

# Utjecaj predacije riba na zooplankton u plitkim jezerima

---

Duić Sertić, Maja

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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:217:605325>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-27**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Maja Duić Sertić

**UTJECAJ PREDACIJE RIBA NA ZOOPLANKTON U PLITKIM  
JEZERIMA**

Diplomski rad

Zagreb, 2016.

Ovaj rad izrađen je u Laboratoriju za istraživanje slatkovodnih beskralježnjaka Zoologijskog zavoda Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Marie Špoljar. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra ekologije i zaštite prirode – smjer kopnene vode.

*Zahvaljujem se svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Mariji Špoljar na pomoći oko diplomskog rada, od izbora teme, terenskog i laboratorijskog rada, do pomoći oko samog pisanja rada.*

*Posebno hvala na velikom strpljenju i konstantnom poticanju na rad i napredak.*

*Veliko hvala mojoj obitelji koja je sve ove godine vjerovala u mene te dečku i prijateljima koji su uljepšali moje studentske dane.*

*Posebno mjesto u ovoj zahvali pripada, jednoj i jedinoj, Dorici koja je bila moja najveća podrška prilikom pisanja ovog rada.*

**UTJECAJ PREDACIJE RIBA NA ZOOPLANKTON U PLITKIM JEZERIMA**

MAJA DUIĆ SERTIĆ

Rooseveltovo trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Istraživanje zooplanktona provedeno je tijekom ljetnog razdoblja 2012. godine u tri vodena tijela različitog postanka, morfometrije, stupnja trofije, prokrovnosti i sastava makrofita: na rukavcu rijeke Sutle, mrtvaji Škrčev kut i šljunčari Zajarki. Osnovne hipoteze ovog rada bile su: (i) širina zone makrofita i kompleksnost građe habitusa značajno utječu na raznolikost i brojnost zooplanktona i predaciju riba; (ii) makrofitske sastojine utječu na abiotičke i biotičke čimbenike vodenih ekosustava. Ciljevi istraživanja zooplanktona i ihtiofaune bili su utvrditi: 1) raznolikost i brojnost zooplanktona u jezerima sa submerznim i flotantnim sastojinama; 2) utjecaj predacije riba na sastav i veličinsku strukturu zooplanktona u jezerima s različitim sastojinama makrofita; 3) utjecaj makrofita i predacije riba na brojnost ženki zooplanktona s jajašcima.

Analiza fizikalno-kemijskih čimbenika ukazala je na značajne razlike između tri lokaliteta što je utjecalo na sastav biocenoza i pokrovnost makrofitima. Najveća brojnost zooplanktona i ženki s jajašcima zabilježena je u eutrofnoj mrtvaji Škrčev kut, sa srednjom pokrovnošću flotantnim makrofitima, dok je najmanja brojnost i raznolikost zooplanktona zabilježena u šljunčari Zajarki velike prozirnosti i male trofije. Rukavac Sutle je odvojen u dva bazena: Gornji bazen veće prozirnosti i pokrovnosti submerznim makrofitima, veće raznolikosti zooplanktona i izraženije predacije riba i Donji bazen, veće mutnoće i bez makrofita, manje raznolikosti zooplanktona, a veliku brojnost postigle su sitne detritivorne vrste kolnjaka i veslonožaca. Postaje na kojima je zabilježena najveća brojnost i raznolikost zooplanktona nalazile su se u litoralnoj zoni čime je potvrđena uloga makrofita kao zaklona od predacijskog pritiska. Na lokalitetu veće prozirnosti, šljunčari Zajarki, utvrđena je veća brojnost zooplanktona, kao i ženki s jajašcima u pridnenom sloju vode, što potvrđuje da i u plitkim jezerima postoje vertikalne, a ne isključivo horizontalne migracije. Na sva tri lokaliteta u zooplanktonu dominirale su od Rotifera vrste roda *Brachionus* te vrste *Kerratella cohlearis* i *Trichocerca similis*, od Copepoda vrsta *Macrocylops albidus* i ličinački stadiji dok je kod Cladocera prevladavala vrsta *Bosmina longirostris*.

(46 stranica, 11 slika, 7 tablica, 73 literaturna navoda, jezik izvornik: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: predacijski pritisak/submerzni i flotantni makrofiti/zooplankton/Rotifera/  
Cladocera/Copepoda

Voditelj: Dr. sc. Maria Špoljar, izv. prof.

Neposredni voditelj: Dr. sc. Tvrtko Dražina

Ocjenitelji: Dr.sc. Mirta Tkalec, izv. prof.

Dr.sc. Goran Kovačević, izv. prof

Rad prihvaćen: 18. veljače 2016.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Division of Biology

Graduation Thesis

### FISH PREDATION INFLUENCE ON ZOOPLANKTON IN SHALLOW LAKES

MAJA DUIĆ SERTIĆ

Rooseveltovo trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

The zooplankton research was conducted during the summer period of 2012 in three water bodies of different origins, morphometry, trophic level, coverage and composition of macrophytes: on the back water of the Sutla River, oxbow Škrčev kut and gravel pit Zajarki. The main hypotheses of this study were: (i) width of macrophytes stands and their architecture significantly impact diversity and abundance of zooplankton as well as fish predation; (ii) macrophyte stands affect the abiotic and biotic factors of aquatic ecosystems. The research goals were to determine: 1) diversity and abundance of zooplankton in lakes with submerged and floating macrophyte stands; 2) impact of fish predation on composition and size structure of zooplankton in lakes with different stands of macrophytes; 3) impact of macrophyte and fish predation on zooplankton fecundity.

The analysis of physico-chemical parameters showed statistically significant spatial differences between three water bodies which affected the composition of the biocenoses and macrophytes coverage. The highest abundance of zooplankton and females with eggs was recorded in eutrophic oxbow Škrčev kut, with medium coverability of floating macrophytes, while the lowest abundance and diversity of zooplankton was observed in the gravel pit Zajarki with high transparency and low trophic level. The back water of Sutla River is separated in the Upper basin with higher transparency and macrophyte coverage, higher zooplankton diversity and more pronounced fish predation, and in the Lower basin of higher turbidity, without macrophytes, smaller diversity where detritivorous species of Rotifera and Copepoda accomplished higher abundance. Stations that have recorded the higher abundance and diversity of zooplankton were in the littoral zone, which confirmed the role of macrophytes as a shelter from predation pressure. Fish predation affected on zooplankton and females with eggs horizontal migration in the littoral zone with macrophytes or their vertical migration into the deeper water layers. At all three locations in zooplankton composition dominated Rotifera with *Keratella cohlearis*, *Trichocerca similis* and *Brachionus* species, Copepoda with *Macrocyclops albidus* and larval stages while in Cladocera dominated species was *Bosmina longirostris*.

(46 pages, 11 figures, 7 tables, 73 references, original in: Croatian)

This thesis is deposited in the Central Biological Library.

Key words: predation pressure / submergent and floating macrophytes / zooplankton

Supervisor: Dr. Maria Špoljar, Assoc. Prof.

Assistant Supervisor: Dr. Tvrtko Dražina

Reviewers: Dr. Mirta Tkalec, Assoc. Prof.

Dr. Goran Kovačević, Assoc. Prof.

Thesis accepted: 18<sup>th</sup> February, 2016.

## Popis kratica

AFDM – (eng. *ash free dry mass*) suspendirana organska tvar

Chl *a* – klorofil *a*

DHM – (eng. *diel horizontal migration*) dnevne horizontalne migracije

DOM – (eng. *dissolved organic matter*) koncentracija otopljene organske tvari

DVM – (eng. *diel vertical migration*) dnevne vertikalne migracije

KPK – kemijska potrošnja kisika

NH<sub>4</sub> – amonijak

NTU – (eng. *nephelometric turbidity unit*) mjerna jedinica za mutnoću vode

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

SD – standardna devijacija

SV – srednja vrijednost

Sc – rukavac Sutle unutar sastojina *Ceratophyllum demersum*

Src –rukavac Sutle rub sastojina *Ceratophyllum demersum*

Sgb – rukavac Sutle gornji bazen pelagijal

Sdb – rukavac Sutle donji bazen pelagijal

Sdbi – rukavac Sutle izlaz iz donjeg bazena

ŠKl – mrtvaja Škrčev kut unutar sastojina lokvanja *Nuphar lutea*

ŠKrl – mrtvaja Škrčev kut rub sastojina lokvanja *Nuphar lutea*

ŠKp – mrtvaja Škrčev kut pelagijal

TSI – (eng. *trophic state index*) indeks stupnja trofije

Zl – šljunčara Zajarki unutar sastojina lokvanja *Nuphar lutea*

Zrl – šljunčara Zajarki rub sastojina lokvanja *Nuphar lutea*

Zp – šljunčara Zajarki pelagijal

Zv – šljunčara Zajarki vertikalni pridneni sloj

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b>	<b>1</b>
1.1. Značajke plitkih jezera	1
1.3. Biotičke interakcije zooplanktona u različitim sastojinama makrofita	4
<b>2. CILJEVI RADA</b>	<b>7</b>
<b>3. MATERIJALI I METODE</b>	<b>8</b>
3.1. Područje istraživanja	8
3.2. Sakupljanje i analiza uzoraka zooplanktona	11
3.3. Analiza fizikalno-kemijskih svojstava vode	12
3.4. Analiza podataka	14
<b>4. REZULTATI</b>	<b>15</b>
4.1. Promjene fizikalno-kemijskih čimbenika	15
4.2. Brojnost i raznolikost zooplanktona	18
4.2.1. Rukavac rijeke Sutle	20
4.2.2. Mrtvaja Škrčev kut	22
4.2.3. Šljunčara Zajarki	24
4.3. Ženke s jajašcima u zooplanktonu istraživanih lokaliteta	26
4.4. Brojnost i raznolikost ihtiofaune	28
<b>5. RASPRAVA</b>	<b>33</b>
<b>6. ZAKLJUČAK</b>	<b>38</b>
<b>7. LITERATURA:</b>	<b>39</b>
<b>8. ŽIVOTOPIS</b>	<b>45</b>



# 1.UVOD

## 1.1. Značajke plitkih jezera

Plitka jezera su ekosustavi izravno vezani za život čovjeka. Izvor su hrane, vode za piće, navodnjavanja, transporta, rekreacije i turizma, a samim time su pod velikim utjecajem čovjeka. Posljedica ljudske djelatnosti najviše se očituje u eutrofikaciji, hidromorfološkoj degradaciji, acidifikaciji i unosu alohtonih/invazivnih vrsta koje utječu na sastav prirodnih staništa i ekološku ravnotežu. Plitka jezera su najrasprostranjenije stajačice, čine 0,007 % od ukupno 2,6 % slatkih voda na Zemlji (Wetzel 2001, Padisák i Reynolds 2003). Definirana su kao stalna vodena tijela, prosječne dubine do 3 m u kojima svjetlo prodire do dna i potiče fotosintezu makrofita bez ljetne vertikalne stratifikacije (Wetzel 2001, Scheffer 2004).

Eutrofikacija se prirodno događa u stajaćicama, ali je ubrzana antropogenim utjecajem. Porast koncentracije hranjivih tvari (nitrati i fosfati) u vodi uzrokuje povećanje primarne (fitoplankton i vodeni makrofiti), a potom i sekundarne produkcije (zooplankton, beskralježnjaci i ribe). Daljnjim unosom organskih tvari i širenjem litorarne zone prekrivene makrofitima smanjuje se dubina jezera. Plitka jezera, bare i močvare u prirodi imaju relativno kratak "životni vijek" te s vremenom postanu tlo prekriveno biljem (terestrikacija). Ovaj prirodni proces može trajati stotinama, pa čak i tisućama godina (Fahd i sur. 2009).

Povećanje biomase i postotak pokrovnosti makrofita povećava se s veličinom jezera, a smanjuje se kako litoralna zona postaje strmija (Duggan i sur. 2001, Kuczyńska-Kippen i Klimaszyk 2007, Špoljar i sur. 2011a). Gubitak biljnog pokrova može imati vrlo negativan učinak kako na zooplankton, tako i na populacije riba (Burks i sur. 2002, Ali i sur. 2007, Estlander i sur. 2009, Špoljar i sur. 2011a). Područja pokrivena makrofitima mogu pokazivati veliku raznolikost, biomasu i brojnost životnih zajednica (plankton, bentos i perifiton). Međutim, kompeticija makrofita i fitoplanktona za hranjivim tvarima, anorganskim ugljikom i svjetlom u velikoj mjeri utječe na distribuciju makrofitskih sastojina (Søndergaard i Moss 1998, Scheffer 2004).

Makrofiti su definirani kao raznolika skupina vodenih fotosintetskih organizama, vidljivih golim okom, čiji vegetativni dijelovi aktivno rastu, stalno ili periodički potopljeni, plutajući površinom ili prorastajući kroz površinu vode. Morfološki možemo razlikovati tri tipa vodenih makrofita: emerzni, plutajući (flotantni) i submerzni (potopljeni) makrofiti (Chambers i sur. 2008).

Makrofitske sastojine imaju višestruk utjecaj na vodene ekosustave, kao što su: očuvanje fizičke stabilnosti litoralne zone (smanjenje resuspenzije sedimenta i erozije), smanjenje koncentracije hranjivih tvari i ublažavanje znakova eutrofikacije poput zamućenosti vode (Kuczyńska-Kippen i Nagengast 2006, Špoljar i sur. 2012a). Osim gore navedenog, makrofiti, osiguravaju površinu epifitonu, pružaju zaklon i hranu beskralježnjacima; također su poznata staništa za mrijest riba i gniježđenje ptica (Moss i sur. 1996, Špoljar i sur. 2012b). Prisutnost ili odsutnost makrofita može znatno utjecati na strukturu i sastav zooplanktona. Mutnoća i visoka produkcija fitoplanktona uzrokuju smanjenje prodora svjetlosti koja je ključni čimbenik u određivanju vertikalne raspodjele makrofita. Smanjena vidljivost utječe na predacijski pritisak vizualnih predatora, kao što su ribe i njihove ličinke, ali ne utječe na taktilne predatore i time njihov predacijski pritisak nije umanjen (Sanders i Wickham 1993, Meerhoff i sur. 2007).

## **1.2. Promjene alternativnih ekoloških stanja plitkih jezera**

Plitka eutrofna jezera osobito su zanimljiva za različite metode restauracije. Postupci za obnavljanje kakvoće vode jezera uključuju uklanjanje sedimenta, oksidaciju pridnene vode, sadnju makrofita te biomanipulaciju uklanjanjem bentivornih i planktivornih riba te uzgoj piscivornih riba (manipulacija hranidbene mreže jezera) (Moss i sur. 1996, Søndergaard i sur. 2008).

Teorija alternativne ravnoteže objašnjava izmjene ekoloških stanja u ekosustavima (Slika 1). U plitkim jezerima ekološka stanja se mogu promijeniti iz "prozirne vode" s dominacijom makrofita do "mutne vode" s dominacijom fitoplanktona, a taj proces izmjene poznat je kao koncept "alternativne ekološke ravnoteže" (Scheffer i sur. 1993, Dokulil i Teubner 2003). Izmjene stanja se obično javljaju na godišnjoj razini kao dio dugogodišnjeg razvoja. Ova stanja jezerske vode imaju mehanizme povratne sprege i predstavljaju dva suprotstavljena ekološka stanja životnih zajednica u vodi (Scheffer i Nes 2007, Špoljar 2013).

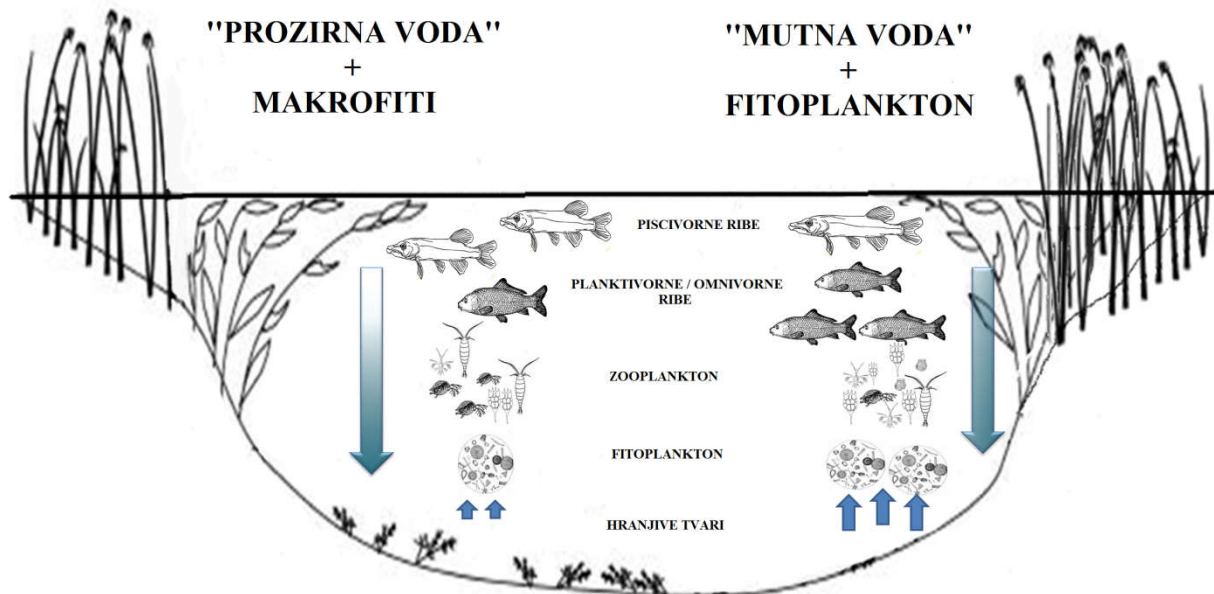
Stanje prozirne vode u eutrofnim plitkim jezerima obilježeno je dominacijom makrofita. Sastojine makrofita sprječavaju resuspenziju sedimenta, uklanjaju hranjive tvari iz vode te osiguravaju zaklon zooplanktonu od predacije riba. Veće zasjenjivanje fitoplanktona od strane flotantnih, u odnosu na submerzne makrofite, dovodi do slabijeg razvoja fitoplanktona te nižih koncentracija kisika (Meerhoff i sur. 2007). To je također razlog manje zastupljenosti zooplanktona, posebno rašljoticalaca, ispod flotantnih u odnosu na submerzne makrofite.

