

Struktura zooplanktona u međusobno povezanim plitkim jezerima

Štulec, Helena

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:217:652164>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Helena Štulec

**STRUKTURA ZOOPLANKTONA U MEĐUSOBNO POVEZANIM
PLITKIM JEZERIMA**

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 predan je na ocjenu Vijeću Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra struke znanosti o okolišu.

Zahvaljujem svojoj mentorici, izv. prof. Mariji Špoljar, za pomoć pri izradi ovog rada, od izbora teme do samog pisanja. Posebno hvala na velikom strpljenju, savjetima i konstantnom poticanju na rad i napredak.

Hvala svim mojim prijateljima i kolegama koji su mi uljepšali studentske dane.

Posebno hvala mojim roditeljima, braći i dečku na potpori i strpljenju tijekom studija.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Diplomski rad

STRUKTURA ZOOPLANKTONA U MEĐUSOBNO POVEZANIM PLITKIM JEZERIMA

Helena Štulec

Rooseveltove trg 6, 10000 Zagreb

Istraživanje strukture zooplanktona provedeno je tijekom vegetacijskog razdoblja u pelagičkim postajama na longitudinalnom profilu rukavca rijeke Sutle, koji se sastoji od dva međusobno povezana bazena. Gornji, veće prozirnosti i sa submerznim sastojinama makrofita te Donji bazen, veće mutnoće i bez makrofita. Ciljevi ovog rada bili su utvrditi strukturu zooplanktona s obzirom na: (i) razlike u brojnosti, raznolikosti, veličinskoj strukturi i zastupljenosti funkcionalnih trofičkih skupina; (ii) utjecaj okolišnih čimbenika i izvora hrane; (iii) razlike predacijskog pritiska riba; (iv) ulogu pridnenog sloja vode kao zaklona zooplanktona u plitkim jezerima.

Rezultati statističke analize fizičko-kemijskih čimbenika ukazuju na značajno veću prozirnost i količinu izvora hrane u Gornjem bazenu, u odnosu na veću mutnoću i konduktivitet u Donjem bazenu. U Gornjem bazenu, sa submerznim makrofitima u litoralnoj zoni, brojnost i raznolikost zooplanktona u pelagijalu je bila veća u odnosu na Donji bazen, bez makrofita, a prevladavali su detritivorni-mikrofiltratorski (*Keratella*) i algivorni-makrofiltratorski (*Polyartha*, *Trihocerca*) Rotifera. U Donjem bazenu brojnost planktonskih rakova bila je veća u odnosu na Gornji bazen, a prevladavali su mikrofiltratorski Cladocera (*Bosmina longirostris*) te makrofiltratorski ličinački i adultni stadiji Copepoda (*Thermocyclops oithonoides*), dok su Rotifera bili zastupljeniji sa sitnijim mikrofiltratorskim vrstama. Predacijski pritisak riba bio je izraženiji u pelagijalu Gornjeg bazena, veće prozirnosti, na što ukazuje manja brojnost Cladocera u površinskom sloju koji su vjerojatno potražili zaklon u makrofitskim sastojinama litorala, ali i u vertikalnom pridnenom sloju gdje je njihova brojnost bila veća. Rezultati istraživanja ukazuju i na migracije planktonskih rakova u vertikalni pridneni sloj gdje je njihova brojnost bila veća. Iako su istraživani bazeni međusobno povezani, rezultati rada ukazuju na značajne razlike u strukturi zooplanktona kao rezultat utjecaja makrofita na promjenu okolišnih uvjeta i predaciju riba.

(46 stranica, 10 slika, 9 tablica, 58 literaturnih navoda, jezik izvornik: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: submerzni makrofiti/prozirnost/mutnoća/predacija/ribe

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

Ocijenitelji: Dr.sc. Jasna Hrenović, izv. prof.

Dr. sc. Vlasta Čosović, prof.

Dr. Sc. Neven Bočić, doc.

Rad prihvaćen: 5.veljače 2015.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Graduation Thesis

ZOOPLANKTON STRUCTURE IN INTERCONNECTED PONDS

HELENA ŠTULEC

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

The research of zooplankton structure was conducted during the vegetated period in pelagic stations on the longitudinal profile of the Sutla backwater, which consists of two interconnected basins. The Upper, with higher transparency and submerged macrophytes and Lower basin, turbid and without macrophyte stands. The objectives of this study were to determine zooplankton structure considering: (i) differences in the abundance, diversity, size structure and functional feeding guilds; (ii) the impact of environmental factors and food resources; (iii) differences in fish predatory pressure; (iv) the role of bottom water layers as a zooplankton shelter in shallow lakes.

The results of statistical analysis of physical-chemical factors revealed significantly higher transparency and the amount of available food resources in the Upper basin, as compared to a higher turbidity and conductivity in the Lower basin. In the Upper basin with submerged macrophytes in the littoral zone, abundance and diversity of zooplankton in the pelagial was higher compared to the Lower basin, without macrophytes, with prevalence of detritivorous, microfilter-feeders (*Keratella*) and algivorous, macrofilter-feeder (*Polyartha* and *Trihocerca*) Rotifera. In the Lower basin abundance of planktonic Crustacea was higher compared to the Upper basin, and prevailed microfilter-feeders Cladocera (*Bosmina longirostris*) and macrofilter-feeders larval and adult stages of copepods (*Thermocyclops oithonoides*), while the Rotifera were presented with smaller, microfilter-feeders species. Fish predation pressure was more pronounced in the pelagial of Upper basin of higher transparency, indicated by smaller number of Cladocera in the surface layer which were probably shifted in littoral macrophyte stands. The results of this study indicate the migration of planktonic Crustacea in the vertical bottom layer where their abundance were higher. Although the studied basins were interconnected, results indicate significant differences in the zooplankton structure as a result of the macrophytes impact on changing environmental conditions and fish predation pressure.

(46 pages, 10 figures, 10 tables, 58 references, original in: Croatian)

This thesis is deposited in the Central Biological Library.

Keywords: submerged macrophytes/transparency/turbidity/predation/fish

Supervisor: Dr. Maria Špoljar, Assoc. Prof.

Reviewers: Dr. Jasna Hrenović, Assoc. Prof.

Dr. Vlasta Čosović, Prof.

Dr. Neven Bočić, Asst. Prof.

Thesis accepted: 5th February, 2015.

Lista kratica

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

Chl *a* – klorofil *a*

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

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

KPK – kemijska potrošnja kisika

NTU – (eng. *Nephelometric Turbidity Unit*) mjerna jedinica za mutnoću vode

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

SD – standardna devijacija

Sdbu – uljev vode iz Gornjeg u Donji bazen

Sdb – pelagijal u površinskom sloju vode u Donjem bazenu

Sdbi – otjecanju vode iz rukavaca prema kanalu koji povezuje Donji bazen s glavnim tokom Sutle

Sgb – površinski sloj pelagijala Gornjeg bazena

Sgbv – pridneni vertikalni sloj pelagijla Gornjeg bazena

SV – srednja vrijednost

TDS – (eng. *Total Dissolved Solids*) ukupne otopljene tvari

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

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

TSI – (eng. *Trophic State Index*) stupanj trofije vodenog ekosustava

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Mogućnosti revitalizacije plitkih eutrofnih jezera.....	1
1.2. Uloga sastojina makrofita u strukturiranju zajednice zooplanktona	3
1.3. Limnološki čimbenici i biocenoze međusobno povezanih jezera	3
1.4. Ciljevi istraživanja.....	5
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA	6
3. MATERIJALI I METODE	9
3.1. Uzorkovanje i analiza zooplanktona i ihtiofaune	9
3.2. Analiza fizičko–kemijskih čimbenika vode	10
3.3. Analiza podataka	12
4.1. Prostorne i vremenske promjene okolišnih čimbenika.....	13
4.1.1. Fizičko–kemijski čimbenici	13
4.1.2. Izvori hrane.....	19
4.1.3 Pokrovnost makrofitima	19
4.2. Brojnost i raznolikost zooplanktona na longitudinalnom profilu rukavca rijeke Sutle	20
4.2.1. Brojnost i raznolikost zooplanktona u Gornjem bazenu s makrofitima i veće prozirnosti..	21
4.2.2. Brojnost i raznolikost zooplanktona u Donjem bazenu bez makrofita i veće mutnoće.....	27
4.3. Brojnost i raznolikost ihtiofaune	32
4.4. Uvjetovanost razlika okolišnih i biotičkih čimbenika u međusobno povezanim jezerima	34
5. RASPRAVA.....	36
6. ZAKLJUČAK	40
7. LITERATURA.....	41
ŽIVOTOPIS	47

1. UVOD

Plitka jezera imaju izniman ekološki značaj (bioraznolikost beskralješnjaka, riba, vodenih ptica), a prepoznata su i kao dobar modelni sustav u istraživanjima iz područja ekologije, konzervacijske biologije i evolucije. Njihov dobar retencijski potencijal omogućava zadržavanje bujičnih tokova i ublažavanje posljedica poplava. Međusobno se značajno razlikuju po bogatstvu vrsta, dok je na regionalnoj razini njihov doprinos bioraznolikosti veći u odnosu na druge slatkovodne ekosustave (potoci, rijeke, povremene bare). Unatoč svim navedenim značajkama nije im posvećeno dovoljno pozornosti u limnološkim istaživanjima, kao i u sustavima zaštite i monitoringa (Ceragino i sur. 2008). Većina plitkih jezera nalazi se u gusto naseljenim nizinskim područjima s intenzivnim industrijskim i poljoprivrednim djelatnostima. Antropogeni utjecaj dovodi do povećanja eutrofikacije, zakiseljavanja i učestalije pojave invazivnih biljnih i životinjskih vrsta (namjerni ili nenamjerni unos) što rezultira smanjenjem bioraznolikosti te padom ekološke i socioekonomske (sport, rekreacija, turizam) vrijednosti plitkih jezera (Kurk i sur. 2009).

1.1. Mogućnosti revitalizacije plitkih eutrofnih jezera

Eutrofikacija je prirodni proces propadanja jezera uzrokovan porastom koncentracije hranjivih tvari (fosfati, nitrati) što dovodi do povećanja primarnih producenata (alge), a samim time i sekundarne produkcije (zooplankton, veći beskralješnjaci, ribe). Ovaj proces je danas znatno ubrzan antropogenim djelovanjem. Ispiranjem poljoprivrednih zemljišta, upotrebom prirodnih i mineralnih gnojiva, ispuštanjem komunalnih i industrijskih otpadnih voda, ribolovom, rekreacijom i sličnim antropogenim utjecajima unose se u vodene ekosustave velike količine hranjivih tvari koje ubrzavaju proces eutrofikacije. Nastali uvjeti potiču intenzivnu primarnu, a time i sekundarnu produkciju. Ugibanjem sekundarnih producenata dolazi do taloženja organske tvari i mineralizacije (u aerobnim uvjetima), a time i povećane potrošnje kisika koja često rezultira nastajanjem anoksičnih i anaerobnih uvjeta. Zbog nemogućnosti daljnje mineralizacije, organska tvar se taloži na dno, sediment se podiže i smanjuje stupac vode što rezultira zatrpavanjem i u konačnici terestifikacijom jezera. (Hupfer i Hilt 2008)

Prema teoriji koju iznose Scheffer i suradnici (1993) jezera se pojavljuju u dva stabilna alternativna stanja, tj. u stanju prozirne ili mutne vode. Kao odgovor na povećani dotok hranjivih tvari, posebice fosfornih spojeva, većina plitkih jezera prelazi iz jednog alternativnog stanja u drugo, odnosno iz prozirnog u mutno stanje (Beklioglu i sur. 2003). Stanje mutne vode obilježava veći broj planktivornih i bentivornih riba u odnosu na piscivorne, veća biomasa fitoplanktona u odnosu na zooplankton i resuspenzija sedimenta uzrokovana djelovanjem vjetra i ihtiofaune. S druge strane, stanje prozirne vode obilježava velika biomasa submerznih makrofita i veća količina algivornih vrsta zooplanktona u odnosu na fitoplankton. Općenito, stanje prozirne vode održavaju makrofiti, dok stanje mutne vode održavaju planktivorne i bentivorne ribe (Jeppesen i sur. 1999, Cazzanelli i sur. 2008). Promjena jezera iz stanja mutne u stanje prozirne vode dugotrajan je proces koji iziskuje intenzivne i skupe mjere, a postojanost rezultata najčešće nije dugoročna. Jedan od prvih koraka u revitalizaciji jezera je kontrola i smanjenje unosa hranjivih tvari. Paralelno s biomanipulacijom to se pokazalo kao učinkovitiji, a time i najčešći način revitalizacije eutrofnih jezera. Biomanipulacija podrazumjeva namjernu promjenu ekosustava dodavanjem ili uklanjanjem određenih vrsta, posebno riba. Poznavanje životnih zajednice jezera preduvjet je uspješnih procesa biomanipulacije. Zooplankton, kojeg čine kolnjaci – Rotifera, rašljoticalci – Cladocera i veslonošci – Copepoda, ima važnu ulogu u prijenosu tvari i energije od bakterija i primarnih producenata prema višim trofičkim razinama te je nezaobilazna karika u hranidbenim lancima, a time i u biomanipulacijskim procesima (Castro i sur. 2005, Meerhoff i sur. 2007, Špoljar i sur. 2012). Uspjeh biomanipulacijskih procesa uglavnom se postiže uklanjanjem riba (planktivornih i bentivornih vrsta) što rezultira povećanjem brojnosti i veličine jedinki algivornih vrsta zooplanktona (vrste roda *Daphnia*), a time dolazi do smanjenja fitoplanktona i mutnoće vode. U jezerima bez submerznih makrofita dovoljno velike jedinke Cladocera (*Daphnia*) javljaju se samo kada je u potpunosti uklonjena populacija riba. Brojnost algivornih vrsta zooplanktona stabilizacijski je mehanizam održavanja stanje prozirne vode i uvjeta povoljnih za razvoj makrofita. Njihov razvoj i održavanje su temelj dugotrajnih učinaka biomanipulacije i revitalizacije (Moss i sur. 1997, Beklioglu i sur. 2003, Peretyatko i sur. 2009).

1.2. Uloga sastojina makrofita u strukturiranju zajednice zooplanktona

Litoralnu zonu stajaćica i tekućica obilježavaju sastojine emerznih, flotantnih i/ili submerznih makrofita (vodene vegetacije). Njihova razvijenost, biomasa i građa habitusa imaju značajan utjecaj na abiotičke (temperatura, koncentracija kisika, količina svjetlosti) i biotičke (dostupnost hrane, kompeticija, predacija) čimbenike vodenog ekosustava (Cazzanelli i sur. 2008, Špoljar i sur. 2012). Sastojine makrofita imaju značajnu ulogu u stabilizaciji sedimenta i smanjenju erozije obale te u asimilaciji hranjivih tvari u biomasu što rezultira smanjenjem biomase fitoplanktona i stupnja trofije. Ujedno, povećavaju raznolikost staništa i vrsta, osiguravaju izvore hrane i sklonište od predatora (ribe, ličinke riba i kukaca) prvenstveno zooplanktonu i bentonskim beskralježnjacima (Estlander i sur. 2009, Špoljar 2013).

Kompeticija za izvore hrane i predacija su vrlo važani čimbenici koji oblikuju ponašanje i strukturu zajednice zooplanktona (Gilbert 1988, Špoljar i sur. 2011, 2012). U jezeru sa submerznom vegetacijom prozirnost je obično veća, a predacijski pritisak riba kao vizualnih predatora je jedan od glavnih čimbenika koji modificira brojnost i raznolikost zooplanktona te utječe na njihove migracije. Veći algivorni rakovi migriraju u litoralnu zonu sa submerznim makrofitima gdje je predacijski pritisak riba smanjen zbog gustoće i kompleksnosti habitusa makrofita (Jeppesen i sur. 1999, Estlander i sur. 2009). Povećanjem mutnoće uloga litoralne zone sa submerznim makrofitima slabi, jer se smanjuje predacijski pritisak od strane riba. Tada u zooplanktonu pelagijala prevladavaju manje veličinske kategorije Cladocera i Rotifera koji filtriraju suspenziju detritusa i bakterija, a eksploatacijska kompeticija (za hranu) je čimbenik koji oblikuje njihov sastav i strukturu (Špoljar i sur. 2011).

1.3. Limnološki čimbenici i biocenoze međusobno povezanih jezera

Vodena tijela mogu biti samostalna, kao zatvorene jedinice koje nemaju kontakt sa susjednim vodenim tijelima i tokovima ili mogu biti međusobno povezana kanalima, potočićima i slapovima. Plitka jezera koja se nalaze na maloj udaljenosti često su međusobno povezana, površinski ili podzemno. Uglavnom dobivaju vodu iz istog izvora i njihova geološka podloga i postanak su više manje slični (Cottenie i sur. 2001).

Akasaka i suradnici (2011) u istraživanju provedenom na 14 skupina povezanih i 17 solitarnih jezera u zapadnom Japanu navode da bogatstvo submerznih i flotantnih makrofita ovisi o lokalnim fizikčko-kemijskim čimbenicima (pH, prozirnost), površini i dubini vode, a povećava se kako raste povezanost jezera. Također navode da promjene pojedinih abiotičkih čimbenika s većom povezanošću jezera mogu utjecati na raznolikost makrofita. U njihovom istraživanju limnološki čimbenici (kemijska svojstva vode, dubina) se nisu značajno mijenjali s obzirom na stupanj povezanosti jezera.

