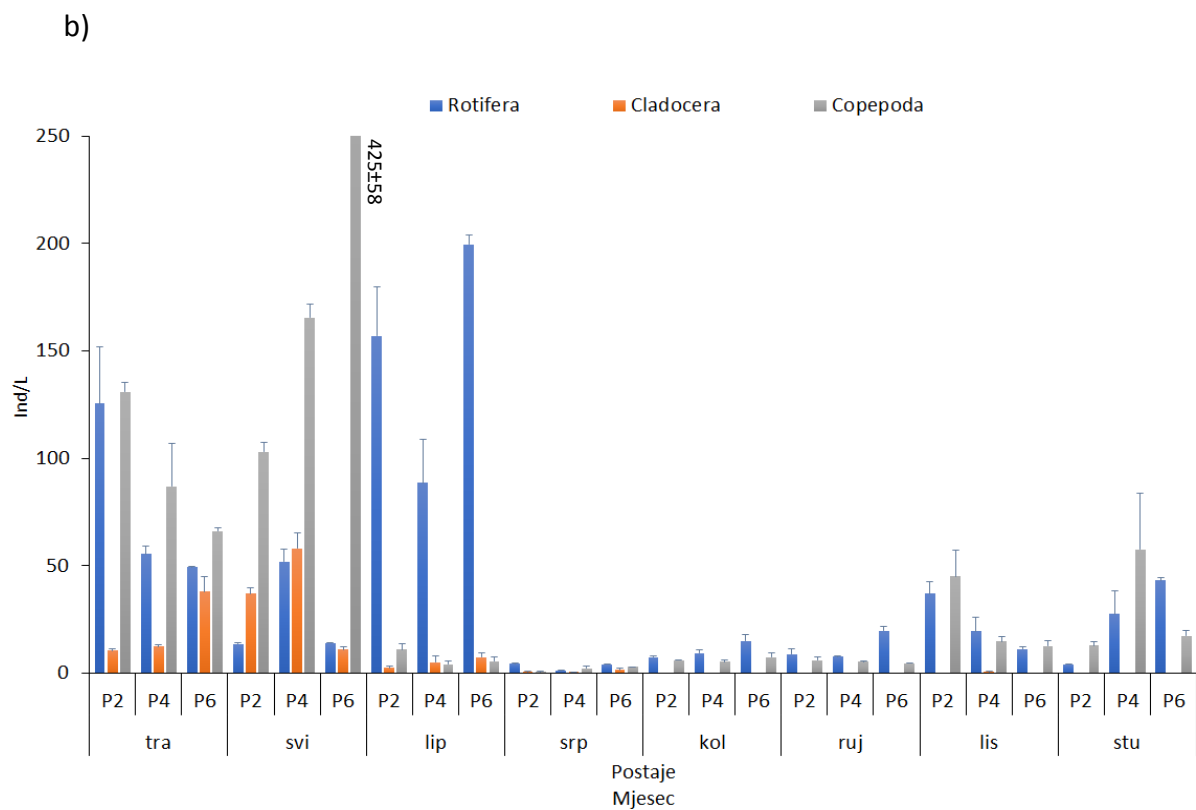
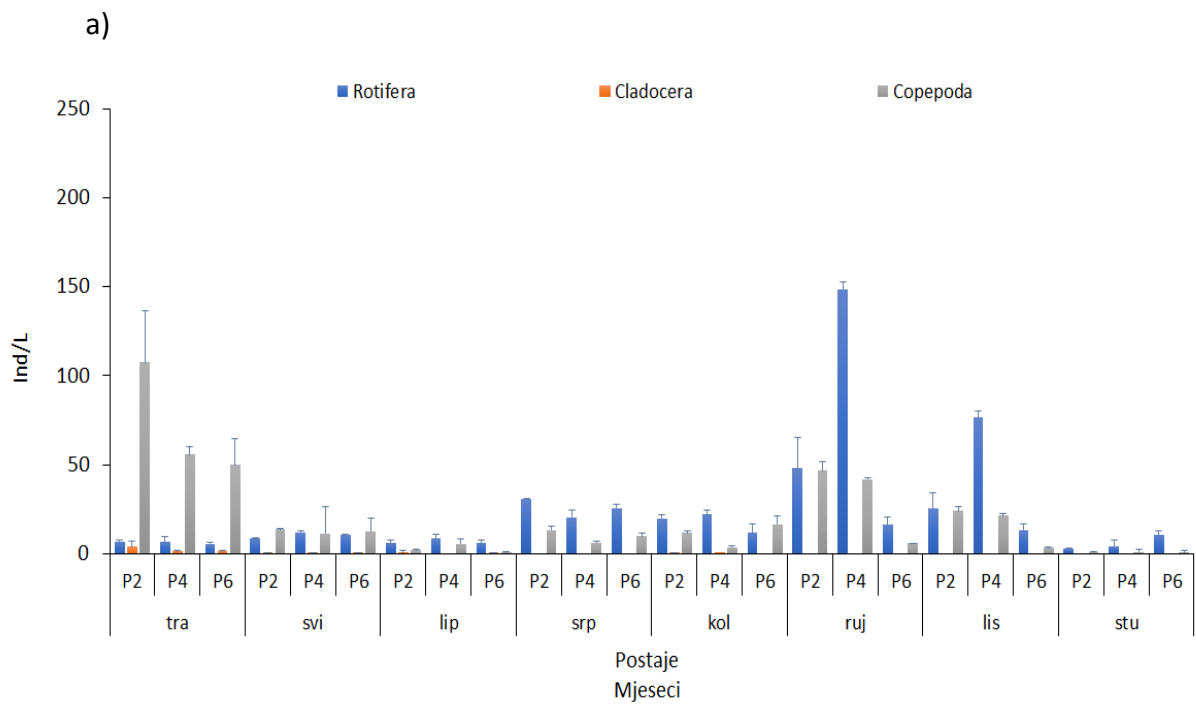


Slika 11. Relativna brojnost zooplanktona Vranskog jezera za: a) 2018. godinu; b) 2019. godinu

Na Slici 12a prikazana je prostorno – sezonska brojnost zooplanktona za 2018. godinu. Najveća je brojnost postignuta u proljetnom razdoblju, kada su Copepoda (u travnju) postigli brojnost od  $108 \pm 32$  jedinki/L te u jesenskom kada su Rotifera (u rujnu) postigli brojnost od  $149 \pm 4$  jed/L u zooplanktonu istraživanog razdoblja. U proljetnoj sezoni od skupina i vrsta dominirali su Copepoda (vrsta *C. aquaedulcis* te naupliji i kopepoditi, odnosno razvojni stadiji te vrste) i Rotifera (*H. fennica*, *K. quadrata* i *F. terminalis*), dok je u proljetnom razdoblju skupina Cladocera postigla maksimalne vrijednosti brojnosti. U lipnju i studenom došlo je do pada brojnosti skupine Copepoda, a skupina Cladocera pokazuje sličnu dinamiku. Vrijednosti

brojnosti obiju skupina ostale su relativno niske do kraja istraživog razdoblja. S druge strane, skupina Rotifera ima tendenciju porasta od proljetnog do jesenskog razdoblja, a između pojedinih sezona dolazi do promjena u faunističkom sastavu. U proljetnom razdoblju dominiraju vrste *H. fennica*, *K. quadrata* i *F. terminalis*. U ljetnom razdoblju dolazi do prvog pojavljivanja i porasta brojnosti vrsta *C. cf. balatonica* i *A. fissa*, dok brojnosti vrsta *H. fennica*, *K. quadrata* i *F. terminalis* opadaju. Jesensko razdoblje obilježeno je ponovnim porastom brojnosti vrste *K. quadrata* i *F. terminalis* te opadanjem brojnosti vrsta *C. cf. balatonica* i *A. fissa*. Neparometrijske analize ukazuju kako sezonalne promjene u brojnosti nisu statistički značajne.