Makrofiti mogu ispuštati i određene kemijske spojeve, alelopatske tvari, koji odbijaju druge organizme, npr. vrste roda *Daphnia* koji izbjegavaju floatantne makrofite (Burks i sur. 2002).

Nasuprot tome, stanje mutne vode prati izostanak submerznih makrofita. To je posljedica resuspendiranja sedimenta koje uzrokuju vjetar i bioturbacija (potraga bentivornih riba za hranom po dnu) ili velike biomase fitoplanktona koji dovode do smanjenja prodora svjetlosti. U takvim uvjetima bez makrofitskih sastojina, koje bi mogle poslužiti kao zaklon, ribe predacijom smanjuju abundanciju zooplanktona te on više nije u stanju kontrolirati cvjetanje algi (Scheffer i Jeppesen 1998, Dokulil i Teubner 2003, Popijač 2003, Scheffer 2004, Scheffer i Nes 2007).

Povećanjem hranjivih tvari i mutnoće vode, dominacija submerznih makrofita prelazi u dominaciju fitoplanktona. Smanjuje se biomasa velikog zooplanktona, a dolazi do povećanja biomase i brojnosti planktivornih i bentivornih riba, koje prate povećanje ukupne količine fosfora, dok se brojnost piscivora smanjuje. U isto vrijeme, predacijski pritisak na zooplankton se povećava čemu u prilog ide smanjenje omjera biomase zooplankton : fitoplankton, što znači da je pritisak grazinga (engl. *grazing* hranjenje filtracijom fitoplankta i suspenzije bakterija i detritusa) na fitoplankton najvjerojatnije smanjen (Perrow i sur. 1999, Angeler i sur. 2003).

Plankton je naziv za mikroskopske organizme, morfološki i fiziološki prilagođene životu u slobodnoj vodi jezera, mora i oceana, kojima je zajedničko obilježje slabija pokretljivost. Najčešće skupine zooplanktona prisutne u slatkim vodama na kopnu su kolnjaci (Rotifera) i rakovi (Crustacea) iz skupina rašljoticalaca (Cladocera) i veslonožaca (Copepoda). Poznato je više od 2000 vrsta kolnjaka koji su često i najbrojniji u zooplanktonu lentičkih sustava te se smatraju odličnim pokazateljima promjena u okolišu. Kolnjaci su izvor hrane većim organizmima, uključujući i druge predstavnike zooplanktona. Najčešći oblici veslonožaca u jezerima su Calanoida i Cyclopoida i njihovi ličinački stadiji, naupliji i kopepoditi. (Dieguezi Gilbert 2002, Viayeh i Špoljar 2012). Zbog svoje slabe pokretljivosti i većih dimenzija u odnosu na druge vrste zooplanktona, rašljoticalci su glavni izvor hrane za planktivorne ribe (Burks i sur. 2002, Compte i sur.2012). Kao filtratori, rašljoticalci i mnoge vrste kolnjaka hrane se algama, detritusom i bakterijama dok se veslonošci hrane većinom fitoplanktonom i praživotinjama (protozoa), a neke vrste su i grabežljivci te love svoj plijen. Praživotinje se dijele na: protozooplankton kojeg čine ciliati, heliozoa i tintinida te na metazooplankton kojeg čine višestanični zooplanktoni kao rakovi, pelagički školjkaši i razne vrste ličinki (Dieguezi Gilbert 2002, Viayeh i Špoljar 2012).



**Slika 1.** Shematski prikaz strukturne zajednice zooplanktona i izmjena ekoloških stanja u ekosustavima

### 1.3. Biotičke interakcije zooplanktona u različitim sastojinama makrofita

Zooplankton je važan izvor hrane planktivornim ribama. Svojom prehranom zooplankton kontrolira rast fitoplanktona te ima središnju ulogu u hranidbenim mrežama slatkovodnih sustava, ne samo zato što su glavna karika u protoku energije između primarnih proizvođača i potrošača na višim trofičkim razinama, već i zbog sudjelovanja u kruženju hranjivih tvari u metaboličkim procesima (Zingel i Haberman2008, Wilkinson 2010).

Osim što imaju važnu ulogu u hranidbenoj mreži, rašljoticalci i veslonošci sudjeluju u "dnevnim migracijama" (Castro i sur. 2005). Dnevne vertikalne migracije (DVM) zooplanktona u pelagičku zonu dubokih jezera i dnevne horizontalne migracije (DHM) iz pelagičke u litoralnu zonu plitkih jezera i/ili obrnuto, dobro su poznate i istražene metode izbjegavanja predatora (Burks i sur. 2001a, Chalkia i sur. 2012). One ovise o stupnju prozirnosti i prisutnosti određenih vizualnih predatora (adultnih i ličinačkih stadija riba) koji utječu na strukturu zooplanktonske zajednice. U dubokim jezerima, veliki zooplankton, poput *Daphnia*, smanjuje

učinke pelagičkih riba i beskralježnjaka (npr. *Chaoborus*) migriranjem u dublje, mračnije i hladnije vode tijekom dana. Međutim, u nestratificiranim plitkim jezerima, odnosno, u nedostatku hipolimnetičkog zaklona, zooplankton migrira vodoravno u potrazi za zaklonom između makrofita litoralne zone kako bi izbjegli predatore (Burks i sur. 2001b, Castro i sur. 2007, Wilkinson 2010).

Postoje dva temeljna načina kontrole akvatičkih populacija, kontrola hranjivim tvarima (*bottom-up*) i kontrola predatorima (*top-down*) (Castro i sur. 2007). *Top-down* kontrola je potencijalno veća u plitkim jezerima, a iznimka su jezera s velikim postotkom submerznih makrofita, jer u njima zooplankton može lakše naći zaklon od predatora. U prilog tome idu činjenice da biomasa riba ne ovisi o dubini već o količini i vrsti plijena (Jeppesen i sur. 2011, Rodríguez i sur. 2013). Planktivorne ribe uzrokuju veći predacijski pritisak u plitkim jezerima, jer plitka jezera sadrže veću biomasu riba po jedinici volumena u odnosu na duboka jezera. Biomasa riba (predatora) ovisi o mogućnosti bijega rašljoticalaca (plijena) od predacije prilikom vertikalnih migracija koje su manje zastupljene u plitkim jezerima. Također, u plitkim jezerima je biomasa bentoskih beskralježnjaka veća pa time prehrana riba manje ovisi o zooplanktonu (Jeppesen i sur. 1997).

Utjecaj riba na zooplankton jezera ovisio strukturi hranidbene mreže i stupnju trofije jezera. Istraživanja slatkovodnih staništa ukazuju da oscilacije brojnosti planktivornih riba mogu izazvati velike promjene u veličinskoj raspodjeli, strukturi zajednice ili promjeni ponašanja zooplanktona. Planktivorne ribe imaju mogućnosti hvatanja mikrozooplanktona s visokom učestalošću, koja može biti čak jedan plijenu sekundi (Bartosiewicz i Gliwicz 2011). Ako je predacijski pritisak riba slab, kombinacija predacijskog pritiska beskralježnjaka i dostupnost hranjivih tvari može uzrokovati dominaciju makrozooplanktona. Kaskadni učinak (fenomen utjecaja krajnjeg predatora kaskadno se prenosi s jedne trofičke razine na drugu sve do primarnih producenata; slijed u kojem organizmi prisutni na jednoj razini hranidbene mreže osiguravaju izvor hrane organizmima prisutnim na drugoj razini) predacije riba jasno je prikazan u slatkovodnim sustavima u kojima je abundancija ribe izmanipulirana uklanjanjem ili uzgojem (Iglesias 2010, Jeppesen i sur. 2010).

Selektivna potraga riba za hranom, na temelju veličinske selekcije plijena, smatra se ključnim čimbenikom određivanju strukture zajednice i produktivnosti populacije plijena (Jeppesen i sur. 2004). Veliki zooplankton, poput *Daphnia*, poželjan je plijen vizualnim planktivornim ribama i zato su male brojnosti ili su u potpunosti odsutni u prisutnosti riba. S druge strane, manji zooplankton, poput *Bosmina*, često koegzistira s velikom brojnošću planktivornih riba (Winder i sur. 2003, Iglesias 2010).

Planktivorne ribe, kao i zooplankton, su tijekom godina morfoloških promjena stekle određene metode izbjegavanja predacije. Najčeće se prikazuju kao promjene ponašanja u skupini ili pažljivom odabiru dubine, u odnosu na intenzitet svjetlosti. Planktivorne ribe biraju optimalno osvjetljenje, dovoljno jako da uoče svoj plijen – zooplankton, ali u isto vrijeme dovoljno slabo da ostanu skrivene predatorima poput piscivornih riba ili ptica (Bartosiewicz i Gliwicz 2011).

Litoralna zona pruža zaklon zooplanktonu u bijegu od riba zahvaljujući svojoj strukturalnoj složenosti, ali je i stanište epifitskih i bentoskih beskralježnjaka (taktilni predatori) kojima je zooplankton pijen (Beklioglu i Jeppesen 1999, Burks i sur. 2001a, Burks i sur. 2002). Njima pripadaju neke vrste iz skupine veslonožaca (Copepoda) te ličinački stadiji kukaca koji se hrane drugim zooplanktonima, npr. veslonošcima su plijen trepetljikaši iz skupine Tintinnida i kolnjaci (Primc 1986, Sanders i Wickham 1993, Meerhoff i sur. 2007). Kolnjaci, zbog svoje male veličine tijela, nisu pod izravnim predacijskim pritiskom odraslih planktivornih riba, iako su glavna hrana ličinkama riba i taktilnim predatorima poput oblika veslonožaca.

U jezerima s flotantnim makrofitima veća je brojnost planktivornih riba i predatorskih beskralježnjaka ispod njihovih listova u odnosu na submerzne makrofite (Dorenbosch i Bakker 2012). Za razliku od submerznih makrofita koji su u kompeticiji za nutrijentima sa fitoplanktonom i perifitonom, sa flotantima je obrnuta situacija te oni mogu prevladati. Stanje "prozirne vode" pogoduje rastu flotantnih makrofita, ne zbog bioturbacije i smanjene prozirnosti, već zbog toga što se kompeticija sa fitoplanktom smanjuje na minimum. Utjecaj na fizikalno-kemijske parametre veći je kod submerznih makrofita, jer utjecaj flotantnih makrofita uvelike ovisi o postotku pokrovnosti te biomasi. Brojna istraživanja su dokazala kako zooplankton srednje veličine preferira submerzne makrofite kao zaklon od predacijskog pritiska, unatoč velikoj gustoći juvenilnih oblika planktivornih riba (Meerhoff i sur. 2003). U pojasu makrofita, zooplankton koji izbjegava pelagijske predatore, dolazi u doticaj s predatorima u području litorala. Planktivorne ribe iz pelagijala također mogu među makrofitima potražiti zaštitu od piscivornih riba. Predatorski beskralježnjaci i planktivorne ribe time umanjuju učinkovitost flotantnih makrofita kao skloništa zooplanktona (Burks i sur. 2002, Compte i sur. 2012).

## 2. Ciljevi rada

Rezultati dosadašnjih istraživanja ukazuju da submerzni makrofiti pružaju sklonište zooplanktonu od predacije riba (Burksi sur. 2002, Cazzanelli i sur. 2008) kao i veliku ponudu hrane beskralježnjacima i kralježnjacima u vodenim ekosustavima (Kuczyńska-Kippen i sur. 2007, Špoljar i sur. 2011a, 2012). Prozirnost značajno utječe na horizontalnu raspodjelu zooplanktona jer veća prozirnost pogoduje vizualnim predatorima u hvatanju plijena, dok zooplankton nalazi sklonište među makrofitima (Duggani sur.2001, Burksi sur. 2002, Cazzanellii sur. 2008). U dosadašnjim je istraživanjima dokazano da strukturno složenije stabljike pružaju bolje sklonište zooplanktonu i supstrat za epifiton u odnosu na makrofite jednostavnih stabljika (Duggani sur. 2001, Kuczyńska-Kippen 2003, Becerra-Munoz i Schramm 2007, Cazzanelli i sur. 2008). Osnovna hipoteza ovog rada bila je da širina pojasa makrofita i struktura stabljike te predacijski pritisak imaju utjecaj na strukturu zooplanktona.

Ciljevi istraživanja bili su utvrditi sljedeće:

- raznolikost i brojnost zooplanktona u jezerima sa submerznim i flotantnim sastojinama;
- utjecaj predacije riba na sastav i veličinsku strukturu zooplanktona u jezerima s različitim sastojinama makrofita;
- utjecaj makrofita i predacije riba na ženke kolnjaka i rakova s jajašcima;
- utjecaj abiotičkih i biotičkih čimbenika na kvalitativni i kvantitativni sastav zooplanktona.

### 3. Materijali i metode

#### 3.1. Područje istraživanja

Istraživana su tri lokaliteta: rukavac Sutle, mrtvaja Škrčev kut i šljunčara Zajarki, koja se nalaze u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske, u Hrvatskom zagorju. Istraživani lokaliteti nalaze se uz rijeke Krapinu i Sutlu. Sutla je granična rijeka između Hrvatske i Slovenije s ukupnom dužinom oko 91 km, pripada Savskom odnosno Crnomorskom slivu čije su aluvijalne ravnice najniži dio Hrvatskog zagorja.

Istraživana tri lokaliteta različitog su postanka, morfometrije, prozirnosti, sastava i pokrovnosti makrofitima. Sva tri lokaliteta danas su ribnjaci kojima upravlja Sportsko ribolovno društvo „Šaran“ Zaprešić te su poribljeni šarankama, dok je šljunčara Zajarki najveći šaranski ribnjak u Hrvatskoj. Okolnu vegetaciju sva tri hidrosustava čine vrbe (*Salix* sp.) i topole (*Populus* sp.).

Rukavac rijeke Sutle (S), sastoji se od dva međusobno povezana bazena:

- gornji bazen - plitak, manje površine i velike pokrovnosti submerznim makrofitima  $70 \pm 80$  %, dominantom vrstom *Ceratophyllum demersum* (voščika) te je veće prozirnosti i
- donji bazen - dublji, veće površine, bez submerznih makrofita i veće mutnoće.

Gornji bazen je pod intenzivnim utjecajem ispiranja tvari s okolnih livada i oranica, dok je donji bazen pod utjecajem intenzivnog sportskog ribolova (poribljavanje, upotreba proteinskih mamaca i prihranjivanja) (Tablica 1, Slika 2).

Mrtvaja Škrčevkut (ŠK) je antropogenog porijekla odsječeni meandar rijeke Krapine nastao odvajanjem od glavnog toka rijeke uslijed gradnje Zagorske magistrale pedesetih godina XX stoljeća. Mrtvaja Škrčev kut je plitka, male površine, velike mutnoće sa srednjom pokrovnošću ( $30 \pm 40$  %) flotantnih makrofita (lokvanj *Nuphar lutea*). Pod velikim je utjecajem ispiranja tvari s okolnih livada i oranica te sportskog ribolova (Tablica 1, Slika 2).

