

# Zooplankton akumulacije Butoniga

---

**Božinović, Ksenija**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2010**

*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:217:642704>

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

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



*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Ksenija Božinović

**Zooplankton akumulacije Butoniga**

Diplomski rad

Zagreb, 2010. godina

Ovaj diplomski rad, izrađen na Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka PMF-a, pod vodstvom doc. dr. sc. Ivančice Ternjej, predan je na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistar edukacije biologije i kemije.

*Veliko hvala mentorici doc. dr. sc. Ivančici Ternjej na velikom strpljenju, podršci te brojnim korisnim savjetima koji su omogućili izradu ovog rada.*

*Veliko hvala mojim roditeljima, sestri i prijateljima za moralnu podršku tijekom izrade ovog diplomskog rada i razumijevanju tijekom studiranja.*

*Hvala...*

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Diplomski rad

### Zooplankton akumulacije Butoniga

Ksenija Božinović

Zoologijski zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu,  
Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb

Istraživanje zooplanktona akumulacije Butoniga provedeno je u razdoblju od travnja do listopada 2009. godine, a fizikalno-kemijska analiza vode provedena je u razdoblju od lipnja do listopada 2009. godine kao samostalno istraživanje u svrhu izrade diplomskog rada.

Utvrđeno je 7 vrsta slatkovodnih Crustacea, od čega 5 iz skupine Cladocera i 2 iz skupine Copepoda. Zaključeno je da brojnost zooplanktona ovisi o razdoblju istraživanja i dubini jezera. Najveća gustoća zooplanktona zabilježena je u travnju, što je u skladu s proljetnim naglim bujanjem planktona. Najmanja gustoća zooplanktona zabilježena je u listopadu. Vrijednost trofičkog indeksa (TSI) akumulacije iznosila je od 40 do 47,98. Tijekom cijelog razdoblja istraživanja dominiraju „učinkoviti“ mikrofiltratori. Prevladava vrsta *Daphnia* sp. Obzirom na indeks stupnja trofije, brojnost i sastav zooplanktona, akumulacija Butoniga je mezotrofnog stupnja.

(43 stranice, 21 slika, 5 tablica, 44 literaturna navoda, jezik izvornika: Hrvatski)

Rad je pohranjen u knjižnici Zoologijskog zavoda Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, Rooseveltov trg 6.

Ključne riječi: akumulacija Butoniga, slatkovodni makrozooplankton, Cladocera, Copepoda

Voditelj: Dr. sc. Ivančica Ternjej, doc.  
Ocjenjivači: Dr. sc. Ivančica Ternjej, doc.  
Dr. sc. Zdravko Dolenc, prof.  
Dr. sc. Tomislav Cvitaš, prof.  
Dr. sc. Draginja Mrvoš-Sermek, doc.  
Zamjena: Dr. sc. Renata Šoštarić, doc.

Rad prihvaćen: 10.09.2010.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Graduation Thesis

### **Zooplankton of the Butoniga Reservoir**

Ksenija Božinović

Department of Zoology, Faculty of Science, University of Zagreb,  
Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb

Research on zooplankton of the Butoniga Reservoir, was conducted from April to October in 2009., and physico-chemical parameters were analysed from June to October in 2009.

A total of 7 species of freshwater Crustaceans (5 Cladocera and 2 Copepoda) was determined. Maximal zooplankton abundance was in April, minimum abundance of zooplankton was in October. TSI of Butoniga Reservoir was between 40 - 47,98. Crustacean zooplankton varied spatially and temporally. Dominant trophic group was "efficient" microfilterfeeders represented by *Daphnia* sp. According to TSI and zooplankton community structure Butoniga Reservoir is mesotrophic system.

(43 pages, 21 figures, 5 tables, 44 references, original in: Croatian)

Thesis deposited in Central biological library Department of Zoology, Faculty of Science, University of Zagreb, Rooseveltov trg 6, 10 000 Zagreb.

Key words: The Butoniga Reservoir, freshwater makrozooplankton, Cladocera, Copepoda

Supervisor: Dr. sc. Ivančica Ternjej, Asst. Prof.  
Reviewers: Dr. sc. Ivančica Ternjej, Asst. Prof.  
Dr. sc. Zdravko Dolenc, Prof.  
Dr. sc. Tomislav Cvitaš, Prof.  
Dr. sc. Draginja Mrvoš-Sermek, Asst. Prof.  
Replacement: Dr. sc. Renata Šošarić, Asst. Prof.

Thesis accepted: 10<sup>th</sup> September, 2010.

# SADRŽAJ:

## 1. UVOD

1.1. Jezero – životna sredina organizama	1
1.2. Plankton	5
1.3. Planktonski račići	6
1.3.1. Skupina Copepoda	7
1.3.2. Skupina Cladocera	9
1.4. Rasprostranjenost planktonskih račića	11
1.5. Procjena trofije vodenog ekosistema pomoću planktonskih račića	12
1.6. Cilj istraživanja	15

## 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

2.1. Akumulacija Butoniga	16
---------------------------	----

## 3. MATERIJAL I METODE

3.1. Analiza fizikalno-kemijskih parametara	19
3.2. Uzorkovanje i analiza planktona	21
3.2.1. Uzorkovanje planktona	21
3.2.2. Analiza planktona	21

## 4. REZULTATI

4.1. Fizikalno-kemijski parametri	22
4.1.1. Temperatura	22
4.1.2. Kisik	22
4.1.3. pH vrijednost	24
4.1.4. Klorofil <i>a</i>	24
4.1.5. Prozirnost	25
4.1.6. Ostali fizikalno-kemijski parametri	26
4.2. Plankton	28
4.2.1. Taksonomski sastav zajednice	28
4.2.2. Gustoća zooplanktona	29
4.3. Trofički indeks (TSI)	33

## 5. RASPRAVA

## 6. ZAKLJUČAK

## 7. LITERATURA

## **1. UVOD**



# 1. UVOD

## 1.1. JEZERO – ŽIVOTNA SREDINA ORGANIZAMA

Jezero su dinamički ekosustavi koji s vremenom polagano prelaze u ekosustave sa sve manjom količinom vode, dok na kraju ne prijeđu u potpune kopnene ekosustave. To su područja slatke vode, u kojima koncentracija soli obično ne prelazi vrijednost od 0,05 %. Svako slabo produktivno jezero nakon određenog vremena (i bez utjecaja čovjeka) procesom eutrofikacije prelazi u vrlo produktivno jezero; (Slika 1.1.).

Proces eutrofikacije je prirodan proces zatrpavanja jezera uzrokovanim sedimentacijom organskih i anorganskih čestica. Smanjenjem dubine jezera, povećava se relativni volumen osvijetljenog sloja vode u kojem djelovanjem primarnih proizvođača raste produkcija organske tvari (Castro i sur. 2005, Qin i sur. 2006, Li i sur. 2008). Na taj način se povećava primarna produkcija, odnosno razvoj fitoplanktona, što utječe i na povećanu sekundarnu produkciju. Stupanj trofije nekog vodenog sustava (najčešće jezera) se iskazuje pomoću indeksa stupnja trofije (eng. *trophic state indeks*, TSI).



**Slika 1.1.** Eutrofno jezero. Preuzeto iz Malus (2009).

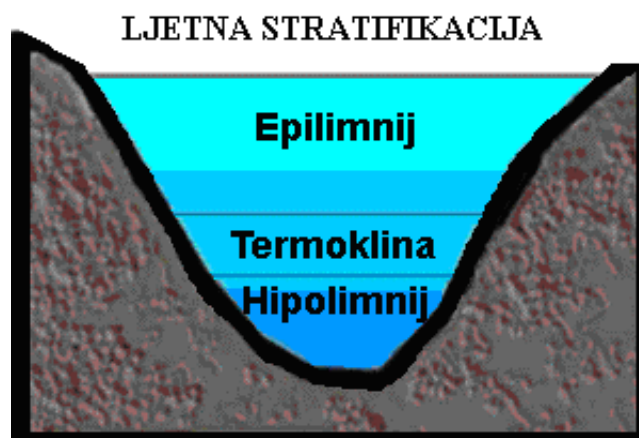
U okolnostima normalne koncentracije kisika organska tvar pada na dno, dolazi do mineralizacije i oslobađanja novih količina hranjivih tvari za primarnu produkciju. Problemi nastupaju onda kada se hranjive tvari potroše, nakon čega dolazi do kolapsa i smrti organizama. Tada se velike količine organske tvari talože na dno, gdje uslijed mineralizacije dolazi do potrošnje kisika što dovodi do hipoksije (smanjenja koncentracije kisika), a zatim anoksije (stanje bez kisika). Nerazgrađena organska tvar pada na dno, smanjuje dubinu jezera što pogoduje daljnjoj eutrofikaciji.

Čovjek svojim aktivnostima (poljoprivredna djelatnost, ulijevanje otpadnih voda u jezero, crpljenje vode za navodnjavanje) povećava količinu hranjivih tvari u jezeru i time ubrzava proces eutrofikacije (Kerovec 1988, Burks i sur. 2002). Proces se ne može zaustaviti, ali se može usporiti poznavanjem ekologije i pravilnom zaštitom ekosustava. Zajednica planktona važna je karika hranidbene mreže jezerskih sustava.

*Kisik.* Poznata su dva glavna izvora kisika: atmosfera (stalna difuzija kisika preko vodene površine) te fotosintetska aktivnost primarnih proizvođača u vodi. S obzirom na koncentraciju kisika u vodi, difuzija igra manju ulogu, dok se putem fotosintetske aktivnosti vodenog bilja i fitoplanktona kisik direktno oslobađa u vodu. Produkcija kisika na ovaj način ovisi o čimbenicima koji uvjetuju fotosintezu (količini primarnih producenata, dubini prodiranja svjetlosti, kvaliteti i trajanju svjetlosti, temperaturi i dr.)

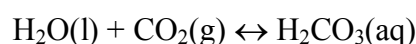
*Temperatura vode.* Osnovni izvor toplinske energije za sve vodene sustave je Sunce, no njegova energija u vodenu sredinu ulazi znatno reducirana. Dio sunčeve energije apsorbira se u zraku, dio se reflektira od vodene površine, dok se jedan dio potroši na isparavanje vode. Preostali dio prodire u gornje slojeve vode koje istovremeno i zagrijava.