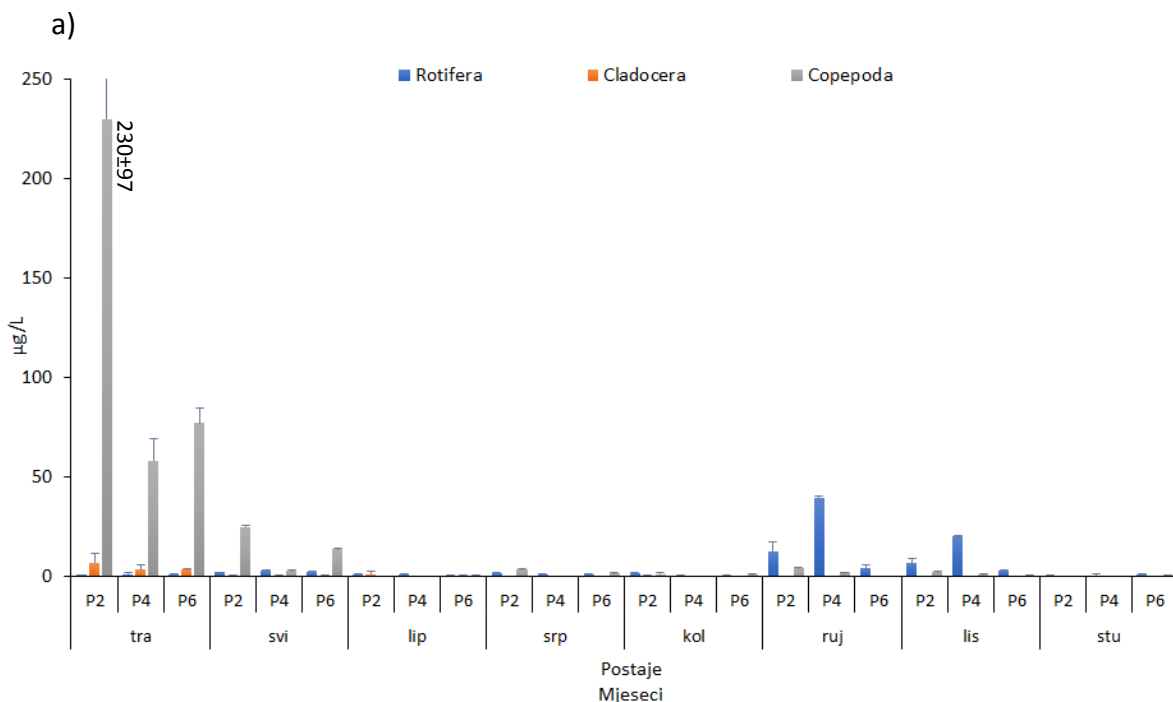
Na Slici 12b prikazana je prostorno – sezonska brojnost zooplanktona za 2019. godinu. Najveća je brojnost postignuta u proljetnom razdoblju, kada su Copepoda (u svibnju) postigli najveću brojnost od  $425 \pm 58$  jedinki/L u zooplanktonu istraživog razdoblja. U proljetnoj sezoni od skupina i vrsta dominirali su Copepoda (vrsta *C. aquaedulcis* te naupliji i kopepoditi, odnosno razvojni stadiji te vrste) i Rotifera (*K. quadrata* i *F. terminalis*), dok je u proljetnom razdoblju skupina Cladocera postigla svoje maksimalne vrijednosti brojnosti. U lipnju i studenom došlo je do pada brojnosti skupine Copepoda, primjerice sa  $69 \pm 13$  jed/L vrste *C. aquaedulcis* u svibnju na postaji P6, na svega u  $1 \pm 0$  jed/L na istoj postaji u lipnju. Skupina Cladocera pokazuje sličnu dinamiku, primjerice vrsta *B. longirostris* na postaji P4 doseže vrijednosti od  $54 \pm 8$  jed/L u svibnju nakon čega slijedi pad brojnosti u lipnju na  $5 \pm 3$  jed/L. Vrijednosti brojnosti obje skupine ostale su relativno niske do kraja istraživog razdoblja. Neparometrijske analize ukazuju kako sezonalne promjene u brojnosti nisu statistički značajne (KW, H = 1,8;  $p > 0,4$  za Rotifera; KW, H = 4,7;  $p > 0,096$  za Copepoda; KW, H = 4,9;  $p > 0,09$ ). Skupina Rotifera u lipnju doseže maksimalne vrijednosti brojnosti, a do smanjenja dolazi tijekom srpnja. Ukupne brojnosti Rotifera relativno su visoke kroz proljetno (travanj, svibanj) i početak ljetnog razdoblja (lipanj), međutim do promjena dolazi u faunističkom sastavu: u proljetnom razdoblju dominiraju *K. quadrata* i *F. terminalis*, koje gotovo nestaju u lipnju, kada visoku brojnost postiže *H. fennica*.

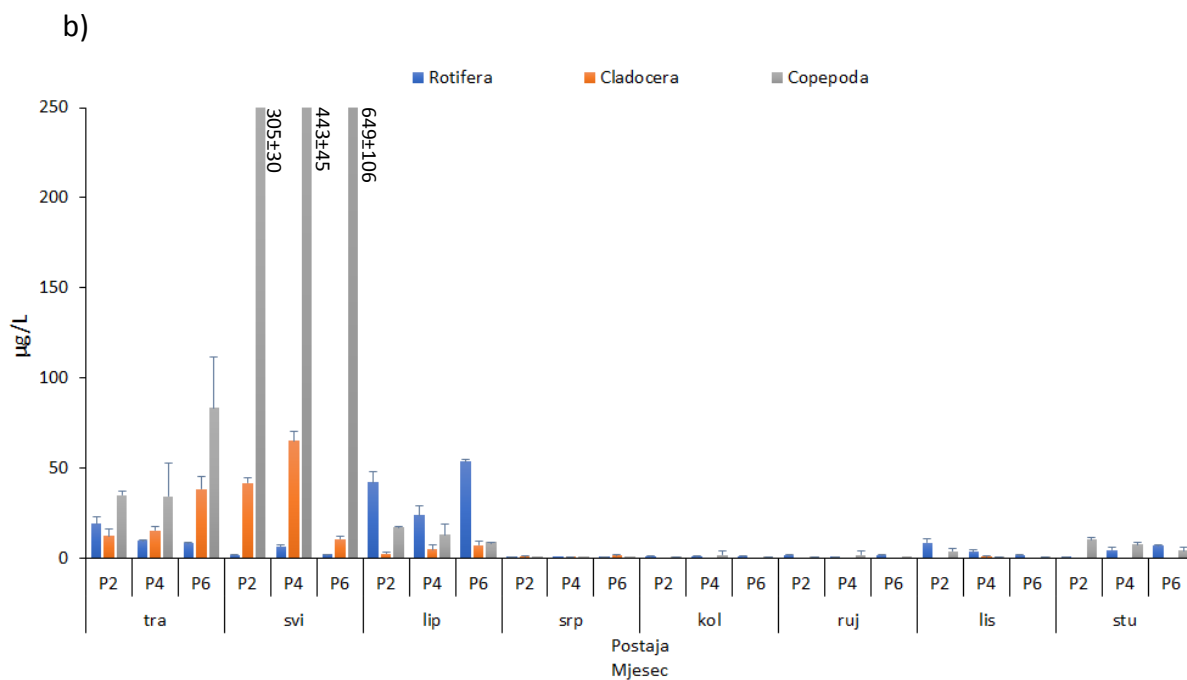


Slika 12. Oscilacije brojnosti zooplanktona na istraživanim postajama Vranskog jezera: a) 2018. godine; b) 2019. godine

Oscilacije biomase zooplanktona 2018. godine prate trendove brojnosti (Slika 13a). U proljetnom razdoblju (travanj i svibanj) u biomasi dominiraju Copepoda, odnosno odrasle jedinke *C. aquaedulcis*, naupliji i kopepoditi. U istom navedenom razdoblju skupina Cladocera postiže maksimalne vrijednosti biomase. Nakon toga slijedi drastičan pad biomase Copepoda (sa 78,6 na 0,9  $\mu\text{g/L}$ ) i Cladocera u ljetnom periodu, a vrijednosti biomase ostaju relativno niske do kraja proučavanog razdoblja. Biomasa Rotifera u proljetnom i ljetnom periodu relativno je niska dok u jesenskom periodu ta skupina čini većinu biomase, naročito u rujnu, s dominantnom vrstom *H. fennica*. Vrijednosti biomase zooplanktona u 2018. godini nisu statistički značajno oscilirale između pojedinih sezona (KW, H = 1,9; p > 0,4 za Rotifera; KW, H = 5,7; p > 0,06 za Cladocera, KW, H = 4; p > 0,1 za Copepoda).

Biomasa zooplanktona 2019. godine prati trendove brojnosti (Slika 13b). U biomasi u proljetnom razdoblju (travanj i svibanj) dominira skupina Copepoda, tj. vrsta *C. aquaedulcis* i njezini ličinački stadiji (naupliji i kopepoditi). U istom razdoblju, skupina Cladocera s vrstom *B. longirostris* postiže maksimalne vrijednosti. U ljetnom razdoblju dolazi do naglog pada u biomasi zooplanktona, a skupina Rotifera čini većinu biomase, s dominantnom vrstom *H. fennica*. Neparametrijske analize ukazuju da vrijednosti biomase zooplanktona u 2019. godini nisu statistički značajno oscilirale između pojedinih sezona.



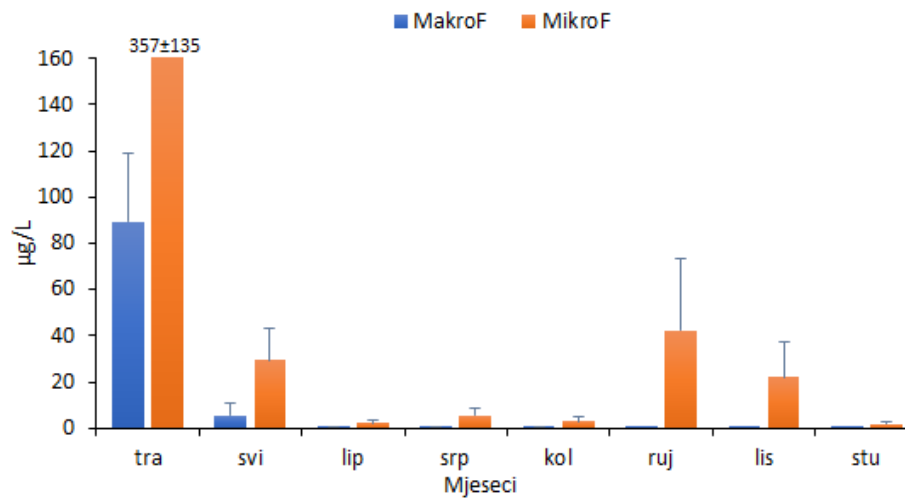


Slika 13. Oscilacije biomase zooplanktona na istraživanim postajama Vranskog jezera:

