# Uloga litoralne zone kao skloništa planktonskih rakova od predacije riba

**Kekelj, Lana**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2015**

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:464927

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-29**

*Repository / Repozitorij:*

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno–matematički fakultet

Biološki odsjek

Lana Kekelj

# ULOGA LITORALNE ZONE KAO SKLONIŠTA PLANKTONSKIH RAKOVA OD PREDACIJE RIBA

Diplomski rad

Zagreb, 2015.

Ovaj diplomski rad izrađen je u Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno − matematičkog fakulteta, pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Marie Špoljar i izv. prof. dr. sc. Ivančice Ternjej i predan je na ocjenu Vijeću Biološkog odsjeka Prirodoslovno − matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra struke znanosti o okolišu.

*Za veliku pomoć pri izradi ovog rada, neiscrpno strpljenje, sve savjete i konstantno poticanje zahvaljujem mentorici izv. prof. dr. sc. Mariji Špoljar.*

*Također, veliko hvala mentorici izv. prof. dr. sc. Ivančici Ternjej, na strpljivom usmjeravanju i svom prenesenom znanju tijekom laboratorijskog rada.*

*Zahvaljujem doc. dr. Jasni Lajtner na prikupljanju uzoraka makrozoobentosa te doc. dr. Tei Tomljanović i dr. Danielu Matuliću, s Agronomskog fakulteta, na uzorkovanju i determinaciji ihtiofaune.*

*Zahvaljujem svim kolegama i prijateljima zbog kojih će mi studentski dani ostati u nezaboravnom sjećanju.*

*Posebno zahvaljujem svojim roditeljima, sestri i dečku na razumijevanju i velikoj podršci tijekom studija.*

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno − matematički fakultet
Biološki odsjek Diplomski rad

ULOGA LITORALNE ZONE KAO SKLONIŠTA PLANKTONSKIH RAKOVA OD PREDACIJE RIBA

Lana Kekelj

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Istraživanje je provedeno na plitkim vodenim tijelima u porječju Krapine (mrtvaja Škrčev kut) i Sutle (rukavac). Osnovne hipoteze ovog rada bile su da uslijed povećanog intenziteta predacije litoralna zona bogata makrofitima pozitivno utječe na preživljavanje zooplanktona te da staništa s flotantnim makrofitima ili bez makrofita imaju manju brojnost planktonskih rakova u litoralnoj zoni od staništa sa submerznim makrofitima. Ciljevi istraživanja bili su utvrditi: (i) utjecaj predacije riba na raznolikost i brojnost Cladocera i Copepoda u sedimentu litorala; (ii) predaciju riba na zooplankton litoralne zone u staništima različite pokrovnosti makrofitima ili bez makrofita; (iii) biotičke interakcije u različitim staništima plitkih vodenih tijela. Rezultati analize fizičko-kemijskih čimbenika ukazali su na povećane vrijednosti mutnoće vode, biomase fitoplanktona, otopljenih organskih tvari te indeksa stupnja trofije u mrtvaji Škrčev kut u odnosu na ostale istraživane postaje. U litoralnoj zoni bogatoj makrofitima raznolikost i brojnost planktonskih rakova, kao i brojnost ženki Cladocera i Cyclopoida s jajašcima, bila je statistički značajno veća u odnosu na litoralne zone bez makrofita ili sa flotantnim makrofitima. S povećanjem mutnoće jezera i smanjenjem raznolikosti staništa u litoralnoj zoni, predacija riba slabi, kao i uloga litoralne zone kao skloništa od riba kao vizualnih predatora. Rezultati rada ukazuju da prisustvo ili odsustvo vodenih makrofita može značajno promijeniti biotičke interakcije i strukturu biocenoza plitkih jezera, unatoč sličnoj brojnosti, raznolkosti i veličinskoj strukturi predatora.

(49 stranica, 13 slika, 5 tablica, 53 literaturna navoda, izvornik na hrvatskom jeziku)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: biotičke interakcije / Cladocera / Copepoda / flotantni i submerzni makrofiti

Voditelji: Izv. prof. dr. sc. Maria Špoljar
Izv. prof. dr. sc. Ivančica Ternjej
Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Sandra Radić Brkanac
Izv. prof. dr. sc. Blanka Cvetko Tešović
Izv. prof. dr. sc. Danijel Orešić

Rad prihvaćen: 18. veljače 2015.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Graduation Thesis

# THE ROLE OF LITTORAL ZONE AS A REFUGE FOR PLANKTONIC CRUSTACEANS AGAINST FISH PREDATION

Lana Kekelj

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

The research was conducted in shallow water bodies in Krapina (oxbow) and Sutla (backwater) watershed. The main hypothesis of this study were that littoral zone with abundant macrophytes has a positive influence on zooplankton survival during increased fish predation, where habitats with flotating macrophytes or without aquatic macrophytes in the littoral zone have lower abundance of planktonic crustaceans in comparison to habitats with submerged macrophytes. Main aims of this study were to determine: (i) the influence of fish predation on diversity and abundance of Cladocera and Copepoda in littoral sediment; (ii) fish predation on littoral zooplankton in habitats with different macrophyte abundance and habitats without aquatic macrophytes; (iii) biotic interactions in different habitats of shallow water bodies. The results revealed significantly higher turbidity, phytoplankton biomass, dissolved organic matter and throphic state index in Škrčev kut Oxbow, compared to other study sites. Abundance and diversity of planctonic crustaceans and abundance of crustacean female with eggs were significantly higher in the littoral zone with abundant macrophytes, compared to littoral zone with flotating macrophytes or without macrophytes. With increased turbidity and lower habitat diversity of the littoral zone, fish predation effects and role of the littoral zone as a refuge for zooplankton decreases. The results of this study suggest that presence or abscence of macrophytes can significantly change biotic interactions and biocenosis structure in shallow water bodies, despite similar abundance, diversity and predator body size.

(49 pages, 13 figures, 5 tables, 53 references, original in: Croatian)

This thesis is deposited in the Central Biological Library.

Key words: biotic interactions / Cladocera / Copepoda / flotating and submerged macrophytes

Supervisors: Dr. sc. Maria Špoljar, Assoc. Prof.
Dr. sc. Ivančica Ternjej, Assoc. Prof.
Reviewers: Dr. sc. Sandra Radić Brkanac, Assist. Prof.
Dr. sc. Blanka Cvetko Tešović, Assoc. Prof.
Dr. sc. Danijel Orešić, Assoc. Prof.

Thesis accepted: February 18th, 2015

**Lista kratica**

AFDM – (eng. *ash free dry mass*) vrijednost gubitka pri žarenju temeljem kojeg se određuje masa suspendirane organske tvari

Chl *a* – klorofil *a*

COD – (eng. *chemical oxygen demand*) koncentracija otopljenih tvari mjerena temeljem kemijske potrošnje kisika iz kalijevog permanganata

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

KPK – kemijska potrošnja kisika

N – dušik

$NH_4$ – amonijak

$NO^{2-}$ – nitritni ion

$NO^{3-}$ – nitratni ion

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

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

SD – standardna devijacija

SDB – Donji bazen Sutle

SDBi – izlazna postaja Donjeg bazena Sutle

SDBu – ulazna postaja Donjeg bazena Sutle

SGB – Gornji bazen Sutle

SV – srednja vrijednost

ŠK – mrtvaja Škrčev kut

P – fosfor

$PO4^{3-}$ – fosfatni ion

POM – (eng. *particulate organic matter*) suspendirana organska tvar

TN – (eng. *total nitrogen*) ukupni dušik

TP – (eng. *total phosphorous*) ukupni fosfor

$TSI_{SD}$ – (eng. *trophic state index*) – index stupnja trofije

# SADRŽAJ

1.0. UVOD ..... 1
1.1. Slatkovodni planktonski rakovi ..... 1
1.1.1. Cladocera ..... 1
1.1.2. Copepoda ..... 3
1.2. Biotičke interakcije u jezerskom ekosustavu ..... 5
1.3. Okolišni čimbenici litoralne zone i važnost makrofita ..... 6
1.4. Ciljevi istraživanja ..... 8
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA ..... 9
3. MATERIJALI I METODE ..... 12
3.1. Uzorkovanje i analiza uzoraka zajednice ..... 12
3.2. Određivanje limnoloških čimbenika ..... 13
3.3. Analiza podataka ..... 14
4. REZULTATI ..... 16
4.1. Osnovni limnološki čimbenici ..... 16
4.2. Izvori hrane ..... 20
4.3. Raznolikost, brojnost i biomasa Cladocera i Copepoda u sedimentu litoralne zone plitkih jezera ..... 23
4.3.1. Jezero sa submerznim makrofitima (SGB) ..... 23
4.3.2. Jezero bez makrofita (SDB) ..... 24
4.3.3. Jezero s flotantnim makrofitima (ŠK) ..... 28
4.3.4. Kvalitativni i kvantitativni sastav ihtiofaune u plitkim jezerima s različitim staništima litoralne zone ..... 34
4.3.5. Utjecaj abiotičkih i biotičkih čimbenika na strukturu planktonskih rakova u sedimentu ..... 37
5. RASPRAVA ..... 39
6. ZAKLJUČAK ..... 43
7. LITERATURA ..... 44
8. ŽIVOTOPIS ..... 49

# 1.0. UVOD

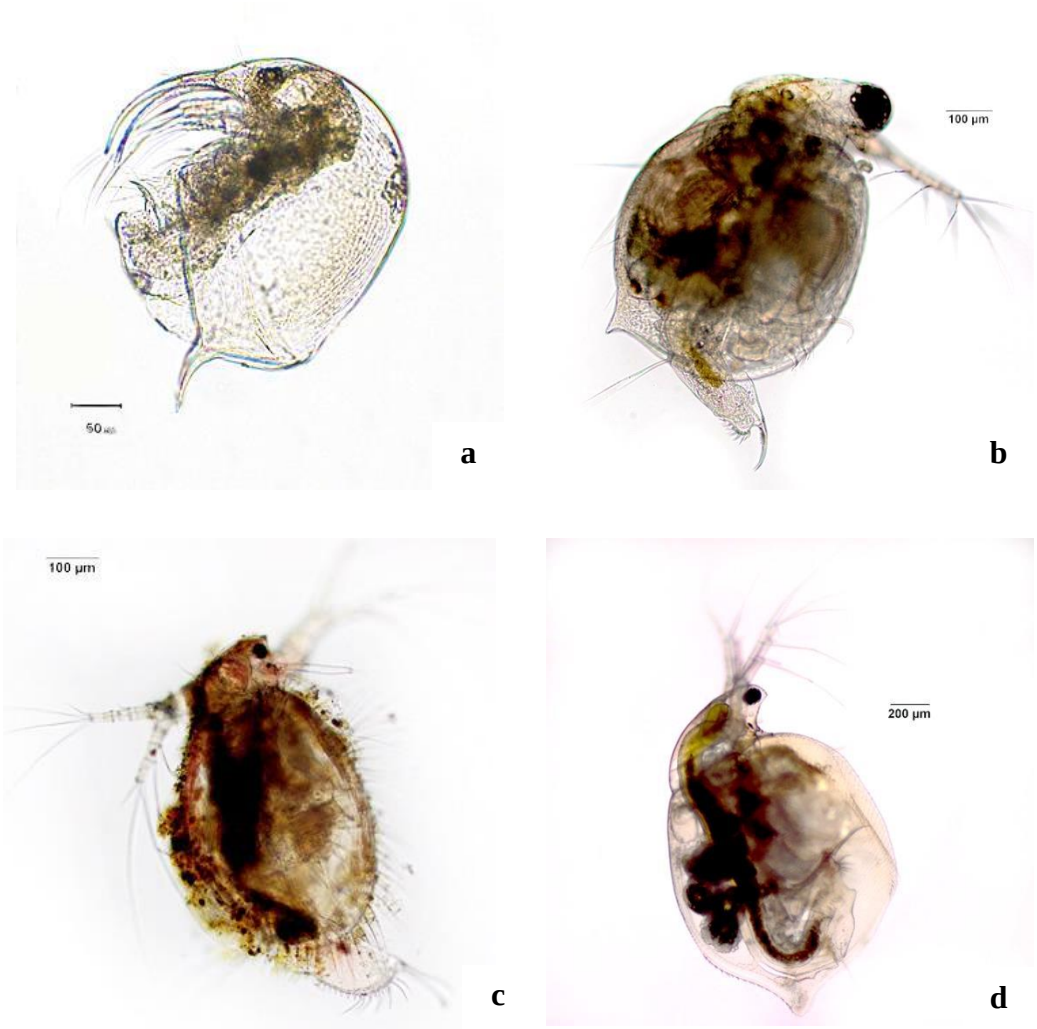
Plankton je zajednica organizama koji žive u moru ili/i vodama na kopnu, a obilježava ih kratko generacijsko vrijeme i visoka reprodukcija. Unutar eukariota, uz fitoplankton i protozooplankton, glavninu slatkovodnog zooplanktona čine skupine Rotifera (kolnjaci) te planktonski rakovi Cladocera (rašljoticalci) i Copepoda (veslonošci). Osim manjih vrsta, ličinačkih i juvenilnih oblika, planktonski rakovi pripadaju veličinskoj kategoriji makrozooplanktona (1 − 5 mm) (Vrebčević, 1996).

## 1.1. Slatkovodni planktonski rakovi

### 1.1.1. Cladocera

Planktonski rakovi iz skupine Cladocera (rašljoticalci) pripadaju razredu Branchiopoda (škrgonošci), a do danas je determinirano oko 500 − 600 vrsta. Većina rašljoticalaca živi u slatkim vodama, ali postoji i veliki broj vrsta koje su se prilagodile na visoki salinitet i život u moru. Dvodijelni hidrofobni karapaks prekriva plosnato tijelo, ali ne i glavu, a često završava posteriorno s terminalnom bodljom. U morfologiji i veličini značajno se razlikuju (0,2 − 5 mm) (Slika 1). Na glavi se nalaze dva para ticala: prvi par je malen i nerazgranat te ima ulogu kemoreceptora; drugi par ticala ima dvije grane i sudjeluje u pokretanju. Gotovo svi predstavnici rašljoticalaca hrane se filtriranjem sitnih čestica koje lebde u vodi, algama, bakterijama ili detritusom. Neki su obligatni predatori i hrane se sitnijim rašljoticalcima, veslonošcima, kolnjacima i nauplijima. Tijekom života rašljoticalci izmjenjuju spolno i nespolno (partenogeneza) razmnožavanje, ovisno o okolišnim uvjetima, veličini populacije, dostupnosti hrane. Partenogenetske ženke produciraju jaja iz kojih se, bez oplodnje, razvijaju nove partenogenetske ženke. Zbog velike učestalosti nespolnog razmnožavanja populacijama dominiraju ženke, a broj jajašaca u leglu povećava se s veličinom jedinke, iako je fekunditet u različitih vrsta vrlo varijabilan. Mlade se jedinke nakon embrionalnog razvoja u ležnom prostoru oslobađaju kao slobodnoplivajući organizmi, a hrane se kao i odrasli. Presvlačenjem egzoskeleta postupno rastu i razvijaju se u odraslu jedinku. Presvlačenje ne prestaje u odraslom stadiju, već egzoskelet mijenjaju tijekom cijelog života, a prosječni životni vijek

najčešće se kreće od 1 – 2 mjeseca, ovisno o okolišnim uvjetima (Vrebčević, 1996; Likens, 2010; Habdija i sur., 2011).

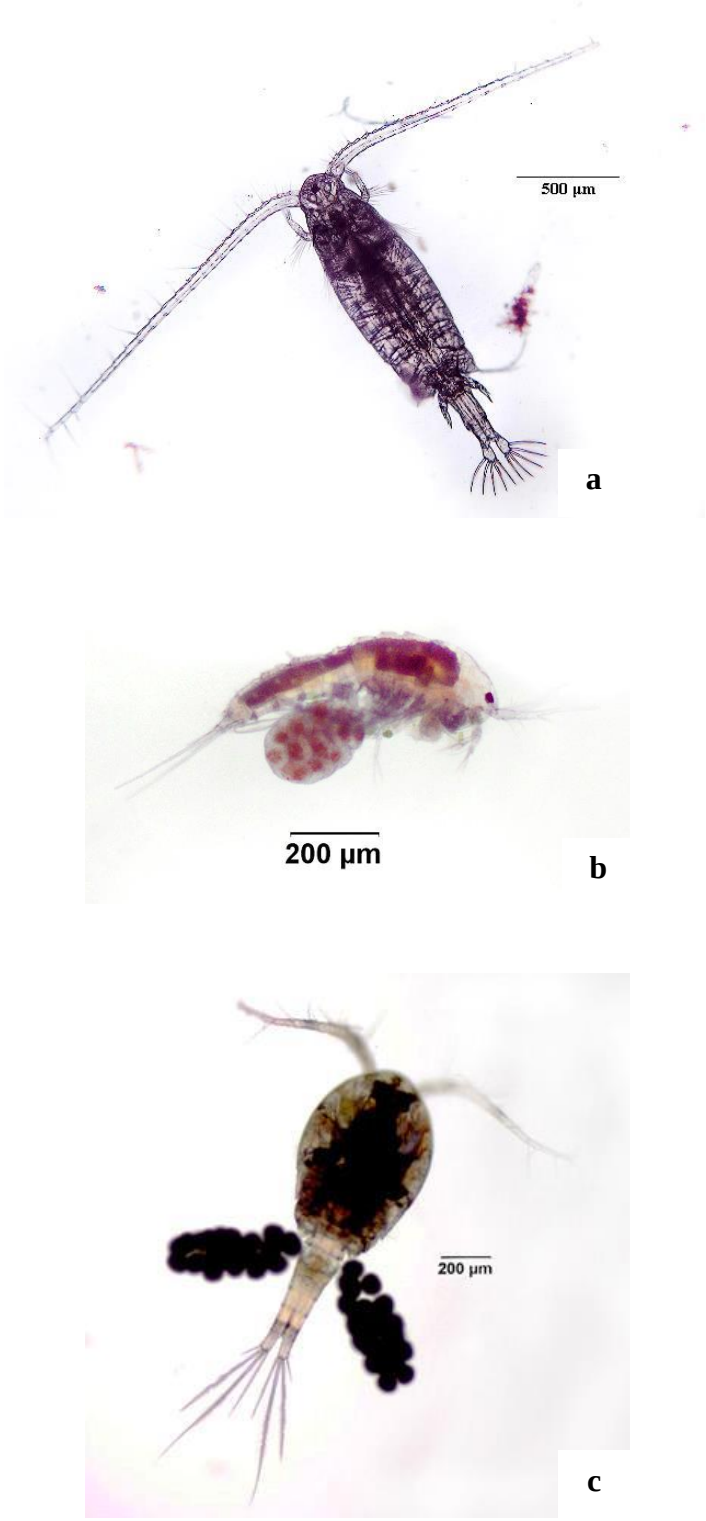



**Slika 1** Varijacije u morfologiji i veličini tijela različitih rodova skupine Cladocera: a – *Bosmina* *; b – *Ceriodaphnia* **; c – *Iliocryptus* ***; d – *Simocephalus* ****.