U dublje slojeve sunčeva energija ne prodire pa se oni zagrijevaju vertikalnim i horizontalnim strujanjima vode. Na taj način u razdoblju zagrijavanja dolazi do termičke stratifikacije jezerske vode, pri čemu se topliji slojevi nalaze iznad hladnijih. U vrijeme ove ljetne termičke stratifikacije, jezerska vodena masa je podijeljena u tri termičke zone: *epilimnij* (gornji sloj toplije vode), *metalimnij* ili *termoklina* (sloj termičkog skoka) i *hipolimnij* (donji sloj hladnije vode); (Slika 1.2.). Termoklina omogućava miješanje epilimnija s hipolimnijem, čime je hladnija i ujednačena dubinska vodena masa preko ljeta u znatnoj mjeri izolirana od površinske vodene mase (Papović i Šapkarev 1990).



**Slika 1.2.** Podjela jezerske mase u tri termičke zone. Preuzeto iz Erlih (2010).

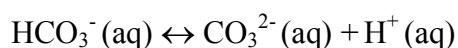
*Ugljikov dioksid* ima posebno mjesto među metaboličkim plinovima u vodi. On se u vodi nalazi kao slobodni  $\text{CO}_2$  te u obliku bikarbonata i karbonata. Kada se  $\text{CO}_2$  iz zraka otapa u vodi, mala količina (manje od 1%) reagira s vodom tvoreći slabu ugljičnu kiselinu:



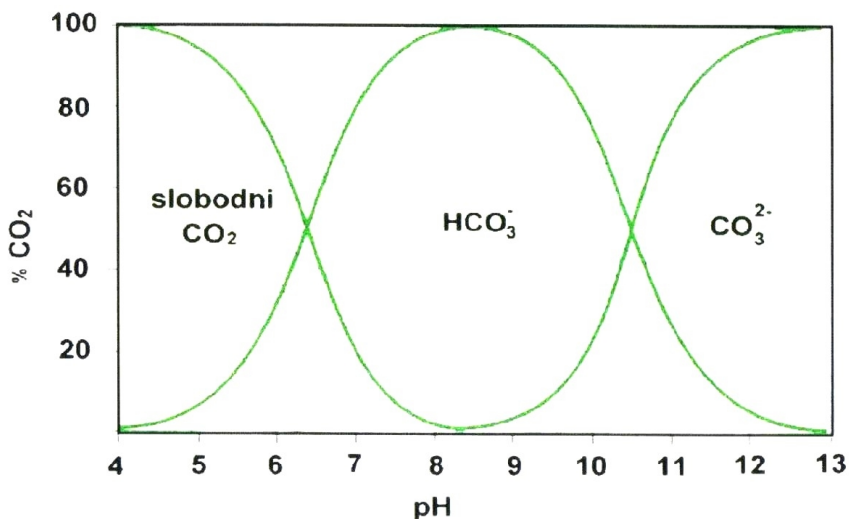
Nešto te ugljične kiseline disocira tvoreći bikarbonatne i vodikove ione:



To dovodi do pada pH vrijednosti. U drugom koraku bikarbonat disocira na karbonatni ion i još jedan vodikov ion:



Stupanj disocijacije ovisi o pH vrijednosti; (Slika 1.3.). Kod pH vrijednosti 8 prisutan je isključivo bikarbonat. Ako se pH pomakne prema višim pH vrijednostima, ravnoteža se pomiče u korist karbonata. Međutim, ako je pH nizak (kiseo), u vodi prevladava slobodni  $\text{CO}_2$  i ugljična kiselina. Promjene pH u vodi su važne, osobito zato jer biljke u fotosintezi mogu koristiti ugljik iz  $\text{CO}_2$  i bikarbonata.



**Slika 1.3.** Udio pojedinih formi ugljikovog dioksida kod različitih pH vrijednosti. Preuzeto iz Mihaljević (2006).

*Puferski kapacitet.* Karbonatno-bikarbonatna ravnoteža važna je i za puferski kapacitet jezera, tj. sposobnost primanja  $\text{OH}^-$  i  $\text{H}^+$  iona bez promjene pH vrijednosti. Mjera tog puferskog kapaciteta je alkalinitet. Iako i neki drugi ioni mogu pridonijeti puferskom kapacitetu, karbonatno-bikarbonatna ravnoteža je svakako najbitnija.

Ukoliko veća količina vodikovih iona  $\text{H}^+(\text{aq})$  dospije u vodu, oni reagiraju s karbonatnim ionima  $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$  tvoreći bikarbonatne ione  $\text{HCO}_3^-(\text{aq})$ , a pH vrijednost ostaje nepromijenjena. Suprotno će se dogoditi ukoliko hidroksidni ioni  $\text{OH}^-(\text{aq})$  dospiju u vodu. Drugim riječima, što je veća količina kalcija u vodi, više je vezane ugljične kiseline i veća je puferska sposobnost vode.

Jezera siromašna kalcijem imaju mali puferski kapacitet i obično su slabo kisela. Visoka primarna produkcija u takvim jezerima može podići pH vrijednost do 9, pri čemu iz vode bude oslobođen sav slobodni  $\text{CO}_2$ . Nakon toga, biljke koriste ugljik iz bikarbonata, što može dovesti do daljnjeg porasta pH vrijednosti, čak do 11. To dovodi do velikih dnevnih promjena pH. Nasuprot tome, kalcijem bogata jezera imaju pH vrijednost 7 – 8. Visoka fotosintetska aktivnost može i u ovim jezerima uzrokovati promjene pH, ali one nisu tako drastične (Mihaljević 2006).

## 1.2. PLANKTON

Planktonom nazivamo skupinu organizama koji slobodno plutaju u stupcu vode, a njihovo kretanje uglavnom ovisi o strujanju vode. Planktonske organizme susrećemo u moru i kopnenim vodama i vrlo su važan dio slatkovodne zajednice. Zbog svoje relativno male veličine i jednostavnosti, sposobni su naseliti velike vodene sustave te se mogu razmnožavati gotovo eksponencijalno. S obzirom na to pripadaju li biljnim ili životinjskim organizmima, plankton možemo podijeliti u dvije kategorije:

- Fitoplankton
- Zooplankton

U planktonu kopnenih voda (slatkovodnom planktonu) fitoplankton čine fotosintetske alge, bakterije i gljivice. Vrlo je važan za ekološki sustav, jer je dio primarne produkcije te veže elemente (npr. ugljik i sumpor) koji su potrebni organizmima ostalih trofičkih kategorija. Glavninu slatkovodnog zooplanktona čine skupine *Rotatoria* (kolnjaci), planktonski račići *Cladocera* (rašljoticalci) i *Copepoda* (veslonošci) (Moss 1980).

Za slatkovodni zooplankton karakteristične su vertikalne migracije. Skupine *Cladocera* i *Copepoda* pokazuju pravilne migracije po dubini tijekom 24 sata, dolazeći u površinske slojeve tijekom noći i spuštajući se za vrijeme dana u dublje slojeve vode. Skupina *Rotatoria* ne podliježe ovakvim dnevnim ritmovima. Pretpostavlja se da se plankton zadržava na onoj dubini na kojoj mu je optimalna količina svjetla. Ostale skupine životinja koje možemo naći u slatkovodnom planktonu su *Protozoa* (praživotinje), jaja riba, ličinke riba, školjkaša, kukaca, dugoživce i meduze.

**Tablica 1.1.** Podjela slatkovodnog planktona prema veličinskim kategorijama prema Breiting 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 $\mu\text{m}$

Prve četiri kategorije planktonskih organizama su vidljive golim okom i mogu se uhvatiti planktonskim mrežama (mrežni plankton), dok su zadnje dvije kategorije planktonskih organizama nevidljive golim okom (mikroskopski organizmi), ali dovoljno velike da se mogu izolirati pomoću membranskih filtera ili dekantiranjem (Vrebčević 1996); (Tablica 1.1.).

### 1.3. PLANKTONSKI RAČIĆI

Skupine Cladocera i Copepoda uglavnom pripadaju veličinskoj kategoriji makrozooplanktona (od 1 do 5 mm). Manje vrste Cladocera (npr. *Bosmina*), juvenilni oblici *Cladocera* i ličinke *Copepoda*, zbog znatno manje veličine pripadaju manjim veličinskim kategorijama. Skupine Cladocera (*Bosmina*, *Ceriodaphnia*, *Daphnia*, *Diaphanosoma*, *Simocephalus*) i Copepoda (*Calanoida*, *Cyclopoida*) provode cijeli svoj životni vijek u slobodnoj vodi pa se zbog takvog načina života svrstavaju u pravi plankton (*holoplankton*). Rasprostranjeni su u svim kopnenim vodama, osim rodova *Padon*, *Evodne* i *Penilia*, koji žive u moru.

Susreću se u jezerima (eulimnoplankton), akumulacijama, barama i jarcima (telmatoplankton), a također i u donjim tokovima velikih rijeka (potamoplankton). Prema području života, plankton se dijeli na pučinski i obalni. Pučinski plankton, koji naseljava otvorene vode, uglavnom čine holoplanktonski oblici, a obalni plankton uglavnom čine meroplanktonski oblici koji provode samo dio života u planktonu (Vrebčević 1996).

Trofička struktura zooplanktona određena je prema Karabinu (1985a). S obzirom na veličinu i vrstu čestica hrane te tipu žvakanja, planktonski rakovi iz skupina rašljoticalaca i veslonožaca su svrstani u ove skupine:

1. MIKROFILTRATORI: veličina čestica hrane je od 15 do 20  $\mu\text{m}$

a) „učinkoviti“: optimalna veličina čestica hrane je od 10 do 12  $\mu\text{m}$ , hrane se nanoplanktonskim algama, detritusom i bakterijama; *Daphnia*, *Bosmina* (osim *Bosmina longirostris*), *Ceriodaphnia quadrangula*

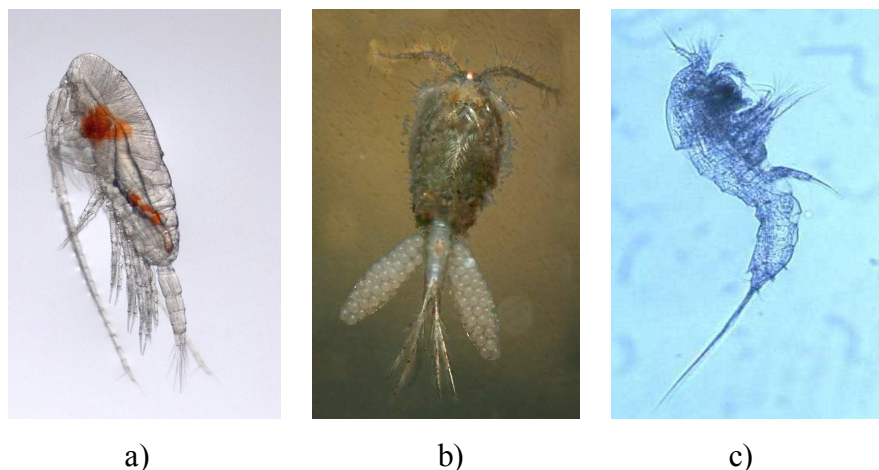
b) „neučinkoviti“: optimalna veličina čestica hrane je od 2 do 5  $\mu\text{m}$ , hrane se detritusom i bakterijama; *Bosmina longirostris*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Simocephalus vetulus*

2. MAKROFILTRATORI: veličina čestica hrane varira od 4-5  $\mu\text{m}$  do 40-50  $\mu\text{m}$ , glavninu hrane čini nanofitoplankton; *Eudiaptomus gracilis*

3. PREDATORI: omnivori; *Cyclops* sp.

### 1.3.1. Skupina Copepoda

Skupina Copepoda (veslonošci) mikroskopski su sitni račići člankovita tijela. Žive u površinskim i podzemnim kopnenim vodama i u moru. Veslonošci kopnenih voda dijele se u tri reda: Calanoida, Cyclopoida i Harpacticoida (Slika 1.4.). Ova tri reda razlikuju se po građi tijela i načinu života.