U nekim povezanim jezerima kanali, potočići i preljevi koji ih povezuju su putevi kojima dolazi do disperzije i kolonizacije vrsta. Disperzija je posljedica vodenih struja koje odnose pokretnu komponentu biocenoza. Soundland (1982) i Akopian i suradnici (1999) zaključuju da broj jedinki različitih vrsta koje prelaze iz jednog jezera u drugo ovisi o fizičkim obilježjima poveznica između jezera, načinu života i staništu vrsta kod kojih dolazi do disperzije i kolonizacije. Nasuprot tome, u dosadašnjim istraživanjima koja su proveli Gliwicz i suradnici (2000), Cottenie i suradnici (2001) i Michels i suradnici (2001) uočljivo je da se sastav zajednice zooplanktona u povezanim jezerima može značajno razlikovati bez obzira na mogućnost disperzije i kolonizacije. Do razlika dolazi zbog utjecaja biotičkih i abiotičkih čimbenika (predacijski pritisak riba, brojnost makrofita, mutnoća, trofički stupanj jezera). Sastav zajednice zooplanktona u povezanim jezerima razlikuje se također s obzirom na stupanj trofije jezera i biotičke interakcije u skladu s teorijom alternativnih stabilnih stanja. Jezera u stanju prozirne i mutne vode učestalo se pojavljuju zajedno u povezanim sustavima (Cottenie i sur. 2001).

U plitkim jezerima koja funkcioniraju kao zatvoreni sustav također dolazi do disperzije i kolonizacije vrsta, ali na drugačije načine nego kod povezanih jezera. Uglavnom je to djelovanjem vjetrova, kiše i životinja (npr. močvarne ptice). Takav način disperzije i kolonizacije ne događa se učestalo i vezano je samo uz određene zooplanktonske vrste (npr. *Daphnia magna*, *Brachionus plicatilis*, *Lecane closteroerca*, *Keratella cochlearis*) (Jenkins i Underwood 1998, Frisch i sur. 2007).

1.4. Ciljevi istraživanja

U provedenom istraživanju razmatrana je struktura zooplanktona u pelagijalu s obzirom na prisutnost ili odsutnost makrofita u litoralnoj zoni. Pretpostavljam da će raznolikost mikrostaništa u litoralnoj zoni značajno utjecati na sastav zooplanktona pelagijala već na maloj prostornoj udaljenosti u međusobno povezanim plitkim jezerima. Rezultati mnogih istraživanja ukazuju na horizontalne migracije zooplanktona iz pelagijala u litoral pod utjecajem predacijskog pritiska riba gdje zooplankton koristi litoralnu zonu kao sklonište i stanište bogato raznolikim izvorima hrane (Kuczyńska–Kippen i Nagengast 2006, Kuczyńska–Kippen 2007, Estlander i sur. 2009, Špoljar i sur. 2012). U novije vrijeme pojavljuju se istraživanja koja osim horizontalnih, navode i vertikalne migracije zooplanktona u plitkim, nestratificiranim, jezerima gdje pridneni slojevi vode i sediment služe kao zaklon od predatora (Jeppesen i sur. 2002, Castro i sur. 2007). Također, malobrojna su istraživanja koja navode čimbenike sličnosti ili različitosti biocenoza međusobno povezanih dubljih jezera (Sandlund 1982, Erben 1991, Habdija i sur. 2004, Špoljar i sur. 2007), a još je manje radova koji analiziraju plitka povezana jezera (Cottenie i sur. 2001, Vanormellingen i sur. 2008).

Temeljem analize zooplanktona pelagijala na longitudinalnom profilu rukavca rijeke Sutle čija se dva, međusobno povezana bazena razlikuju s obzirom na prisutnost ili odsutnost makrofitskih sastojina u litoralnoj zoni ciljevi ovog rada bili su utvrditi:

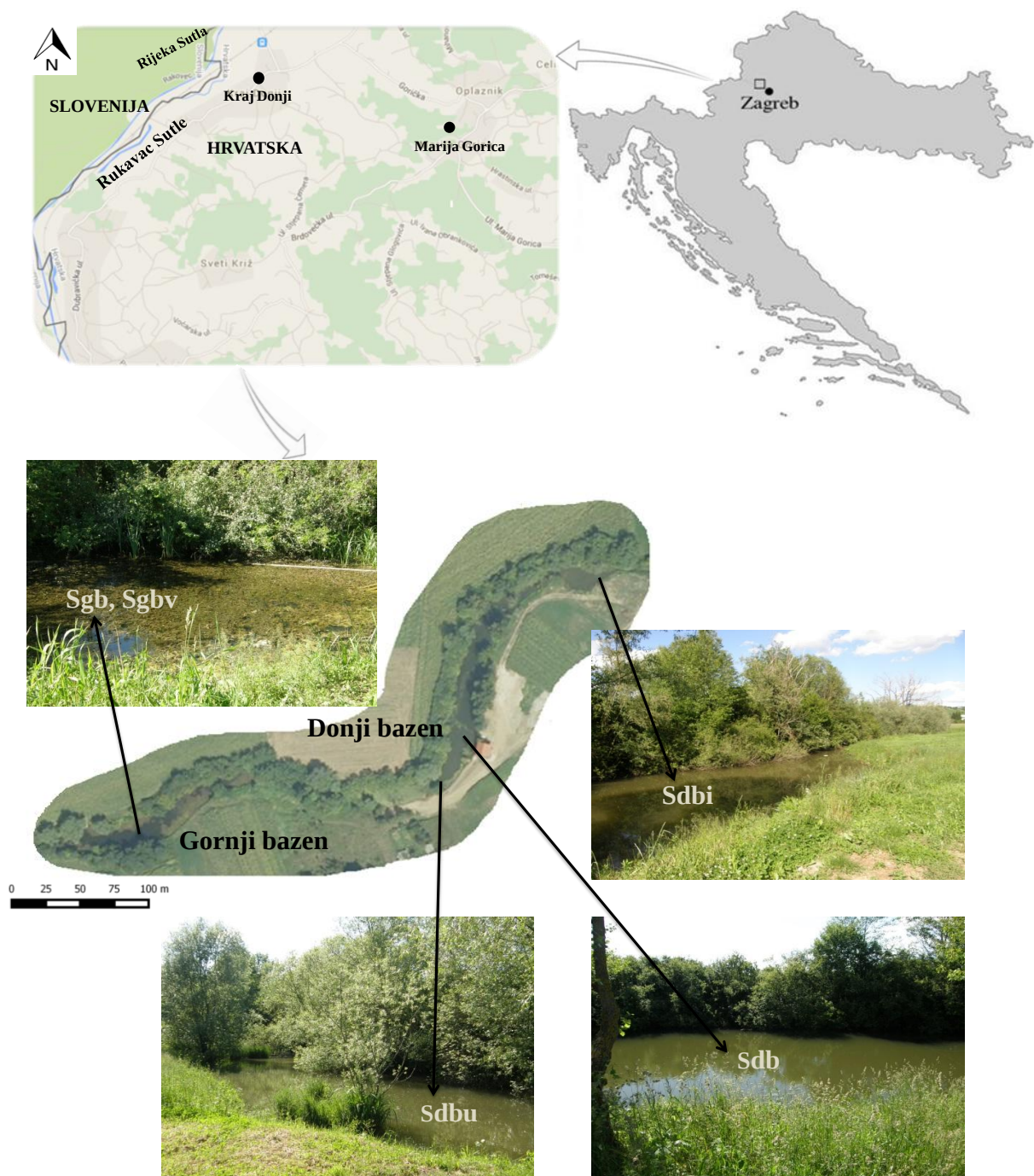
1. razlike u brojnosti, raznolikosti, veličinskoj strukturi i zastupljenosti funkcionalnih trofičkih skupina;
2. utjecaj okolišnih čimbenika i izvora hrane na strukturu zooplanktona;
3. razlike predacijskog pritiska riba;
4. ulogu pridnenog sloja vode kao zaklona zooplanktona u plitkim jezerima.

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Istraživanje zooplanktona provedeno je u rukavcu rijeke Sutle smještenom u Hrvatskom zagorju (sjeverozapadna Hrvatska). To je brežuljkasto područje površine oko 1890 km² okruženo Ravnom i Maceljskom gorom te Varaždinsko-topličkim gorjem sa sjeverne strane, a Medvednicom i Kalnikom s južne strane. Zapadnu granicu čini rijeka Sutla, a istočnu rijeka Drava. Geološku podlogu Hrvatskog zagorja grade stijene nastale tijekom 440 milijuna godina, od paleozoika do kvartara. Njihov litološki sastav s brojnim marinskim fosilima ukazuje da su većim dijelom taložene u morima i oceanima, dok je manji dio taložen u slatkim i slanim jezerima, a najmanji dio na kopnu. Tijekom pliocena i kvartara (prije oko 5 milijuna godina) dolazi do povlačenja Panonskog mora (ostatak *Paratethys* oceana), izdizanja planina i oblikovanja hidrografskog sustava. Posljednjih 150 000 godina, tijekom pleistocena i holocena, zajedničkim djelovanjem denudacije i riječne erozije, oblikovan je današnji krajolik Hrvatskog zagorja (Šimunić i Hećimović 2006).

Rijeka Sutla je granična rijeka Republike Hrvatske i Slovenije, ukupne dužine 91 km, od čega se 89 km nalazi u Republici Hrvatskoj. Izvire na južnim obroncima Maceljske gore, a u rijeku Savu utječe kao lijeva pritoka kod Savskog Marofa te time pripada Crnomorskom slivu. Slivno područje rijeke Sutle ima brdske i nizinske značajke. Brdsko područje je veće površine od nizinskog što rezultira pojavom bujičnih tokova u brskom dijelu te vodnih valova u nizinskom dijelu sliva (Tomec i sur. 2009).

Rukavac rijeke Sutle, sastoji se od dva međusobno povezana bazena. Gornji bazen je površinom manji, s pokrovnošću submerznim makrofitima 32 ± 12 %, dominantnom vrstom *Ceratophyllum demersum* – voščika te je veće prozirnosti. Donji bazen površinom je veći, bez makrofita i veće mutnoće (Slika 1, Tablica 1). Oba bazena su ribnjaci kojima upravlja Sportsko ribolovno društvo „Šaran“ sa sjedištem u Zaprešiću te su pod antropogenim utjecajem ispiranja tvari s okolnih livada i oranica. Donji bazen je i pod utjecajem intenzivnog sportskog ribolova (poribljavanje, upotreba proteinskih mamaca i dohrana). Priobalnu vegetaciju rukavca čine vrba (*Salix* sp.) i topola (*Populus* sp.).



Slika 1 Prikaz područja istraživanja s označenim postajama uzorkovanja: Sgb–pelagijal Gornjeg bazena rukavca, Sgbv–vertikalni pridneni sloj pelagijala Gornjeg bazena rukavca, Sdbu–prijelaz iz Gornjeg u Donji bazen rukavca, Sdb–pelagijal na sredini Donjeg bazena rukavca, Sdbi–izlaz prema kanalu koji povezuje rukavac s glavnim tokom rijeke Sutle

Tablica 1 Morfometrijska obilježja istraživanih lokaliteta: Sutla Gornji bazen i Sutla Donji bazen

Obilježje	Lokalitet	Sutla Gornji bazen	Sutla Donji bazen
Koordinate		45°54'51'' N; 15°41'48'' E	45°54'53'' N; 15°41'56'' E
Postaje		Sgb, Sgbv	Sdbu, Sdb, Sdbi
Površina (m ²)		1118	1956
Duljina _{max} (m)		124	188
Širina _{max} (m)		12,15	14,42
Dubina _{max} (m)		2,75	4,15
Prozirnost vode (m)		1,1 ± 0,3	0,6 ± 0,2
Pokrovnost makrofitima (%)		32 ± 12	0
Vrsta vodenih makrofita		Voščika (<i>Ceratophyllum demersum</i>)	nisu prisutni
Antropogeni utjecaj		ispiranje tla, nutrijenata, prirodnih i umjetnih gnojiva s okolnih livada i oranica	ispiranje tla, nutrijenata, prirodnih i umjetnih gnojiva s okolnih livada i oranica; intenzivan sportski ribolov (prihrana i proteinski mamci)

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Uzorkovanje i analiza zooplanktona i ihtiofaune

Uzorci su sakupljeni od svibnja do listopada 2013. godine u rukavcu rijeke Sutle. Tijekom devet izlazaka na teren, uzorkovanje je provedeno jednom u proljetnom (svibanj) i jesenskom razdoblju (rujan, listopad) ili dva puta mjesečno u ljetnom razdoblju (lipanj, srpanj, kolovoz). Postaje uzorkovanja bile su raspoređene duž longitudinalnog profila rukavca. U Gornjem bazenu rukavca uzorci su uzimani na dvije postaje u zoni slobodne vode ili pelagijalu, u površinskom sloju vode (Sgb) i u vertikalnom pridnenom sloju (Sgbv). U Donjem bazenu rukavca uzorkovalo se na tri postaje: na uljev vode iz Gornjeg u Donji bazen (Sdbu), pelagijal u površinskom sloju vode (Sdb) i na otjecanju vode iz rukavaca prema kanalu koji ga povezuje s glavnim tokom rijeke Sutle (Sdbi).

Uzorci zooplanktona uzimani su planktonskom mrežom promjera oka 26 μm , a uzorci iz vertikalnog pridnenog sloja uzimani su Van Dornovim uzorkivačem (volumen 5 L). Na svim postajama uzorci su skupljeni u triplikatu, 3×10 L vode, osim na postaji Sgbv gdje je profiltriran manji volumen vode, 3×5 L. Determinacija vrsta provedena je na živom materijalu, a zatim su uzorci fiksirani (4 % formalin) te centrifurirani (EBA, Hettich; 3500 okretaja u minuti, u trajanju 5 minuta) u svrhu koncentriranja uzoraka na volumen 3 – 11 mL. Svaki je uzorak izbrojan u tri poduzorka korištenjem svjetlosnog mikroskopa oznake Jenaval (Carl Zeiss Jena, 125 $\times$ i 400 $\times$), a brojnost zooplanktona izražena je brojem jedinki po litri (jed/L) kao srednja vrijednost triplikata.

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

Funkcionalne trofičke skupine, FFG (eng. *Functional Feeding Guilds*) zooplanktona razmatrane su prema Karabinovoj (1985) podjeli na mikrofiltratore (filtratori suspenzije detritusa i bakterija), makrofiltratore (filtratori algi) i predatore. Skupinu mikrofiltratora čine vrste iz skupine Rotifera s maleatnim, maleoramatnim, ramatnim i uncinantnim žvačnjakom

(veličinska frakcija čestica hrane 1 – 2µm) i vrste iz skupine Cladocera koje se hrane veličinskom frakcijom čestica < 20µm (suspenzija bakterija i detritusa, suspenzija bakterija i detritusa i male alge, nanofitoplankton). Vrste iz skupine Rotifera s virgatnim žvačnjakom i različiti razvojni stadiji iz skupine Copepoda čine skupinu makrofiltratora. Hrane se veličinskom kategorijom čestica od nekoliko µm do 50 µm (sitne i mrežne alge, nitaste alge, nanofitoplankton). Sve tri dominantne skupine zooplanktona (Rotifera, Cladocera, Copepoda) imaju obligatne ili fakultativne predatorske predstavnike. Grafički su prikazane samo funkcionalne trofičke skupine Rotifera, jer je skupina Cladocera bila predstavljena samo mikrofiltratorima, a skupina Copepoda isključivo makrofiltratorima.

Ihtiofauna je uzorkovana 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 (Sgb) i na dvije postaje u Donjem bazenu (Sdbu, Sdb). Determinirane vrste pripadale su sljedećim porodicama: 1) šaranke: šaran – *Cyprinus carpio* (CCap), babuška – *Carassius gibelio* (CG), vijun – *Cobitis elongata* (CE), bodorka – *Rutilus rutilus* (RR), bezribica – *Pseudorasbora parva* (PB), obična uklija – *Alburnus alburnus* (AA), nosara – *Vimba vimba* (VV), klen – *Squalius cephalus* (SC), crvenperka – *Scardinius erythrophthalmus* (SE), zlatni karas – *Carassius carassius* (Ccar) i krupatica – *Blicca bjoerkna* (BB); 2) grgečke: grgeč – *Perca fluviatilis* (PF) i sunčanica – *Lepomis gibbosus* (LG); 3) štuke: štika – *Esox lucius* (EL); 4) somovi: patuljasti somić – *Ictalurus nebulosus* (IN). Navedene kratice vrsta bit će korištene u grafičkim prikazima. Prema prehrani većina prisutnih vrsta pripadale su planktivornim i/ili omnivornim ribama.

3.2. Analiza fizičko–kemijskih čimbenika vode

Osnovni limnološki čimbenici izmjereni su na terenu odgovarajućim sondama: temperatura, koncentracija otopljenog kisika, pH vrijednost (Hatch HQ30d), ukupne otopljene tvari, TDS (eng. *Total Dissolved Solids*) i konduktivitet (Hach sensION5). Prozirnost je izmjerena korištenjem Secchi diska. Paralelno s uzorcima zooplanktona uzimani su uzorci vode za fizičko–kemijsku analizu ostalih limnoloških čimbenika: mutnoća (NTU, eng. *Nephelometric Turbidity Unit*), koncentracija otopljenih (temeljem KPK_{Mn}) organskih tvari i hranjive tvari (amonijak, nitriti, nitrati, ukupan dušik, fosfati, ukupni fosfor). Za njihovo određivanje prema APHA (1995) korištene su volumetrijske i spektrofotometrijske metode

(spektrofotometar HACH DR/2000). Kao izvori hrane razmatrani su koncentracija suspendiranih organskih tvari ili detritusa (temeljem mase organske tvari) i biomasa fitoplanktona (temeljem koncentracije klorofila *a*, Chl *a*).