(Izvor: *http://cfb.unh.edu/cfbkey/html/Organisms/CCladocera/FBosminidae/GBosmina/Bosmina_longirostris/Blongirostris6large.jpg; **http://cfb.unh.edu/cfbkey/html/Organisms/CCladocera/FDaphnidae/Gceriodaphnia/Ceriodaphnia_reticulata/C_reticulata2_600x600.jpg; ***http://cfb.unh.edu/cfbkey/html/Organisms/Ccladocera/Filyocryptidae/GIlyocryptus/Ilyocryptus_sp/Ilyocryptus_sp_03_360x360.jpg; ****http://cfb.unh.edu/cfbkey/html/Organisms/CCladocera/FDaphnidae/GSimocephalus/Simocephalus_vetulus/simocephalus_vetulus_01_360x360.jpg)

### 1.1.2. Copepoda

Planktonski rakovi iz skupine Copepoda (veslonošci) pripadaju razredu Maxillopoda, a do danas je determinirano preko 11500 vrsta. Najveći broj veslonožaca živi u moru, a mali broj vrsta živi u vodama na kopnu. Većina živi u supstratu bentosa i litorala, podzemnim vodama, vlažnom tlu, mahovinama, dok vrlo mali broj veslonožaca živi u planktonu gdje mogu razviti mnogobrojne populacije. Hrane se algama, rjeđe detritusom i bakterijama, a mogu biti i fakultativni ili obligatni predatori. Postoje i nametničke vrste veslonožaca, koje žive kao ektoparaziti na ribama (na škrgama, perajama, koži) ili endoparaziti u mnogočetinašima, bodljikašima, školjkašima, plaštenjacima. Slobodnoživući veslonošci kopnenih voda dijele se u 3 porodice, koje se razlikuju po veličini (0,5 − 5 mm), građi tijela (Slika 2) i načinu života. Vrste porodica Calanoida i Cyclopoida plivaju ili lebde u slobodnoj vodi ili među biljem. Kreću se naglim trzajima nalik na skokove, a pri izbjegavanju predatora mogu postići brzinu od 2 m/s. Vrste porodice Harpacticoida građom tijela se značajno razlikuju od ostalih veslonožaca i većinom se kreću puzanjem po dnu. Tijelo slobodnoživućih veslonožaca prekriveno je čvrstim egzoskeletom koji okružuje cilindrično i člankovito tijelo, a velik broj tjelesnih privjesaka služi za plivanje i hranjenje. Razdvojena su spola, a kod odraslih se javlja spolni dimorfizam, ženke su puno veće, zbog čega se hrane češće i više od mužjaka. Na glavopršnjaku imaju dva para ticala, od kojih prvi par ima kemoreceptore i mehanoreceptore za pronalaženje i odvajanje čestica hrane, izbjegavanje predatora, pronalazak partnera, reprodukciju i sudjelovanje u pokretanju. Kod mužjaka se prvi par ticala može naglo svinuti, što im omogućava obuhvaćanje ženke prilikom parenja. Ovisno o temperaturi i dostupnosti hrane te veličini ženke, broj jajašaca u leglu može varirati (2 - 50). Na niskoj temperaturi ženke su često veće i imaju veća jajašca, ali zbog neoptimalnih uvjeta vremenski razmak između dva legla može biti duži i do nekoliko tjedana, dok u toplijim jezerima ženke mogu imati novo leglo svakih nekoliko dana. Iz oplođenog jajašca razvija se ličinka nauplij, koja se izgledom značajno razlikuje od odraslih jedinki. Nauplij prolazi kroz 6 razvojnih stadija, nakon kojih slijedi morfološka i fiziološka preobrazba kojom nastaje kopepodit. Nakon 6 razvojnih stadija kopepodita nastaje odrasla jedinka, koja se do kraja života više ne presvlači. Razvoj jedinke iz oplođenog jajašca do odrasle jedinke u optimalnim uvjetima traje oko 1 – 3 tjedna, dok se životni vijek odrasle jedinke kreće od jednog do nekoliko mjeseci (Vrebčević, 1996; Likens, 2010; Thorp i Covich, 2010; Habdija i sur., 2011).




**Slika 2** Varijacije u morfologiji i veličini tijela triju porodica skupine Copepoda: a – Calanoida*; b – Harpacticoida**; c – Cyclopoida***

(Izvor: *https://lookfordiagnosis.com/mesh_info.php?term=Copepoda&lang=1; **http://cfb.unh.edu/cfbkey/html/Organisms/CCopepoda/OHarpacticoida/Harpacticoid_01_600x600.jpg; ***http://cfb.unh.edu/cfbkey/html/Organisms/CCopepoda/OCyclopoida/GMacrocyclops/ Macrocyclops_albidus/macrocyclopsalbidus.html)

## 1.2. Biotičke interakcije u jezerskom ekosustavu

U malim, plitkim jezerima oscilacije vrijednosti abiotičkih čimbenika uglavnom nisu značajne, zbog čega biotički čimbenici značajnije određuju interakcije i povezanost zajednica litorala i pelagijala (Romare i sur., 2003; Meerhoff i sur., 2007; Špoljar i sur., 2011).

Fitoplankton, perifiton i makrofiti imaju ulogu primarnih producenata i glavni su izvor hrane u vodenom ekosustavu. Cladocera i Copepoda najveći su konzumenti fitoplanktona, zbog čega imaju značajnu ulogu u prijenosu energije od primarnih producenata do zooplanktivornih riba u hranidbenoj mreži vodenog ekosustava (Thorp i Chovich, 2001). Izvore hrane za pelagijalni plankton predstavljaju primarni producenati, detritus i bakterije koji se obnavljaju miješanjem slojeva vode u jezeru i transportom tvari iz obalnog područja, dok litoralni plankton pored navedenih izvora može uzimati hranu i iz bentosa te prvi ima pristup ugljiku i hranjivim tvarima ili nutrijentima alohtonog podrijetla (Thorp i Chovich, 2001).

Zbog preklapanja ekoloških niša u staništu i ograničenih resursa hrane, na promjene sastava zooplanktona značajno može utjecati kompeticija (Loureiro i sur., 2013). Veličina čestica koje se koriste u prehrani zooplanktona ovisi o veličini jedinke. Veće vrste filtriranjem mogu uzimati hranu većih, ali i manjih dimenzija, što ograničava izvore hrane zooplanktonu manjih dimenzija. Isto tako, starost ili uzrasna struktura jedinke može značajno utjecati na uspješnost u kompeticiji. Mlade jedinke tako mogu biti potisnute većim, odraslim jedinkama, što kroz gladovanje mladih jedinki može uzrokovati smanjenje njihovog broja. No, smanjenje broja mladih jedinki može nastati i kao rezultat nedostatka hrane za spolno zrele jedinke, što rezultira smanjenom produkcijom jaja (Meerhoff i sur., 2007).

Na brojnost i raznolikost planktonskih rakova veliki utjecaj ima i pritisak predatora, među kojima se ističu ribe i beskralješnjaci. Ribe su vrlo efikasni i pokretni vizualni predatori te lakše uočavaju zooplankton većih dimenzija. Predacija riba ima značajnu ulogu u dinamici i strukturi zooplanktona, gdje se pri povećanom intenzitetu predacije riba u jezeru smanjuje brojnost zooplanktona većeg tijela i lako uočljivih ženki s jajašcima, a povećava brojnost vrsta manjih dimenzija tijela (Burks i sur., 2002; Meerhoff i sur., 2007; Manca i sur., 2008). Čimbenik koji određuje jačinu predacijskog pritiska riba na zooplankton je prozirnost vode (Castro i sur., 2007). U mutnoj vodi većina zooplanktona je homogeno rasprostranjena u jezeru. Planktonski rakovi taktilne predatore uspješno izbjegavaju brzim plivanjem, ali takva reakcija nije učinkovita pri izbjegavanju vizualnih predatora. Zbog toga u bistroj i osvjetljenoj

vodi zooplankton smanjuje učinkovitost predacije horizontalnom i vertikalnom migracijom (Burks i sur., 2002; Meerhoff i sur., 2007; Ternjej i sur., 2010; Tavşanoğlu i sur., 2012). Ovisno o veličini vodenog staništa, udaljenost migracije pelagijalnih vrsta može varirati od jednog metra ili manje u malim bazenima do nekoliko stotina metara u oceanima, dok u kopnenim vodama prosječna udaljenost koju jedinka prođe u dnevnoj migraciji, odnosno, u potrazi za skloništem iznosi oko 5 – 20 m (Thorp i Chovich, 2001). U dubokim jezerima zooplankton danju migrira u dublje, neosvjetljene slojeve vode, tj. hipolimnij (Meerhoff i sur., 2007). U nedostatku hipolimnija, zooplankton u plitkim jezerima danju migrira u litoralno područje s makrofitskom vegetacijom, a u okolnu otvorenu vodu isplivava samo noću (Jeppesen i sur., 1997; Castro i sur., 2007; Meerhoff i sur., 2007; Mehner, 2012). Učinkovitost ovakvih horizontalnih migracija ovisi o ravnoteži između predacijskog pritiska te gustoći i kompleksnosti građe makrofita (Burks i sur., 2002; Castro i sur., 2007). Novija istraživanja ukazuju da veći zooplankton u plitkim jezerima sklonište od predacije riba traži i u pridnenim slojevima vode, blizu sedimenta ili u sedimentu (Bukvić i sur. 1998; Jeppesen i sur., 2002; Meerhoff i sur., 2007; Tavşanoğlu i sur., 2012).

Guste sastojine submerznih makrofita stanište su epifitskim i bentičkim beskralješnjacima, dok pelagički beskralješnjaci u makrofitima povremeno traže sklonište od riba. Zooplankton koji danju migrira u područje makrofita na taj se način izbjegavanjem pelagičkih predatora izlaže litoralnim predatorima (Burks i sur., 2001; Burks i sur., 2002; Likens, 2010). Dok se ribe i ličinke riba hrane uglavnom većim vrstama zooplanktona, beskralješnjaci jedu manje, većinom mlađe jedinke koje su sitne i spore (Manca i sur., 2008).

## 1.3. Okolišni čimbenici litoralne zone i važnost makrofita

Jezerski ekosustav može se podijeliti u nekoliko abiotičkih zona s obzirom na udaljenost od obale (litoralna i pelagijalna zona), dubinu prodiranja svijetlosti (fotička i afotička zona) i promjenu temperature (epilimnij i hipolimnij). Litoralna zona je plitko područje fotičke zone uz obalu jezera. Obilježavaju ju mala površina, neposredna blizina planktonskih i bentoskih staništa, oscilacije temperature, podložnost turbolentnim utjecajima valova i velika sezonska raznolikost u pokrovnosti makrofitima (Thorp i Chovich, 2010).

Distribucija makrofita u jezeru uvelike utječe na formiranje vodene biocenoze, fizičko-kemijske čimbenike, fotosintezu, dekompoziciju i mineralizaciju. Makrofiti učinkovito reduciraju strujanje vode, sprečavaju resuspenziju sedimenta, pružaju zaštitu zooplanktonu i malim ribama, služe kao staništa i sigurno područje za razvoj jajašaca riba, vodenih ptica i beskralješnjaka. Svjetlo, zajedno s nutrijentima (P i N), čini glavne limitirajuće abiotičke čimbenike koji utječu na rast, razvoj, gustoću i raznolikost vodenih makrofita, i određuju njihovu učinkovitost kao skloništa (Winfield, 2004).

Općenito, litoralna zona s gustim sastojinama makrofita smanjuje vjerojatnost susreta plijena i predatora i pozitivno utječe na preživljavanje zooplanktona (Špoljar, 2012b). Brojna istraživanja pokazala su da submerzni makrofiti pozitivno utječu na stabilizaciju jezerskog ekosustava te održavaju prozirnost vode i pri uvjetima visoke koncentracije nutrijenata (Jeppesen i sur., 1999; Kuczyńska − Kippen i Nagengast, 2006; Špoljar i sur., 2012b). Isto tako, submerzni makrofiti kompleksnijeg, razgranatog habitusa, pružaju više mikrostaništa u odnosu na flotantne (plutajuće) i emerzne makrofite manje složenosti habitusa. Njihova površina idealna je podloga za razvoj perifitonskih (epifitskih) zajednica koje se sastoje od algi, praživotinja, bakterija i detritusa (Kuczyńska − Kippen i Nagengast, 2006; Tavşanoğlu i sur., 2012; Colares i sur., 2013). Osim kao sklonište, sastojine makrofita su indirektan izvor hrane zooplanktonu, zbog čega raznolikost i razvijenost perifitonskih zajednica na makrofitima utječe na raznolikost zooplanktona (Kuczyńska − Kippen i Nagengast, 2006; Špoljar i sur., 2012a).

U prozirnim, plitkim jezerima velike piscivorne ribe održavaju optimalnu brojnost manjih planktivornih riba, čime se smanjuje predacija nad većim algivornim zooplanktonskim rakovima. Održavanjem optimalne brojnosti zooplanktonskih rakova smanjuje se biomasa i održava se ravnoteža fitoplanktona u jezeru, a nutrijenti postaju dostupni i makrofitima, što im omogućuje nesmetani razvoj (Burks i sur., 2002; Špoljar, 2012b). Međutim, povećanjem koncentracije hranjivih tvari u jezeru dolazi do pojačanog razvoja fitoplanktona, što s visokom koncentracijom suspendiranih čestica u mutnom jezeru onemogućuje prodor svjetlosti i razvoj submerznih makrofita. Stanište bez makrofita gubi na kompleksnosti i raznolikosti, zbog čega se brojnost piscivornih riba u mutnom jezeru smanjuje, raste broj planktivornih riba, a predacijski pritisak na zooplankton se povećava (Jeppesen i sur., 1999; Meerhoff i sur., 2007; Špoljar i sur., 2011).

## 1.4. Ciljevi istraživanja

Dosadašnja istraživanja istaknula su složenost biotičkih odnosa u plitkim jezerima, a migracije zooplanktona u litoralnu zonu dokazano su efikasan način obrane od predatora i pronalaženja hrane (Meerhoff i sur., 2007; Ternjej i sur., 2010; Špoljar i sur., 2011; Tavşanoğlu i sur., 2012). Jak predacijski pritisak vizualnih predatora smanjuje brojnost velikih i lako uočljivih odraslih jedinki zooplanktona, kao i ženki s jajašcima.

Istraživanje zooplanktona u ovom radu provedeno je u jezerima različite površine, mutnoće i stupnja trofije, s različitim sastojinama makrofitima ili bez njih. Osnovne hipoteze rada pretpostavljaju da pri povećanom intenzitetu predacije riba litoralna zona sa submerznim makrofitima pruža bolju zaštitu i značajno povećava vjerojatnost preživljavanja zooplanktona u odnosu na staništa s flotantnim makrofitima ili bez makrofita. Kao predstavnici zooplanktona razmatrani su rašljoticalci (Cladocera) i veslonošci (Copepoda), a ciljevi rada bili su utvrditi:

- utjecaj predacije riba na raznolikost i brojnost rašljoticalaca i veslonožaca u sedimentu litorala;
- predaciju riba na zooplankton litoralne zone u staništima različite pokrovnosti makrofitima ili bez makrofita;
- biotičke interakcije u različitim staništima.

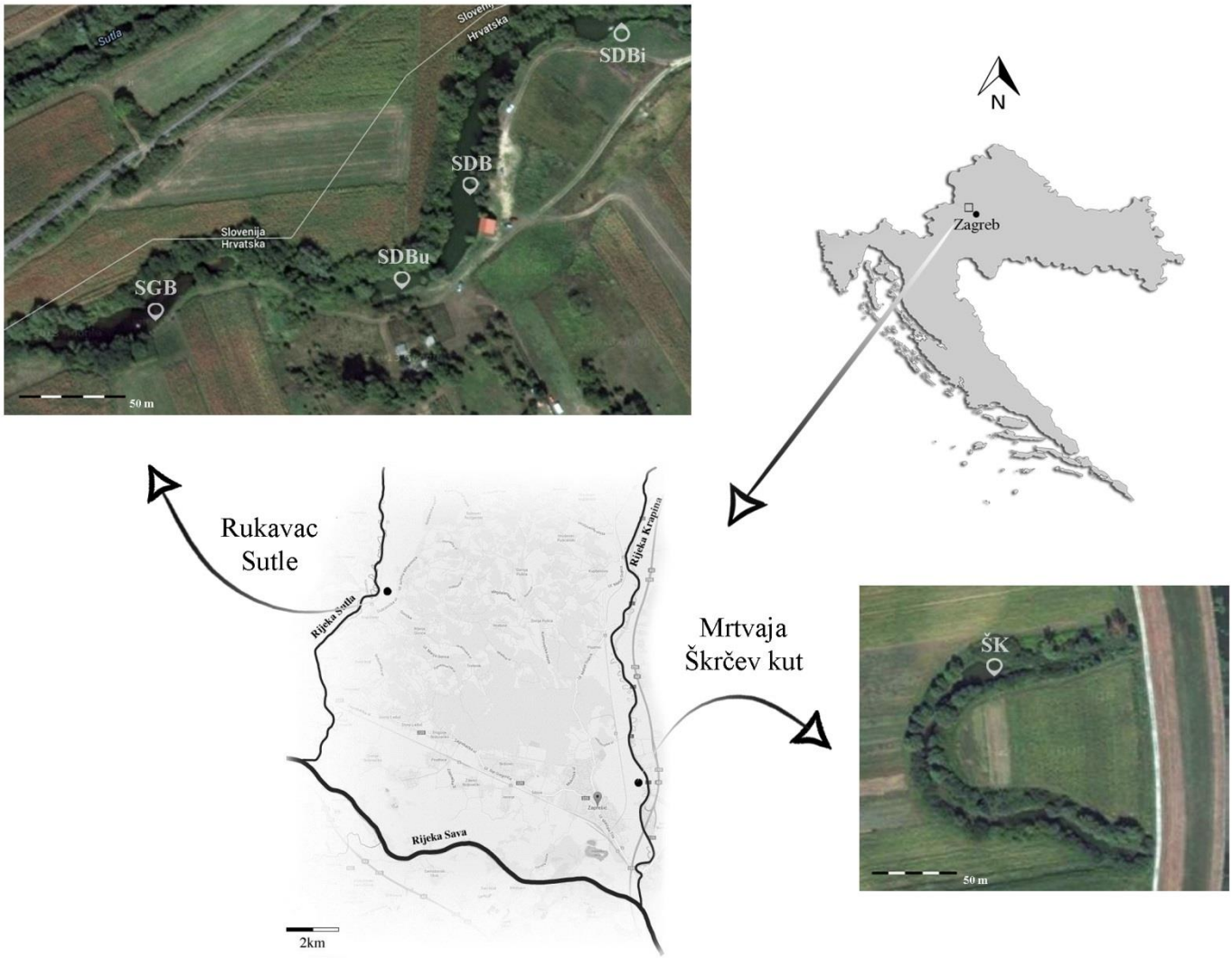
# 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je provedeno na dva lokaliteta: mrtvaja Škrčev kut i rukavac Sutle. Navedeni lokaliteti nalaze se u sjeverozapadnoj Hrvatskoj, u Hrvatskom zagorju. Stijene koje grade geološku podlogu Hrvatskog zagorja nastajale su od paleozoika do kvartara (raspon od približno 440 milijuna godina), a njihov litološki sastav s brojnim fosilima ukazuje da su najvećim dijelom bile taložene u morima ili oceanima. U vrijeme pliocena i kvartara s područja Hrvatskog zagorja povuklo se more, a djelovanjem denudacije i riječne erozije tijekom posljednjih 150000 godina formirao se današnji krajolik Hrvatskog zagorja (Herak, 1984).