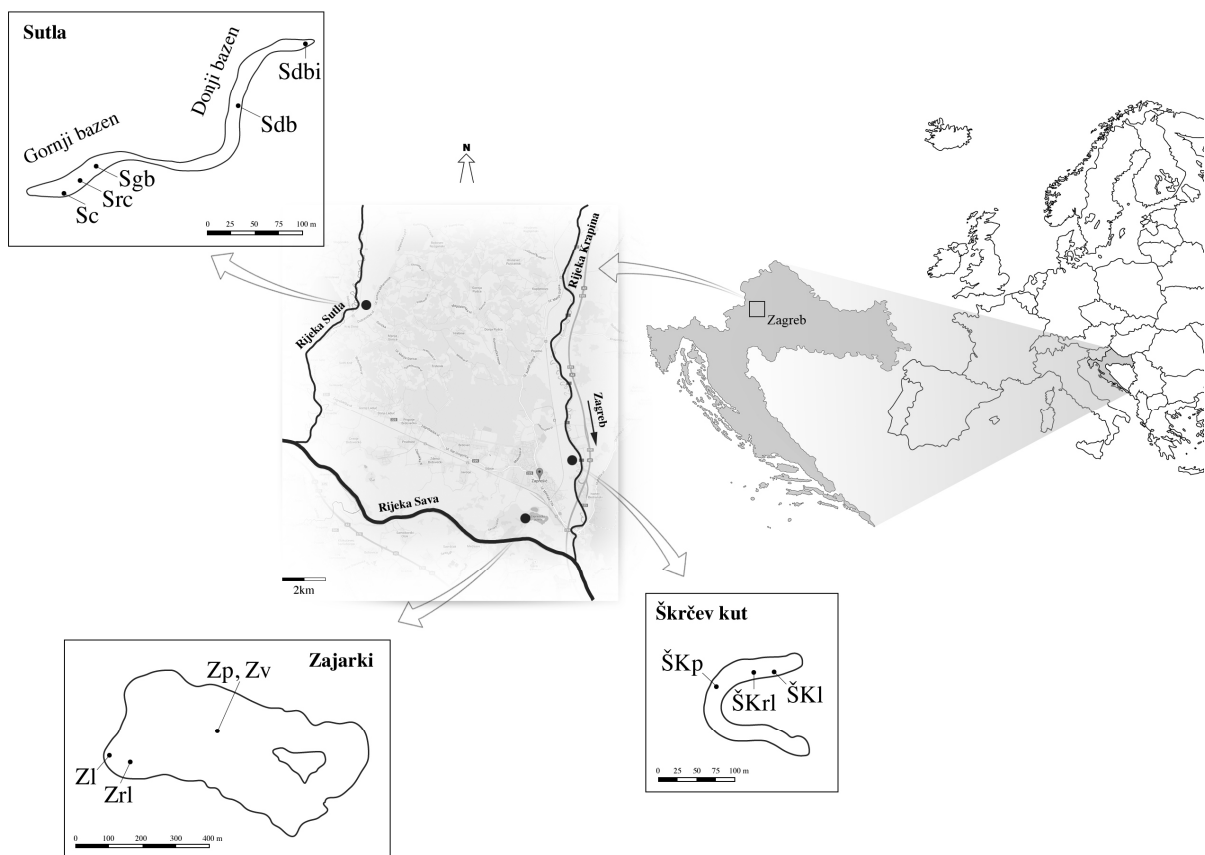
Jezero Zajarki (Z) je također antropogenog porijekla po postanku šljunčara nastala na aluvijalnim nanosima blizu ušća Krapine u Savu (Tablica 1, Slika 2). Počeci iskapanja šljunka na mjestu današnjeg jezera Zajarki počeli su sedamdesetih godina dvadesetog stoljeća te su trajali do 2010. godine. U početku je nastalo nekoliko malih ujezerenja koja su iskapanjem šljunka spojena i produbljena. Šljunčara Zajarki je dublja, veće površine i prozirnija u odnosu na ostala dva istraživana lokaliteta. Šljunčaru obilježava malo flotantnih makrofita, a dominira



lokvanj, *Nuphar lutea*. Antropogeni utjecaj se očituje u sportskom ribolovu i ljetnoj sezoni kada se šljunčara koristi za kupanje i rekreaciju.

**Tablica 1.** Morfometrija i obilježja makrofita istraživanih vodenih ekosustava: rukavca rijeke Sutle, mrtvaje Škrčev kut i šljunčare Zajarki

Obilježje	Lokalitet		
	Sutla (S)	Škrčev kut (ŠK)	Zajarki (Z)
Koordinate	45 54'51" S 15 42'11" I	45 51'45" S 15 49'29" I	45 50'36" S 15 48'78" I
Duljina max (m)	312	300	750
Širina max (m)	20	12	310
Površina (m <sup>2</sup> )	13 000	3 000	30 000
Dubina max (m)	3	2	6
Pokrovnost makrofitima (%)	70 - 80	30 - 40	10,00
Prozirnost vode (m)	0,91±0,44	0,48±0,15	1,32±0,80
TSI <sub>(SD)</sub>	55	63	49
Stupanj trofije	Mezotrofno	Izrazito eutrofno	Mezotrofno
Tip vodenih makrofita	Submerzni	Flotantni	Flotantni
Vrsta vodenih makrofita	Voščika ( <i>Ceratophyllum demersum</i> )	Lokvanj ( <i>Nuphar lutea</i> )	Lokvanj ( <i>Nuphar lutea</i> )
Okolno područje	Livade i oranice	Livade i oranice	Uređene obale za sportski ribolov i rekreaciju
Antropogeni utjecaj	Ispiranje s poljoprovrednih površina Sportski ribolov	Ispiranje s poljoprovrednih površina Sportski ribolov	Sportski ribolov Rekreacija u ljetnim mjesecima



**Slika 2.** Shematski prikaz istraživanog područja: S - rukavac Sutle, ŠK - mrtvaja Škrčev kut i Z - šljunčara Zajarki s označenim postajama uzorkovanja: Sc - rukavac Sutle unutar sastojina *Ceratophyllum demersum*, Src - rukavac Sutle rub sastojina *Ceratophyllum demersum*, Sgb - rukavac Sutle gornji bazen pelagijal, Sdb - rukavac Sutle donji bazen pelagijal, Sdbi - rukavac Sutle izlaz iz donjeg bazena; ŠKl - mrtvaja Škrčev kut unutar sastojina lokvanja *Nuphar lutea*, ŠKrl - mrtvaja Škrčev kut rub sastojina lokvanja *Nuphar lutea*, ŠKp - mrtvaja Škrčev kut pelagijal; Zl - šljunčara Zajarki unutar sastojina lokvanja *Nuphar lutea*, Zrl - šljunčara Zajarki rub sastojina lokvanja *Nuphar lutea*, Zp - šljunčara Zajarki pelagijal i Zv - šljunčara Zajarki vertikalni pridneni sloj

### 3.2. Sakupljanje i analiza uzoraka zooplanktona

Uzorci su sakupljeni jednom mjesečno tijekom ljetnog razdoblja (srpanj, kolovoz, rujan) 2012. godine (Slika 2).

Na lokalitetu, rukavcu rijeke Sutle (S), uzorkovano je 5 postaja: Sutla unutar sastojina *Ceratophyllum demersum* (Sc), Sutla rub sastojina *Ceratophyllum demersum* (Src), Sutla Gornji bazen pelagijal (Sgb), Sutla Donji bazen pelagijal (Sdb) i Sutla izlaz iz Donjeg bazena (Sdbi).

Na lokalitetu mrtvaja Škrčevkut (ŠK), uzorkovane su 3 postaje: Škrčev kut unutar sastojine lokvanja *Nuphar lutea* (ŠKl), Škrčev kut rub sastojina lokvanja *Nuphar lutea* (ŠKrl) i Škrčev kut pelagijal (ŠKp).

Na lokalitetu šljunčara Zajarki (Z) uzorkovane su 4 postaje: šljunčara Zajarki unutar sastojine lokvanja *Nuphar lutea* (Zl), šljunčara Zajarki rub sastojine lokvanja *Nuphar lutea* (Zrl), šljunčara Zajarki pelagijal (Zp) i šljunčara Zajarki vertikalni pridneni sloj (Zv).

Uzorci zooplanktona uzimani su planktonskom mrežom promjera oka 26  $\mu\text{m}$ , a uzorci iz vertikalnog pridnenog sloja uzimani su Van Dornovim uzorkivačem (volumen 5 L). Na svim postajama uzorci su skupljeni u triplikatu,  $3 \times 10$  L vode, osim na postaji Zv gdje je profiltriran manji volumen vode,  $3 \times 5$  L. Svi uzorci su dopremljeni u Limnološki laboratorij Zoologijskog zavoda Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu u prijenosnim hladnjacima i spremljeni u hladnjak na temperaturi od 4 C. Determinacija vrsta provedena je na živom materijalu, a zatim su uzorci fiksirani (4 % formalin) te centrifurirani (EBA, Hettich; 3500 okretaja u minuti, u trajanju 5 minuta) u svrhu koncentriranja uzoraka na volumen od 3 do 11 mL. Svaki je uzorak izbrojan u tri poduzorka korištenjem svjetlosnog mikroskopa oznake Jenaval (Carl Zeiss Jena, 125 $\times$  i 400 $\times$ ), a brojnost zooplanktona izražena je brojem jedinki po litri (jed/L) kao srednja vrijednost triplikata.

Za determinaciju planktonskih vrsta korišteni su sljedeći ključevi: Steble i Krauter (1973) – Sarcodina i Ciliophora, Voigt i Koste (1978) – Rotifera (kolnjaci), Amoros (1984) – Cladocera (rašljoticalci), Einsle (1993) – Copepoda (veslonošci), a za determinaciju vrsta iz skupine Gastrotricha (trbodlaci) korišten je ključ Rundle (2002). Ostali organizmi koji su iz bentosa ušli u stupac vode (npr. Gastrotricha) te skupine Ostracoda i Insecta razvrstani su do viših sistematskih kategorija.

Ihtiofauna je uzorkovana danju elektroagregatom (Hans Grassl EL 63II; 220/400 V; 17,8/8,9 A) u trajanju od 15', a brojnost jedinki izražena je kao jed/ulov 15'. Dužina i masa riba izmjerene su na terenu. Uzorkovanje je provedeno na šest postaja unutar tri lokaliteta – na rukavcu rijeke Sutle – jedna postaja u Gornjem bazenu (Sc) i jedna postaja u Donjem bazenu (Sdb); šljunčara Zajarki – 2 postaje (Zl i Zp) te mrtvaja Škrčev kut – 2 postaje (ŠKl i ŠKp). Determinirane vrste pripadale su sljedećim porodicama: 1) šaranke: šaran – *Cyprinus carpio* (CC) (Linnaeus, 1758), babuška – *Carassius gibelio* (CG) (Bloch, 1782), vijun – *Cobitis elongata* (CE) (Heckel et Kner, 1858), bodorka – *Rutilus rutilus* (RR) (Linnaeus, 1758), bezribica – *Pseudorasbora parva* (PP) (Temminck & Schlegel, 1842), obična uklija – *Alburnus alburnus* (AA) (Linnaeus, 1758), klen – *Squalius cephalus* (SC) (Linnaeus, 1758), crvenperka – *Scardinius erythrophthalmus* (SE) (Linnaeus, 1758), deverika – *Abramis brama* (AB) (Linnaeus, 1758), karas – *Carassius auratus* (CA) (Linnaeus, 1758); 2) grgečke: grgeč – *Perca fluviatilis* (PF) (Linnaeus, 1758) i sunčanica – *Lepomis gibbosus* (LG) (Linnaeus, 1758); 3) štuke: štuka – *Esox lucius* (EL) (Linnaeus, 1758); 4) somovi: patuljasti somić – *Ameiurus nebulosus* (AN) (Le Sueur, 1819). Navedene kratice vrsta bit će korištene u grafičkim prikazima. Prema prehrani, većina prisutnih vrsta pripadale su planktivornim i/ili omnivornim ribama.

### 3.3. Analiza fizikalno-kemijskih svojstava vode

Osnovni limnološki čimbenici izmjereni su na terenu odgovarajućim sondama: temperatura, koncentracija otopljenog kisika, pH vrijednost (Hatch HQ30d), ukupne otopljene tvari, TDS (eng. *total dissolved solids*) i konduktivitet (Hach sensION5). Prozirnost je izmjerena korištenjem Secchi diska.

Paralelno s uzorcima zooplanktona uzimani su uzorci vode za fizikalno-kemijsku analizu ostalih limnoloških čimbenika: mutnoća (NTU, eng. *Nephelometric Turbidity Unit*), koncentracija otopljenih organskih tvari temeljem kemijske potrošnje kisika (KPK<sub>Mn</sub>) i hranjive tvari (amonijak, nitriti, nitrati, ukupan dušik, fosfati, ukupni fosfor). Za njihovo određivanje prema APHA (1995) korištene su volumetrijske i spektrofotometrijske metode (spektrofotometar HACH DR/2000). Kao izvori hrane razmatrani su koncentracija suspendiranih organskih tvari ili detritusa (temeljem mase organske tvari) i biomasa fitoplanktona (temeljem koncentracije klorofila *a*, Chl *a*).

Iz skupine dušičnih spojeva određivani su amonijak, nitriti, nitrati i ukupni dušik. Amonijak, nitriti i nitrati su određivani ionskim kromatografom (kolona IonPAC AS22, Dionex ICS-3000, APHA 1995), dok je ukupni dušik, TN (eng. *Total Nitrogen*) određen Kjeldahlovom metodom (APHA 1995). Uzorci su obrađeni na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije.

Ukupni fosfor, TP (eng. *Total Phosphorus*) određen je prevođenjem u ortofosfate. Koncentracija ortofosfata određena je spektrofotometrijski metodom s amonijevim molibdatom (APHA 1995). U kiselom mediju ( $\text{pH} < 1$ ) amonij–molibdat reagira s fosfatima i stvara molibdofosfornu kiselinu. Nastala kiselina reducira se s kositar–kloridom i daje intenzivno fosfomolibdensko plavilo. Intenzitet obojenja mjeri se nakon 10 minuta spektrofotometrijski na valnoj duljini 690 nm.

Za određivanje relativne koncentracije otopljene organske tvari, DOM (eng. *Dissolved Organic Matter*,) korištena je metoda kemijske potrošnje kisika iz kalijevog permanganata ( $\text{KPK}_{\text{Mn}}$ ). To je oksido–redukcijska metoda temeljena na kemijskoj reakciji u kojoj kalijev permanganat kao jako oksidacijsko sredstvo oksidira otopljenu organsku tvar. Količina utrošenoga kisika iz permanganata ekvivalentna je količini otopljene organske tvari.

Za procjenu količine detritusa u vodi određivana je masa suspendirane organske tvari, POM (eng. *Particulate Organic Matter*) temeljem vrijednosti gubitka pri žarenju (AFDM, eng. *Ash Free Dry Mass*). Uzorci vode su sakupljeni filtriranjem 30 L vode kroz planktonsku mrežu promjera oka 26  $\mu\text{m}$ . Uzorci su najprije sušeni na temperaturi od 104° C/4h (vaganjem je dobivena masa suhog ostatka), a potom žareni u mufolnoj peći na 600° C/6 h (vaganjem je dobivena masa žarenog ostatka). Razlika masa suhog i žarenog ostatka je gubitak pri žarenju i predstavlja suspendiranu organsku tvar, POM (mg AFDM/L) (Špoljar i sur. 2011a).

Mjerenje koncentracije klorofila *a* (Chl *a*) kao osnovnog fotosintetskog pigmenta većine autotrofnih organizama jedna je od metoda određivanja biomase fitoplanktona. Postupak određivanja koncentracije klorofila *a* proveden je etanolskom ekstrakcijom (Nusch 1980). Absorbancija uzoraka određivana je spektrofotometrijski (HATCH DR/2000) na valnoj duljini apsorpcijskog maksimuma Chl *a* kod 665 nm (Špoljar i sur. 2012).

### 3.4. Analiza podataka

Pokrovnost jezerskog dna makrofitima (%) određena je temeljem omjera širine pojasa makrofita i širine jezera izmjerene na pet lokacija na svakom jezeru (Lau i Lane 2002).

Vrijednosti TSI (eng. *Trophic State Index*) izračunate su temeljem prozirnosti izmjerenih Secchi diskom te govore o stupnju produktivnosti vodenog sustava (Carlson 1977).

Stupanj trofije sustava određen je prema Carlsonu(1977). Iz prozirnosti vode mjerene Secchi diskom (SD), izračunava se indeks stupnja trofije (TSI) prema formuli:

$$\text{indeks stupnja trofije (TSI}_{SD}) = 10 \times (6 - \log_2 SD)$$

Plitki nestratificirani vodeni sustavi mogu se podijeliti na:

- mezo-eutrofne (2,8 m -1,4 m; TSI<sub>SD</sub> 45-55)
- eutrofne (1,4 m - 0,6 m; TSI<sub>SD</sub> 55-65)
- politrofne (< 0,6 m; TSI<sub>SD</sub> > 65)

Prije statističke analize svi podaci su logaritamski transformirani [ $\log(x+1)$ ] i provedena je provjera raspodjele Shapiro Wilk's T testom, koji je ukazivao na njihovu nepravilnu raspodjelu. Stoga je za daljnju analizu prostornih i vremenskih promjena fizikalno-kemijskih čimbenika, brojnosti i raznolikosti zooplanktona, brojnosti i morfometrijskih obilježja ihtiofaune korišten neparametrijski Kruskal Wallis test (usporedba više nezavisnih varijabli), a za detaljnu informaciju o značajnosti razlika između pojedinih postaja korišten je *post hoc* test višestruke usporedbe. Prilikom utvrđivanja stupnja značajnosti prostornih razlika zooplanktona korišten je neparametrijski Mann-Whitney U test za usporedbu dviju nezavisnih varijabli, a prilikom utvrđivanja značajnosti korelacija između pojedinih okolišnih čimbenika te korelacija između okolišnih čimbenika i zooplanktona korišten je Spearmanov koeficijent korelacije ( $r$ ). Nemetričko multidimenzionalno skaliranje (NMDS) korišteno je za utvrđivanje sličnosti između postaja temeljem brojnosti dominantnih skupina zooplanktona. Navedena analiza se temelji na Bray Curtis-u indeksa sličnosti.

