

# Dinamika populacija Copepoda (Crustacea) u planktonu jezera Visovac

---

Šargač, Zoran

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:726912>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Zoran Šargač

**Dinamika populacija Copepoda (Crustacea) u planktonu jezera Visovac**

Diplomski rad

Zagreb, 2017.



Ovaj diplomski rad izrađen je u Laboratoriju za ekologiju životinja na Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom prof. dr. sc. Ivančice Ternjej. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u svrhu stjecanja zvanja magistar eksperimentalne biologije.



*Veliko hvala mentorici prof. dr. sc. Ivančici Ternjej na uloženom vremenu, podršci te korisnim savjetima koji su me vodili tijekom izrade ovog diplomskog rada.*

*Hvala mojim roditeljima koji su vjerovali u mene i pružili mi podršku tijekom cijelog ovog studija i izrade diplomskog rada, te sestrama koje su uvijek bile tu kada je bilo potrebno.*

*Također hvala svim mojim prijateljima, koji su ovaj studij učinili najljepšim razdobljem mojeg života, što vjeruju u mene i pružaju mi potporu.*

*Najviše hvala Jasmini, zbog koje sam zavolio i odabrao biologiju, i koja mi je bila, te još uvijek je, najveća podrška u studiju i životu.*



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Diplomski rad

## **Dinamika populacija Copepoda (Crustacea) u planktonu jezera Visovac**

Zoran Šargač

Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb, Hrvatska

Istraživanje zooplanktona jezera Visovac provedeno je u razdoblju od travnja do rujna 2016. godine. Utvrđeno je 9 vrsta slatkovodnog zooplanktona: 4 iz skupine Copepoda (3 iz Cyclopoida i 1 iz Calanoida), te 5 iz skupine Cladocera. Brojnost i biomasa zooplanktona ovise o sezoni, fizikalno-kemijskim parametrima i dubini jezera. Maksimalna brojnost zooplanktona zabilježena je u travnju (2735 nauplija/10 L), dok je najveća biomasa zabilježena u rujnu (6688,7  $\mu\text{g}/10\text{ L}$ ). Skupina Copepoda prevladavala je brojnošću i biomasom tijekom svih istraživanih mjeseci, osim u lipnju kada brojnošću i biomasom dominirala skupina Cladocera. Unutar skupine Copepoda, očita je dominacija Calanoida, dok vrsta *Eudiaptomus hadzici* prevladava u uzorcima. Velika brojnost kopepoditnih stadija 1, 2 i 3 iz skupine Calanoida upućuje na to da postoje 2 godišnje generacije potomaka. Povećan broj ženki u odnosu na mužjake kod *Eudiaptomus hadzici* ukazuje na povećanu trofiju jezera

(45 stranica, 24 slike, 4 tablice, 52 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: zooplankton, Visovačko jezero, veslonošci

Voditelj: Prof. dr. sc. Ivančica Ternjej

Ocjenjivači: Prof. dr. sc. Ivančica Ternjej

Doc. dr. sc. Duje Lisičić

Doc. dr. sc. Ivan Radosavljević

Zamjena: Prof. dr. sc. Ivana Maguire

Rad prihvaćen: 13.9.2017.





## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Graduation thesis

### **Copepod (Crustacea) dynamics in a plankton of the Visovac lake**

Zoran Šargač

Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb, Croatia

Research on zooplankton of the Visovac lake was conducted from April to September 2016. Nine species of freshwater zooplankton were determined: 4 Copepoda species (3 Cyclopoida and 1 Calanoida), and 5 Cladocera species. Abundance and biomass of the zooplankton depended on season, physical-chemical parameters and depth of the lake. Maximum zooplankton abundance was documented in April (2735 nauplius/10 L), while maximum biomass was documented in September (6688,7 µg/10 L). Copepods prevail in biomass and abundance during all months, with exception in June when Cladocera overcome. In Copepoda group, there is obvious dominance of Calanoida, whereas species *Eudiaptomus hadzici* prevails in samples. High amount of copepodite instars 1, 2 and 3 from Calanoida group indicates 2 annual offspring generations. Increased number of females in relation to males in species *Eudiaptomus hadzici* indicates increased trophic level of the lake.

(45 pages, 24 pictures, 4 tables, 52 references, original in: Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library.

Key words: zooplankton, Visovac lake, copepods

Supervisor: Prof. dr. sc. Ivančica Ternjej

Reviewers: Prof. dr. sc. Ivančica Ternjej

Doc. dr. sc. Duje Lisičić

Doc. dr. sc. Ivan Radosavljević

Replacement: Prof. dr. sc. Ivana Maguire

Thesis accepted: 13.9.2017.



# SADRŽAJ

---

<b>1. UVOD</b> .....	1
1.1. Slatkovodni ekosustavi.....	1
1.2. Jezera.....	1
1.2.1. Fizikalno-kemijski parametri u jezeru .....	2
1.3. Plankton.....	5
1.3.1. Copepoda (Veslonošci).....	7
1.4. Dijapauza.....	10
1.5. Dinamika organizama u jezera .....	11
1.6. Cilj istraživanja .....	13
<b>2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA</b> .....	14
2.1. Visovačko jezero .....	14
<b>3. MATERIJALI I METODE</b> .....	16
3.1. Uzorkovanje planktona i mjerenje fizikalno-kemijskih parametara na terenu.....	16
3.2. Analiza planktona.....	17
<b>4. REZULTATI</b> .....	18
4.1. Fizikalno-kemijski parametri .....	18
4.1.1. Temperatura vode .....	18
4.1.2. Količina otopljenog kisika .....	19
4.1.3. Ostali parametri.....	20
4.2. Dinamika i sastav zooplanktona.....	22
4.2.1. Brojnost zooplanktona .....	23
4.2.2. Biomasa zooplanktona .....	28
4.2.3. Dinamika Copepoda s obzirom na parametre okoliša .....	33
<b>5. RASPRAVA</b> .....	37
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	41
<b>7. LITERATURA</b> .....	43



# 1. UVOD

## 1.1. Slatkovodni ekosustavi

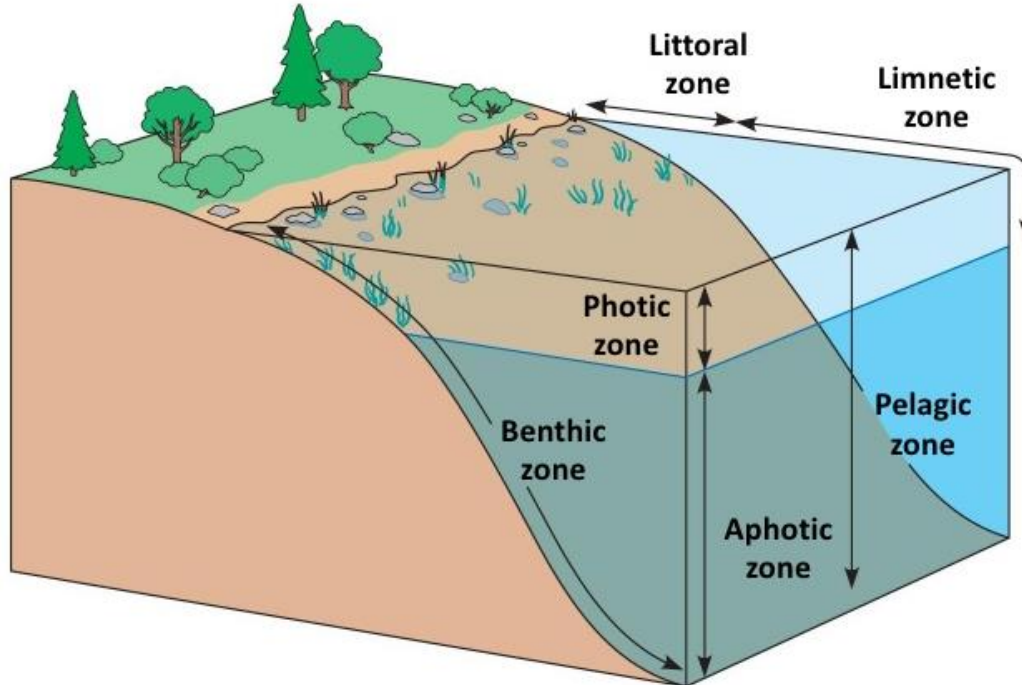
Voda prekriva čak 71% našeg planeta. Međutim, 97% otpada na slanu vodu, 2% zauzimaju ledene mase na Južnom i Sjevernom polu, a tek manje od 1% pripada slatkoj tekućoj vodi (Oelkers i sur. 2011). Tri su pojavna oblika tekuće slatke vode: kao vodonosnici, površinska voda (tekućice i stajaćice), te atmosferska voda. Slatkovodne ekosustave karakterizira vrlo niska koncentracija soli, manje od 1%. Iako zauzimaju vrlo mali postotak površine Zemlje, slatkovodni ekosustavi vrlo su važne točke bioraznolikosti te je procijenjeno da preko 126 000 vrsta organizama ovisi o slatkovodnim ekosustavima (IUCN 2017), od čega su mnoge vrste ugrožene. Pad bioraznolikosti je mnogo veći u slatkovodnim ekosustavima, nego u terestričkim ekosustavima (Sala i sur. 2000).

Slatkovodni, tj. kopneni ekosustavi vremenski su i prostorno odvojeni od mora i oceana. To su međusobno izolirani sustavi koje možemo podijeliti na lentičke i lotičke. Lotičke sustave karakterizira voda koja teče, te ovdje pripadaju tekućice poput rijeka, izvora i potoka, dok su lentički sustavi vode stajaćice poput jezera, bara, močvara, lokvi.

## 1.2. Jezera

Jezero je depresija na kopnu ispunjena vodom. Jezera se opskrbljuju vodom najvećim dijelom iz oborina, površinskim tokovima koji se ulijevaju u jezero, te podzemnom vodom. Mogu nastati prirodnim ili antropogenim utjecajem te su to uglavnom zatvoreni sustavi koji nemaju protok vode. Zbog nedostatka ili slabog protoka vode, jezero se stratificira na temelju temperature, kisika te organizama koji žive u njemu. U jezerima razlikujemo, s obzirom na prodor svjetla i produkciju, 2 vertikalna sloja: osvjetljenu trofogeničku (eufotičku) zonu u kojoj se stvara organska materija i proizvodi kisik, te trofolitičku neosvijetljenu (afotičku) zonu gdje se organska materija razlaže i troši se kisik. Horizontalno, u jezerima razlikujemo 3 zone: obalnu (litoralnu) zonu, zonu slobodne vode (pelagijal) i bentičku zonu ili zonu dna jezera (bental) (Slika 1.1.). Jezera se također mogu podijeliti i prema intenzitetu organske produkcije, tj. trofiji. Tako razlikujemo oligotrofna jezera s malom produkcijom, mezotrofna jezera sa srednjom produkcijom i eutrofna jezera s velikom organskom produkcijom. Eutrofikacija jezera je prirodan proces povećanja količine organskih nutrijenata (poput fosfora

i nitrata) i anorganskih čestica. Pod utjecajem veće količine nutrijenata, dolazi do ubrzanog rasta algi. Ovisno o stupnju eutrofikacije, mogu se razviti ozbiljne posljedice za jezero, koje uzrokuju smanjenje kakvoće vode.



**Slika 1.1.** Biotička stratifikacija jezera

Izvor: [www.slideshare.net/robswatski/biol-101-chp-52-introduction-to-ecology-the-biosphere](http://www.slideshare.net/robswatski/biol-101-chp-52-introduction-to-ecology-the-biosphere),

Oznake: Littoral zone-obalna zona; Limnetic zone-zona otvorene vode; Benthic zone-bentička zona; Pelagic zone-zona slobodne vode; Photic zone-eufotička zona; Aphotic zone-afotička zona)

### 1.2.1. Fizikalno-kemijski parametri u jezeru

Svi živi organizmi u interakciji su sa živim i neživim okolišem. Organizmi su pod utjecajem abiotičkih (fizikalnih i kemijskih) i biotičkih (aktivnosti drugih organizama) čimbenika. Pod utjecajem dugogodišnjih i kratkotrajnih klimatskih promjena, fizički, kemijski i biološki čimbenici u okolišu stalno se mijenjaju. Neki od najvažnijih parametara kakvoće vode su količina otopljenog kisika, temperatura vode, pH vrijednost, konduktivitet, koncentracija vezanog ugljikovog dioksida, prozirnost vode te količina klorofila *a* i nutrijenata poput fosfata i nitrata. Zbog konstantnih promjena ovih parametara u okolišu, npr. više puta u godini, također i u životnom ciklusu vrste, organizmi imaju različiti raspon tolerancije na različite čimbenike okoliša (Hutchinson 1958), te zauzimaju različite niše u

ekosustavu. Svaki organizam morao je razviti prilagodbe na uvjete u kojima živi, a te adaptacije rezultat su evolucije, čija pokretačka sila je prirodna selekcija (Darwin 1859).

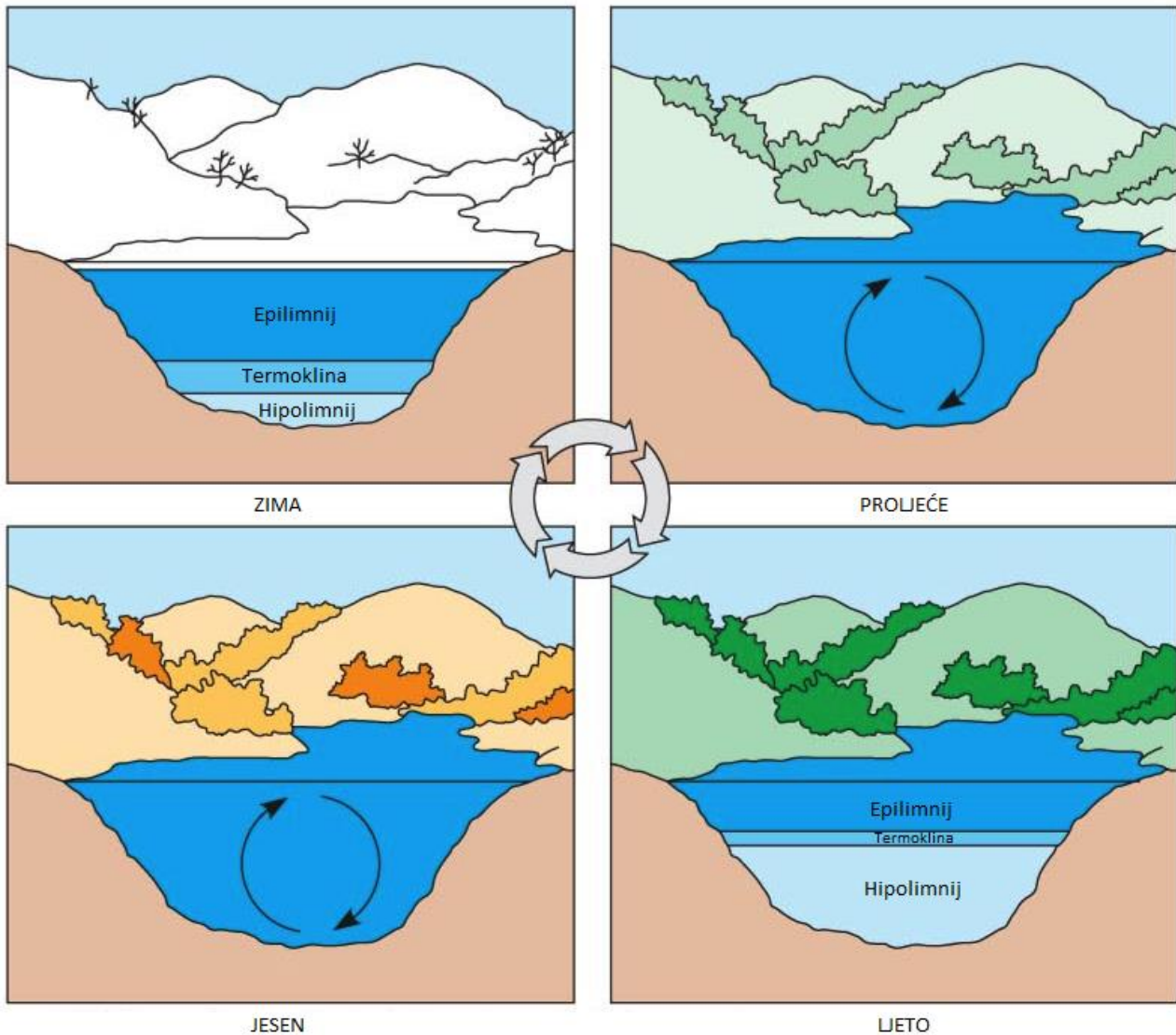
Temperatura je vrlo važan pokazatelj stanja vode. Ona utječe na mnoga fizikalna i kemijska svojstva vode poput: količine otopljenog kisika, konduktivitet, pH, gustoću vode itd. Također utječe i na metaboličke procese i biološke aktivnosti vodenih organizama. Neki vodeni organizmi ne mogu podnijeti visoke temperature preko ljeta pa odlaze u dublje dijelove jezera, ukoliko ima dovoljno kisika. Zbog specifičnosti vode, temperature se sporije mijenjaju u vodenom mediju, zbog toga vodeni organizmi se moraju manje brinuti zbog letalnih temperatura. Pri temperaturi od 4°C voda je najgušća, te je ova anomalija vode vrlo važna za funkcioniranje slatkovodnih sustava. Ovo svojstvo omogućava da led pluta i da se dna vodenih tijela ne zaleđuju, te na taj način organizmi ispod leda mogu preživjeti. Toplinska energija zagrijava samo gornje slojeve vode, dok donji slojevi ovise o miješanju vode. U stajaćicama postoji vertikalna stratifikacija temperature vode. Razlikujemo površinski sloj (epilimnij), duboki sloj (hipolimnij), te prijelazni sloj zvani metalimnij (termoklina). Zbog jačeg zagrijavanja do stratifikacije jezerske vode najčešće dolazi ljeti. Ukoliko u jezeru dolazi do potpunog miješanja stupca vode, ono se naziva holomiktično jezero, dok se jezero koje se djelomično miješa naziva meromiktično jezero. Do miješanja vode u jezeru dolazi uglavnom tijekom jeseni i/ili proljeća kada dolazi do izjednačavanja temperature u stupcu vode, gdje više ne postoji razlika u gustoći između hladnije vode i toplije vode (Slika 1.2.). Glavni izvor topline u jezeru je sunčeva svjetlost. Svjetlo koje prodire u jezero je raspršeno, apsorbirano kao toplina ili transformirano u neki drugi oblik energije. U fotosintezi se na primjer pohranjuje u obliku reduciranog ugljika. Dubina koju svjetlost može doseći ovisi o gustoći i gibanju čestica u jezeru. Osim sunca, velik utjecaj na temperaturu jezera imaju i atmosfera, turbiditet te okolno porječje i vodotoci koji se ulijevaju u jezero.