Iz skupine dušičnih spojeva određivani su amonijak, nitriti, nitrati i ukupni dušik. Nitriti i amonijak određivani su ionskim kromatografom (kolona IonPAC AS22, Dionex ICS-3000, APHA 1995). Koncentracija nitrata određena je metodom reakcije s natrijevim-salicilatom (Höll, 1986), dok je ukupni dušik, TN (eng. *Total Nitrogen*) određen Kjeldahlovom metodom (APHA 1995).

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

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

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

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

3.3. Analiza podataka

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

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

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/1, lipanj/2 – VI/2, srpanj/1 – VII/1, srpanj/2 – VII/2, kolovoz/1 – VIII/1, kolovoz/2 – VIII/2, rujanj – IX, listopad – X). Grafički i tabelarni prikazi izrađeni su u programu Microsoft Excel 2003 (Microsoft Corporation, 2003).

Prije statističke analize svi podaci su logaritamski transformirani [$\log(x+1)$] i provedena je provjera raspodjele Shapiro–Wilk’s T testom, koji je ukazivao na njihovu nepravilnu raspodjelu. Stoga je za daljnju analizu prostornih i vremeskih promjena fizičko–kemijskih čimbenika, brojnosti i raznolikosti zooplanktona, brojnosti i morfometrijskih obilježja ihtiofaune korišten neparametrijski Kruskal–Wallis test (usporedba više nezavisnih varijabli), a za detaljnu informaciju o značajnosti razlika između pojedinih postaja korišten je *post hoc* test višestruke usporedbe. Mann–Whitney U test korišten je za utvrđivanje razlika abiotičkih i biotičkih čimbenika između dvije nezavisne varijable. Za utvrđivanje značajnosti interakcija između abiotičkih i biotičkih čimbenika korišten je Speearmanov koeficijent korelacije. U statističkoj analizi podataka korišten je program STATISTICA 8.0 (StatSoft inc., 2007).

4.0. REZULTATI

U rezultatima su prikazane prostorne i vremenske promjene fizikalno–kemijskih čimbenika, pokrovnosti makrofita, brojnosti i raznolikosti zooplanktona i ihtiofaune na longitudinalnom profilu rukavca rijeke Sutle koji se sastoji od dva bazena različita s obzirom na prisutnost (Gornji bazen) ili odsutnost (Donji bazen) makrofita.

4.1. Prostorne i vremenske promjene okolišnih čimbenika

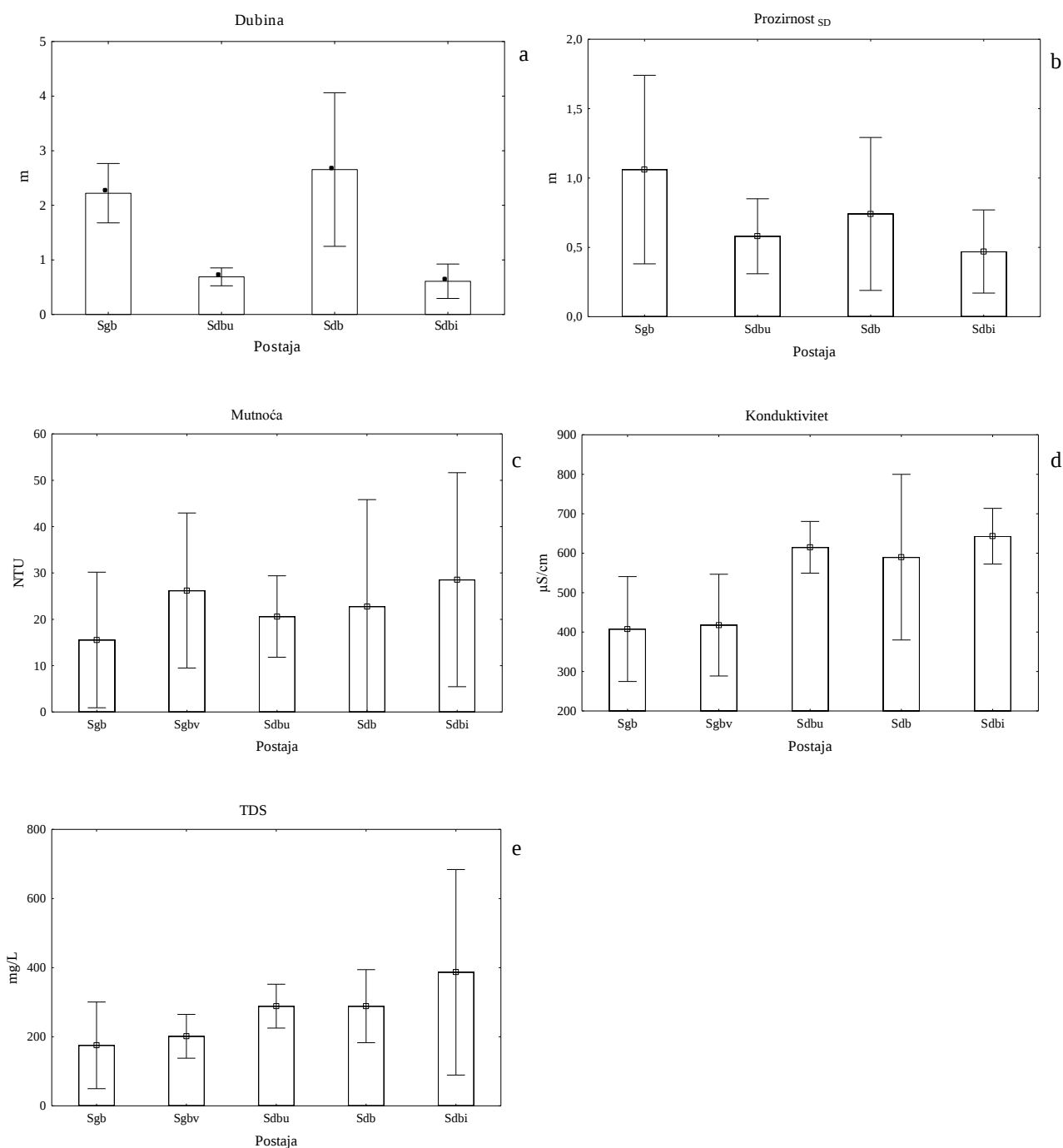
4.1.1. Fizičko–kemijski čimbenici

Minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti te značajnost prostornih i vremenskih oscilacija analiziranih fizičko–kemijskih čimbenika prikazane su u Tablici 2. Na postajama Sgb i Sdb izmjerene su značajno veće vrijednost dubine vodenog stupca u odnosu na postaje na ulazu (Sdbu) i izlazu (Sdbi) iz Donjeg bazena (Slika 2a). Prozirnost vode u Gornjem bazenu bila je statistički značajno veća u odnosu na postaje u Donjem bazenu, čemu su najviše doprinijele razlike između postaja Sgb i Sdbi (Slika 2b). Vremenske promjene dubine i prozirnosti nisu bile statistički značajne (Kruskal–Wallis test, $p > 0,05$). Vrijednosti mutnoće kretale su se u rasponu od 8 NTU (Sgb) do 52 NTU (Sdbi), a prostorne i vremenske oscilacije bile su statistički značajne. Na postajama Donjeg bazena mutnoća je bila veća u odnosu na postaje Gornjeg bazena, a u vremenskom intervalu početkom lipnja u odnosu na ostatak istraživanih razdoblja (Slika 2c, 3a). TSI izračunat temeljem prozirnosti u Gornjem bazenu, $60 \pm 5,5$, ukazuje na prijelaz mezotrofije u eutrofiju, a u Donjem bazenu, 70 ± 2 ukazuje na prijelaz eutrofije u hipertrofiju.

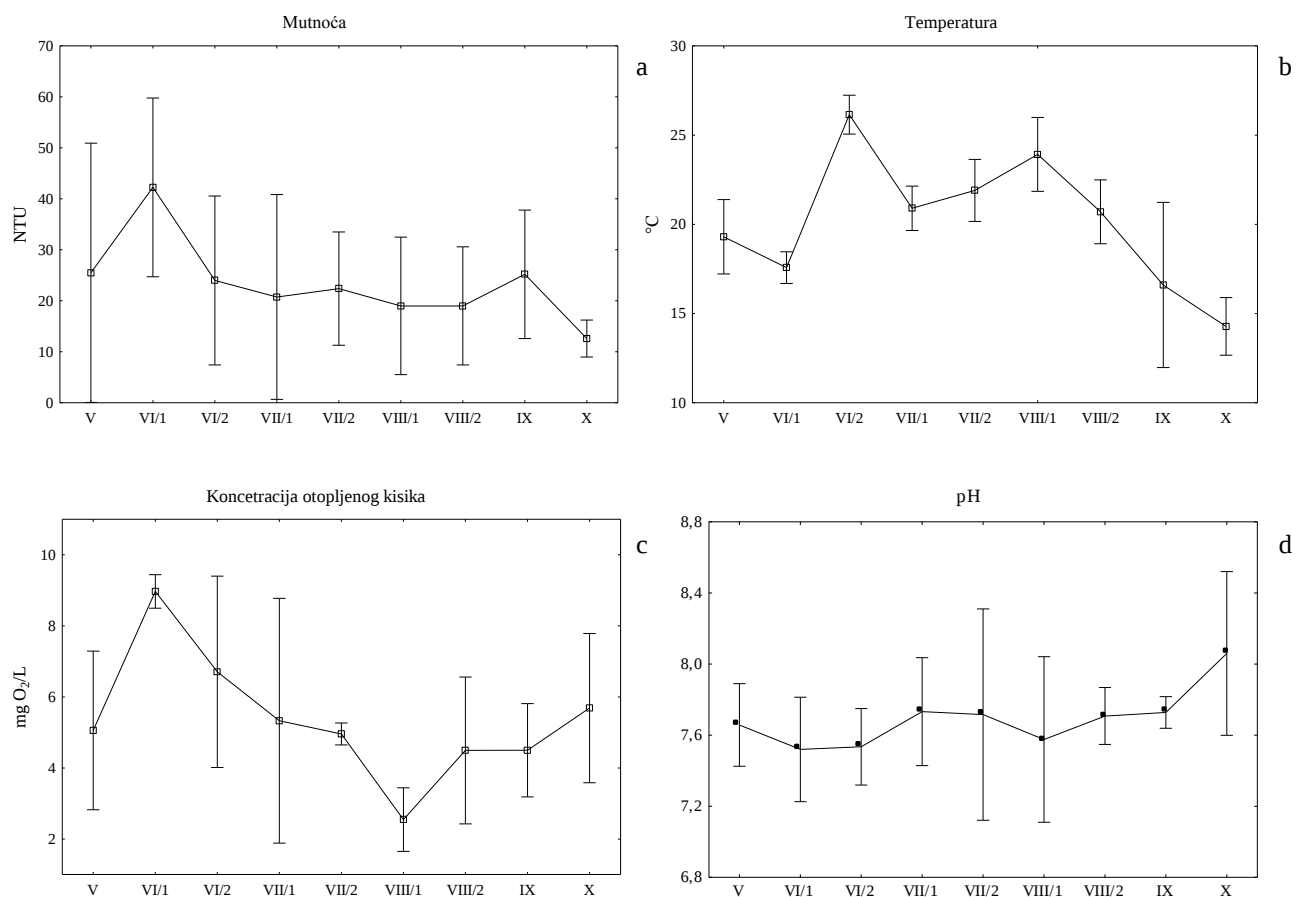
Izmjerene vrijednosti temperature vode, koncentracije otopljenog kisika i pH nisu se značajno razlikovale između istraživanih postaja, ali tijekom istraživanih razdoblja oscilacije navedenih čimbenika bile su statistički značajne (Slika 3b – d). Najviša srednja vrijednost temperature vode zabilježena je ljeti (lipanj $26,2 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$), a najmanja u jesen (listopad $14,3 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$) dok je koncentracija otopljenog kisika oscilirala obrnuto. U jesenskom razdoblju vrijednost pH je bila najviša (listopad $8,1 \pm 0,2$), dok su manje vrijednosti zabilježene ljeti (lipanj $7,5 \pm 0,1$).

Vrijednosti ukupnih otopljenih tvari (TDS) i konduktiviteta pokazale su sličan raspored prostornih i vremenskih oscilacija. Njihove vrijednosti bile su statistički značajno veće na postajama Donjeg bazena (Slika 3d – e).

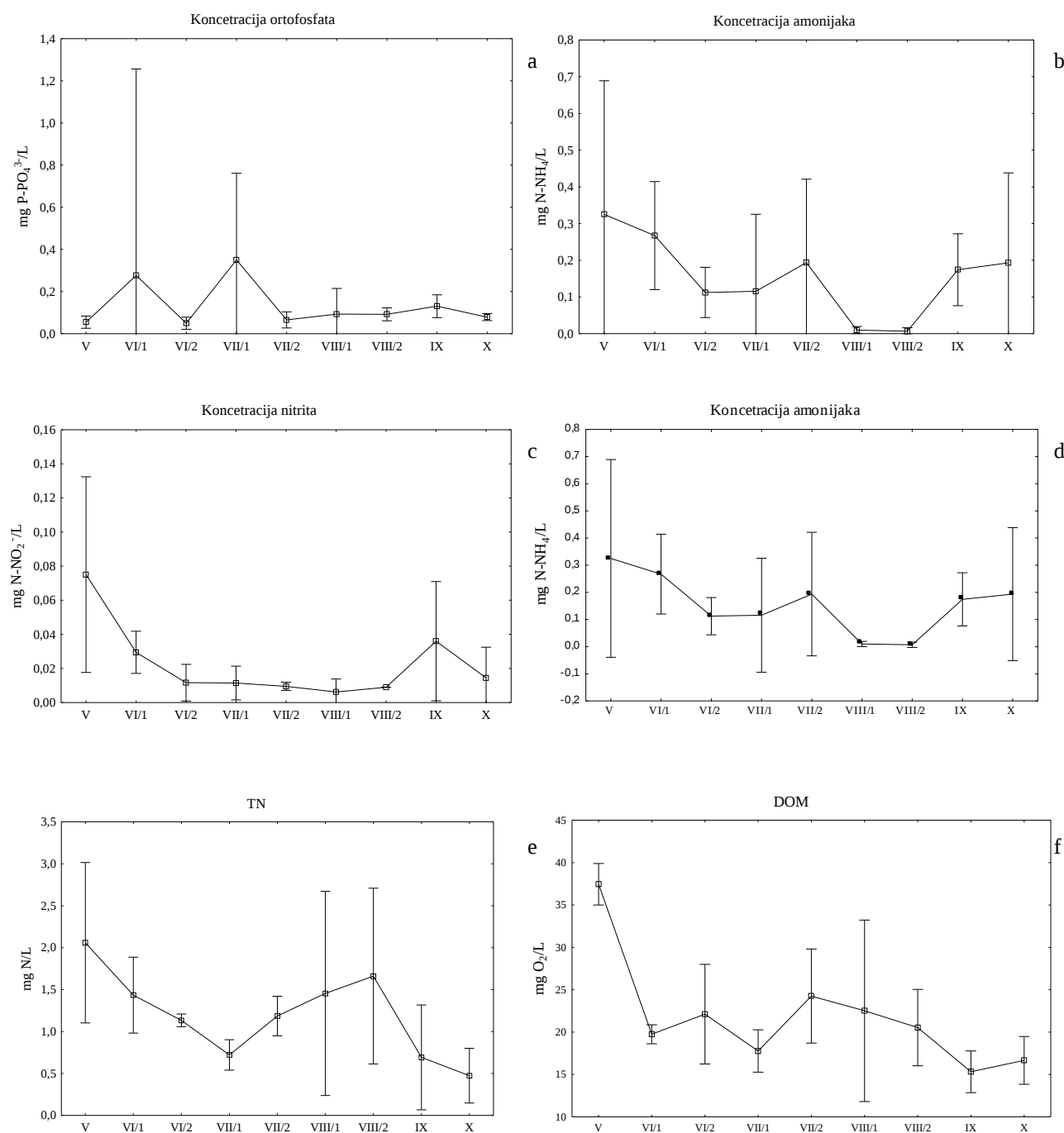
Koncentracije hranjivih tvari nisu se statistički značajno razlikovale između postaja longitudinalnog profila rukavca Sutle (Tablica 2). Kretale su se oko srednje vrijednosti $0,127 \pm 0,176$ mg P- PO_4^{3-} /L za ortofosfate, $0,472 \pm 0,287$ mg P/L za ukupni fosfor, $0,150 \pm 0,131$ mg N- NH_4 /L za amonijak, $0,022 \pm 0,023$ mg N- NO_2^- /L za nitrite, $0,220 \pm 0,205$ N- NO_3^- /L za nitrate i $0,189 \pm 0,579$ mg N/L za ukupni dušik. Koncentracije dušičnih ionskih oblika, ukupnog dušika i ortofosfata značajno su oscilirale tijekom istraživnog razdoblja. Koncentracije ionskih dušičnih spojeva bile su značajno veće u svibnju u odnosu na kolovoz, ukupnog dušika u svibnju u odnosu na rujan i listopad te ortofosfata u srpnju u odnosu na kraj lipnja (Slika 4a – e). Vrijednosti DOM također nisu bile statistički značajno različite između postaja, dok su njihove vremenske promjene pokazivale statističku značajnost (Slika 4f).