Za statističku analizu ovih podataka korišten je program STATISTICA 8.0 (StatSoft inc., 2007) i računalni program PRIMER (PRIMER-E, Plymouth, UK). Granična  $p$  vrijednost u svim statističkim analizama bila je 0,05. U prikazu podataka korištene su osnovne statističke mjere kao što su srednja vrijednost (SV) i standardna devijacija (SD). Tabelarni i grafički prikazi podataka izrađeni su pomoću računalnog programa Microsoft Office Excel 2007 (Microsoft Corporation 2007).

## 4. Rezultati

U rezultatima su prikazane promjene fizikalno-kemijskih čimbenika, brojnosti i raznolikosti zooplanktona i ihtiofaune na tri različita lokaliteta – rukavcu rijeke Sutle, mrtvaji Škrčevkut i šljunčari Zajarki.

### 4.1. Promjene fizikalno-kemijskih čimbenika

Ukupno je analizirano 13 fizikalno-kemijskih čimbenika. Njihove oscilacije između postaja na svakom od istraživanih lokaliteta nisu bile statistički značajne (Kruskal-Wallis test,  $p > 0,05$ ), stoga su razmatrane između lokaliteta. Vrijednosti temperature, pH i koncentracije suspendiranih organskih tvari (POM), nisu se statistički značajno razlikovale (Kruskal-Wallis test,  $p > 0,05$ ) između tri istraživana lokaliteta (Tablica 2).

**Tablica 2.** Minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti (SV) te standardna devijacija (SD) fizikalno-kemijskih čimbenika koji nisu statistički značajni na tri istraživana lokaliteta (Kruskal Wallis,  $n=36$ ,  $p > 0,05$ )

Lokacija		Temperatura ( C)	pH	POM (mg /L)
Sutla (S)	Min	16,50	5,30	0,68
	Max	30,30	9,60	21,28
	SV ±			
	SD	22.70 ± 4.1	7.93 ± 0.87	6.03 ± 7.07
Škrčev kut (ŠK)	Min	18,40	7,59	0,77
	Max	30,80	8,83	4,04
	SV ±			
	SD	24.98 ± 4.78	8.08 ± 0.51	2.68 ± 1.04
Zajarki (Z)	Min	18,30	7,83	0,44
	Max	27,70	8,90	5,59
	SV ±			
	SD	24.04 ± 3.44	8.23 ± 0.39	1.83 ± 1.63

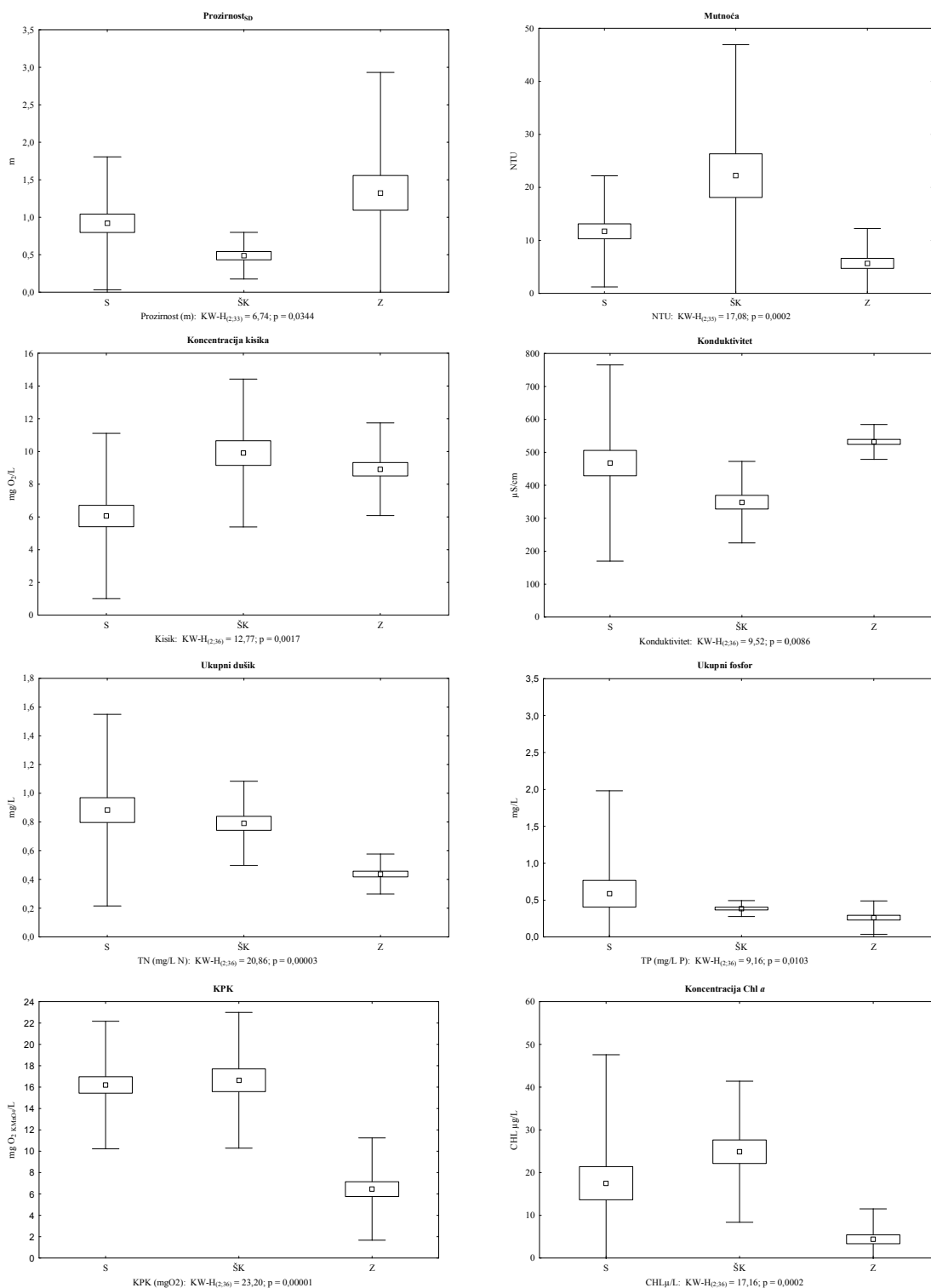
Statistički značajne oscilacije (Kruskal-Wallis test,  $p < 0,05$ ) fizikalno-kemijskih čimbenika te njihove minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti prikazane su na Slici 3.

Prozirnost je na lokalitetu najmanjeg stupnja trofije, Zajarki ( $1,32 \pm 0,80$  m) bila značajno veća u odnosu na vodena tijela većeg stupnja trofije, Škrčev kut ( $0,48 \pm 0,15$  m) i Sutla ( $0,91 \pm 0,44$  m), dok je najveća mutnoća izmjerena u mrtvaji Škrčev kut, a najmanja u šljunčari Zajarki (Slika 3).

Koncentracije otopljenog kisika na Škrčev kut ( $9,90 \pm 2,25$  mg/L) bile su značajno veće u odnosu na Sutlu ( $6,05 \pm 2,52$  mg/L). Značajne razlike uočene su u vrijednostima kemijske potrošnje kisika između lokaliteta postaja na Sutli i Škrčevom kutu gdje su se vrijednosti kretale oko 16 mg O<sub>2</sub>/L, dok su se na šljunčari Zajarki kretale oko 6 mg O<sub>2</sub>/L (Slika 3).

Najveće vrijednosti konduktiviteta izmjerene su na šljunčari Zajarki, koncentracije Chl *a* u mrtvaji Škrčev kut, a najveće koncentracije ukupnog dušika i fosfora izmjerene su u rukavcu Sutle.

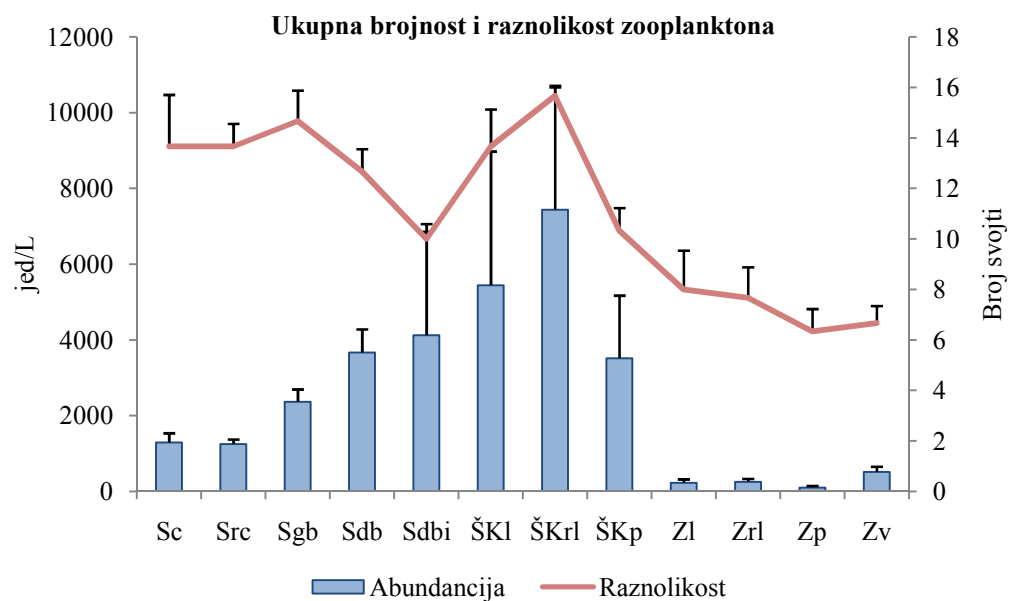




**Slika 3.** Statistički značajne (Kruskal Wallis, p = 0,05) promjene okolišnih čimbenika: prozirnost<sub>SD</sub> (m), mutnoća (NTU), koncentracija kisika (mg O<sub>2</sub>/L), konduktivitet (µS/cm), koncentracije ukupnog dušika (mg/L), koncentracije ukupnog fosfora (mg/L), kemijska potrošnja kisika (mg O<sub>2</sub>/L) i koncentracija Chl *a* (µg/L) između istraživanih postaja  
 Legenda: □ SV, □ SV ± SE, ⊥ Minimalna / Maksimalna vrijednost

## 4.2. Brojnost i raznolikost zooplanktona

Na tri lokaliteta i sveukupno 12 postaja determinirano je 39 vrsta zooplanktona, a 32 vrste pripadale su kolnjacima. Najveća raznolikost utvrđena je na lokalitetu Škrčev kut (27 svojti), na rukavcu Sutlenešto manja (26 svojti), dok je najmanja raznolikost utvrđena na lokalitetu Zajarki (25 svojti) (Slika 4).



**Slika 4.** Prostorne razlike u brojnosti i raznolikosti zooplanktona (Ciliophora, Rotifera, Cladocera i Copepoda) između istraživanih postaja

Najveća brojnost od  $5533 \pm 5088$  jed/L zabilježena je na lokalitetu Škrčev kut, s flotantnim makrofitima i većom mutnoćom. U rukavcu Sutle iznosila je  $2576 \pm 2161$  jed/L, a najniža brojnost,  $308 \pm 219$  jed/L bila je u šljunčari Zajarki, visoke prozirnosti i male pokrovnosti makrofitima.

Rezultati statističke analize (Tablica 3) ukazuju da se šljunčara Zajarki s najmanjom brojnošću i raznolikošću zooplanktona statistički značajno razlikovala od ostala dva lokaliteta u ukupnoj raznolikosti i brojnosti zooplanktona. Od lokaliteta Sutla, Zajarki su se također statistički značajno razlikovali u ukupnoj brojnosti ženki s jajašcima skupine Rotifera i ukupnoj brojnosti svih ženki s jajašcima (Tablica 3).

Značajno veća brojnost Copepoda i Cladocera zabilježena je u rukavcu Sutle u odnosu na lokalitete Škrčev kut i Zajarki (Tablica 3).

Od kolnjaka, vrsta *Trihocerca similis* dominirala je na sve tri lokacije, ali je najveću brojnost postigla na postajama u rukavcu Sutle  $272 \pm 226$  jed/L. U Škrčevom kutu *Keratella tecta* je bila dominantna vrsta s  $2169 \pm 3479$  jed/L, a na šljunčari Zajarki *Keratella cochlearis* sa  $72 \pm 66$  jed/L.

Najveće brojnosti populacija rakova zabilježene su na postajama Donjeg bazena rijeke Sutle – od Cladocera dominirala je vrsta *Bosmina longirostris* koja je najveću brojnost postigla na postaji Si ( $478 \pm 241$  jed/L), dok su kod Copepoda prevladavali naupliji s najvećom brojnošću na postaji Sdb ( $131 \pm 80$  jed/L).

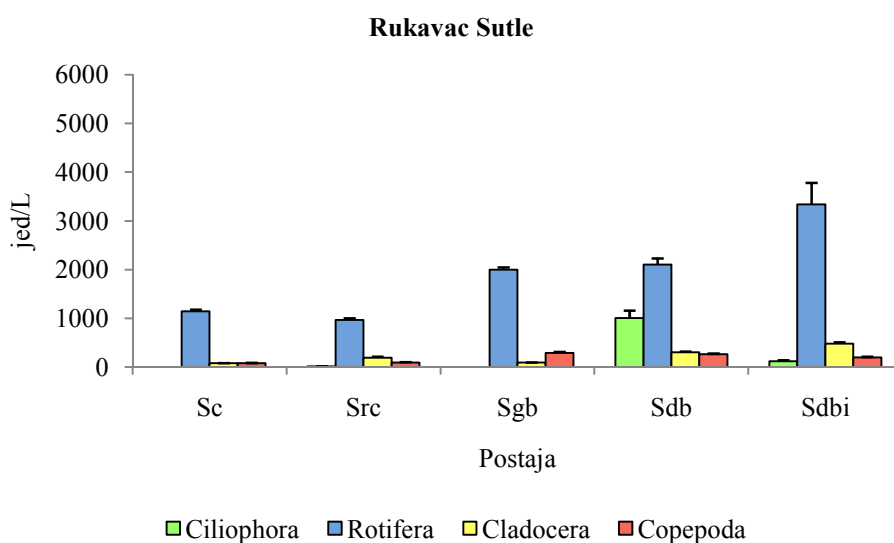
**Tablica 3.** Statistički značajne razlike raznolikosti i brojnosti pojedinih skupina i ukupnog zooplanktona između tri lokaliteta (Kruskal Wallis,  $p < 0,05$ , *post hoc* test višestruke usporedbe,  $n=36$ )

Skupina	<i>H</i>	<i>p</i>	<i>post-hoc</i>
Raznolikost zooplanktona	20,68	0,001	Z < S, ŠK
Rotifera	20,26	0,001	Z < S, ŠK
Cladocera	21,99	0,001	S > ŠK, Z
Copepoda	16,59	0,0002	S > ŠK, Z
Ukupna brojnost zooplanktona	24,02	0,001	Z < S, ŠK
Rotifera s jajašcima	9,78	0,075	Z < S
Ukupna brojnost jedinki s jajašcima	8,6	0,0135	Z < S

### 4.2.1. Rukavac rijeke Sutle

Tijekom istraživanja provedenoga rukavcu rijeke Sutle, na 5 različitim postaja, determinirane su 23 zooplanktonske vrste, od toga 20 vrsta Rotifera (Tablica 4). Postaja Sdbi imala je najveću brojnost ukupnog zooplanktona,  $4121 \pm 4098$  jed/L. Najveća raznolikost zabilježena je na postaji Sgb, gdje je determinirano 15 vrsta, a postaja Src je postaja s najmanjom ukupnom brojnošću zooplanktona od  $1269 \pm 388$  jed/L. Na svim postajama utvrđena je dominacija Rotifera (37 – 82 %). Oni su izrazito veliku brojnost postigli na postajama Donjeg bazena (Sdb –  $2100 \pm 1330$  jed/L i Sdbi –  $3334 \pm 4633$  jed/L). Veliku brojnost Cladocera su postigli na postajama Donjeg, a Copepoda u pelagijalu Gornjeg bazena – postaja Sgb (Slika 5). Postaje Gornjeg bazena – Sc, Src i Sgb imaju približno jednaku raznolikost kao i postaje litoralnog područja mrtvaje Škrčev kut – ŠKI i ŠKrl. To su postaje izrazito različitih obilježja, razlika u mutnoći i trofiji te prisutnosti makrofita. Na ovim postajama zooplankton je bio predstavljen s vrstama Ciliophora (*Tintinnopsis lacustris*), te mikrofiltratorskim, detritivornim vrstama Rotifera (*Keratella tecta*, *Keratella cochlearis*).