Svi organizmi trebaju kisik za metaboličke procese. Kisik u vodu dolazi preko izmjene s atmosferom ili fotosintezom putem zelenih biljaka i cijanobakterija. Fotosinteza ovisi o temperaturi vode, svjetlosti te količini primarnih proizvođača. Vodeni organizmi imaju mnoge morfološke, biokemijske i bihevioralne adaptacije s kojima se bore protiv limitirajućih ili čestih promjena koncentracija kisika. Velik udio organske materije koja se proizvode u epilimniju na kraju potone u dublje vode, ali produciran kisik ostaje u epilimniju. Budući da se u hipolimniju stalno troši kisik za razgradnju organske materije, većina kisika nalazi se u epilimniju. Kad koncentracija kisika padne u hipolimniju jezera, mnogi organizmi dolaze bliže površini. Koncentracija kisika u hipolimniju ovisi o nekoliko faktora: o načinu na koji



voda cirkulira u jezeru, o količini zaliha kisika, količini organske materije koja tone, o brzini kojom se razlaže organska materija itd. Tijekom mjeseci stagnacije, to jest kad nema miješanja vode, samo epilimnij može izmjenjivati kisik s atmosferom. Zbog toga kisik koji je slobodan za razlaganje organske tvari i koji tone u duboke vode, mora se skupiti tijekom perioda cirkulacije. Hipersaturacija s kisikom također može stvoriti probleme zooplanktonu tijekom toplih, sunčanih dana bez vjetra na način da se mjehurići plina mogu prihvatiti za karapaks zooplanktona, uzrokujući da plutaju ili ih prilijepiti na površinu biofilma (Lampert i Sommer 2007).

Važan čimbenik za uravnoteženo funkcioniranje jezerskog ekosustava je i pH. To je vrijednost koja nam pokazuje kiselost, tj. lužnatost otopina, u našem slučaju jezerske vode. Očituje se kao množinska koncentracija vodikovih iona u otopini ( $H^+$ ). Većina vodenih organizama obitava unutar pH vrijednosti od 6.5-9.0. Ukoliko je vrijednost pH jezerske vode previsoka ili preniska, većina organizama ugiba. Mnogi čimbenici utječu na pH vode, prirodni i antropogeni. Glavni prirodni faktori koji utječu su koncentracija ugljikovog dioksida ( $CO_2$ ), okolne stijene (pogotovo karbonati) te padaline. Ugljikov dioksid je glavni uzrok kiselih voda. Nalazi se u vodi u tri oblika: kao slobodni  $CO_2$ , te u obliku bikarbonata i karbonata. Prilikom doticaja s vodom, reagira s njom i stvara ugljičnu kiselinu, čijom daljnjom disocijacijom nastaju oksonijevi i bikarbonatni ioni koji smanjuju pH vode. U sljedećem koraku disocijacije nastaju oksonijevi i karbonatni ioni, a sam stupanj disocijacije ovisi o trenutnoj pH vrijednosti. Tri velika procesa koja utječu na pH su: fotosinteza, respiracija i asimilacija dušika. Efekt fotosinteze i respiracija na pH uvelike ovise o omjeru karbonata, bikarbonata i ugljikovog dioksida. Kada pH vode u okolini padne ispod 5,25, stanica ne može više vršiti fotosintezu (Coleman i Coleman 1981). Posljedica visokog pH je u tome što nastane razlika između bezopasnog amonijevog iona ( $NH_4^+$ ) i nedisociranog amonijaka ( $NH_3$ ) koji je toksičan. Ispod 8 pH skoro u potpunosti prevladava  $NH_4^+$ , ali iznad 10,5 prevladava  $NH_3$ . Snižavanje pH vode najčešće se događa tijekom jakih kiša ili obilnog topljenja snijega, te negativno utječe na razmnožavanje mnogih vodenih organizama.



**Slika 1.2.** Sezonska stratifikacija jezera

Izvor: [www.studyblue.com/notes/note/n/biology-5c-midterm-1/deck/6357090](http://www.studyblue.com/notes/note/n/biology-5c-midterm-1/deck/6357090)

### 1.3. Plankton

Zajednice organizama u jezeru možemo podijeliti na bentičke životinje koje žive uz dno, te pelagičke životinje koje žive u stupcu vode (limniji). Životinje koje žive u limniju dijele se na nekton i plankton. Plankton je zajednica organizama koji slobodno lebde u stupcu vode, a njihovo pokretanje najviše ovisi o strujanju vode (Vrebčević 1996). Nekton, s druge strane, je zajednica organizama koja aktivno pliva uz pomoć vlastitih mišića. Zbog nedostatka posebnih organa za plivanje, planktonski organizmi su razvili razne adaptacije koje im pomažu da se održe u stupcu vode. Povećali su udio masnih uklopina i plinova, smanjili

specifičnu težinu tijela i razvili posebne prilagodbe koje im omogućavaju da stvore veći otpor, te se suprotstave gibanju vode te tonjenju. Bentičko i pelagičko stanište nisu u potpunosti odvojeni i mnoge vrste koriste oba staništa. Npr. Cyclopoidni veslonošci su planktonski kao juvenilni i odrasli, ali provedu svoj razvoj kao dormantna jaja u sedimentu u bentosu (Lampert i Sommer 2007). Također mnogi organizmi ulaze u stadij dijapauze. Plankton se nalazi i u slatkim i u morskim vodama, te ga možemo podijeliti s obzirom da li pripada biljnim ili životinjskim organizmima u fitoplankton odnosno zooplankton. Fitoplankton čine fotosintetske alge, bakterije i gljivice, dok slatkovodni zooplankton čine primarno skupine Rotatoria (kolnjaci), te planktonski račići Copepoda (veslonošci) i Cladocera (rašljoticalci).

Slatkovodni zooplankton možemo podijeliti prema veličini u 6 kategorija (Tab. 1.1.). Glavnina planktonskih račića pripada veličinskoj kategoriji makrozooplankton (1-5 mm), no pojedini stadiji (kopepoditi i naupliji) i vrste mogu pripadati različitim kategorijama (Vrebčević 1996).

**Tablica 1.1.** Podjela zooplanktona po veličinskim kategorijama prema Breitig i Tumpling, 1982. (Vrebčević 1996)

KATEGORIJA	VELIČINA
Megaplankton	> 5 mm
Makroplankton	1 – 5 mm
Mezoplankton	500 – 1000 $\mu\text{m}$
Mikroplankton	50 – 500 $\mu\text{m}$
Nanoplankton	5 – 50 $\mu\text{m}$
Ultraplankton	< 5 $\mu\text{m}$

Za skupine Cladocera i Copepoda značajno je da provode cijeli svoj životni vijek u slobodnoj vodi, te se zato ubrajaju u pravi plankton – holoplankton (Moss 1980) . Obje skupine pripadaju unutar Entomostraca, tj. niži rakovi. Nalazimo ih u najvećem broju u jezerima, barama, akumulacijama i ostalim limnetičkim sustavima, te u sporim lentičkim sustavima. Cladocera ili rašljoticalci su gotovo svi slatkovodni, dok Copepoda sadrži velik broj slatkovodnih i morskih predstavnika. Rašljoticalci se hrane filtriranjem vode tako da stvaraju struju vode pomoću prsnih nogu prema ustima, uz neke iznimke poput vrste *Leptodora kindtii* koja je predator (Lampert i Sommer 2007). Veličine su od 0.2 – 3 mm, iako neke vrste poput *Leptodora kindtii* mogu narasti do 18 mm. Mogu se razmnožavati spolno i

nespolno, ovisno o okolišnim uvjetima. Mnogi planktonski rašljoticalci imaju sezonsku promjenu tijela, tj. ciklomorfozu.

Herbivorni zooplankton se hrani algama putem fagocitoze (protozoa), filtracijom (Cladocera i Rotifera) i grabežljivim zarobljavanjem specifičnih stanica (Copepoda). Rotifera i Copepoda se smatraju filtratorima jer skupljaju male čestice iz vode, iako ustvari zarobe pojedine čestice iz struje vode i u tom smislu ustvari ne filtriraju. Cladocera pak „sortiraju“ alge prilikom hranjenja, te ukoliko detektiraju toksične stanice moraju smanjiti brzinu hranjenja i povećati mehaničko izbacivanje sve hrane koju su unijeli (Lampert 1987). Predatorski cladocera poput *Leptodora sp.* ili *Bythotrephes sp.* su tipični beskralježnjaci predatori u pelagičkoj regiji.

### 1.3.1. Copepoda (Veslonošci)

Copepoda ili veslonošci su skupina mikroskopskih rakova iz podrazreda Maxillopoda. Nastanjuju podzemne i površinske kopnene vode te mora i oceane. Podrazred Copepoda sastoji od 10 porodica, od kojih 3 nastanjuju slatkovodne ekosustave: Cyclopoida, Calanoida i Harpacticoida (Slika 1.3.). Copepoda nemaju karapaks, već imaju dobro razvijen glaveni štiti. Tijelo im je podijeljeno na 3 tagme: cefalosoma ili glava, metasoma ili prsa te urosoma ili zadak.



**Slika 1.3.** Porodice veslonožaca: Harpacticoida, Calanoida i Cyclopoida

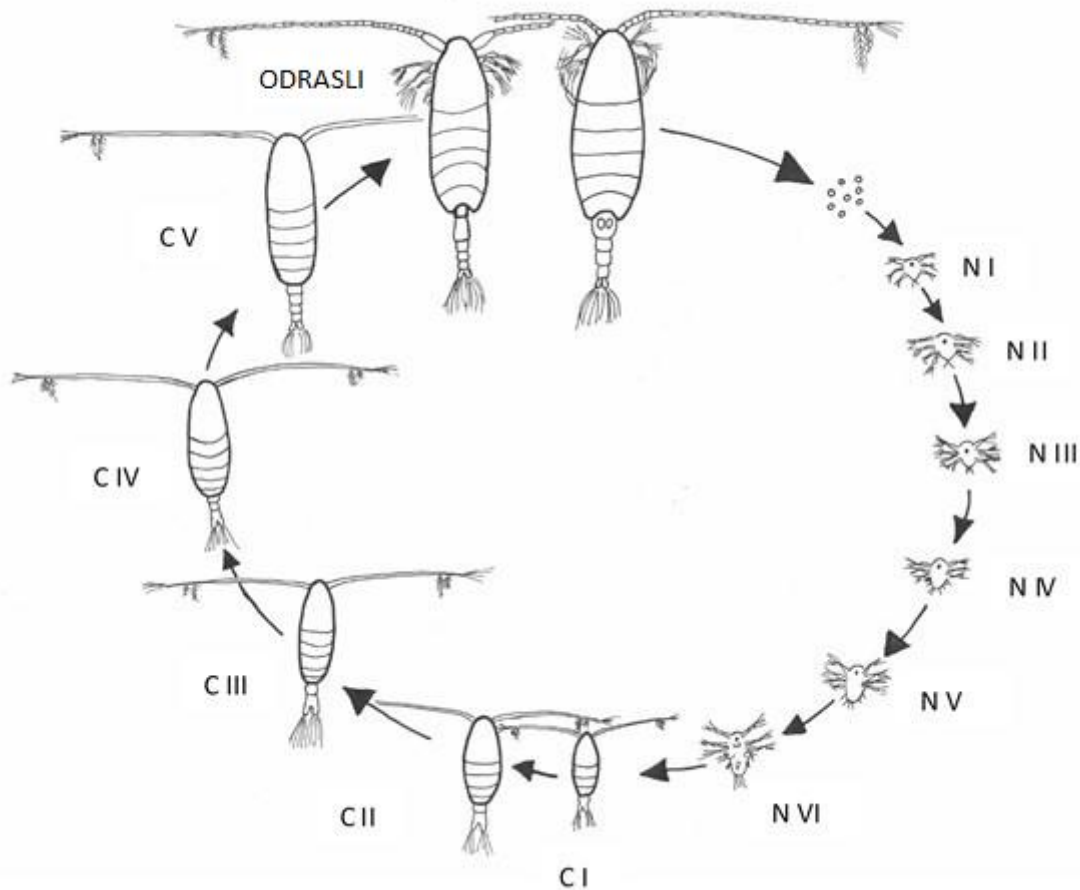
Slatkovodne porodice se međusobno razlikuju prema građi i načinu života. Calanoida i Cyclopoida imaju dugačke antenule i dužu furku, za razliku od Harpacticoida. Calanoida

uglavnom lebde u vodi, Cyclopoida aktivno plivaju dok Harpacticoida pužu po dnu izvijajući svoje tijelo (Vrebčević 1996). Calanoida, osim što lebde, mogu se pokretati i propulzijom tj. potiskom kojeg stvaraju nagli pokreti tjelesnih privjesaka. Veslonošci žive uglavnom u limnetičkim sustavima poput jezera, bara, ribnjaka i akumulacija, te tekućicama, a rjeđe u podzemnim vodama zbog manjka hrane. Dok Harpacticoda provode život uz bental, Cyclopoida i Calanoida su pravi holoplankton i provode cijeli svoj život kao plankton u slobodnoj vodi.

Predstavnici ovih porodica mogu biti paraziti, poluparaziti te komenzali. Slobodno živeći Copepoda imaju 3 načina prehrane: filtratori, detritofagi i predatori (Vrebčević 1996). Predstavnici Calanoida se uglavnom hrane filtriranjem, a pošto filtriraju čestice veće od 50  $\mu\text{m}$ , ubrajaju se u makrofiltratore (Vrebčević 1996). Glavna hrana su im alge, bakterije i detritus u svim razvojnim stadijima. Neki predstavnici Calanoida mogu biti i predatori, te se hraniti drugim beskralješnjacima. Cyclopoida su herbivori u ranim razvojnim stadijima te u odrasloj fazi kasnije mogu postati karnivori iako i dalje nastavljaju jesti neke alge (Adrian i Frost 1993). Copepoda, za razliku od Cladocera, su više selektivni prilikom hranjenja te također imaju dijelove usta koji služe za stvaranje struje vode (nema pasivnog strujanja vode) (Lampert i Sommer 2007). Imaju složeni aparat za ishranu – guste češljeve na prvim i drugim čeljustima. Kada Copepoda detektira stanicu alge koja mu se približava stvara struju vode koja usmjerava čestice prema drugim maksilama, koje ih tad zarobe (Koehl i Strickler 1981). Selektirajući individualne čestice Copepoda može odbaciti toksične stanice u mješavini i pojesti samo „dobre“ druge stanice s normalnom brzinom hranjenja (DeMott i Moxter 1991), za razliku od Cladocera. Na temelju veličine svake pojedine čestice hrane jedinka Copepoda odlučuje da li će pojesti neku česticu ili ne. Copepoda uglavnom jedu veće čestice od Cladocera. Ishrana se također mijenja i tijekom ontogenetskog razvoja jedinke. Kod nekih vrsta roda poput *Diaptomus* ili *Hemidiaptomus*, u fazi kopepodita hrane se fitoplanktonom, a kasnije postanu predatori (Lampert i Sommer 2007).

Slobodnoživući Copepoda se uglavnom razmnožavaju spolno. Mužjak pridržava ženku velikim parom prvih ticala, te postavlja spermatofore u blizini ženskog genitalnog otvora. Unutar spermatofora nalazi se ljepljiva tekućina sa spermatozoidima. Oplodnja (pucanje spermatofora) dešava se obično nekoliko dana nakon kopulacije. Jaja koja se oplode se čuvaju u vrećicama pričvršćenim za genitalni segment ženke, a neke vrste odlažu jaja direktno u vodu. Iz oplodjenih jaja se razvijaju ličinke naupliji, koji prolaze kroz 6 stadija preobrazbe.

Nakon toga nastupa stadij copepodita koji također prolazi kroz 6 preobrazbi do konačnog odraslog stadija (Slika 1.4.).



**Slika 1.4.** Razvojni ciklus Copepoda (N – stadij nauplija; C – stadij kopepodita)

Izvor: [www.soki.aq/display/Biota/Profile%3A+Copepods](http://www.soki.aq/display/Biota/Profile%3A+Copepods)

Slatkovodni Copepoda uglavnom su bezbojni, a samo pojedini dijelovi tijela poput antenula ili rubnih dijelova tijela im mogu biti obojeni. Obojani copepoda su relativno rijetki i nađeni samo ondje gdje nema riba ili gdje zaštita od svjetla prevladava i važnija je od nedostatka i negativnog utjecaja koji boja uzrokuje na mortalitet uzrokovan predacijom (Byron 1982). Boja dolazi od pigmentata algi koje pojedu, ili se sintetizira u njihovom tijelu.

Za razliku od drugih Copepoda, Calanoida imaju 2 oblika jaja: kratkotrajna i trajna (rezistentna, dormantna) jaja. Kratkotrajna jaja razvijaju se odmah nakon oplodnje, javljaju se kod proljetno-ljetnih vrsta i ostaju u vrećicama samo nekoliko dana. S druge strane, trajna jaja imaju dug razvoj s dugim razdobljem mirovanja u sedimentu te se javljaju kod zimskih vrsta

koje imaju 1 generaciju godišnje. Ova jaja mogu izdržati nepovoljne uvjete u okolišu tijekom godine, te kada nastupe povoljni uvjeti, brzo se razviti. Trajna jaja prilagodba je pojedinih vrsta koja im omogućava preživljavanje nepovoljnih uvjeta. Monocikličke vrste proizvode samo jednu generaciju trajnih jaja tijekom godine, dok dicikličke vrste mogu producirati obje vrste jaja.

#### **1.4. Dijapauza**

Dormancija je stanje zaustavljenog rasta, razvoja i fizičkih aktivnosti kod neke vrste. Dijeli se na dormanciju i dijapauzu. Dormancija je usporen razvoj neke vrste kao direktan odgovor na limitirajuće čimbenike (npr. nisku temperaturu, manjak hrane), bez prvotne pripreme za ulazak u to stanje (Dahms 1995). To je kratkotrajan fenomen, koji se javlja nasumično, ne osigurava vijabilnost vrste i ne mora biti vezan uz specifičan ontogenetski stadij.