Istraživani lokaliteti smješteni su uz rijeke Krapinu i Sutlu. Obje rijeke lijeve su pritoke rijeke Save i pripadaju Crnomorskom slijevu, a njihove aluvijalne ravnice predstavljaju najniže predjele Hrvatskog zagorja. Rijeka Krapina izvire na planini Ivanščici, a dužina toka iznosi oko 75 km. Rijeka Sutla je granična rijeka Hrvatske sa Slovenijom, a ukupna dužina toka je oko 91 km. Slijevno područje rijeke Sutle nalazi se na brdskom dijelu veće površine, a na njega se nadovezuje nizinski dio. Zbog razlike u visini terena, česti su bujični tokovi u brdskom dijelu i pojave vodnih valova u nizinskom dijelu slijevnog područja (Tomec i sur., 2009).

Mrtvaja Škrčev kut odsječeni je meandar rijeke Krapine, nastao odvajanjem od glavnog toka rijeke tijekom izgradnje Zagorske magistrale sredinom 20. stoljeća. Male je površine i dubine, velike mutnoće i dominiraju flotantni makrofiti. Mrtvaja je pod utjecajem ispiranja tla s okolnih oranica i pod utjecajem sportskog ribolova (Tablica 1, Slika 3).

Rukavac rijeke Sutle sastoji se od dva bazena: a) Gornji bazen - plići, manje površine, velike pokrovnosti submerznim makrofitima i b) Donji bazen - dublji, veće površine i bez submerznih makrofita (Tablica 1, Slika 3). U Gornjem bazenu od submerznih makrofita po velikoj pokrovnosti ističe se voščika (*Ceratophyllum demersum*). Rukavac rijeke Sutle pod intenzivnim je antropogenim utjecajem ispiranja tla s okolnih oranica i livada, a Donji bazen je dodatno pod intenzivnim utjecajem sportskog ribolova.




**Slika 3** Shematski i satelitski prikaz istraživanih lokaliteta rukavac Sutle* i mrtvaja Škrčev kut** s označenim postajama uzorkovanja: SGB – Gornji bazen Sutle, SDBu – ulazna postaja Donjeg bazena Sutle, SDB – Donji bazen Sutle, SDBi – izlazna postaja Donjeg bazena Sutle, ŠK - mrtvaja Škrčev kut.

(Izvor: * https://www.google.hr/maps/place/Kraj+Donji/@45.9150425,15.6991214,275m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x4765c7b9d0ab882f:0xbcd935b8d0ec1524?hl=en; **https://www.google.hr/maps/place/Zapre%C5%A1i%C4%87ka,+Jablanovec/@45.8627658,15.8254881,274m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x4765cf890ab797ff:0xa3bf325d23b73e37?hl=en)

**Tablica 1** Morfometrijska obilježja istraživanih lokaliteta – Gornji bazen Sutle (SGB), Donji bazen Sutle (SDB) i Škrčev kut (ŠK).

| Obilježje | SGB | SDB | ŠK |
|---|---|---|---|
| Koordinate | 45°54´51´´S; 15°41´48´´I | 45°54´53´´ S; 15°41´56´´ I | 45°51´45´´S; 15°49´29´´I |
| Površina ($m^2$) | 1118 | 1956 | 2500 |
| $Duljina_{max}$ (m) | 124 | 188 | 300 |
| $Širina_{max}$ (m) | 12,15 | 14,42 | 12 |
| $Dubina_{max}$ (m) | 2,75 | 4,15 | 2 |
| Prozirnost vode (m) | 0,7 ± 0,2 | 0,7 ± 0,3 | 0,4 ± 0,1 |
| Pokrovnost makrofitima (%) | 10 - 50 | 0 | 0,5 - 3 |
| Tip vodenih makrofita | Submerzni | Nisu prisutni | Flotantni |
| Vrsta vodenih makrofita | Voščika (*Ceratophyllum demersum*) | / | Lokvanj (*Nuphar lutea*) |
| Antropogeni utjecaj | Ispiranje tla, gnojiva (umjetnih i prirodnih) i pesticida s okolnih livada i oranica | Ispiranje tla, gnojiva (umjetnih i prirodnih) i pesticida s okolnih livada i oranica; intenzivan sportski ribolov | Ispiranje tla, gnojiva (umjetnih i prirodnih) i pesticida s okolnih oranica; sportski ribolov |

# 3. MATERIJALI I METODE

## 3.1. Uzorkovanje i analiza uzoraka zajednice

Uzorci bentosa na oba lokaliteta su skupljani u litoralnoj zoni, od svibnja do listopada 2013. godine. Od lipnja do kolovoza uzorci su uzimani dva puta mjesečno, a u svibnju, rujnu i listopadu uzorkovano je jednom mjesečno. Uzorci su skupljani na slijedećim postajama: Sutla Gornji bazen (SGB), Sutla Donji bazen uljev vode iz Gornjeg bazena (SDBu), Sutla Donji bazen (SDB), Sutla Donji bazen izljev vode prema koritu Sutle (SDBi) i mrtvaja Škrčev kut (ŠK). Litoralna postaja Gornjeg bazena Sutle uzeta je kao primjer jezera sa submerznim makrofitima, Donjeg bazena Sutle kao primjer jezera bez makrofita, a mrtvaje Škrčev kut kao primjer jezera s flotantnim makrofitima.

Uzorci bentosa uzimani su bentos mrežom (25 x 25 cm, promjera oka 200 μm) na potezu od 0,5 m i konzervirani su u 70 % alkoholu, a nakon toga su u laboratoriju izolirani po sistematskim skupinama. Prilikom separacije makrozoobentosa, izolirani su rakovi iz skupina Cladocera i Copepoda, a za njihovu determinaciju korišteni su ključevi Amoros (1984) i Einsle (1993). Determinacija i kvantitativna analiza uzoraka provedena je na stereomikroskopu (Zeiss Stemi 2000−C, povećanja 20 − 40×) i mikroskopu (Opton 66460, povećanja 50, 126, 500 i 800×). U svrhu analize fekunditeta, posebno su izbrojane ženke Cladocera s jajašcima u ležnom prostoru i ženke Cyclopoida s jajnim vrećicama. Temeljem mjerenja veličine tijela 20-tak jedinki Cladocera i Copepoda izračunata je suha masa jedinki (μg) prema: Burns (1969), Dumont i sur. (1975) i Bottrell i sur. (1976) te je izražena u $mg/m^2$. U ukupnu biomasu planktonskih rakova nije uvrštena biomasa nauplija i Ostracoda, a biomasa skupine Harpacticoida navedena je, ali nije razmatrana u biomasi trofičkih skupina planktonskih rakova. Rakovi su razvrstani u trofičke skupine prema Karabin (1985).

Uzorkovanje ihtiofaune izvršeno je elektroagregatom u trajanju od 15', a brojnost jedinki izražena je kao jed/ulov 15' (Hans Grassl EL 63II; 220/400 V; 17,8/8,9 A). Uzorkovanje je provedeno na jednoj postaji u Gornjem bazenu Sutle (SGB) i u mrtvaji Škrčev kut (ŠK) te na dvije postaje u Donjem bazenu Sutle (SDBu, SDB). Dužina i masa riba izmjerene su na terenu, a razmatrane su vrste porodice šaranki: babuška (*Carassius gibelio* - CaG), bezribica (*Pseudoparva parva* - PP), bodorka (*Rutilus rutilus* - RR), crvenperka (*Scardinius erythrophtalmus* - SE), deverika (*Abramis brama* – AB), klen (*Squalius cephalus* - SC),

krkuša (*Gobio gobio* - GG), krupatica (*Blicca bjoerkna* - BB), nosara (*Vimba vimba* - VV), obična uklija (*Alburnus alburnus* - AA), šaran (*Cyprinus carpio* - CyC), vijun (*Cobitis elongata* - CoE), zlatni karas (*Carassius carassius* - CaC); i grgečki: grgeč (*Perca fluviatilis* - PF) i sunčanica (*Lepomis gibbosus* - LG). Navedene kratice vrsta bit će korištene u grafičkim prikazima.

## 3.2. Određivanje limnoloških čimbenika

Određena je pokrovnost jezera makrofitima, a paralelno s uzorcima bentosa uzimani su uzorci za kemijsku analizu vode i izvora hrane. Na terenu su izmjereni osnovni limnološki čimbenici: temperatura vode, koncentracija otopljenog kisika i zasićenje kisikom, pH (Hatch HQ30d), konduktivitet (konduktometar oznake Hach Sension 5) i prozirnost vode (Secchi disk).

U laboratoriju su provedene kemijske analize sljedećih čimbenika: mutnoća, alkalinitet, hranjive tvari (amonijak, nitriti, nitrati, ukupan dušik (TN, eng. *total nitrogen*), fosfati, ukupni fosfor (TP, eng. *total phosphorous*)). Koncentracija otopljenih organskih tvari, DOM (eng. *dissolved organic matter*), mjerena je putem COD (eng. *chemical oxygen demand*, $COD_{Mn}$). Kao izvori hrane razmatrani su koncentracija suspendiranih organskih tvari (POM, eng. *particulate organic matter*), temeljem mase organske tvari (AFDM, eng. *ash free dry mass*) i biomasa algi (temeljem koncentacije klorofila *a*, Chl *a*). Za njihovo određivanje korištene su volumetrijske i spektrofotometrijske metode (spektrofotometar Hach DR/2000) te ionski kromatograf (Dionex ICS-3000).

Mutnoća vode određivana je spektrofotometrijski i izražavana u NTU (eng. *nephelometric turbidity unit* – nefelometrijska jedinica mutnoće).

Nitriti, nitrati i amonijak određivani su ionskim kromatografom (kolona IonPAC AS22) (APHA, 1995). Ukupni dušik određen je Kjeldahlovom metodom (APHA, 1995). Svi oblici dušika (osim nitrata i nitrita) prevedeni su u amonijak digestijom s kalijevim sulfatom i sumpornom kiselinom uz selenov dioksid kao katalizator. Nastali amonijak mjeren je spektrofotometrijski, metodom po Wagneru (APHA, 1995).

Ukupni fosfor određen je prevođenjem u ortofosfate, a koncentracija ortofosfata određena je spektrofotometrijski, metodom s amonijevim molibdatom (APHA, 1995).

Za određivanje relativne koncentracije otopljene organske tvari (DOM, eng. *dissolved organic matter*) korištena je metoda kemijske potrošnje kisika iz kalijevog permanganata ($KPK_{KMnO4}$). To je oksidacijsko-redukcijska metoda koja se temelji na kemijskoj reakciji u kojoj jako oksidacijsko sredstvo ($KMnO_4$) oksidira svu otopljenu organsku tvar u vodi. Količina utrošenoga kisika ekvivalentna je količini otopljene organske tvari (Špoljar i sur., 2011).

Alge i suspendirane organske tvari razmatrane su kao osnovni izvori hrane zooplanktonskih organizama. Za procjenu količine detritusa u vodi određivana je masa suspendirane organske tvari (POM) temeljem vrijednosti gubitka pri žarenju (AFDM). Uzorak je prvo sušen na temperaturi od 104 ºC (vaganjem je dobivena masa suhog ostatka) u keramičkoj posudici, a potom žaren u mufolnoj peći na 600 ºC/6 h (vaganjem je dobivena masa žarenog ostatka). Razlika masa suhog i žarenog ostatka je gubitak pri žarenju, POM (mg AFDM/L) (Špoljar i sur., 2011). Određena je i količina organske tvari u sedimentu te su izraženi udjeli pojedinih organskih tvari (pelal, listinac, dendron, *Ceratophyllum*).

Klorofil *a* osnovni je fotosintetski pigment većine autotrofnih organizama, a mjerenje njegove koncentracije jedan je od načina određivanja biomase fitokomponente u planktonu i obraštaju. Postupak određivanja koncentracije klorofila *a* proveden je etanolskom ekstrakcijom prema Nuschu (1980).

## 3.3. Analiza podataka

Pokrivenost 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*) izračunavaju se temeljem prozirnosti izmjerenih Secchi diskom (Carlson, 1977) i govore o stupnju trofije vodenog sustava.

U prikazu podataka korištene su osnovne statističke mjere, kao što su srednja vrijednost (SV) i standardna devijacija (SD). U grafičkim prikazima mjeseci su označeni rimskim brojevima (svibanj – V, lipanj/1 – VI/I, lipanj/2 – VI/II, srpanj/1 – VII/I, srpanj/2 – VII/II, kolovoz/1 –

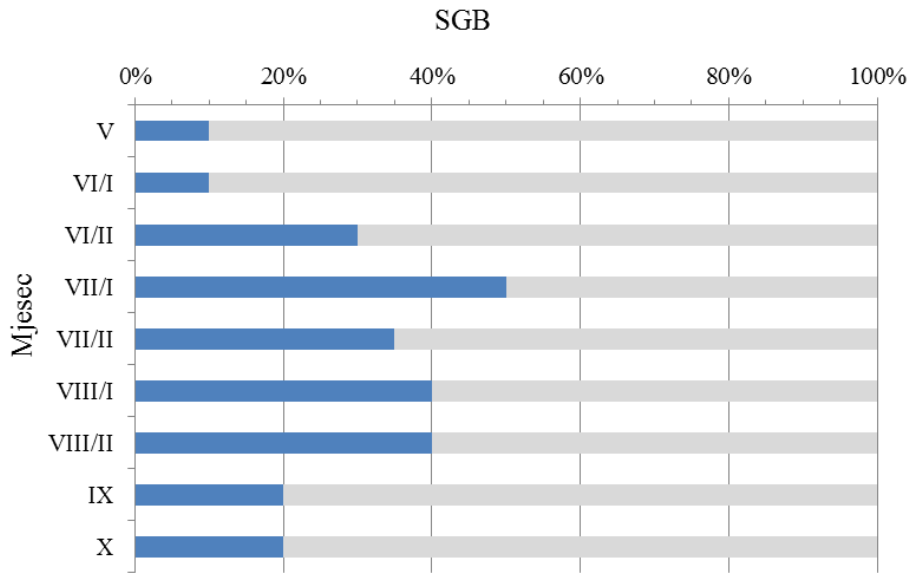
VIII/I, kolovoz/2 – VIII/II, rujan – IX, listopad – X). Grafički i tabelarni prikazi izrađeni su u programu Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation, 2010).

Prije statističke analize provedena je provjera raspodjele podataka Shapiro–Wilk's testom, iz čega proizlazi da nakon logaritamske transformacije [log (x+1)] podaci nisu slijedili pravilnu raspodjelu, stoga su nadalje korišteni neparametrijski testovi. Za analizu prostornih promjena fizičko−kemijskih čimbenika, izvora hrane, brojnosti, raznolikosti i biomase zooplanktona, brojnosti i morfometrijskih obilježja ihtiofaune korišten je 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. Za utvrđivanje značajnosti interakcija između abiotičkih i biotičkih čimbenika korišten je Speearmanov koeficijent korelacije. Dobiveni podaci analizirani su u programu STATISTICA 8.0 (StatSoft inc., 2007).

# 4. REZULTATI

## 4.1. Osnovni limnološki čimbenici

Pokrovnost sastojinama submerzne voščike (*Ceratophyllum demersum*) u Gornjem bazenu Sutle oscilirala je od 10 do 50 %, a najveće vrijednosti pokrovnosti izmjerne su ljeti (Slika 4). Ove oscilacije nisu bile statistički značajne (Kruskal−Wallis test, $p > 0,05$). Dno Donjeg bazena Sutle nije bilo pokriveno makrofitima tijekom istraživanog razdoblja, dok je Škrčev kut (ŠK) samo krajem proljeća i početkom ljeta imao vrlo malu pokrovnost (0,5 – 3 %) flotantnim makrofitima, lokvanjem (*Nuphar lutea*).




**Slika 4** Prikaz oscilacija u pokrovnosti (%) submerznim makrofitima u Gornjem bazenu Sutle tijekom istraživanog razdoblja.

**Tablica 2** Minimalne, maksimalne, srednje vrijednosti (SV) i standardna devijacija (SD) limnoloških čimbenika i značajnost prostornih razlika u promjenama fizičko-kemijskih čimbenika, hranjivih tvari i izvora hrane na istraživanim postajama (Kruskal-Wallis: df = 4, n = 41; $p < 0,05$; *post hoc* test višestruke usporedbe).

| **Limnološki čimbenici** | **Min** | **Max** | **SV ± SD** | Prostorne promjene | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | **H** | **p** | **Test višestruke usporedbe** |
| Dubina (m) | 0,4 | 4,2 | 1,2 ± 0,9 | 22,2 | 0,0002 | SDB > ŠK, SDBu, SDBi |
| Prozirnost$_{SD}$ (m) | 0,1 | 1,3 | 0,6 ± 0,2 | 16,1 | 0,0029 | ŠK < SDB |
| Temperatura (°C) | 13,7 | 28,0 | 20,7 ± 3,8 | 1,8 | ns | / |
| pH | 7,3 | 8,6 | 7,8 ± 0,3 | 3,7 | ns | / |
| Koncentracija otopljenog kisika (mg $O_2$/L) | 2,0 | 16,8 | 6,6 ± 3,1 | 10,3 | ns | / |
| Zasićenje kisikom (%) | 24,3 | 184,9 | 73,3 ± 36,3 | 12,2 | 0,0158 | SDBi < ŠK |
| Konduktivitet (µS/cm) | 229 | 681 | 493,2 ± 159,2 | 32,1 | 0 | ŠK < SDB, SDBu, SDBi; SGB < SDBi |
| Mutnoća vode (NTU) | 0 | 55 | 25,1 ± 14,8 | 11 | 0,0272 | ŠK > SGB |
| Amonijak (mg N-$NH_4$/L) | 0,004 | 0,566 | 0,145 ± 0,131 | 0,7 | ns | / |
| Nitriti (mg N-$NO_2^-$/L) | 0,003 | 0,068 | 0,018 ± 0,017 | 6,2 | ns | / |
| Nitrati (mg N-$NO_3^-$/L) | 0,024 | 0,875 | 0,204 ± 0,206 | 10,6 | 0,0311 | SDBi > SGB |
| Ortofosfati (mg P-$PO_4^{3-}$/L ) | 0,031 | 1,011 | 0,136 ± 0,179 | 6,8 | ns | / |
| Ukupni fosfor (mg P/L) | 0,096 | 1,325 | 0,449 ± 0,184 | 9,3 | ns | / |
| Ukupni dušik (mg N/L) | 0,206 | 2,437 | 1,199 ± 0,561 | 3,6 | ns | / |
| Biomasa fitoplanktona (µg Chl *a*/L) | 0,30 | 117,81 | 29,04 ± 28,37 | 14,7 | 0,0053 | ŠK > SDBi, SDB |
| DOM (mg$_{O_2Mn}$/L) | 14,22 | 38,55 | 23,02 ± 6,97 | 16,3 | 0,0027 | ŠK > SDB, SDBi, SDBu |
| POM (mg AFDM/L) | 0,30 | 20,44 | 2,83 ± 4,15 | 25,8 | 0 | SGB > SDBi, SDB, SDBu |

Od istraživanih lokaliteta, najveće srednje vrijednosti **dubine** izmjerene su u postaji SDB (2,7 ± 0,7 m) i bile su statistički značajno veće u odnosu na dubine izmjerene na ostalim postajama rukavca Sulte i Škrčevog kuta (Tablica 2, Slika 5).

**Prozirnost vode$_{SD}$** ukazivala je statistički značajno veću prozirnost na postaji SDB (0,7 ± 0,3 m) u odnosu na postaju ŠK, gdje su izmjerene najniže vrijednosti (0,4 ± 0,1 m) (Tablica 2, Slika 5).