Osim ovih skupina, na ovom lokalitetu, u većoj brojnosti prisutni su bili i predstavnici Ciliophora, Tintinnida, koji su najveću brojnost ( $1005 \pm 1582$  jed/L) postigli na postaji Sdb s udjelom većim od 25 %, dok im je udio u planktonu na ostalim postajama bio 1 %. Kod Rotifera su dominirale vrste *Trihocerca similis*, *Brachionus angularis* te bdeloidni kolnjaci. Cladocera su bili predstavljeni uglavnom vrstom *Bosmina longirostris*, a od Copepoda su prevladavali ličinački stadiji nauplii i jedinke vrste *Macrocylops albidus* (Tablica 4).



**Slika 5.** Prostorne razlike u brojnosti pojedinih skupina zooplanktona na istraživanim postajama uzorkovanja rukavca rijeke Sutle

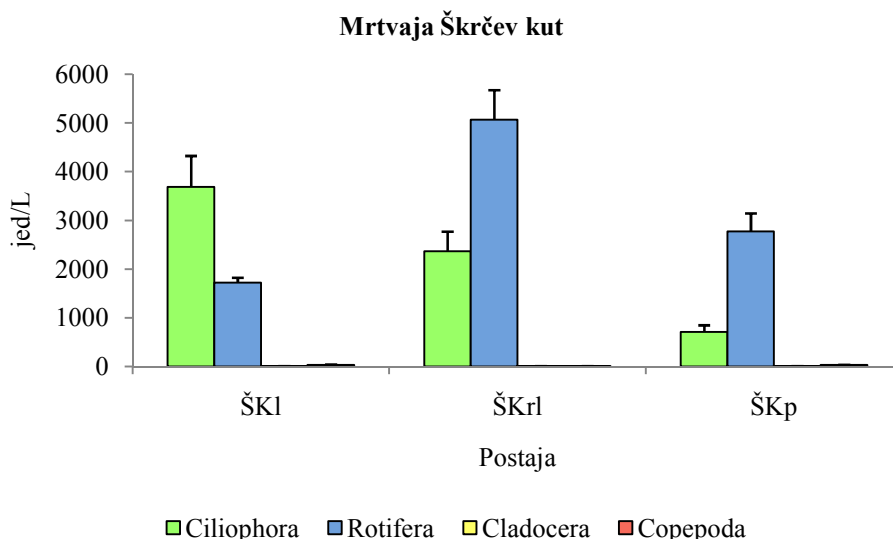
**Tablica 4.** Promjene brojnosti ( $SV \pm SD$ ) i raznolikosti zooplanktona na pet istraživanih postaja lokaliteta Sutle



#### 4.2.2. Mrtvaja Škrčev kut

Na tri postaje ovog plitkog vodenog tijela s dobro razvijenim flotantnim makrofitima determinirano je 27 svojiti utvrđena je najveća ukupna brojnost zooplanktona ( $5533 \pm 1312$  jed/L) (Slika 4). Na ovom lokalitetu značajni udio u planktonu imali su Ciliophora (41 %). Na sve tri postaje zabilježene su izrazito visoke vrijednosti zooplanktona u rasponu od oko 3000 do 7500 jed/L, udio Rotifera iznosio je 58 %. Na ovom lokalitetu, najmanja brojnost ukupnog zooplanktona zabilježena je na postaji ŠKp ( $3520 \pm 3030$  jed/L), a udio Rotifera u zooplanktonu te postaje iznosio je 79 % zooplanktona ( $2773 \pm 3283$  jed/L). Najveća ukupna brojnost zooplanktona zabilježena je na postaji ŠKrl ( $7531 \pm 4952$  jed/L), gdje je udio Rotifera bio veći od 90 %. Na postaji ŠKl najveću brojnost postigli su Ciliophora s udjelom *Tintinnopsis lacustris* od 67 % u ukupnom zooplanktonu ( $3686 \pm 6384$  jed/L) (Slika 6).

Od Rotifera dominirale su vrste *Keratella tecta* čiji udio iznosi 45 % u brojnosti ukupnog zooplanktona s prosječnom brojnošću od  $771 \pm 913$  jed/L i *Trihocerca similis* s brojnošću od  $225 \pm 149$  jed/L. Rakovi su bili zastupljeni s malim udjelom, oko 2 % i brojnošću koja se kretala u rasponu od prosječno 1 do 30 jed/L.



**Slika 6.** Prostorne razlike u brojnosti pojedinih skupina zooplanktona na istraživanim postajama uzorkovanja na mrtvaji Škrčev kut

**Tablica 5.** Promjene brojnosti (SV ± SD) i raznolikosti zooplanktona na tri istraživane postaje lokaliteta Škrčev kut

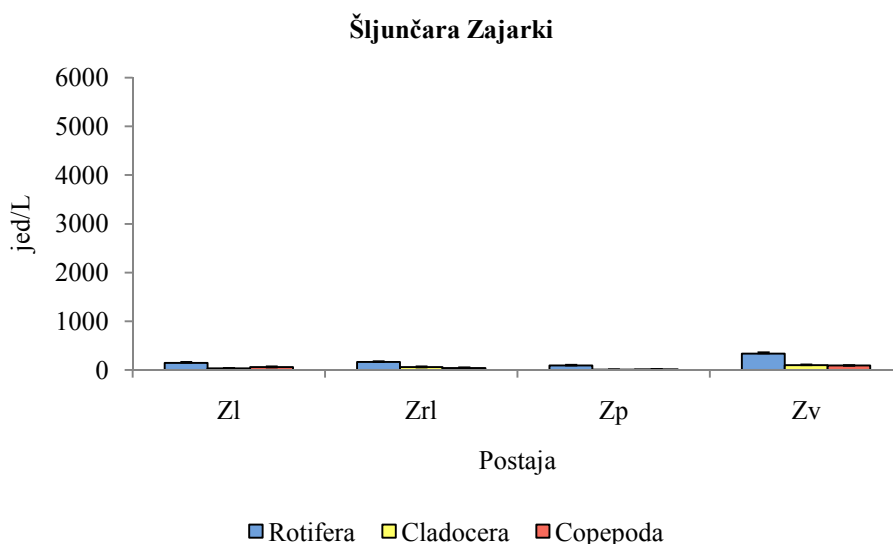
Mese	Postaja 1			Postaja 2			Postaja 3			Srednja	SD	D	D'
	Brojnost	SD	D	Brojnost	SD	D	Brojnost	SD	D				
I	1200	150	1.2	1100	140	1.1	1300	160	1.3	1200	150	1.2	1.1
II	1100	140	1.1	1000	130	1.0	1200	150	1.2	1100	140	1.1	1.0
III	1000	130	1.0	900	120	0.9	1100	140	1.1	1000	130	1.0	0.9
IV	900	120	0.9	800	110	0.8	1000	130	1.0	900	120	0.9	0.8
V	800	110	0.8	700	100	0.7	900	120	0.9	800	110	0.8	0.7
VI	700	100	0.7	600	90	0.6	800	110	0.8	700	100	0.7	0.6
VII	600	90	0.6	500	80	0.5	700	100	0.7	600	90	0.6	0.5
VIII	500	80	0.5	400	70	0.4	600	90	0.6	500	80	0.5	0.4
IX	400	70	0.4	300	60	0.3	500	80	0.5	400	70	0.4	0.3
X	300	60	0.3	200	50	0.2	400	70	0.4	300	60	0.3	0.2
XI	200	50	0.2	100	40	0.1	300	70	0.3	200	50	0.2	0.1
XII	100	40	0.1	50	20	0.05	200	60	0.2	100	40	0.1	0.05
Srednja	700	100	0.7	600	90	0.6	800	110	0.8	700	100	0.7	0.6
SD	150	20	0.1	140	19	0.1	160	21	0.1	150	20	0.1	0.1
D	1.2	0.1	0.1	1.1	0.1	0.1	1.3	0.1	0.1	1.2	0.1	0.1	0.1
D'	1.1	0.1	0.1	1.0	0.1	0.1	1.2	0.1	0.1	1.1	0.1	0.1	0.1

### 4.2.3. Šljunčara Zajarki

Veća prozirnost, površina i dubina te mala pokrivenost flotantnim makrofitima pridonijele su značajnim razlikama brojnosti i raznolikosti šljunčare Zajarki u odnosu na lokalitete Škrčev kut i Sutla (Tablica 3). Na ovom lokalitetu zabilježena je najmanja ukupna brojnost zooplanktona ( $308 \pm 219$  jed/L). Determinirano je 25 vrsta zooplanktona, a najveća raznolikost zabilježena je u litoralu na postaji Zl gdje je determinirano 16 vrsta ( $10 \pm 3$  jed/L) (Slika 4). Oscilacije u brojnosti i raznolikosti skupina i vrsta prikazane su na Slici 7 i u Tablici 5. U pelagijalu je zabilježena najmanja brojnost ( $104 \pm 67$  jed/L) i raznolikost ( $6 \pm 1$  jed/L) zooplanktona na površinskoj postaji Zp, dok je u pridnenom vertikalnom sloju (postaja Zv) brojnost zooplanktona bila  $536 \pm 246$  jed/L.

Od Rotifera, na ovom lokalitetu, vrsta *Keratella cochlearis* s prosječnom brojnošću od  $72 \pm 68$  jed/L je činila 24 % svih Rotifera. Osim nje, svojte *Polyartha* spp. i *Trihocerca similis* postigle su veću brojnost. Na ovoj postaji rakovi su imali udio 39 % ukupnog zooplanktona.

Iz rezultata analize Mann Whitney U testa za usporedbu abiotičkih i biotičkih čimbenika između relevantnih postaja šljunčare Zajarki – Zp i Zv proizlazi da su statistički značajno veće vrijednosti brojnosti zabilježene na postaji Zv ( $Z = -1,96$ ,  $p = 0,05$ ).



**Slika 7.** Prostorne razlike u brojnosti pojedinih skupina zooplanktona na istraživanim postajama uzorkovanja šljunčare Zajarki



**Tablica 6.** Promjene brojnosti ( $SV \pm SD$ ) i raznolikosti zooplanktona na četiri istraživane postaje lokaliteta Zajarki



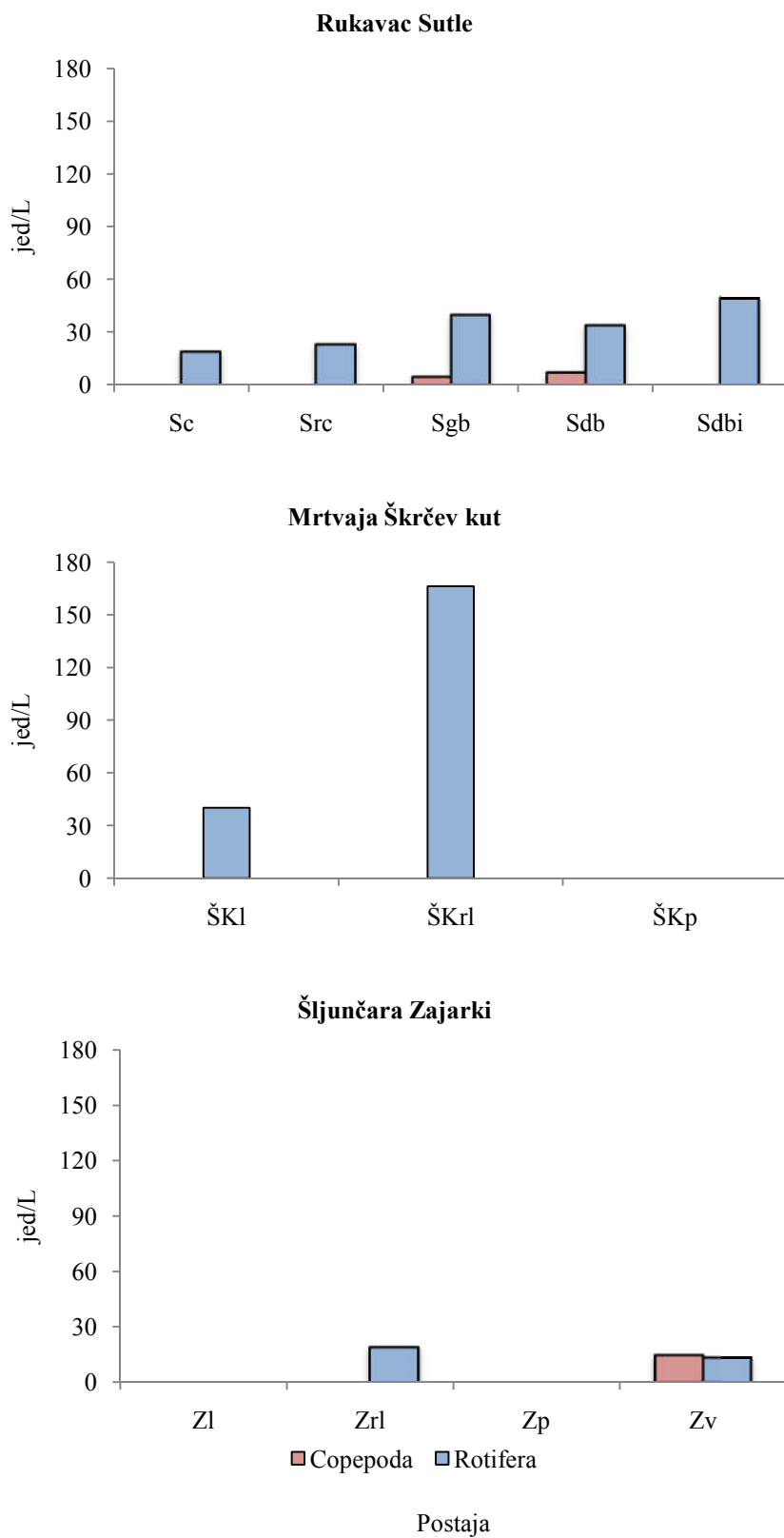
### 4.3. Ženke s jajašcima u zooplanktonu istraživanih lokaliteta

Ženke s jajašcima su na šljunčari Zajarki i Škrčevom kutu najveću brojnost postigle u litoralnoj zoni, unutar i na rubu makrofitskih sastojina, dok su u rukavcu Sutle postigle veću brojnost u pelagijalu Donjeg bazena – mutnog i s manjom pokrovnošću makrofita.

U rukavcu Sutle ženke veslonožaca s jajašcima zabilježene su samo pojedinačno na pelagičkim postajama Sgb i Sdb (Slika 8). Najveća brojnost ženki kolnjaka s jajašcima zabilježena je na postaji Sgb Gornjeg bazena ( $43 \pm 33$  jed/L) i postajama Donjeg bazena ( $33 \pm 25$  jed/L). Postaja s najvećom ukupnom brojnošću ženki s jajašcima bila je Sgb ( $44 \pm 36$  jed/L). Vrsta *Brachionus angularis* je u najvećoj brojnosti predstavljala amiktičke ženke (s ljetnim diploidnim jajašcima) s udjelom većim od 30 % ukupnog broja ženki s jajašcima ovog lokaliteta.

Na lokalitetu Škrčev kut utvrđene su samo ženke kolnjaka s jajašcima. Najveća brojnost zabilježena je na postaji ŠKrl ( $167 \pm 189$  jed/L). Na postaji ŠKrl najbrojnija vrsta ženki s jajašcima bila je *Keratella tecta*.

U šljunčari Zajarki utvrđena je najmanja brojnost ženki s jajašcima ( $5 \pm 10$  jed/L), a na dvije postaje, Zl i Zp, nije zabilježena niti jedna ženka s jajašcima (Slika 8). Na ovom su lokalitetu ženke veslonožaca s jajašcima našle zaklon u pelagičkom pridnenom sloju vode, Zv, a ženke kolnjaka s jajašcima bile su ujednačeno zastupljene na postajama Zv i Zrl (Slika 8). Ženke Rotifera su zabilježene s najvećom brojnošću ( $9 \pm 7$  jed/L), a dominirale su vrste *Keratella cochlearis* ( $12 \pm 1$  jed/L) i *Trihocerca similis* ( $13 \pm 1$  jed/L).