Dijapauza je zaustavljanje razvoja neke vrste, kao odgovor na periodične promjene uvjeta u okolišu. Znak je sezonske promjene, genetski je uvjetovana, te se može aktivirati prije pojave nepovoljnih uvjeta u okolišu. Ovakva strategija u životnom ciklusu vrste nastala je kao adaptacija na nepovoljne životne uvjete u okolišu. Također dijapauza može dovesti do sinkronizacije perioda rasta i reprodukcije unutar perioda s povoljnim uvjetima. Organizme u dijapauzi karakterizira usporeni metabolizam te prekinuti razvoj i rast. Dijapauza je uglavnom ograničena na jedan ili nekoliko razvojnih stadija: može se pojaviti tijekom stadija jaja, tijekom postembrionskog razvoj ili u odraslom stadiju, te sa ili bez stvaranja ciste (Zeller i sur. 2004). Stadij dijapauze je čest kod planktona, npr. zigote kod zelenih algi, akinete kod cijanobakterija, stospore kod chrysofita, ehippia kod Cladocera i dormantna jaja kod Copepoda i Rotifera (Gyllström i Hansson 2004). Mnogi planktonski Copepoda imaju dijapauzu u svom životnom ciklusu. Npr, calanoid *Diaptomus sanguines* proizvodi 2 tipa jaja: kratkotrajna jaja i dormantna jaja. Kratkotrajna jaja se razvijaju, dok ova druga ostaju u sedimentu nekoliko mjeseci prije nego se izlegu. Hairston i Olds (1987) su primijetili kako u jezerima sa ribama tijekom ožujka se sve ženke prebace sa kratkotrajnih na rezistentna jaja. To omogućava populaciji da „nestane“ iz stupca vode prije nego se ribe počnu aktivno hraniti. Ovakvo prebacivanje doduše nije povezano s ribama, jer se Copepoda prebacuju i u jezerima bez riba, pa se pretpostavlja da imaju genetičke varijacije u točno određeno vrijeme koje im

to omogućuju (Lampert i Sommer 2007). Dijapauza se najčešće javlja tijekom ljeta, pošto se odrasli Copepoda razmnožavaju u proljeće. Kod Cyclopoida se razvijaju naupliji i prvi juvenilni stadiji (kopepoditi), ali 4. i/ili 5. kopepoditni stadiji zaustavljaju razvoj i zakopavaju se u sediment preko ljeta (Lampert i Sommer 2007; Engel 2005). Pojave se opet u jesen i završavaju svoj razvoj do odraslog stadija. Neki predstavnici Calanoida poput vrste *Eudiaptomus graciloides* mogu ući u dijapauzu dva puta godišnje: u jesen kao jaja, te u zimi kao odrasli oblici (Zeller i sur. 2004), iako su zabilježene i ljetne dijapauze 4. i 5. kopepoditnog stadija (Pasternak i Arashkevich 1999). Brojne studije pokazale su da su ključni čimbenici za inicijaciju dijapauze kod Copepoda duljina dana i temperatura (Hairston i sur. 1995; Ban i Minoda 1992). Ne zna se točan razlog razvitka dijapauze. Općenito, dulji dan ne bi trebao predstavljat nedostatak za rast populacije, već suprotno, Copepoda koji ne ulaze u dijapauzu mogli bi proizvesti nekoliko generacija pomladaka kroz ljeto. Postoji nekoliko hipoteza: 1) Copepoda ne mogu tolerirati visoke ljetne temperature zbog fizioloških limitacija, 2) ličinački stadiji koji ovise o algama kojima se hrane su slabi kompetitori i ne mogu opstati u ljetu u prisutstvu drugog zooplanktona koji se hrani algama, 3) izbjegavaju periode kad su populacije riba guste i kad su ribe najaktivnije (jer se ribe hrane njima) ili 4) ovo ponašanje je adaptacija iz prošlosti kada su Copepoda živjeli u malim vodenim tijelima koja su presušivala ljeti.

### **1.5. Dinamika organizama u jezera**

Svi organizmi se moraju hraniti te trošiti resurse iz okoliša. Trošenje resursa znači redukciju gustoće resursa u okolišu i na taj način stvaraju se interakcije između organizama i okoliša. Organizme možemo podijeliti u osnovne trofičke tipove prema obliku izvora energije koji koriste: fototrofni, kemotrofni, litotrofni, organotrofni, autotrofni i heterotrofni. Upotreba svjetlosti kao izvora energije u fotosintezi je najvažniji proces kod pretvorbe anorganske materije u organsku, koju vrše primarni producenti. Slatkovodni zooplankton čine uglavnom primarni potrošači koji se hrane raznim česticama u vodi i drugim organizmima. Čestice u vodi koje koriste konzumenti pojavljuju se u obliku usitnjene organske tvari (POM - particulate organic matter) i organskog ugljika (POC - particulate organic carbon) kao živa ili mrtva tvar. Neživa usitnjena organska tvar naziva se detritus i može biti autohtonog i alohtonog podrijetla (npr. lišće).



Struktura i dinamika zooplanktona može nam dati procjenu trofičkog stanja vodenog ekosistema. Pošto većina biomase zooplanktona čini makrozooplankton, točnije skupine Copepoda i Cladocera, analizom njihove biomase i strukture populacija, moguće je procijeniti stanje trofije nekog sustava. Također, sastav vrsta makrozooplanktona govori nam o intenzitetu trofije. U jezerima s niskim stupnjem trofije broj njihovih vrsta je velik (8-11), dok je u jezerima s visokim stupnjem trofije taj broj manji (3-4) (Vrebčević 1996). Eutrofikacija je prirodan proces porasta trofije, no antropogeni utjecaj često ubrza taj proces. Dotokom hranjivih soli povećava se primarna produkcija (fitoplankton), a to direktno utječe na povećanje sekundarne produkcije (zooplankton). Zbog povećane primarne produkcije dolazi do smanjenja prozirnosti vode, što onemogućuje svjetlosti da prodire u dublje dijelove, smanjujući tako količinu kisika u vodi, te u zadnjim stadijima eutrofikacije vrlo negativno utječe na organizme koji tamo žive. Trofički stupanj jezera mora se pratiti tijekom proljetno-ljetnog razdoblja, jer je to doba najintenzivnije produkcije. Sastav zajednica zooplanktona i dominacija pojedinih vrsta u pojedinim periodima može nam dati uvid u trenutno stanje trofije i ukazati na promjene koje se događaju u jezeru.

Starija istraživanja pokazivala su kako je predacija glavni faktor rasprostranjenosti i gustoće zooplanktona (Hrbaček 1962; Dodson 1970), no danas se smatra kako je jedan od glavnih uzroka za rasprostranjenost zooplanktona kompeticija za hranu. Veće vrste makrozooplanktona mogu filtriranjem uzimati hranu manjih ali i većih vrsta. Također, veličina čestica kojima se neka vrsta hrani ovisi o veličini jedinke i razvojnom stadiju i starosti samih jedinki. Zbog toga često dolazi do preklapanja u ishrani među raznim vrstama zooplanktona. Kompeticija je najviše izražena tijekom ljetnih mjeseci kada fitofagne vrste koje se hrane fitoplanktonom, nakon što iscrpe zalihe svoje hrane, dolaze u međusobnu kompeticiju (Vrebčević 1996). Interspecijska i intraspecijska kompeticija, zajedno s dinamikom fitoplanktona vrlo je važan regulator dinamike i strukture zooplanktona.

I marinski i slatkovodni zooplankton rade dnevne migracije. Poznato je kako populacije Copepoda i Cladocera rade dnevne migracije u otvorenoj vodi. Dnevne vertikalne migracije kreću se u rasponu od nekoliko cm do 100 m (Hutchinson 1967). Životinje se uglavnom zadržavaju blizu površine preko noći, a preko dana odlaze u dublje slojeve. Amplituda migracije i način na koji se vertikalno kreću razlikuje se od vrste do vrste, i u razvojnim stadijima pojedinih vrsta. Može ovisiti o prozirnosti i količini hrane. Nije u potpunosti razjašnjeno zašto plankton radi dnevne migracije. Jedna od hipoteza je da zooplankton vertikalno radi dnevne migracije da bi izbjegao predaciju od planktivornih riba (Lampert

1993). Drugi pak autor, Enright (1977) smatra kako životinje rade dnevne migracije jer traže optimalnu dubinu na kojoj ima najviše hrane. Većina znanstvenika se danas slaže kako su vertikalne migracije kontrolirane putem svijetla (duljina dana i noći), iako točan mehanizam nije poznat.

## **1.6. Cilj istraživanja**

Ciljevi ovog istraživanja su:

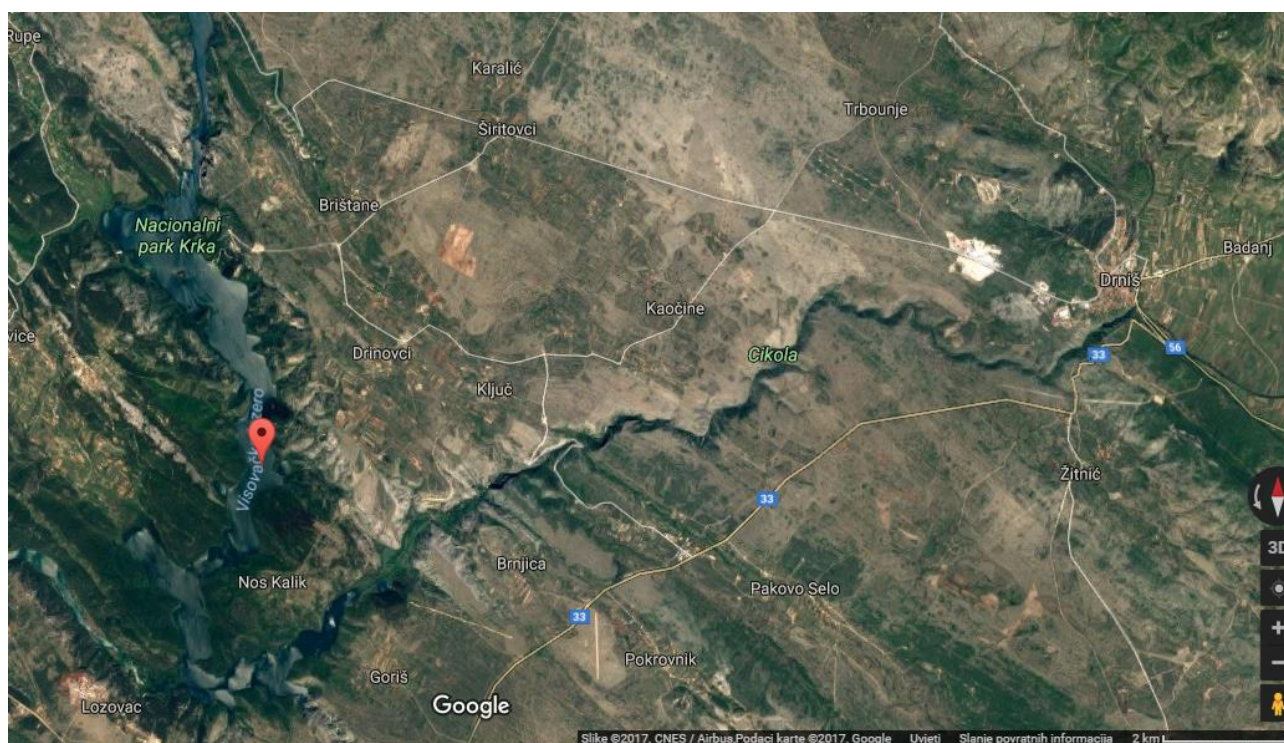
1. analizirati sastav i dinamiku zooplanktona jezera Visovac,
2. uočiti sezonske promjene tijekom istraživanih mjeseci,
3. utvrditi promjene u biomasi i brojnosti planktonskih rakova, posebice Copepoda,
4. odrediti fizikalno-kemijske parametre i okolišne čimbenike koji uvjetuju populacijsku dinamiku planktonskih rakova, s posebnim osvrtom na veslonošce.

## 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

### 2.1. Visovačko jezero

Rijeka Krka izvire u podnožju planine Dinare, 3,5 km sjeveroistočno od grada Knina, a utječe u Jadransko more kraj Šibenika. Nastala je na krškoj podlozi djelovanjem tektonike i površinskim procesima okršavanja. Godine 1985. zbog prirodnih i geoloških ljepota veći dio područja oko rijeke Krke proglašen je Nacionalnim parkom, obuhvaćajući Visovačko jezero te dio toka rijeke Čikole koja se ulijeva u rijeku Krku.

Visovačko jezero (Slika 2.1.) nastalo je u kanjonu Krke i pritoke donje Čikole. Površina jezera je 7,9 km<sup>2</sup>, a najveća dubina iznosi 60 m. Jezero je udaljeno 22 km zračne linije od Jadranske obale. Pripada skupini baražnih jezera te je nastalo nakon formiranja sedrene barijere na Skradinskom buku u postwürmskom razdoblju. Skradinski buk nalazi se na jugozapadnom dijelu jezera, dok na sjeveru jezera utječe rijeka Krka putem Roškog slapa.



**Slika 2.1.** Visovačko jezero

Izvor: Google maps

Jezero je monomiktično (stupac vode miješa se jedanput godišnje) s termičkom stratifikacijom tijekom ljetnih mjeseci i zimskom izotermijom koju prati jednaka koncentracija otopljenog kisika u cijelom vodenom stupcu. Krška jezera normalno su oligotrofna, zbog niske koncentracije nutrijenata u stupcu vode, ali su podložna eutrofikaciji zbog većeg unosa organske tvari (Mihaljević i sur. 2007).

Visovačko jezero zauzima najveći dio NP Krka s otočićem Visovcem u središtu po kojem je jezero dobilo ime (Slika 2.2.). U području otoka jezero je i najšire - oko 1 km. Na otoku Visovac nalaze se crkva i Franjevački samostan osnovan 1445. godine sa bogatom kulturno-povijesnom baštinom.

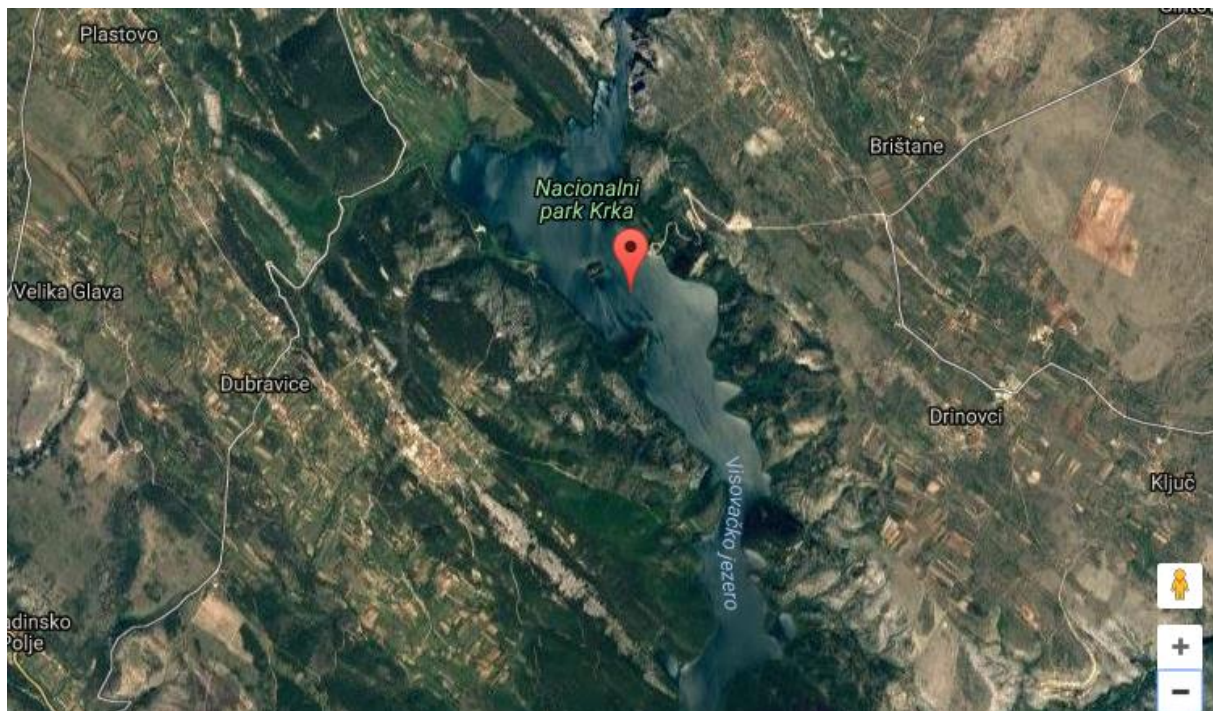


**Slika 2.2.** Visovačko jezero i otok Visovac

### 3. MATERIJALI I METODE

#### 3.1. Uzorkovanje planktona i mjerenje fizikalno-kemijskih parametara na terenu

Terenska istraživanja provedena su u periodu od travnja do rujna 2016. godine. Uzorci su uzimani jedanput mjesečno (13. travnja, 16. svibnja, 14. lipnja, 14. srpnja, 16. kolovoza i 26. rujna) sa prikazane lokacije (Slika 3.1.). Kemijske analize prema protokolu (APHA 2012) odradili su djelatnici Instituta Ruđer Bošković u Zagrebu. Temperatura i kisik mjereni su od površine do 20 m u razmaku od 1 metar. Ostali parametri mjereni su na dubinama na kojima su i uzimani uzorci planktona. Uzorci planktona uzimani su na 5 dubina: 0m, 5m, 10m, 15m i 20m. Uzorkovanje planktona vršeno je crpcem (10 L), te je jezerska voda filtrirana kroz planktonsku mrežu s otvorom oka od 36  $\mu$ m. Sa svake dubine filtrirano je 10 litara vode. Uzorci su fiksirani u 70%-tnom alkoholu te prenijeti u laboratorij na daljnju analizu i obradu. Za određivanje kvalitativnog sastava zooplanktona uzimani su potezni uzorci od dubine 20 m do površine. Sva uzorkovanja izvršena su u prijepodnevnim satima.



Slika 3.1. Položaj istraživane lokacije

### 3.2. Analiza planktona

Uzorci zooplanktona pregledani su pomoću stereomikroskopa. Brojnost jedinki pojedinih skupina utvrđena je prebrojavanjem jedinki u Petrijevoj zdjelici, te su prebrojani cijeli uzorci. Determinacija pojedinih vrsta određena je pod mikroskopom pomoću taksonomskih ključeva (Vrebčević 1996; Amoros 1984; Einsle 1993).

Za izračun biomase ( $\mu\text{g/L}$ ) izračunata je težina pojedinih vrsta i stadija putem literaturnih podataka (Vrebčević 1996; Bottrell i sur. 1976; Dumont i sur. 1975; Malley i sur. 1989) prema formuli:

$$W = \ln a \times L^b$$

gdje je:

- $W$ : težina jedne jedinke u  $\mu\text{g}$
- $a$ : odsječak na  $y$  osi
- $L$ : dužina jedne jedinke u  $\text{mm}$
- $b$ : nagib pravca.