Slika 2 Statistički značajne (Kruskal–Wallis, $p < 0,05$) prostorne promjene analiziranih čimbenika: a) dubine (m), b) prozirnosti_{SD} (m), c) mutnoće (NTU), d) konduktiviteta ($\mu\text{S}/\text{cm}$) i e) koncentracije ukupnih otopljenih tvari, TDS (mg/L) između istraživanih postajama. Legenda: $\square$ srednja vrijednost, $\perp$ Minimalna – Maksimalna vrijednost



Slika 3 Statistički značajne (Kruskal–Wallis, $p < 0,05$) vremenske promjene analiziranih čimbenika: a) mutnoće (NTU), b) temperature (°C), c) koncentracije otopljenog kisika (mg O₂/L) i d) pH vrijednosti. Legenda: $\bar{x} \pm SD$



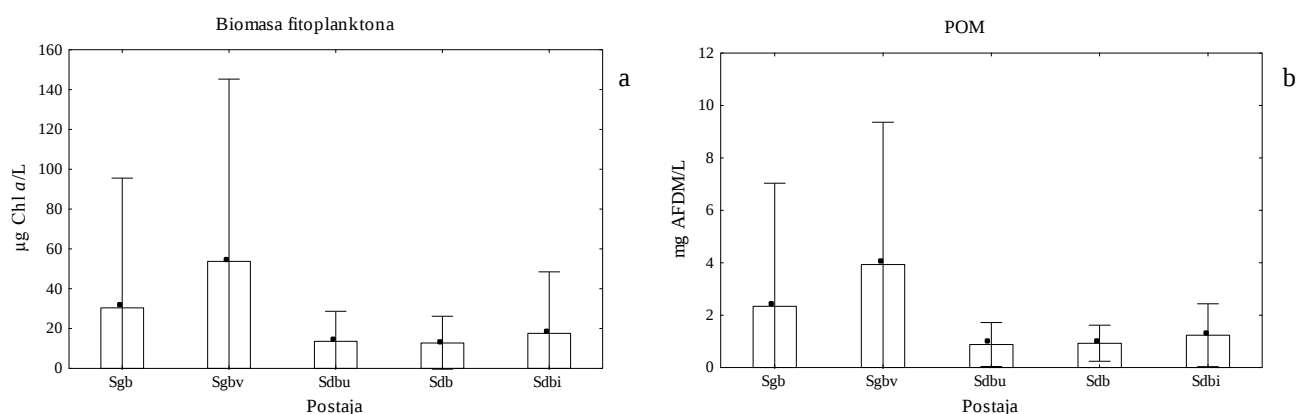
Slika 4 Statistički značajne (Kruskal–Wallis, $p < 0,05$) vremenske promjene analiziranih čimbenika: a) ortofosfata (mg P-PO₄/L), b) koncentracije amonijaka (mg N-NH₄/L), c) nitrita (mg N-NO₂⁻/L), d) nitrata (N-NO₃⁻/L), e) TN (mg N/L) i f) DOM (mg O_{2Mn}/L) Legenda: $\pm$ srednja vrijednost $\pm$ SD

Tablica 2 Mininimalne, maksimalne i srednje vrijednosti (SV), standardna devijacija (SD) i značajnost prostornih i vremenskih promjena fizikalno–kemijskih čimbenika i izvora hrane na postajama longitudinalnog profila rukavca Sutle (Kruskal–Wallis, $p < 0,05$; *post hoc* test višestruke usporedbe, $n = 41$)

Limnološki čimbenici	Minimalna vrijednost	Maksimalna vrijednost	SV	±	SD	Prostorne razlike			Vremenske razlike		
						H	p	Višestruka usporedba	H	p	Višestruka usporedba
Dubina (m)	0,4	4,2	1,8	±	0,9	28,8	0	Sdbi < Sdb, Sgb, Sgbv Sdb < Sdbu	5,8	ns	
Prozirnost _{SD} (m)	0,3	1,5	0,8	±	0,4	22,0	0,0002	Sdb < Sgb, Sgbv	10,9	ns	
Mutnoća (NTU)	8,0	52,0	23,0	±	10,1	10,7	0,0296	Sgb < Sdbi	18,4	0,0186	VI/1 > X
Temperatura (°C)	13,1	26,6	20,1	±	3,7	1,1	ns		36,9	0	X < VI/2, VII/2, VIII/1 VI/2 > VI/1, IX
Koncentracija otopljenog O ₂ (mg O ₂ /L)	2,0	9,2	5,2	±	1,8	2,6	ns		25,9	0,0011	VIII/1 < VI/1, VI/2
pH	7,4	8,4	7,7	±	0,2	7,8	ns		17,5	0,0254	X > VI/1, VI/2
Konduktivitet (µS/cm)	324,0	681,0	526,9	±	122,7	27,0	0	Sgb < Sdb, Sdbi Sgbv < Sdbi	2,6	ns	
TDS (mg/L)	55,9	662,0	266,1	±	111,0	27,2	0	Sgb < Sdb, Sdbi Sdbi > Sgb, Sgbv	2,6	ns	
Koncentracija ortofosfata (mg P-PO ₄ ³⁻ /L)	0,025	1,011	0,127	±	0,176	8,0	ns		23,5	0,0028	VII/1 > VI/2
TP (mg P/L)	0,144	1,834	0,472	±	0,287	7,7	ns		13,8	ns	
Koncentracija amonijaka (mg N-NH ₃ /L)	0,004	0,566	0,150	±	0,131	0,6	ns		28,4	0,0004	V > VIII/1, VIII/2 VI/1 > VIII/1, VIII/2
Koncentracija nitrita (mg N-NO ₂ ⁻ /L)	0,024	0,875	0,220	±	0,205	1,7	ns		31,5	0,0001	V > VIII/1, VIII/2
Koncentracija nitrata (mg N-NO ₃ ⁻ /L)	0,002	0,117	0,022	±	0,023	6,7	ns		19,0	0,015	VII/2 < V
TN (mg N/L)	0,248	2,518	1,189	±	0,579	1,5	ns		32,0	0,0001	V > IX, X X < VI/1, VIII/2
DOM (mg O _{2Mn} /L)	14,220	38,552	21,582	±	6,435	4,7	ns		33,0	0,0001	V > VII/1, IX, X IX < VII/2
Biomasa fitoplanktona (µg Chl <i>a</i> /L)	0,296	150,302	26,811	±	30,738	10,5	0,031	Sdb < Sgbv	7,1	ns	
POM (mg AFDM/L)	0,303	9,950	1,960	±	2,025	2,1	0,0047	Sgbv > Sdb, Sdbu	24,8	ns	

4.1.2. Izvori hrane

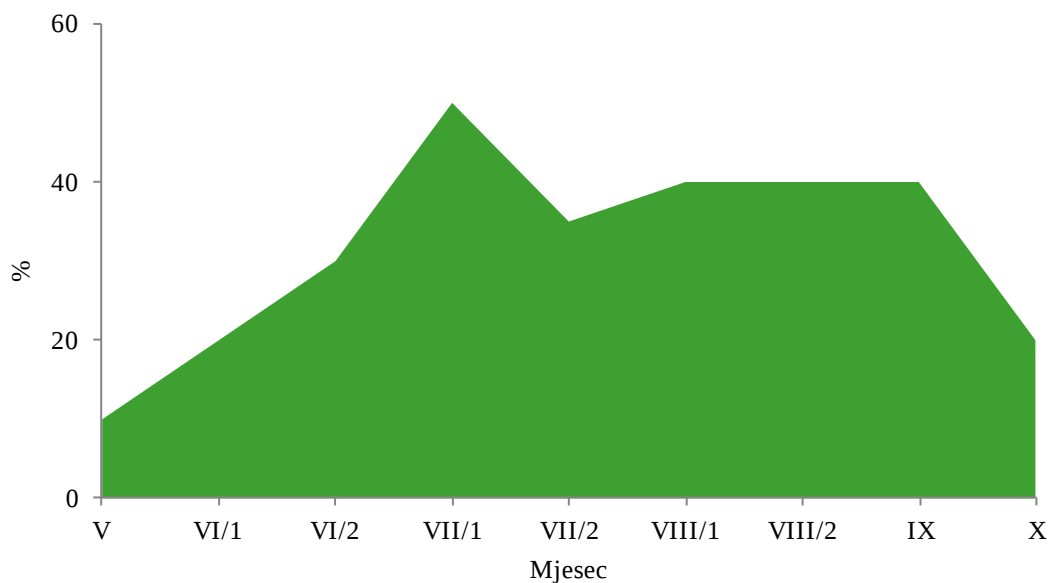
Kao izvori hrane razmatrani su koncentracija suspendiranih organskih tvari i biomasa fitoplanktona. Signifikantno veće vrijednosti oba čimbenika bila su na postaji Sgbv u Gornjem bazenu u odnosu na postaju Sdb u Donjem bazenu rukavca Sutle (Slika 5a – b). Vremenske promjene za oba izvora hrane nisu pokazale statistički značajan raspored.



Slika 5. Statistički značajne prostorne promjene analiziranih izvora hrane a) biomasa fitoplanktona ($\mu\text{g Chl } a/L$) i b) POM (mg AFDM/L). Legenda: $\square$ srednja vrijednost, $\perp$ Minimalna – Maksimalna vrijednost

4.1.3 Pokrovnost makrofitima

Donji bazen je bio bez makrofita, a postotak pokrovnosti submerznim sastojinama voščike (*C. demersum*) u Gornjem bazenu se kretao između 10 i 50 % (Slika 6). U ljetnom razdoblju razvijenost makrofitskih sastojina postigla je svoj maksimum. Vremenske promjene pokrovnosti Gornjeg bazena makrofitima nisu bile statistički značajne (Kruskal–Wallis test, $p > 0,05$).



Slika 6 Vremenske promjene pokrovnosti makrofitskim sastojinama (%) voščike, *Ceratophyllum demersum*, u Gornjem bazenu

4.2. Brojnost i raznolikost zooplanktona na longitudinalnom profilu rukavca rijeke Sutle

Tijekom istraživnog razdoblja na longitudinalnom profilu rukavca rijeke Sutle determinirano je 37 svojti zooplanktona. Najveću raznolikost zabilježili su predstavnici Rotifera (27 svojti). Ova skupina postigla je dominaciju u brojnostima na postajama Gornjeg bazena, s prisutnim makrofītima i veće prozirnosti, s udjelom $> 80 \%$. U Donjem bazenu, bez prisutnosti makrofita i veće mutnoće, veći udio na ulazu i površini pelagijala imali su planktonski rakovi, Cladocera i Copepoda, dok je udio Rotifera bio manji. U pelagijalu Donjeg bazena sa znatnim udjelom, 31 %, bili su prisutni Ciliophora, čiji udio je na ostalim postajama bio $< 1 \%$. Na izlazu rukavaca prema koritu rijeke udio Rotifera se povećao i iznosio je 48 %. Unutar skupina Rotifera i Cladocera prevladavale su mikrofiltratorske vrste. Vremenske promjene brojnosti skupina i raznolikosti nisu bile statistički značajne, a veličina jedinki bila je ujednačena tijekom cijelog razdoblja istraživanja. Od Rotifera dominirale su vrste *Keratella cochlearis* i *Trihocerca birostris*, Cladoecera su bili predstavljeni uglavnom vrstom *Bosmina longirostris*, a od Copepoda su prevladavali ličinački stadiji roda *Thermocyclops*.

4.2.1. Brojnost i raznolikost zooplanktona u Gornjem bazenu s makrofitima i veće prozirnosti

Postaja Sgb

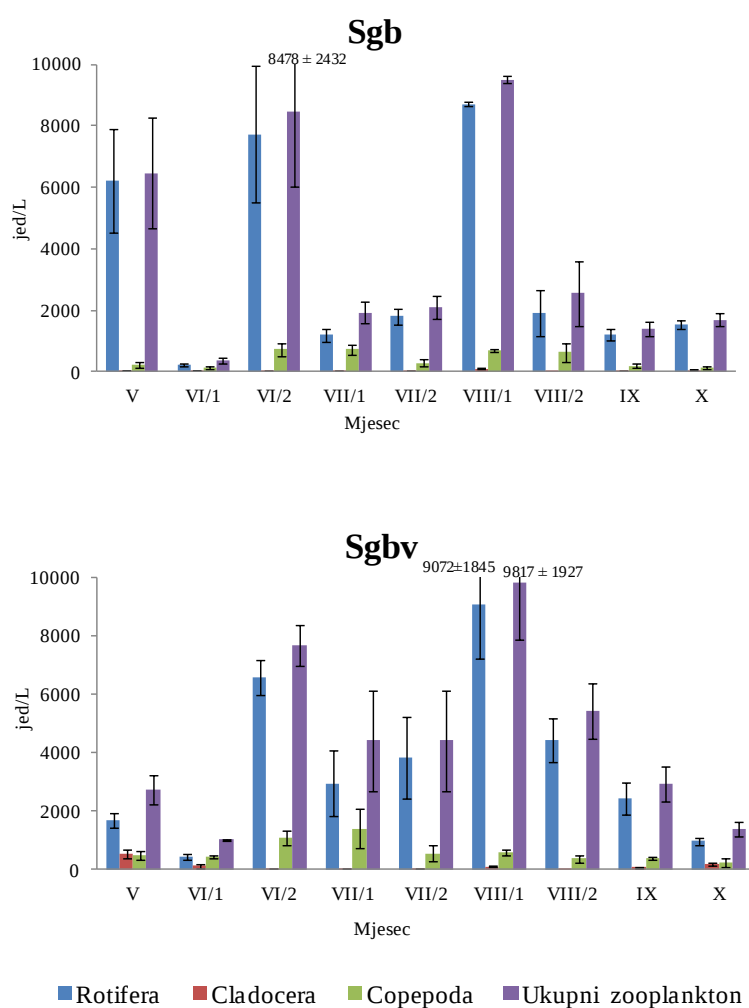
Na površini pelagijala Gornjeg bazena (Sgb) determinirano je 35 svojti od čega je 25 pripadalo skupini Rotifera (Tablica 3). Najveća raznolikost zabilježena je krajem srpnja (19), a najmanja u listopadu (8). Brojnost jedinki bila je najveća početkom kolovoza (9503 ± 121 jed/L) i podudara se s najvećom brojnošću Rotifera (8712 ± 83 jed/L), dok je najmanja brojnost bila početkom lipnja (361 ± 74 jed/L) (Slika 7). Najveći udio u ukupnoj brojnosti imali su Rotifera (88%) čija je brojnost na ovoj postaji bila statistički značajno veća nego na postajama Donjeg bazena (Tablica 4). Od Rotifera najveću brojnost postigle su vrste *Keratella cochlearis* u svibnju (5965 ± 1608 jed/L), *Anuaeropsis fissa* (3098 ± 480 jed/L) i *Trihocerca birostris* (3455 ± 129 jed/L) početkom kolovoza te vrste roda *Polyarthra* u listopadu (1389 ± 80 jed/L). Ličinke nauplija bile su najbrojnije iz skupine Copepoda, a maksimum brojnosti postigle su početkom srpnja (628 ± 126 jed/L).

Postaja Sgbv

U pridnenom sloju Gornjeg bazena rukavca (Sgbv) od 37 zabilježenih svojti najmanja raznolikost bila je u listopadu (8), a najveća krajem kolovoza (20) kada je postignut i maksimum ukupne brojnosti (9817 ± 1927 jed/L) (Slika 7). Brojnost zooplanktona na ovoj postaji je bila veća u odnosu na druge istraživane postaje longitudinalnog profila, a u odnosu prema postaji Sdbi u Donjem bazenu ta razlika se pokazala statistički značajna (Tablica 4). Najmanja brojnost zooplanktona bila je početkom lipnja (1022 ± 14 jed/L) i podudarala se s najmanjom brojnošću u površinskom sloju, a prati je i najmanja brojnost Rotifera (456 ± 96 jed/L) (Slika 7). Kao i u površinskom sloju, najveći udio u brojnosti imali su Rotifera (81 %), od kojih su se brojnošću isticale vrste *Keratella cochlearis* početkom ljeta, 3863 ± 334 jed/L, te *Trihocerca birostris* ljeti, 4057 ± 817 jed/L (Tablica 5). Udio Copepoda u ukupnoj brojnosti iznosio je 14%, a najzastupljeniji su bili ličinački stadiji nauplija (33 do 84 %). Na ovoj postaji zabilježena je najveća brojnost (126 ± 254 jed/L) skupine Gastrotricha u odnosu na druge postaje (Tablica 5).