**Mutnoća vode** izmjerena na postaji ŠK pokazivala je vrlo visoke vrijednosti (39,1 ± 16,2 NTU), koje su se statistički značajno razlikovale od vrijednosti izmjerenih na postaji SGB (Tablica 2, Slika 5).

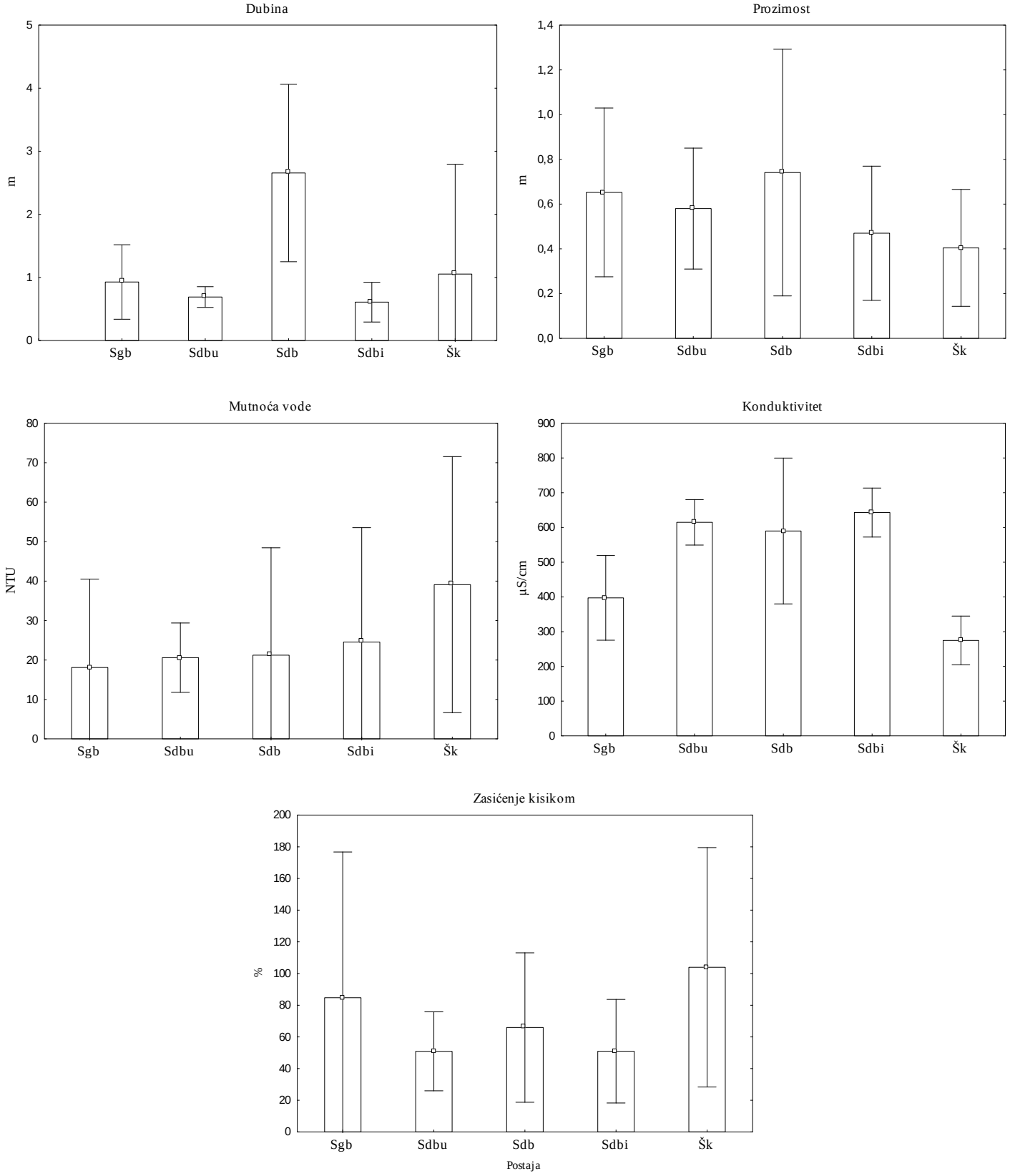
Tijekom istraživanog razdoblja **temperatura** (20,7 ± 3,8 °C), **pH** (7,8 ± 0,3) i **koncentracija otopljenog kisika** (6,6 ± 3,1 mg $O_2$/L) nisu pokazivale statistički značajne oscilacije između istraživanih postaja (Tablica 2). Vrijednosti **zasićenja kisikom** bile su statistički značajno niže u postaji SDBi (50,9 ± 16,3 %) u odnosu na postaju ŠK, gdje su izmjerene visoke vrijednosti bile dvostruko veće (104 ± 37,8 %) (Tablica 2, Slika 5).

Izmjerene vrijednosti **konduktiviteta** na postaji ŠK ukazuju na statistički značajno manje vrijednosti u odnosu na postaje Donjeg bazena Sutle. Konduktivitet izmjeren na postaji SGB pokazivao je značajno manje vrijednosti u odnosu na postaju SDBi, gdje su izmjerene najveće srednje vrijednosti konduktiviteta (643,1 ± 35,3 μS/cm), što je rezultiralo statistički značajnim razlikama (Tablica 2, Slika 5).

**Koncentracije ortofosfata** i **ukupnog fosfora** nisu se značajno razlikovale u istraživanom razdoblju, a kretale su se oko srednje vrijednosti 0,136 ± 0,179 mg P-$PO_4^{3-}$/L za ortofosfate i 0,449 ± 0,184 mg P/L za ukupni fosfor (Tablica 2). Vrijednosti **ukupnog dušika** (1,199 ± 0,561 mg N/L), **koncentracije amonijaka** (0,145 ± 0,131 mg N-$NH_4$/L) i **nitrita** (0,018 ± 0,017 mg N-$NO_2^-$/L) nisu pokazivale statistički značajne razlike između istraživanih postaja (Tablica 2), dok je **koncentracija nitrata** bila statistički značajno veća na postaji SDBi u odnosu na postaju SGB (Tablica 2, Slika 6).

**$TSI_{SD}$** izračunat temeljem prozirnosti u Gornjem bazenu Sutle (60 ± 5,5) ukazuje na prijelaz mezotrofije u eutrofiju, u Donjem bazenu Sutle (70 ± 2) ukazuje na prijelaz eutrofije u hipereutrofiju, a u mrtvaji Škrčev kut (74,3 ± 7,9) ukazuje na hipereutrofiju.

**Koncentracije otopljene organske tvari** ($mg_{O_2Mn}$/L) na postaji ŠK pokazivale su statistički veće vrijednosti u odnosu na sve postaje Donjeg bazena Sutle (Tablica 2, Slika 6).



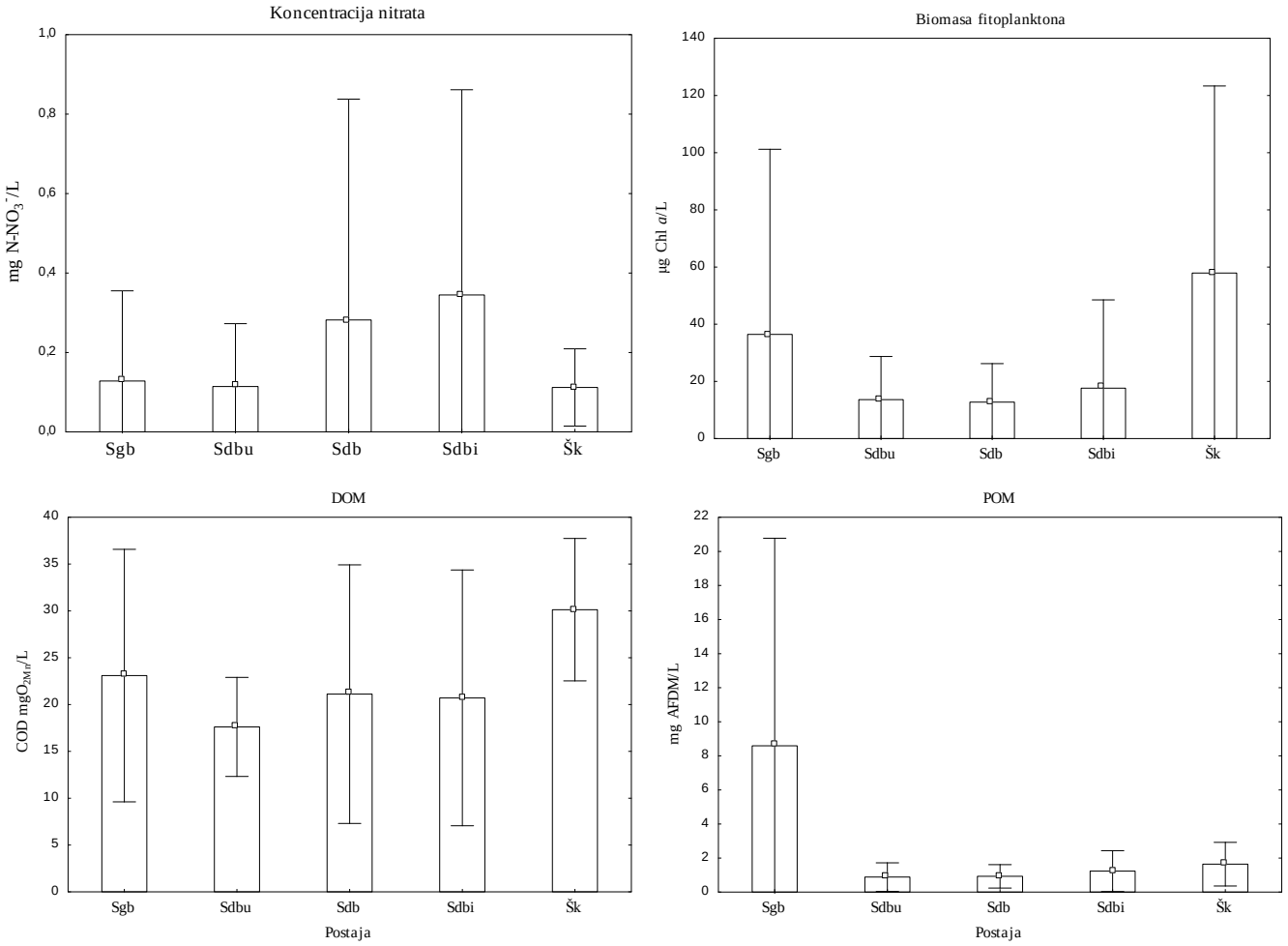

**Slika 5** Statistički značajne promjene analiziranih okolišnih čimbenika između istraživanih postaja (Kruskal-Wallis: df = 4, n = 41; p < 0,05). Legenda: srednja vrijednost ± SD / minimalna-maksimalna vrijednost.

## 4.2. Izvori hrane

Kao izvori hrane razmatrani su biomasa fitoplanktona i detritusa iz vode te organske tvari u sedimentu.

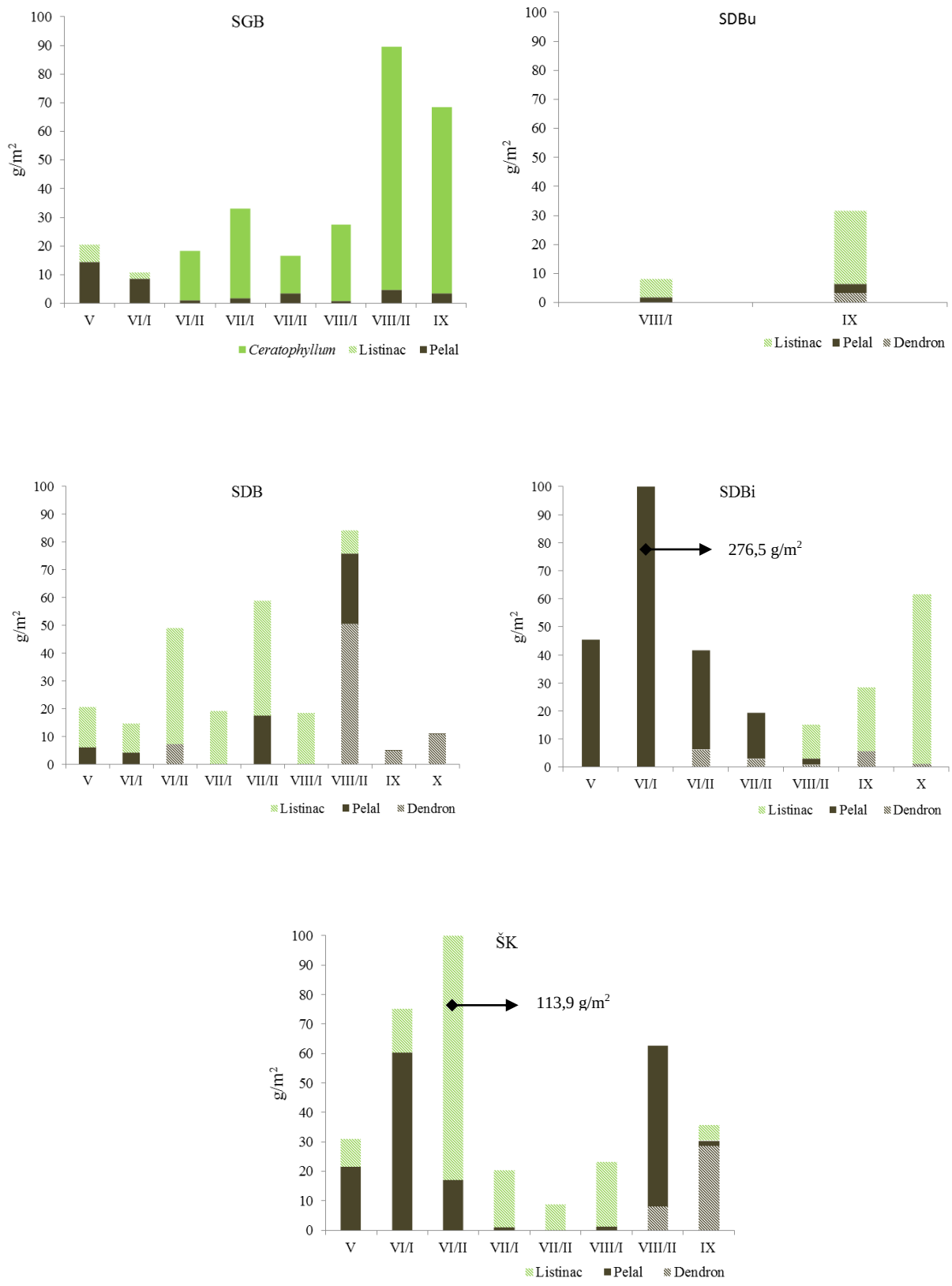
**Biomasa fitoplanktona** (μg Chl *a*/L) zabilježena na postaji ŠK tijekom istraživanog razdoblja imala je vrlo visoke vrijednosti i statistički se značajno razlikovala od vrijednosti na ostalim postajama (Tablica 2, Slika 6).

**Suspendirane organske tvari** (POM) pokazivale su vrlo visoke vrijednosti na postaji SGB i statistički su se značajno razlikovale od vrijednosti na svim litoralnim postajama Donjeg bazena Sutle (Tablica 2, Slika 6).




**Slika 6** Statistički značajne promjene analiziranih hranjivih tvari i izvora hrane između istraživanih postaja (Kruskal-Wallis: df = 4, n = 41; $p < 0,05$). Legenda: ▣ srednja vrijednost ± SD / ⌶ minimalna-maksimalna vrijednost.

Analizom **organskih tvari u sedimentu** litoralne zone (Slika 7) na postaji SGB od kraja lipnja do listopada izmjeren je veliki postotni udio habitusa vrste *Ceratophyllum*, čija je srednja vrijednost suhe mase iznosila 39,8 ± 28,8 g/m$^2$, dok je srednja vrijednost pelala iznosila 4,6 ± 4,6 g/m$^2$. U sedimentu litoralne postaje SDBu prevladavao je listinac (80 %), čija se srednja vrijednost tijekom istraživanog razdoblja kretala oko 15,8 ± 13,2 g/m$^2$. U sedimentu litoralne postaje SDB najzastupljeniji je bio listinac (70 – 100 %), dok je od kraja kolovoza do listopada u sedimentu dominirao dendron (60 – 98 %). Na postaji SDBi od svibnja do kraja kolovoza određen je veliki postotni udio pelala (85 – 100 %), čija je srednja vrijednost iznosila 75,2 ± 113,7 g/m$^2$, dok je najviša vrijednost izmjerena početkom lipnja (276,5 g/m$^2$). Od kraja kolovoza povećava se vrijednost listinca i dentrona, koji sačinjavaju glavninu sedmenta u tom razdoblju. Na postaji ŠK podjednako su bili zastupljeniji listinac (25,3 ± 32,1 g/m$^2$) i pelal (22,5 ± 25,2 g/m$^2$), dok je u listopadu zabilježen veliki udio dendrona (80 %). Značajne razlike između istaživanih postaja bile su u masi listinca (Kruskal-Wallis: df = 4, n = 34; H = 9,9, p = 0,0421; *post hoc* test višestruke usporedbe), koje su bile značajno više na postaji uljeva vode iz Gornjeg bazena (SDBu) u odnosu na Gornji bazen. Očekivano, statistički je značajno više makrofita (*Ceratophyllum*) bilo u litoralu Gornjeg bazena u odnosu na ostale postaje, gdje su se makrofiti javljali mjestimično (Kruskal-Wallis: df = 4, n = 34; H = 22,7, p = 0,0001; *post hoc* test višestruke usporedbe).




**Slika 7** Vremenske promjene mase i sastava organskih tvari u sedimentu litorala istraživanih postaja.

## 4.3. Raznolikost, brojnost i biomasa Cladocera i Copepoda u sedimentu litoralne zone plitkih jezera

Na istraživanim lokalitetima ukupno je determinirano 9 vrsta Cladocera i 8 vrsta Copepoda.

U sedimentu litoralne postaje SDB određen je najveći broj svojti (12), a u postaji SDBi najmanji broj svojti (5) u odnosu na ostale istraživane postaje. Skupina Cyclopoida ukupnom brojnošću dominirala je samo na postaji SDB (72 %), dok je na ostalim postajama zabilježena dominacija Cladocera. Najveća srednja vrijednost brojnosti zabilježena je na postaji SDB (804 ± 3693 jed/$m^2$), a najmanja na postajama SDBi (105 ± 158 jed/$m^2$) i ŠK (118 ± 451 jed/$m^2$). Najveća srednja vrijednost biomase zabilježena je na postaji SGB (12,605 ± 15,453 mg/$m^2$), a najmanju vrijednost imala je postaja SDBi (1,649 ± 2,448 mg/$m^2$). Najveću zastupljenost ženki Cladocera s jajašcima u odnosu na ukupnu brojnost imala je postaja SDB (47,5 %), dok je najmanju zastupljenost imala postaja ŠK (8,9 %). Zastupljenost ženki Cyclopoida s jajašcima tijekom istraživanog razdoblja bila je značajno niža u odnosu na zastupljenost Cladocera, najviša vrijednost izmjerena je na postaji SDBu (9,4 %), a najmanja na postaji ŠK (0,5 %).