Brojnost jedinki je zatim pomnožena sa suhom težinom pojedine vrste zooplanktona izražene u  $\mu\text{g}$ . Dobiveni rezultati su zatim obrađeni pomoću programa Microsoft Excel.

## 4. REZULTATI

### 4.1. Fizikalno-kemijski parametri

#### 4.1.1. Temperatura vode

Temperature vode tijekom istraživanih mjeseci kreću se uglavnom između 11-25 °C (Tab. 4.1.). Tijekom travnja zabilježena je minimalna temperatura vode od 11,3 °C pri dubini od 15 m. Razlika u temperaturi vode po dubinama najmanje je izražena u svibnju u odnosu na ostale mjesece. S povećanjem površinske temperature u ljetnim mjesecima, povećava se i razlika u temperaturi između površinske i dubinske vode. Dok se dubinske vode u svim mjesecima kreću od 11-16 °C, površinske temperature vode variraju od 15-25 °C (ovisno o godišnjem dobu). Najveća promjena temperature po dubini vidljiva je tijekom srpnja, gdje je razlika između površinske temperature vode i temperature vode na dubini od 20 m iznosi 11,2 °C. Tijekom ljetnih mjeseci možemo zamijetiti pojavu termokline, koja je najizraženija u srpnju gdje je temperatura s promjenom dubine sa 3 m na 10 m pala za 5,8 °C. Termoklina u kolovozu i lipnju može se uočiti na dubinama od 5 m do 10 m. U srpnju je također zabilježena maksimalna vrijednost temperature vode od 25,4 °C pri dubini vode od 0m i 1m.

**Tablica 4.1.** Vrijednosti temperature tijekom istraživanih mjeseci

Dubina (m)	13.4.	16.5.	14.6.	14.7.	16.8.	26.9.
0	16	15,7	20,7	25,4	22,1	19,7
1	15,7	15,5	20,6	25,4	22	19,7
2	15,5	15,5	20,5	24,4	21,9	19,7
3	15,2	15,3	19,1	22,9	21,8	19,6
4	14,3	15,2	19,1	20,2	21,3	19,5
5	13,9	15,1	17,2	19,3	21	19,3
6	13,6	14,9	16,7	18,6	20,2	18,8
7	13,4	14,6	16,3	18,0	19,7	18,4
8	13,3	14,3	16	17,6	19	18
9	13	13,9	15,8	17,4	18,5	17,8
10	12,7	13,9	15,5	17,1	18,3	17,4
11	12,6	13,8	15,3	16,8	17,9	17,2
12	12,3	13,7	15,2	16,5	17,2	17
13	12,3	13,7	15	16,2	17	16,9
14	12,3	13,5	14,8	16,1	16,7	16,8
15	11,3	13,5	14,6	15,8	16,4	16,7
16	11,7	13,4	14,4	15,4	16,3	16,5
17	11,5	13,4	14	15,2	16,2	16,5
18	11,5	13,4	13,9	15,0	16	16,4
19	11,4	13,2	13,7	14,5	15,6	16,1
20	11,4	13,2	13,5	14,2	15,4	15,9

#### 4.1.2. Količina otopljenog kisika

Površinske koncentracije otopljenog kisika kreću se od 10-12 mg/L tijekom svih istraživanih mjeseci. Tijekom travnja, svibnja i lipnja koncentracije otopljenog kisika na svim dubinama kreću se između 8 i 12 mg/L, te nema većih promjena kisika po dubinama. Iz Tablice 4.2. možemo vidjeti kako veće promjene u količini otopljenog kisika po dubinama pokazuju ljetni mjeseci, te pogotovo rujna gdje razlika između otopljenog kisika pri površini i otopljenog kisika pri dubini od 20m iznosi 10,28 mg/L. Hipoksični uvjeti (< 5 mg/L otopljenog kisika) prisutni su pri većim dubinama tijekom rujna, kolovoza i srpnja. Tijekom rujna pri dubini od 20m zabilježena je minimalna koncentracija otopljenog kisika od 0,13 mg/L, gdje je dostignuta gotovo potpuna anoksija. Maksimalna vrijednost količine otopljenog kisika zabilježena je u srpnju pri 6 m te iznosi 12,23 mg/L.

**Tablica 4.2.** Vrijednosti količine otopljenog kisika tijekom istraživanih mjeseci

Dubina (m)	Količina otopljenog kisika po mjesecima (mg/L)					
	13.4.	16.5.	14.6.	14.7.	16.8.	26.9.
0	11,08	10,5	10,51	10,10	10,83	10,41
1	11,19	10,52	10,61	10,00	10,87	10,42
2	11,29	10,53	10,71	11,19	10,88	10,42
3	11,25	10,56	11,5	11,80	11,04	10,41
4	11,95	10,56	11,5	11,95	11,18	10,55
5	12,04	10,52	10,95	11,94	11,25	10,07
6	12,01	10,52	10,56	12,23	10,92	8,03
7	11,95	10,49	10,48	11,45	10,47	6,57
8	11,87	10,55	10,85	10,76	9,35	5,18
9	11,19	10,17	10,98	10,77	9,12	5,94
10	10,66	10,07	10,87	10,72	8,82	7,98
11	10,71	10,01	10,8	10,32	7,96	8,37
12	10,42	9,99	10,71	9,97	6,8	7,3
13	10,43	9,99	10,68	9,16	6,22	7,63
14	10,77	9,94	10,67	8,99	5,43	7,71
15	10,39	9,84	10,71	8,07	5,31	7,34
16	10,39	9,81	10,03	7,68	4,71	6,22
17	10,38	9,69	10,09	7,32	4,26	5,06
18	10,18	9,83	9,36	6,39	3,36	4,14
19	10,19	9,32	9,17	5,10	2,37	0,19
20	10,05	9,29	8,14	3,67	1,67	0,13



### 4.1.3. Ostali parametri

Od ostalih čimbenika okoliša mjereni su: pH, konduktivitet, turbiditet, klorofil *a* kod cijanobakterija te ukupni klorofil *a*. Vrijednosti pojedinih parametara prikazane su u Tablici 4.3.

Vrijednost pH tijekom istraživanih mjeseci kreće se između 7,2 – 8,6. Najviši pH izmjeren je u lipnju pri površini, dok je najniži pH zabilježen u srpnju na dubini od 20 m. Tijekom svih mjeseci vidi se trend smanjenja vrijednosti pH s porastom dubine.

Konduktivitet se kretao u vrijednostima od 500 do 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Maksimalna vrijednost je zabilježena u rujnu te iznosi 581  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pri dubini od 15 m, dok je minimalna iznosila 507  $\mu\text{S}/\text{cm}$  u kolovozu pri površini. Možemo zamijetiti da su najviše vrijednosti konduktiviteta najčešće na dubinama od 10 m i 15 m.

Koncentracije ukupnog klorofila *a* kretale su se u rasponu od 0,9 do 13,5  $\mu\text{g}/\text{L}$  (Tablica 4.3). Najveća koncentracija ukupnog klorofila *a* zabilježena je u kolovozu na dubini od 5 m, te iznosi 13,5  $\mu\text{g}/\text{L}$ . Također kolovoz je općenito mjesec s najvišim količinama ukupnog klorofila *a*. U rujnu je zabilježena najniža količina klorofila *a* od 0,9  $\mu\text{g}/\text{L}$  na dubini od 20 m, no mjeseci sa generalno najnižim koncentracijama klorofila *a* su travanj i srpanj, gdje koncentracija ne prelazi 6,5  $\mu\text{g}/\text{L}$ . Količina klorofila *a* kod cijanobakterija kretala se od 0 do 6,3  $\mu\text{g}/\text{L}$ , sa maksimalnom vrijednošću u lipnju na 5m (6,3  $\mu\text{g}/\text{L}$ ) a minimalnom u srpnju (0  $\mu\text{g}/\text{L}$ ). Vrijednosti klorofila *a* kod cijanobakterija tijekom srpnja ne prelaze 1  $\mu\text{g}/\text{L}$ .

**Tablica 4.3.** Vrijednosti ostalih parametara u istraživanom razdoblju

MJESEC	13.4.2016.					16.5.2016.					14.6.2016.				
DUBINA (m)	0-1	5	10	15	20	0-1	5	10	15	20	0-1	5	10	15	20
pH	8,11	8,04	8,07	8,08	7,94	7,91	8,26	8,02	7,84	7,65	8,6	7,89	7,81	7,86	7,76
Konduktivitet ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	522	540	544	541	539	529	537	548	553	554	512	537	530	527	532
Klor. a Cyanobacteria ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	0,3	0,3	0,2	0,2	3,6	1,2	1	1,7	1,3	1,8	2,2	6,3	3,3	2,8	2,3
Total klor. a ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	2,5	3,2	5,3	4	6,5	5,7	6,7	10,6	8,3	10,5	9,8	12,7	10,3	8	8,1
Turbiditet (NTU)							9,1	9,3	6,5	8,9	11,1	23,5	10,1	9,1	8,8

nastavak tablice

MJESEC	14.7.2016.					16.8.2016.					26.9.2016.				
DUBINA (m)	0-1	5	10	15	20	0-1	5	10	15	20	0-1	5	10	15	20
pH	8,27	8,16	8,11	7,95	7,2	8,19	8,18	8,13	7,85	7,79	8,69	8,42	8,2	8,26	8,16
Konduktivitet ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	506	536	537	534	535	507	504	551	564	549	527	538	570	581	561
Klor. a Cyanobacteria ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	0	0	0	0,8	0,1	1	2,6	1,7	5,4	1,6	0,2	0,3	2,5	0,2	0,3
Total klor. a ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	1,2	7	3,7	5,7	3,6	10,1	13,5	11,7	13,3	7,3	7,4	10,3	12,8	2,7	0,9
Turbiditet (NTU)	8,6	13,3	9,3	10,5	12,3	9,9	10,6	10	10,7	9,3	8,4	10,6	8,3	5,7	8,2

## 4.2. Dinamika i sastav zooplanktona

U Visovačkom jezeru ukupno je utvrđeno 9 vrsta planktonskih račića iz skupina Cladocera i Copepoda (Calanoida i Cyclopoida), te njihovi kopepoditni stadiji i naupliji.

Kod skupine Cladocera, odnosno rašljoticala, pronađeno je 5 vrsta: *Daphnia longispina* (O. F. Müller, 1776), *Daphnia cucullata* (G. O. Sars, 1862), *Bosmina longirostris* (O. F. Müller, 1776), *Leptodora kindtii* (Focke, 1844) i *Diaphanosoma brachyurum* (Liévin, 1848) (Slika 4.1.).



*D. brachyurum*

*D. cucullata*

*D. longispina*



*L. kindtii*

*B. longirostris*

**Slika 4.1.** Vrste rašljoticalaca Visovačkog jezera

Ukupno 4 vrste Copepoda (veslonožaca) pronađene su u Visovačkom jezeru. Unutar Cyclopoida zabilježene su sljedeće vrste: *Cyclops abyssorum* (G. O. Sars, 1863), *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857), *Macrocyclus albidus* (Jurine, 1820) (Slika 4.2.). Skupina Calanoida zastupljena je samo sa jednom vrstom: *Eudiaptomus hadzici* (Brehm, 1933).



*C. abyssorum*

*M. leuckarti*

*M. albidus*

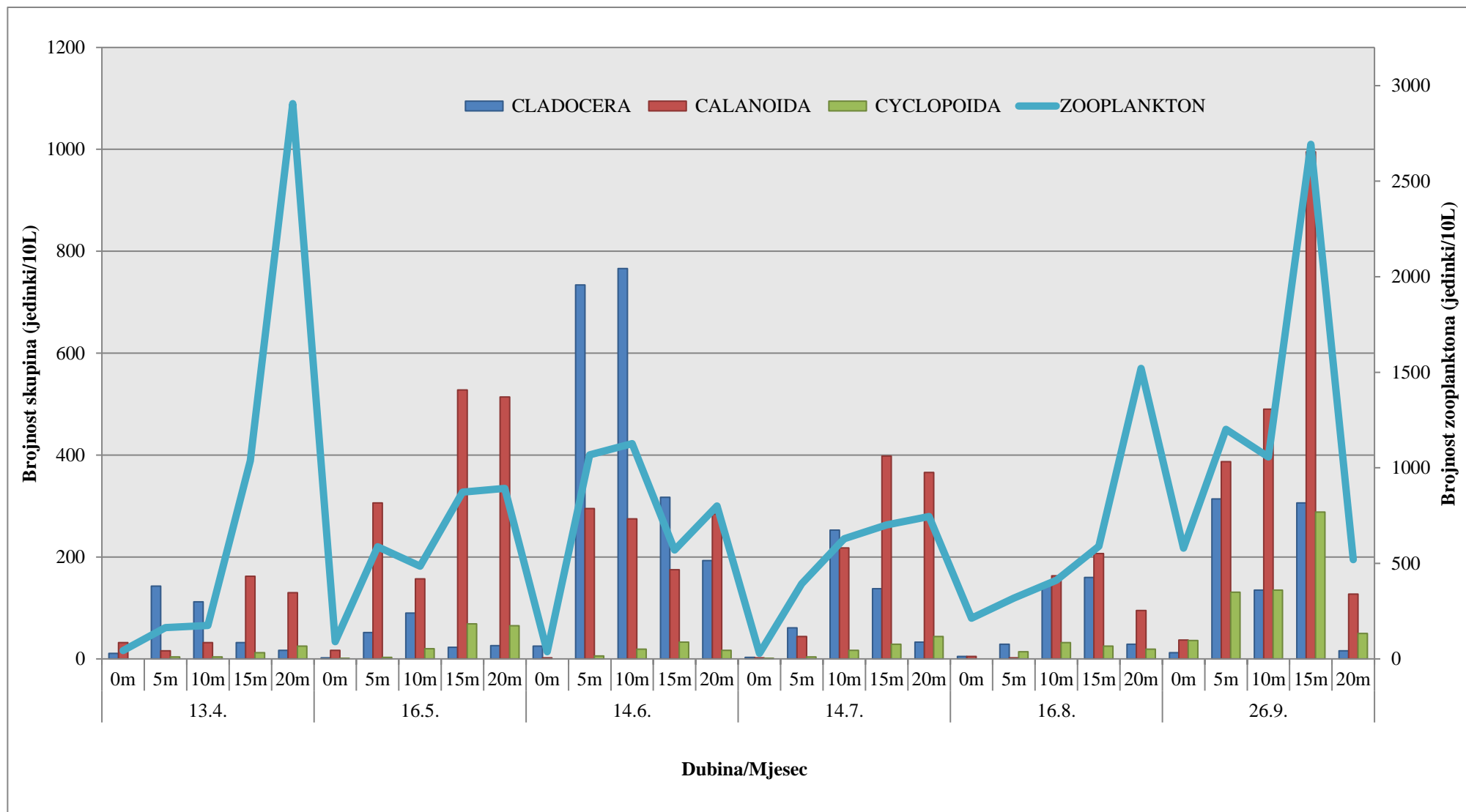
*E. hadzici*

**Slika 4.2.** Vrste veslonožaca Visovačkog jezera

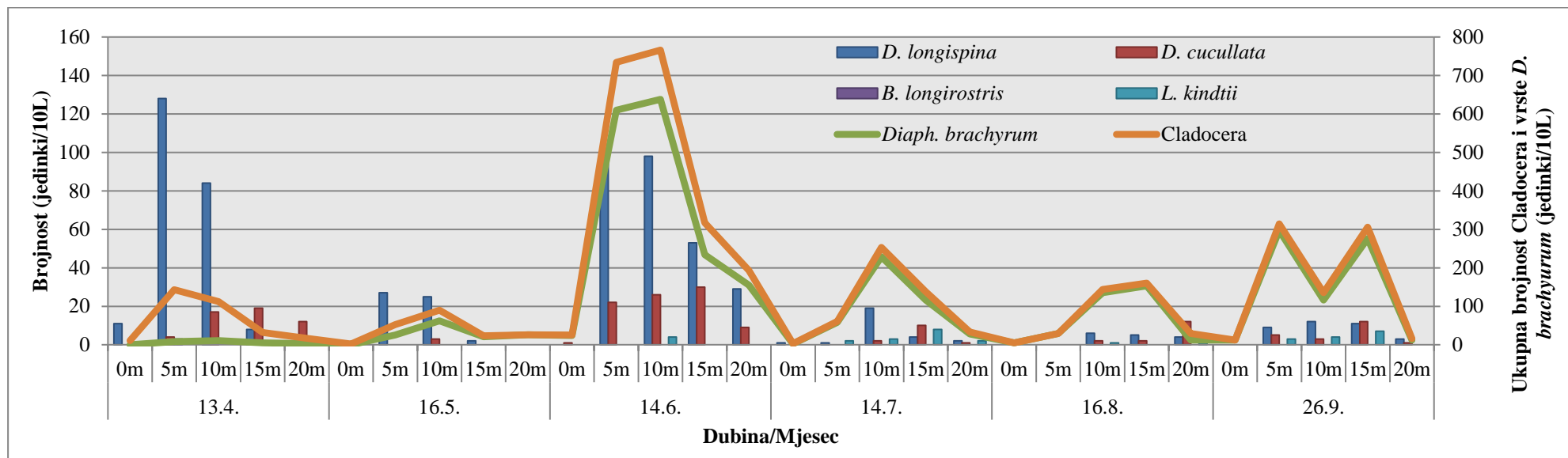
#### 4.2.1. Brojnost zooplanktona

Brojnost zooplanktona pojedinih skupina razlikuje se s obzirom na mjesec te dubinu (Slika 4.3.). Tijekom proljeća, u travnju, zabilježena je najveća brojnost nauplija na dubini od 20 m (2735 nauplija/10L), te je ovde i najveća brojnost zooplanktona. U svibnju, lipnju i srpnju brojnost nauplija je malena, te ponovo raste krajem ljeta i početkom jeseni. U lipnju prevladavaju Cladocera (rašljoticalci), dok u ostalim mjesecima uglavnom prevladavaju Copepoda (veslonošci). Velika brojnost zooplanktona (1589 jedinki/10L) zabilježena je u rujnu na dubini od 15 m. U travnju, pri dubinama od 5 m i 10 m prevladavaju Cladocera, dok na većim dubinama je veća brojnost Copepoda, posebice Calanoida. Svibanjske vrijednosti brojnosti pokazuju prevlast veslonožaca na svim dubinama, dok u lipnju prevladavaju Cladocera (izuzev na dubini od 20 m). Copepoda također prevladavaju u brojnosti tijekom kolovoza i rujna. Možemo zamijetiti kako je brojnost zooplanktona vrlo malena pri površini tijekom svih istraživanih mjeseci, izuzev rujna.