**Slika 1.4.** Slatkovodni veslonošci: a) Calanoida, b) Cyclopoida i c) Harpacticoida. Preuzeto iz Habdija (2007).

Calanoida uglavnom lebde u vodi, Cyclopoida plivaju, a Harpacticoida pužu po dnu izvijajući svoje tijelo. Calanoida, osim što lebde, mogu se pokretati i naglim trzajima nalik na skokove. Cyclopoida i Calanoida imaju duge antenule i pet pari nogu, što im omogućuje vrlo veliku pokretljivost (Slike 1.5. i 1.6.). Usprkos svojoj maloj dužini tijela (1 do 2 mm), mogu postići znatnu brzinu prilikom izbjegavanja grabežljivaca ( $2 \text{ m s}^{-1}$ ).

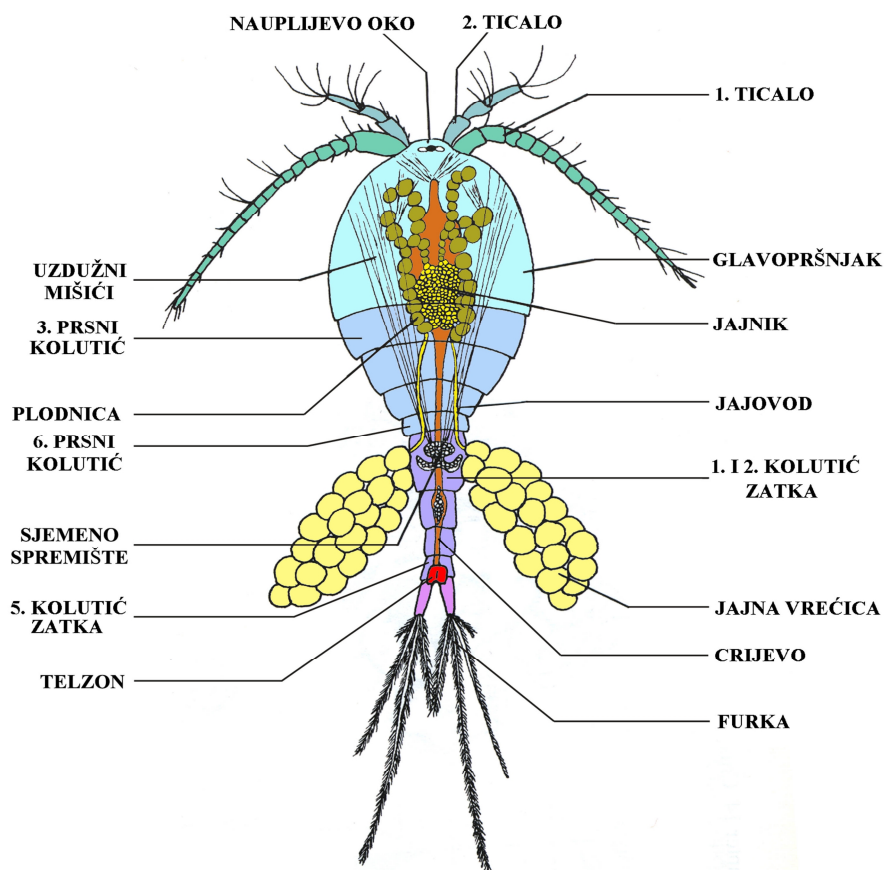
Veslonošci žive u ribnjacima, jezerima, barama, lokvama i akumulacijama. Mogu zalutati i u rijeke, a uobičajeni su u sporim donjim tokovima velikih rijeka. Plivaju ili lebde u slobodnoj vodi ili među biljem, gdje mogu biti u gustim populacijama. Među redovima Calanoida, Cyclopoida i Harpacticoida postoje paraziti, poluparaziti i komenzali.

Slobodno živeći veslonošci imaju tri načina ishrane:

- filtratorski (procjeđivački)
- predatorski (grabežljivci)
- detritofagni

Najveći dio Calanoida se hrani filtriranjem, a s obzirom da filtriraju čestice veličine do  $50 \mu\text{m}$ , ubrajaju se u *makrofiltratore*. Glavna hrana su im nanoplanktonske alge, a rjeđe detritus i bakterije. Ovaj način ishrane utvrđen je za odrasle jedinke i sve razvojne stadije Calanoida (nauplije i kopepodite). Među Calanoida postoji manji broj vrsta koje mogu koristiti hranu veličine do  $200 \mu\text{m}$  te se zbog toga mogu ponašati kao predatori (Vrebčević 1996).



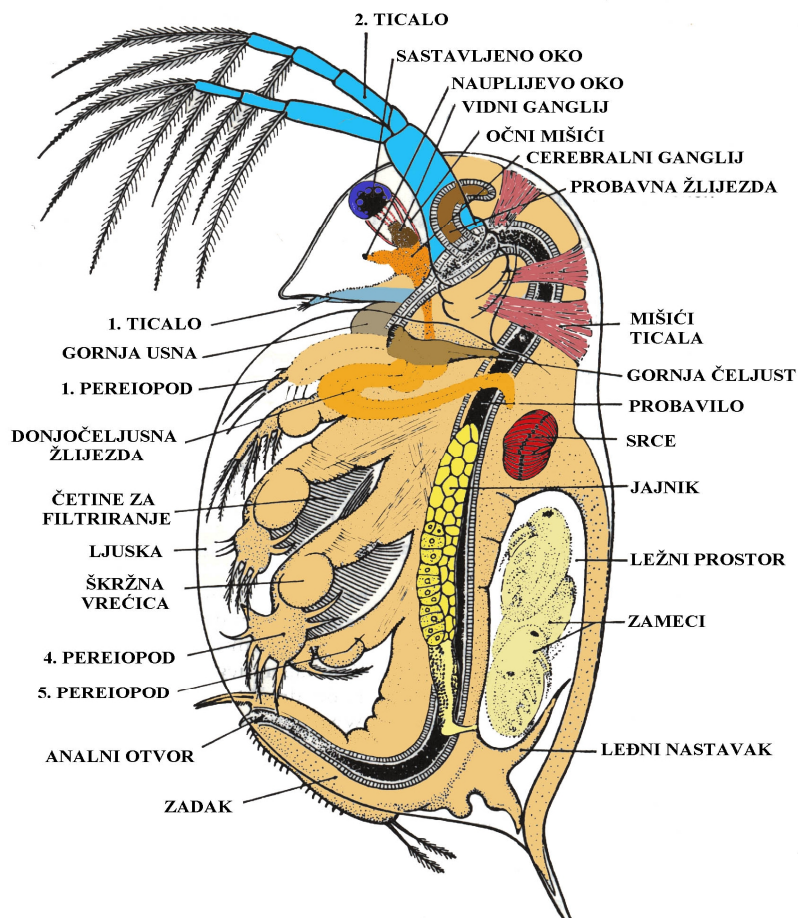


Slika 1.5. Plan građe tijela veslonožaca (Copepoda). Preuzeto iz Habdija (2007).

### 1.3.2. Skupina Cladocera

Cladocera (rašljoticalci) su mali mikroskopski organizmi unutar podrazreda Entomostraca, tj. nižih rakova. Predstavljaju važan dio slatkovodnog planktona i jedna su od najvažnijih skupina zajednice slobodne vode. Rašljoticalci se pojavljuju i u riječnom planktonu, gdje čine potamoplankton, npr. *Bosmina longirostris* (O. F. Müller 1776). Brojne populacije Cladocera nalaze se u otvorenoj vodi jezera (limnetički plankton), ali je ovdje broj vrsta mali. Prave su limnetičke vrste iz rodova: *Bosmina*, *Diaphanosoma* i *Daphnia*. Ovi su redovi većinom prozirni ili slabo obojeni.

Gotovo svi predstavnici iz skupine Cladocera hrane se procjeđivanjem (filtriranjem) sitnih čestica koje lebde u vodi ili nanoplanktonskim algama. To im omogućuju fini tjelesni privjesci koji se nalaze unutar tjelesne ljuske čiji ritmički pokreti tjeraju sakupljene čestice ili alge u ždrijelo. Filtriranje hrane odvija se neprestano, od trenutka izlaženja iz jaja pa sve do uginuća. Budući da Cladocera filtriraju sitnije čestice od Copepoda, pripadaju skupini mikrofiltratora. Među rašljoticalcima postoje i pravi (obligatni) predatori. To su *Bythotrepes* sp., i *Polyphemus* sp. (de Bernardi i sur. 1987). Oni se hrane drugim, sitnijim rašljoticalcima, kolnjacima, malim veslonošcima te njihovim nauplijima (Vrebčević 1996).



**Slika 1.6.** Plan građe tijela rašljoticalca (Cladocera - *Daphnia*). Preuzeto iz Habdija (2007).

#### 1.4. RASPROSTRANJENOST PLANKTONSKIH RAČIĆA

Rezultati mnogih starijih istraživanja govore da je predacija glavni činilac kontrole rasprostranjenosti i gustoće zooplanktona (Hrbaček 1962, Brooks i Dodson 1965, Dodson 1970), dok kompeticija ima manju ulogu (Dodson i sur. 1976). Današnja mišljenja su nešto drugačija. Vjeruje se da je kompeticija vrlo važna, osobito kod rašljoticalaca. Kompeticija utječe na sezonske promjene sastava makrozooplanktona (Allan 1974, Lynch 1977, Niell 1975) i ovisi o kompeticiji za hranu. Veće vrste mogu filtriranjem uzimati hranu manjih, ali i većih dimenzija. Na taj način manje vrste zooplanktona mogu biti eliminirane ili potisnute pred većim vrstama. Lynch (1977) je pokusima utvrdio važnost kompeticije (uspio je isključiti utjecaj predatora) (Vrebčević 1996).