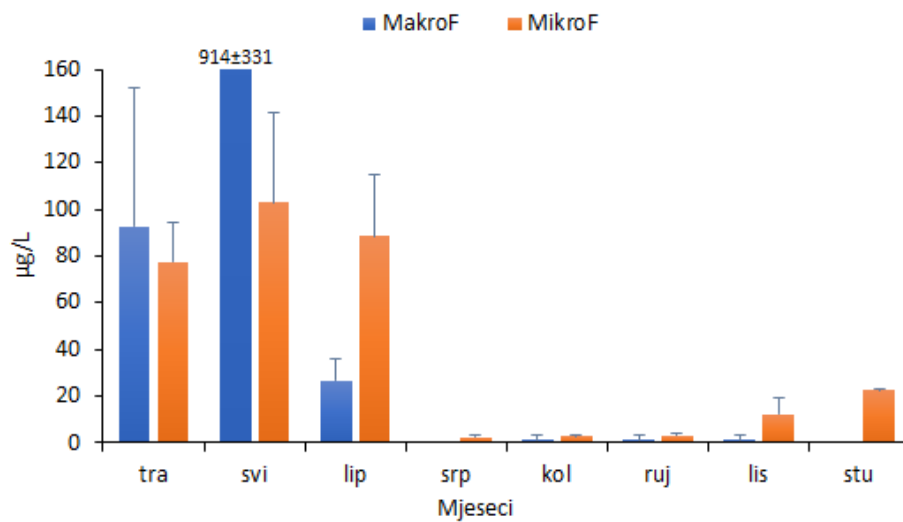
a) 2018. godine; b) 2019. godine

Dinamika funkcionalnih hranidbenih grupa (FFG) temelji se na vrijednostima biomase. Na Slici 14 prikazane su mjesečne promjene bez istraživanih postaja za 2018. i 2019. godinu. U 2018. godini (Slika 14a) u proljetnom razdoblju dominiraju mikrofiltratori, nakon čega slijedi statistički značajan pad vrijednosti (KW, H = 20,3;  $p < 0,00001$ ). I makrofiltratori svoj maksimum dosežu u proljeće (travanj) nakon čega slijedi statistički značajan pad vrijednosti (KW, H = 21,8;  $p < 0,00001$ ). Za razliku od 2018., u 2019. godini (Slika 14b) u proljetnom razdoblju dominiraju makrofiltratori, nakon čega slijedi statistički značajan pad vrijednosti (KW, H = 29,7;  $p < 0,00001$ ). Mikrofiltratori, uz maksimum u svibnju ( $103 \pm 39$ ), visoke vrijednosti imaju i u lipnju nakon čega je zabilježen statistički značajan pad, kao i kod makrofiltratora (KW, H = 18,6;  $p < 0,0001$ ).

a)



b)



Slika 14. Oscilacije funkcionalnih hranidbenih grupa (FFG) zooplanktona Vranskog jezera (Biograd n/M) u 2018. (a) i 2019. (b) godini. MakroF - makrofiltratori; MikroF – mikrofiltratori

### 4.3. Interakcije abiotičkih i biotičkih čimbenika Vranskog jezera

Tablica 2 prikazuje statistički značajan utjecaj određenih fizikalno-kemijskih čimbenika na određene vrste zooplanktona 2018. i 2019. godine. Za populaciju vrste *F. terminalis* u tablici je prikazan statistički značajan negativan utjecaj povišenja temperature u 2018. te povišenje temperature, saliniteta i vodljivosti u 2019. godini. Povećanje temperature, saliniteta i vodljivosti pozitivno utječe na razvoj populacije vrste *H. fennica* u 2019. godini. Povećanje temperature pozitivno utječe i na razvoj populacije *C. cf. balatonica* obje godine. Navedene rezultate treba uzeti s oprezom jer su vjerojatno i biotički čimbenici, poput predacije riba, značajno utjecali na dinamiku zooplanktona.

Tablica 2. Statistički značajne vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacija,  $r$  ( $p < 0.05$ ) u interakcijama biotičkih i abiotičkih čimbenika na istraživanim lokalitetima Vranskog jezera (Biograd n/M) za: a) 2018. godinu; b) 2019. godinu. Funkcionalne hranidbene skupine –FFG, MakroF – makrofiltratori, MikroF – mikrofiltratori.

a)

Skupina Vrsta	Temperatura (°C)	Salinitet ‰	Vodljivost (µS/cm)	Klorofil α (µg/l)	Nitriti (mg/l)
<b>Cladocera</b>			-0,365125		-0,624158
<i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Müller, 1785)					-0,547890
<b>Copepoda</b>					-0,500401
<i>Calanipeda aquaedulcis</i> Kritschagin, 1873					-0,713975
<b>Rotifera</b>	0,406633				
<i>Filinia terminalis</i> (Plate, 1886)	-0,378314				-0,374391
<i>Hexarthra fennica</i> (Levander, 1892)					-0,307964
<i>Keratella quadrata</i> (Müller, 1786)			0,310909		
<i>Anuraeopsis fissa</i> (Gosse, 1851)	0,705773	-0,491918		-0,454242	0,484503
<i>Collotheca cf. Balatonica</i>	0,801600	-0,642587		-0,516248	0,497503
<b>FFG</b>					
Macrof	0,388652	-0,347379			-0,356718
Microf				0,395813	-0,638286

b)

Skupina Vrsta	Temperatura (°C)	Salinitet ‰	Vodljivost (µS/cm)	Klorofil α (µg/l)	Nitriti (mg/l)
<b>Cladocera</b>		-0,883471	-0,882743		0,847957
<i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Müller, 1785)		-0,915148	-0,914824		0,853732
<b>Copepoda</b>	-0,728484			0,391831	0,345382
<i>Calanipeda aquaedulcis</i> Kritschagin, 1873		-0,733703	-0,734985		0,866884
<b>Rotifera</b>		-0,401601	-0,400262	0,626825	0,520206
<i>Filinia terminalis</i> (Plate, 1886)	-0,695092	-0,513606	-0,512318		0,434084
<i>Hexarthra fennica</i> (Levander, 1892)	0,586440	0,329779	0,329915		
<i>Keratella quadrata</i> (Müller, 1786)	-0,521210	-0,469028	-0,469388	0,418895	
<i>Anuraeopsis fissa</i> (Gosse, 1851)		0,436499	0,436680	-0,301287	
<i>Collotheca cf. balatonica</i>	0,292864	0,400994	0,401159		
<b>FFG</b>					
Macrof		-0,804930	-0,806084		0,826303
Microf	-0,334072	-0,503362	-0,502093	0,467308	0,654170

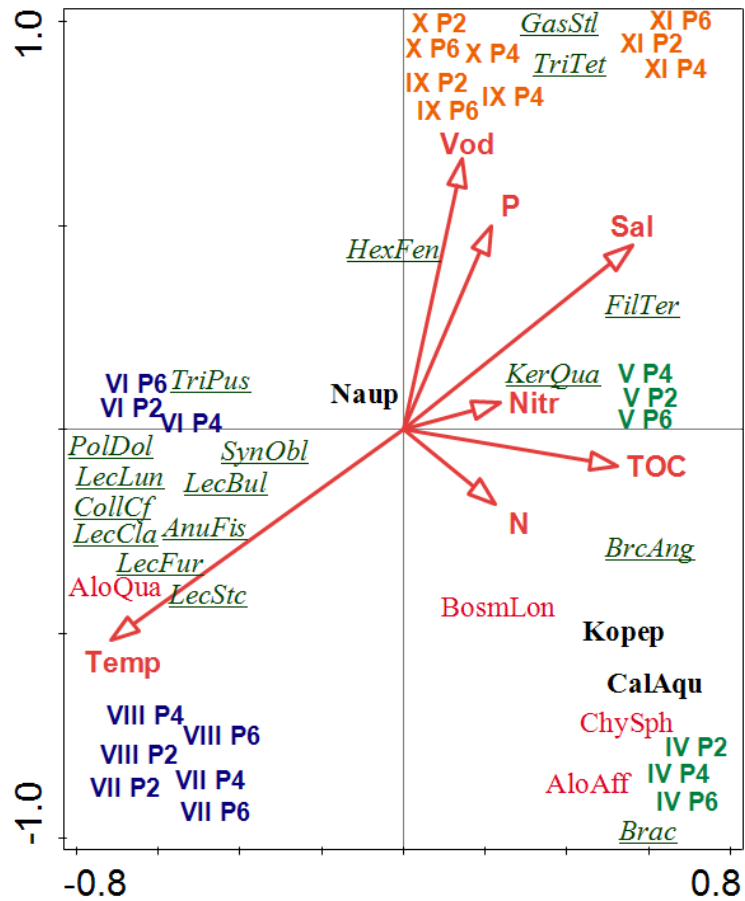


Slika 15. grafički je prikaz utjecaja fizikalno-kemijskih, odnosno abiotičkih čimbenika Vranskog jezera na brojnost zooplanktona 2018. i 2019. godine. Provedena kanonska analiza korespondencije (CCA) ističe temperaturu (°C), ukupni fosfor (mgP/l), amonij (mgN/l), TOC, ukupni dušik (mgN/l), otopljene ortofosfate (mgP/l) i vodljivost ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) kao glavne varijable u objašnjavanju promjena brojnosti i sastava zooplanktona 2018. godine (Slika 15a). Navedeni čimbenici objašnjavaju ukupno 75,3 % varijanci zadanog seta uzoraka 2018. godine (Tablica 3a). Provedena analiza potvrđuje homogenu raspoređenost zooplanktona unutar jednog mjeseca jer su postaje međusobno grupirane. Iz slike 15a vidljiva je sezonalnost, odnosno, jasno se odvaja ljetni period s višim temperaturama te povećanjem raznolikosti skupine Rotifera, točnije roda *Lecane*. Ljetnim povišenjem temperature ističe se i povećanje brojnosti vrste *A. fissa* i *C. cf. ballatonica*. U proljetnom periodu posebno se izdvaja travanj s povišenjem koncentracije ukupnog dušika, a s navedenim povišenjem dolazi i do povećanja brojnosti skupine Copepoda i Cladocera. Jesenski period obilježen je povećanjem saliniteta, vodljivosti i ukupnim fosforom, a sukladno povećanju navedenih fizikalno-kemijskih čimbenika dolazi i do povećanja brojnosti vrste *H. fennica*, *F. terminalis* i *K. quadrata*. CCA analiza za 2018. godinu u skladu je sa statistički značajnim vrijednostima Spearmanovog koeficijenta korelacija kao i prethodno navedenim rezultatima i analizama za 2018. godinu.