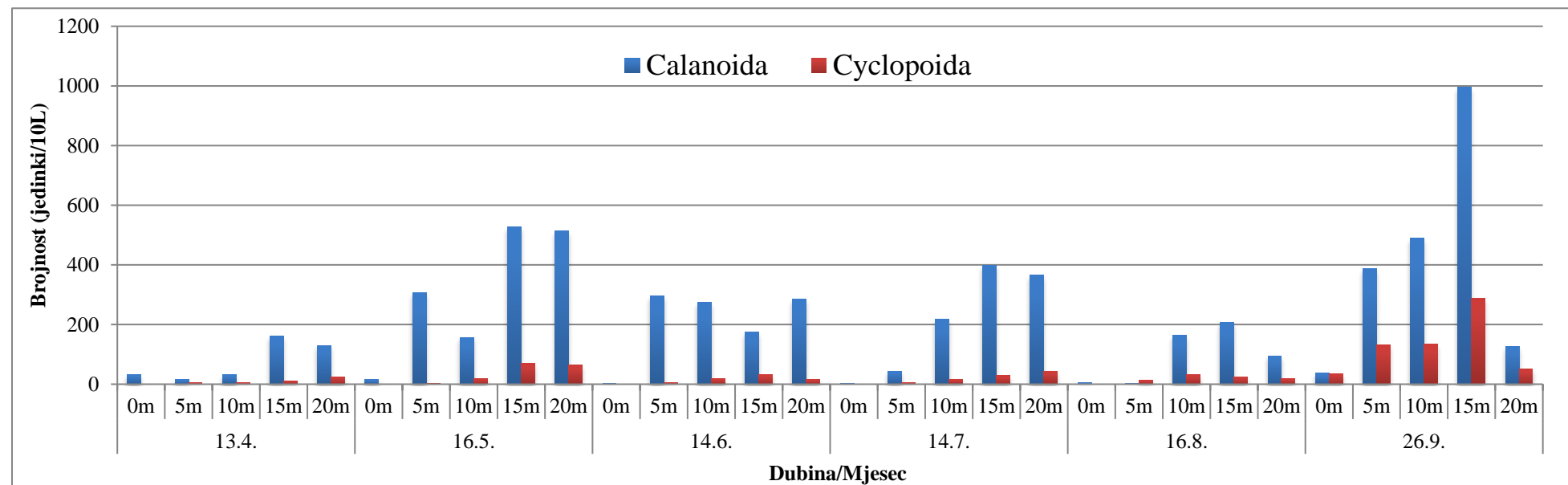
Vrsta *Bosmina longirostris* zabilježena je samo tijekom travnja na dubini od 5 m. Na Slici 4.4. vidimo kako unutar skupine rašljoticalaca prevladava vrsta *Diaphanosoma brachyurum*, koja je izuzetno brojna tijekom lipnja. Vrsta *Daphnia longispina* također je česta na dubinama 5 m i 10 m, osobito u travnju i lipnju, dok se vrste *Leptodora kindtii* i *Daphnia cucullata* rjeđe pojavljuju tijekom svih istraživanih mjeseci.



Slika 4.3. Brojnost skupina planktonskih rakova i ukupnog zooplanktona



Slika 4.4. Brojnost Cladocera (rašljoticalci)

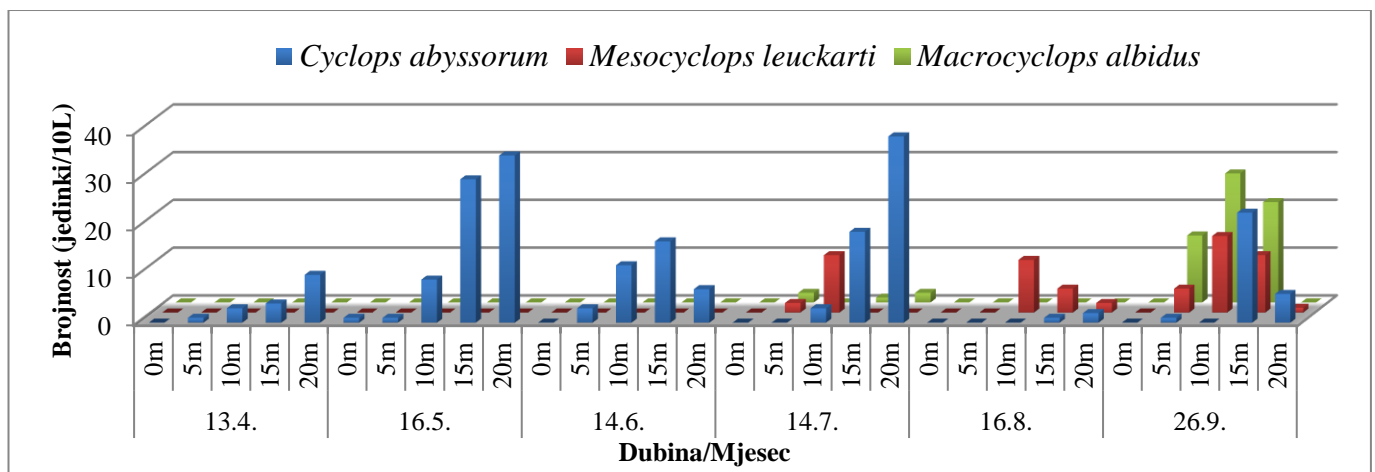


Slika 4.5. Brojnost skupina Copepoda

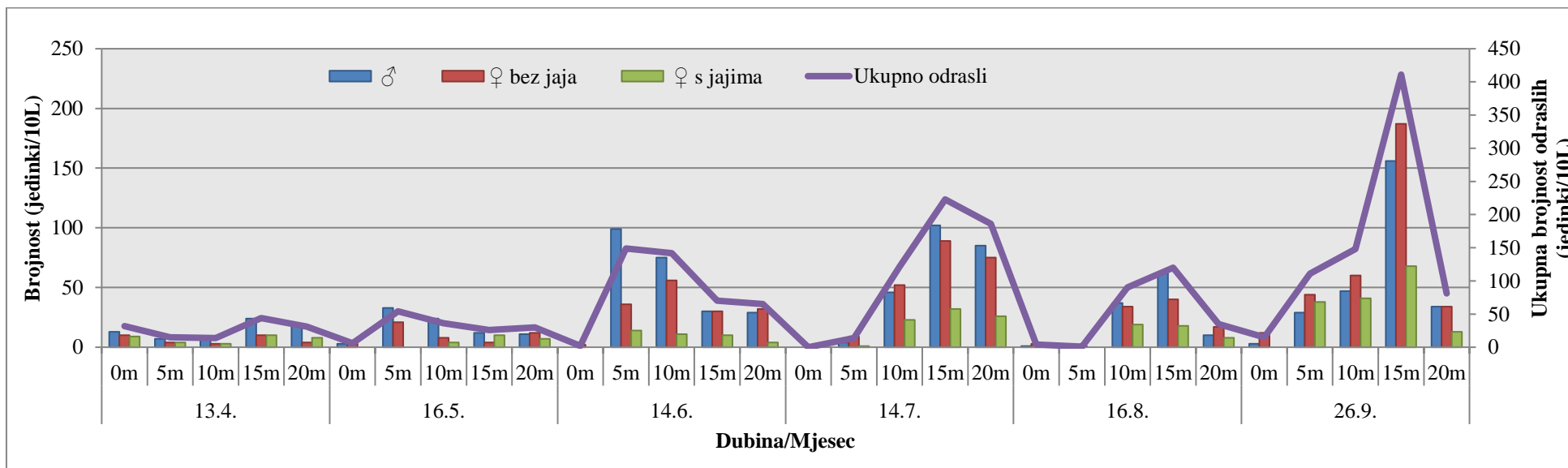
Kada gledamo brojnost Copepoda, prema Slici 4.5. možemo zamijetiti kako u skupini veslonožaca prevladavaju Calanoida, a pošto je nađena samo jedna vrsta u ovoj skupini, *Eudiaptomus hadzici*, pod pojmom Calanoida u daljnjem tekstu podrazumijevat ću ovu vrstu. Cyclopidne vrste u većem broju prisutne su tijekom rujna, dok se u ostalim mjesecima pojavljuju sporadično. Vidljivo je kako je brojnost Copepoda veća pri većim dubinama. Od prisutnih vrsta iz skupine Cyclopoida na Slici 4.6 vidljivo je kako je najčešća vrsta *Cyclops abyssorum*, koja je prisutna tijekom svih mjeseci, dok se *Macrocyclus albidus* i *Mesocyclops leuckarti* pojavljuju u srpnju, a brojniji su tijekom rujna na dubinama od 10 m i 15 m.

Slika 4.7. prikazuje odnos mužjaka, ženki bez jaja, te ženki s jajima vrste *Eudiaptomus hadzici*, a upravo je to vrsta koja brojnošću prevladava u uzorcima. Primijećena je mala brojnost odraslih jedinki u travnju i svibnju na svim dubinama, te iznimno mala brojnost u ljetnim mjesecima pri površini. S druge strane, tijekom ljetnih mjeseci brojnost raste na većim dubinama, te maksimum doživljava u rujnu kada je brojnost i mužjaka i ženki vrste *E. hadzici* najveća (411 odraslih jedinki/10 L). U travnju, svibnju i lipnju, omjer ženki i mužjaka je podjednak, dok u ostalim mjesecima većinom prevladavaju ženke. Ženke s jajima brojnije su u kasnijim mjesecima, a najveću brojnost dosežu u rujnu na dubinama od 5 m, 10 m i 15 m.

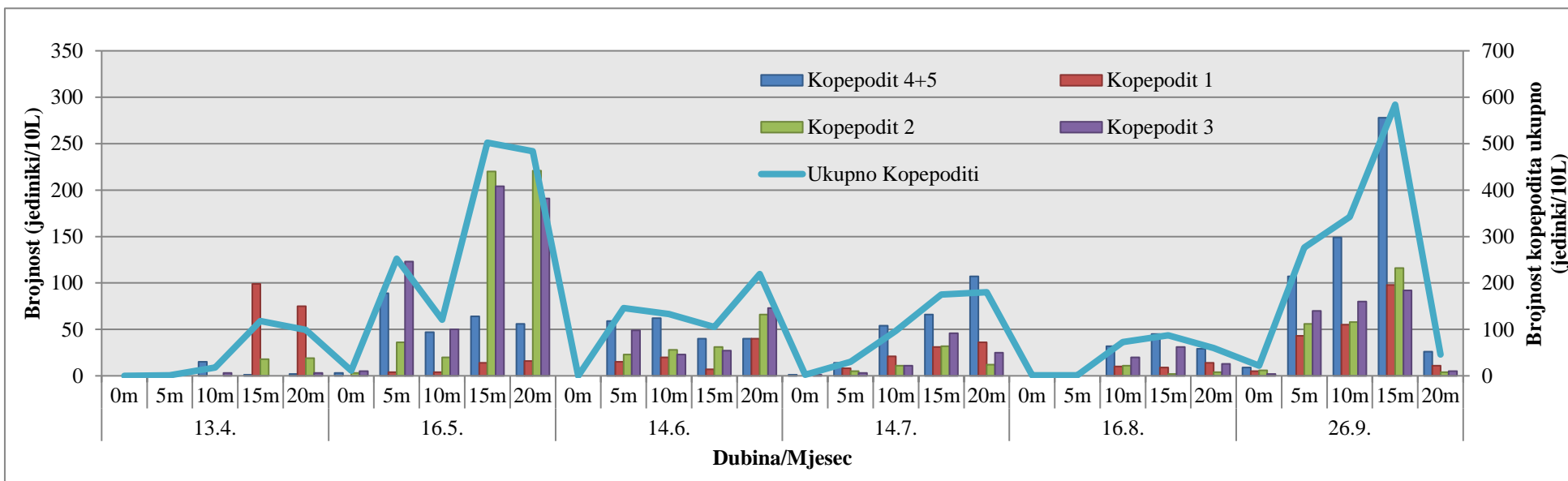
Slika 4.8. prikazuje brojnost kopepoditnih stadija vrste *Eudiaptomus hadzici*. U svim istraživanim mjesecima vidljivo je kako pri malim dubinama i pri površini količina kopepodita je vrlo malena ili uopće nisu pronađeni. Tijekom travnja i kolovoza brojnost kopepoditnih stadija je mala, a u travnju su nađeni kopepoditi stadija 1 u većem broju na dubinama od 15 m i 20 m. U svibnju je velika brojnost kopepodita stadija 2 i 3, posebice na dubinama od 15 m i 20 m. Najveća količina kopepodita zabilježena je u rujnu na dubini od 15 m, 584 jedinki/10 L.



Slika 4.6. Brojnost odraslih jedinki Cyclopidnih vrsta



Slika 4.7. Brojnost odraslih jedinki vrste *E. hadzici* (Calanoida)



Slika 4.8. Brojnost kopepoditnih stadija *E. hadzici* (Calanoida)

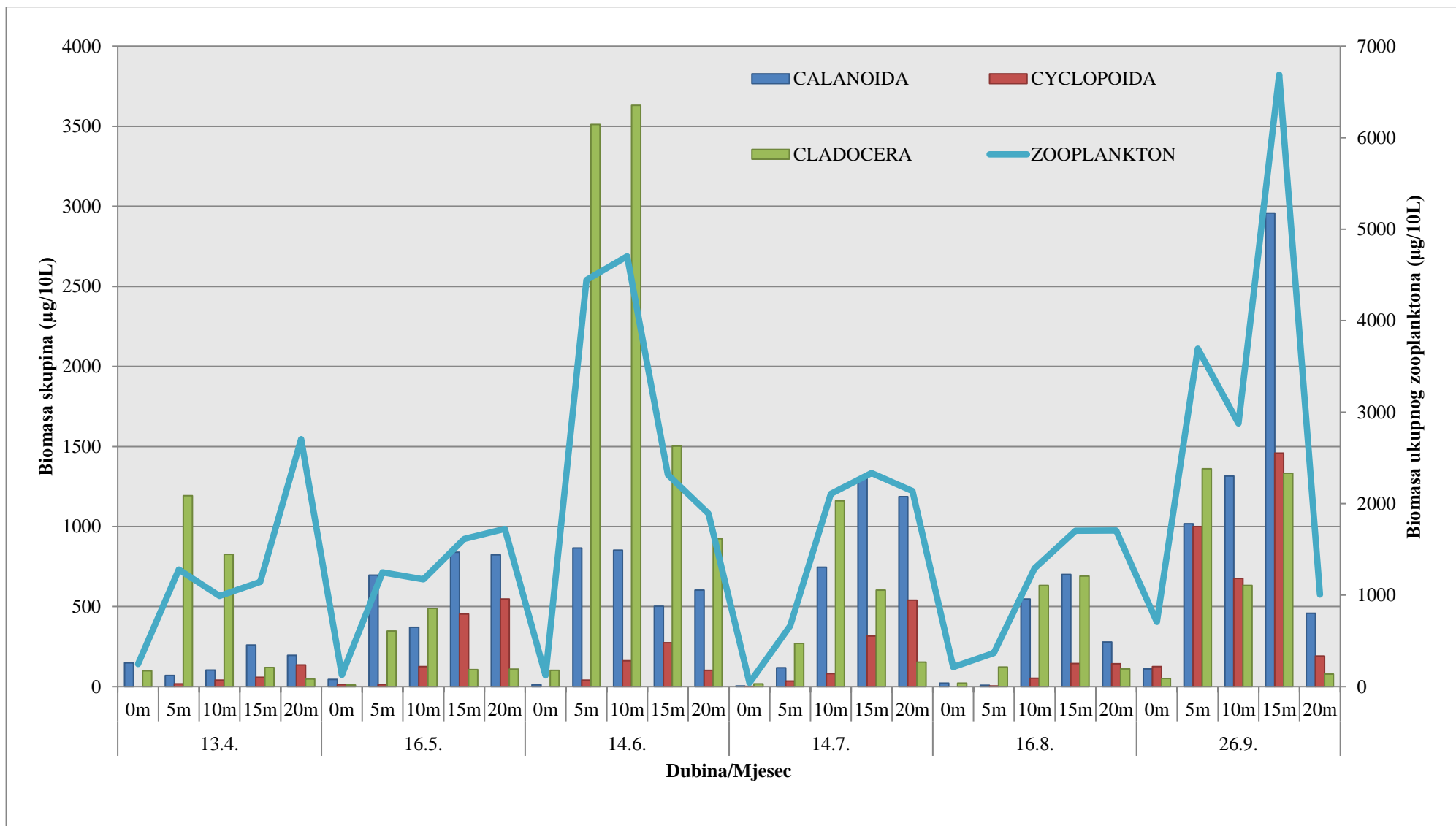


#### 4.2.2. Biomasa zooplanktona

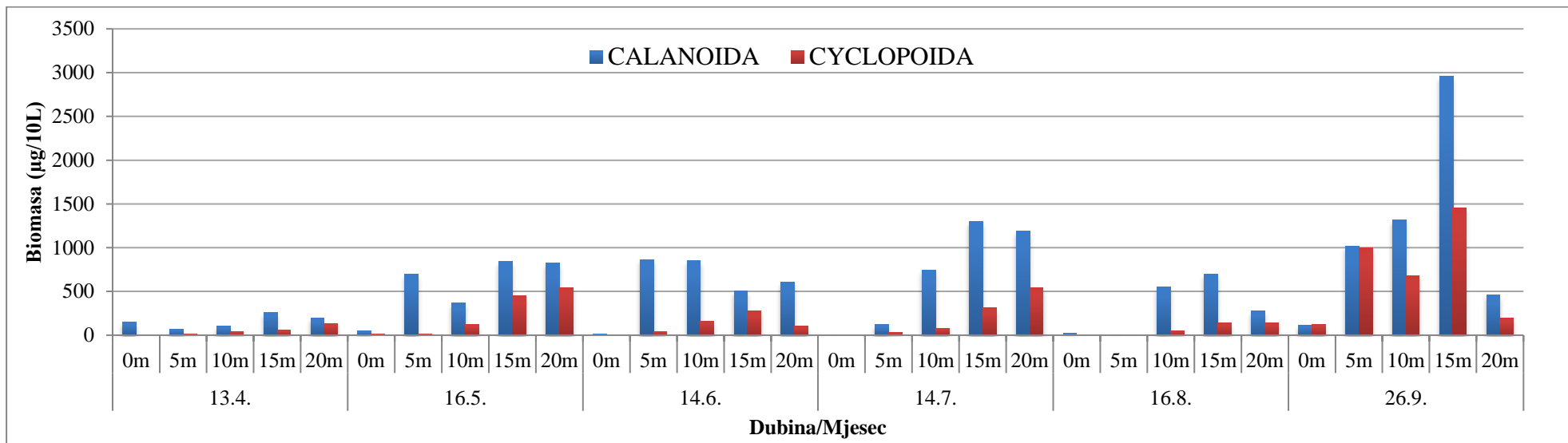
Biomasa zooplanktona i pojedinih skupa planktonskih rakova (Slika 4.9.) pokazuje kako je najveća ukupna biomasa zooplanktona tijekom mjeseca rujna na dubini od 15 m iznosila 6688,7  $\mu\text{g}/10\text{ L}$ . Tijekom travnja pri većim dubinama značajno je povećana biomasa nauplija. Možemo primjetiti kako u lipnju dominira biomasa rašljoticala zbog velike brojnosti vrste *Diaphanosoma brachyurum*. U svibnju, srpnju, kolovozu i rujnu uz rašljoticalce u biomasi dominira skupina Copepoda, posebice Calanoida i vrsta *Eudiaptomus hadzici*. Pri površini jezera općenito su male količine biomase zooplanktona, a najniža biomasa zabilježena je u srpnju pri 0 m te je iznosila 41,44  $\mu\text{g}/10\text{ L}$ . Biomasa zooplanktona u kasnojletnim i jesenskim mjesecima pokazuje trend rasta do dubine od 15 m, te njezino smanjivanje prema 20 m. Unutar skupine Cyclopoida najveće vrijednosti biomase zabilježene su u rujnu.