Veličina čestica koje se koriste u ishrani ovisi o veličini jedinke (Gliwicz 1969, Niell 1975), a to ukazuje da se vrste preklapaju u ishrani u odnosu na veličinu čestica. Preklapanje je u funkciji starosti jedinki: kompeticija ovisi i o starosti, uzrasnoj strukturi. *Ceriodaphnia* isključuje mlade jedinke roda *Daphnia*, jer je veća. Odraslim jedinkama roda *Daphnia* ne smetaju jedinke vrste *Ceriodaphnia*, jer je *Daphnia* većih dimenzija od *Ceriodaphnia* (Vrebčević 1996).

Ovdje je izražena kompeticija s obzirom na starost jedinke koja određuje korištenje određene veličine čestica u ishrani. Vrlo oštra kompeticija, kroz gladovanje mladih jedinki, može uzrokovati smanjivanje njihovog broja. No smanjivanje broja mladih može nastati i kao rezultat nedostatka hrane za starije, spolno zrele jedinke, što ima za posljedicu smanjenu produkciju jaja (Vrebčević 1996). Kompeticija većih i manjih vrsta većinom uzrokuje smanjenje broja mladih jedinki manjih vrsta (Green 1956).

Kompeticija je osobito izražena tijekom ljeta, jer fitofagne vrste koje se hrane fitoplanktonom, nakon iscrpljenja svoje hrane (algi), dolaze u međusobnu kompeticiju. Na taj način opstaju samo one jedinke koje mogu iskoristiti preostalu hranu, koja je uglavnom većih dimenzija pa dolazi do potiskivanja manjih vrsta zooplanktona. Vidi se da je kompeticija (interspecijska i intraspecijska), zajedno s dinamikom fitoplanktona važan regulator dinamike i strukture zooplanktona (Green 1956).

Predacija, koja može biti regulator dinamike populacije zooplanktona, ima drugorazrednu ulogu. Literaturni podaci govore (de Bernardi i sur. 1987, Kajak i sur. 1972) da planktonivorne vrste riba ili ličinke riba koje se hrane planktonom, mogu značajno mijenjati strukturu makrozooplanktona. Do promjene strukture dolazi zbog toga što ribe ili ličinke riba koriste uglavnom veće vrste planktonskih organizama, dok beskralješnjaci jedu manje jedinke (većinom mlade jedinke). Riba su daleko efikasniji predatori i njihova je predacija mnogo važnija za dinamiku i strukturu zooplanktona. Zbog svoje velike pokretljivosti, ribe mogu pojesti vrlo velike količine zooplanktona. Utvrđeno je da jedna riba može dnevno pojesti više od 10 000 jedinki rašljoticalaca (de Bernardi i Guessoni 1975). Beskralješnjaci mogu uzimati vrlo sitne i spore jedinke zooplanktona (Vrebčević 1996).

## **1.5. PROCJENA TROFIJE VODENOG EKOSISTEMA POMOĆU PLANKTONSKIH RAČIĆA**

Bioprodukciju nekog vodenog ekosistema moguće je procijeniti na više načina. Jedan od načina je analiza biomase zooplanktona. Zooplankton je odličan pokazatelj statusa jezera i važan u strukturiranju i dinamici vodenih ekosustava zbog svoje fundamentalne uloge u hranidbenom lancu i kruženju hranjivih tvari, a konačno može imati i funkciju pokazatelja zdravlja ekosustava (Margalef 1983, Beaver i Havens 1996, Jeppesen i sur. 2002, Azevedo i Bonecker 2003, Castro i sur. 2005).

S obzirom da 90 % biomase zooplanktona čini makrozooplankton, skupine Cladocera i Copepoda (Karabin 1985a), analizom njihove biomase, uz analizu biomase i strukture populacija mikrozooplanktona, moguće je procijeniti stanje trofije nekog vodenog ekosistema (Vrebčević 1996). Stupanj trofije neizostavno utječe na sastav i dinamiku zooplanktona. Zbog toga sastav vrsta makrozooplanktona može također govoriti o intenzitetu trofije. U jezerima s niskim stupnjem trofije broj njihovih vrsta je velik (8-11), dok je u jezerima s visokim stupnjem trofije mali broj vrsta (3-4). Zbog toga je od velike važnosti sagledavanje trofije u nekom jezeru.

Dotok hranjivih soli uzrokuje povećanje primarne produkcije (fitoplanktona), a time se neizbježno povećava sekundarna produkcija (zooplankton). To znači da postoji veza između količine ukupnog fosfora, klorofila *a* (Tablica 1.2.) i biomase zooplanktona (Mc Couley i Kaliff 1981). Prema tome, vrijednost indeksa stupnja trofije ovisi o primarnoj produkciji. Prozirnost vode je posljedica svih faktora koji utječu na indeks stupnja trofije jezera. Stoga je i prozirnost vode pokazatelj trofičnog stanja nekog vodenog sustava. Prema stupnju trofije, vodene sustave dijelimo na: *ultraoligotrofne*, *oligotrofne*, *mezotrofne*, *eutrofne* i *hipertrofne* (Tablica 1.3.).

**Tablica 1.2.** Klasifikacija vode s obzirom na koncentraciju ukupnog fosfora, klorofila *a* i stupanj prozirnosti vode (Malus 2009).

Stupanj trofije	Ukupan fosfor/ $\text{mg m}^{-3}$	Klorofil <i>a</i> / $\text{mg m}^{-3}$		Prozirnost (Secchi)/ m	
		srednje	max.	srednje	max.
ULTRAOLIGOTROFAN	$\leq 4,0$	$\leq 1,0$	$\leq 2,5$	$\geq 6,0$	$\geq 12,0$
OLIGOTROFAN	$\leq 10,0$	$\leq 2,5$	$\leq 8,0$	$\geq 6,0$	$\geq 6,0$
MEZOTROFAN	10-35	2,5-8	8-25	1,5-3	2-6
EUTROFAN	35-100	8-25	25-75	0,7-1,5	1,5-2
HIPERTROFAN	$\geq 100$	$\geq 25$	$\geq 75$	$\leq 0,7$	$\leq 1,5$

**Tablica 1.3.** Klasifikacija vode s obzirom na indeks stupnja trofije, koncentraciju klorofila *a* i prozirnost (Carlson 1977).

Stupanj trofije	TSI	Klorofil <i>a</i> $/ \mu\text{g L}^{-3}$	Prozirnost $/ \text{m}$
ULTRAOLIGOTROFAN	< 30	< 0,95	> 8
OLIGOTROFAN	30-40	0,95-2,6	4-8
MEZOTROFAN	40-50	2,6-7,3	2-4
EUTROFAN	50-70	7,3-56	0,5-2
HIPERTROFAN	> 70	> 56	< 0,5

U oligotrofnim jezerima (jezera niske trofije) dominira mrežni fitoplankton (rodovi *Ceratium*, *Dinobryon*), a količina detritusa i bakterija je mala. Biomasa zooplanktona i fitoplanktona je također mala, a među makrozooplanktonom dominiraju „učinkoviti mikrofiltratori“ (Karabin 1985a). U jezerima s povećanom trofijom (mezotrofna-eutrofna) dominira mrežni fitoplankton (modrozeleno alge), dok su količine detritusa i bakterije povećane. Biomasa i gustoća zooplanktona i fitoplanktona je velika. Dominiraju „neučinkoviti mikrofiltratori“ koji se hrane detritusom i bakterijama.

Prema tome, pokazatelji trofičkog stanja su:

- ukupni fosfor/  $\text{mg m}^{-3}$
- klorofil *a* /  $\text{mg m}^{-3}$
- ukupan broj stanica algi/ broj  $\text{L}^{-1}$
- organska proizvodnja/  $\text{g(C) m}^{-2} \text{ god.}^{-1}$
- prozirnost/ m

Stupanj trofije jezera se mora sagledati u doba najintenzivnije bioprodukcije, a to je u proljetno-ljetnom razdoblju, od svibnja do listopada (Vrebčević 1996). Za određivanje stupnja trofije pomoću zooplanktona, makrozooplanktonski račići se mogu svrstati u tri skupine (Karabin 1985):

I. Predstavnici nižih stupnjeva trofije (mezotrofno stanje jezera):

*Daphnia longispina hyalina* var. *galeata*  
*Daphnia cristata*  
*Daphnia cuculata*

II. Predstavnici eutrofnih ili politrofnih jezera:

*Diaphanosoma brachyurum*  
*Bosmina longirostris*  
*Cyclops kolensis*

III. Predstavnici čija prisutnost ne može ukazivati na povećanu niti smanjenu trofiju:

*Eudiaptomus gracilis*  
*Ceriodaphnia quadrangula*  
*Daphnia longispina hyalina* var. *Pellucida*

## 1.6. CILJ ISTRAŽIVANJA

Osnovni princip zaštite voda je održavanje njene kakvoće u granicama potreba njenih korisnika. Ovakav stav bazira na racionalnom korištenju prirodnih resursa. Slijedom navedenoga Uredba o klasifikaciji voda (Narodne novine br. 77/98) vodotoke, prirodna jezera, akumulacije i podzemne vode raspoređuje prema namjeni i stupnju čistoće u pet vrsta:

**Vrsta I** - Vode koje se u svom prirodnom stanju ili nakon dezinfekcije mogu upotrebljavati za piće, a površinske vode i za uzgoj plemenitih vrsta riba.

**Vrsta II** - Vode koje se u svom prirodnom stanju mogu upotrebljavati za kupanje i rekreaciju, uzgoj drugih vrsta riba ili se nakon odgovarajućeg pročišćavanja mogu upotrebljavati za piće.

**Vrsta III** - Vode koje se mogu koristiti u industrijama koje nemaju posebne zahtjeve za kakvoćom vode, te u poljoprivredi (vode koje se pročišćavaju da bi se koristile za određene namjene).

**Vrsta IV** - Vode koje se mogu koristiti isključivo uz pročišćavanje na područjima gdje je veliko pomanjkanje vode.

**Vrsta V** - Vode koje se gotovo ne mogu koristiti ni za kakve namjene, jer ne zadovoljavaju kriterije za namjene po ovoj Uredbi.