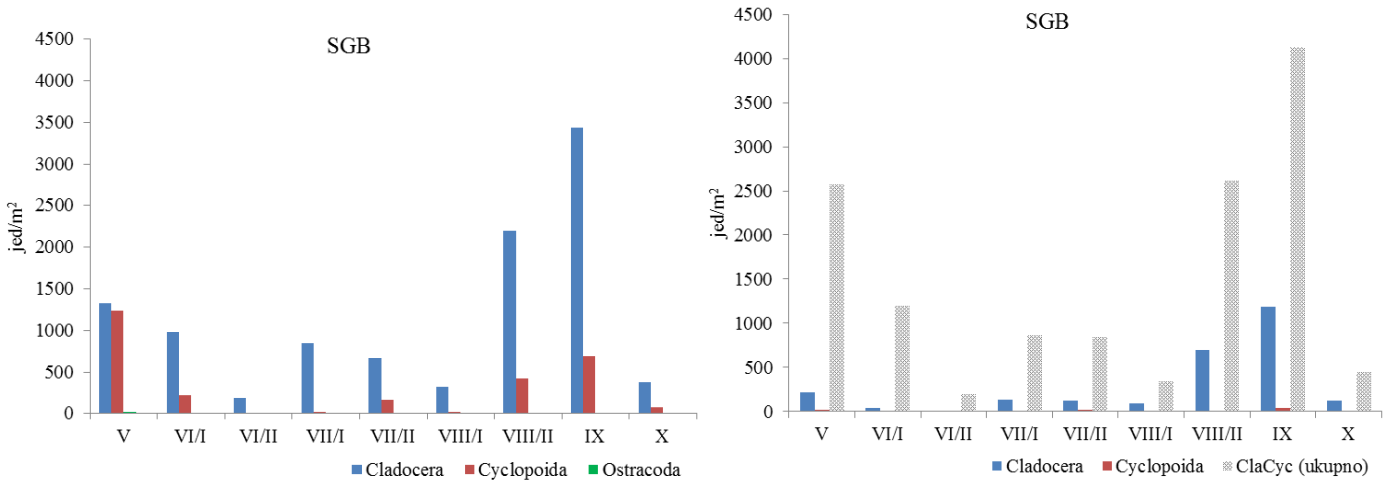
### 4.3.1. Jezero sa submerznim makrofitima (SGB)

U sedimentu litoralne postaje SGB određeno je ukupno 9 svojti, od kojih je 4 Cladocera, 4 Copepoda i Ostracoda. Raznolikost se kretala u rasponu od 2 do 7 svojti tijekom istraživanog razdoblja (Tablica 3). U ukupnom udjelu dominirala je skupina Cladocera (78 %) s izrazito visokim brojnostima krajem kolovoza (2200 jed/$m^2$) i u rujnu (3440 jed/$m^2$). Od determiniranih vrsta Cladocera, brojnošću su se isticale vrste roda *Simocephalus* (Tablica 3). Skupina Cyclopoida bila je zastupljena s 22 % u ukupnoj brojnosti, najveću brojnost postigla je u svibnju (1240 jed/$m^2$), a nakon toga je njihova brojnost manja od 500 jed/$m^2$ (Slika 8). Najzastupljenija vrsta Cyclopoida bila je *Macrocyclops albidus* (142 ± 197 jed/$m^2$), dok je vrsta *Acanthocyclops robustus* s velikom brojošću (880 jed/$m^2$) bila prisutna samo u svibnju.

Ukupna brojnost Cladocera s jajašcima značajno se povećavala od srpnja do listopada (Slika 8), dok je njihov postotni udio u ukupnoj brojnosti iznosio 25 %. Skupina Cyclopoida tijekom

cijelog istraživanja imala je malu zastupljenost ženki s jajašcima u odnosu na ukupnu brojnost ove skupine (4 %).

Ukupna biomasa Crustacea u sedimentu litorala s makrofitima iznosila je 22,689 ± 23,761 mg/m$^2$, a biomasom su dominirali Cladocera (17,534 ± 18,488 mg/m$^2$). Najveće vrijednosti ukupne biomase izmjerene su krajem kolovoza i u rujnu (Slika 11). U ukupnoj biomasi prevladavala je trofička skupina mikrofiltratora algivora, a biomasa makrofiltratora omnivora postigle je visoke vrijednosti u svibnju (22,451 mg/m$^2$) i rujnu (12,588 mg/m$^2$) (Tablica 4).




**Slika 8** Vremenske promjene brojnosti zabilježenih skupina planktonskih rakova (lijevo) i ženki Cladocera i Cyclopoida s jajašcima (desno) u Gornjem bazenu Sutle (SGB).

### 4.3.2. Jezero bez makrofita (SDB)

*SDBu*

U litoralnom sedimentu postaje SDBu određeno je ukupno 7 svojti (3 Cladocera, 4 Copepoda), a prosječno su bile prisutne 4 svojte (Tablica 3). U ukupnom udjelu dominirala je skupina Cladocera (70 %) s visokim brojnostima oko 2000 jed/m$^2$ u kolovozu i listopadu (Slika 9). Vrsta *Simocephalus vetulus* krajem ljeta postigla je brojnosti od 1400 - 2112 jed/m$^2$,

dok je u preostalom razdoblju brojnost varirala od oko srednje vrijednosti od 1181 ± 1057 jed/$m^2$. Skupina Cyclopoida postigla je udio od 29 % u ukupnoj brojnosti, a najveću brojnost postigla je u listopadu (1704 jed/$m^2$), kada je zabilježena i velika brojnost ličinačkih stadija, kopepodita (Tablica 3). Najzastupljenija vrsta Cyclopoida bila je *Macrocyclops albidus* s ukupnom brojnošću od 80 ± 35 jed/$m^2$, dok je vrsta *Cyclops* sp. u velikoj brojnosti bila prisutna samo u listopadu (Tablica 3).

Na ovoj je postaji zabilježena velika zastupljenost Cladocera s jajašcima (Slika 9) u odnosu na njihovu ukupnu brojnost (46 %), dok se zastupljenost Cyclopoida s jajašcima kretala oko 9 % u odnosu na njihovu ukupnu brojnost.

Ukupna biomasa Crustacea u sedimentu istraživane postaje kretala se oko srednje vrijednosti od 25,4 ± 28,3 mg/$m^2$. Najveću izmjerenu biomasu tijekom istraživanog razdoblja postigla je skupina Cladocera (19,885 ± 22,483 mg/$m^2$), a najveće vrijednosti ukupne biomase izmjerene su početkom kolovoza i u listopadu (Slika 11). U ukupnoj biomasi postaje dominirala je trofička skupina mikrofiltratora algivora, a u listopadu je značajno porasla biomasa makrofiltratora omnivora (13,528 mg/$m^2$) (Tablica 4).

*SDB*

U sedimentu litoralne postaje SDB određeno je ukupno 12 svojti, od toga 6 Cladocera, 5 Copepoda i Ostracoda (Tablica 3). Skupina Cyclopoida dominirala je ukupnom brojnošću s udjelom 72 %, a izrazito visoku brojnost imala je u svibnju (24256 jed/$m^2$) (Slika 9). Skupina Cladocera bila je zastupljena sa 27 % u ukupnoj brojnosti, a najveću brojnost postigla je također u svibnju (Slika 9). Skupine Calanoida, Harpacticoida i Ostracoda zabilježene su u vrlo malom postotnom udjelu, ukupno 0,6 %. Najzastupljenije vrste bile su *Simocephalus vetulus* (365 ± 320 jed/$m^2$), *Simocephalus expinosus* (265 ± 260 jed/$m^2$) i *Macrocyclops albidus* (85 ± 93 jed/$m^2$), a u svibnju su zabilježene značajno visoke brojnosti vrsta *Bosmina longirostris* (5120 jed/$m^2$), *Mesocyclops leuckarti* (2176 jed/$m^2$) i kopepodita (21824 jed/$m^2$) (Tablica 3). Na postaji SDB, u odnosu na ostale istraživane postaje, zabilježena je najveća zastupljenost Cladocera s jajašcima u odnosu na ukupnu brojnost Cladocera (48 %), dok je zastupljenost Cyclopoida s jajašcima bila vrlo niska (2 %) (Slika 9).

Biomasa Crustacea u sedimentu istraživane postaje kretala se oko srednje vrijednosti od 26,300 ± 52,537 mg/$m^2$, a najveća vrijednost ukupne biomase izmjerena je u svibnju (Slika

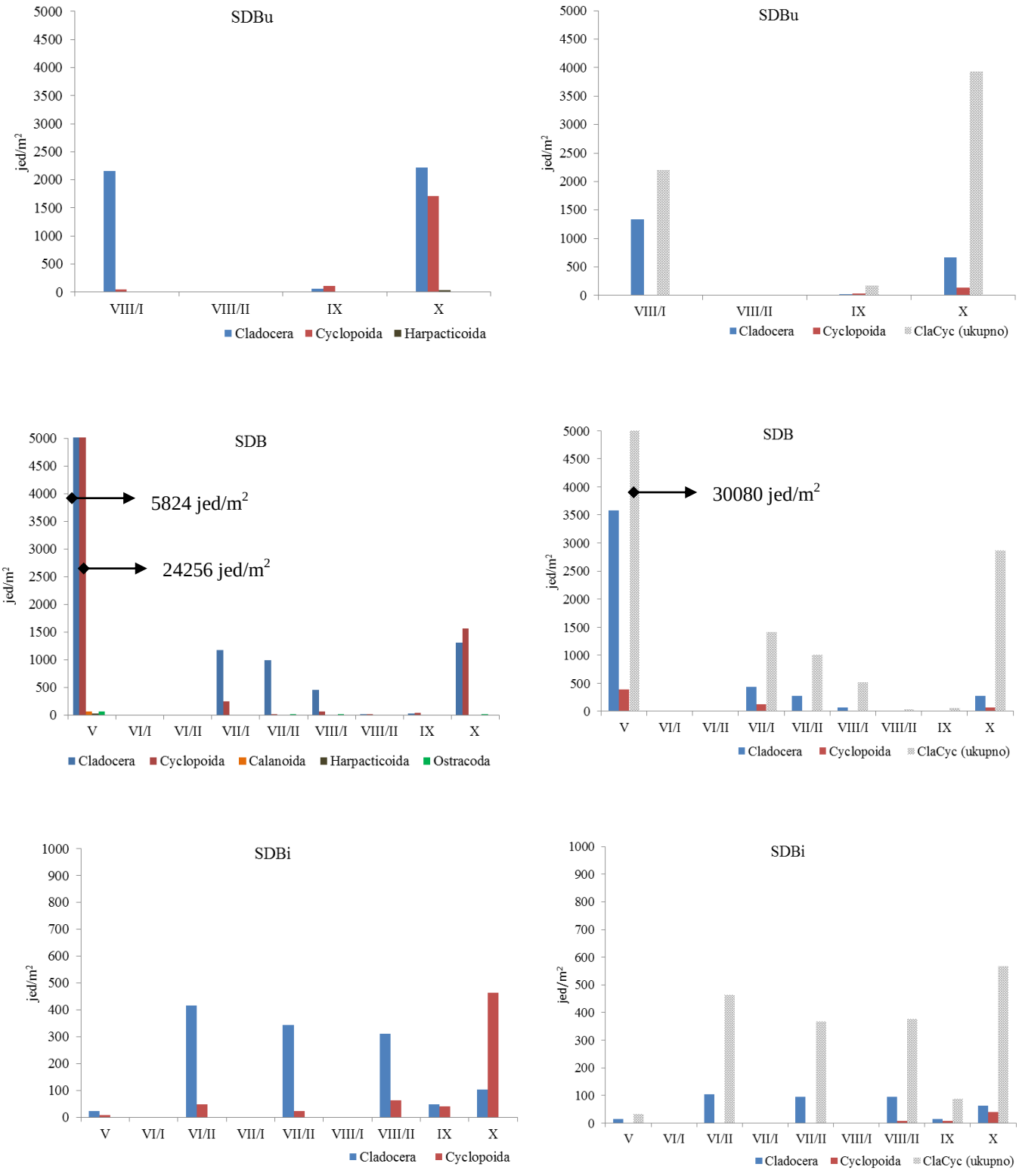
11). Skupina Cyclopoida dominirala je u ukupnoj biomasi sa srednjom vrijednošću od 18,474 ± 49,827 mg/$m^2$. U ukupnoj biomasi postaje dominirala je trofička skupina mikrofiltratora algivora, a u svibnju su izmjerene najviše vrijednosti biomase svih prisutnih trofičkih skupina (Tablica 4).

*SDBi*

U sedimentu litorala postaje SDBi određeno je ukupno 5 svojti, 3 Cladocera i 2 Copepoda (Tablica 3). U ukupnom udjelu prevladavali su Cladocera, 66 %. Općenito, brojnost planktonskih rakova u sedimentu nije prelazila 568 jed/$m^2$, što je znatno manje u odnosu na ostale istraživane postaje (Tablica 3). Najveća brojnost jedinki Cladocera, 416 jed/$m^2$, zabilježena je krajem lipnja. Skupina Cyclopoida bila je zastupljena sa 34 % u ukupnoj brojnosti, a najveću brojnost postigla je u listopadu (464 jed/$m^2$). U listopadu je zabilježena i velika brojnost kopepodita (200 jed/$m^2$).

Zastupljenost Cladocera s jajašcima u odnosu na njihovu ukupnu brojnost iznosila je 31 %, dok se zastupljenost Cyclopoida s jajašcima kretala oko 9 % u odnosu na njihovu ukupnu brojnost (Slika 9).

U sedimentu istraživane postaje izmjerene su najniže vrijednosti biomase Crustacea (2,969 ± 3,529 mg/$m^2$), a u izmjerenoj biomasi dominirala je skupina Cladocera (Slika 11). U ukupnoj biomasi postaje dominirala je trofička skupina mikrofiltratora algivora, dok su u listopadu u biomasi značajno dominirali makrofiltratori omnivori (4,216 mg/$m^2$) (Tablica 4).



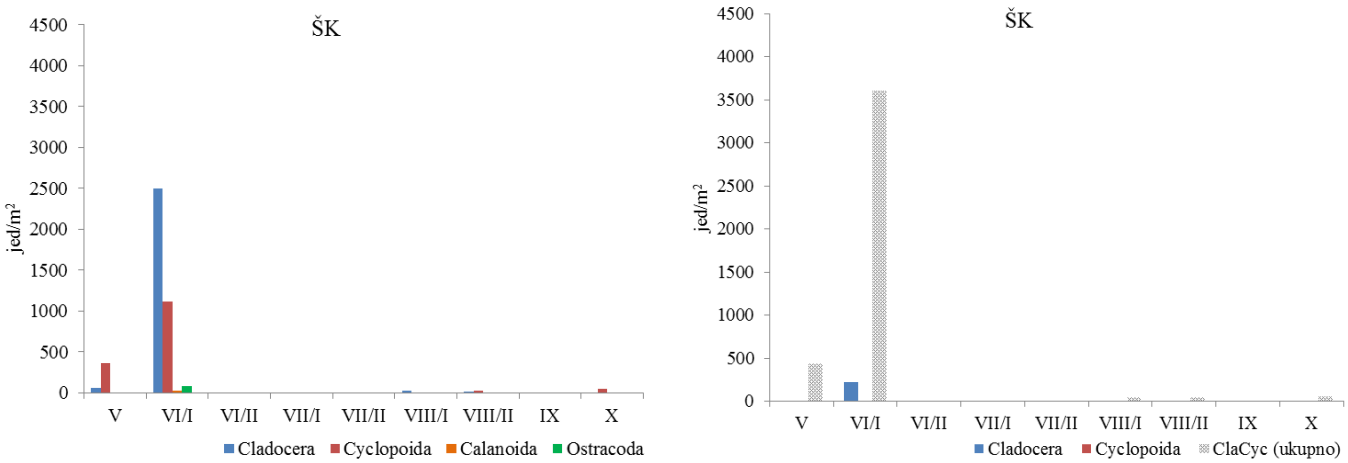

**Slika 9** Vremenske promjene brojnosti zabilježenih skupina planktonskih rakova (lijevo) i ženki Cladocera i Cyclopoida s jajašcima (desno) u istraživanim postajama Donjeg bazena Sutle.

### 4.3.3. Jezero s flotantnim makrofitima (ŠK)

U mrtvaji Škrčev kut određeno je ukupno 8 svojti (3 Cladocera, 4 Copepoda i Ostracoda) (Tablica 3). U ukupnom udjelu dominirala je skupina Cladocera sa 61 %, a najveća brojnost zabilježena je početkom lipnja (2496 jed/m$^2$) (Tablica 3). Skupina Cyclopoida bila je zastupljena sa 36 % u ukupnoj brojnosti, a najveću brojnost postigla je također početkom lipnja (1112 jed/m$^2$). Na postaji je zabilježena i vrlo mala brojnost skupina Calanoida i Ostracoda, ukupno 3 %. Stanište je tijekom istraživanog razdoblja predstavljalo zaklon u najvećoj mjeri jedinkama vrsta *Simocephalus vetulus* (372 ± 680 jed/m$^2$) i *Cyclops* sp. (320 ± 262 jed/m$^2$), dok je vrsta *Simocephalus expinosus* u velikoj brojnosti (992 jed/m$^2$) zabilježena početkom lipnja (Tablica 3).

U mrtvaji Škrčev kut zastupljenost ženki s jajašcima u odnosu na njihovu ukupnu brojnost bila je znatno manja u odnosu na ostale istraživane postaje. Zastupljenost Cladocera s jajašcima iznosila je 9 %, a Cyclopoida 0,5 % (Slika 10).

Ukupna biomasa Crustacea u sedimentu istraživane postaje iznosila je 6,802 ± 18,620 mg/m$^2$, a najveća vrijednost izmjerena je početkom lipnja. Skupina Cladocera dominirala je ukupnom biomasom sa srednjom vrijednošću od 4,221 ± 12,756 mg/m$^2$ (Slika 11). Biomasom su dominirali mikrofiltratori algivori s najvećom izmjerenom biomasom početkom lipnja (40,513 mg/m$^2$) (Tablica 4).