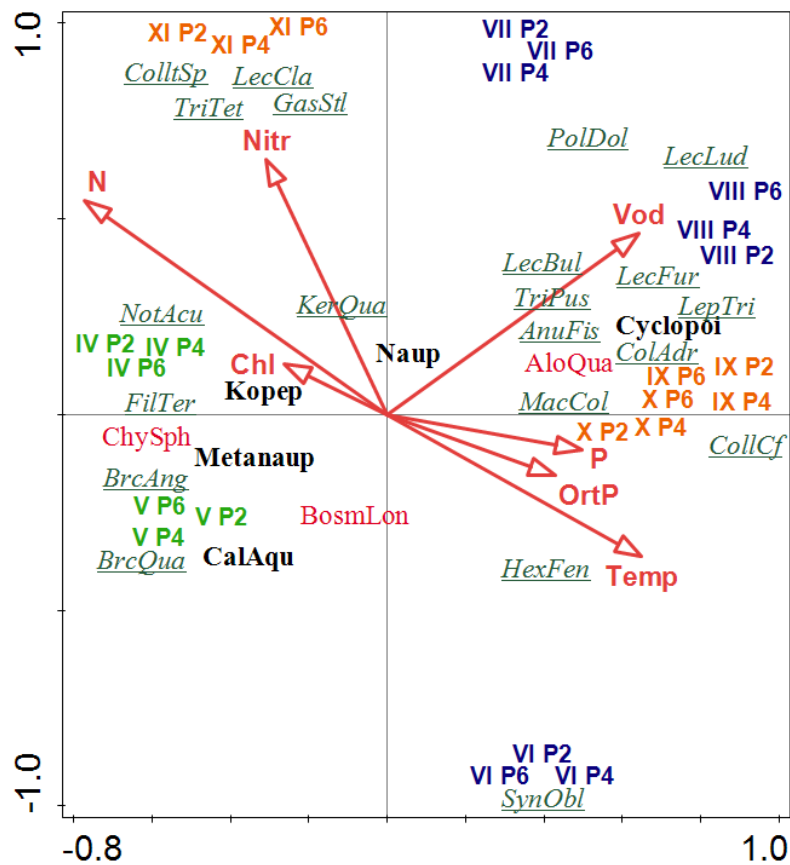
Na Slici 15b prikazani su rezultati CCA analize za 2019. godinu. Provedena analiza ističe ukupni dušik (mgN/l), vodljivost ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), otopljene ortofosfate (mgP/l), temperaturu (°C), ukupni fosfor (mgP/l), nitrate (mg/l) i Chl  $\alpha$  ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ) kao glavne varijable u objašnjavanju promjena brojnosti i sastava zooplanktona 2019. godine. Navedeni čimbenici objašnjavaju ukupno 70,5% varijanci zadanog seta uzoraka 2019. godine (Tablica 3b). Provedena analiza potvrđuje homogenu raspoređenost zooplanktona unutar jednog mjeseca jer su, kao i 2018. godine, postaje međusobno grupirane. Iz slike 15b vidljiva je sezonalnost i jasno se odvaja proljetni period s visokim vrijednostima Chl  $\alpha$  te velikom brojnošću skupine Copepoda, točnije vrste *C. aquaedulcis*, i skupine Cladocera, slično kao i 2018. godine. Ljetni period obilježen je povećanjem temperature, a sukladno tomu i povećanjem brojnosti i raznolikosti vrsta skupine Rotifera kao i 2018. godine. Mjesec lipanj posebno se izdvaja zbog drastičnog pada brojnosti i raznolikosti zooplanktona te promjene u faunističkom sastavu skupine Rotifera – pojavljuje se eurihalina vrsta *H. fennica*, dok su, do tada dominantne vrste, zabilježene u niskoj brojnosti ili nisu više prisutne. Ostali ljetni mjeseci, kao i jesensko razdoblje, obilježeni su porastom

vodljivosti te povećanjem brojnosti i raznolikosti skupine Rotifera. CCA analiza za 2019. godinu u skladu je sa statistički značajnim vrijednostima Spearmanovog koeficijenta korelacija kao i prethodno navedenim rezultatima i analizama za 2019. godinu.

a)



b)



Slika 15. a) CCA analiza zooplanktona i izabranih fizikalno-kemijskih čimbenika Vranskog jezera (Biograd n/M) 2018. godine. Legenda: IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI – mjeseci istraživanja; proljeće – zelena boja; ljeto – plava boja; jesen – narančasta boja; Fizikalno-kemijski čimbenici: Vod – vodljivost ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), P - ukupni fosfor ( $\text{mgP}/\text{l}$ ), Sal - salinitet ( $\text{‰}$ ), Nitr - nitriti ( $\text{mg}/\text{l}$ ), TOC – ukupni organski ugljik, N - ukupni dušik ( $\text{mgN}/\text{l}$ ), Temp – temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ );

Svojte: **Rotifera** (zeleno podcrtano), AnuFis – *Anuraeopsis fissa*, Brac – *Brachionus calyciflorus*, BrcAng – *Brachionus angularis*, CollCf – *Collotheca cf. ballatonica*, FilTer – *Filinia terminalis*, GasStl – *Gastrophus stylifer*, HexFen – *Hexarthra fennica*, KerQua – *Keratella quadrata*, LecBul – *Lecane bulla*, LecCla – *Lecane clara*, LecFur – *Lecane furcata*, LecLun – *Lecane luna*, LecStc – *Lecane stichaea*, PolDol – *Polyarthra dolichoptera*, SynObl – *Synchaeta oblonga*, TriPus – *Trichocerca pusilla*, TriTet – *Trichotria tetractis*; **Copepoda** (crno podebljano), CalAqu – *Calanipeda aquaedulcis*, Kopep – kopepoditi, Naup – naupliji; **Cladocera** (crveno), AloAff – *Alona affinis*, AloQua – *Alona quadrangularis*, BosmLon – *Bosmina longirostris*, ChySph – *Chydorus sphaericus*.

b) CCA analiza zooplanktona i izabranih fizikalno-kemijskih čimbenika Vranskog jezera (Biograd n/M) 2018. godine. Legenda: IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI – mjeseci istraživanja; proljeće – zelena boja; ljeto – plava boja; jesen – narančasta boja; Fizikalno-kemijski čimbenici: N - ukupni dušik ( $\text{mgN}/\text{l}$ ), Nitr - nitriti ( $\text{mg}/\text{l}$ ), Vod - vodljivost ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Chl – Chl  $\alpha$  ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ), P - ukupni fosfor ( $\text{mgP}/\text{l}$ ), OrtP –

Slika 12. Nastavak: ortofosfati otopljeni (mgP/l), Temp – temperatura (°C); Svojte: **Rotifera** (zeleno podcrtano), AnuFis – *Anuraeopsis fissa*, BrcAng – *Brachionus angularis*, BrcQua – *Brachionus quadridentatus*, ColAdr - *Colurella adriatica*, CollCf – *Collotheca cf. balatonica*, ColltSp - *Collotheca sp.*, FilTer – *Filinia terminalis*, GasStl – *Gastropus stylifer*, HexFen – *Hexarthra fennica*, KerQua – *Keratella quadrata*, LecBul – *Lecane bulla*, LecCla – *Lecane clara*, LecFur – *Lecane furcata*, LecLud – *Lecane ludwigii*, LepTri – *Lepadella triptera*, NotAcu - *Notholca acuminata*, PolDol – *Polyarthra dolicoptera*, SynObl – *Synchaeta oblonga*, TriPus – *Trichocerca pusilla*, TriTet – *Trichotria tetractis*; **Copepoda** (crno podebljano), CalAqu – *Calanipeda aquaedulcis*, Cyclopoi – ciklopoida, Kopep – kopepoditi, Metanaup – metanaupliji, Naup – naupliji; **Cladocera** (crveno), AloQua – *Alona quadrangularis*, BosmLon – *Bosmina longirostris* ChySp – *Chydorus sphaericus*.

Tablica 3. Rezultati Monte Carlo permutacijskog CCA testa za: a) 2018. godinu; b) 2019. godinu

a)

FK čimbenici	%	p
Temperatura (°C)	24,5	0,002
Ukupni fosfor oligotrofni (mgP/l)	15,2	0,002
Amonij (mgN/l)	6,2	0,048
TOC	10,6	0,002
Ukupni dušik (mgN/l)	7,8	0,018
Ortofosfati otopljeni (mgP/l)	6,6	0,004
Vodljivost (µS/cm)	4,4	0,008
UKUPNO	75,3	

b)

FK čimbenici	%	p
Ukupni dušik (mgN/l)	23,4	0,002
Vodljivost (µS/cm)	16,4	0,002
Ortofosfati otopljeni (mgP/l)	8,5	0,004
Temperatura (°C)	6,6	0,002
Ukupni fosfor oligotrofni (mgP/l)	6,1	0,002
Nitrati (mg/l)	6	0,002
klorofil (µg/l)	3,5	0,016
UKUPNO	70,5	

#### 4.4. Ihtiofauna

Kao jedan od važnih biotičkih čimbenika na dinamiku zooplanktona, važno je spomenuti utjecaj predacije riba. Ukupan popis vrsta riba Vranskog jezera iz literaturnih nalaza prikazan je u Prilogu 3.