S time u svezi, ciljevi istraživanja bili su:

- utvrditi sastav zajednice makrozooplanktona i brojnost pojedinih vrsta
- utvrditi njezin sezonski slijed i varijabilnosti s obzirom na različite ekološke čimbenike
- na temelju utvrđenih svojstava zajednice makrozooplanktona procijeniti u kojoj fazi trofije je jezero

## **2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA**



## 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

### 2.1. AKUMULACIJA BUTONIGA

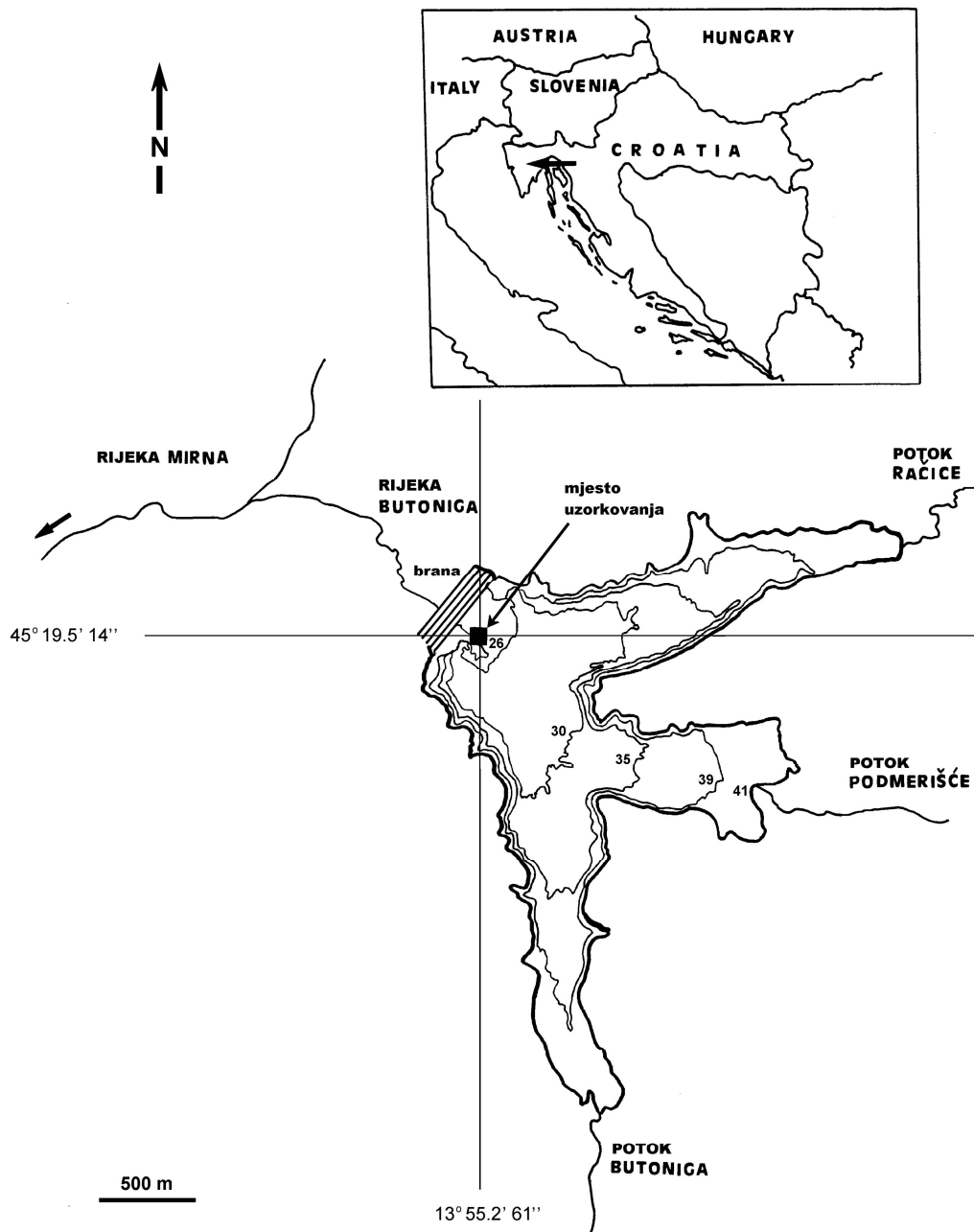


**Slika 2.1.** Jezero Butoniga. Preuzeto iz Ternjej i sur. (2010).

Dok su ne tako davno istarske domove opskrbljivale vodom lokve, potoci, magarci s dvije posude za vodu, a u sušnim razdobljima se po vodu išlo i kilometrima daleko, danas je ulogu opskrbe vode preuzelo jezero Butoniga; (Slika 2.1.). Akumulacija Butoniga izgrađena je 1987. godine podizanjem brane na kraju doline kroz koju teku tri rijeke: Butoniga, Podmerišće i Račice (Slika 2.2.). Nalazi se u središtu poluotoka Istre. 1988. voda je po prvi put napunila jezero, prekrivši polja i šumu prije bogatu tartufima. Površina mu je 2,0 km<sup>2</sup>. Od jezera vodi osamdesetak kilometara cijevi kojima voda dolazi čak do Pule. Cjevovod je dovršen devedesetih godina 20.st. Svrha akumulacije je višestruka: obrana od poplava, navodnjavanje te vodoopskrba Istre.

Tijekom ljetnih mjeseci, vodoopskrba Istre bila bi bez Butonige nemoguća. Vodom iz Butonige opskrbljuje se područje Pazina, Rovinja i zapadne obale južno od Rovinja, samostalno ili se voda miješa s onom iz izvora Gradole u dolini rijeke Raše. Klima je blago izmijenjena mediteranska, s prosječnom godišnjom temperaturom između 12 i 13 °C. Središnja godišnja količina padalina je oko 1130 mm, s maksimumom u proljeće i jesen. Količina padalina po danu iznosi više od 100 mm. Tijekom proljeća, akumulacija je ispunjena s vodom iz triju malih rijeka (Račice, Podmerišće i Butoniga). Razina vode u akumulacije tijekom tog perioda obično ne prelazi 41 m nadmorske visine. Akumulacija Butonige se izljuje u mjestu prelijeva na nadmorskoj visini od 41 m. Tijekom ljeta, dio vode se uzima za vodoopskrbu Istre zbog čega se razina vode mijenja za približno 1 m.

Početak jeseni, obično u rujnu, voda iz hipolimnijskog sloja se izliva kroz kontrolirano mjesto prelijeva sve dok ne dosegne 37 m/ nv. Svrha ovog postupka je da se pripremi akumulacija za pritjecanje okolne vode nastale kišnim razdobljima u mjestima spajanja triju riječica – Podmerišća, Račica i Butonige. Stoga, razina vode u akumulaciji ovisi o pritjecanju okolne vode iz rijeka i istjecanju vode kojim upravlja Istarski vodovod.



**Slika 2.2.** Geografski položaj akumulacije Butoniga i mjesto uzorkovanja. Preuzeto iz Ternjej i sur. (2010).

Provedena su terenska i laboratorijska istraživanja. Na terenu su sezonski uzimani uzorci planktona crpcem iz nekoliko slojeva vode (površina, 3m, 6m, 9m, dno~12 m). Uzorci su uzeti u travnju, lipnju, srpnju, kolovozu i listopadu 2009.

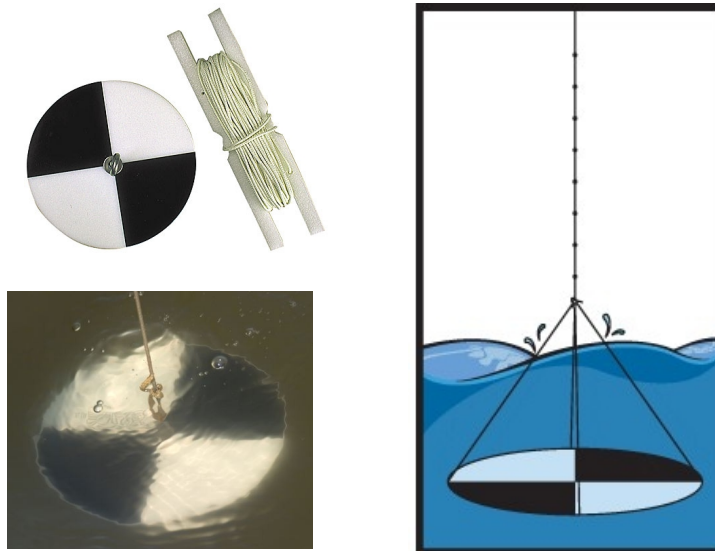
### **3. MATERIЈAL I METODE**

### 3. MATERIJAL I METODE

#### 3.1. ANALIZA FIZIKALNO-KEMIJSKIH PARAMETARA

Na terenu su mjereni sljedeći fizikalno-kemijski parametri: prozirnost vode, temperatura, koncentracija otopljenog kisika u vodi i zasićenje kisikom, elektroprovodljivost vode, ukupno otopljene soli (TDS), ukupni organski ugljik (TOC) i pH vrijednost. Fizikalno-kemijska obilježja vode su mjerena na površini jezera te na dubinama od 3 m, 6 m, 9 m i dnu (dubina na dnu ovisi o razini vode u jezeru, između 11 i 13 m) u lipnju, srpnju, kolovozu i listopadu 2009. Voda je iz dubljih dijelova jezera uzimana crpcem zapremine pet litara.

- pH vrijednost je mjerena pomoću pH-metra WTW ph 330.
- Temperatura vode je mjerena pomoću živinog termometra s podjelom od 0,2 °C.
- Koncentracija kisika i zasićenost kisikom u vodi mjerena je pomoću oksimetra WTW Oxi 330/SET.
- Elektroprovodljivost vode je mjerena pomoću konduktometra WTW LF 330.
- Koncentracija vezanog ugljikovog dioksida (alkalinitet) u vodi je mjerena metodom titracije s klorovodičnom kiselinom uz indikator metilorange.
- Prozirnost vode (govori o dubini prodora svjetla) je mjerena pomoću Secchi ploče; (Slika 3.1).



**Slika 3.1.** Mjerenje prozirnosti vode pomoću Secchi ploče. Preuzeto iz Ternjej i sur. (2010).

Koncentracije klorofila *a*, amonijevih iona, kalijevog permanganata, ortofosfata i alkalitet mjereni su u laboratoriju. Za analizu klorofila *a* uzimani su uzorci vode s pet dubina u jezeru: površina, 3 m, 6 m, 9 m i dno (~12 m). Korištena je metoda prema Greenberg i sur. (1985).