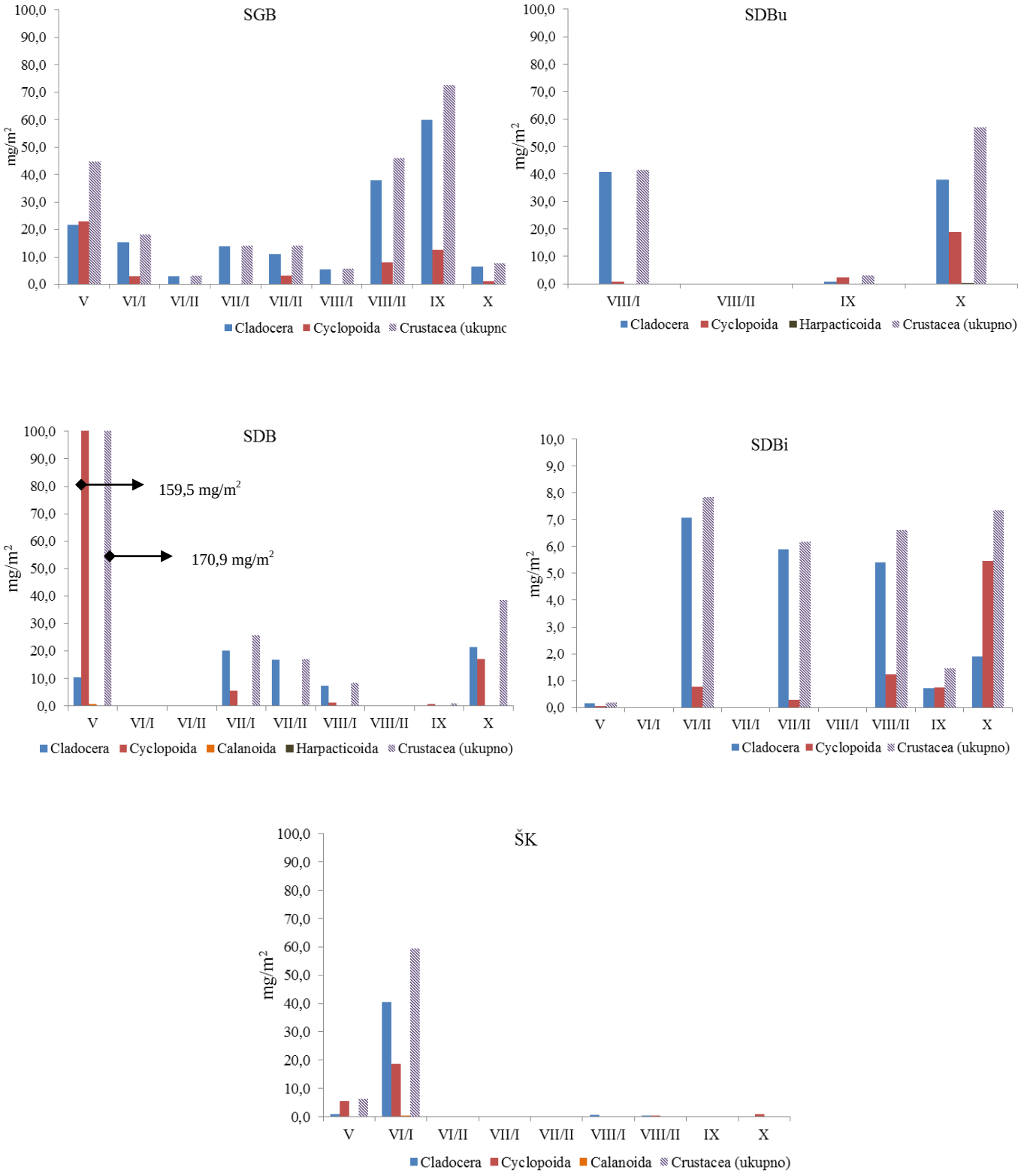

**Slika 10** Vremenske promjene brojnosti zabilježenih skupina planktonskih rakova (lijevo) i ženki Cladocera i Cyclopoida s jajašcima (desno) u mrtvaji Škrčev kut (ŠK).

**Tablica 3** Brojnost i raznolikost planktonskih rakova zabilježenih na istraživanim postajama. (N) – broj jedinki s jajašcima u ukupnom broju jedinki vrste.

| Postaja | Skupina / Vrsta / Svojta | V | VI/I | VI/II | VII/I | VII/II | VIII/I | VIII/II | IX | X |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SGB | **Cladocera** | | | | | | | | | |
| | *Simocephalus vetulus* | 944 (184) | 616 (40) | 160 (8) | 584 (128) | 392 (104) | 320 (96) | 1664 (536) | 2744 (1032) | 304 (104) |
| | *Simocephalus expinosus* | 376 (32) | 352 | 32 | 264 (8) | 280 (16) | | 536 (160) | 696 (152) | 72 (16) |
| | *Illiocryptus agilis* | | 8 | | | | | | | |
| | *Pleuroxus* sp. | 8 | | | | | | | | |
| | **Cladocera ukupno** | 1328 (216) | 976 (40) | 192 (8) | 848 (136) | 672 (120) | 320 (96) | 2200 (696) | 3440 (1184) | 376 (120) |
| | **Cyclopoida** | | | | | | | | | |
| | Nauplii | | | | | | | 8 | | |
| | Copepodites | 72 | 80 | | | | | 96 | 8 | 8 |
| | *Macrocyclops albidus* | 192 | 40 | | 16 | 144 (24) | 16 | 296 (8) | 664 (40) | 56 (8) |
| | *Macrocyclops fuscus* | | 8 | | | 24 | | | | |
| | *Cyclops* sp. | 96 | 96 (8) | 8 | | | | 128 | 16 | 8 |
| | *Acanthocyclops robustus* | 880 (24) | | | | | | | | |
| | **Cyclopoida ukupno** | 1240 (24) | 224 (8) | 8 | 16 | 168 (24) | 16 | 418 (8) | 688 (40) | 72 (8) |
| | **Ostracoda ukupno** | 16 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SDBu | **Cladocera** | | | | | | | | | |
| | *Simocephalus vetulus* | | | | | | 2112 (1312) | | 32 (16) | 1400 (464) |
| | *Simocephalus expinosus* | | | | | | 40 (24) | | 16 | 824 (208) |
| | *Ceriodaphnia reticulata* | | | | | | | | 16 (8) | |
| | **Cladocera ukupno** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2152 (1336) | 0 | 64 (24) | 2224 (672) |
| | **Cyclopoida** | | | | | | | | | |
| | Copepodites | | | | | | | | 8 | 856 |
| | *Macrocyclops albidus* | | | | | | 40 (8) | | 104 (32) | 96 |
| | *Macrocyclops fuscus* | | | | | | 8 | | | |
| | *Cyclops* sp. | | | | | | | | | 752 (136) |
| | **Cyclopoida ukupno** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 48 (8) | 0 | 112 (32) | 1704 (136) |
| | **Harpacticoida ukupno** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32 |
| SDB | **Cladocera** | | | | | | | | | |
| | *Simocephalus vetulus* | 128 | | | 736 (296) | 704 (192) | 336 (24) | 16 | 16 | 616 (168) |
| | *Simocephalus expinosus* | 64 | | | 432 (136) | 288 (88) | 112 (48) | | 8 | 688 (112) |
| | *Bosmina longirostris* | 5120 (3392) | | | | | | | | |
| | *Ceriodaphnia pulchella* | 128 | | | | | | | | |
| | *Daphnia curvirostris* | 384 (192) | | | | | | | | |
| | *Illiocryptus agilis* | | | | | | 8 | | | |

**Tablica 3** Nastavak

| Postaja | Skupina / Vrsta / Svojta | V | VI/I | VI/II | VII/I | VII/II | VIII/I | VIII/II | IX | X |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SDB | **Cladocera ukupno** | 5824 (3584) | 0 | 0 | 1168 (432) | 992 (280) | 456 (72) | 16 | 24 | 1304 (280) |
| | **Cyclopoida** | | | | | | | | | |
| | Nauplii | 256 | | | | | | | | |
| | Copepodites | 21824 | | | | | | | 8 | 816 |
| | *Macrocyclops albidus* | | | | 248 (128) | 16 | 56 (16) | 16 | 32 (8) | 144 |
| | *Mesocyclops leuckarti* | 2176 (384) | | | | | | | | |
| | *Cyclops* sp. | | | | | | | | | 608 (72) |
| | **Cyclopoida ukupno** | 24256 (384) | 0 | 0 | 248 (128) | 16 | 64 (16) | 16 | 40 (8) | 1568 (72) |
| | **Calanoida** | | | | | | | | | |
| | *Eudiaptomus gracilis* | 64 | | | | | | | | |
| | **Calanoida ukupno** | 64 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | **Harpacticoida ukupno** | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | **Ostracoda ukupno** | 64 | 0 | 0 | 0 | 16 | 16 | 0 | 0 | 8 |
| SDBi | **Cladocera** | | | | | | | | | |
| | *Simocephalus vetulus* | | | 344 (88) | | 280 (72) | | 264 (72) | 24 | 48 (24) |
| | *Simocephalus expinosus* | | | 72 (16) | | 64 (24) | | 48 (24) | 16 (8) | 56 (40) |
| | *Illiocryptus agilis* | 24 (16) | | | | | | | 8 (8) | |
| | **Cladocera ukupno** | 24 (16) | 0 | 416 (104) | 0 | 344 (96) | 0 | 312 (96) | 48 (16) | 104 (64) |
| | **Cyclopoida** | | | | | | | | | |
| | Copepodites | 8 | | 8 | | | | | | 200 |
| | *Macrocyclops albidus* | | | 40 | | 16 | | 64 (8) | 24 (8) | 32 |
| | *Cyclops* sp. | | | | | | | | 16 | 232 (40) |
| | **Cyclopoida ukupno** | 8 | 0 | 48 | 0 | 24 | 0 | 64 (8) | 40 (8) | 464 (40) |
| ŠK | **Cladocera** | | | | | | | | | |
| | *Simocephalus vetulus* | 56 | 1392 (80) | | | | 32 (8) | 8 | | |
| | *Simocephalus expinosus* | 8 | 992 (48) | | | | | | | |
| | *Simocephalus serrulatus* | | 112 (96) | | | | | | | |
| | **Cladocera ukupno** | 64 | 2496 (224) | 0 | 0 | 0 | 32 (8) | 8 | 0 | 0 |
| | **Cyclopoida** | | | | | | | | | |
| | *Macrocyclops albidus* | | 544 | | | | | 24 | | 8 |
| | *Cyclops* sp. | 360 (8) | 560 | | | | | | | 40 |
| | *Ectocyclops* sp. | | 8 | | | | | | | |
| | **Cyclopoida ukupno** | 360 (8) | 1112 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 | 0 | 48 |
| | **Calanoida** | | | | | | | | | |
| | *Eudiaptomus gracilis* | | 32 | | | | | | | |
| | **Calanoida ukupno** | 0 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | **Ostracoda ukupno** | 0 | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |




**Slika 11** Vremenske promjene biomase (mg/m$^2$) planktonskih rakova u sedimentu litorala postaje sa submerznim makrofitima (SGB), bez makrofita (SDBu, SDB, SDBi) i postaje s flotantnim makrofitima (ŠK).

**Tablica 4** Vremenske promjene biomase trofičkih skupina planktonskih rakova (mg/m$^2$).

| Postaja | | Trofička skupina /Vrsta /Svojta | V | VI/I | VI/II | VII/I | VII/II | VIII/I | VIII/II | IX | X |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | SGB | **Mikrofiltrator algivor** | | | | | | | | | |
| | | *Simocephalus vetulus* | 15,993 | 10,060 | 2,602 | 9,960 | 6,771 | 5,579 | 29,184 | 48,821 | 5,360 |
| | | *Simocephalus expinosus* | 5,801 | 5,297 | 0,482 | 4,008 | 4,285 | | 8,779 | 11,151 | 1,155 |
| | | Copepodites | 0,449 | 0,499 | | | | | 0,599 | 0,050 | 0,050 |
| | | **Ukupno** | 22,243 | 15,856 | 3,083 | 13,969 | 11,055 | 5,579 | 38,562 | 60,022 | 6,565 |
| | | **Mikrofiltrator detritivor** | | | | | | | | | |
| | | *Illiocryptus agilis* | | 0,048 | | | | | | | |
| | | *Pleuroxus* sp. | 0,008 | | | | | | | | |
| | | **Ukupno** | 0,008 | 0,048 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | **Makrofiltrator omnivor** | | | | | | | | | |
| | | *Macrocyclops albidus* | 3,463 | 0,722 | | 0,289 | 2,813 | 0,289 | 5,411 | 12,337 | 1,082 |
| | | *Macrocyclops fuscus* | | 0,122 | | | 0,367 | | | | |
| | | *Cyclops* sp. | 1,506 | 1,506 | 0,125 | | | | 2,008 | 0,251 | 0,125 |
| | | *Acanthocyclops robustus* | 17,482 | | | | | | | | |
| | | **Ukupno** | 22,451 | 2,350 | 0,125 | 0,289 | 3,180 | 0,289 | 7,419 | 12,588 | 1,208 |
| | SDBu | **Mikrofiltrator algivor** | | | | | | | | | |
| | | *Simocephalus vetulus* | | | | | | 40,006 | | 0,588 | 24,615 |
| | | *Simocephalus expinosus* | | | | | | 0,709 | | 0,241 | 13,326 |
| | | Copepodites | | | | | | | | 0,050 | 5,341 |
| | | **Ukupno** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40,715 | 0 | 0,879 | 43,283 |
| | | **Mikrofiltrator detritivor** | | | | | | | | | |
| | | *Ceriodaphnia reticulata* | | | | | | | | 0,054 | |
| | | **Ukupno** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,054 | 0 |
| | | **Makrofiltrator omnivor** | | | | | | | | | |
| | | *Macrocyclops albidus* | | | | | | 0,793 | | 2,164 | 1,732 |
| | | *Macrocyclops fuscus* | | | | | | 0,122 | | | |
| | | *Cyclops* sp. | | | | | | | | | 11,796 |
| | | **Ukupno** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,916 | 0 | 2,164 | 13,528 |
| | SDB | **Mikrofiltrator algivor** | | | | | | | | | |
| | | *Simocephalus vetulus* | 2,051 | | | 13,185 | 12,184 | 5,498 | 0,256 | 0,256 | 10,661 |
| | | *Simocephalus expinosus* | 0,963 | | | 7,107 | 4,726 | 1,899 | | 0,120 | 10,852 |
| | | *Daphnia curvirostris* | 1,680 | | | | | | | | |
| | | Copepodites | 136,182 | | | | | | | 0,050 | 5,092 |
| | | **Ukupno** | 140,876 | 0 | 0 | 20,292 | 16,910 | 7,397 | 0,256 | 0,427 | 26,605 |
| | | **Mikrofiltrator detritivor** | | | | | | | | | |
| | | *Bosmina longirostris* | 5,427 | | | | | | | | |
| | | *Ceriodaphnia pulchella* | 0,434 | | | | | | | | |
| | | *Illiocryptus agilis* | | | | | | 0,048 | | | |
| | | **Ukupno** | 5,861 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,048 | 0 | 0 | 0 |

**Tablica 4** Nastavak

| | | Trofička skupina /Vrsta /Svojta | V | VI/I | VI/II | VII/I | VII/II | VIII/I | VIII/II | IX | X |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Postaja | SDB | **Makrofiltrator omnivor** | | | | | | | | | |
| | | *Macrocyclops albidus* | | | | 5,624 | 0,289 | 1,154 | 0,289 | 0,649 | 2,597 |
| | | *Mesocyclops leuckarti* | 23,020 | | | | | | | | |
| | | *Cyclops* sp. | | | | | | | | | 9,537 |
| | | **Ukupno** | 23,020 | 0 | 0 | 5,624 | 0,289 | 1,154 | 0,289 | 0,649 | 12,135 |
| | | **Makrofiltrator algivor** | | | | | | | | | |
| | | *Eudiaptomus gracilis* | 0,653 | | | | | | | | |
| | | **Ukupno** | 0,653 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | SDBi | **Mikrofiltrator algivor** | | | | | | | | | |
| | | *Simocephalus vetulus* | | | 5,926 | | 4,825 | | 4,569 | 0,385 | 0,882 |
| | | *Simocephalus expinosus* | | | 1,155 | | 1,070 | | 0,829 | 0,276 | 1,021 |
| | | Copepodites | 0,050 | | 0,050 | | | | | | 1,248 |
| | | **Ukupno** | 0,050 | 0 | 7,131 | 0 | 5,895 | 0 | 5,398 | 0,661 | 3,151 |
| | | **Mikrofiltrator detritivor** | | | | | | | | | |
| | | *Illiocryptus agilis* | 0,144 | | | | | | | 0,048 | |
| | | **Ukupno** | 0,144 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,048 | 0 |
| | | **Makrofiltrator omnivor** | | | | | | | | | |
| | | *Macrocyclops albidus* | | | 0,722 | | 0,289 | | 1,226 | 0,505 | 0,577 |
| | | *Cyclops* sp. | | | | | | | | 0,251 | 3,639 |
| | | **Ukupno** | 0 | 0 | 0,722 | 0 | 0,289 | 0 | 1,226 | 0,756 | 4,216 |
| | ŠK | **Mikrofiltrator algivor** | | | | | | | | | |
| | | *Simocephalus vetulus* | 0,898 | 22,685 | | | | 0,550 | 0,128 | | |
| | | *Simocephalus expinosus* | 0,120 | 15,141 | | | | | | | |
| | | *Simocephalus serrulatus* | | 2,687 | | | | | | | |
| | | **Ukupno** | 1,018 | 40,513 | 0 | 0 | 0 | 0,550 | 0,128 | 0 | 0 |
| | | **Makrofiltrator omnivor** | | | | | | | | | |
| | | *Macrocyclops albidus* | | 9,813 | | | | | 0,433 | | 0,144 |
| | | *Cyclops* sp. | 5,647 | 8,784 | | | | | | | 0,627 |
| | | *Ectocyclops* sp. | | 0,040 | | | | | | | |
| | | **Ukupno** | 5,647 | 18,637 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,433 | 0 | 0,772 |
| | | **Makrofiltrator algivor** | | | | | | | | | |
| | | *Eudiaptomus gracilis* | | 0,326 | | | | | | | |
| | | **Ukupno** | 0 | 0,326 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Kruskal−Wallis test prostornih promjena (df = 4, n = 41) ukazao je na statistički značajne razlike brojnosti jedinki Cladocera (H = 11,0, p = 0,03; *post hoc* SGB > ŠK), biomase Cladocera (H = 11,7, p = 0,02; *post hoc* SGB > ŠK) i brojnosti ženki Cladocera s jajašcima (H = 10,5, p = 0,03; *post hoc* SGB > ŠK) između Gornjeg bazena rukavca Sutle i mrtvaje

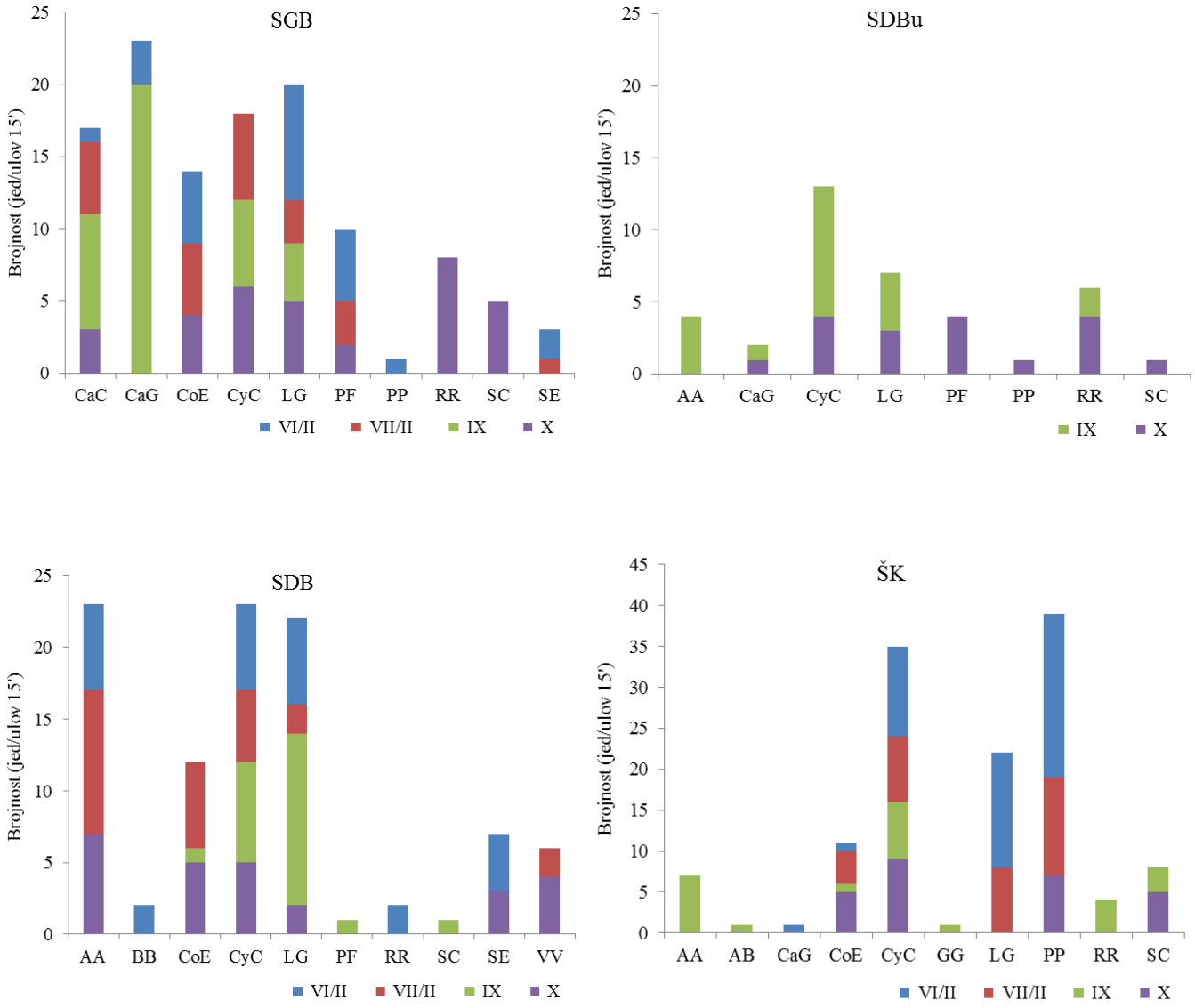
Škrčev kut. Brojnost jedinki skupine, brojnost ženki s jajašcima, kao i biomasa Cladocera pokazale su statistički značajno veće vrijednosti u Gornjem bazenu Sutle u odnosu na mrtvaju Škrčev kut.