Ihtiofauna Vranskog jezera sastoji se od autohtonih slatkovodnih vrsta, alohtonih slatkovodnih vrsta te morskih eurihalinih vrsta koje povremeno koriste boćatu vodu. Autohtone vrste Vranskog jezera su drlja (*Scardinius dergle* Heckel & Kner, 1858), glavočić vodenjak (*Knipowitschia panizzae* (Verga 1841)), riječna babica (*Salaria fluviatilis* (Asso y del Rio, 1801)) i jegulja (*Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758)), zaštićena vrsta u PP Vransko jezero. Alohtone vrste poput šarana (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758), babuške (*Carassius gibelio* (Bloch, 1782)), štuke (*Esox lucis*), soma (*Silurus glanis* Linnaeus 1758), bezribice (*Pseudorasbora parva* (Temminck & Schlegel, 1846)) i sunčanice (*Lepomis gibbosus* (Linnaeus, 1758)) unesene su vrste. Eurihaline morske vrste poput cipla (*Mugil cephalus*) i olige (*Atherina boyeri* Risso, 1810) u Vransko su jezero dospjele iz mora nakon prokopavanja kanala Prosika (Mustafić i sur., 2017). Prema podacima iz baze podataka PP Vransko jezero, 2019. godine najveću brojnost imaju bezribica, babuška, oliga i masnica (*Rutilus aula* (Bonaparte, 1841)), a zabilježeni su i drlja, šaran i sunčanica s nešto manjom brojnošću. U usporedbi s podacima iz 2016. godine, najveću brojnost te godine ima drlja, oliga, sunčanica i babuška. Zabilježena je i autohtona vrsta glavočić vodenjak te morske vrste cipal putnik, balavac i zlatac koji 2019. godine nisu zabilježeni.

## 5. RASPRAVA

Rezultati ovog rada doprinose su spoznajama o ekološkom stanju Vranskog jezera kod Biograda na Moru s obzirom na funkcionalna obilježja zooplanktona i utjecaj abiotičkih i biotičkih čimbenika na njegovu dinamiku. Utjecaj abiotičkih i biotičkih čimbenika na sastav i dinamiku zooplanktona istraživani su na tri postaje Vranskog jezera. Kao što potvrđuju i istraživanja drugih autora, određeni fizikalno-kemijski čimbenici imaju značajan utjecaj na strukturu i raznolikost populacije zooplanktona (Meerhoff i sur. 2003; Špoljar, 2013). Analize podataka abiotičkih i biotičkih čimbenika ukazuju da abiotički čimbenici utječu na strukturu i raznolikost zajednice zooplanktona, ali utjecaj biotičkih čimbenika također nije zanemariv.

Tijekom istraživanog razdoblja vrijednosti koncentracije otopljenog kisika bile su obrnuto proporcionalne vrijednostima temperature vode - koncentracija kisika tijekom ljetnog perioda opada sukladno povećanju temperature vode tijekom ljetnih mjeseci. Prema istraživanju Peroš-Pucar i Ternjej (2014) temperatura vode značajno utječe na razvoj zooplanktona i odnos zooplanktona s fitoplanktonom. Temperatura utječe i na dinamiku i sastav zooplanktona. Rezultati analize brojnosti i biomase zooplanktona ukazuju na to da su u proljetnom razdoblju 2018. godine dominirale su vrste *H. fennica*, *K. quadrata* te *F. terminalis* čija se brojnost tijekom ljetnog perioda smanjuje. Hladno - stenotermna vrsta *F. terminalis* prilagođena je maloj razlici u promjeni temperature okoliša (Sanoamuang, 2002) te smatram da se zbog toga pojavljuje u proljeće, gotovo nestaje tijekom ljeta, a najveću brojnost postiže tijekom jeseni 2018. kao i 2019. godine. Ova se vrsta u toplijim razdobljima može se pronaći u hipolimniju jezera dubokih jezera (Habdija i sur., 2011b). Vrsta *H. fennica* obično dominira u toplijem dijelu godine, a radi se o toplo - stenotermnoj vrsti kojoj odgovaraju bočata staništa, povišenje saliniteta i vodljivosti. Dinamika brojnosti ove vrste u skladu je s navedenom biologijom vrste 2019. godine kada *H. fennica* najveću brojnost postiže u ljetnom periodu u kojem dolazi do povećanja temperature, dok u proljetnom i jesenskom periodu gotovo nestaje s obzirom na niže temperature. S druge strane, 2018. godine vrsta pokazuje drugačiju dinamiku te najveću brojnost postiže u jesenskom periodu dok je u proljetnom i ljetnom njena brojnost niska. Smatram da je ovoj vrsti 2018. godine odgovaralo povišenje saliniteta i vodljivosti u jesenskom periodu te time objašnjavam povećanje brojnosti. Malu brojnost

zooplanktona u ljetnim mjesecima obje godine objašnjavam niskim koncentracijama otopljenog kisika koje su tada zabilježene, a koje su mogle ograničiti razvoj zooplanktona.

Najveća je koncentracija saliniteta, odnosno vodljivosti, zabilježena tijekom jesenskog perioda kada dolazi do opadanja razine vode jezera. Zbog opadanja razine vode i jakih morskih mijena tijekom jesenskog perioda dolazi do utjecanja morske vode u jezero i povećanja saliniteta (Katalinić i sur., 2008). Također, 2018. godine zabilježen je porast koncentracije saliniteta i u ljetnom razdoblju kada zbog povišenja temperature dolazi do pojačane transpiracije jezerske vode. Povećanje saliniteta negativno utječe na većinu vrsta zooplanktona, međutim određene su vrste eurihaline te podnose značajne promjene saliniteta. Primjerice, *C. aquaedulcis* je euritermna i eurihalina vrsta koja tolerira temperaturu do 30°C i salinitet >20 ‰. *B. longirostris* također je euritermna i eurihalina vrsta koja tolerira salinitet do 6‰ (Błądzki i Rybak, 2016). Brojnost obje vrste niska je tijekom cijele 2018. godine, dok u proljetnom periodu 2019. godine ove dvije vrste dosežu najveće brojnosti nakon čega slijedi veliki pad. S obzirom na euritermnost i eurihalnost ovih vrsta, niska brojnost i pad brojnosti ne mogu se objasniti analiziranim fizikalno – kemijskim čimbenicima. Stoga, ovaj pad brojnosti objašnjavam predacijom riba koja smanjuje brojnost i mijenja veličinsku strukturu zooplanktona.

Vrijednosti prozirnosti obje godine bile su relativno visoke, a najmanja prozirnost zabilježena je u proljetnom periodu 2019. i proljetnom i jesenskom 2018. godine. Smatram da je do smanjenja prozirnosti došlo zbog povećanja koncentracije hranjivih tvari (ortofofata i nitrata) koja utječe na povećan razvoj fitoplanktona. Povećan razvoj fitoplanktona objašnjava i povećanje koncentracije Chl  $\alpha$  u proljetnom razdoblju obje godine iako njegova koncentracija, uzimajući u obzir cijelu godinu, nije visoka. Prema istraživanju Peroš-Pucar i Ternjej (2014) koncentracija Chl  $a$  ima velik utjecaj na razvoj zooplanktona. S obzirom na to da zooplankton svojom ishranom kontrolira brojnost fitoplanktona, odnosno smanjuje ju, povećanje njegove brojnosti potencijalno može dovesti do veće prozirnosti jezera (Ersoy i sur., 2019).

Kao jedan od važnih biotičkih čimbenika za dinamiku zooplanktona važno je spomenuti predaciju riba. Predacija riba snažno utječe na biomasu zooplanktona te sastav i strukturu zajednice (Ersoy i sur., 2019). U Vranskom jezeru ihtiofauna je brojna i raznolika, a prema istraživanju Mrakovčić i sur. (2004) vrste poput šarana, babuške (koja je invazivna vrsta s

najvećom biomasom u Vranskom jezeru) i sunčanice hrane se zooplanktonom. Selektivnom predacijom ribe utječu na veličinsku strukturu zooplanktona jer se vizualni predatori hrane prvenstveno većim plijenom. Hraneći se većim plijenom, poput skupine Copepoda i Cladocera, ribe smanjuju utjecaj njihove predacije i kompeticije na sitnije organizme, primjerice na skupinu Rotifera čime pogoduju njihovom razvoju. Sitnije jedinke zooplanktona postaju plijen tek kada se smanji brojnost većih jedinki (Estlander i sur., 2009; Špoljar i sur., 2011). Osim navedenog, povećanom razvoju Rotifera pogoduje i mala brojnost Cladocera jer su obje skupine mikrofiltratori te su u kompeticiji za hranu. Nadalje, obzirom na velike dimenzije i slabu pokretljivost, skupina Cladocera pod većim je predacijskim pritiskom u odnosu na skupine Copepoda i sitne Rotifera (Romo i sur., 2004). Prema istraživanju Ersoy i sur. (2019) predacija planktivornih riba uzrokuje smanjenje brojnosti velikih vrsta Cladocera (poput roda *Daphnia*), dok na manje vrste Cladocera (poput rodova *Bosmina* i *Chydorus*), Copepoda i Rotifera nema utjecaja. To je uočeno i u ovom istraživanju – skupina Rotifera najraznolikija je skupina te u ljetnoj i jesenskoj sezoni obje godine postiže najveću brojnost. Smatram da je brojnost skupine Cladocera obje godine bila niska jer je zbog većih dimenzija te slabe pokretljivosti bila glavni izvor hrane predatorima. Najbrojnija vrsta skupine Cladocera obje godine bila je *B. longirostris* koja je manjih dimenzija te je utjecaj predacije riba na nju bio manji. Osim toga, juvenilni stadiji gotovo svih vrsta riba hrane se zooplanktonom, točnije skupinama Copepoda i Cladocera (Scheffer i sur., 1998; Romare i sur., 1999). Najveću brojnost skupine Copepoda i Cladocera postižu u proljeće obje godine kada ribe još nisu ispustile mlađ, odnosno kada je manja brojnost juvenilnih riba. U ostalom dijelu godine te dvije skupine gotovo nisu prisutne. Prema istraživanju Ersoy i sur. (2019) biomasa zooplanktona povećala se nakon uklanjanja riba, odnosno smanjenjem predacije riba na zooplankton. Slično potvrđuje i istraživanje Romare i sur. (1999) kojim je ustanovljeno da je u kolovozu u jezeru Dagstorpssjön (Švedska) postojao negativan utjecaj mlađi grgeča na biomasu Cladocera, a s povećanjem brojnosti mlađi povećala se biomasa algi i skupine Rotifera. Velike gustoće juvenilnih riba negativno utječu i na prozirnost jezera – ishrana zooplanktonom ima kaskadni učinak na biomasu fitoplanktona i sastav zajednice u ljetnoj sezoni. Smanjenje brojnosti većih, algivornih vrsta zooplanktona zbog utjecaja predacije riba utječe na prozirnost jezera koje iz stanja veće prozirnosti prelaze u stanje povećane mutnoće s dominacijom fitoplanktona (Miracle i sur., 2007). Promjene u sastavu i brojnosti zooplanktona kaskadno utječu na predatore, sastav



izvora hrane i suspendiranu organsku tvar što potencijalno može pomaknuti stanje vode iz prozirnog u mutno stanje.