Crpcem je uzeto po 5 L vode iz svakog sloja. Voda je pretočena u plastične boce i spremljena u hladnjak na temperaturu od 4 do 8 °C. Uzorci vode su drugi dan obrađivani u laboratoriju. Voda je prvo profiltrirana vakuum sisaljkom kroz filter-papir (bijela vrpca) uz dodatak kremene zemlje. Sadržaj lijevka je nakon filtriranja prebačen u Erlenmeyerovu tikvicu i ekstrahiran u 96 %-tnom etanolu.

Dobivena otopina pigmenta mjerena je spektrofotometrijski na valnoj duljini od 665 nm. Iz tih vrijednosti je izračunata koncentracija klorofila u mikrogramima po litri ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) prema sljedećoj formuli:

$$\gamma = 29,6 \cdot (E665_0 - E665_a) [V(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})/V(\text{H}_2\text{O}) \cdot d]$$

$\gamma$  = koncentracija klorofila *a* ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )

29,6 = koeficijent

$E665_0$  = apsorbancija ekstrahiranog klorofila

$E665_a$  = apsorbancija ekstrahiranog klorofila + 1 kap konc. klorovodične kiseline

$V(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})$  = volumen 96%-tnog etanola za ekstrakciju

$V(\text{H}_2\text{O})$  = volumen profiltrirane vode

$d$  = širina kivete

Koncentracija ortofosfata određivana je metodom s amonij-molibdat reagensom (APHA, 1985). Amonij-molibdat reagira u kiselom mediju (pH <1) s ortofosfatima i stvara molibdofosfornu kiselinu. Nastala kiselina se reducira s kositar-kloridom i daje fosfomolibdensko plavilo. Intenzitet obojenja mjeren je spektrofotometrijski na valnoj duljini 690 nm.

Stupanj trofije sustava određen je prema Carlsonu (1977). Prema prozirnosti vode mjerene Secci pločom (SD), izračunava se indeks stupnja trofije (TSI):

$$TSI(SD) = 10 \left[ 6 - \frac{\ln SD}{\ln 2} \right]$$

### **3.2. UZORKOVANJE I ANALIZA PLANKTONA**

#### **1.2.1. Uzorkovanje planktona**

Uzorci zooplanktona uzeti su istovremeno kada su uzimani uzorci za kemijsku analizu vode (osim u travnju). Procijeđeno je po 10 litara vode iz svakog od istraživanih slojeva kroz zooplanktonsku mrežicu veličine pora 80 µm. Voda je iz pojedinih slojeva izvučena crpcem. Uzorci su konzervirani u 4% formaldehidu.

#### **1.2.2. Analiza planktona**

Uzorci makrozooplanktona pregledani su upotrebom stereomikroskopa XTL-3400D. Utvrđena je brojnost u svakom uzorku (izražena brojem jedinki u litri vode). Vrste su određene pomoću standardnih taksonomskih ključeva: Einsle (1993), Vrebčević (1996), Margaritora (1983) i Amoros (1984). Trofička kategorizacija načinjena je prema Karabinu (1985).

## **4. REZULTATI**

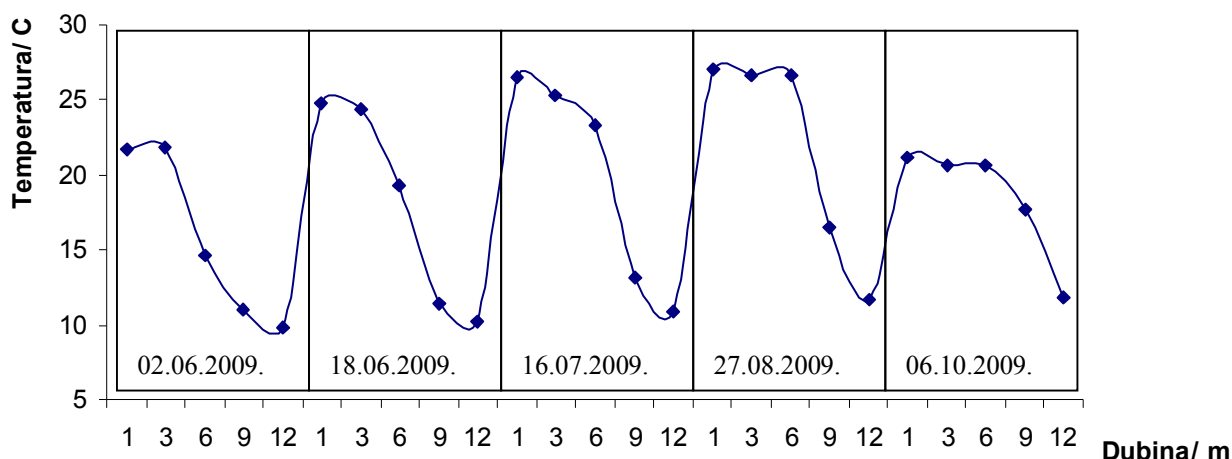


## 4. REZULTATI

### 4.1. FIZIKALNO-KEMIJSKI PARAMETRI

#### 4.1.1. Temperatura

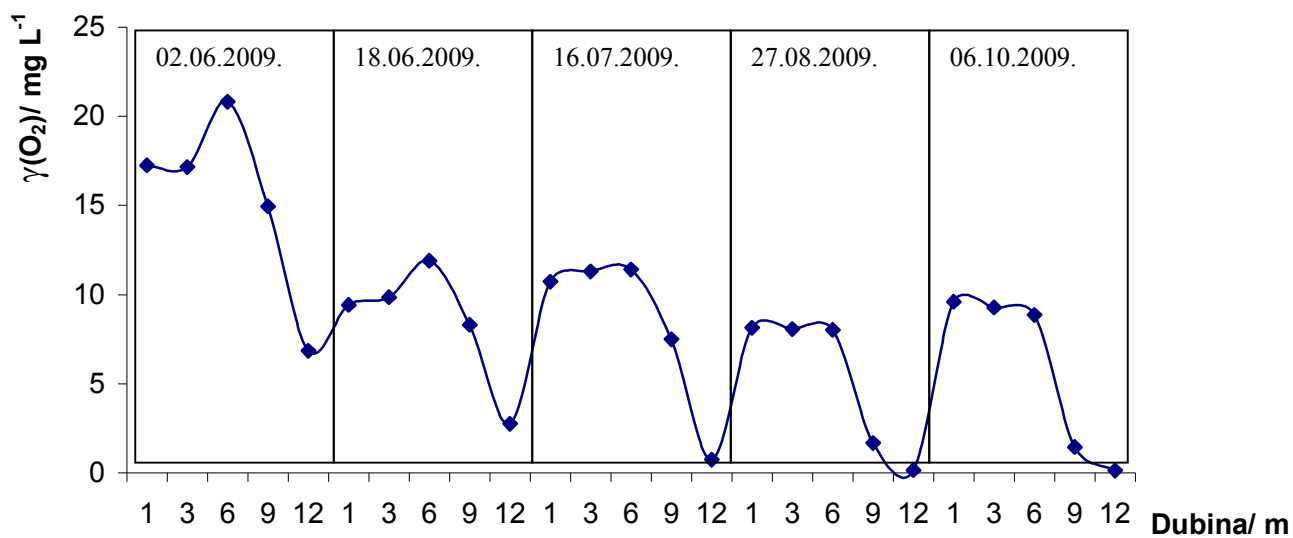
Vrijednosti temperature se u lipnju kreću od 9,86 °C do 24,79 °C, u srpnju od 10,91 °C do 26,51 °C, u kolovozu od 11,68 °C do 27 °C, a u listopadu od 11,86 °C do 21,18 °C. Iz Slike 4.1. jasno se vidi da temperatura vode opada s dubinom jezera i promjenom sezone. Najniža temperatura zabilježena je u lipnju na dnu jezera (~12 m) i iznosila je 9,86 °C, a najviša temperatura u kolovozu na površini jezera i iznosila je 27 °C. Termoklina se nalazi na dubini između 5 – 10 m tijekom cijelog istraživanja. U tom sloju vode dolazi do promjene temperature.



Slika 4.1. Temperatura vode u istraživanom razdoblju.

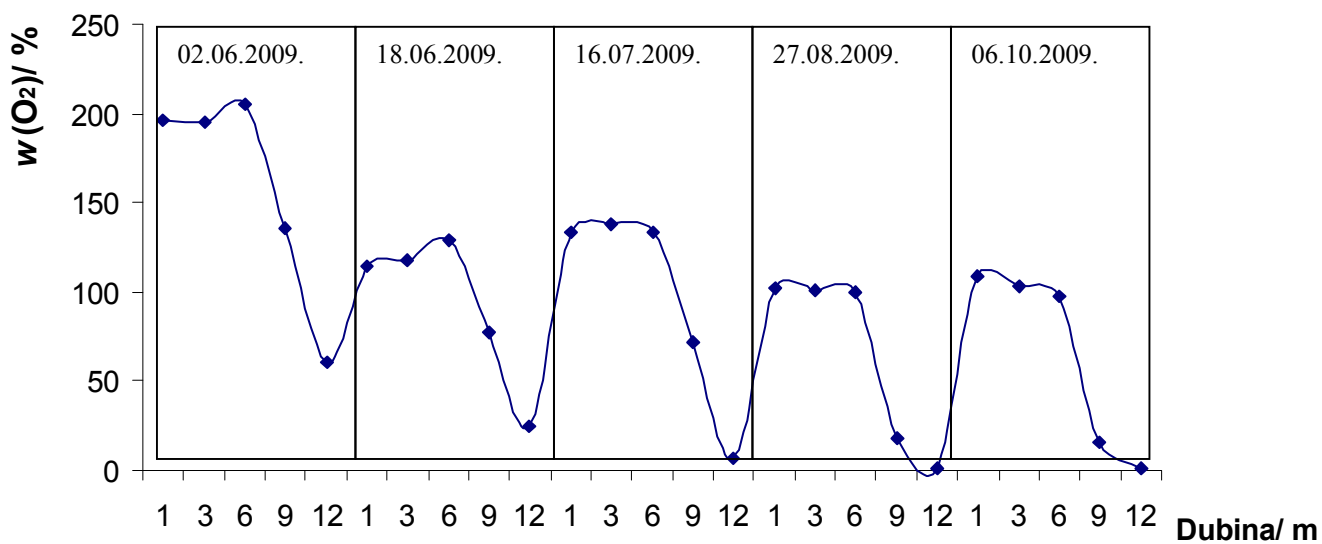
#### 4.1.2. Kisik

Koncentracija kisika prati termičku raspodjelu akumulacije. U razdoblju stratifikacije pojavljuje se prezasićenje u epilimniju te potpuni manjak kisika u hipolimniju. Od lipnja do listopada 2009. koncentracija otopljenog kisika u vodi se smanjuje; (Slika 4.2.). Najmanja zabilježena koncentracija kisika izmjerena je na dnu jezera u listopadu i iznosila je 0,15 mg L<sup>-1</sup>, dok je najviša vrijednost iznosila 20,82 mg L<sup>-1</sup> i to na dubini od 6 m, tijekom lipnja.