Razlike u brojnosti i raznolikosti između površinskog i pridnenog sloja nisu bile statistički značajne (Mann – Whitney U test, $p > 0,05$), iako je brojnost vrsta *Trihocerca*

birostris, *Filinia longiseta* te vrsta roda *Polyarthra* i planktonskih rakova, Cladocera i Copepoda, bila veća u pridnenom vertikalnom sloju u odnosu na površinski sloj. Brojnost mikrofiltratorskih i makrofiltratorskih Rotifera na obje postaje Gornjeg bazena bila je statistički značajno veća u odnosu na postaje u Donjem bazenu (Slika 8, Tablica 4)



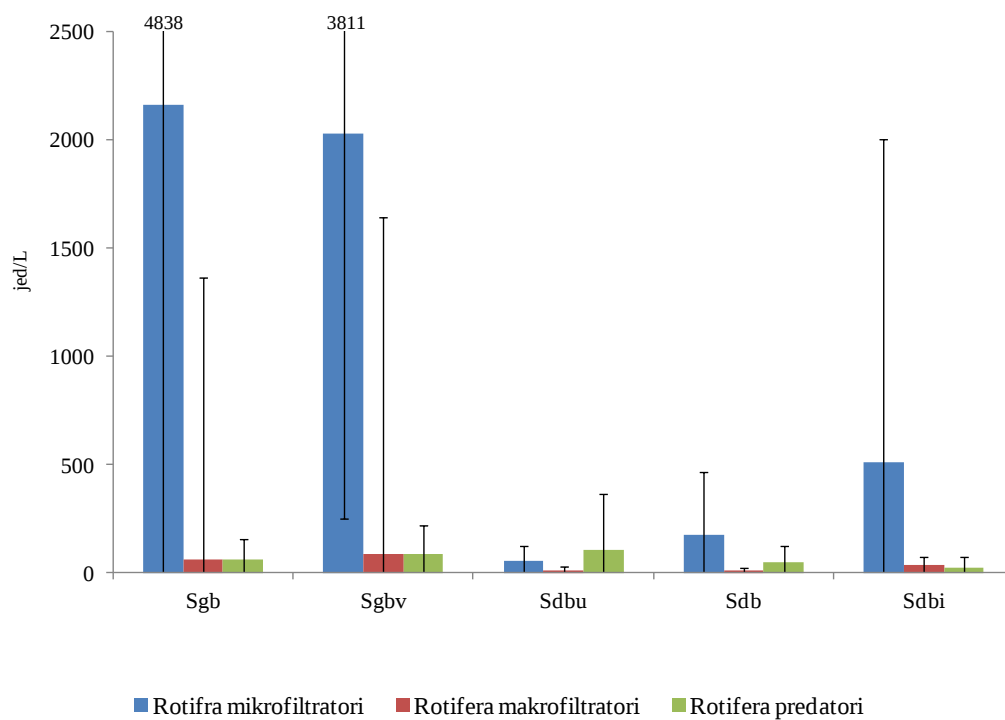
Slika 7 Vremenske promjene brojnosti ($n = 3 \pm SD$) skupina Rotifera, Cladocera, Copepoda i ukupnog zooplanktona na istraživanim postajama Gornjeg bazena rukavca Sutle (Sgb, Sgbv)

Tablica 3 Promjene brojnosti ($n = 3 \pm SD$) i raznolikosti zooplanktona na postaji Sgb (Gornji bazen, pelagijal, površinski sloj) tijekom istraživanog razdoblja

Postaja Mjesec	Svibanj	Lipanj/1	Lipanj/2	Srpanj/1	Sgb Srpanj/2	Kolovoz/1	Kolovoz/2	Rujan	Listopad
Skupina									
Svojta/Vrsta	Jed/L $\pm$ SD								
Testaceae ukupno									
<i>Diffugia</i> sp.						3 $\pm$ 4		2 $\pm$ 3	4 $\pm$ 4
Ciliophora									
<i>Tintinnidium fluviatile</i>		2 $\pm$ 4							
<i>Tintinnopsis lacustris</i>								2 $\pm$ 3	
<i>Vorticella campula</i> telotroh							10 $\pm$ 3		
Ciliophora ukupno		2 $\pm$ 4					10 $\pm$ 3	2 $\pm$ 3	
Rotifera									
<i>Anuaeropsis fissa</i>					5 $\pm$ 6	3098 $\pm$ 480	76 $\pm$ 21	14 $\pm$ 3	
<i>Ascomorpha ovalis</i>							10 $\pm$ 7	16 $\pm$ 10	
<i>Asplanchna priodonta</i>			307 $\pm$ 137	83 $\pm$ 16	9 $\pm$ 3	33 $\pm$ 23		49 $\pm$ 17	46 $\pm$ 26
<i>Brachionus angularis</i>				1 $\pm$ 2	9 $\pm$ 5	203 $\pm$ 34	334 $\pm$ 178	9 $\pm$ 6	
<i>Brachionus calyciflorus</i>			39 $\pm$ 13	26 $\pm$ 14	10 $\pm$ 5				
<i>Brachionus falcatus</i>			2 $\pm$ 4	17 $\pm$ 12	6 $\pm$ 0	5 $\pm$ 4	106 $\pm$ 60	2 $\pm$ 3	
<i>Brachionus patulus</i>			2 $\pm$ 4	1 $\pm$ 2					
<i>Brachionus quadridentatus</i>					1 $\pm$ 2				
<i>Cephalodella</i> sp.							20 $\pm$ 7	2 $\pm$ 3	
<i>Filinia longiseta</i>		2 $\pm$ 4	13 $\pm$ 11	28 $\pm$ 7	15 $\pm$ 3	56 $\pm$ 16	121 $\pm$ 81	68 $\pm$ 31	
<i>Gastropus stylifer</i>		2 $\pm$ 4							
<i>Hexarthra mira</i>							21 $\pm$ 5	76 $\pm$ 6	
<i>Keratella cochlearis</i>	5965 $\pm$ 1608	38 $\pm$ 22	5473 $\pm$ 1622	365 $\pm$ 33	414 $\pm$ 55	765 $\pm$ 29	62 $\pm$ 20	399 $\pm$ 112	46 $\pm$ 20
<i>Keratella quadrata</i>	108 $\pm$ 58	11 $\pm$ 10	244 $\pm$ 75	70 $\pm$ 20	15 $\pm$ 3	18 $\pm$ 4			4 $\pm$ 4
<i>Keratella tecta</i>	22 $\pm$ 10		740 $\pm$ 106	91 $\pm$ 21	43 $\pm$ 16				
<i>Lecane bulla</i>		2 $\pm$ 4			2 $\pm$ 2				
<i>Lecane closteroerca</i>		2 $\pm$ 4			3 $\pm$ 3	3 $\pm$ 4		2 $\pm$ 3	
<i>Lecane lunaris</i>				2 $\pm$ 2					
<i>Lepadella patella</i>			2 $\pm$ 4			3 $\pm$ 4	1 $\pm$ 1		
<i>Polyarthra</i> spp.	1 $\pm$ 2	4 $\pm$ 8	28 $\pm$ 21	98 $\pm$ 40	741 $\pm$ 150	978 $\pm$ 232	628 $\pm$ 202	208 $\pm$ 50	1389 $\pm$ 80
<i>Pompholyx complanata</i>	2 $\pm$ 4			10 $\pm$ 5	77 $\pm$ 21	101 $\pm$ 58			
<i>Synchaeta tremula</i>								2 $\pm$ 3	
<i>Testudinella parva</i>					7 $\pm$ 12				
<i>Trichotria tetractis</i>						5 $\pm$ 9			
<i>Trihocerca birostris</i>	116 $\pm$ 46	148 $\pm$ 51	882 $\pm$ 291	409 $\pm$ 89	436 $\pm$ 84	3445 $\pm$ 129	524 $\pm$ 179	341 $\pm$ 84	36 $\pm$ 18
Rotifera ukupno	6215 $\pm$ 1700	211 $\pm$ 52	7733 $\pm$ 2217	1201 $\pm$ 212	1795 $\pm$ 252	8712 $\pm$ 83	1904 $\pm$ 738	1186 $\pm$ 184	1522 $\pm$ 145
Gastrotricha									
<i>Chaetonotus</i> sp.							5 $\pm$ 3		
<i>Kijanebalola</i> sp.						3 $\pm$ 4		2 $\pm$ 3	
<i>Neogosseia</i> sp.							2 $\pm$ 3		
Gastrotricha ukupno						3 $\pm$ 4	7 $\pm$ 4	2 $\pm$ 3	
Cladocera ukupno									
<i>Bosmina longirostris</i>	27 $\pm$ 2	34 $\pm$ 20	13 $\pm$ 7	7 $\pm$ 7	8 $\pm$ 9	96 $\pm$ 24	1 $\pm$ 1	17 $\pm$ 13	42 $\pm$ 30
Copepoda									
nauplij	126 $\pm$ 58	58 $\pm$ 27	451 $\pm$ 128	628 $\pm$ 126	263 $\pm$ 108	555 $\pm$ 46	608 $\pm$ 311	168 $\pm$ 56	103 $\pm$ 31
kopepodit		29 $\pm$ 21				46 $\pm$ 30	16 $\pm$ 19	21 $\pm$ 5	15 $\pm$ 4
<i>Thermocyclops oithonoides</i>	103 $\pm$ 38	27 $\pm$ 7	281 $\pm$ 91	90 $\pm$ 27	21 $\pm$ 22	89 $\pm$ 19		2 $\pm$ 3	8 $\pm$ 10
Copepoda ukupno	229 $\pm$ 86	114 $\pm$ 53	732 $\pm$ 214	718 $\pm$ 148	284 $\pm$ 129	689 $\pm$ 57	624 $\pm$ 324	191 $\pm$ 58	127 $\pm$ 34
Ostracoda ukupno									
Ostracoda	1 $\pm$ 2								
Ukupno	6472 $\pm$ 1786	361 $\pm$ 74	8478 $\pm$ 2432	1926 $\pm$ 363	2087 $\pm$ 388	9503 $\pm$ 121	2546 $\pm$ 1054	1399 $\pm$ 251	1695 $\pm$ 207

Tablica 4 Značajnost prostornih razlika brojnosti i raznolikosti zooplanktona između istraživanih postaja u rukavcu Sutle (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$; *post hoc* test višestruke usporedbe, $n = 41$)

	H	p	Višestruka usporedba
Brojnost svojti	15,59	0,0036	Sgbv > Sdbu
Ukupni zooplankton	16,35	0,0026	Sgbv > Sdbi
Rotifera	24,26	0,0001	Sgbv > Sdbu, Sdb, Sdbi
<i>Keratella cochlearis</i>	23,85	0,0001	Sgb, Sgbv > Sdbu, Sdbi
<i>Trihocerca birostris</i>	30,74	0,0001	Sgbv > Sdbu, Sdb, Sdbi Sgb > Sdb, Sdbi
Cladocera	11,28	0,0236	Sdbu > Sgb
Copepoda	11,92	0,018	Sgbv > Sdbi
Rorifera mikrofiltartori	19,52	0,0006	Sgbv > Sdbu, Sdbi Sgb > Sdbi
Rotifera makrofiltratori	28,11	0,0001	Sgbv > Sdbu, Sdb, Sdbi Sgb > Sdbu, Sdbi



Slika 8 Brojnost funkcionalnih trofičkih skupina Rotifera: mikrofiltratori, makrofiltratori, predatori ($n = 9 \pm SD$), na postajama longitudinalnog profila rukavca Sutle

Tablica 5 Promjene brojnosti ($n = 3 \pm SD$) i raznolikosti zooplanktona na postaji Sgbv (Gornji bazen, pelagijal, vertikalni pridneni sloj) tijekom istraživanog razdoblja

Postaja Mjesec	Svibanj	Lipanj/1	Lipanj/2	Srpanj/1	Sgbv Srpanj/2	Kolovoz/1	Kolovoz/2	Rujan	Listopad	
Skupina										
Svoja/Vrsta	Jed/L ± SD									
Testaceae ukupno										
<i>Diffugia</i> sp.									3 ± 4	
Ciliophora										
<i>Tintinnidium fluviatile</i>	26 ± 25									
<i>Tintinnopsis lacustris</i>	21 ± 28							14 ± 25	8 ± 8	
<i>Vorticella campula</i> telotroh										
Ciliophora ukupno	38 ± 27							14 ± 25	8 ± 8	
Rotifera										
<i>Anuaeropsis fissa</i>	6 ± 10					49 ± 29	2884 ± 441	96 ± 44	46 ± 15	13 ± 11
<i>Ascomorpha ovalis</i>								283 ± 258	10 ± 4	
<i>Asplanchna priodonta</i>	5 ± 8		424 ± 82	139 ± 73	39 ± 34	11 ± 11	5 ± 8	58 ± 12	75 ± 0	
<i>Brachionus angularis</i>				12 ± 15	16 ± 6	112 ± 41	149 ± 65	28 ± 12		
<i>Brachionus calyciflorus</i>	3 ± 5	5 ± 8	631 ± 222	62 ± 40	59 ± 26					
<i>Brachionus falcatus</i>	5 ± 8		5 ± 9	156 ± 55	91 ± 25	53 ± 33				
<i>Brachionus patulus</i>				5 ± 9	10 ± 4					
<i>Brachionus quadridentatus</i>						10 ± 10				
<i>Cephalodella</i> sp.							5 ± 8	3 ± 4		
<i>Filinia longiseta</i>	3 ± 5	5 ± 8	202 ± 60	120 ± 52	75 ± 57	299 ± 129	2290 ± 114	385 ± 53		
<i>Gastropus stylifer</i>	5 ± 8									
<i>Hexarthra mira</i>							34 ± 30	162 ± 38		
<i>Keratella cochlearis</i>	1429 ± 115	149 ± 42	3863 ± 334	624 ± 427	565 ± 133	518 ± 195	29 ± 0	524 ± 260	56 ± 38	
<i>Keratella quadrata</i>	167 ± 75	10 ± 8	355 ± 163	190 ± 56	54 ± 49	50 ± 33	13 ± 11			
<i>Keratella tecta</i>	18 ± 23	498 ± 133		290 ± 108	127 ± 52					
<i>Lecane bulla</i>			5 ± 9	2 ± 4						
<i>Lecane closterocerca</i>	5 ± 8					3 ± 6				
<i>Lecane lunaris</i>					2 ± 4			10 ± 8		
<i>Lepadella patella</i>							7 ± 12	5 ± 8	3 ± 4	
<i>Polyarthra</i> spp.	3 ± 5	14 ± 14	64 ± 9	348 ± 286	1591 ± 673	1080 ± 368	835 ± 276	127 ± 43	558 ± 39	
<i>Pompholyx complanata</i>	21 ± 13	10 ± 17		235 ± 74	301 ± 115	29 ± 6	3 ± 4			
<i>Synchaeta tremula</i>							10 ± 8	5 ± 4		
<i>Testudinella mucronata</i>	5 ± 9									
<i>Trichotria tetractis</i>										
<i>Trihocerca birostris</i>	44 ± 55	254 ± 36	508 ± 120	782 ± 277	882 ± 294	4057 ± 817	653 ± 164	1099 ± 191	263 ± 132	
Rotifera ukupno	1693 ± 250	456 ± 96	6576 ± 589	2959 ± 1123	3845 ± 1413	9072 ± 1845	4454 ± 757	2452 ± 540	978 ± 136	
Gastrotricha										
<i>Chaetonotus</i> sp.							370 ± 74			
<i>Kijanebalola</i> sp.					19 ± 15	3 ± 6	22 ± 11	5 ± 8	5 ± 9	
<i>Neogosseia</i> sp.							206 ± 144			
Gastrotricha ukupno					19 ± 15	3 ± 6	22 ± 11	581 ± 216	5 ± 9	
Cladocera										
<i>Bosmina longirostris</i>	525 ± 146	120 ± 60	20 ± 9	22 ± 7	7 ± 11	104 ± 38	5 ± 8	89 ± 24	175 ± 47	
<i>Daphnia longispina</i>					2 ± 4	4 ± 6				
Cladocera ukupno	525 ± 146	120 ± 60	20 ± 9	24 ± 11	7 ± 11	108 ± 32	5 ± 8	89 ± 24	175 ± 47	
Copepoda										
naup lij	161 ± 41	374 ± 58	479 ± 191	1183 ± 540	421 ± 183	450 ± 27	274 ± 104	304 ± 33	163 ± 121	
kopepodit	73 ± 59	10 ± 17	15 ± 15							
<i>Megacyclops viridis</i>	76 ± 50									
<i>Thermocyclops oithonoides</i>	170 ± 33	62 ± 8	577 ± 165	221 ± 121	144 ± 104	86 ± 39	5 ± 8	10 ± 4	31 ± 39	
Copepoda ukupno	481 ± 157	446 ± 38	1071 ± 255	1404 ± 661	565 ± 287	612 ± 100	374 ± 132	383 ± 62	244 ± 149	
Insecta ukupno										
Plecoptera ličinka						4 ± 6				
Ukupno	2737 ± 488	1022 ± 14	7666 ± 705	4421 ± 1730	4420 ± 1709	9817 ± 1927	5429 ± 950	2939 ± 577	1397 ± 242	

4.2.2. Brojnost i raznolikost zooplanktona u Donjem bazenu bez makrofita i veće mutnoće

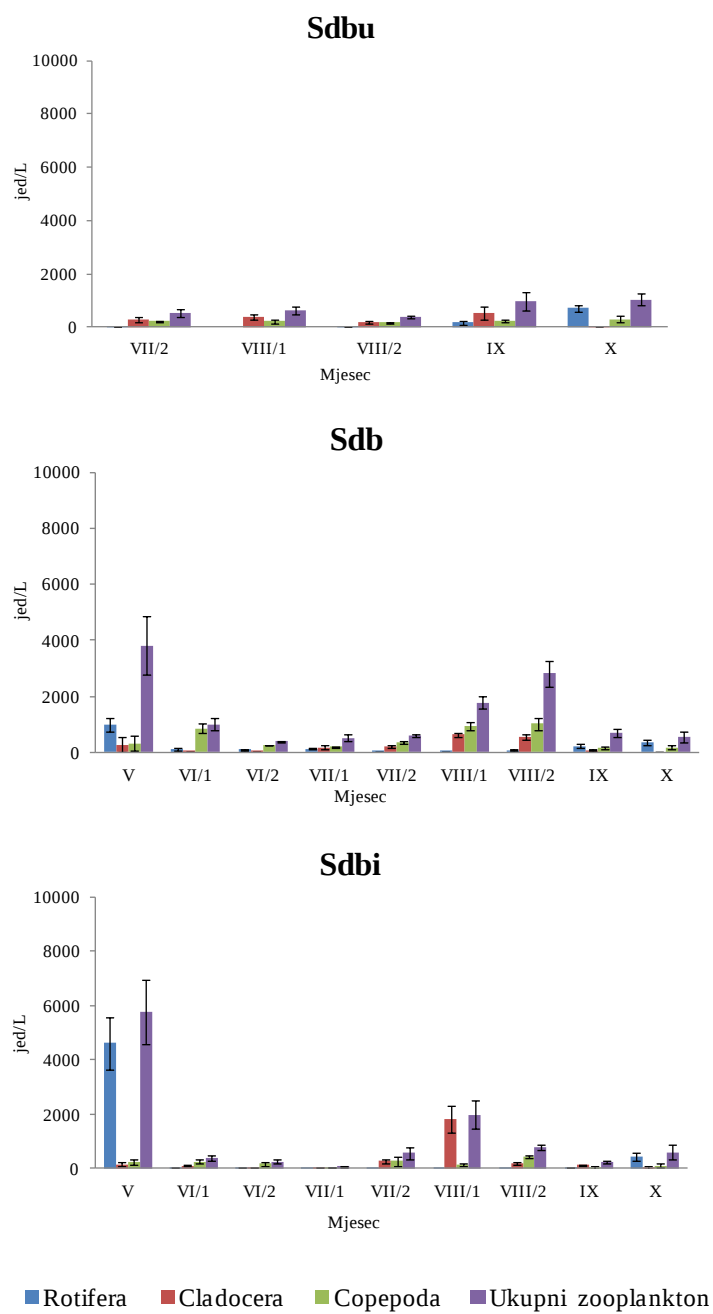
Brojnost zooplanktona na svim postajama Donjeg bazena je bila dvostruko do deseterostruko manja u odnosu na postaje Gornjeg bazena (Slika 9). Broj svojti u Donjem bazenu (10 ± 3) bio je manji u odnosu na Gornji bazen (15 ± 4) kao i brojnost Rotifera, dok je brojnost Cladocera u pelagijalu Donjeg bazena bila veća (Tablica 4).