Na Slici 4.10. vidimo kako biomasa Calanoida dominira u odnosu na biomasu Cyclopoida tijekom svih istraživanih mjeseci. Značajnija biomasa obiju skupina prisutna je u rujnu. Najveća biomasa Cyclopoida je na dubini od 15 m te iznosi 1458,24  $\mu\text{g}/10\text{ L}$ , a posebno je izražena biomasa Calanoida (*E. hadzici*) koja ima svoj maksimum također na dubini od 15 m (2957,66  $\mu\text{g}/10\text{ L}$ ). Biomasa na površini opet pokazuje niske vrijednosti tijekom svih mjeseci. Travanjske vrijednosti biomase skupine Calanoida najniže su u odnosu na ostale istraživane mjesece.

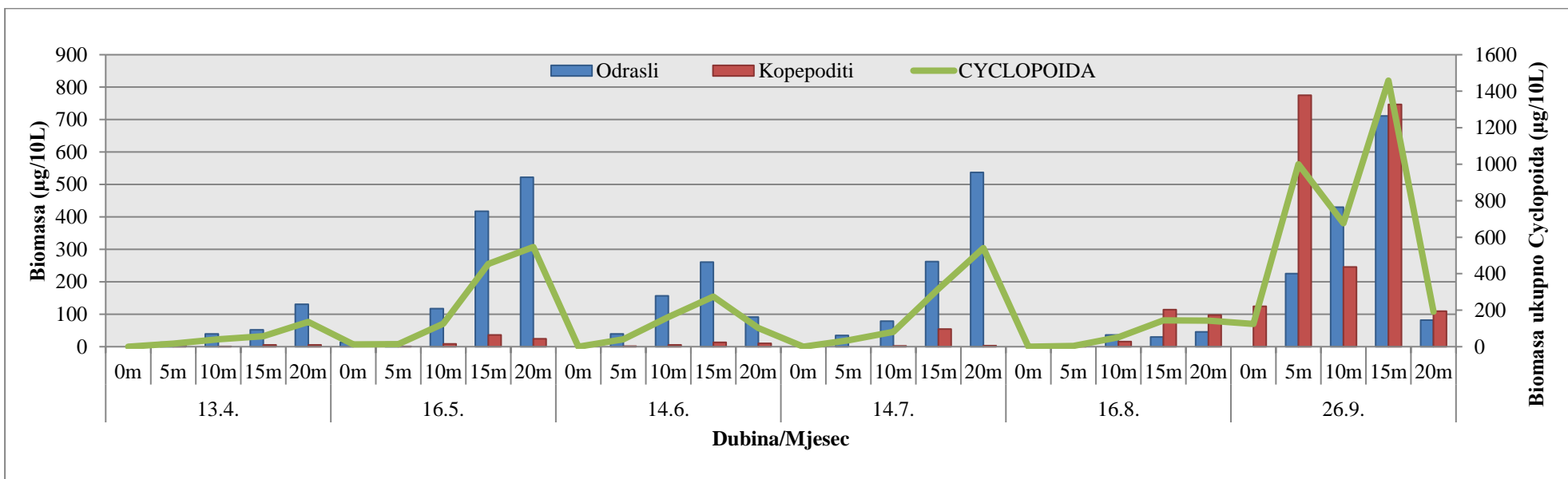
Ako pratimo biomasu juvenilnih i odraslih Cyclopoida na Slici 4.11. možemo primjetiti kako tijekom proljeća i početkom ljeta u biomasi dominiraju odrasle jedinke, a krajem ljeta i u jeseni juvenilni stadiji kopepodita. Maksimum biomase kopepoditi Cyclopoida dostižu u rujnu na dubini od 5 m u iznosu od 775,35  $\mu\text{g}/10\text{ L}$ . Odrasle jedinke Cyclopoida značajniju biomasu imaju na većim dubinama tijekom svih istraživanih mjeseci, izuzev mjesec kolovoz i travanj.



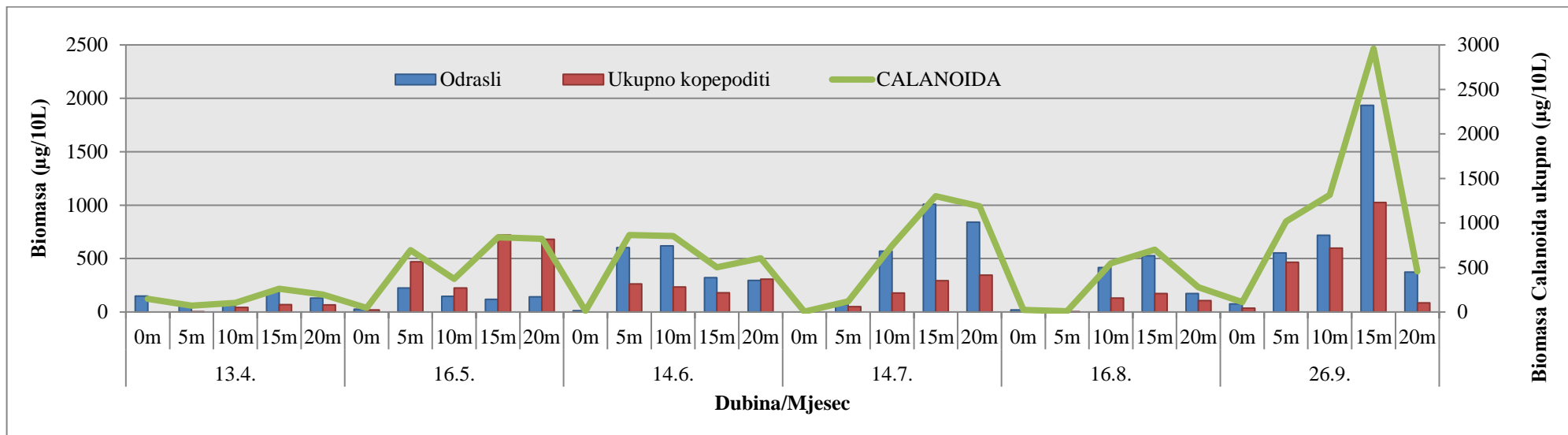
Slika 4.9. Biomasa ukupnog zooplanktona i pojedinih skupina



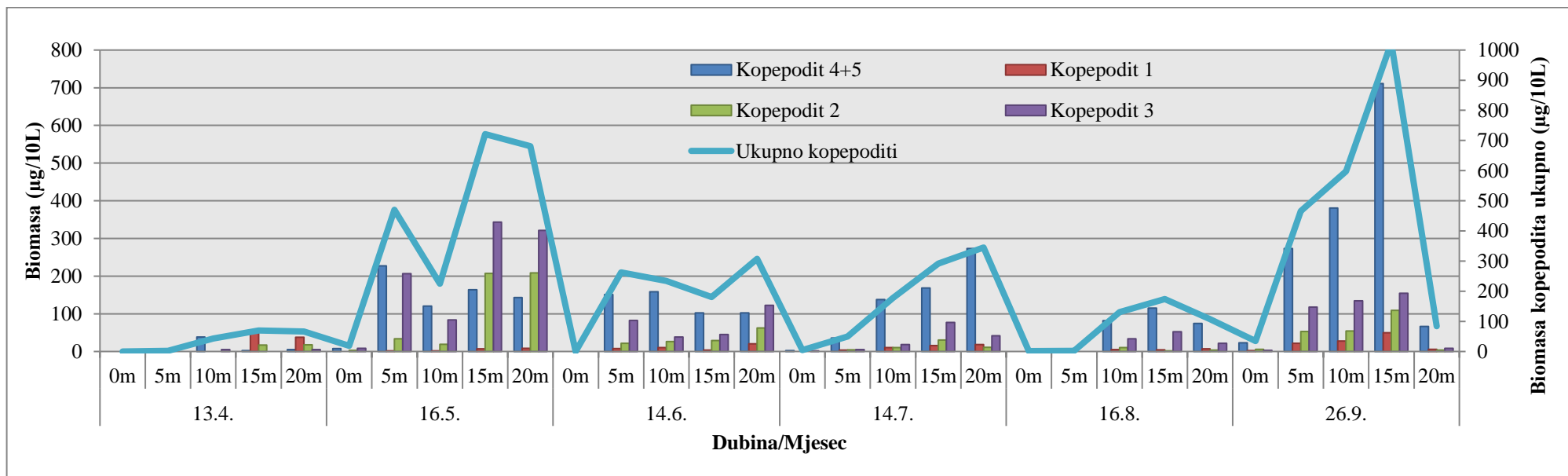
Slika 4.10. Biomasa skupina Copepoda



Slika 4.11. Biomasa Cyclopoidea (odrasli/koepoditi/ukupno)



Slika 4.12. Biomasa Calanoida (odrasli/kopepoditi/ukupno)

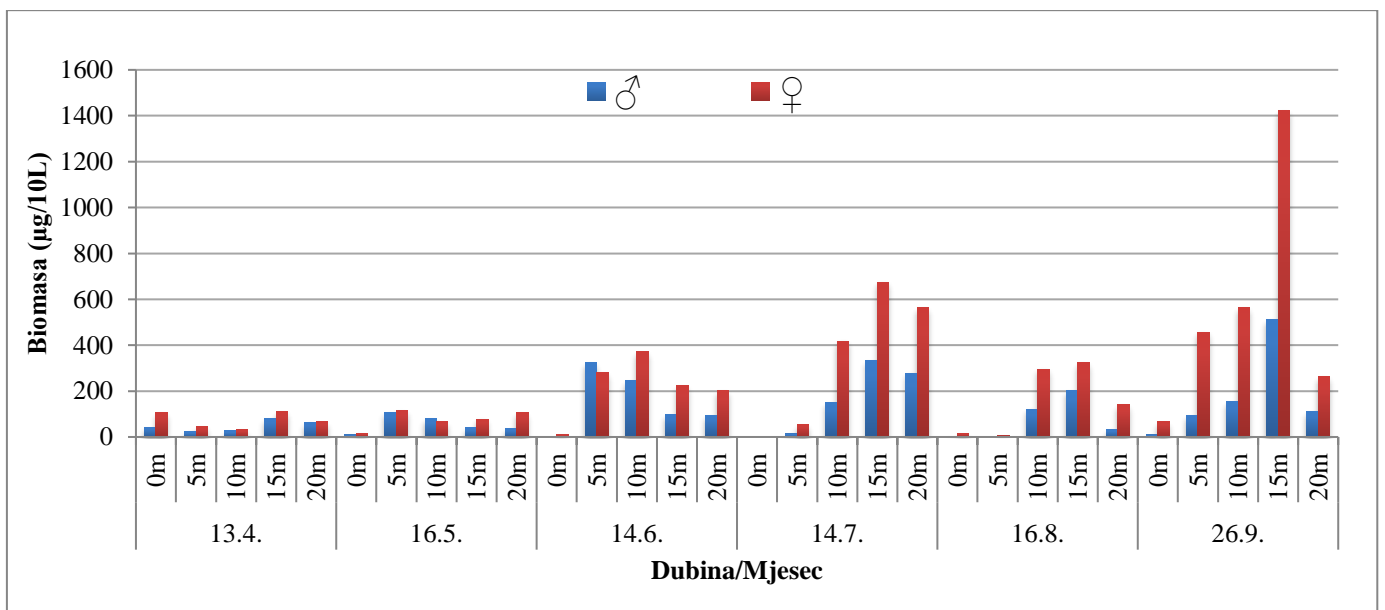


Slika 4.13. Biomasa kopepoditnih stadija Calanoida (*E. hadzici*)

Odnos biomase odraslih stadija vrste *E. hadzici* te juvenilnih stadija prikazan je na Slici 4.12. U travnju biomasa Calanoida je vrlo malena na svim dubinama, a tijekom svibnja dominiraju kopepoditi na svim dubinama. Od lipnja nadalje u biomasi prevladavaju odrasle jedinice, koje maksimum doživljavaju u rujnu, posebice na dubini od 15 m gdje njihova biomasa iznosi 1933,19  $\mu\text{g}/10\text{ L}$ , što je u odnosu na biomasu kopepodita na istoj dubini (1024,47  $\mu\text{g}/10\text{ L}$ ) gotovo udvostručeno.

Kada pratimo biomasu pojedinih kopepoditnih stadija na Slici 4.13. možemo zamijetiti kako je maksimum njihove biomase tijekom rujna (1024,47  $\mu\text{g}/10\text{ L}$ ). Svibanj također ima visoku biomasu, gdje na dubinama od 5 m i 10 m prevladavaju kopepoditni stadiji 3, 4 i 5, dok na dubinama 15 m i 20 m prevladavaju stadiji 2 i 3. Tijekom svih istraživanih mjeseci vidimo nisku biomasu pri površini vode. Biomasa kopepodita 1 tijekom cijelog istraživanog perioda je mala, a značajnija količina prisutna je tijekom travnja na dubinama od 15 m i 20 m, te u rujnu na dubinama od 15 m i 20 m. Travanj i kolovoz su mjeseci sa najmanjom ukupnom biomasom kopepoditnih stadija. U ljetnim mjesecima, a pogotovo u rujnu, vidljiva je dominacija zadnjih kopepoditnih stadija (3, 4 i 5).

Na Slici 4.14. možemo zamijetiti kako je u travnju i svibnju biomasa oba spola vrste *E. hadzici* mala, te je omjer biomase između spolova približno jednak. U ljetnim mjesecima prevladava biomasa ženki u odnosu na mužjake. Rujan ima iznimno visoku vrijednost biomase ženki na dubini od 15 m u iznosu od 1422,14  $\mu\text{g}/10\text{ L}$ .



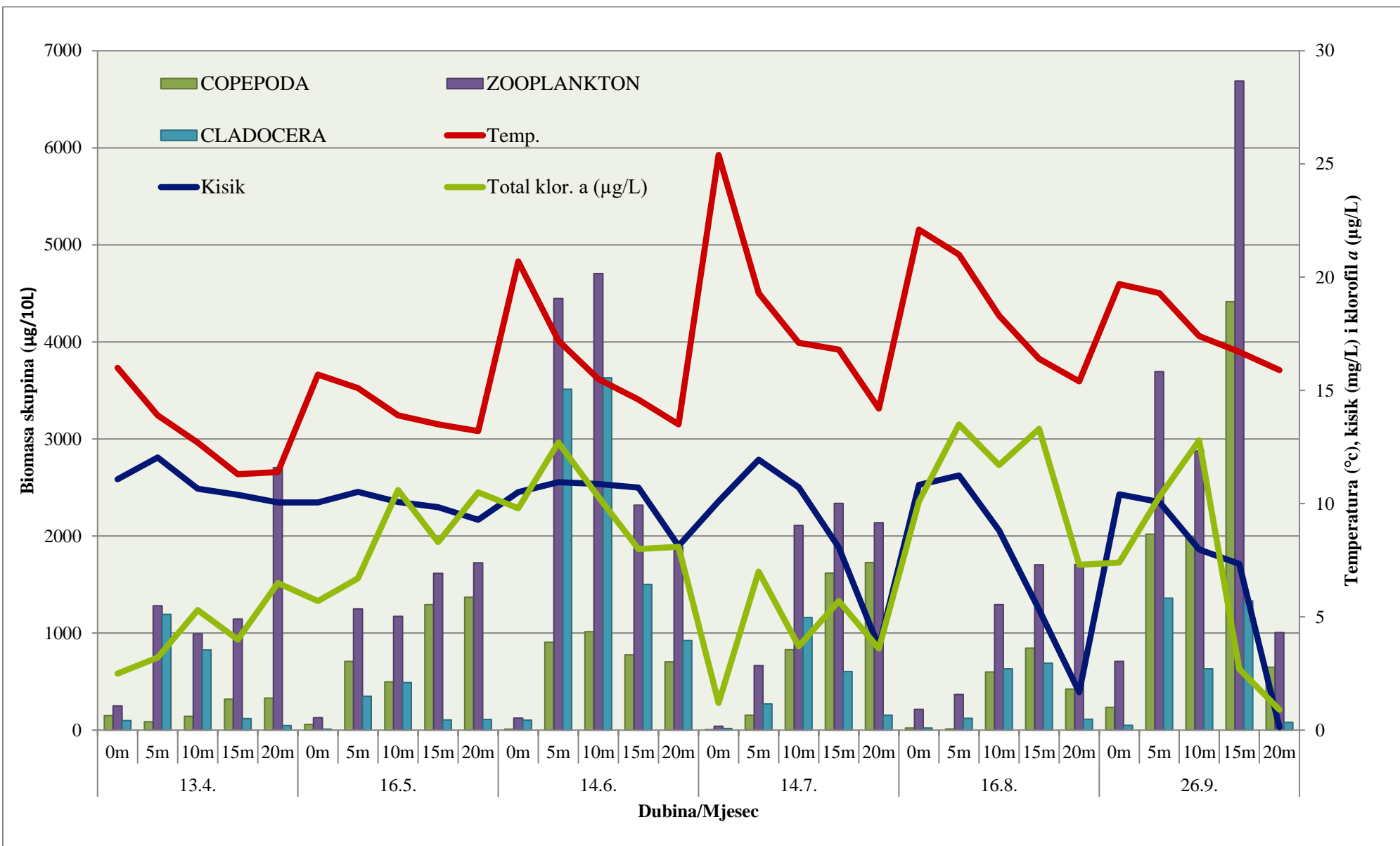
Slika 4.14. Biomasa *E. hadzici* (mužjak/ženka)