Kako bi se održalo prozirno stanje vode jezera, smatram da je potrebno provesti određene mjere očuvanja. Prema istraživanju Mehner i sur. (2002) mjere obnove jezera poput biomanipulacije usredotočene su na smanjenje predacije riba na zooplankton smanjenjem brojnosti planktivornih riba. To pogoduje oporavku velikih vrsta zooplanktona koji su važni za ispašu fitoplanktona i smanjenje njihove biomase te održavanje prozirnog stanja vode (Jeppesen i sur., 2007). Prema istraživanju Knapp i Sarnelle (2008) vrijeme oporavka i reorganizacije strukture zajednice zooplanktona nakon uklanjanja planktivornih riba ključno je za određivanje plana i strategija usmjerenih na obnavljanje ekološkog stanja jezera. S druge strane, nepoznato je koliko se brzo zajednica zooplanktona obnavlja nakon što se u potpunosti ukloni predacija riba. Odgovor na ovo pitanje omogućio bi lakše razumijevanje otpornosti i stabilnosti zajednice zooplanktona i mogao bi pomoći prilikom određivanja mjera očuvanja i plana upravljanja nakon naglih promjena u vodenim ekosustavima (Ersoy i sur., 2019). Osim smanjenja fonda riba, primjerice izlovom, smatram da bi kao mjera očuvanja prozirnosti bilo nužno smanjiti unos nutrijenata, poput nutrijenata koji u jezero dopijevaju ispiranjem tla okolnog poljoprivrednog polja (Peroš-Pucar i Ternej, 2014). Prema istraživanju Jeppesen i sur. (2007) većina jezera pozitivno reagira na smanjenje unosa nutrijenata. Također, kao jedna od mjera očuvanja, a izrazito važno za održavanje prozirnog stanja vode, je stabilna zajednica makrofita. Stabilna i bujna zajednica makrofita služi kao dnevno utočište velikih vrsta zooplanktona, a osim toga sastojine makrofita imaju značajnu ulogu u asimilaciji hranjivih tvari i stabilizaciji sedimenta (sprječavanje resuspenzije) što rezultira smanjenjem stupnja trofije i biomase fitoplanktona (Estlander i sur., 2009). Osim što predstavljaju mikrostaništa u kojima zooplanktonske vrste pronalaze utočište, makrofitske su sastojine podloga za naseljavanje epifitona (biljke koje su pričvršćene ili rastu na drugog živoj biljci) koji je hrana zooplanktonu (Duggan, 2001).

Rezultati ovog rada ukazuju na raznoliku i bogatu zajednicu zooplanktona koji su važan dio jezerskog ekosustava te sudjeluju u strukturiranju ovih izrazito posebnih staništa, kao što je Vransko jezero. Analize koje su provedene tijekom ovog istraživanja dale su uvid u trenutno stanje jezera, a rezultati analiziranih fizikalno-kemijskih čimbenika ukazuju na dobro stanje vodenog stupca Vranskog jezera 2018. i 2019. godine sukladno vrijednostima koje su

propisane Uredbom (Uredba o standardu kakvoće voda, NN 96/2019). Zooplanktonske vrste mogu se koristiti kao bioindikatori prilikom procjene kakvoće vode zbog brojnosti, raznolikosti i kratkog generacijskog vremena. Prilikom promjene brojnosti i kvalitativnog sastava zajednice, zooplankton ukazuje na promjene abiotičkih i biotičkih čimbenika u vodenim ekosustavima te smatram da je potrebno koordinirano i istovremeno skupljati podatke o fitoplanktonu, zooplanktonu i ihtiofauni kako bi se dobio set podataka pogodan za detaljniju analizu biotičkih interakcija i analizu odozgo prema dolje mehanizama.

## 6. ZAKLJUČAK

Prema rezultatima istraživanja abiotičkih i biotičkih čimbenika, kao i zooplanktona provedenog u Vranskom jezeru na tri postaje mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Zooplankton u Vranskom jezeru obilježava mala raznolikost s dominacijom pojedinih vrsta, a na njegovu strukturu i dinamiku utjecale su promijene abiotičkih i biotičkih čimbenika.
- Vrijednosti fizikalno - kemijskih čimbenika pokazale su značajne sezonske promijene obje godine.
- Zooplankton se hrani detritusom i algama, te je povećanje brojnosti zooplanktona pozitivno utjecalo na smanjenje biomase algi i povećanje prozirnosti stupca vode Vranskog jezera. Makrofiti su važna komponenta Vranskog jezera jer pružaju širok izvor staništa, hrane i zaklon od predatora.
- Ribe su svojom predacijom izazvale učinak trofičke kaskade, jer su ishranom utjecale na veličinsku strukturu zooplanktona i njihovu brojnost, odnosno izostanak većeg algivornog zooplanktona (Cladocera) čime su neizravno utjecale i na povećanje koncentracija fitoplanktona, a time i mutnoće i stupnja trofije. Predacija riba važan je biotički čimbenik koji snažno utječe na dinamiku i sastav zajednica zooplanktona.
- Zooplankton je važna je karika u hranidbenoj mreži jezerskih ekosustava jer međusobno povezuje različite trofičke nivoe. Osim toga, izrazito je dobar indikator stanja jezerskih ekosustava zbog svoje brojnosti, raznolikosti i kratkog generacijskog vremena te se može koristiti kao biološki indikator stupnja trofije u jezerima.
- Potrebno je, radi što boljeg poznavanja ekosustava Vranskog jezera, u buduća istraživanja istovremeno uključiti što više komponenti (makrofite, zooplankton, fitoplankton, ihtiofaunu) kako bi se dobila cjelovita slika stanja i trofičkog statusa Vranskog jezera, te kako bi se omogućilo što bolje upravljanje ovim vrijednim ekosustavom.

## 7. LITERATURA

Federation, W. E., APH Association. (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association (APHA). Washington DC, USA.

Bieleńska-Grajner, I., Ejsmont-Karabin, J., Radwan, S. (2007). Rotifers: Rotifera Monogononta. Freshwater Fauna of Poland. Leiden: Backhuys Publishers.

Błędzki L. A., Rybak J. I. (2016). Crustacean Zooplankton of Europe. Cladocera & Copepoda (Calanoida, Cyclopoida). Key to species identification, with notes on ecology, distribution, methods and introduction to data analysis. Springer International Publishing Switzerland.

Brönmark, C., Hansson, L. A. (2005). The Biology of Lakes and Ponds. Oxford University Press, Oxford.

Brooks, J. H., Dodson, S. I. (1965). Predation, body size, and composition of plankton. *Science*. 150: 28–35.

Brucet, S., Boix, D., Quintana, X. D., Jensen, E., Nathansen, L. W., Trochine, C., Jeppesen, E. (2010). Factors influencing zooplankton size structure at contrasting temperatures in coastal shallow lakes: implications for effects of climate change. *Limnology and Oceanography*. 55: 1697–1711.

Castro, B. B., Marques, 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.

Chambers, P. A., Lacoul, P., Murphy, K. J., Thomaz, S. M. (2007). Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. U: E.V. Balian, C. Lévêque, H. Segers, K. Martens (ur.) *Freshwater animal diversity assessment*. Dordrecht, Springer, str. 9–26.

Compte J., Gascón S., Quintana X.D., Boix D. (2011). Fish effects on benthos and plankton in a Mediterranean salt marsh. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 409: 259–266.

Duggan, I. C. (2001). The ecology of periphytic rotifers. *Hydrobiologia*. 446/447: 139–48.

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.

Estlander, S., Nurminen, L., Olin, M., Vinni, M., Horppila, J. (2009). Seasonal fluctuations in macrophyte cover and water transparency of four brown-water lakes: implications for crustacean zooplankton in littoral and pelagic habitats. *Hydrobiologia*. 605: 109–12.

Fontaneto, D., De Smet, W. (2015). Rotifera. U: Schmidt-Rhaesa, A. (ur.) *Handbook of Zoology, Gastrotricha, Cycloneuralia and Gnathifera. Gastrotricha and Gnathifera*. str. 217–300.

Galir Balkić, A., Ternjej, I., Špoljar, M. (2018). Hydrology driven changes in the rotifer trophic structure and implications for food web interactions. *Ecohydrology*. 11.

Habdija, I., Primc Habdija, B., Radanović, I., Špoljar, M., Matoničkin Kepčija, R., Vujčić Karlo, S., Miliša, M., Ostojić, A., Sertić Perić, M. (2011a). *Protista – Protozoa; Metazoa – Invertebrata*. Zagreb: Alfa d.d.

Habdija, I., Primc, B., Špoljar, M., Sertić Perić, M. (2011b). Ecological determinants of rotifer vertical distribution in a coastal karst lake (Vrana Lake, Cres Island, Croatia). *Biologia*. 66: 130–137.

Habdija, I., Primc, B. (2019). *Limnologija: Ekologija slatkih voda*. Zagreb: Alfa d.d.

Hamm, C. (2015). *Evolution of Lightweight Structures: Analyses and Technical Applications*. Dordrecht: Springer.