Slika 4.2. Koncentracija kisika u istraživanom razdoblju.

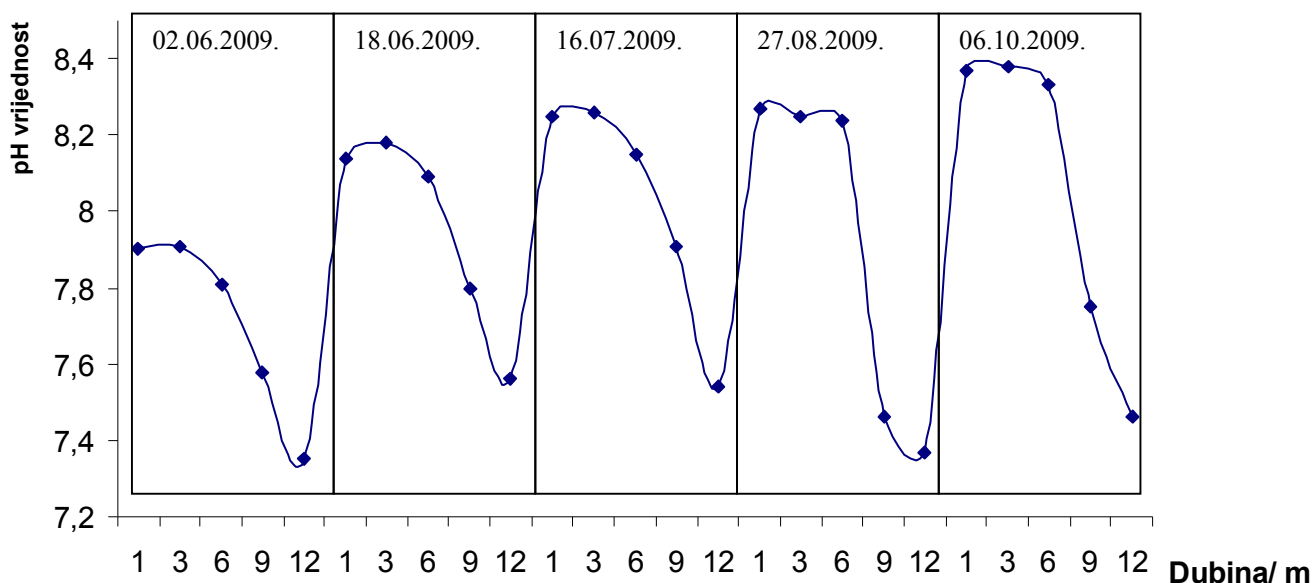
Zasićenost kisikom se kretala od 1,3 % do 205,3 % (Slika 4.3.).



Slika 4.3. Zasićenje kisikom u istraživanom razdoblju.

### 4.1.3. pH vrijednost

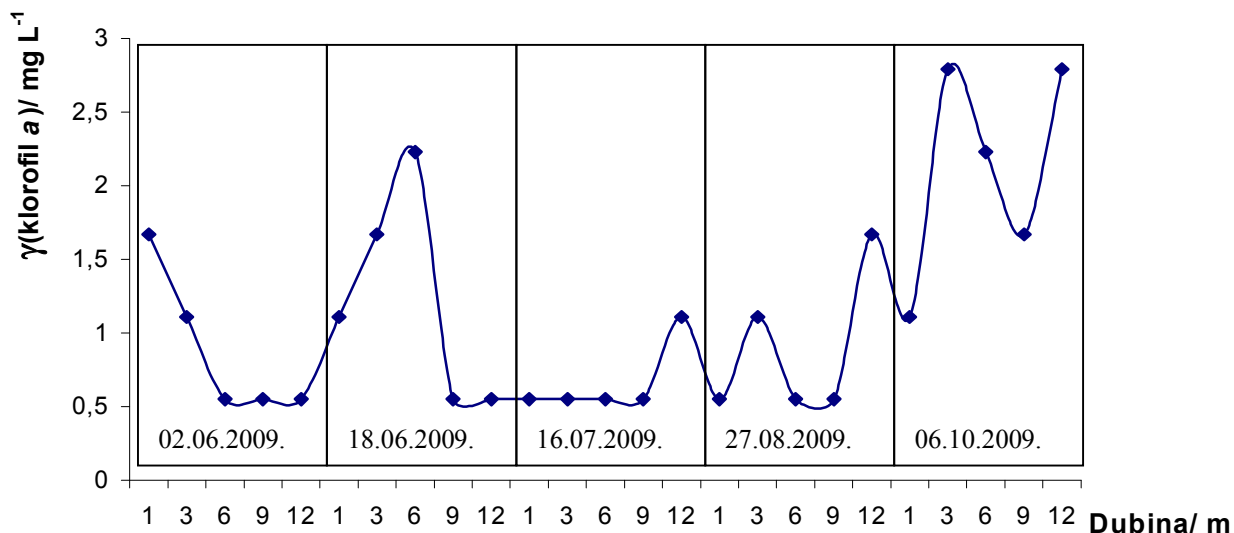
Vrijednosti pH se na površini jezera kreću od 7,9 do 8,37, a na dnu od 7,35 do 7,56. Na dubinama 3, 6 i 9 m, pH vrijednost je između 7,46 i 8,38. Iz Slike 4.4. jasno se vidi da pH vrijednost opada s dubinom jezera te da su najveća kolebanja na dubini od 9 m gdje se vrijednosti pH kreću od 7,46 do 9,91.



Slika 4.4. pH vrijednosti vode u istraživanom razdoblju.

### 4.1.4. Klorofil *a*

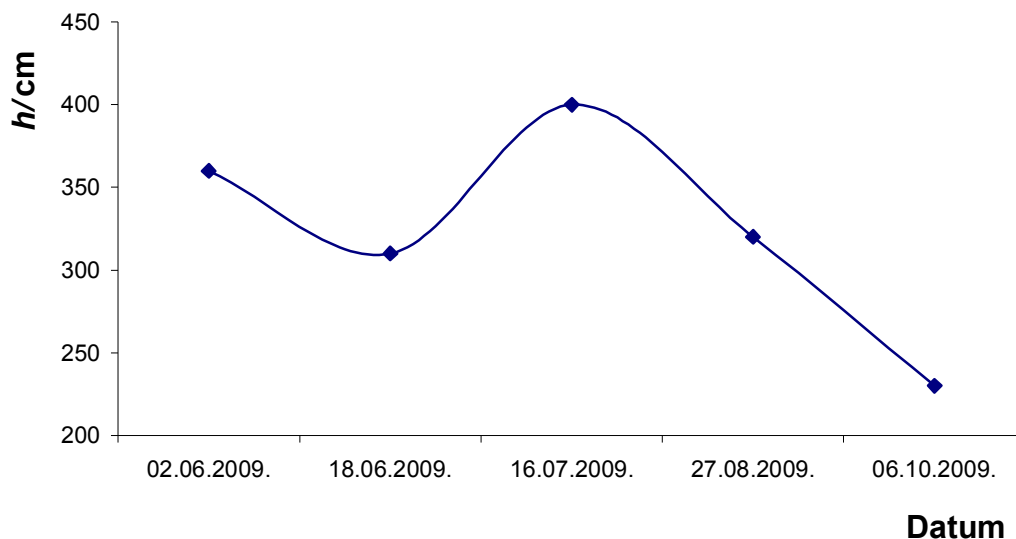
Koncentracija klorofila *a* varira ovisno o dubini i dijelu godine u kojem su uzimani uzorci. Najviša koncentracija zabilježena je u listopadu na dnu i na 3 m dubine, a iznosila je  $2,79 \mu\text{g L}^{-1}$ , a najniža tijekom lipnja, srpnja i kolovoza. Slika 4.5. pokazuje da su najmanja kolebanja bila u srpnju, a najveća u lipnju i listopadu.



Slika 4.5. Koncentracija klorofila *a* u istraživanom razdoblju.

#### 4.1.5. Prozirnost

Prozirnost se koristi za procjenu dubine prodiranja svjetlosti u vodu. Na nju uglavnom utječu raspršene čestice u vodi. Dubina prodiranja svjetlosti je bitna jer govori koliko se duboko odvija primarna produkcija. Najveća prozirnost je sezala do 400 cm u lipnju, a tijekom listopada je bila znatnije niža i sezala je do 230 cm (Slika 4.6.).



Slika 4.6. Prozirnost vode mjerena u istraživanom razdoblju.

#### 4.1.6. Ostali fizikalno-kemijski parametri

Ostali fizikalno-kemijski parametri koji su izmjereni su: koncentracija amonijevih iona, kalijevog permanganata, ortofosfata, ukupan organski ugljik (TOC), elektroprovodljivost i ukupno otopljene soli (TDS) (Tablica 4.1.).

Najveća koncentracija amonijevih iona iznosila je  $0,901 \text{ mg L}^{-1}$  u uzorku vode uzetom u listopadu na dnu jezera, a najmanja  $0,052 \text{ mg L}^{-1}$  u uzorku vode uzetom u lipnju, također na dnu jezera. Koncentracija amonijevih iona raste od lipnja do listopada i povećanjem dubine. Najveća kolebanja su vidljiva u listopadu, gdje je vrijednost koncentracije varirala od  $0,086 \text{ mg L}^{-1}$  do  $0,901 \text{ mg L}^{-1}$ .

Najveće koncentracije ukupnog organskog ugljika zabilježene su u lipnju. Vrijednosti su varirale od  $2,49 \text{ mg L}^{-1}$  na dubini od 9 m, do  $3,179 \text{ mg L}^{-1}$  na dubini od 3 m. To su ujedno najmanja i najveća zabilježena koncentracija TOC u istraživanom razdoblju. Najmanja kolebanja su bila u kolovozu, gdje je vrijednost koncentracije varirala od  $2,561 \text{ mg L}^{-1}$  pri dubini od 9 m, do  $2,776 \text{ mg L}^{-1}$  na dnu jezera.