### 4.2.3. Dinamika Copepoda s obzirom na parametre okoliša

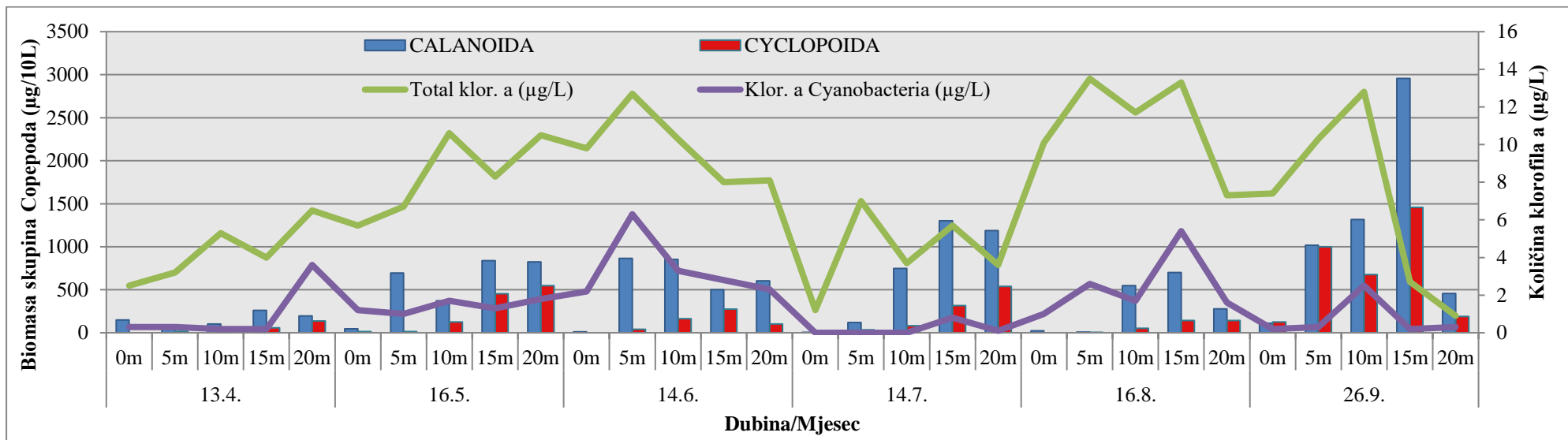
Prateći parametre okoliša utvrđeno je kako vrijednosti temperature i kisika imaju trend smanjivanja sa dubinom (Slika 4.15.) Tijekom lipnja količina biomase ukupnog zooplanktona prati količine klorofila *a*. U kolovozu i rujnu, pri većim dubinama vrijednosti klorofila *a* su manje, no biomasa ukupnog zooplanktona je velika. U svim mjesecima, izuzev srpanj i travanj, s povećanjem temperature, povećava se i količina ukupnog klorofila *a*. Možemo primjetiti kako biomasa Cladocera slijedi vrijednosti temperature i kisika, izuzev na površinskim dubinama te u mjesecu kolovozu.

Pojedine skupine i stadiji Copepoda drugačije reagiraju na parametre okoliša i njihove promjene s porastom dubine ili promjenom godišnjeg doba. Na slici 4.15. vidimo obrnuto proporcionalan odnos između temperature i biomase Copepoda unutar svih istraživanih mjeseci: na većim dubinama su manje temperature, ali veća biomasa ovih planktonskih rakova, dok pri malim dubinama gdje je temperatura vode najviša je biomasa veslonožaca vrlo malena. Količina otopljenog kisika pokazuje ovisnost o vrijednostima temperature po dubinama: veće količine kisika prisutne su pri većim temperaturama. U dubljim dijelovima u kasnojletnim i jesenskim mjesecima prevladavaju hipoksični uvjeti koji uvjetuju smanjenu biomasu, posebice na dubini od 20 m tijekom rujna. Tijekom proljeća i početkom ljeta biomasa Copepoda se povećava sa povećanjem klorofila *a*. U kolovozu su utvrđene velike količine klorofila *a* na dubinama 5 m, 10 m i 15 m, a biomasa veslonožaca puno je manja u odnosu na ostale mjesece. Posebice je zanimljiv rujna gdje je biomasa Copepoda na većim dubinama iznimno velika usprkos niskoj količini klorofila *a*, te hipoksičnim uvjetima.

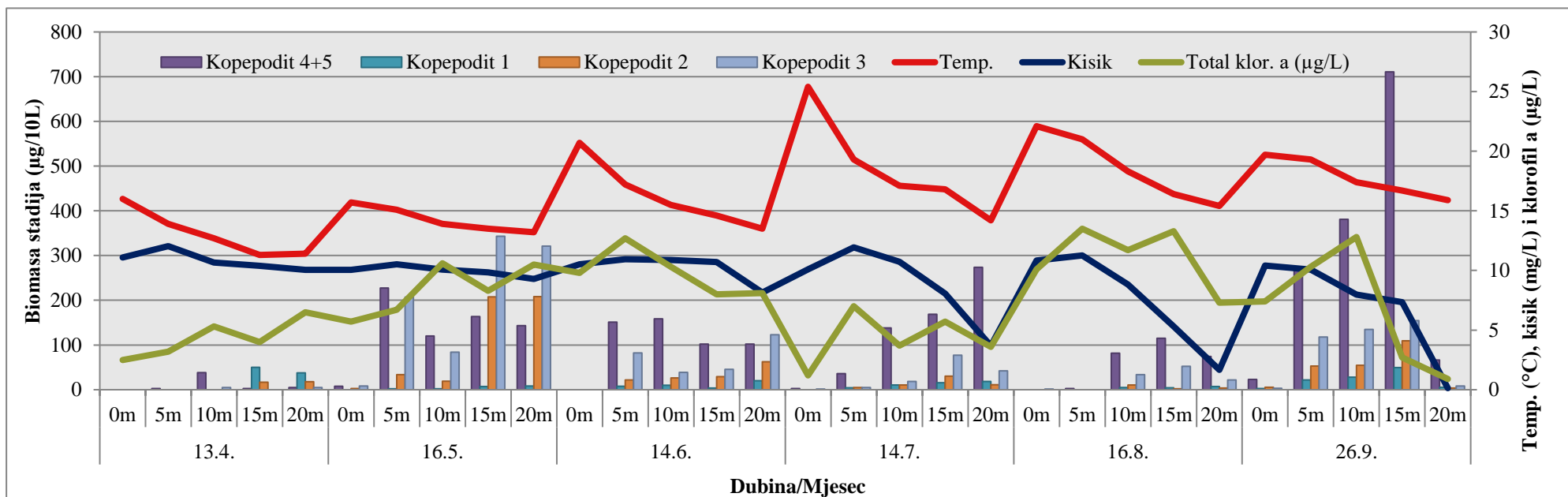
Odnos biomase pronađenih skupina veslonožaca s obzirom na količinu klorofila *a* prisutnog u jezeru u pojedinom mjesecu i dubini prikazan je na Slici 4.16. U lipnju na dubini od 5 m te u kolovozu na dubini od 15 m vidljiva je najveća količina klorofila *a* od cijanobakterija, a to je također popraćeno niskom biomasom Cyclopoida. Veće biomase Cyclopoida prisutne su tijekom rujna na dubinama od 5 m i 15 m te je tu zabilježena iznimno mala količina klorofila *a* cijanobakterija, ali i smanjena količina ukupnog klorofila *a*. Biomasa Calanoida razlikuje se s obzirom na količine klorofila *a*. U proljeće i rano ljeto biomasa Calanoida uglavnom slijedi trend količine klorofila *a*: povećanje klorofila *a* prati povećanje biomase. No, može se zamijetiti kako u srpnju i rujnu imamo visoku biomasu Calanoida i nisku količinu klorofila *a*. Posebice je to izraženo u rujnu na dubini od 15m gdje količina klorofila *a* iznosi 2,7 µg/ L, a biomasa Calanoida 2957,66 µg/10 L.



Slika 4.15. Odnos biomase skupina s obzirom na temperaturu, kisik i klorofil a



Slika 4.16. Odnos biomase Calanoida i Cyclopoidea s obzirom na količine klorofila *a*



Slika 4.17. Odnos biomase kopepoditnih stadij na okolišne parametre



Prikaz biomase kopepoditnih stadija na Slici 4.17. pokazuje kako pri površini vode gdje su visoke temperature je biomasa svih kopepoditnih stadija vrlo mala. Tijekom svibnja promjene u temperaturi te kisiku sa dubinom su najmanje izražene, te je tu i zabilježena najveća biomasa kopepodita 2 (208,4  $\mu\text{g}/10\text{ L}$ ) na dubini od 20 m i 3 (343,13  $\mu\text{g}/10\text{ L}$ ) na dubini od 15 m. Najveća biomasa kopepodita 1 zabilježena je u travnju pri većim dubinama gdje je manja temperatura, te tijekom rujna također pri većim dubinama. Kopepoditi stadija 4 i 5 imaju maksimum biomase u rujnu na dubini od 15 m u iznosu od 710,85  $\mu\text{g}/10\text{ L}$  gdje vladaju hipoksični uvjeti i smanjena količina klorofila *a*. Tijekom srpnja i travnja biomase svih kopepoditnih stadija vrlo su niske u odnosu na druge mjesece.

## 5. RASPRAVA

Visovačko jezero, kao dio Nacionalnog parka Krka, sustavno se istražuje već dugi niz godina. Tijekom ovog istraživanja, mjerili su se i analizirali fizikalno-kemijski parametri od travnja 2016. do rujna 2016. godine, sakupljeni od strane Instituta Ruđer Bošković. U svim mjesecima temperatura se smanjuje od površine prema dubljim dijelovima, što je uobičajeno tijekom toplijih mjeseci. Tijekom ljeta zbog iznimno visokih temperatura, stvara se termoklina na srednjim dubinama (5 m-10 m), te stratifikacija jezera na topliji epilimniji i hladniji hipolimniji. Količina otopljenog kisika slijedi trend temperature: pri većim temperaturama vode, veća je količina otopljenog kisika zbog veće primarne produkcije. Najveća količina otopljenog kisika izmjerena je u srpnju, a tu je također i zabilježena najveća temperatura vode. Veće fluktuacije u promjeni kisika sa dubinom pokazuju ljetni mjeseci te rujna, gdje na dubljim dijelovima vladaju hipoksični uvjeti, a u rujnu na 20m gotovo anoksični uvjeti (0,13 mg/L). Niske količine otopljenog kisika u kasnijim mjesecima nastaju zbog velike količine organske tvari koja se proizvela tijekom proljeća te kasnije pala u dublje dijelove gdje se troši kisik za njezinu razgradnju. Jezero Visovac ima blago lužnatu vodu (7,2 - 8,6 pH), pH se uglavnom smanjuje sa dubinom, te nisu zamijećena veća odstupanja tijekom istraživanih mjeseci, što pogoduje vodenim organizmima koji mogu tolerirati male promjene pH. Količine ukupnog klorofila *a* slijede trend temperature: povećanje temperature uzrokuje povećanje klorofila *a* zbog veće primarne produkcije i obrnuto. Mjesec koji odstupa je srpanj gdje pri površinskim dubinama imamo vrlo visoke temperature a nisku koncentraciju klorofila *a*. U dubljim dijelovima, zbog smanjene prozirnosti vode, manje su vrijednosti klorofila *a*.

Najveća brojnost ukupnog zooplanktona zabilježena je na dubini od 20 m zbog velike količine nauplija (>2500 nauplija/10 L). Tijekom zimskog perioda izotermije, rijeke dovode veliku količinu organske materije u Visovac, čijom razgradnjom se u proljetnim, toplijim mjesecima povećava primarna produkcija pa se mnoge vrste tada razmnožavaju, proizvodeći tako velik broj nauplija. Također u ovom periodu je i smanjena aktivnost predatorskih planktivornih riba koje se hrane njima. Općenito, brojnost ukupnog zooplanktona tijekom svih mjeseci veća je pri većim dubinama, što je moguća posljedica vremena uzorkovanja u prijepodnevnim i podnevnim satima. U to vrijeme, vrste koje rade vertikalne migracije, odlaze u dublje, hladnije dijelove zbog zagrijavanja površinske vode. U ljetnom periodu ukupna brojnost zooplanktona je mala zbog visokih temperatura te većeg predatorskog pritiska planktivornih riba. Budući da zooplankton tijekom proljetnog razdoblja intenzivno troši čestice iz vode, povećava se prozirnost vode u ljetnim mjesecima, a to omogućava

predatorima poput riba i njihovih larvi da vrše predaciju na zooplankton (Nurminen i sur. 2007). Mjesec s najvećom biomasom ukupnog zooplanktona je rujan (6688,7 µg/10 L). Trošenje velikih količina organske tvari u jesen, nastalih organskom produkcijom tijekom proljeća i ljeta, pogoduju većini vrsta da se u tom periodu intenzivno hrane i razvijaju.

Unutar skupine Cladocera, najveću brojnost zabilježila je vrsta *Diaphanosoma brachyurum*. Ova vrsta je pokazatelj povećane trofije (Ternjej i sur. 2007), a posebice je brojna u lipnju na dubinama od 5 m i 10 m. Na ovoj dubini u ljetnim mjesecima javlja se termoklina koju mnogi organizmi žele iskoristiti, te su tu zabilježene maksimalne vrijednosti klorofila *a* od cijanobakterija što je pokazatelj velike količine hrane za zooplanktonske filtratore. Budući da su kopepoditni stadiji vrste *E. hadzici* u konkurenciji za hranu s *D. brachyurum*, njihova brojnost je u ovom periodu smanjena. U kasnijim mjesecima u brojnosti prevladavaju Copepoda, zbog sve većeg predatorskog pritiska omnivornih Cyclopoidnih vrsta na Cladocera (zbog manjka hrane), te konkurencijskim pritiskom Calanoida na Cladocera za hranu. Također, odrasle planktivorne ribe aktivnije su preko ljeta, te konzumiraju veće zooplanktonske organizme, pogotovo Cladocera (Burks i sur. 2002), dok su Copepoda bolje zaštićeni putem mehanizama s kojima mogu pobjeći (Estlander i sur. 2009). Ostale vrste Cladocera pojavljuju se u manjem broju tijekom svih istraživanih mjeseci. Npr. vrsta *Bosmina longirostris* malena je, te je manje efikasan filtrator u odnosu na druge veće filtratorske vrste, te se stoga javlja vrlo rijetko.

Dok su Cyclopoida omnivori i predatori, Calanoida se generalno smatraju herbivorima, ali su također i predatori i omnivori (Lampert i Sommer 2007), te mogu konzumirati mali zooplankton (rotifera, protozoa). Za *Eudiaptomus spp.* je poznato da se hrani fitoplanktonom različitih veličina i sastava (Sommer i Sommer 2006). Copepoda imaju vrlo dobro razvijene mehanoreceptore i kemoreceptore, s kojima vjerojatno mogu detektirati ostale okolišne informacije u ekosistemu, poput prisustva predatora, promjene u koncentraciji fitoplanktona ili gustoću populacije (Strickler i Twombly 1975). Za razliku od Cladocera, Copepoda jedu veće čestice i ne filtriraju, već zarobe čestice iz vode stvaranjem vlastite struje vode. Isto tako mogu detektirati toksične stanice te ih izbaciti prilikom hranjenja. Na taj način mogu „birati“ čestice koje će pojesti iz okoliša, te tako efikasnije se hraniti u odnosu na Cladocera.

Promatrajući brojnost veslonožaca, vidljivo je kako Calanoida, tj. vrsta *E. hadzici* prevladava u svim mjesecima. Zamijećeno je kako biomasa Copepoda raste sa smanjenjem temperature u vodi, i obrnuto. Generalno se smatra da omjer Calanoida – Cyclopoida opada s rastom eutrofikacije. No, na Hrvatskoj obali u krškim jezerima je obrnuto: većina jezera s

povećanom trofijom imaju dominantnost Calanoida (Bukvić-Ternjej i sur. 2001). Ako se izuzmu predatorski utjecaji, pojava Cyclopoida, posebice vrste *C. abyssorum*, tijekom ljeta u Visovačkom jezeru svakako je posljedica povećane trofije jezera (Ternjej i sur. 2007). Cyclopoida u pravilu nakon što se izlegu u proljeće, razvijaju se do 4. i/ili 5. stadija, te ih preko ljeta nema jer se zakopavaju u sediment te se opet pojavljuju u jesen i završavaju svoj razvoj. Visovačko jezero ima povećanu trofiju zbog Krke koja protječe kroz jezero, te to utječe na dinamiku Copepoda, posebice tijekom zime i u rano proljeće, što uzrokuje drugačiji godišnji ciklus veslonožaca (Bukvić-Ternjej i sur. 2001). Odrasle jedinke Cyclopidnih vrsta pojavljuju se tek u srpnju, a u većem broju ih nalazimo u rujnu, dok se Calanoida pojavljuju u svim mjesecima, što je potvrdilo pretpostavku od Einsle-a (1998) da se Cyclopoida pojavljuju samo u pojedinim sezonama (ljet/zima), a Calanoida tijekom cijele godine. Ljetne generacije Cyclopoida su povezane sa niskim predatorskim pritiskom planktivornih vrsta riba, ali i dovoljnom količinom hrane potrebnom za razvoj pojedinih Cyclopidnih stadija (Ternjej i sur. 2007). U Visovačkom jezeru se nalazi ljetna populacija omogućena dovoljnom količinom hrane, što potvrđuje ukupna biomasa kopepoditnih stadija Cyclopoida koja ima veću vrijednost samo tijekom rujna. Ukoliko bi trofija jezera bila smanjena, Calanoida bi kroz redukciju hrane potrebne za razvoj Cyclopidnih nauplija i kopepodita, onemogućili njihov rast i razvoj (Soto i Hurlbert 1991).

Dinamika vrste *E. hadzici* važna je za funkcioniranje cijelog jezerskog sustava jer je ova vrsta važna karika u hranidbenom lancu Visovačkog jezera. Broj mužjaka i ženki te njihov omjer, mijenja se u jezeru ovisno da li ima planktivornih riba ili nema. Omjer spolova kod vrste *E. hadzici* pokazuje kako ženke prevladavaju u brojnosti i biomasi tijekom svih mjeseci, a posebice je velika biomasa ženki u kasnojletnim mjesecima te u rujnu, gdje su nađene mnoge ženke s jajima, što nam pokazuje kako je predatorski utjecaj planktivornih riba u jesen smanjen. Hairston i sur. (1983) su uočili kako planktivorne ribe povećavaju smrtnost ženki jer su veće od mužjaka, imaju jaja i vidljivije pa ih lakše pojedu (iako se dimorfizam javlja tek u odrasloj fazi). Sama povećana trofija Visovačkog jezera također pogoduje rastu populacije ove vrste, jer je veće zamućenje vode, te onda predatori imaju manju vidljivost pa je manji predatorski pritisak.