### 4.3.4. Kvalitativni i kvantitativni sastav ihtiofaune u plitkim jezerima s različitim stanišima litoralne zone

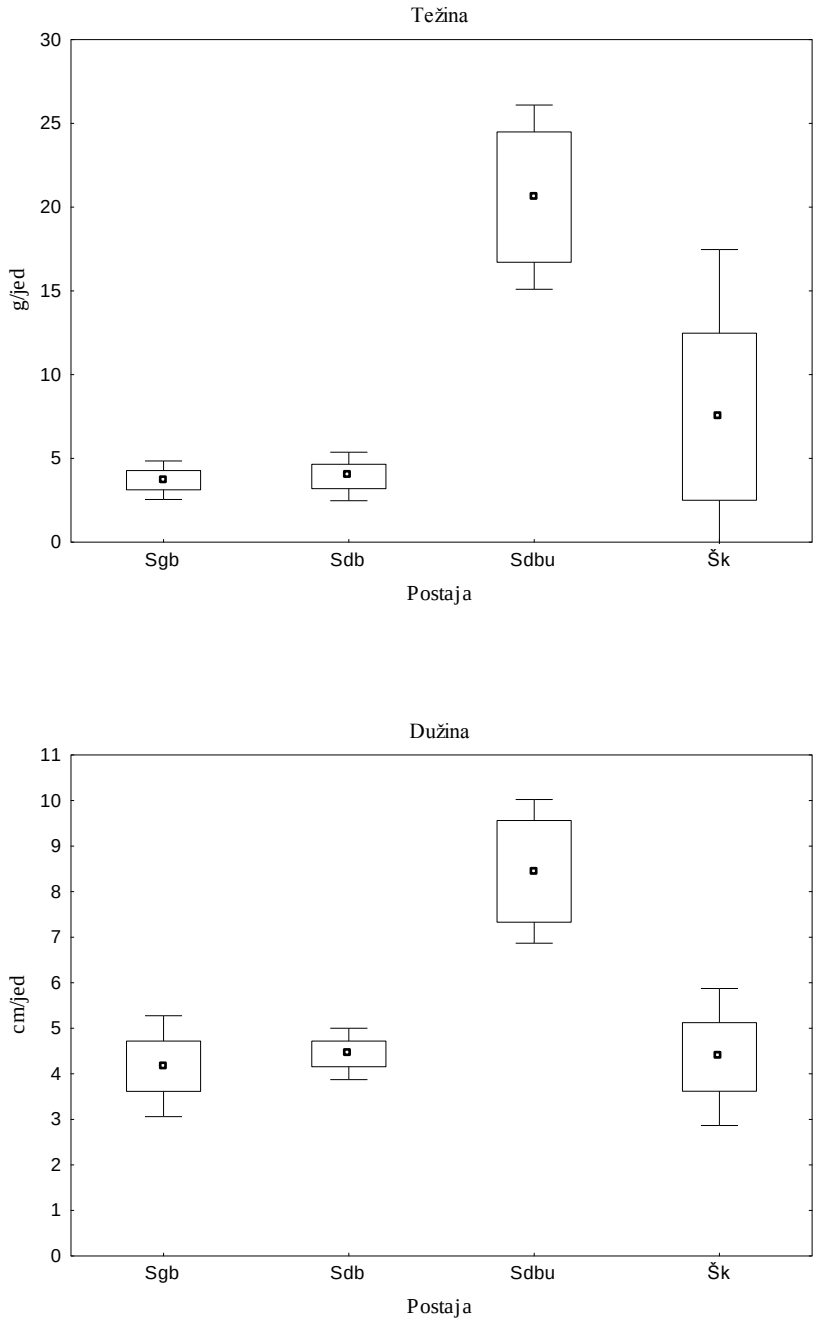
Uzorkovanjem ihtiofaune zabilježeno je 15 različitih vrsta od kojih je najzastupljenija porodica šaranki, 13 vrsta, dok je porodica grgečki zastupljena s 2 vrste. Raznolikost je imala male oscilacije od 4 (SGB i ŠK) do 7 vrsta (SGB, SDBu i ŠK) po ulovu (Slika 12). Veći ulov zabilježen je na postajama ŠK (32 ± 10 jed/ulovu 15') i SGB (30 ± 7 jed/ulovu 15'), dok je na postajama SDB (25 ± 2 jed/ulovu 15') i SDBu (19 ± 1 jed/ulovu 15') zabilježen manji ulov. Brojnost jedinki na postajama SGB i SDBu bila je najveća u rujnu, a na postaji ŠK najviše jedinki bilo je u lipnju, dok su povećane brojnosti na postaji SDB bile su u lipnju i listopadu (Slika 12). Velika brojnost šarana zabilježena je na svim postajama, a brojnošću je značajno dominirao na postajama SDB i SDBu (6 ± 2 jed/ulovu 15'). Babuška je dominirala na postaji SGB (9 ± 11 jed/ulovu 15'), a bezribica na postaji ŠK (10 ± 8 jed/ulovu 15'). Sunčanica je imala veliku brojnost na svim postajama (6 ± 5 jed/ulovu 15'), dok je obična uklija značajnu brojnost postigla na postaji SDB (6 ± 4 jed/ulovu 15'). Sve zabilježene vrste u ličinačkom stadiju su planktivori, dok se odrasle jedinke hrane ličinkama, kukcima, mekušcima, rakovima i vodenim biljem, izuzev vrste bezribica u čijoj prehrani dominiraju riblja jaja i druge ribe.

Najveće vrijednosti težine riba tijekom istraživanog perioda izmjerene su u postaji SDBu (20,60 ± 22,82 g/jed), dok je u postaji ŠK samo krajem lipnja zabilježena velika vrijednost težine sa srednjom vrijednosti od 22,45 ± 53,73 g/jed (Slika 13). Najmanje vrijednosti težine riba zabilježene su na postaji SGB (3,70 ± 6,11 g/jed), dok je ukupna srednja vrijednost težine riba za sve postaje tijekom istraživanja iznosila 6,87 ± 17,93 g/jed.

Najveća srednja vrijednost dužine riba zabilježena je u postaji SDBu, 8,44 ± 5,86 cm/jed (Slika 13). Najniže srednje vrijednosti dužine zabilježene su na postaji SGB (4,17 ± 3,82 cm/jed), dok je ukupna srednja vrijednost dužine riba za sve postaje tijekom istraživanja iznosila 4,81 ± 4,84 cm/jed.




**Slika 12** Raznolikost i brojnost riba po ulovu na istraživanim postajama: obična uklija (*Alburnus alburnus* - AA), deverika (*Abramis brama* – AB), krupatica (*Blicca bjoerkna* - BB), zlatni karas (*Carassius carassius* - CaC), babuška (*Carassius gibelio* - CaG), vijun (*Cobitis elongata* - CoE), šaran (*Cyprinus carpio* - CyC), krkuša (*Gobio gobio* - GG), sunčanica (*Lepomis gibbosus* - LG), grgeč (*Perca fluviatilis* - PF), bezribica (*Pseudoparva parva* - PP), bodorka (*Rutilus rutilus* - RR), klen (*Squalius cephalus* - SC), crvenperka (*Scardinius erythrophtalmus* - SE), nosara (*Vimba vimba* - VV).




**Slika 13** Promjene težine i dužine riba između istraživanih postaja.

### 4.3.5. Utjecaj abiotičkih i biotičkih čimbenika na strukturu planktonskih rakova u sedimentu

Tablica 5 prikazuje glavninu statistički značajnih interakcija abiotičkih i biotičkih čimbenika temeljem prikupljenih podataka na istraživanim postajama.

Prozirnost litoralne zone pozitivno je utjecala na brojnost i biomasu Cladocera, njihovu raznolikost u sedimentu, kao i na brojnost ženki Cladocera s jajašcima, dok je povećanje mutnoće imalo negativan utjecaj na strukturu Cladocera i Cyclopoida.

Na biomasu fitoplanktona pozitivno je utjecao povećani ukupni dušik, a porastom biomase fitoplanktona zabilježen je i porast koncentracije otopljenog kisika i zasićenja kisikom, kao i povećanje mutnoće i koncentracije otopljenih organskih tvari.

Povećanje organske tvari u stupcu vode, kao izvora hrane, pozitivno je utjecalo na brojnost i biomasu planktonskih rakova skupine Cladocera u sedimentu litoralne zone, kao i na brojnost ženki Cladocera i Cyclopoida.

Pelal i *Ceratophyllum* u sedimentu pozitivno su utjecali na ukupnu brojnost i biomasu Crustacea, kao i na raznolikost biocenoza te brojnost ženki Cladocera i Cyclopoida s jajašcima.

Ihtiofauna je povećanjem dužine i težine utjecala na veću brojnost ženki Cyclopoida s jajašcima, kao i na biomasu jedinki Cladocera u sedimentu.

**Tablica 5** Statističi značajne vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije ($p < 0,05$, $n = 41$) abiotičkih i biotičkih interakcija na istraživanim postajama. (♀– brojnost ženki s jajašcima)

| Čimbenici | Limnološki čimbenici i izvori hrane | | | | | | | | | | | Sediment | | Ihtiofauna | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Prozirnost$_{SD}$ (m) | Zasićenje kisikom (%) | Konduktivitet (µS/cm) | DOM ($mg_{O2\ Mn}$/L) | Mutnoća vode (NTU) | Ortofosfati (mg P-$PO_4^{3-}$ /L ) | Nitriti (mg N - $NO_2^-$ /L) | Nitrati (mg N-$NO_3^-$/L) | TN (mg N/L) | Biomasa fitoplanktona (µg Chl *a*/L) | AFDM (mg/L) | Pelal | *Cerato-phyllum* | Dužina (cm/jed) | Težina (g/jed) |
| Dubina (m) | | | | | -0,33 | -0,31 | | | | | | | | | |
| Prozirnost$_{SD}$ (m) | 0,38 | | | | | -0,35 | | | | | | | | | |
| Temperatura (°C) | | | | 0,33 | | | -0,61 | -0,48 | 0,42 | | | | | | |
| Koncentracija otopljenog $O_2$ (mg $O_2$/L) | | 0,95 | -0,41 | | | | | | | 0,36 | | | | | |
| Zasićenje kisikom (%) | | | -0,42 | 0,31 | 0,32 | | | | | 0,35 | | | | | |
| Konduktivitet (µS/cm) | | | | -0,47 | | | | 0,31 | | -0,53 | | | | | |
| DOM ($mg_{O2Mn}$/L) | | 0,31 | -0,47 | | | | | | 0,55 | 0,49 | | | | | |
| Mutnoća vode (NTU) | | 0,32 | | | | | | | | 0,34 | | | | | |
| TN (mg N/L) | | | | 0,55 | | | | | | 0,40 | | | | | |
| TP (mg P/L) | | | | | | | | | 0,39 | | | | | | |
| Biomasa fitoplanktona (µg Chl *a*/L) | | 0,35 | -0,53 | 0,49 | 0,34 | | | | 0,40 | | | | | | |
| Brojnost Cladocera (jed/$m^2$) | 0,37 | | | | -0,45 | | | | | | 0,36 | 0,495 | | | |
| Brojnost Cyclopoida (jed/$m^2$) | | | | | -0,45 | | | | | | | 0,555 | | | |
| Ukupna brojnost Crustacea (jed/$m^2$) | 0,34 | | | | -0,46 | | | | | | 0,32 | 0,495 | 0,375 | | |
| Raznolikost biocenoza | 0,37 | | | | -0,43 | | | | | | | 0,695 | | | |
| Cladocera ♀ (jed/$m^2$) | 0,35 | | | | -0,45 | | | | | | | | 0,375 | | |
| Cyclopoida ♀ (jed/$m^2$) | | | | | -0,49 | | | | | | | | | 0,588 | 0,555 |
| Cla i Cyc ♀ ukupno (jed/$m^2$) | 0,34 | | | | -0,46 | | | | | | 0,32 | 0,555 | | | |
| Biomasa Cladocera (mg/$m^2$) | 0,34 | | | | -0,41 | | | | | | 0,38 | 0,555 | 0,375 | 0,555 | 0,555 |
| Biomasa Cyclopoida (mg/$m^2$) | | | | | -0,45 | | | | | | | 0,555 | | | |
| Ukupna biomasa Crustacea (mg/$m^2$) | 0,34 | | | | -0,43 | | | | | | 0,34 | 0,555 | | | |

# 5. RASPRAVA

Rezultati ovog rada ukazuju na ulogu sedimenta litoralne zone kao zaklona planktonskih rakova iz skupina Cladocera, Copepoda i Ostracoda od predacije riba. U staništima s makrofitskim pokrovom raznolikost i brojnost planktonskih rakova te njihovih ženki s jajašcima bila je veća. Prisutnost riba povećavala je brojnost planktonskih rakova u sedimentu. U uvjetima veće prozirnosti pelagijala sediment je bio utočište većim vrstama Cladocera, dok u mutnijoj vodi zaklon u sedimentu litorala nalaze u većoj mjeri Cyclopoida.

Prozirnost i mutnoća razmatrane su s obzirom na teoriju alternativnih stabilnih stanja (Scheffer i sur., 1993; Jeppesen i sur., 1999). Međutim, prozirnost u litoralnoj zoni nije pravi odraz stupnja trofije, jer na njeno smanjenje u ovom području u većoj mjeri utječu blizina i resuspenzija sedimenta te, ukoliko su prisutne vodene biljke, fragmenti makrofita. U plitkim jezerima bez makrofita povećana je interakcija sedimenta i vode, odnosno resuspenzija sedimenta, posebno uslijed djelovanja vjetra, kojim se u stupac vode oslobađaju ioni iz sedimenta i time povećavaju konduktivitet (Van der Gucht i sur., 2005; Vanormelingen i sur., 2008). Pozitivna korelacija prozirnosti s dubinom ukazuje na njeno povećanje s većom udaljenošću sedimenta od površine vode, čime se sprečava njegova resuspenzija. Time objašnjavam najveću prozirnost u litoralu Donjeg bazena bez makrofita, gdje su obale strme i dubine u litoralu veće u odnosu na pliće ili makrofitima pokrivene postaje. Navedeni čimbenici imali su suprotan utjecaj na mutnoću. Rezultati analiza ukazuju da je mutnoća u dubljim vodenim tijelima potjecala od fitoplanktona, a u plićim i od supendiranih i otopljenih organskih tvari.

Na povećanje konduktiviteta najviše su, iako ne statistički značajno, utjecale koncentracije nitrata, što je bilo posebno izraženo na postajama Donjeg bazena rukavca Sutle. Ovaj rezultat objašnjavam izostankom makrofita koji koriste nitrate u primarnoj produkciji, odnosno izgradnji svojih habitusa. Van Donk i suradnici (1993) u istraživanju biomanipulacije u plitkom, hipertrofnom jezeru u Nizozemskoj, naglašavaju važnost makrofita u stabiliziranju koncentracije dušika i fosfora u vodi, ističući da su submerzni makrofiti unutar jedne godine smanjili koncentraciju nitrata u vodi ispod granice detekcije. Smatram da je na povećanje koncentracije nitrata utjecao i intenzivan ribolov u Donjem bazenu rukavca Sutle te mineralizacija proteinskih aditiva uslijed korištenja proteinskih mamaca i/ili prihrane riba.

Vrijednosti zasićenja kisikom, koncentracije otopljenih organskih tvari i biomase fitoplanktona međusobno su pozitivno korelirale. Fotosintetski aktivne alge pridonijele su povećanju zasićenja kisikom, a raspadanje algi, kao i drugih organizama, pretpostavljam da je pridonijelo povećanju koncentracije otopljenih organskih tvari.

Rezultati analiza ukazuju na negativnu, iako ne statistički značajnu, korelaciju brojnosti rakova u sedimentu i biomase fitoplanktona, što ukazuje na njihov intenzivan grazing (filtraciju algi iz planktona), jer je većina prisutnih rakova koji su potražili zaklon u sedimentu pripadala trofičkoj skupini algivornih filtratora. Schriver i sur. (1995) u svom su istraživanju utvrdili da zooplankton može uspješno održavati optimalnu biomasu fitoplanktona u prozirnom jezeru, kada je predacijski pritisak na zooplankton umjeren, ukoliko u staništu ima makrofita koji im mogu služiti kao sklonište.

Značajno visoke vrijednosti suspendiranih organskih tvari u Gornjem bazenu Sutle smatram da su rezultat veće pokrovnosti makrofitima, koje uslijed gibanja vode i truljenja povećavaju koncentraciju fragmenata njihovih habitusa. Pretpostavljam da je, osim zbog izbjegavanja predatora skrivanjem među gustim makrofitima, veća brojnost Cladocera u ovom staništu odraz interakcije njihovog načina prehrane filtracijom i velike količine suspendiranih organskih tvari. Arruda i suradnici (1983) u svom istraživanju navode da se gustoća zooplanktona povećava u staništima s velikom mutnoćom i velikom količinom suspendiranih tvari, koje zooplankton koristi kao izvor hrane, a Müller − Solger i suradnici (2002) u svojim rezultatima navode da unatoč velikim količinama suspendiranih organskih tvari u vodenom staništu, njihova niska nutritivna vrijednost može negativno utjecati na razvoj jedinki unutar populacije, ukoliko ne postoje i dodatni izvori hrane, poput algi.

Sastav organskih tvari u sedimentu, kao mogućih izvora hrane, ali i zaklona, ukazuje da su visoke koncentracije fragmenata voščike (*Ceratophyllum*) u Gornjem bazenu Sutle, kao i pelal, pozitivno utjecali na brojnost i raznolikost svih planktonskih rakova u sedimentu. Vrste Cladocera roda *Simocephalus,* koje su u velikom broju zabilježene u makrozoobentosu, uglavnom žive pričvršćene za makrofite litoralne zone (Hanazato i sur., 2001). Međutim, u Donjem bazenu, zbog izostanka makrofita u litoralnoj zoni, jedinke su zaklon od predatora potražile blizu sedimenta ili u njemu (Meerhoff i sur., 2007). Preferenciju sedimenta kao zaklona planktonskih rakova od predacije riba u istraživanju plitkih mediteranskih jezera ističu Tavşanoğlu i suradnici (2012).