Postaja Sdbu

Na uljevu vode iz Gornjeg u Donji bazen, Sdbu, ukupno je determinirano 16 svojti, od kojih je 12 pripadalo skupini Rotifera (Tablica 6). U listopadu je zabilježen maksimum brojnosti (1042 jed/L) zooplanktona, u kojem je s udjelom od 56 % sudjelovala vrsta *Asplanchna priodonta*, ujedno ujedno dominantna vrsta Rotifera na ovoj postaji (Slika 9). Paralelno s maksimumom ukupne brojnosti zabilježena je i najveća brojnost skupine Copepoda (302 jed/L) na ovoj postaji. Vrsta *Bosmina longirostris*, jedini predstavnik Cladocera, bila je najbrojnija vrsta s prosječnom brojnošću od 286 ± 194 jed/L. Njena brojnost, a time i brojnost Cladocera, bila je na ovoj postaji veća u odnosu na postaje u Gornjem bazenu sa statistički značajnom razlikom u odnosu na postaju Sgb (Tablica 4).

Postaja Sdb

U pelagijalu Donjeg bazena (Sdb) determinirane su 24 svojte, od toga 16 je pripadalo skupini Rotifera, a prosječna raznolikost iznosila je u od 9 ± 3 svojti (Tablica 7). Najveći udio u brojnosti zooplanktona postigli su Copepoda (35 %) sa srednjom vrijednošću 478 ± 352 jed/L, a slijede ih Ciliophora (31 %) dok je udio Rotifera (17 %) i Cladocera (16 %) bio gotovo dvostruko manji (Slika 9). Razvojni stadiji, nauplij i kopepodit, sudjelovali su sa 75 %-tnim udjelom u ukupnoj brojnosti Copepoda na ovoj postaji. U odnosu na postaje na ulazu i izlazu iz Donjeg bazena brojnost zooplanktona na ovoj postaji bila je gotovo trostruko veća (Slika 9). Najveći udio u ukupnoj brojnosti na ovoj postaji postigla je vrsta *Tinntinopsis lacustris* iz skupine Ciliophora (415 ± 743 jed/L). Oscilacije njenih visokih brojnosti u svibnju (2137 jed/L) i kolovozu (1143 jed/L) podudarale su se s visokom brojnošću zooplanktona, kada je udio Tintinnida u zooplanktonu bio 58 % odnosno 40 % (Tablica 7).



Slika 9 Vremenske promjene brojnosti ($n = 3 \pm SD$) skupina Rotifera, Cladocera, Copepoda i ukupnog zooplanktona na istraživanim postajama Donjeg bazena rukavca Sutle (Sdbu, Sdb, Sdbi)

Postaja Sdbi

Na izlazu iz rukavca rijeke Sutle (Sdbi) zabilježeno je 29 različitih svojti. Najmanji broj (7) je bio u srpnju kada je zabilježen i minimum ukupne brojnosti zooplanktona (78 jed/L) (Tablica 8). Rotifera su sa 48%-tnim udjelom bili najbrojnija i s 20 svojti najraznolikija skupina. Najveću brojnost postigli su u svibnju (4625 jed/L), što se podudaralo i s maksimumom ukupne brojnosti (5770 jed/L) (Slika 9). Najbrojnija vrsta Rotifera i na ovoj postaji bila je *K. cochlearis* (447 ± 1331 jed/L). Cladocera, predstavljeni vrstom *B. longirostris* postigli su udio od 26 % u ukupnoj brojnosti zooplanktona na ovoj postaji, a u odnosu na postaje Sdbu i Sdb njihova brojnost je bila veća. Najmanje zastupljena (17 %) bila je skupina Copepoda čiji glavni predstavnik je kao i na ostalim postajama bio nauplij vrste *Thermocyclops oithonoides* (Tablica 8).

Tablica 6 Promjene brojnosti ($n = 3 \pm SD$) i raznolikosti zooplanktona na postaji Sdbu (uljev vode iz Gornjeg u Donji bazen) tijekom istraživanog razdoblja

Postaja Mjesec	Sdbu				
	Srpanj/2	Kolovoz/1	Kolovoz/2	Rujan	Listopad
Skupina Svojta/Vrsta	Jed/L $\pm$ SD				
Testaceae ukupno					
<i>Diffugia</i> sp.	6 $\pm$ 5		11 $\pm$ 5	1 $\pm$ 2	1 $\pm$ 2
Ciliophora ukupno					
<i>Tintinnopsis lacustris</i>		13 $\pm$ 11	9 $\pm$ 0	37 $\pm$ 11	
Rotifera					
<i>Anuaeropsis fissa</i>					1 $\pm$ 2
<i>Ascomorpha ovalis</i>					23 $\pm$ 10
<i>Asplanchna priodonta</i>				4 $\pm$ 4	583 $\pm$ 101
<i>Brachionus angularis</i>			2 $\pm$ 3	134 $\pm$ 43	1 $\pm$ 2
<i>Brachionus calyciflorus</i>				4 $\pm$ 4	
<i>Keratella cochlearis</i>					13 $\pm$ 10
<i>Keratella quadrata</i>			2 $\pm$ 3	14 $\pm$ 10	71 $\pm$ 34
<i>Keratella tecta</i>	12 $\pm$ 10		3 $\pm$ 5		
<i>Polyarthra</i> spp.					13 $\pm$ 3
<i>Pompholyx complanata</i>			6 $\pm$ 7	5 $\pm$ 2	1 $\pm$ 2
<i>Trichotria tetractis</i>			2 $\pm$ 3		
<i>Trihocerca birostris</i>	9 $\pm$ 9				4 $\pm$ 2
Rotifera ukupno	21 $\pm$ 18		14 $\pm$ 13	161 $\pm$ 54	712 $\pm$ 125
Cladocera ukupno					
<i>Bosmina longirostris</i>	290 $\pm$ 85	383 $\pm$ 104	188 $\pm$ 40	540 $\pm$ 254	27 $\pm$ 0
Copepoda					
nauplij	144 $\pm$ 40	180 $\pm$ 35	156 $\pm$ 24	11 $\pm$ 4	109 $\pm$ 20
kopepodit	6 $\pm$ 10	5 $\pm$ 5		23 $\pm$ 18	104 $\pm$ 55
<i>Thermocyclops oithonoides</i>	62 $\pm$ 32	36 $\pm$ 22	9 $\pm$ 5	210 $\pm$ 49	89 $\pm$ 35
Copepoda ukupno	211 $\pm$ 44	221 $\pm$ 62	166 $\pm$ 26	244 $\pm$ 48	302 $\pm$ 125
Ukupno	528 $\pm$ 145	617 $\pm$ 149	388 $\pm$ 57	983 $\pm$ 351	1042 $\pm$ 219

Tablica 7 Promjene brojnosti ($n = 3 \pm SD$) i raznolikosti zooplanktona na postaji Sdb (Donji bazen, pelagijal u površinskom sloju vode) tijekom istraživanog razdoblja

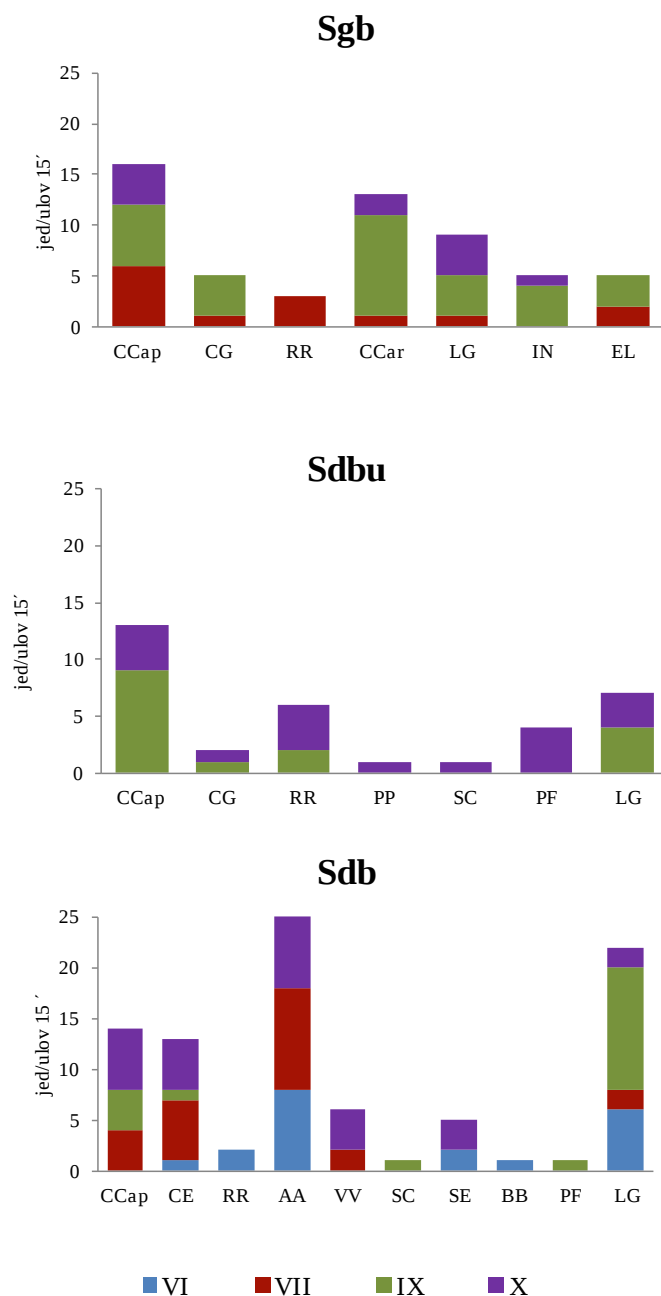
Postaja Mjesec	Sdb								
	Svibanj	Lipanj/1	Lipanj/2	Srpanj/1	Srpanj/2	Kolovoz/1	Kolovoz/2	Rujan	Listopad
Skupina									
Svojta/Vrsta	Jed/L $\pm$ SD								
Testaceae									
<i>Diffugia</i> sp.					3 $\pm$ 6		24 $\pm$ 10	9 $\pm$ 0	7 $\pm$ 0
<i>Euglypha tuberculata</i>	4 $\pm$ 6								
Testaceae ukupno	4 $\pm$ 6				3 $\pm$ 6		24 $\pm$ 10	9 $\pm$ 0	7 $\pm$ 0
Ciliophora									
<i>Tintinnidium fluviatile</i>	84 $\pm$ 58				3 $\pm$ 6				
<i>Tintinnopsis lacustris</i>	2137 $\pm$ 451	16 $\pm$ 0	3 $\pm$ 5			224 $\pm$ 38	1143 $\pm$ 121	213 $\pm$ 45	
Ciliophora ukupno	2221 $\pm$ 500	16 $\pm$ 0	3 $\pm$ 5		3 $\pm$ 6	224 $\pm$ 38	1143 $\pm$ 121	213 $\pm$ 45	
Rotifera									
<i>Anuaeropsis fissa</i>	4 $\pm$ 6								
<i>Ascomorpha ovalis</i>									28 $\pm$ 17
<i>Asplanchna priodonta</i>	4 $\pm$ 3	113 $\pm$ 44	1 $\pm$ 2					104 $\pm$ 60	215 $\pm$ 57
<i>Brachionus angularis</i>				1 $\pm$ 1			28 $\pm$ 8	51 $\pm$ 24	
<i>Brachionus calyciflorus</i>	2 $\pm$ 3	4 $\pm$ 4	11 $\pm$ 6	1 $\pm$ 1	7 $\pm$ 6		20 $\pm$ 11	4 $\pm$ 4	
<i>Brachionus falcatus</i>			50 $\pm$ 7	124 $\pm$ 34		1 $\pm$ 2	17 $\pm$ 16	1 $\pm$ 2	
<i>Filinia longiseta</i>	37 $\pm$ 5				3 $\pm$ 6				
<i>Keratella cochlearis</i>	572 $\pm$ 140	8 $\pm$ 7	28 $\pm$ 13	7 $\pm$ 2	2 $\pm$ 3			1 $\pm$ 2	27 $\pm$ 2
<i>Keratella quadrata</i>	327 $\pm$ 96	5 $\pm$ 2	3 $\pm$ 2				7 $\pm$ 7	7 $\pm$ 2	81 $\pm$ 42
<i>Keratella tecta</i>				2 $\pm$ 1					1 $\pm$ 2
<i>Lecane bulla</i>			3 $\pm$ 2						
<i>Lepadella patella</i>			1 $\pm$ 2					3 $\pm$ 2	
<i>Polyarthra</i> spp.	9 $\pm$ 8		1 $\pm$ 2		3 $\pm$ 3				13 $\pm$ 2
<i>Pompholyx complanata</i>	9 $\pm$ 11						20 $\pm$ 13	65 $\pm$ 11	
<i>Testudinella mucronata</i>				1 $\pm$ 1					
<i>Trihocerca birostris</i>	25 $\pm$ 16			2 $\pm$ 1					1 $\pm$ 2
Rotifera ukupno	987 $\pm$ 262	131 $\pm$ 44	99 $\pm$ 9	137 $\pm$ 41	15 $\pm$ 9	1 $\pm$ 2	91 $\pm$ 23	238 $\pm$ 56	367 $\pm$ 111
Gastrotricha									
<i>Kijanebalola</i> sp.							2 $\pm$ 4		4 $\pm$ 6
<i>Neogosseia</i> sp.									
Gastrotricha ukupno							2 $\pm$ 4		4 $\pm$ 6
Cladocera ukupno									
<i>Bosmina longirostris</i>	270 $\pm$ 58	13 $\pm$ 6	20 $\pm$ 11	190 $\pm$ 54	220 $\pm$ 36	629 $\pm$ 72	540 $\pm$ 99	77 $\pm$ 23	
Copepoda									
nauplij	81 $\pm$ 31	833 $\pm$ 160	64 $\pm$ 20	70 $\pm$ 9	253 $\pm$ 32	885 $\pm$ 140	640 $\pm$ 584	129 $\pm$ 49	147 $\pm$
koepodit	7 $\pm$ 8	16 $\pm$ 12					76 $\pm$ 26	17 $\pm$ 11	26 $\pm$
<i>Thermocyclops oithonoides</i>	244 $\pm$ 235	5 $\pm$ 6	206 $\pm$ 17	122 $\pm$ 25	100 $\pm$ 19	46 $\pm$ 6	61 $\pm$ 14	21 $\pm$ 9	7 $\pm$
Copepoda ukupno	332 $\pm$ 255	855 $\pm$ 168	270 $\pm$ 14	193 $\pm$ 23	353 $\pm$ 48	930 $\pm$ 143	1024 $\pm$ 228	168 $\pm$ 56	180 $\pm$
Ukupno	3813 $\pm$ 1049	1015 $\pm$ 217	392 $\pm$ 13	519 $\pm$ 110	594 $\pm$ 60	1784 $\pm$ 223	2825 $\pm$ 458	704 $\pm$ 152	557 $\pm$ 187

Tablica 8 Promjene brojnosti ($n = 3 \pm \text{SD}$) i raznolikosti zooplanktona na postaji Sdbi (Donji bazen, otjecanje vode iz rukavca prema kanalu koji ga povezuje s glavnim tokom Sutle)