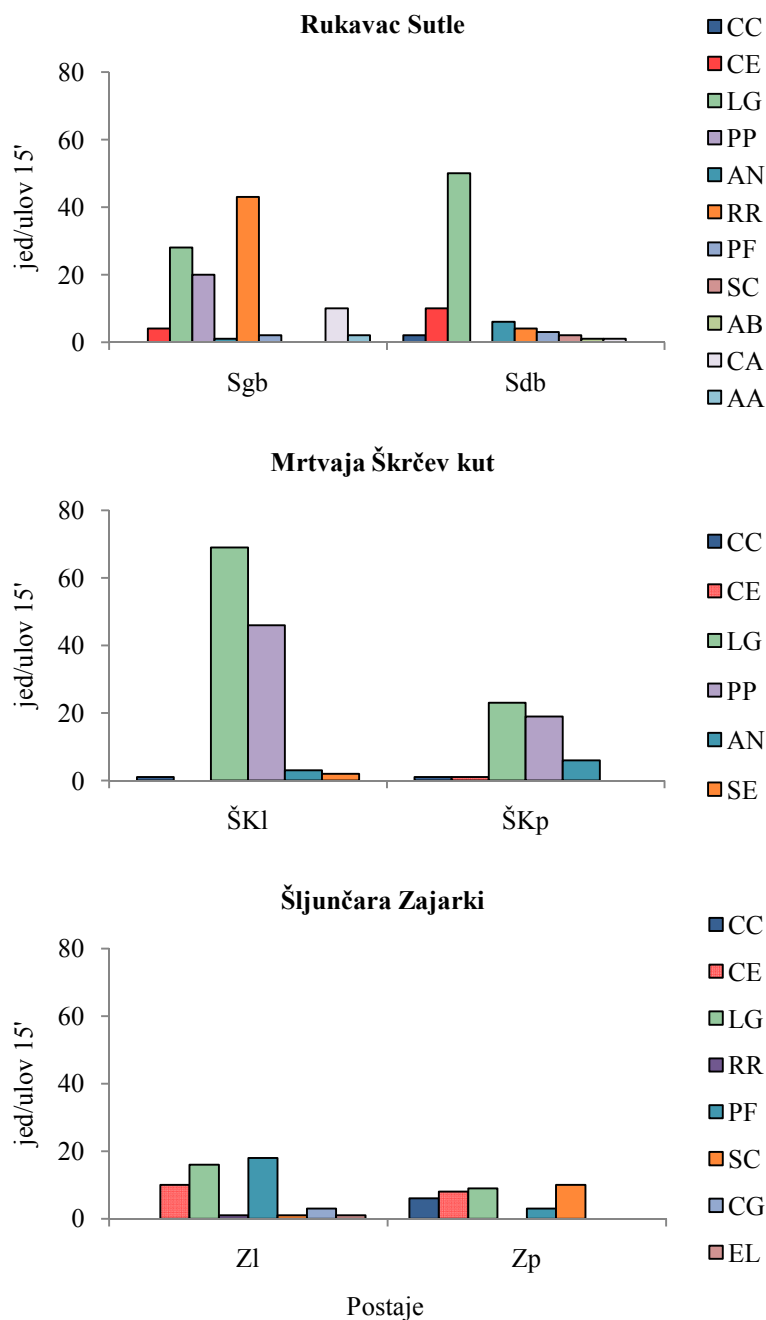
**Slika 8.** Prostorne razlike u brojnosti ženki s jajašcima pojedinih skupina zooplanktona na tri istraživana lokaliteta

#### 4.4. Brojnost i raznolikost ihtiofaune

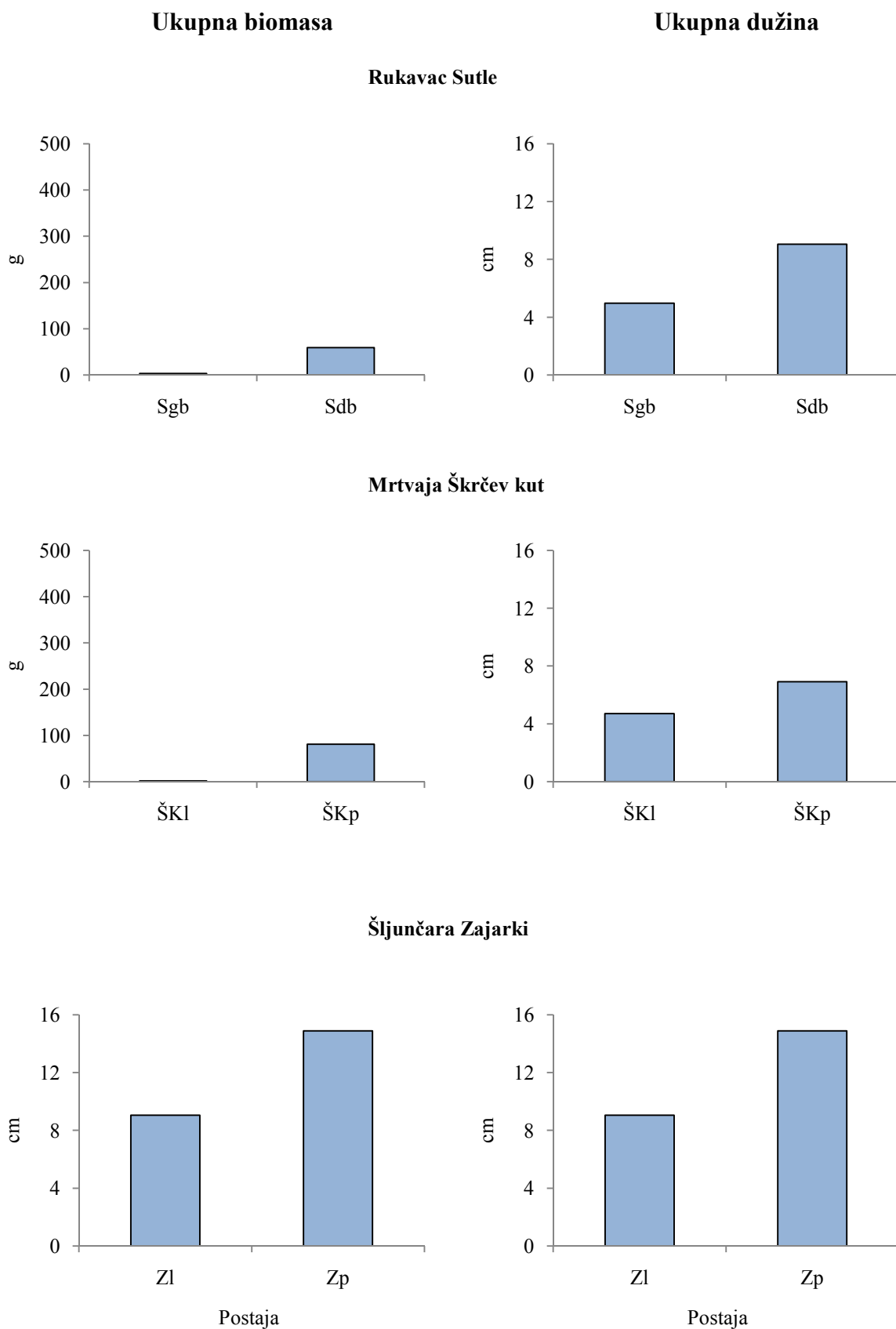
Uzorkovanjem ihtiofaune evidentirano je 14 različitih vrsta riba, od čega 10 iz porodice šaranki, 2 iz porodice grgečki, i po jedna iz porodice somova i štika. Raznolikost se kretala od 5 do 9 vrsta po postaji. Na lokalitetu Sutla zabilježena je najveća ukupna brojnost ( $94 \pm 21$  jed/L), a na lokalitetu Zajarki najmanja ( $43 \pm 9$  jed/L) (Slika 9).

Vrsta sunčanica (*Lepomis gibbosus*) bila je najbrojnija na sva tri lokaliteta (S –  $39 \pm 15$  jed/L; ŠK –  $46 \pm 32$  jed/L; Z –  $12 \pm 4$  jed/L), dok je u Škrčevom kutu imala udio od 54 % u ukupnoj ihtiofauni. Značajnu brojnost postigle su i – bodorka (*Rutilus rutilus*) sa  $23 \pm 27$  jed/L na Sutli, bezribica (*Pseudorasbora parva*) sa  $32 \pm 19$  jed/L na Škrčevom kutu i grgeč (*Perca fluviatilis*) s  $10 \pm 10$  jed/L na šljunčari Zajarki.

Ribe su najveću biomasu i dužinu postigle na postaji Zp  $491,92 \pm 1118,63$  g/jed i  $14,89 \pm 15,78$  cm/jed, dok su najmanju masu postigle na postaji ŠK1  $1,57 \pm 1,52$  g/jed i  $4,70 \pm 1,23$  cm/jed (Slika 10).



**Slika 9.** Prostorne razlike u brojnosti i raznolikosti ihtiofaune na lokalitetima: rukavac Sutle (Gornji i Donji bazen), mrtvaja Škrčev kut (litoral i pelagijal) i šljunčara Zajarki (litoral i pelagijal). Kratice: AA – obična uklija (*Alburnus alburnus*), AB – deverika (*Abramis brama*), AN – patuljasti somić (*Ameiurus nebulosus*), CA – karas (*Carassius auratus*), CC – šaran (*Cyprinus carpio*), CE – vijun (*Cobitis elongate*), CG – babuška (*Carassius gibelio*), EL – štika (*Esox lucius*), LG – sunčanica (*Lepomis gibbosus*), PF – grgeč (*Perca fluviatilis*), PP – bezribica (*Pseudorasbora parva*), RR – bodorka (*Rutilus rutilus*), SC – klen (*Squalius cephalus*), SE – crvenperka (*Scardinius erythrophthalmus*)



**Slika 10.** Prostorne razlike u ukupnoj biomasi i dužini ihtiofaune na lokalitetima Sutla, Škrčev kut i Zajarki

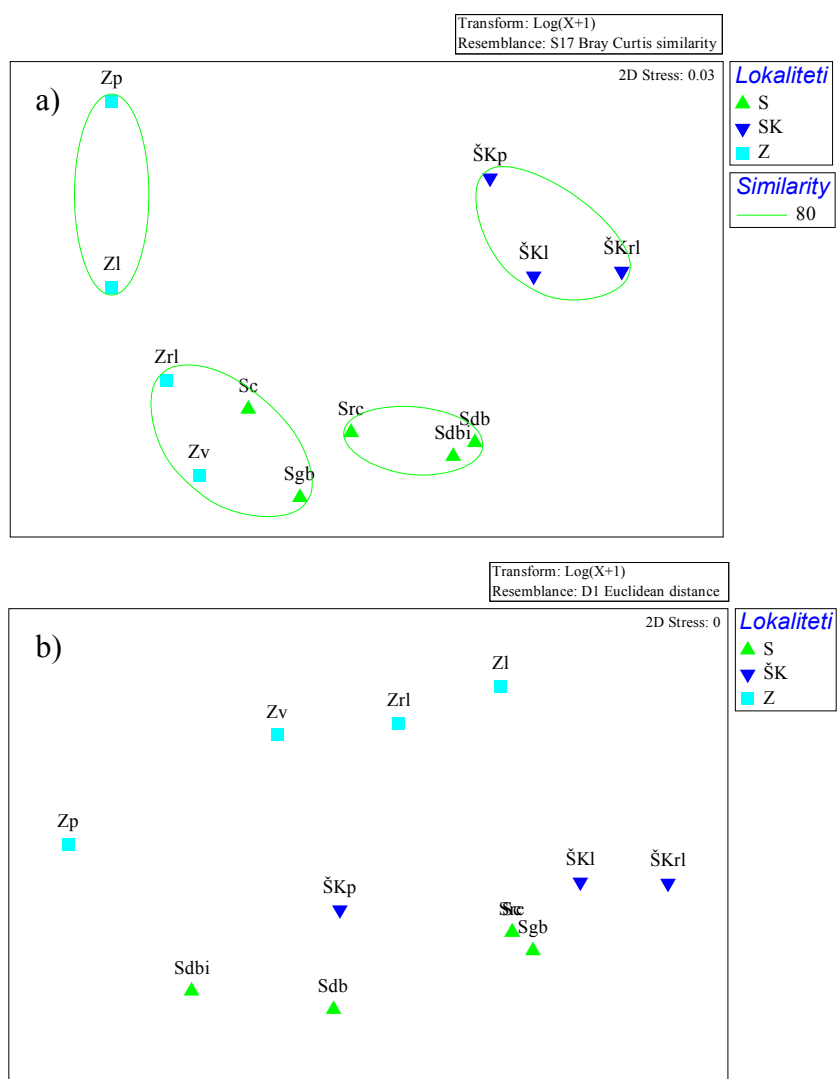
#### 4.5. Međusobne interakcije abiotičkih i biotičkih čimbenika – utjecaj na zooplankton istraživanih postaja

Glavne statistički značajne interakcije abiotičkih i biotičkih čimbenika prikazane su u Tablici 7. Prozirnost ima negativan učinak ( $r = - 0,27$  ;  $p < 0,05$ ), a mutnoća pozitivan na ukupnu bioraznolikost zooplanktona, posebno na brojnost Rotifera i Ciliophora. Vrijednosti pH i konduktiviteta su negativno utjecale na sve skupine zooplanktona, posebice na ženke Rotifera s jajašcima. Koncentracija otopljenih organskih tvari, količina hranjivih tvari i koncentracija Chl *a* pozitivno su utjecale na bioraznolikost zooplanktona, posebno na Rotifera i ženke Rotifera s jajašcima.

Ribe su svojom masom i dužinom imale negativan učinak na svim postajama na brojnost zooplanktona, što se odrazilo u statistički značajnim negativnim interakcijama s ukupnom brojnošću zooplanktona. Dužina riba negativno je utjecala i na ukupnu raznolikost ( $r = - 0,88$  ;  $p < 0,05$ ).

Nemetričkim multidimenzionalnim skaliranjem (NMDS) utvrđeno je udruživanje i sličnost postaja Škrčevog kuta gdje su zabilježene najveća brojnost i raznolikost, a postaje Zrl i Zv šljunčare Zajarki udružene su jer su to postaje s najmanjom brojnošću i raznolikošću zooplanktona (Slika 11). Postaje šljunčare Zajarki (Zrl i Zv) i rukavca Gornjeg bazena rukavca Sutle (Sc i Sgb) udružene u istu skupinu temeljem sličnosti između postaja u brojnosti i raznolikosti dominantnih skupina zooplanktona. Src i postaje Donjega bazena s većim udjelom rakova u zooplanktonu udružene su zajedno. Temeljem raznolikosti jasno se odvajaju postaje šljunčare Zajarki s malim brojem vrsta u tom oligotrofnom sustavu s malom pokrovnošću makrofita, nasuprot veće raznolikosti u Škrčevom kutu i Sutli, u toj skupini mogu se uočiti dvije podskupine. Postaje ŠKl i ŠKrl te Sc, Src i Sgb čine jednu skupinu i izdvojile su se od postaja ŠKp, Sdb i Sdbi na temelju raznolikosti zooplanktona, gdje je prva skupina postigla veću (Slika 11).

**Tablica 7.** Statistički značajne vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije ( $p < 0,05$ ) abiotičkih i biotičkih interakcija istraživanih lokaliteta



**Slika 11.** Udruživanje postaja s obzirom na: a) brojnost i b) raznolikost zooplanktona (NMDS, temeljem Bray Curtis indeksa sličnosti)



## 5. Rasprava

Struktura zooplanktona (raznolikost, brojnost i ženke s jajašcima) istraživana je na tri različita lokaliteta s obzirom na pokrovnost i vrstu makrofita te stupanj trofije. Osim toga, razmatrane su i razlike u brojnosti i raznolikosti zooplanktona između postaja u pelagijalu i litoralnoj zoni, do kojih dolazi zbog dnevnih horizontalnih migracija (DHM) zooplanktona uslijed utjecaja predacijskog pritiska riba na populaciju zooplanktona.

Rukavac Sutle se sastoji od dva međusobno povezana bazena, Gornji bazen prozirne vode i pokriven gustim sastojinama submerzne voščike (*Ceratophyllum demersum*) i Donji bazen mutne vode, bez makrofitskih sastojina.

Mrtvaja Škrčev kut i šljunčara Zajarki obje su antropogenog podrijetla i u njima su prisutni flotantni makrofiti. Dok je Škrčev kut plitko, izuzetno eutrofno vodeno tijelo sa srednjom pokrovnošću makrofita, šljunčara Zajarki je veće dubine, nižeg stupnja trofije i male pokrovnosti makrofitima.

Kao što potvrđuju i istraživanja drugih autora (Meerhoff i sur. 2003, Horppila i Nurminen 2005, Špoljar 2013) određeni fizikalno-kemijski čimbenici imaju utjecaj na brojnost i raznolikost zooplanktona. Veća mutnoća i koncentracija Chl *a* upućuju na viši stupanj trofije (Duggan i sur. 2001), a to su potvrdili i rezultati ovog istraživanja. Bozkurt i Guven (2009) su istaknuli povezanost povećanja koncentracije TN i TP s povećanjem brojnosti zooplanktona, što je također u skladu s rezultatima ovog istraživanja. Rezultati ovog rada ukazuju da je povećanje prozirnosti negativno utjecalo na brojnost, dok je s porastom mutnoće rasla i brojnost zooplanktona. Rezultati ovog istraživanja razlikuju se od rezultata koji su dobiveni istraživanjima koja su proveli Castro i sur. (2005) i Miracle i sur. (2007), koji ukazuju da viši stupanj trofije, manja prozirnost te izostanak submerzne vegetacije mogu rezultirati manjom brojnošću i raznolikošću zooplanktona. Na mrtvaji Škrčev kut izmjerene su najveće vrijednosti Chl *a* i NTU te TN i TP, a to je lokalitet s najvećim stupnjem trofije, ali i najvećom brojnošću i raznolikošću. Do razlike između rezultata ovog istraživanja, u odnosu na literaturne, došlo je jer je na postajama s većom prozirnošću predacijski pritisak riba bio veći što je značajno utjecao na smanjenje brojnosti zooplanktona. Na lokalitetu šljunčare Zajarki zabilježena je najveća prozirnost i najmanji stupanj trofije, ali je brojnost i raznolikost zooplanktona bila najmanja.