U litoralnoj zoni hranu su tražile manje ribe (duljinom i težinom), što ukazuje da su bili prisutni mlađi primjerci koji su se hranili zooplanktonom, a i sami tražili zaklon od piscivornih riba u pelagijalu, npr. štuke (Meerhoff i sur., 2007; Štulec, 2015). Prema teoriji veličinske efikasnosti, povećanjem dužine i mase riba povećavala se i predacija, na što ukazuje povećanje brojnosti rakova u sedimentu, dok brojnost riba nije značajno utjecala na potragu rakova za zaklonom u sedimentu (Brooks i Dodson, 1965; Estlander i sur., 2009). Sunčanica, kao invazivna vrsta, može biti planktivor i piscivor, a u manjem omjeru hranu joj čine alge, jaja i ličinke riba (Jordan i sur., 2009), iako se u ovom radu pokazala kao značajan predator zooplanktona.

Rezultati rada ukazuju na konstantno najizraženiju predaciju riba na planktonske rakove u jezeru veće prozirnosti u pelagijalu, što je i relevantno za određivanje ovog čimbenika. Dovoljno svjetlosti omogućava razvoj makrofitskih sastojina, koje su efikasan zaklon od predatora, posebno u Gornjem bazenu rukavca Sutle, gdje su bile prisutne submerzne sastojine voščike (*Ceratophyllum*). Naime, njihovi razvedeni, tj. kompleksni habitusi, pružaju brojna mikrostaništa kao zaklon od predatora, što su potvrdila brojna istraživanja (Burks i sur., 2002; Meerhoff i sur., 2006; Kuczyńska − Kippen i Nagengast, 2006; Špoljar i sur., 2012a), ističući veliku važnost građe habitusa i gustoće makrofita u stvaranju učinkovitog skloništa od predacije.

U istraživanju utjecaja sezonskih oscilacija pokrovnosti makrofitima i prozirnosti vode na rasprostranjenost zooplanktona u jezeru, Estlander i sur. (2009) utvrdili su da u uvjetima velike prozirnosti pelagijala, litoralna biomasa planktonskih rakova raste proporcionalno s povećanjem gustoće makrofita litoralne zone. Litoralna zona u kojoj se nalaze makrofiti pruža raznovrsne i bogate izvore hrane (Kuczynska − Kippen i Nagengast, 2006; Colares i sur., 2013), stoga vrste koje se ovdje nalaze imaju osiguran i zaklon i hranu, a pored toga pružaju im se, osim iz stupca vode, izvori hrane u sedimentu i epifitonu makrofita. U sedimentu litoralne zone Gornjeg bazena rukavca Sutle, s makrofitima kompleksne građe habitusa, od zabilježenih vrsta Cladocera dominirao je rod *Simocephalus*, čije su jedinke velikih dimenzija tijela. U pelagijalu ovog bazena veći Cladocera, nisu bili zabilježeni tijekom istraživanog razdoblja (Štulec, 2015), stoga pretpostavljam da su zbog svoje veličine i slabe pokretljivosti bili pod značajnim predacijskim pritiskom u odnosu na pokretljivije Copepoda, zbog čega su tražili zaklon u litoralnoj zoni (Burks i sur. 2001, 2002; Romo i sur., 2004).

U staništima s makrofitima kompleksnog habitusa zaklon nalaze i teže, slabopokretne ženke s jajašcima, prvenstveno iz skupine Cladocera, a također i ženke Copepoda s jajnim vrećicama. Manca i suradnici (2008) u istraživanju utjecaja predacije riba na veličinu tijela roda Daphnia ističu da zooplanktivorne ribe imaju veliki utjecaj na veličinsku strukturu populacije plijena te da su ženke sa većim brojem jajašaca uočljivije i stoga podložnije predaciji, što može imati negativan utjecaj na fekunditet. U istraživanju utjecaja složenosti staništa na strukturu zajednice zooplanktona u plitkim jezerima, Meerhoff i sur. (2007) utvrdili su da se u litoralnoj zoni među makrofitima formiraju zajednice s velikom brojnošću zooplanktona većeg tijela, koji se zbog svoje uočljivosti skrivaju od vizualnih predatora. Lauridesen i suradnici (1996) i Romare i suradnici (2003) u svojim su istraživanjima dokazali da uslijed pojačanog predacijskog pritiska riba, čak i zooplankton manjih dimenzija tijela migrira u litoralnu zonu s gustim makrofitima.

U hipertrofnom jezeru s povremenom prisutnošću flotantnih makrofita (*Nuphar lutea* - lokvanj), sediment je bio utočište vrlo malobrojnim populacijama planktonskih rakova. Temeljem neobjavljenih podataka, na ovom lokalitetu u porječju Krapine (mrtvaja Škrčev kut) došlo je do znatnog porasta razine vode, što je smanjilo prodor svjetlosti i usporilo razvoj makrofita. Mjestimične sastojine lokvanja koje su se pojavile tek početkom ljeta bile su izvor hrane ihtiofauni, zbog čega su vrlo brzo nestale. U ovoj mrtvaji prevladavali su mikrofiltratorski rakovi Cladocera, sitnijih dimenzija tijela, kojima je mutnoća vode omogućila nesmetano kretanje i hranjenje čak i u pelagijalu. Cladocera većih dimenzija tijela u litoralnoj zoni zabilježene su samo u svibnju, što objašnjavam smanjenom predacijom riba. Također flotantni makrofiti jednostavnijeg habitusa pružaju slabiji zaklon u odnosu na submerzne makrofite, kompleksnijeg habitusa (Duggan, 2001; Meerhoff i sur., 2007).

Uloga sedimenta litoralne zone kao zaklona planktonskih rakova od predacije riba nedovoljno je zastupljena u limnološkim istraživanjima (Castro i sur., 2007; Tavşanoğlu i sur., 2012), posebno u plitkim jezerima. Unatoč ujednačenoj strukturi ihtiofaune, abiotički čimbenici utjecali se na različitost biotičkih interakcija koje su značajno odredile strukturu biocenoza u plitkim eutrofnim jezerima.

# 6. ZAKLJUČAK

U istraživanjima provedenim od svibnja do listopada u Gornjem i Donjem bazenu rukavca Sutle te mrtvaji Škrčev kut analizirani su fizičko-kemijski čimbenici, promjene brojnosti, raznolikosti i biomase planktonskih rakova, kao i brojnost i raznolikost ihtiofaune u tri bazena različite pokrovnosti makrofitima ili bez njih. Temeljem dobivenih rezultata mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Vrijednosti mutnoće vode, biomase fitoplanktona, otopljene organske tvari i $TSI_{SD}$ bile su statistički značajno veće u mrtvaji Škrčev kut u odnosu na ostale istraživane postaje.
- Predacija riba značajno je utjecala na strukturu planktonskih rakova u sedimentu.
- U Gornjem bazenu Sutle, sa submerznim makrofitima, raznolikost i brojnost planktonskih rakova, kao i brojnost ženki Cladocera i Cyclopoida s jajašcima u sedimentu litorala, bila je veća u odnosu na Donji bazen Sutle bez makrofita i mrtvaju Škrčev kut s flotantnim makrofitima. Također, biomasa Cladocera i Copepoda bile su statistički značajno veće u sedimentu litoralne zone Gornjeg bazena Sutle u odnosu na mrtvaju Škrčev kut.
- Povećanjem mutnoće jezera i smanjenjem raznolikosti staništa u litoralnoj zoni, predacija riba slabi, kao i uloga litoralne zone kao skloništa od vizualnih predatora.
- Rezultati rada ukazuju da prisustvo ili odsustvo vodenih makrofita može značajno promijeniti biotičke interakcije i strukturu biocenoza plitkih jezera, unatoč sličnoj brojnosti, raznolikosti i veličinskoj strukturi predatora.
- Rezultati ovog rada ukazuju na povezanost interakcija planktona i bentosa te pripadaju malobrojnim istraživanjima, posebno u plitkim jezerima. Daljnja istraživanja ove problematike pridonijet će boljem razumijevanju hranidbenih lanaca vodenih biocenoza, kao i sprečavanju negativnih posljedica ljudskog djelovanja.

# 7. LITERATURA


Amoros C. (1984): Crustaces Cladoceres. Introduction Pratique a la Systematique des Organismes des Eaux Continentales Françaises. Université Claude - Bernard 5, 1 – 64.

APHA (1995): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (16th ed). American Public Health Association, New York, 1268 pp.

Arruda J. A., Marzolf G. R., Faulk R. T. (1983): The Role of Suspended Sediments in the Nutrition of Zooplankton in Turbid Reservoirs. Ecology 64, 1225 – 1235.

Bottrell H. H., Duncan A., Gliwitz Z. M., Gryrierek E., Herzig A., Hillbrich – Ilkowska A., Kurosava H., Larsson P., Weglenska T. (1976): A reivew of some problems in zooplankton production studies. Norwegian Journal of Zoology 24, 431 – 444.

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

Bukvić I., Kerovec M., Plenković – Moraj A., Mrakovčić M. (1998): Impact of silver and bighead carp (Cyprinidae) on plankton and water quality in fish ponds. Biologia Bratislava 53, 145 – 157.

Burks R. L., Jeppesen E., Lodge D. M. (2001): Pelagic prey and benthic predators: impact of odonate predation on *Daphnia*. Journal of the North American Benthological Society 20, 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.

Burns C. W. (1969): Relation between filtering rate, temperature and body size in four species of *Daphnia*. Limnology and Oceanography 14, 693 – 700.

Carlson R. E. (1977): A trophic state index for lakes. Limnology and Oceanography 22, 361 – 369.

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.

Colares M. A. M., Bonecker C. C., Simões N. R., Alves G. M., Lansac Tôha F. A. (2013): Structure of the zooplankton communities in macrophytes stand of a Neotropical floodplain (the Paraná River, Brazil). International Review of Hydrobiology 98, 89 − 103.

Duggan I. C. (2001): The ecology of periphytic rotifers. Hydrobiologia 446/447, 139 – 148.

Dumont H. J., van de Velde I., Dumont S. (1975): The dry weight estimate of biomass in a selection of Cladocera, Copepoda and Rotifera from the plankton, periphyton and benthos of continental waters. Oecologia 19, 75 – 97.

Einsle U. (1993): Crustacea: Copepoda: Calanoida und Cyclopoida. Süsswasserfauna von Mitteleuropa 8/4, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1 –209.

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. Hydrobiologija 605, 109 – 120.

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

Hanazato T., Fueki K., Yoshimoto M. (2001): Fish-induced life-history shifts in the cladocerans Daphnia and Simocephalus: are they positive or negative responses?. Journal of plankton research 23, 945 – 951.

Herak M. (1984): Geotektonski okvir speleogeneze (Geotectonical frame of speleogenesis). Zbornik Devetog speleološkog kongresa Jugoslavije (Karlovac, 1984), Zagreb, 111 – 129.

Jeppesen E., Jensen J. P., Søndergaard M., Lauridsen T., Pedersen L. J., Jensen L. (1997): Top-down control in freshwater lakes: the role of nutrient state, submerged macrophytes and water depth. Hydrobiologia 342/343, 151 − 164.

Jeppesen E., Jensen J. P., Søndergaard M., Lauridsen T. (1999): Trophic dynamics in turbid and clearwater lakes with special emphasis on the role of zooplankton for water clarity. Hydrobiologia 408/409, 217 − 231.

Jeppesen E., Søndergaard M., Søndergaard M., Christoffersen K., Theil – Nielsen J., Jürgens K. (2002): Cascading trophic interactions in the littoral zone: an enclosure experiment in shallow Lake Stigsholm, Denmark. Archiv für Hydrobiologie 153, 533 − 555.

Jordan C., Backe N., Wright M. C., Tovey C. P. (2009): Biological synopsis of pumpkinseed (*Lepomis gibbosus*). Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences.

Karabin A. (1985): Pelagic zooplankton (Rotatoria + Crustacea) variations in the process of lake eutrophication. II. Modifying effect of biotic agents. Ekologia Polska 33, 617 – 644.

Kuczyńska – Kippen N. M., 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.

Lau S. S. S., Lane N. (2002): Nutrient and grazing factors in relation to phytoplankton level in a eutrophic shallow lake: the effect of low macrophyte abundance. Water Reasearch 36, 3593 – 3601.

Lauridesen T. L., Pedersen L. J., Jeppensen E., Søndergaard M. (1996): The importance of macrophyte bed size for cladoceran composition and horizontal migration in a shallow lake. Journal of Plankton Research 18, 2283 – 2294.

Likens G. E. (2010): Plankton of inland waters. Academic Press, China.

Loureiro C., Pereira J. L., Pedrosa M. A., Gonalves F., Castro B. B. (2013): Competitive Outcome of *Daphnia-Simocephalus* Experimental Microcosms: Salinity versus Priority Effects. PloS One 8, e70572, doi: 10.1371/journal.pone.0070572.

Manca M., Vijverberg J., Polishchuk L. V., Voronov D. A. (2008): *Daphnia* body size and population dynamics under predation by invertebrate and fish predators in Lago Maggiore: an approach based on contribution analysis. Journal of Limnology 67, 15 − 21.

Meerhoff M., Fosalba C., Bruzzone C., Mazzeo N., Noordoven W., Jeppesen E. (2006): An experimental study of habitat choice by Daphnia: plants signal danger more than refuge in subtropical lakes. Freshwater Biology 51, 1320 – 1330.

Meerhoff M., Iglesias C., De Mello F. T., Clemente J. M., Jensen E., Lauridsen T. L., Jeppesen E. (2007): Effects of habitat complexity on community structure and predator avoidance behaviour of littoral zooplankton in temperate versus subtropical shallow lakes. Freshwater Biology 52, 1009 − 1021.

Mehner T. (2012): Diel vertical migration of freshwater fishes – proximate triggers, ultimate causes and research perspectives. Freshwater Biology 57, 1342 − 1359.

Müller – Solger A. B., Jassby A. D., Müller – Navarra D. C. (2002): Nutritional quality of food resources for zooplankton (*Daphnia*) in a tidal freshwater system (Sacramento–San Joaquin River Delta). Limnology and Oceanography 47, 1468 – 1476.

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

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.

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

Scheffer M., Hosper S. H., Meijer M. L, Moss B., Jeppesen E. (1993): Alternative equilibria in shallow lakes. Trends in Ecology & Evolution 8, 275 – 279.

Schriver P., Bøgestrand J., Jeppesen E., Søndergaard M. (1995): Impact of submerged macrophytes on fish – zooplankton – phytoplankton interactions – large-scale enclosure experiments in a shallow eutrophic lake. Freshwater Biology 33, 255 – 270.

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

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

Špoljar M., Fressl J., Dražina T., Meseljević M., Grčić Z. (2012b): Epiphytic metazoans on emergent macrophytes in oxbow lakes of the Krapina River, Croatia: differences related to plant species and limnological conditions. Acta botanica Croatica 71, 125 – 138.

Štulec H. (2015): Struktura zooplanktona u međusobno povezanim plitkim jezerima. Diplomski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.

Tavşanoğlu Ü. N., Çakiroğlu A. I., Erdoğan Ş., Meerhoff M., Jeppesen E., Beklioglu M. (2012): Sediments, not plants, offer the preferred refuge for *Daphnia* against fish predation in

Mediterranean shallow lakes: an experimental demonstration. Freshwater Biology 57, 795 − 802.

Ternjej I., Plenković – Moraj A., Mihaljević Z., Kerovec M. (2010): Spatial and temporal variation of plankton in a mediterranean karstic lake. Ekologia Bratislava 29, 65 – 86.

Thorp J. H., Covich A. P. (2001): Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates. Academic Press, USA.

Thorp J. H., Covich A. P. (2010): Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates. Academic Press, Italy.

Tomec M., Teskeredžić Z., Teskeredžić E. (2009): Sastav mikrofitobentosa u rijeci Sutli. Ribarstvo 67, 133 – 143.

Van der Gucht K., Vandekerckhove T., Vloemans N., Cousyn S., Muylaert K., Sabbe K., Gillis M., Declerck S., De Meester L., Vyverman W. (2005): Characterization of bacterial communities in four freshwater lakes differing in nutrient load and food web structure. FEMS Microbiology Ecology 53, 205 – 220.

Van Donk E., Gulati R. D., Iedema A., Meulemans J. T. (1993): Macrophyte-related shifts in the nitrogen and phosphorus contents of the different trophic levels in a biomanipulated shallow lake. Hydrobiologia 251, 19 – 26.

Vanormelingen P., Cottenie K., Michels E., Muylaer T. K., Vyverman W., De Meester L. (2008): The relative importance of dispersal and local processes in structuring phytoplankton communities in a set of highly interconnected ponds. Freshwater Biology 53, 2170 – 2183.

Vrebčević B. (1996): Priručnik za upoznavanje slatkovodnih račića veslonožaca (Copepoda, *Cyclopidae*) i rašljoticalaca (Cladocera) Hrvatske. Hrvatsko ekološko društvo, Zagreb.

Winfield I. J. (2004): Fish in the littoral zone: ecology, threats and management. Limnologica 34, 124 – 131.

# 8. ŽIVOTOPIS

**Osobne informacije**


| | |
|---|---|
| Ime | Lana Kekelj |
| Adresa | Gospodska 18, 10000 Zagreb (Hrvatska) |
| Mobitel | +385 99 239 58 00 |
| E-mail | lana.kekelj@gmail.com |
| Datum rođenja | 19.02.1991. |
| Spol | Ž |


**Obrazovanje i osposobljavanje**

| | |
|---|---|
| 2012 – 2015 | Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno - matematički fakultet – PMF<br>Magistra struke znanosti o okolišu – mag. oecol. |
| 2009 – 2012 | Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno - matematički fakultet – PMF<br>Sveučilišni prvostupnik znanosti o okolišu – bacc.univ.oecol |
| 2005 – 2009 | Gimnazija Dr. Ivana Kranjčeva, Đurđevac, opća gimnazija |

**Znanstvena sudjelovanja, terenska istraživanja i stručna edukacija**

| | |
|---|---|
| 07/2014, 09/2014 | Sudjelovanje u terenskim istraživanjima i mikroskopskoj analizi uzoraka za izradu projekta Parka prirode Papuk |
| 10/2014 | Sudjelovanje u izvedbi radionice „Što se krije u vodi“, Zoologijski zavod, PMF, Zagreb |
| 05/2014 | Sudjelovanje u znanstveno – obrazovnom projektu „Grabovača 2014“ |
| 04/2014 | Završena speleološka škola u SO Velebit i stečen naziv speleološkog pripravnika |
| 2012 | Odrađena laboratorijska stručna praksa, Botanički zavod – Laboratorij fiziologije bilja, PMF, Zagreb |
| 03/2012 | Sudjelovanje u projektu „Noć biologije“, PMF, Zagreb |

**Osobne vještine**

- Engleski jezik – aktivno korištenje u govoru i pismu
- Iskustvo rada na stereomikroskopu Zeiss Stemi 2000−C i mikroskopu Opton 66460
- Poznavanje rada u ArcInfo GIS softveru
- Vozačka dozvola B kategorije
- Aktivni član biospeleološke sekcije Udruge studenata biologije (BIUS)