Heneash, A.M.M., Tadrose, H.R.Z., Hussein, M.M.A., Hamdona, S.K., Abdel-Aziz, N., Gharib, S.M. (2014). Potential effects of abiotic factors on the abundance and distribution of the plankton in the Western Harbour, south-eastern Mediterranean Sea, Egypt. *Oceanologia*.

Jeppesen, E., Meerhoff, M., Jacobsen, B. A., Hansen, R. S., Søndergaard, M., Jensen, J. P., 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., 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 indicators 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*. 676: 279.

Katalinić, A. (2007). Aquatic system of Vransko jezero: Present knowledge and guidelines for management. Second International Conference on Waters in Protected Areas. Dubrovnik, Croatia.

Katalinić, A., Rubinić, J., Buselic, G. (2008). Hydrology of two coastal karst cryptodepressions in Croatia: Vrana lake vs Vrana lake. Proceedings of the 12th World Lake Conference –Taal 2007.

Katalinić, A., Čuže Denona, M., Rubinić, J. (2012). Vrana Lake in Dalmatia -Water, Surroundings and Protection. U: Morell, M., Popovska, C., Morell, O., Stojov, V. Conference On Water Observation And Information System –BALWOIS.

Knapp, R. A., Sarnelle, O. (2008). Recovery after local extinction: factors affecting re-establishment of alpine lake zooplankton. *Ecological Applications*. 18: 1850–1859.

Kormendi, S., Ternej, I. (2007). Protokol za praćenje zooplanktona u rijeci Dravi i u pritokama. U: Purger, J. (ur.) Priručnik za istraživanje bioraznolikosti duž rijeke Drave. Pečuh: Sveučilište u Pečuhu. str. 67–74.

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

Meerhoff, M., Mazzeo, N., Moss, B., Rodríguez-Gallego, L. (2003). The structuring role of free floating versus submerged plants in a subtropical shallow lake. *Aquatic Ecology*. 37: 377–391.

Meerhoff, M., Iglesias, C., DeMello, 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.

Mehner, T., Benndorf, J., Kasprzak, P., Koschel, R. (2002). Biomanipulation of lake ecosystems: successful applications and expanding complexity in the underlying science. *Freshwater Biology*. 47: 2453–2465.

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.

Mlinarić, D. (2009). Privatni projekti isušivanja i melioracije tla u Dalmaciji i Istri od ranoga novog vijeka do 20. Stoljeća. *Časopis za gospodarsku povijest i povijest okoliša*. 5: 136–157.

Moustaka-Gouni, M., Michaloudi, E., Sommer, U. (2014). Modifying the PEG model for Mediterranean lakes—no biological winter and strong fish predation. *Freshwater Biology*. 59: 1136–1144.

Mrakovčić, M., Mišetić, S., Plenković-Moraj, A., Razlog-Grlica, J., Mihaljević, Z., Čaleta, M., Mustafić, P., Kerovec, M., Pavlinić, I., Zanella, D. (2004). Kategorizacija i inventarizacija florističkih i faunističkih vrijednosti Parka priode "Vransko jezero". Elaborat. Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.

Mrakovčić, M., Brigić, A., Buj, I., Čaleta, M., Mustafić, P., Zanella, D. (2006). Crvena knjiga slatkovodnih riba Hrvatske.

Mustafić, P., Marčić, Z., Zanella, D., Čaleta, M., Buj, I., Horvatić, S., Mrakovčić, M. (2017). Ihtiofauna Parka prirode Vransko jezero. U: Rubinić, J. (ur.) Znanstveno stručni skup s međunarodnim sudjelovanjem Upravljanje jezerima i akumulacijama u hrvatskoj i okrugli stol o aktualnoj problematici Vranskog jezera kod Biograda na Moru. Zbornik radova.

Narodne novine (2019). Uredba o standardu kakvoće voda, NN 96/2019.

Odigie, J. O., Olomukoro, J. O. (2019). Cyclomorphosis: The Adaptive Mechanism of Zooplankton in the Aquatic Ecosystem. *American Journal of Biomedical Sciences*. 11.

Padisák, J., Reynolds, C. S. (2003). Shallow lakes: the absolute, the relative, the functional and the pragmatic. *Hydrobiologia*. 50: 1–11.

Paturrej, E., Gutkowska, A., Koszałka, J., Bowszys, M. (2017). Effect of physicochemical parameters on zooplankton in the brackish, coastal Vistula Lagoon. *Oceanologia*. 59: 49–56.

Prtenjača, I., Katalinić, A., Pintur, G., Rogić, D., Čuže, M., Zubak, I. (2010). Plan upravljanja Parkom prirode Vransko jezero. PHARE 2005: Institucionalno jačanje i provedba ekološke mreže NATURA 2000 u Hrvatskoj.

Peroš-Pucar, D. (2007). Trofička struktura makrozooplanktona Vranskog jezera kod Biograda na moru. Magistarski rad. Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.

Peroš-Pucar, D., Ternjej, I. (2014). The relative importance of physical-chemical factors in the brackish shallow lake Vrana (Croatia) as determinant of crustacean zooplankton community. *Periodicum biologorum*. 116: 293–301.

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

Romare, P., Bergman, E., Hansson, L. A. (1999). The impact of larval and juvenile fish on zooplankton and algal dynamics. *Limnology and Oceanography*. 44: 1655–1666.

Romo, S., Miracle, M. R., Villena, M.-J., Rueda, J., Ferriol, C., Vicent, E. E. (2004). Mesocosm experiments on nutrient and fish effects on shallow lake food webs in a Mediterranean climate. *Freshwater Biology*. 49: 1593–1607.

Rubinić, J., Katalinić, A. (2014). Water regime of Vrana Lake in Dalmatia (Croatia): changes, risks and problems. *Hydrological Sciences Journal*. 59: 1908–1924.

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

Sanoamuang, L. O. (2002). Genus *Filinia* Bory de St. Vincent, 1824. *Rotifera*. 6: 224-257.

Sanoamuang L. (2002). Genus *Filinia* Bory de St. Vincent, 1824. U: *Rotifera*. Volume 6: Asplanchnidae, Gastropodidae, Lindiidae, Microcodidae, Synchaetidae, Trochosphaeridae and *Filinia*. 18: 224–257.

Schallenberg, M., Hall, C. J., Burns, C. W. (2003). Consequences of climate-induced salinity increases on zooplankton abundance and diversity in coastal lakes. *Marine ecology progress series*. 251: 181–189.

Scheffer, M. (1998). *Ecology of shallow lakes*. London. Chapman & Hall.



Scheffer, M. (2001a). Ecology of shallow lakes. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.

Scheffer, M. (2001b). Alternative Attractors of Shallow Lakes. *The Scientific World JOURNAL*. 254–263.

Scheffer, M., Jeppesen, E. (2007). Regime shifts in shallow lakes. *Ecosystems*. 10: 1–3.

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.

Segers, H. (2007). Global diversity of rotifers (Rotifera) in freshwater. U: Balian E.V., Lévêque C., Segers H., Martens K. (ur.). *Freshwater Animal Diversity Assessment. Developments in Hydrobiology*, Springer, Dordrecht.

Smirnov, N. (2014). *Physiology of the cladocera*. Second edition. Academic press.

Sommer, U., Gliwicz, Z. M., Lampert, W., Duncan, A. (1986). The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Archiv für Hydrobiologie*. 106: 433–471.

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., 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. (2013). Microaquatic communities as indicators of environmental changes in lake ecosystems. *International Journal of Engineering Science*. 1: 29–42.

Špoljar, M., Zhang, C., Dražina, T., Zhao, G., Lajtner, J., Radonić, G. (2017). Development of submerged macrophyte and epiphyton in a flow-through system: Assessment and modelling predictions in interconnected reservoirs. *Ecological indicators*. 75: 145–154.

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

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

Tátrai, I., Mátyás, K., Korponai, J., Szabó, G., Pomogyi, P., Héri, J. (2005). Response of nutrients, plankton communities and macrophytes to fish manipulation in a small eutrophic wetland lake. *International Review of Hydrobiology: A Journal Covering all Aspects of Limnology and Marine Biology*. 90: 511–522.

Tátrai, I., Boros, G., György, A. I., Mátyás, K., Korponai, J., Pomogyi, P., Havasi, M., Kucserka, T. (2009). Abrupt shift from clear to turbid state in a shallow eutrophic, biomanipulated lake. *Hydrobiologia*. 620: 149–161.

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

Wallace, R.L., Snell, T.W., Ricci, C., Nogrady, T. (2006). *Rotifera: Biology, ecology and systematics*. Ghent; Leiden. Backhuys Publishers.

Zannatul, F., Muktadir, A. (2009). A review: potentiality of zooplankton as bioindicator. *American Journal of Applied Sciences*. 6: 1815–1819.

## 8. PRILOZI

Prilog 1. Srednje vrijednosti (SV), standardna devijacija (SD), minimalne (Min) i maksimalne (Maks) vrijednosti te rezultati rezultati Mann-Whitney U testa za 2018. i 2019. godinu.

Prilog 2. Popis svojti zooplanktona Vranskog jezera (Biograd n/M) utvrđenih istraživanjem 2018. i 2019. godine.

Prilog 3. Ukupni popis vrsta riba Vranskog jezera kod Biograda na Moru iz literaturnih nalaza od 1991. do 2019. godine (prilagođeno prema Mustafić i sur., 2017; Mrakovčić i sur., 2004; Podaci iz baze PP Vransko jezero, 2016.-2019.).