Duggan i sur. (2001) i Semenchenko (2008) zaključili su da različiti makrofitski oblici imaju različite utjecaje na strukturu, raspodjelu, dnevne migracije i nakupljanje zooplanktona u litorarnoj zoni vodenih tijela. Osim toga Horppila i Nurminen (2005) i Meerhoff i sur. (2003) su u svojim radovima opisali različite utjecaje flotantnih i submerznih sastojina na brojnost i raznolikost zooplanktona, ali i na predacijski pritisak.

#### *Raznolikost i brojnost zooplanktona: staništa sasubmerznim vs. flotantnim makrofitima*

Iako ima veliku prozirnost i svjetlost prodire do dna bazena, na šljunčari Zajarki nisu se razvile značajne makrofitske sastojine. Ovo je jezero novijeg antropogenog porijekla koje je nakon iskapanja šljunka prenamijenjeno u rekreacijske svrhe i šaranski ribnjak, gdje bentivorne ribe sprječavaju zakorjenjivanje, a obala je strma uslijed regulacije za rekreaciju pa se litoralna zona stalno degradira. Tu je slaba pokrovnost flotantnih makrofita, koji su jednostavnijeg habitusa, time i manje površine te su manje raznoliko stanište i nude manje visokokvalitetne perifitonske hrane (Søndergaard i Moss 1998). Time zooplankton nema gotovo nikakvu zaštitu od predatora, čime objašnjavam male brojnosti i raznolikosti zooplanktona na ovom lokalitetu.

Najveća brojnost zooplanktona na ovom lokalitetu zabilježena je u vertikalnom pridnenom sloju. To je u skladu s rezultatima istraživanja Meerhoff i sur. (2003), Gonzalez Sagrario i sur. (2009) i Tavşanoğlu i sur. (2015) koji su došli do zaključka da se ribe također skupljaju u makrofitskim sastojinama te smanjuju njihovu ulogu dnevnog utočišta zooplanktona. U tom slučaju veći oblici zooplanktona prisiljeni su migrirati vertikalno u dublje slojeve vode (dnevne verikalne migracije, DVM) kako bi izbjegli predaciju. Rezultati novijih istraživanja (Burks i sur. 2001, Castro i sur. 2005) ukazuju na postojanje vertikalne migracije i u plitkim jezerima te da plankton nalazi zaklon od vizualnih predatora u pridnenim slojevima vode. Rezultati ovih istraživanja slažu se s mojim nalazima, jer su brojnosti Cladocera i Rotifera bile veće u pridnenom sloju vode šljunčare Zajarki. Najzastupljenije vrste riba na ovom lokalitetu bile su grgeč (*Perca fluviatilis*), sunčanica (*Lepomis gibbosus*) i vijun (*Cobitis elongata*), a sve te ribe se u ličinačkom stanju i kao mlađe jedinice hrane zooplanktonom, što objašnjava njegovu malu brojnost na ovom lokalitetu. Adultni oblici sunčanice hrane se beskralježnjacima, te ribljom ikrom i mlađi, a vijuni su omnivori koji se hrane raznim bentoskim organizmima, najčešće sitnim beskralježnjacima, kao i ostacima organskog detritusa te se preko dana uglavnom skrivaju u mulju i pijesku, bježeći od predatora (Marszal i sur. 2003).

Zooplankton srednje veličine tijela preferira submerzne makrofite kao zaklon unatoč velikoj brojnosti juvenilnih oblika planktivornih riba koji se tamo nalaze (Meerhoff i sur. 2007). Rezultati ovog istraživanja u skladu su s navedenim rezultatima jer je zabilježena mala brojnost zooplanktona na postajama Sgb i Sc rukavca rijeke Sutle, kao rezultat velikog predacijskog pritiska, i to u pelagijalu zbog prozirnosti te između makrofita zbog brojnosti riba. Na tim postajama najveću brojnost postigle su od riba bodorka (*Rutilus rutilus*), sunčanica (*Lepomis gibbosus*) i bezribica (*Pseudorasbora parva*) koje se hrane zooplanktonom, pogotovo bezribica koja preferira planktonske rakove. U Gornjem bazenu Sutle prevladavale su ribe, manje veličine i mase što vodi do zaključka da su najveći udio u brojnosti ihtiofaune imali juvenilni oblici riba. U zooplanktonu su prevladavali Rotifera (*Keratella cochlearis*, *Trichocerca similis*, *Polyartha* spp.) i sitniji rašljoticalci (vrste roda *Bosmina*) koji zbog male veličine tijela, nisu pod izravnim predacijskim pritiskom planktivornih riba te im je omogućen razvoj mnogobrojnih populacija (Kuczyńska-Kippen 2003, Špoljar i sur. 2011b).

Veća brojnost zooplanktona, u odnosu na Gornji bazen, zabilježena je na postajama Donjeg bazena Sutle, koje se od postaja u Gornjem bazenu razlikuju po većem stupnju trofije i mutnoće te nemaju prisutnu makrofitsku vegetaciju. Ovi uvjeti omogućili su da samo nekoliko vrsta Rotifera (*Brachionus angularis*, *Trichocerca similis*, *Polyartha* spp.) razviju populacije visoke brojnosti što je obilježje sustava višeg stupnja trofije. To je rezultiralo manjom raznolikošću zooplanktona u odnosu na postaje Gornjeg bazena. U Donjem bazenu rukavca Sutle u ihtiofauni su dominirale sunčanica (*Lepomis gibbosus*) i vijun (*Cobitis elongata*) koji se hrane zooplanktonom i beskralježnjacima. Izostanak vegetacije pogodovao je resuspendiranju sedimenta i povećanoj mutnoći koja je omela predaciju riba stoga su planktonski rakovi u Donjem bazenu postigli veću brojnost nego na postajama Gornjeg bazena.

Na lokalitetu Škrčev kut, visokog stupnja trofije i mutnoće sa srednjom pokrovnošću flotantnih makrofita, zooplankton je postigao najveću brojnost i raznolikost u odnosu na ostala dva lokaliteta. Velikoj brojnosti zooplanktona doprinjela je velika količina lako dostupne hrane – fitoplanktona i suspendiranog detritusa koji su i uzrok povećane mutnoće na ovom lokalitetu (Meerhoff i sur. 2007, Bogut i sur. 2009). Smanjene brojnosti zooplanktona u pelagijalu i intenzivnu predaciju riba na ovom lokalitetu potkrepljujem činjenicom da je najmanja brojnost zooplanktona i najveća brojnost ihtiofaune na ovom lokalitetu zabilježena u pelagijalu. Najbrojnije vrste riba bile su sunčanica (*Lepomis gibbosus*) i bezribica (*Pseudorasbora parva*) koje se hrane zooplanktonom, a ovdje su Cladocera i Copepoda bili u najmanjoj brojnosti u odnosu na sve druge postaje u ovom istraživanju. Na ovom lokalitetu pojavile su se vrste *Tintinnida* iz skupine Ciliophora, koji su čak na postaji ŠKI bili dominantna skupina.

Ovi rezultati su u skladu s drugim istraživanjima gdje je utvrđeno da brojnost vrsta skupine Ciliophora raste s povećanjem stupnja trofije, koji je na ovoj lokaciji visok – izrazito eutrofno (Pfister i sur. 2002, Rodríguez-Sanchez i sur. 2011). Dominaciju Ciliophora na ovoj postaji tumačim izrazito malom brojnošću planktonskih račića, pogotovo mikrofiltratorskih rakova Cladocera. Cladocera su u kompeticiji za hranom s vrstama iz skupina Rotifera i Ciliophora te imaju izrazito negativan utjecaj na njihovu brojnost (Wickham i Gilbert 1991). Prisutni planktonski veslonošci očito su se hranili s vrstama Rotifera i negativno utjecali na njihovu brojnost te su tako Ciliophora postali dominantna skupina na ovoj postaji.

#### *Brojnost i raznolikost zooplanktona: pelagijal vs. litoral*

Povezanost litoralne zone i pelagijala važna je za strukturu ihtiofaune i zooplanktona (Romare i sur. 2003, Špoljar i sur. 2012). Migracije zooplanktona, naročito Cladocera, u makrofitske sastojine ovise o omjeru predacijskog pritiska i optimalnih uvjeta prehrane, ako je predacijski pritisak velik, zooplankton će napustiti područje boljih izvora hrane – pelagijal i migrirati u litoral (Kuczyńska-Kippen 2007, Bogut i sur. 2009). U ovom istraživanju rezultati su u skladu s gore navedenim, jer je osim Cladocera i veća brojnost Copepoda zabilježena u litoralnoj zoni, što ukazuje na DHM iz pelagijala u kojem je prozirnost i predacijski pritisak veći (Nurminen i sur. 2007, Estlander i sur. 2009). Općenito su postaje u litoralnoj zoni bilježile veće brojnosti od postaja u pelagijalu. Tijekom dana, zbog svjetlosti je onemogućeno izbjegavanje riba kao predatora u pelagijalu, pa su Cladocera i Copepoda prisiljeni migrirati u litoralnu zonu što utječe na raznolikost i brojnost litoralne zone na svim istraživanim lokalitetima (Kuczyńska-Kippen 2007, Bozkurt i Guven 2009). Migracije u litoral su očekivane jer tamo rastu makrofitske sastojine koje osim što pružaju zaklon od predacije obiluju i fitoplanktonom. Povećanje broja Copepoda u litoralnoj zoni, osim izbjegavanja predacije može upućivati na početak predacije odraslih rakova na kolnjake (Kuczyńska-Kippen i Nagengast 2006).

U rubnom staništu na granici slobodne vode i makrofitskih sastojina zooplankton postiže veću brojnost nego u pelagijalu ili unutar sastojina makrofita (Duggan i sur. 2001, Horppila i Nurminen 2005). Tome u prilog ide rezultat ovog istraživanja jer je najveća brojnost i raznolikost zooplanktona u litoralnoj zoni zabilježena na rubu makrofitske sastojine lokvanja u mrtvaji Škrčev kut. Ovaj podatak objašnjavam tako što ta rubna staništa možemo smatrati ekotonom, a njih obilježava veliki broj različitih vrsta zooplanktona.

## *Ženke s jajašcima: staništa sa submerznim vs. flotantnim makrofitima*

Ograničeni izvori hrane limitiraju rast populacije i fekunditet zooplanktona (Lampert 1989), što je potvrđeno i u ovom istraživanju jer je najmanja brojnost ženki s jajašcima zabilježena na postajama šljunčare Zajarki, a najveća na postajama eutrofne mrtvaje Škrčev kut. Predacija je imala značajan utjecaj na brojnost ženki s jajašcima, čiji je brojnost bila znatno manja na postajama gdje je zabilježen veći predacijski pritisak adultnih riba.

Ženke Rotifera su najveću brojnost postigle na postajama litorala s makrofitnim sastojinama (Gornji bazen rukavca Sutle i Škrčev kutu), koje su im pružale utočište i izvore hrane. Ženke Copepoda su najveću brojnost postigle u pridnenom sloju vode, na postaji Zv, čime su potvrđene dnevne vertikalne migracije zooplanktona pod utjecajem velikog predacijskog pritiska vizualnih predatora, riba, u površinskom sloju vode.

Općenito, iz navedenog trenda rasprostranjenosti ženki s jajašcima, proizlazi da su ženke s jajašcima zbog veće mase sporije u kretanju te time izloženije predaciji te traže zaklon bilo u makrofitnim sastojinama ili u pridnenim slojevima vode (Turnen 2004, Herzig i sur. 2006).

U ovom istraživanju utvrđen je značaj makrofitnih sastojina kao zaklona zooplanktonu u bijegu od vizualnih predatora, te utjecaj predatora na dnevne i vertikalne migracije zooplanktona. Slična istraživanja koja su uspoređivala područja sa i bez makrofitnih sastojina obično bilježe veću brojnost zooplanktona u područjima sa makrofitima nego u otvorenoj vodi (Jeppesen i sur. 2002, Kuczyńska-Kippen 2007, Špoljar i sur. 2011b), što potvrđuju rezultati s lokaliteta Škrčev kut i Zajarki. Nasuprot tome, u ovom istraživanju na lokalitetu Sutla, brojnost zooplanktona, u kojoj su dominirali kolnjaci, bila je veća u zoni otvorene vode Donjeg bazena nego u makrofitnim sastojinama litoralne zone. To objašnjavam s većom koncentracijom hranjivih tvari i fotoplanktona koji su utjecali i na povećanje mutnoće tih postaja, što je koristilo kao zaklon od predacije i omogućilo manjim jedinkama vrsta Rotifera da postignu veću brojnost i raznolikost. Rezultati ovog istraživanja doprinijeti će boljem uvidu u abiotičko-biotičke interakcije koje određuju strukturu kao i važnost zooplanktona u funkcioniranju plitkih jezera.

## 6. Zaključak

Rezultati istraživanja brojnosti i raznolikosti zooplanktona te fizikalno-kemijskih čimbenika na tri različita lokaliteta (rukavac Sutle, mrtvaja Škrčev kut i šljunčara Zajarki) dovode do sljedećih zaključaka:

- Zabilježene vrijednosti fizikalno-kemijskih čimbenika bile su statistički značajne i utjecale su na razvoj makrofitskih sastojina i strukturu zooplanktona. Uočena je pozitivna korelacija između mutnoće te brojnosti i raznolikosti zooplanktona.
- Najveća brojnosti ( $5533 \pm 1312$  jed/L) zabilježena je na izuzetno eutrofnoj mrtvaji Škrčev kut sa srednjom pokrovnošću flotantnim makrofitima i visoke mutnoće, a najmanja ( $308 \pm 219$  jed/L) na mezotrofnoj šljunčari Zajarki s malom pokrovnošću flotantnim makrofitima i velike prozirnosti.
- U zooplanktonu su dominirali kolnjaci (Rotifera) na svim lokalitetima, koji zbog male veličine, prozirnosti tijela i lorike nisu bili adekvatan plijen ribama te su razvili populacije velike brojnosti.
- Raznolikost zooplanktona (ukupno 39 svojti) bila je podjednaka na tri lokaliteta, oscilirala je od 23 do 27 svojti.
- Razlike u brojnosti zooplanktona između pojedinih postaja (staništa) ukazuju na dnevne horizontalne kao i vertikalne migracije zooplanktona u bijegu od predatora.
- Najveća brojnost zooplanktona i ženki s jajašcima na svim lokalitetima zabilježena je u litoralnoj zoni gdje su prisutne makrofitske sastojine kao i u pridnenim slojevima vode na šljunčari Zajarki, gdje su jedinke zooplanktona i ženke s jajašcima pronašle zaklon od vizualnih predatora.
- U rukavcu Sutle dva bazena su odvojena u smislu prozirnosti/mutnoće i prisutnosti/odsutnosti makrofita. Gornji bazen veće prozirnosti imao je veću raznolikost i izraženiju predaciju riba u pelagijalu, u odnosu na Donji bazen, bez makrofita i veće mutnoće koja je omela predaciju riba, a veliku brojnost postigle su sitne detritivorne vrste kolnjaka i veslonožaca.
- Visoka mutnoća i makrofitske sastojine smanjuju predacijski pritisak riba kao vizualnih predatora na zooplankton. Raznolikost staništa litoralne zone pozitivno je utjecala na raznolikost strukture zooplanktona.

## 7. LITERATURA:

- Ali M. M., Mageed A. A., Heikal M. (2007): Importance of aquatic macrophyte for invertebrate diversity in large subtropical reservoir. *Limnologica* **37**, 155–169.
- Angeler D. G., Chow-Fraser P., Hanson M. A., Sanchez-Carrillo S., Zimmer K. D. (2003): Biomaniipulation: a useful tool for freshwater wetland mitigation?. *Freshwater Biology* **48**, 2203–2213.
- APHA (1995): Standard methods for the examination of water and wastewater 16th. Ed. Amer.Pub. Health Assoc. New York. pp. 1268.
- Bacerra – Munoz S., Schramm Jr. H. L. (2007): On the influence of substrate morphology and surface area on phytofauna. *Hydrobiologia* **575**, 117-128.
- Beklioglu M., Jeppesen E. (1999): Behavioural response of plant-associated *Eurycerus lamellatus* (Ö.F. Müller) to different food sources and fish cues. *Aquatic Ecology* **33**, 167–173.
- Bartosiewicz M., Gliwicz M. Z. (2011): Temporary intermissions in capturing prey (*Daphnia*) by planktivorous fish (*Rutilus rutilus*): Are they due to scramble competition or the need for antipredation vigilance?. *Hydrobiologia* **668**, 125–136.
- Bogut I., Vidakovic J., Cerba D., Palijan G. (2009): Epiphytic meiofauna in stands of different submerged macrophytes. *Ekoloji* **18**, 70, 1-9.
- Bozkurt A., Guven S. E. (2009): Zooplankton composition and distribution in vegetated and unvegetated area of three reservoirs in Hatay, Turkey. *Journal of Animal and Veterinary Advances* **8 (5)**, 984 – 994.
- Burks R. L., Jeppesen E., Lodge D. M. (2001a): Littoral zone structures as *Daphnia* refugia against fish predators. *Limnology and Oceanography* **46(2)**, 230–237.
- Burks R. L., Jeppesen E., Lodge D. M. (2001b): Pelagic prey and benthic predators: impact of odonate predation on *Daphnia*. *Journal of the North America Benthological Society* **20 (4)**, 615-628.
- Burks R. L., Lodge D. M., Jeppesen E., Lauridsen T. L. (2002): Diel horizontal migration of zooplankton: costs and benefits of inhabiting the littoral. *Freshwater Biology* **47**, 343–365.
- Carlson R. E. (1977): A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography* **22**, 361 – 369.