Postaja Mjesec	Sdbi								
	Svibanj	Lipanj/1	Lipanj/2	Srpanj/1	Srpanj/2	Kolovoz/1	Kolovoz/2	Rujan	Listopad
Skupina									
Svojta/Vrsta	Jed/L $\pm$ SD								
Testaceae ukupno									
<i>Diffugia</i> sp.					4 $\pm$ 4		22 $\pm$ 16	9 $\pm$ 9	13 $\pm$ 7
Ciliophora									
<i>Tintinnidium fluviatile</i>	9 $\pm$ 8	2 $\pm$ 3	20 $\pm$ 18						
<i>Tintinnopsis lacustris</i>	725 $\pm$ 115	2 $\pm$ 3	7 $\pm$ 11	1 $\pm$ 1		7 $\pm$ 8	103 $\pm$ 38	21 $\pm$ 21	2 $\pm$ 3
Ciliophora ukupno	733 $\pm$ 113	3 $\pm$ 3	26 $\pm$ 9	1 $\pm$ 1		7 $\pm$ 8	103 $\pm$ 38	21 $\pm$ 21	2 $\pm$ 3
Rotifera									
<i>Anuaeropsis fissa</i>								1 $\pm$ 3	
<i>Ascomorpha ovalis</i>									183 $\pm$ 60
<i>Asplanchna priodonta</i>	31 $\pm$ 9	14 $\pm$ 11	3 $\pm$ 3					6 $\pm$ 7	134 $\pm$ 71
<i>Brachionus angularis</i>			2 $\pm$ 2					9 $\pm$ 9	
<i>Brachionus calyciflorus</i>	2 $\pm$ 3	3 $\pm$ 3	3 $\pm$ 3				5 $\pm$ 5		
<i>Brachionus falcatus</i>			7 $\pm$ 7	2 $\pm$ 2	5 $\pm$ 4		3 $\pm$ 6		
<i>Cephalodella</i> sp.									15 $\pm$ 26
<i>Euchlanis dilatata</i>									8 $\pm$ 13
<i>Filinia longiseta</i>	5 $\pm$ 5								
<i>Gastropus stylifer</i>	2 $\pm$ 3								6 $\pm$ 10
<i>Keratella cochlearis</i>	3997 $\pm$ 762	7 $\pm$ 8	9 $\pm$ 4	1 $\pm$ 1	1 $\pm$ 2				15 $\pm$ 7
<i>Keratella quadrata</i>	480 $\pm$ 141	3 $\pm$ 6	1 $\pm$ 2				2 $\pm$ 3		6 $\pm$ 10
<i>Keratella tecta</i>					1 $\pm$ 2				
<i>Lecane bulla</i>		5 $\pm$ 5	3 $\pm$ 5						
<i>Lepadella patella</i>			2 $\pm$ 3	1 $\pm$ 1	1 $\pm$ 2	2 $\pm$ 3	2 $\pm$ 3	1 $\pm$ 3	4 $\pm$ 3
<i>Polyarthra</i> spp.	31 $\pm$ 14								36 $\pm$ 23
<i>Pompholyx complanata</i>			2 $\pm$ 2		1 $\pm$ 2			6 $\pm$ 3	8 $\pm$ 7
<i>Synchaeta tremula</i>									8 $\pm$ 13
<i>Testudinella parva</i>					2 $\pm$ 4				
<i>Trihocerca birostris</i>	76 $\pm$ 66	2 $\pm$ 3							8 $\pm$ 13
Rotifera ukupno	4625 $\pm$ 974	35 $\pm$ 12	31 $\pm$ 8	4 $\pm$ 1	12 $\pm$ 5	2 $\pm$ 3	12 $\pm$ 6	23 $\pm$ 13	430 $\pm$ 153
Gastrotricha ukupno									
<i>Kijanebalola</i> sp.					1 $\pm$ 2		3 $\pm$ 6		
Copepoda									
nauplij	109 $\pm$ 60	250 $\pm$ 83	166 $\pm$ 20	3 $\pm$ 4	47 $\pm$ 21	85 $\pm$ 29	382 $\pm$ 48	12 $\pm$ 13	59 $\pm$ 32
koepodit	23 $\pm$ 27	5 $\pm$ 5			18 $\pm$ 13	5 $\pm$ 5	25 $\pm$ 10	3 $\pm$ 5	36 $\pm$ 28
<i>Thermocyclops oithonoides</i>	114 $\pm$ 18	7 $\pm$ 8	7 $\pm$ 49	45 $\pm$ 5	212 $\pm$ 146	66 $\pm$ 30	42 $\pm$ 3	32 $\pm$ 9	25 $\pm$ 12
Copepoda ukupno	246 $\pm$ 87	262 $\pm$ 87	184 $\pm$ 68	48 $\pm$ 9	277 $\pm$ 178	156 $\pm$ 59	448 $\pm$ 60	47 $\pm$ 27	120 $\pm$ 66
Cladocera									
<i>Bosmina longirostris</i>	166 $\pm$ 80	107 $\pm$ 31	24 $\pm$ 18	26 $\pm$ 13	279 $\pm$ 64	1830 $\pm$ 478	202 $\pm$ 38	132 $\pm$ 39	46 $\pm$ 35
<i>Daphnia pulex</i>									2 $\pm$ 3
Cladocera ukupno	166 $\pm$ 80	107 $\pm$ 31	24 $\pm$ 18	26 $\pm$ 13	279 $\pm$ 64	1830 $\pm$ 478	202 $\pm$ 38	132 $\pm$ 39	48 $\pm$ 34
Ukupno	5770 $\pm$ 1191	407 $\pm$ 94	265 $\pm$ 90	78 $\pm$ 20	574 $\pm$ 237	1995 $\pm$ 531	790 $\pm$ 113	232 $\pm$ 46	613 $\pm$ 256

4.3. Brojnost i raznolikost ihtiofaune

Uzorkovanjem ihtiofaune evidentirano je 15 različitih vrsta riba, od čega 11 iz porodice šaranki, 2 iz porodice grgečki i po jedna iz porodice somovi i štuke. Raznolikost se kretala od 7 (Sgb) do 10 vrsta (Sdb) (Slika 10). Srednja vrijednost brojnosti na postajama Sgb i Sdbu iznosila je 19 ± 8 jed/ulovu 15', a na postaji Sdb 23 ± 4 jed/ulovu 15'. Brojnost jedinki na postajama Sgb i Sdbu bila je najveća u rujnu, dok je na postaji Sdb najviše jedinki bilo u srpnju. Šaran (6 ± 2) je dominirao brojnošću na postajama Sgb i Sdbu, a pored njega zabilježena je i veća brojnost zlatnog karasa (4 ± 5) i sunčanice (3 ± 1). Na postaji Sdb najveću brojnost postigla je obična uklija (6 ± 4), a zatim sunčanica (6 ± 5) (Slika 10). Sve evidentirane vrste su u ličinačkom stadiju planktivori, dok prehranu odraslih jedinki čine ličinke, kukci, mekušci i biljne mladice izuzev vrste štuka i grgeč čije su odrasle jedinke isključivo piscivorne. Brojnost riba nije ukazivala na statistički značajne prostorne ni vremenske razlike (Kruskal–Wallis test, $p > 0,05$).



Slika 9 Vremenske promjene brojnosti i raznolikosti ihtiofaune na postajama Sgb, Sdbu i Sdb
 Kratice: Ccap–*Cyprinus carpio* (šaran); CE–*Cobitis elongata* (vijun); CG–*Carassius gibelio*(babuška); RR–*Rutilus rutilus* (bodorka); CCar–*Carassius carassius* (zlatni karas); AA–*Alburnus alburnus* (obična uklija); PP–*Pseudorasbora parva* (bezribica); VV–*Vimba vimba* (nosara); SC–*Squalius cephalus* (klen); SE–*Scardinius erythrophthalmus* (crvenperka); BB–*Blicca bjoerkna* (krupatica); PF–*Perca fluviatilis* (grgeč); LG–*Lepomis gibbosus* (sunčanica); IN–*Ictalurus nebulosus* (patuljasti somić); EL–*Esox lucius* (štuka)

4.4. Uvjetovanost razlika abiotičkih i biotičkih čimbenika u međusobno povezanim jezerima

Tablica 9 prikazuje glavninu statistički značajnih interakcija abiotičkih i biotičkih čimbenika temeljem podataka na svim postajama. Prozirnost bazena i pokrovnost makrofitima korelirali su pozitivno i značajno ($r = 0,59$; $p < 0,05$), a postotak pokrovnosti bazena makrofitima značajno i pozitivno je utjecao na količinu izvora hrane, biomasu fitoplanktona ($r = 0,47$; $p < 0,05$) i masu suspendiranih organskih tvari ($r = 0,58$; $p < 0,05$). Biomasa fitoplanktona pokazala je i pozitivan korelacijski odnos s koncentracijom otopljenih ($r = 0,41$; $p < 0,05$) i suspendiranih ($r = 0,51$; $p < 0,05$) organskih tvari.

Na raznolikost svojti zooplanktona značajno i pozitivno utjecali su prozirnost i postotak pokrovnosti makrofitima ($r = 0,69$; $p < 0,05$), dok je utjecaj navedenih čimbenika na brojnost Cladocera u pelagijalu bio značajano negativan (pokrovnost makrofita:Cladocera $r = -0,52$; $p < 0,05$). Veća prozirnost ukazuje na povećanje brojnosti Rotifera i Copepoda te ukupne brojnosti zooplanktona (Tablica 9).

Raspoloživi izvori hrane značajno i pozitivno su utjecali na skupine Rotifera i Copepoda na što ukazuju njihovi korelacijski odnosi (Tablica 9). Mikrofiltratorski Rotifera, poput vrste *Keratella cochlearis*, bili su u izravnoj kompeticiji za hranu i životni prostor s mikrofiltratorskim Cladocera, na što ukazuje njihov negativan korelacijski odnos (Tablica 9).

U Donjem bazenu, manje prozirnosti, koncentracija suspendiranih organskih tvari pozitivno je utjecala na veću brojnost Cladocera ($r = 0,68$; $p < 0,05$). Planktonski rakovi imali su u ovom bazenu značajan udio u ukupnoj brojnosti zooplanktona, na što ukazuje visoka pozitivana korelacija ($r = 0,72$; $p < 0,05$).

Ihtiofauna je svojom brojnošću negativno utjecala na sve tri skupine zooplanktona (Rotifera, Cladocera, Copepoda), što se odrazilo u statistički značajnim negativnim interakcijama s ukupnom brojnošću zooplanktona i planktonskih rakova te Copepoda (Tablica 9).

Iz rezultata analize Mann Whitney U testa za usporedbu abiotičkih i biotičkih čimbenika između relevantnih postaja Gornjeg (Sgb) i Donjeg (Sdb) bazena proizlazi da su u Donjem bazenu statistički značajno veće bile vrijednosti konduktiviteta ($Z = 2,825$, $p = 0,004$) i ukupnih otopljenih tvari ($Z = 2,914$, $p = 0,003$), dok je prozirnost u Donjem bazenu bila manja ($Z = -1,90$, $p < 0,05$). Raznolikost svojti ($Z = -2,163$, $p = 0,03$), brojnost makrofiltratorskih ($Z = -2,12$, $p = 0,034$) i mikrofiltratorskih ($Z = -3,57$, $p = 0,0004$) Rotifera

te njihovih predstavnika s mnogobrojnim populacijama, *Keratella cochlearis*, *Filinia longiseta*, roda *Polyarthra*, bile su statistički značajno veće u Gornjem u odnosu na Donji bazen.

Tablica 9 Statistički značajne vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije ($p < 0,05$, $n = 41$) abiotičkih i biotičkih interakcija na istraživanim postajama

	Prozirnost	Biomasa fitoplanktona	POM	Cladocera	Copepoda	Brojnost riba
	r					
Prozirnost	-	ns	ns	-0,46	0,46	ns
Biomasa fitoplanktona	ns	-	0,51	ns	0,48	ns
POM	ns	0,51	-	ns	0,41	ns
Brojnost svojti	0,32	0,50	0,63	-0,54	0,37	ns
Brojnost zooplanktona	0,44	0,55	0,62	ns	0,66	-0,38
Rotifera	0,55	0,49	0,55	-0,52	0,41	ns
<i>Keratella cochlearis</i>	0,60	0,40	0,47	-0,49	0,38	ns
<i>Trihocerca birostris</i>	0,57	0,48	0,62	-0,48	0,41	ns
Crustacea	ns	ns	0,32	0,34	0,78	-0,50
Cladocera	-0,46	ns	ns	-	ns	ns
Copepoda	0,46	0,48	0,41	ns	-	-0,43
Rotifera mikrofiltratori	ns	ns	ns	-0,44	0,44	ns
Rotifera makrofiltratori	ns	ns	ns	-0,53	ns	ns

5. RASPRAVA

Struktura zooplanktona istraživana je u dva međusobno povezana bazena rukavca rijeke Sutle, Gornjem bazenu pokrivenom gustim sastojinama submerzne voščike (*Ceratophyllum demersum*) i Donjem bazenu bez makrofitskih sastojina.

Veća prozirnost u Gornjem bazenu objašnjavam prisutnošću submerznih makrofitskih sastojina koje sprečavaju resuspenziju sedimenta i smanjuju koncentraciju hranjivih tvari potrebnih za produkciju fitoplanktona koji može uvelike utjecati na smanjenje prozirnosti vode (Horppila i Nurminen 2005, Špoljar 2013). Nurminen i suradnici (2007) i Estlander i suradnici (2009) navode da je biomasa fitoplanktona glavni uzrok mutnoće jezera, ali u ovom istraživanju Gornji bazen koji je imao veću koncentraciju klorofila *a*, imao je i veću prozirnost. U uvjetima kada zajednicu zooplanktona čine organizmi koji se hrane suspendiranim organskim tvarima, biomasa fitoplanktona može biti značajna i u uvjetima izražene prozirnosti, što objašnjava rezultate ovog rada (Jeppesen i sur 1999). Mutnoća Donjeg bazena usko je povezana sa suspendiranim tvarima koje se uglavnom sastoje od detritusa i anorganskih suspendiranih tvari. U uvjetima slabe prozirnosti, koji su prevladavali u Donjem bazenu, svjetlost, kao jedan od najvažnijih abiotičkih čimbenika odgovornih za pokrovnost dna makrofitima, nije prodirala do dna te je rast i razvoj submerznih makrofita bio onemogućen (Søndergaard i sur. 2007, Feldmann i Nöges 2007). U Donjem bazenu izražena je veća brojnost bentonskih vrsta riba, poput vijuna, koji se hrani makrozoobentoskim vrstama (Mičetić i sur. 2008). Njegov način života uzrokuje resuspenziju sedimenta i onemogućava zakorjenjivanje makrofita te smatram da je bioturbacija od strane bentoskih riba pridonijela povećanju mutnoće u Donjem bazenu.

Značajan porast temperature vode od proljetnog prema ljetnom te pad od ljetnog prema jesenskom razdoblju istraživanja bio je u inverznom odnosu s koncentracijom otopljenog kisika što je u skladu s topljivošću plinova kod viših odnosno nižih temperatura i potvrđeno u dosadašnjim istraživanjima (Castro i sur. 2005, Špoljar i sur. 2011). Pretpostavljam, da su povišene vrijednosti temperature i smanjenjene koncentracije kisika krajem lipnja, dovele su do statistički značajnog smanjenja pH kao čestu pojavu u eutrofnim jezerima (Špoljar i sur. 2012).

Vrijednosti konduktiviteta bile su veće u Donjem bazenu s povećanom mutnoćom u odnosu na prozirniji, Gornji bazen. U plitkim jezerima, bez makrofita, povećana je interakcija sedimenta i vode, odnosno resuspenzija sedimenta, posebno uslijed djelovanja vjetra kojom se u stupac vode oslobađaju ioni iz sedimenta i time povećavaju konduktivitet. Slične razlike u konduktivitetu između jezera različitih s obzirom na stupanj prozirnosti zabilježili su u svojim istraživanjima plitkih jezera u Belgiji Van der Gucht i suradnici (2005) te Vanormelingen i suradnici (2008). Pretpostavljam da su većim vrijednostima konduktiviteta doprinijele veće koncentracije ukupnih otopljenih tvari (TDS), kojoj su najviše pridonijeli koncentracije nitrita i amonijaka, a rezultirale su pozitivnim i statistički značajnim korelacijskim odnosom navedenih čimbenika i konduktiviteta.

U ovom radu kao dva glavna izvora hrane zooplanktonu razmatrani su fitoplankton i suspendirane čestice detritusa. Povećana primarna produkcija u ljetnom razdoblju istraživanja, na koju ukazuju visoke koncentracije klorofila *a*, dovela je do visokih koncentracija suspendiranih i otopljenih organskih tvari (Virro i sur. 2009, Špoljar i sur. 2011). Paralelno s visokim koncentracijama suspendiranih i otopljenih organskih tvari koncentracija otopljenog kisika bila je niska što je pokazatelj povećane sekundarne produkcije, ali i mikrobne razgradnje (Kuczyńska–Kippen 2003).

U Gornjem bazenu sa submerznom vegetacijom, utvrđene su veće vrijednosti prozirnosti što je u skladu s rezultatima ostalih istraživanja (Horpilla i Nurimen 2005, Estlander i sur. 2009). Veću brojnost i raznolikost u Gornjem bazenu objašnjavam prisutnošću makrofita u litoralnoj zoni gdje mnogi zooplanktonski organizmi pronalaze sklonište, ali i izvore hrane, a slični rezultati zabilježeni su i u drugim istraživanjima s prisutnošću makrofitskih sastojina (Jeppesen i sur. 1999, Estlander i sur. 2009). U površinskom sloju pelagija Gornjeg bazena zajednica zooplanktona bila je predstavljena uglavnom mikrofiltratorskim, detritivornim vrstama Rotifera (*Keratella cochlearis*, *Keratella quadrata*, *Anuropsis fissa*, *Filinia longiseta*) koji zbog male veličine tijela, ali i različitih zaštitnih mehanizama (lorika, tjelesni nastavci) nisu pod izravnim predacijskim pritiskom odraslih planktivornih riba te im je omogućen razvoj mnogobrojnih populacija (Stemberger i Gilbert 1984, Špoljar i sur. 2011). Uz smanjeni intenzitet kompeticije od strane mikrofiltratorskih Cladocera, predstavnici ove trofičke skupine Rotifera nalazili su na površini pelagijala optimalne uvjete za život (Lapesa i sur. 2002, Kuczyńska–Kippen 2007). Rezultati ovog rada ukazuju da su Cladocera, Copepoda i veći Rotifera (npr. *Asplanchna priodonta*) migrirali u pridneni vertikalni sloj pelagijala gdje su našli zaklon od vizualnih predatora. Intenzitet

migracija bio je izraženiji kod Cladocera, što je vidljivo iz njihove veće brojnosti u pridnenom u odnosu na površinski sloj bazena. Oni su zbog slabije pokretljivosti od Copepoda pod izraženijim predacijskim pritiskom riba (Estlander i sur. 2009). Ovaj rezultat u skladu je s istraživanjima koje su proveli Castro i suradnici (2007) kada su utvrdili intezivnije vertikalne i horizontalne migracije planktonskih rakova u jezeru Vela u unutrašnjosti Potugala. Iako u ovom istraživanju nisu bile obuhvaćene horizontalne migracije zooplanktona radovi mnogih autora navode važnost litoralne zone kao zone bijega (Kuczyńska-Kippen i Nagengast 2006, Kuczyńska-Kippen 2007, Estlander i sur. 2009). Stoga pretpostavljam, da su neki predstavnici zooplanktona migrirali i horizontalno što je dovelo do statistički neznčajnih razlika u brojnosti zooplanktona na površini i u vertikalnom pridnenom sloju. Negativnu korelaciju između prozirnosti i brojnosti Cladocera objašnjavam njihovim bijegom u litoral ili pridneni sloj vode. Veći Cladocera, u ovom istraživanju nisu zabilježeni u pelagijalu Gornjeg bazena što se podudara s tezom veličinske efikasnosti, jer ribe najprije napadaju veći, a zatim manji plijen (Estlander i sur. 2009).