Gledajući kopepoditne stadije Calanoida, možemo vidjeti kako je povećana brojnost kopepodita stadija 1 tijekom travnja i rujna, te kopepodita 2 i 3 tijekom svibnja, što dovodi da zaključka kako postoje 2 generacije vrste *E. hadzici* u njihovom životnom ciklusu. Također, u ovim periodima promjene u temperaturi i kisiku su najmanje izražene u vertikalnom stupcu vode. Fitoplankton i usitnjena organska tvar se smatraju mogućim izvorom hrane za

zooplankton, a koncentracije klorofila *a* su indikator biomase fitoplanktona, koji je glavna hrana makrofiltratora poput *E. hadzici* (Špoljar i sur. 2011). Zato se proljetna generacija razvija nakon zimske izotermije kad je velika količina hranjivih tvari, te odrasle jedinke izlaze iz dijapauze, što im omogućava sinkronizaciju razmnožavanja u periodu kada su uvjeti u okolišu najpovoljniji. Proljetnu generaciju potvrđuju visoke biomase kopepoditnih stadija 1, 2 i 3 tijekom travnja, te općenito povećana biomasa kopepodita u svibnju. Jesenska generacija razvija se zbog velike količine organske tvari i klorofila *a* nastalih tijekom ljeta koji pogoduju razmnožavanju i prehrani ranih stadija Copepoda. Tijekom zime, jedinke mogu preživjeti nepovoljne uvjete na način da uđu u dijapauzu ili proizvedu dormantna jaja, koja se razvijaju na proljeće (što sprječava kolaps populacije ukoliko uvjeti u jezeru postanu nepovoljni za život). Razlog za aktivaciju dijapauze te izlazak iz nje kod Copepoda nije razjašnjen. Elgmork (1967) smatra kako je fotoperiod pokretač dijapauze, Johnson (1980) smatra kako je sve regulirano temperaturom vode, dok Brewer (1964) smatra kako je početak izlijeganja jaja kod nekih vrsta uzrokovan smanjenom koncentracijom kisika (niske koncentracije kisika u kasnojletnim i jesenskim mjesecima potvrđuju ovu hipotezu). Zooplanktonski organizmi često su dobar pokazatelj kvalitete vode jer su osjetljivi na ekološke promjene u vodenim ekosustavima. Nestanak pojedinih vrsta i njihovih populacija može ukazivati na negativne utjecaje u ekosistemu, često nastale antropogenim utjecajem. Prema Vrebčević (1996), 9 pronađenih vrsta makrozooplanktona pokazuje kako jezero Visovac ima nizak stupanj trofije, no dinamika Copepoda pokazuje povećan stupanj trofije, što može uzrokovati štetne utjecaje u okolišu. U nepovoljnim uvjetima, dormantna jaja ponekad su jedini način da populacija preživi. Npr. u ljetnim mjesecima, u periodima suše, Copepoda na taj način mogu preživjeti niske količine kisika i visoke temperature (Dahms 1995).

*E. hadzici* je diaptomidna vrsta koja ima vrlo ograničen areal na samo balkansku regiju, sa najsjevernijom distribucijom u julijanskim alpama (Jersabek i sur. 2001). To je jedina nađena vrsta iz skupine Calanoida, što se slaže sa postavkom da diaptomidne vrste Calanoida rijetko koegzistiraju zajedno u ekosustavima, sugestirajući snažnu interspecijsku kompeticiju između ovih filtratora (Jersabek i sur. 2001). Kod roda *Eudiatomus* uočena su 3 tipa dijapauze u životnom stadiju: dormantna jaja, ljetna dijapauza kod kopepodita 4 i 5, te dijapauza kod odradlih preko zime (Pasternak i Arashkevich 1999). Pasternak i Arashkevich (1999) su uočili kako dijapauza kod stadija 4 i 5 vrste *E. graciloides* nije obavezna, te se događa samo preko ljeta kada parametri okoliša ne pogoduju razvoju kopepodita. Svi ovi mehanizmi omogućuju populaciji vrste *E. hadzici* da uspješno prevlada nepovoljne uvjete u okolišu, te nam mogu dati uvid u trenutno stanje ekosustava.

## 6. ZAKLJUČAK

Analizom podataka prikupljenih ovim istraživanjem zaključeno je sljedeće:

- Utvrđeno je ukupno 9 vrsta planktonskih rakova. 5 iz skupine Cladocera: *Diaphanosoma brachyurum*, *Daphnia cucullata*, *Daphnia longispina*, *Leptodora kindtii* i *Bosmina longirostris*, te 4 iz skupine Copepoda: *Eudiaptomus hadzici*, *Mesocyclops leuckarti*, *Macrocyclus albidus* i *Cyclops abyssorum*.
- Vrijednosti temperature vode kreću se od 11-25 °C sa smanjenjem prema dubljim dijelovima. Tijekom ljeta prisutna je termoklina zbog jakog površinskog zagrijavanja. U srpnju je zabilježena najviša temperatura vode (25,4 °C).
- Količine otopljenog kisika kreću se u rasponu od 0,13 – 12,33 mg/L. Hipoksični uvjeti (> 5 mg/L) prisutni su tijekom ljetnih mjeseci na većim dubinama zbog eutrofikacije i razgradnje organske tvari.
- Ukupne koncentracije klorofila *a* kreću se od 0,9 do 13,5 µg/L. Vrijednosti klorofila *a* uglavnom slijede vrijednosti temperature (viša temp = veća kol. klor. *a*).
- Ukupna brojnost i biomasa zooplanktona ovisi o vremenskom razdoblju i dubini vodenog stupca. Najveća brojnost ukupnog zooplanktona zabilježena je u travnju, zbog velike količine nauplija, a najveća biomasa ukupnog zooplanktona u rujnu.
- Skupina Copepoda prevladava brojnošću i biomasom u svim mjesecima, osim u lipnju kada brojnošću i biomasom dominira skupina Cladocera (posebice *D. brachyurum*).
- Kod skupine Copepoda, očita je dominacija Calanoida (*E. hadzici*) u odnosu na Cyclopoida i u biomasi i u brojnosti.
- Pojava Cyclopoidnih vrsta u kasno ljeto i jesen ukazuje na povišenu trofiju Visovačkog jezera.
- Velika brojnost kopepoditnih stadija 1, 2 i 3 iz skupine Calanoida pokazuje 2 godišnje generacije potomaka: proljetna i jesenska, što je također znak povećane trofije jezera i veće količine hrane u jezeru.
- Povećan broj ženki u odnosu na mužjake kod *E. hadzici* također ukazuje na smanjen predatorski utjecaj planktivornih riba, te povećanu trofiju jezera.
- Dormancija i stadiji dijapauze kod vrste *E. hadzici* omogućavaju preživljavanje nepovoljnih uvjeta u okolišu, te mogu ukazati na promjene u ekosustavu.



## 7. LITERATURA

Adria R., Frost T. M. (1993): Omnivory in cyclopoid copepods: comparisons of algae and invertebrates as food for three, differently sized species. *Journal of Plankton Research*, Vol. 15, 643-658.

Amoros C. (1984): Crustaceas cladoceres. *Bull. Soc. Linn., Lyon*, 3/4, 1-63.

APHA (2012): *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22nd edition. (Editors: Rice E. W., Baird R. B., Eaton A. D., Clesceri L. S.) American Public Health Association, Washington.

Ban S., Minoda T. (1992): Hatching of diapause eggs of *Eurytemora affinis* (Copepoda: Calanoida) collected from lake-bottom sediments. *Journal of Crustacean Biology*, Vol. 21, 51-56.

Bottrell H. H., Duncan A., Gliwicz Z. M., Grygierek E., Herzig A., Hillbricht-Ilkowska A., Kurasawa H., Larsson P., Weglenska T. (1976): A review of some problems in zooplankton production studies. *Norwegian Journal of Zoology*, Vol. 24, 419-456.

Brewer R. H. (1964): The phenology of *Diaptomus stagnalis* (Copepoda: Calanoida): the development and the hatching of the egg stage. *Physiological Zoology*, Vol. 37, 1-20.

Bukvić-Ternjej I., Kerovac M., Mihaljević Z., Tavčar V., Mrakovčić M., Mustafić P. (2001): Copepod communities in karstic mediterranean lakes along the eastern Adriatic coast. *Hydrobiologia*, Vol. 453, 325-333.

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

Byron E. R. (1982): The adaptive significance of calanoid copepod pigmentation: A comparative and experimental analysis. *Ecology*, Vol. 63, 1871-1886.

Coleman J. R., Coleman B. (1981): Inorganic carbon accumulation and photosynthesis in a blue-green alga as a function of external pH. *Plant Physiology*, Vol. 67, 917-921.

Dahms H. U. (1995): Dormancy in the Copepoda – an overview. *Hydrobiologia*, Vol. 306, 199-211.

Darwin C. R. (1859): *On the origin of species by means of natural selection, on the preservation of favoured races in the struggle for life*. John Murray, London.

DeMott W. R., Moxter F. (1991): Foraging on cyanobacteria by copepods: responses to chemical defenses and resource abundance. *Ecology*, Vol. 72, 1820-1834.



- Dodson S. I. (1970): Complementary feeding niches sustained by size-selective predation. *Limnology and Oceanography*, Vol. 15, 131-137.
- Dumont H. J., Van de Velde I., Dumont S. (1975): The dry weight estimate in biomass in a selection of Cladocera, Copepoda and Rotifera from plankton periphyton and benthos of continental waters. *Oecologia*, Vol. 19, 75-97.
- Einsle U. (1988): The long-term dynamics of crustacean communities in Lake Constance (Obersee, 1962-1986). *Swiss journal of hydrology*, Vol. 50, 136-165.
- Einsle U. (1993): Crustacea, Copepoda, Calanoida und Cyclopoida. Süßwasserfauna von Mitteleuropa 8/4. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Elgmork K. (1967): On the distribution and ecology on *Cyclops scutifer* Sars in New England (Copepoda, Crustacea). *Ecology*, Vol. 48 (6), 967-971.
- Engel M. (2005): Calanoid copepod resting eggs – a safeguard against adverse environmental conditions in the German Bight and Kara Sea?. Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Vol. 508.
- Enright J. T. (1977): Diurnal vertical migration: Adaptive significance and timing. Part 1. Selective advantage: A metabolic model. *Limnology and Oceanography*, Vol. 22 (5), 856-872.
- Estlander S., Nurminen L., Olin M., Vinni M., Horppila J. (2009): Seasonal fluctuations in macrophyte cover and water transparency of four brown-water lakes: implications for crustacean zooplankton in littoral and pelagic habitats. *Hydrobiologia*, Vol. 620, 109-120.
- Gyllström M., Hansson L. A. (2004): Dormancy in freshwater zooplankton: Induction, termination and the importance of benthic-pelagic coupling. *Aquatic Science*, Vol. 66, 274-295.
- Hairston N. G., Jr, Walton W. E., Li K. T. (1983): The causes and consequences of sex-specific mortality in a freshwater copepod. *Limnology and Oceanography*, Vol. 28 (5), 935-947.
- Hairston N. G., Olds E. J. (1987): Population differences in the timing of diapause: a test of hypotheses. *Oecologia*, Vol. 1987, 339-344.
- Hairston N. G., Jr, Van Brunt R. A., Kearns C. M., Engstrom D. R. (1995): Age and survivorship of diapausing eggs in a sediment egg bank. *Ecology*, Vol. 76, 1706-1711.
- Hrbaček J. (1962): Species composition and the amount of zooplankton in relation to the fish stock. *Rospravy Ceskoslovenski Akademie Ved Rada Matematickych a Prirodnich Ved*, Vol. 72, 1-116.
- Hutchinson G. E. (1958): Homage to Santa Rosalia, or why there are so many kinds of animals. *The American Naturalist*, Vol. 93, 145-159.

Hutchinson G. E. (1967): A treatise on limnology. Vol. 2. Introduction to lake biology and the limnoplankton. Wiley, New York.

IUCN (2017): The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2017-1.

Jersabek C. D., Brancelj A., Stoch F., Schabetsberger R. (2001): Distribution and ecology of copepods in mountainous regions of the Eastern Alps. *Hydrobiologia*, Vol 453/454, 309-324.

Johnson J. K. (1980): Effects of temperature and salinity on production and hatching of dormant eggs of *Acartia californiensis* (Copepoda) in an Oregon estuary. *Fishery Bulletin*, Vol. 77, 567-584.

Koehl M. A. R., Strickler J. R. (1981): Copepod feeding currents: Food capture at low Reynolds numbers. *Limnology and Oceanography*, Vol. 26, 1062-1073.

Lampert W. (1987): Laboratory studies on zooplankton cyanobacteria interactions. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, Vol. 21, 482-490.

Lampert W. (1993): Ultimate causes of diel vertical migration of zooplankton: new evidence for the predator avoidance hypothesis. *Archiv für Hydrobiologie–Beiheft Ergebnisse der Limnologie*, Vol. 39, 79-88.

Lampert W., Sommer U. (2007): *Limnoecology*. Oxford university press, New York, USA.

Malley D. F., Lawrence S. G., Madver M. A, Findlay W. J. (1989): Range of variation in estimates of dry weight for planktonic Crustacea and Rotifera from temperate North American lakes. *Canadian technical report of fisheries and aquatic sciences* 1666, 49 p.

Mihaljević Z., Kerovec M., Ternjej I. (2007): Vertikalna struktura makrozoobentosa donjeg bazena visovačkog jezera. *Zbornik radova Rijeka Krka i Nacionalni park „Krka“ prirodna i kulturna baština, zaštita i održivi razvitak* ( Ur. D. Marguš). Javna ustanova „Nacionalni park Krka“, Šibenik, 563-576.

Moss B. (1980): *Ecology of fresh waters*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Nurminen L., Horppila J., Peckan-Hekim Z. (2007): Effect of light and predator abundance on the habitat choice of plant-attached zooplankton. *Freshwater Biology*, Vol. 52, 539-548.

Oelkers E. H., Hering J. G., Zhu C. (2011): Water: is there a global crisis?. *Elements*, Vol. 7, 157-162.

Pasternak A. F., Arashkevich E. G. (1999): Resting stages in the life cycle of *Eudiaptomus graciloides* (Lill.) (Copepoda: Calanoida) in Lake Glubokoe. *Journal of Plankton Research*, Vol. 21, 309-325.

Sala O. E., Chapin F. S., Armesto J. J., Berlow R., Bloomfield J., Dirzo R., Huber-Sanwald E., Huenneke L. F., Jackson R. B., Kinzig A., Leemans R., Lodge D., Mooney H. A.,

Oesterheld M., Poff N. L., Sykes M. T., Walker B. H., Walker M, Wall D.H. (2000): Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, Vol. 287, 1770-1774.

Sommer U., Sommer F. (2006): Cladocerans versus Copepods: the cause of contrasting top-down controls on freshwater and marine phytoplankton. *Oecologia*, Vol. 147, 183-194.

Soto D. Hurlbert S. H. (1991): Long-term experiment on calanoid-cyclopoid interactions. *Ecological Monographs*, Vol. 61, 245-265.

Strickler J. R., Twombly S. (1975): Reynolds number, diapause and predatory copepods. *Verh. International Association of Theoretical and Applied Limnology. Verhandlungen*, Vol. 19, 2943-2950.

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*. Vol. 96, 175-190.

Ternjej I., Mihaljević Z., Kerovec M. (2007): Makrozooplankton visovačkog jezera. Zbornik radova Rijeka Krka i Nacionalni park „Krka“ prirodna i kulturna baština, zaštita i održivi razvitak ( Ur. D. Marguš). Javna ustanova „Nacionalni park Krka“, Šibenik, 577-597.

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

Zeller M., Jimenez-Melero R., Santer B. (2004): Diapause in the calanoid freshwater copepod *Eudiaptomus graciloides*. *Journal of Plankton Research*, Vol. 26, 1379-1388.

### **Internetski izvori podataka:**

[www.slideshare.net/robswatski/biol-101-chp-52-introduction-to-ecology-the-biosphere](http://www.slideshare.net/robswatski/biol-101-chp-52-introduction-to-ecology-the-biosphere) (preuzeto 08.09.2017.)

[www.studyblue.com/notes/n/biology-5c-midterm-1/deck/6357090](http://www.studyblue.com/notes/n/biology-5c-midterm-1/deck/6357090) (preuzeto 08.09.2017.)

[www.soki.aq/display/Biota/Profile%3A+Copepods](http://www.soki.aq/display/Biota/Profile%3A+Copepods) (preuzeto 08.09.2017.)

### OSOBNI PODACI:

Ime i prezime: **Zoran Šargač**

Datum rođenja: **31.08.1993.**

Adresa: **Breznica 28, 42225 Breznički Hum**

Mobilni telefon: **091/ 780 6922**

E-mail: [zoran.sargac@gmail.com](mailto:zoran.sargac@gmail.com)

### OBRAZOVANJE:

09/2015-09/2017: **Diplomski studij Eksperimentalne biologije (Zoologija)**, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek.

09/2012-09/2015: **Preddiplomski studij Znanosti o okolišu**, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek.

2008-2012: Prirodoslovno-matematička gimnazija, Druga gimnazija Varaždin.

### DODATNA EDUKACIJA:

03/2017-07/2017: **ERASMUS + stručna praksa**, Sveučilište u Bergenu, Norveška.

05/2014-05/2016: **Istraživačko-edukacijski projekt Grabovača 2014., Papuk 2015., Mura-Drava 2016**, Udruga studenata biologije - BIUS.

09/2013: **Projekt kontrole širenja i eradikacije signalnog raka u rijeci Korani**, Državni zavod za zaštitu prirode.

### KONFERENCIJE:

07/2017: **20th Symposium of Biology Students in Europe (SymbioSe 2017)**, Sveučilište u Lundu, Švedska.  
Prezentacija: „From suspension feeding to parasitism: An unique case of Anelasma squalicola (Lovén, 1844)“.

08/2016: **2nd Central European Symposium for Aquatic Macroinvertebrate Research (CESAMIR)**, Pečuh, Mađarska.  
Poster: Šargač J, Kerovec M, Šargač Z: How different impacts affect benthic macroinvertebrate communities in the same water body type – a case study for the upper course of Lonja River (NW Croatia).

### STRANI JEZICI:

Engleski (CEFR: C1), Njemački (A2)

### OSTALO:

Odlično poznavanje rada na računalu i odlično znanje Microsoft Office paketa.