- Castro B. B., Antunes S. C., Pereira R., Soares A. M. V. M., Gonçalves F. (2005): Rotifer community structure in three shallow lakes: seasonal fluctuations and explanatory factors. *Hydrobiologia* **543**, 221–232.
- 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.
- Cazzanelli M., Warming T. P., Christoffersen K. S. (2008): Emergent and floating-leaved macrophytes as refuge for zooplankton in a eutrophic temperate lake without submerged vegetation. *Hydrobiologia* **605**, 113–122.
- Chalkia E., Zacharias I., Thomatou A., Kehayias G. (2012): Zooplankton dynamics in a gypsum karst lake and interrelation with the abiotic environment. *Biologia* **67** (1), 151 – 163.
- Chambers P. A., Lacoul P., Murphy K. J., Thomaz S. M. (2008): Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. *Hydrobiologia* **595**, 9–26.
- Compte J., Gascón S., Quintana X. D., Boix D. (2012): The effects of small fish presence on a species-poor community dominated by omnivores: Example of a size-based trophic cascade. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 418 – 419.
- Dieguez M. C., Gilbert J. J. (2002): Suppression of the rotifer *Polyarthra remata* by the omnivorous copepod *Tropocyclops extensus*: predation or competition. *Journal of Plankton Research* **24**, 359–369.
- Dokulil M. T., Teubner K. (2003): Eutrophication and restoration of shallow lakes – the concept of stable equilibria revisited. *Hydrobiologia* **506–509**, 29–35.
- Dorenbosch M., Bakker E. S. (2012): Effects of contrasting omnivorous fish on submerged macrophyte biomass in temperate lakes: a mesocosm experiment. *Freshwater Biology* **57**, 1360–1372.
- Duggan I. C., Green J. D., Thompson K., Shiel R. J. (2001): The influence of macrophytes on the spatial distribution of littoral rotifers. *Freshwater Biology* **46**, 777–786.
- 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* **620**, 109–120.
- Fahd K., Arechederra A., Florencio M., León D., Serrano L. (2009): Copepods and branchiopods of temporary ponds in the Doñana Natural Area (SW Spain): a four-decade record (1964–2007). *Hydrobiologia* **634**, 219–230.



- Gonzalez S., Angeles M., Balseiro E., Ituarte R., Spivak E. (2009): Macrophytes as refuge or risky area for zooplankton: a balance set by littoral predacious macroinvertebrates. *Freshwater Biology* **54**, 1042–1053.
- Herzig A., Gulati R. D., Jersabek C. D., May L. (2006): *Rotifera X: Rotifer Research: Trends, New Tools and Recent Advances*. Springer Science & Business Media.
- Horppila J., L. Nurminen L. (2005): Effects of different macrophyte growth forms on sediment and P resuspension in a shallow lake. *Hydrobiologia* **545**, 167 – 175.
- Iglesias C. (2010): Cascading effects of predators in temperate and subtropical shallow lakes. National Environmental Research Institute (NERI) Aarhus University –Denmark.
- Jeppesen E., Jensen J. P., Søndergaard M., Lauridsen T., Pedersen L. J., Jensen L. (1997): Top-down control in fresh water lakes: the role of nutrient state, submerged macrophytes and water depth. *Hydrobiologia* **342/343**, 151–164.
- Jeppesen E., Søndergaard M., Christofsen K., Theil-Nielsen J. i Jürgens K. (2002): Cascading trophic interactions in the littoral zone: an enclosure experiment in shallow Lake Stigsolm, Denmark. *Archiv für Hydrobiologie* **153**, 533 – 555.
- Jeppesen E., Jensen J. P., Søndergaard M., Fenger-Grøn M., Bramm M. E., Sandby K., Møller P. H., Rasmussen H. U. (2004): Impact of fish predation on cladoceran body weight distribution and zooplankton grazing in lakes during winter. *Freshwater Biology* **49**, 432–447.
- Jeppesen E., Meerhoff M., Holmgren K., González-Bergonzoni I., Teixeira-De Mello F., Declerck S. A. J., De Meester L., Søndergaard M., Lauridsen T. L., Bjerring R., Conde-Porcuna J. M., Mazzeo N., Iglesias C., Reizenstein M., Malmquist H. J., Liu Z., Balayla D., Lazzaro, H. (2010): Impacts of climate warming on lake fish community structure and potential effects on ecosystem function. *Hydrobiologia* **646**, 73–90.
- Jeppesen E., Nöges P., Davidson T. A., Haberman J., Nöges 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**, 279–297.
- Kuczyńska-Kippen N. (2003): The distribution of rotifers (Rotifera) within a single *Myriophyllum* bed. *Hydrobiologia* **506-509**, 327-331.
- Kuczyńska-Kippen N., Nagengast B. (2006): The influence of the spatial structure of hydromacrophytes and differentiating habitat on the structure of rotifer and cladoceran communities. *Hydrobiologia* **559**, 203–212.

- Kuczyńska-Kippen N. (2007): Habitat choice in rotifera communities of three shallow lakes: impact of macrophyte substratum and season. *Hydrobiologia* **593**, 27–37.
- Kuczyńska-Kippen N., Klimaszuk P. (2007): Diel microdistribution of physical and chemical parameters within the dense *Chara* bed and their impact on zooplankton. *Biologia Bratislava* **62**, 432–437.
- Lau S. S. S., Lane S. N. (2002): Nutrient and grazing factors in relation to phytoplankton level in a eutrophic shallow lake: the effect of low macrophyte abundance. *Water Research* **36**, 3593–3601.
- Marszał L., Grzybkowska M., Przybylski M., Valladolid M. (2003): Feeding activity of spined loach *Cobitis* sp. in Lake Lucie, Poland. *Folia biologica* **51**, 159–165.
- 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., Teixeira De Mello F., Clemente J. M., Jensen E., Lauridsen T. L., Jeppesen E. (2007): Effects of habitat complexity on community structure and predator avoidance behaviour of littoral zooplankton in temperate versus subtropical shallow lakes. *Freshwater Biology* **52**, 1009–1021.
- Miracle M. R., Alfonso M. T., Vicente E. (2007): Fish and nutrient enrichment effects in a Mediterranean shallow lake: a mesocosm experiment. *Hydrobiologia* **593**, 77 – 94.
- Moss B., Stansfield J., Irvine K., Perrow M., Phillips G. (1996): Progressive restoration of a shallow lake: a 12-year experiment in isolation, sediment removal and biomanipulation. *Journal of Applied Ecology* **33**, 71 – 86.
- Nusch E. A. (1980): Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. *Archiv für Hydrobiologie–Beiheft Ergebnisse der Limnologie* **14**, 14–36.
- Padisák J., Reynolds C.S. (2003): Shallow lakes: The absolute, the relative, the functional and the pragmatic. *Hydrobiologia* **506–509**, 1–11.
- Perrow M. R., Jowitt A. J. D., Stansfield J. H., Phillips G. L. (1999): The practical importance of the interactions between fish, zooplankton and macrophytes in shallow lake restoration. *Hydrobiologia* **395/396**, 199–210.
- Pfister G., Auer B., Arndt A. (2002): Pelagic ciliates (Protozoa, Ciliophora) of different brackish and freshwater lakes - a community analysis at the species level. *Limnologica* **32**, 147–168.
- Popijač A. (2003): Makrozoobentos i trofička obilježja akumulacija jezera i ponikve na otoku Krku.

- Princ B. (1986): Vertical distribution of *Tintinnopsis lacustris* (ENTZ) and *Tintinnidium fluviatile* STEIN (Ciliata) in Lake Kozjak (Plitvice Lakes). *International Review of Hydrobiology* **71**, 179 – 185.
- Rodríguez-Sanchez R., Lluch-Belda D., Villalobos H., Ortega-Garcia S. (2011): Dynamic geography of small pelagic fish populations in the California Current System on the regime time scale (1931-1997). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **59**, 1980-1988.
- Rodríguez L. P., Granata A., Guglielmo L., Minutoli R., Zagami G., Brugnano C. (2013): Spring rotifer community structure in the Alcantara River(Sicily, Italy), using different mesh size nets: relation to environmental factors. *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology* **9**, 287–300.
- Romare P., Berg S., Lauridsen T., Jeppesen E. (2003): Spatial and temporal distribution of fish and zooplankton in a shallow lake. *Freshwater Biology* **48**, 1353–1362.
- Sanders R. W., Wickham S. A. (1993): Planctonic protozoa and metazoa: predation, food quality and population control. *Marine Microbial Food Webs* **7**, 197 – 223.
- Scheffer M., Hosper S. H., Meijer M. L., Moss B., Jeppesen E. (1993): Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends in Ecology and Evolution* **8**, 275–279.
- Scheffer M., Jeppesen E. (1998): Alternative stable states. *The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes* **131**, 397-406.
- Scheffer M. (2004): *Ecology of shallow lakes*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht
- 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.
- Semenchenko V. P. (2008): Role of macrophytes in the variability of zooplankton community structure in the littoral zone of shallow lakes. *Contemporary Problems of Ecology* **1**, 257 – 262.
- Søndergaard, M. & Moss, B. (1998): Impact of submerged macrophytes on phytoplankton in fresh water lakes. *The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes*. (Eds.: E. Jeppesen, M. Søndergaard, M. Søndergaard & K. Christoffersen), pp. 115-132. Springer - Verlag, New York.
- Søndergaard M., Liboriussen L., Pedersen A. R., Jeppesen E. (2008): Lake restoration by fish removal: long-term effects in 36 Danish lakes. *Ecosystems* **11**, 1291–1305.
- Tavşanoğlu U. N., Maleki R., Akbulut N. (2015): Effects of salinity on the zooplankton community structure in Two Maar lakes and one freshwater lake in the Konya closed basin, Turkey. *Ekoloji* **24 (94)**, 25-32.

- Turner J. T. (2004): The Importance of Small Planktonic Copepods and Their Roles in Pelagic Marine Food Webs. *Zoological Studies* **43** (2), 255-266.
- Špoljar M., Tomljanović T., Lalić I. (2011a): Eutrophication impact on zooplankton community: a shallow lake approach. *The Holistic Approach to Environment* **1**, 131–142.
- Špoljar M., Dražina T., Habdija I., Meseljević M., Grčić Z. (2011b): 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., Fressl J., Dražina T., Meseljević M., Grčić Z. (2012a): Epiphytic metazoans on emergent macrophytes in oxbow lakes of the Krapina River, Croatia: differences related to plant species and limnological conditions. *Biologia* **69** (3), 363–380.
- Špoljar M., Šneller D., Miliša M., Lajtner J., Sertić-Perić M., Radanović I. (2012b): Entomofauna of submerged macrophyte stands in reservoirs (Papuk nature park). *Entomologia Croatica* **16** (1-4), 7-20.
- Špoljar M. (2013): Microaquatic communities as indicators of environmental changes in lake ecosystems. *International Journal of Engineering Science* **1**, 29-42.
- Viayeh R. M., Špoljar M. (2012): Structure of rotifer assemblages in shallow water bodies of semiarid northwest Iran differing in salinity and vegetation cover. *Hydrobiologia* **686**, 73–89.
- Wetzel R. G. (2001): *Lake and river ecosystems, Limnology: 3rd edition*. Academic press, New York.
- Wickham S. A., Gilbert J. J. (1991): Relative vulnerabilities of natural rotifer and ciliate communities to cladocerans: laboratory and field experiments. *Freshwater Biology* **26**, 77-86.
- Wilkinson D. (2010): *Zooplankton –A lake’s best friend*, Indiana Clean Lakes Program Factsheet
- Winder M., Bürgi H. R., Spaak P. (2003): Mechanisms regulating zooplankton populations in a high-mountain lake. *Freshwater Biology* **48**, 795–809.
- Zingel P., Haberman, J. (2008): A comparison of zooplankton densities and biomass in Lakes Peipsi and Võrtsjärv (Estonia): rotifers and crustaceans versus ciliates. *Hydrobiologia* **599**, 153–159.

## 8. ŽIVOTOPIS

### OSOBNI PODACI



Maja Duić Sertić

✉ [mduicsertic@gmail.com](mailto:mduicsertic@gmail.com)

Spol Ženski | Datum rođenja 20/01/1989

### RADNO ISKUSTVO

- 07/2015 – **Administrator ( Assistant I, Clinical Study Start-up and Regulatory Affairs)**  
Worldwide Clinical Trials, Ulica grada Vukovara 284, Zagreb, Hrvatska
- Administrativni poslovi (unos podatak u bazu, rad sMicrosoft Office™ alatima, pregled ugovora isl.)
- SektorOstale stručne, znanstvene i tehničke djelatnosti(klinička ispitivanja)
- 10/2013 – 02/2014 **Demonstrator**  
Prirodoslovno-matematički Fakultet, Biološki odsjek, Rooseveltov trg 6, Zagreb, Hrvatska
- Kolegij –Primijenjena limnologija
- SektorObrazovanje
- 10/2013 – 12/2013 **Administrator**  
Državni zavod za zaštitu prirode, Trg Ivana Mažuranića 5, Zagreb, Hrvatska
- Asistiranje u administrativnim zadacima (unos podataka u bazu i sl.)
- SektorDržavni zavod
- 02/2013 – 06/2013 **Demonstrator**  
Prirodoslovno-matematički Fakultet, Biološki odsjek, Rooseveltov trg 6, Zagreb, Hrvatska
- Kolegij – Osnove biologije
- SektorObrazovanje

### OBRAZOVANJE I OSPOSOBLJAVANJE

- 09/2012 – očekivani završetak  
02/2016 **Diplomski studij ekologije i zaštite prirode (modul: kopnene vode),**  
Prirodoslovno-matematički Fakultet, Biološki odsjek  
Rooseveltov trg 6, Zagreb, Hrvatska
- 09/2007 – 09/2012 **Prediplomski studij znanosti o okolišu (univ. bacc. oecol.),**  
Prirodoslovno-matematički Fakultet, Biološki odsjek  
Rooseveltov trg 6, Zagreb, Hrvatska
- 09/2003 – 06/2007 **Zdravstveno laboratorijski tehničar,**  
Zdravstveno učilište  
Medvedgradska 55, Zagreb, Hrvatska

## OSOBN VJEŠTINE

Materinski jezik

Hrvatski

Ostali jezici

Engleski

Njemački

RAZUMIJEVANJE		GOVOR		PISANJE
Slušanje	Čitanje	Govorna interakcija	Govorna produkcija	
C2	C2	C1	C1	C1
A2	A2	A2	A2	A2

Stupnjevi: A1/2: Početni - B1/2: Samostalni korisnik - C1/2 Iskusni korisnik  
Zajednički europski referentni okvir za jezike

Komunikacijske vještine

dobre komunikacijske vještine stečene kroz radno iskustvo demonstratora i kroz sudjelovanje na konferencijama

Poslovne vještine

orijentiranost na detalje  
dobre organizacijske vještine  
timski rad  
sposobnost prilagođavanja različitim situacijama  
sposobnost istovremenog rada na nekoliko zadataka

Računalne vještine

dobro poznavanje Microsoft Office™ alata (Word, Excel, PowerPoint)

Ostale vještine

Licencirani turistički pratitelj  
Završena osnovna glazbena škola Zlatko Baloković

Vozačka dozvola

B

## DODATNE INFORMACIJE

Izdanja

Maria Špoljar; Tvrtko Dražina; Jasna Lajtner; Maja Duić Sertić; Jelena Fressl; Sandra Hodić; Ines Radanović; Marinko Markić; Tatjana Ignjatić Zokić(2014.) Zooplankton kao indikator ubrzanih procesa eutrofikacije, Knjiga sažetaka Međunarodnog skupa XV. Ružičkini dani "Danas znanost – sutra industrija"

Barbara Žeželj, Ivana Zrinščak, Maria Špoljar, Tvrtko Dražina, Ana Ostojić, Maja Duić Sertić, Daniel Matulić, Jasna Lajtner(2014.) Epiphytic gastropods and food supplies in relation to macrophyte stands , 1st Central European Symposium for Aquatic Macroinvertebrate Research and 11th Hungarian Symposium for Aquatic Macroinvertebrate Research

Konferencije

11 - 12.09.2014. - Međunarodni skup XV. Ružičkini dani "Danas znanost – sutra industrija", Vukovar, Hrvatska