Prilog 1. Srednje vrijednosti (SV), standardna devijacija (SD), minimalne (Min) i maksimalne (Maks) vrijednosti te rezultati rezultati Mann-Whitney U testa za 2018. i 2019. godinu

Limnološki čimbenici	2018.			2019.			MW U test ( $p < 0,05$ )
	SV $\pm$ SD	Min.	Maks.	SV $\pm$ SD	Min.	Maks.	
Temperatura (°C)	19,80 $\pm$ 5,4	9,2	29	20,53 $\pm$ 4,68	13	28,3	0,762000
Prozirnost m	1,50 $\pm$ 0,53	0,7	2,8	1,01 $\pm$ 0,32	0,4	2	0,000040
pH	7,63 $\pm$ 0,49	6,61	8,69	7,38 $\pm$ 0,58	6,52	8,9	0,022849
Otopljeni kisik (mgO <sub>2</sub> /l)	9,87 $\pm$ 1,24	7,51	12,6	8,98 $\pm$ 2,38	0	12,05	0,099805
Salinitet ‰	0,91 $\pm$ 0,08	0,79	1,09	1,34 $\pm$ 0,58	0,9	3,31	0,000000
Vodljivost ( $\mu$ S/cm)	1510,44 $\pm$ 648,71	190,3	4080	2257,41 $\pm$ 815,96	0	4810	0,000001
Amonij (mgN/l)	0,02 $\pm$ 0,02	0	0,09	0,03 $\pm$ 0,04	0	0,16	0,528000
Nitrati (mg/l)	1,29 $\pm$ 0,74	0,05	3,28	1,14 $\pm$ 1,87	0	8,5	0,026675
Nitriti (mg/l)	0,03 $\pm$ 0,12	0	0,54	0,11 $\pm$ 0,4	0	1,56	0,460509
Ortofosfati otopljeni (mgP/l)	0,01 $\pm$ 0,004	0	0,02	0,01 $\pm$ 0,006	0	0,03	0,228870
klorofil ( $\mu$ g/l)	4,01 $\pm$ 2,23	2,13	7,74	8,93 $\pm$ 7,14	1,34	25,46	0,006472
KPK-Mn (mgO <sub>2</sub> /l)	4,02 $\pm$ 2,1	0,8	8,3	6,34 $\pm$ 2,32	3,3	10,8	0,007650

Prilog 2. Popis svojti zooplanktona Vranskog jezera (Biograd n/M) utvrđenih istraživanjem 2018. i 2019. godine.

Skupina Svojta	D - dominantnost; K - konstantnost			
	2018.		2019.	
	D	K	D	K
<b>Cladocera</b>	<b>1,13%</b>	<b>47,62%</b>	<b>7,87%</b>	<b>54,17%</b>
<i>Alona affinis</i> (Leydig, 1860)	0,03%	4,76%		
<i>Alona quadrangularis</i> (O. F. Muller, 1776)	0,01%	4,76%	0,03%	4,17%
<i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Müller, 1785)	0,62%	38,10%	7,37%	50%
<i>Chydorus sphaericus</i> (O. F. Muller, 1776)	0,46%	19,05%	0,47%	20,83%
<b>Copepoda</b>	<b>49,46%</b>	<b>100%</b>	<b>50,81%</b>	<b>100%</b>
<i>Calanipeda aquaedulcis</i> Kritschagin, 1873	2,03%	23,81%	6,97%	33,33%
kopepoditi	10,54%	57,14%	2,35%	29,17%
metanauplij	0,37%	4,76%	3,67%	50%
nauplij	36,52%	100%	37,78%	100%
<b>Rotifera</b>	<b>49,41%</b>	<b>100%</b>	<b>41,32%</b>	<b>100%</b>
<i>Anuraeopsis fissa</i> (Gosse, 1851)	6,18%	57,14%	1,08%	45,83%
<i>Brachionus angularis</i> Gosse, 1851	0,16%	19,05%	0,23%	16,67%
<i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas, 1766	0,16%	9,52%		
<i>Brachionus quadridentatus</i> Hermann, 1783			0,02%	4,17%
<i>Collotheca cf. balatonica</i>	4,33%	42,86%	0,79%	50%
<i>Colurella adriatica</i> Ehrenberg, 1831			0,34%	12,50%
<i>Filinia terminalis</i> (Plate, 1886)	2,06%	57,14%	3,57%	33,33%
<i>Gastropus stylifer</i> Imhof, 1891	0,15%	14,29%	0,07%	12,50%
<i>Hexarthra fennica</i> (Levander, 1892)	30,85%	90,48%	21,45%	58,33%
<i>Keratella quadrata</i> (Müller, 1786)	2,05%	85,71%	12,53%	79,17%
<i>Lecane bulla</i> (Gosse, 1851)	0,23%	33,33%	0,05%	16,67%
<i>Lecane clara</i> (Bryce, 1892)	0,06%	14,29%	0,01%	4,17%
<i>Lecane furcata</i> (Murray, 1913)	0,03%	4,76%	0,31%	16,67%
<i>Lecane ludwigii</i> (Eckstein, 1883)			0,02%	4,17%
<i>Lecane luna</i> (Muller, 1776)	0,05%	9,52%		
<i>Lecane stichaea</i> Harring, 1913	0,05%	4,76%		
<i>Lepadella triptera</i> (Ehrenberg, 1830)	0,09%	14,29%	0,02%	8,33%
<i>Macrochaetus collinsi</i> (Gosse, 1867)	0,16%	9,52%	0,08%	8,33%
<i>Notholca acuminata</i> (Ehrenberg, 1832)			0,10%	8,33%
<i>Polyarthra dolichoptera</i> Idelson, 1925	1,08%	38,10%	0,31%	33,33%
<i>Synchaeta oblonga</i> Ehrenberg, 1832	0,05%	9,52%	0,07%	8,33%
<i>Trichocerca pusilla</i> (Jennings, 1903)	1,66%	66,67%	0,23%	37,50%
<i>Trichotria tetractis</i> (Ehrenberg, 1830)	0,03%	4,76%	0,01%	4,17%

Prilog 3. Ukupni popis vrsta riba Vranskog jezera kod Biograda na Moru iz literaturnih nalaza od 1991. do 2019. godine (prilagođeno prema Mustafić i sur., 2017; Mrakovčić i sur., 2004; podaci iz baze PP Vransko jezero 2016.-2019.).

<b>VRSTA</b>	<b>VRSTA ZABILJEŽENA (godine)</b>
<i>Anguilla anguilla</i> (Linnaeus, 1758)	1941./ 1991./ 2003./ 2016.
<i>Aphanius fasciatus</i> (Valenciennes, 1821)	1941.
<i>Atherina boyeri</i> Risso, 1810	1941./ 1991./ 2003./ 2016./ 2019.
<i>Atherina hepsetus</i> Linnaeus, 1758	1991.
<i>Carassius carassius</i> (Linnaeus, 1758)	1991.
<i>Carassius gibelio</i> (Bloch, 1782)	1991./ 2003./ 2016./ 2019.
<i>Chelon labrosus</i> (Risso, 1827)	1991./ 2003./ 2016.
<i>Ctenopharyngodon idella</i> (Valenciennes, 1844)	1991.
<i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758	1991./ 2003./ 2016./ 2019.
<i>Dicentrarchus labrax</i> (Linnaeus, 1758)	1991.
<i>Esox lucis</i> Linnaeus, 1758	2003.
<i>Gambusia affinis</i> (Baird & Girard 1853)	2003.
<i>Gambusia holbrooki</i> Girard, 1859	1991./ 2016.
<i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758	1991.
<i>Hypophthalmichthys nobilis</i> (Richardson, 1845)	1991.
<i>Knipowitschia caucasica</i> (Berg, 1916)	2003.
<i>Knipowitschia panizzae</i> (Verga, 1841)	1991./ 2016.
<i>Lepomis gibbosus</i> (Linnaeus, 1758)	1991./ 2003./ 2016./ 2019.
<i>Leuciscus cephalus</i> (Linnaeus, 1758)	2003.
<i>Liza aurata</i> (Risso, 1810)	1991./ 2016.
<i>Liza ramada</i> (Risso, 1827)	1991./ 2003./ 2016.
<i>Mugil cephalus</i> Linnaeus, 1758	1991./ 2003.
<i>Mugil saliens</i> Risso, 1810	1991.
<i>Padogobius bonelli</i> (Bonaparte, 1846)	1991.
<i>Platichthys flesus</i> (Linnaeus, 1758)	1991.
<i>Pseudorasbora parva</i> (Temminck & Schlegel, 1846)	1991./ 2003./ 2016./ 2019.
<i>Rutilus aula</i> (Bonaparte, 1841)	1991./ 2019.
<i>Rutilus basak</i> (Heckel, 1843)	2003.
<i>Salaria fluviatilis</i> (Asso y del Rio, 1801)	1991./ 2003./ 2016.
<i>Sander lucioperca</i> (Linnaeus, 1758)	1991.
<i>Scardinius dergle</i> Heckel & Kner, 1858	1991./ 2016./ 2019.
<i>Scardinius erythrophthalmus</i> (Linnaeus, 1758)	1991./ 2003.
<i>Silurus glanis</i> Linnaeus, 1758	2003./ 2016.
<i>Solea solea</i> (Quensel, 1806)	1991.
<i>Sparus aurata</i> (Linnaeus, 1758)	1991.
<i>Squalius cephalus</i> (Linnaeus, 1758)	1991.
<i>Tinca tinca</i> (Linnaeus, 1758)	1991.

# ŽIVOTOPIS

---

## Osobni podaci

Ime i prezime	Žanet Bilić
e-mail	zbilic@stud.biol.pmf.hr
Datum rođenja	30.07.1996.
Spol	Ž

## Edukacija

2018. – 2021.      Magistra ekologije i zaštite prirode (mag. oecol. et prot. nat.)  
Diplomski studij ekologije i zaštite prirode  
Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Biološki odsjek

2015.-2018.      Sveučilišna prvostupnica biologije (univ. bacc. biol.)  
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Odjel za biologiju

2011.-2015.      Opća gimnazija  
I. gimnazija Osijek

## Postignuća

2018.              Objavljen članak  
Časopis Priroda – „Umjetnost fotosinteze“

2017.              Rektorova nagrada  
Za izvrstan seminarski rad na temu „Vodozemci i gmazovi Hrvatske,“

---