U Donjem bazenu, bez makrofita, mutnoća je bila značajan čimbenik u strukturiranju zooplanktona. Zbog smanjene prozirnosti predacijski pritisak vizualnih predatora bio je slabije izražen u odnosu na Gornjibazen. Stoga su u sastavu zooplanktona prevladavali manji planktonski Cladocera što je dovelo do njihove značajno veće brojnosti u odnosu na Gornji bazen. Pretpostavljam da je na smanjenje brojnosti Copepoda negativno utjecala predacija odraslih jedinki grgeča koji su prema dosadašnjim istraživanjima efikasniji u hvatanju Copepoda od drugih vrsta planktivornih riba (Horpilla i sur. 2000, Nurimen i sur. 2009). U pelagijalu veću brojnost mikrofiltratorskih Cladocera (*Bosmina longirostris*) objašnjavam prvo, zbog smanjene prozirnosti nisu bili lak plijen ribama i drugo, zbog povoljnih izvora hrane većom biomasom i potisnuli su mikrofiltratorske Rotifera i dominirali pelagijalom Donjeg bazena. *Bosmina longirostris* je kompetitivno dominantnija u odnosu na mikrofiltratorske Rotifera zbog veće stope filtriranja hrane iz vode i konzumacije hrane šireg spektra te u uvjetima gdje nije pod predacijskim pritiskom riba njena dominacija dolazi do izražaja (Miracle i sur. 2007, Špoljar i sur. 2011)

Rezultati istraživanja koja su proveli Castro i suradnici (2005) i Miracle i suradnici (2007) ukazuju da viši stupanj trofije, manja prozirnost te izostanak submerzne vegetacije mogu rezultirati manjom brojnošću i raznolikošću zooplanktona, što je u skladu s rezultatima ovog istraživanja. Makrofitske sastojine osim što predstavljaju mikrostaništa u kojima zooplanktonske vrste pronalaze utočište podloga su za naseljavanje epifitona koji je hrana

zooplanktonu (Duggan 2001). Stoga smatram da su manja brojnost i raznolikost zooplanktona u Donjem bazenu posljedica izostanka makrofitskih sastojina u litoralnoj zoni, što prati manja raznolikost staništa i manja količina hrane (Špoljar i sur. 2011). Neka istraživanja ukazuju pak da se s povećanjem trofije povećava brojnost posebno nekih detritovornih vrsta kao što je utvrdili May i O'Hare (2005) u jezeru s različitim gradijentom trofije, a također je u skladu s ovim istraživanjem, gdje je u bazenu većeg stupnja trofije bila manja raznolikost i dominacija detritivora.

Iako su istraživani bazeni bili povezani rezultati istraživanja ukazali su na vrlo različitu strukturu zooplanktona uzrokovanu djelovanjem biotičkih (predacijski pritisak riba, razvijenost sastojina makrofita) i abiotičkih čimbenika (mutnoća, koncentracija hranjivih tvari, konduktivitet), a slične rezultate iznose i drugi znanstvenici (Cottenie i sur. 2001, Vanormelingen i sur. 2008). Sastav zajednice zooplanktona, kao i ostali biotički i abiotički uvjeti u skladu su s teorijom alternativnih stabilnih stanja. Jezera u stanju prozirne i mutne vode vrlo često se pojavljuju zajedno u sustavima povezanih jezera što potvrđuju i rezultati ovog istraživanja.

6. ZAKLJUČAK

U istraživanjima provedenim od svibnja do listopada u Gornjem i Donjem bazenu rukavca Sutle analizirani su fizičko–kemijski čimbenici i promjene brojnosti i raznolikosti zooplanktona. Na temelju dobivenih rezultata mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Oscilacije mutnoće, prozirnosti, konduktiviteta, TDS–a i izvora hrane (koncentracija klorofila a, POM) bile su statistički značajne između Gornjeg i Donjeg bazena.
- Brojnost i raznolikost zooplanktona bila je veća u Gornjem bazenu, veće prozirnosti i sa razvijenim sastojinama makrofita, a najveći udio u brojnosti i raznolikosti postigli su Rotifera. Od njih su bili prisutni mikrofiltratori , i makrofiltratorski koji zbog male veličine, prozirnosti tijela i lorike nisu bili adekvatan plijen ribama.
- Planktonski rakovi (Crustacea), rašljoticalci (Cladocera) i veslonošci (Copeoda) u uvjetima povećane prozirnosti pod predacijskim pritiskom vizualnih predatora u potrazi za zaklonom migriraju u vertikalni pridneni sloj pelagijala što ukazuje na značaj dubljih slojeva plitkih jezera kao zone bijega zooplanktona pred vizualnim predatorima.
- U uvjetima smanjene prozirnosti i bez makrofita u stukturiranju zooplanktona veći udio imali su mikrofiltratorski Cladocera koji pod smanjenjem predacijskim pritiskom zauzimaju ekološku nišu mikrofiltratorskih Rotifera.
- Rezultati ovog rada ukazuju na značajne razlike brojnosti i raznolikosti zooplanktona u pelagijalu međusobno povezanih plitkih jezera kao rezultat različitosti mikrostaništa u litoralnoj zoni (prisutnost ili odsutnost sastojina makrofita) i predacije riba.
- Struktura zajednice zooplanktona u međusobno povezanim plitkim jezerima znatno se razlikovala, a rezultat je različitosti interakcija prvenstveno biotičkih čimbenika i u skladu je s teorijom alternativnih stabilnih stanja.

7. LITERATURA

Akasaka M., Takamura N. (2011): The relative importance of dispersal and the local environment for species richness in two aquatic plant growth forms. *Oikos* 120: 38 – 46.

Akopian M., Garnier J., Pourriot R. (1999): A large reservoir as a source of zooplankton for the river: structure of the populations and influence of fish predation. *Journal of Plankton Research* 21: 285 – 297

Amoros C. (1984): Crustaces cladoceres, *Bulletin Mensuel de la Société Linnéenne de Lyon*. Lyon, 3/4:1 – 63.

APHA (1995): Standard methods for the examination of water and wastewater 16th. Ed. Amer.Pub. Health Assoc. New York. pp. 1268.

Beklioglu M., Ince O., Tuzun I. (2003): Restoration of the eutrophic lake Eymir, Turkey, by biomanipulation after a major external nutrient control I. *Hydrobiologia* 490: 93 – 105.

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

Castro B. B., Antunes S.C., Pereira R., Soares A.M.V.M., Gonçalves F. (2005): Rotifer community structure in three shallow lakes: seasonal fluctuations and explanatory factors. *Hydrobiologia* 543: 221 – 232.

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

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

Céréghino R., Biggs J., Oertli B., Declerck S. (2008): The ecology of European ponds: defining the characteristics of a neglected freshwater habitat. *Hydrobiologia* 597:1 – 6.

Cottenie K., Nuytten N., Michels E., Meester De L. (2001): Zooplankton community structure and environmental conditions in a set of interconnected ponds. *Hydrobiologia* 442: 339 – 350.

- Duggan I. C. (2001): The ecology of periphytic rotifers. *Hydrobiologia* 446/447: 139 – 148.
- Einsle U. (1993): Crustacea, Copepoda, Calanoida und Cyclopoida. Gustav Fischer Verlag, Berlin.
- Erben R (1991): Vertical distribution of the rotifer fauna and its seasonal changes in the Plitvice Lakes, Croatia-Yugoslavia. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 24: 1066 – 1068.
- Estlander S., Nurminen S. L., Olin M., Vinni M., Horppila J. (2009): Seasonal fluctuations in macrophyte cover and water transparency of four brown-water lakes: implications for crustacean zooplankton in littoral and pelagic habitats. *Hydrobiologia* 620: 109 – 120.
- Feldmann T., Nöges P. (2007): Factors controlling macrophyte distribution in large shallow Lake Vörtsjärv. *Aquatic Botany* 87: 15 – 21.
- Frisch D. i Green J. A. (2007): Copepods come in first: rapid colonization of new temporary ponds. *Fundamental and Applied Limnology – Archiv für Hydrobiologie* 168/4: 289 – 297.
- Gilbert J. J. (1988): Suppression of rotifers populations by *Daphnia*: a review of the evidence, the mechanisms, and the effects on zooplankton community structure. *Limnology and Oceanography* 133: 1286 – 1303.
- Gliwicz Z.M., Rutkowska A.E., Wojciechowska J. (2000): *Daphnia* populations in three interconnected lakes with roach as the principal planktivore. *Journal of Plankton Research* 22 (8): 1539 – 1557.
- Horppila J., Ruuhijärvi M. Rask, Karppinen C., Nyberg K., Olin M. (2000): Seasonal changes in the diets and relative abundance of perch and roach – a comparison between littoral and pelagic zones of a large lake. *Journal of Fish Biology* 56: 51 – 72.
- Horppila J., L. Nurminen L. (2005): Effects of different macrophyte growth forms on sediment and P resuspension ia a shallow lake. *Hydrobiologia* 545: 167 – 175.
- Höll K. (1986): Wasser Untersuchung, Beurteilung, Aufbereitung, Chemie, Bakteriologie, Virologie, Biologie (7th edition). Walter de Gruyter Verlag, Berlin.
- Hupfer M. i Hilt S. (2008): Lake Restoration. U: S. E. Jørgensen i B. D. Fath (ur.) *Ecological Engineering Vol (3) of Encyclopedia of Ecology (5 vols)*: 2080 – 2093.

Jenkins D. G. i Underwood M. O. (1998): Zooplankton may not disperse readily in wind, rain or waterfowl. *Hydrobiologia* 387/388: 15 – 21.

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., Christofsen K., Theil-Nielsen J. i Jürgens K. (2002): Cascading trophic interactions in the littoral zone: an enclosure experiment in shallow Lake Stigsolm, Denmark. *Archiv für Hydrobiologie* 153: 533 – 555.

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

Kruk C, Rodríguez-Gallego L., Meerhoff M. , Quintans F., Lacerot G., Mazzeo N., Scasso F., Paggi J.C., Peeters T. H. M. E., Scheffer M. (2009): Determinants of biodiversity in subtropical shallow lakes (Atlantic coast, Uruguay). *Freshwater Biology* 54: 2628 – 2641.

Kuczynska-Kippen N. (2003): The distribution of rotifers (Rotifera) within a single *Myriophyllum* bed. *Hydrobiologia* 506-509: 327 – 331.

Kuczyńska-Kippen N. M. i 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.

Kuczynska-Kippen N. (2007): Habitat choice in rotifera communities of three shallow lakes: impact of macrophyte substratum and season. *Hydrobiologia* 593: 27 – 37.

Lapesa S., Snell T.W., Fields D.M., Serra M. (2002): Predatory interactions between a cyclopoid copepod and three sibling rotifer species. *Freshwater Biology* 47: 1685 – 1695.

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

May L. i O'Hare M (2005): Changes in rotifer species composition and abundance along a trophic gradient in Loch Lomond, Scotland, UK. *Hydrobiologia* 546: 397 – 404.

- 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.
- Michels E., Cottenie K., Neys L., Meester De L. (2001): Zooplankton on the move: first results on the quantification of dispersal of zooplankton in a set of interconnected ponds. *Hydrobiologia* 442: 117 – 126.
- Mičetić V., Bučar M., Ivković M., Piria M., Krulik I., Mihoci I., Delić A., Kučinić M. (2008): Feeding ecology of *Sabanejewia balcanica* and *Cobitis elongata* in Croatia. *Folia Zoologica* 57 (1–2): 181– 190
- Miracle M. R., Alfonso M. T., Vicente E. (2007): Fish and nutrient enrichment effects in a Mediterranean shallow lake: a mesocosm experiment. *Hydrobiologia* 593: 77 – 94
- Moss M., Madgwick J., Phillips G. (1997): A guide to the restoration of nutrient–enriched shallow lakes. 2nd Ed. W. W. Hawes, UK.
- Nurminen L., Horppila J., Pekcan-Hekim Z (2007): Effect of light and predator abundance on the habitat choice of plant-attached zooplankton. *Freshwater Biology* 52: 539 – 548.
- Peretyatko A., Teissier S., Backer De S., Triest L. (2009): Restoration potential of biomanipulation for eutrophic peri-urban ponds: the role of zooplankton size and submerged macrophyte cover. *Hydrobiologia* 634: 125 – 135.
- Rundle S.D., Robertson A.L., Schmid-Araya J.M. (2002): *Freshwater Meiofauna: Biology and Ecology*. Backhuys Publishers, Leiden.
- Sandlund O. T. (1982): The drift of zooplankton and microzoobenthos in the river Strandaelva, western Norway. *Hydrobiologia* 94: 33 – 48
- 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.
- Søndergaard M., Jeppesen E., Lauridsen T.L., Skov C., Van Nes E.H., Roijackers R., Lammens E., Portielje R. (2007): Lake restoration: successes, failures and longterm effects. *Journal of Applied Ecology* 44: 1095 – 1105.

Stemberger R. S., Gilbert J. J. (1984): Spine development in the *Keratella cochlearis*: induction by cyclopoid copepods and *Asplanchna*. *Freshwater Biology* 14: 639 – 647

Sterble H, Krauter D. (1973): *Das leben im Wassertropfen*. Kosmos. Stuttgart.

Šimunić A., Hećimović I. (2006): *Geološke osobitosti Hrvatskog Zagorja*. Muzeji Hrvatskog Zagorja, Krapina.

Špoljar M.; Habdija I.; Primc-Habdija B. (2007): The Influence of the Lotic and Lentic Stretches on the Zooston Flux through the Plitvice Lakes (Croatia). *Annales de Limnologie* 43 (1): 29 – 40

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. (2012): 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. (2013): Microaquatic communities as indicator of environmental changes in lake ecosystems. *Journal of Engineering Research* 1: 29 – 42.

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.

Vanormelingen P., Cottenie K., Michels E., Muylaert 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.

Virro T., Haberman J., Haldna M. i Blank K. (2009): Diversity and structure of the winter rotifer assemblage in a shallow eutrophic northern temperate Lake Võrtsjärv. *Aquatic Ecology* 43 :755 – 764.

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

ŽIVOTOPIS

Osobni podaci

Ime	Helena Štulec
Datum i mjesto rođenja	18.10.1990., Zagreb
Adresa prebivališta	Selnica Psarjevačka 3K, 10380 Sveti Ivan Zelina, Hrvatska
Mobitel	+385917361159
e-mail	helena.stulec@gmail.com
Spol	Ž

Obrazovanje

1997 – 2005	Osnovna škola Dragutina Domjanića, Sveti Ivan Zelina
2005 – 2009	Srednja škola Dragutina Stražimira, Sveti Ivan Zelina, opća gimnazija
2009 – 2012	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno Matematički Fakultet – PMF Sveučilišni prvostupnik znanosti o okolišu – bacc.univ.oecol
2012 – 2015	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno Matematički Fakultet – PMF apsolvent diplomskog studija Znanosti o okolišu

Znanstvena sudjelovanja, stručna edukacija

3/2011; 3/2012; 4/2013; 5/2014	Noć biologije, PMF, Zagreb
2/2012–6/2012	Laboratorijska stručna praksa, Botanički zavod– Laboratorij za slatkovodnu algologiju, PMF, Zagreb
9/2013	Ana Bielen, Sandra Hudina, Saša Likić, Tomislav Vladušić, Nikolina Kuharić, Helena Štulec, Ivan Andreas Stančik, Ivana Bošnjak. Characterization of the multixenobiotic resistance mechanism (MXR) efflux activity in different tissues of crayfish <i>Pacifastacus leniusculus</i> . CrayCro-regional European crayfish meeting Book of abstracts / Maguire et al. Rovinj, 2013.
6/2014	Radionica Vodeni mikrosafari, PMF, Zagreb
3/2014–6/2014	Demonstrator; kolegij Osnove biologije, PMF, Zagreb
10/2014–1/2015	Demonstrator; kolegij Primjenjena limnologija, PMF, Zagreb

Ostalo

- 2010. na temelju pravilnika o program sposobljavanja i usavršavanja vatrogasnih kadrova stečeno zvanje vatrogasac

- 2012. terenska edukacija stanovništva Grada Sv. Ivana Zeline o razvrstavanju otpada u sklopu projekta komunalnog društva Zelkom i Zagrebačke županije
- Iskustvo rada na mikroskopu Carl Zeiss Jena i ArcInfo GIS softveru
- Engleski jezik – aktivno korištenje u govoru i pismu
- Njemački: pasivno u govoru i pismu