Koncentracija kalijevog permanganata ovisi o razdoblju i dubini jezera. Najveće koncentracije izmjerene su u srpnju, a varirale su od  $2,18 \text{ mg L}^{-1}$  do  $2,7 \text{ mg L}^{-1}$ . Najveća kolebanja su bila u kolovozu i listopadu, gdje je vrijednost koncentracije varirala od  $1,12 \text{ mg L}^{-1}$  izmjerenoj na površini jezera, do  $2,72 \text{ mg L}^{-1}$  na dnu jezera. To su ujedno najmanja i najveća zabilježena koncentracija kalijevog permanganata.

Koncentracija ortofosfata znatno varira s obzirom na razdoblje i dubinu jezera. U lipnju i srpnju kolebanja su mala, a koncentracija se kreće od  $0,003 \text{ mg L}^{-1}$  do  $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ . Vrijednost koncentracije se u lipnju uglavnom povećava s promjenom dubine, a u srpnju naglo opada pri dubini od 6 m. U kolovozu i listopadu koncentracija ortofosfata se naglo povećava na dnu jezera. To je ujedno i najveća izmjerena koncentracija ortofosfata, a iznosi  $0,031 \text{ mg L}^{-1}$ . Najmanja koncentracija zabilježena je u listopadu, pri dubini od 6 m, a iznosila je  $1,12 \text{ mg L}^{-1}$ . Iz rezultata se jasno vidi da su najveća kolebanja bila u listopadu.

Elektroprovodljivost vode u lipnju i srpnju se smanjuje s povećanjem dubine jezera. Vrijednosti elektroprovodljivosti veće su na površini, nego na dnu jezera, a raspon vrijednosti je od  $310 \mu\text{S cm}^{-1}$  na dnu jezera do  $370 \mu\text{S cm}^{-1}$  pri dubini od 6 m, a to je ujedno i najveća izmjerena vrijednost. Elektroprovodljivost se u kolovozu smanjuje do dubine od 6 m, a zatim se naglo povećava. Na dubini od 9 m, vrijednost elektroprovodljivosti vode je iznosila  $366 \mu\text{S cm}^{-1}$ , a zatim se opet smanjila do vrijednosti  $334 \mu\text{S cm}^{-1}$ . U listopadu su kolebanja najveća, a vrijednosti variraju od  $292 \mu\text{S cm}^{-1}$  (ujedno i najmanja izmjerena vrijednost) do  $369 \mu\text{S cm}^{-1}$ .

Iz Tablice 4.1. se jasno vidi da vrijednost TDS raste s povećanjem dubine jezera. Najveća kolebanja su u listopadu gdje se vrijednost koncentracije otopljenih tvari u vodi kreće od  $207 \text{ mg L}^{-1}$  na površini, 3 m i 6 m do  $298 \text{ mg L}^{-1}$  na dnu jezera. To je ujedno i najveća izmjerena koncentracija TDS. Najmanja izmjerena koncentracija bila je u kolovozu na površini jezera, a iznosila je  $203 \text{ mg L}^{-1}$ .

**Tablica 4.1.** Ostali fizikalno-kemijski parametri mjereni u istraživanom razdoblju.

	Datum	Nivo akumulacije/ m	$\text{NH}_4^+$ mg/L	TOC mg/L	$\text{KMnO}_4$ mg/L	$\text{PO}_4^{3-}$ mg/L	Elektro- konduktivitet $\mu\text{S/cm}$	TDS
1 m	02.06.2009.	39,65	0,073	2,926	1,75	0,003	369	257
3 m			0,099	2,689	1,51	0,004	369	256
6 m			0,165	2,658	1,51	0,008	344	278
9 m			0,098	2,49	1,82	0,007	317	281
12 m			0,286	2,564	1,27	0,008	310	283
1 m	18.06.2009.	39,41	0,086	2,909	1,83	0,005	368	240
3 m			0,231	3,179	2,06	0,009	364	240
6 m			0,158	3,074	2,22	0,008	370	269
9 m			0,223	3,087	2,14	0,01	318	278
12 m			0,218	2,874	1,98	0,006	315	285
1 m	16.07.2009.	39,2	0,058	3,035	2,7	0,008	349	220
3 m			0,102	2,836	2,18	0,01	345	223
6 m			0,111	2,823	2,3	0,005	353	237
9 m			0,109	2,661	2,7	0,006	335	281
12 m			0,15	2,545	2,14	0,006	321	286
1 m	27.08.2009.	38,46	0,059	2,632	1,3	0,012	325	203
3 m			0,349	2,617	1,42	0,007	324	204
6 m			0,281	2,647	1,65	0,017	323	204
9 m			0,205	2,561	2,13	0,018	366	284
12 m			0,338	2,776	1,65	0,031	334	289
1 m	06.10.2009.	37,98	0,086	2,675	1,12	0,002	295	207
3 m			0,168	2,762	2	0,002	292	207
6 m			0,151	2,601	1,76	0,001	292	207
9 m			0,249	2,649	1,6	0,005	369	279
12 m			0,901	2,835	2,72	0,015	343	298

## 4.2. PLANKTON

Uzorci planktona su uzeti u razdoblju od 27.04.2009. do 06.10.2009.

### 4.2.1. Taksonomski sastav zajednice

Od planktonskih račića utvrđene su sljedeće vrste i skupine:

- Rašljoticalci (Cladocera): *Bosmina longirostris* (O. F. Müller 1776), *Diaphanosoma brachyurum* (Liévin 1848), *Ceriodaphnia quadrangula* (O. F. Müller 1785), *Daphnia* sp. (O. F. Müller 1785) i *Simocephalus vetulus* (O. F. Müller 1785); Slika 4.7.
- Veslonošci (Copepoda): *Eudiaptomus gracilis* (G. O. Sars 1863) i *Cyclops* sp. (O. F. Müller 1776); Slika 4.8.



*Bosmina longirostris*



*Diaphanosoma brachyurum*



*Ceriodaphnia quadrangula*



*Daphnia* sp.



*Simocephalus vetulus*

**Slika 4.7.** Cladocera jezera Butoniga.



*Eudiaptomus gracilis*



*Cyclops sp.*

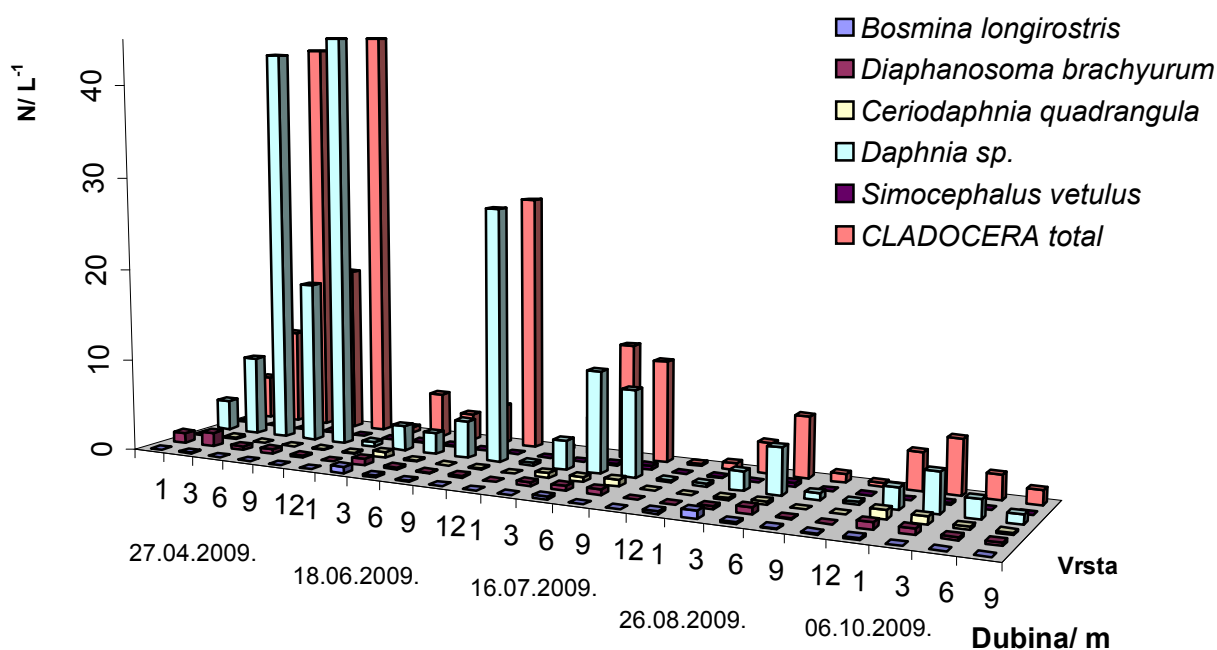
**Slika 4.8.** Copepoda jezera Butoniga.

#### 4.2.2. Gustoća zooplanktona

Gustoća populacija zooplanktona prikazana je na Slici 4.9. i 4.10. Brojem dominiraju račići skupine Cladocera. Tijekom istraživanog razdoblja *Daphnia* sp. je najviše pridonijela brojnosti zooplanktona. Tijekom travnja., na dnu jezera, izbrojano je čak 46,4 jedinki vrste *Daphnia* sp. u litri vode što čini 83,83 % ukupne brojnosti zooplanktona. Od veslonožaca, najzastupljenija je vrsta *E. gracilis*. U kolovozu, pri dubini od 9 m, njegova gustoća je najveća, a iznosila je 2,6 jedinki u litri vode ili 1,11 % ukupne brojnosti zooplanktona. Minimalna abundancija zabilježena je u srpnju u površinskom sloju vode (0,3 jedinke u litri vode ili 0,13 % ukupne brojnosti zooplanktona).

Iz Slike 4.9. jasno se može vidjeti da gustoća rašljoticalaca ovisi o razdoblju i dubini jezera. Tijekom razdoblja istraživanja, gustoća skupine Cladocera se smanjivala. Najveća gustoća zabilježena je u travnju, a najmanja u listopadu. Ako izuzmemo vrstu *Daphnia* sp., sljedeća po brojnosti najzastupljenija vrsta je *Diaphanosoma brachyurum*, čija je gustoća iznosila 9,4 jedinki u litri vode ili 4 % ukupne brojnosti zooplanktona u cijelom istraživanom razdoblju. I njezina gustoća je bila najveća u travnju (3,7 jedinke u litri vode ili 1,57 % ukupne brojnosti zooplanktona). Najmanju gustoću skupine Cladocera imala je vrsta *Bosmina longirostris* sa samo 3,1 jedinkom u litri vode ili 1,32 % ukupne brojnosti zooplanktona. Također se iz Slike 4.9. vidi da je na dnu veća gustoća zooplanktona nego li na površini jezera tijekom cijelog istraživanog razdoblja.

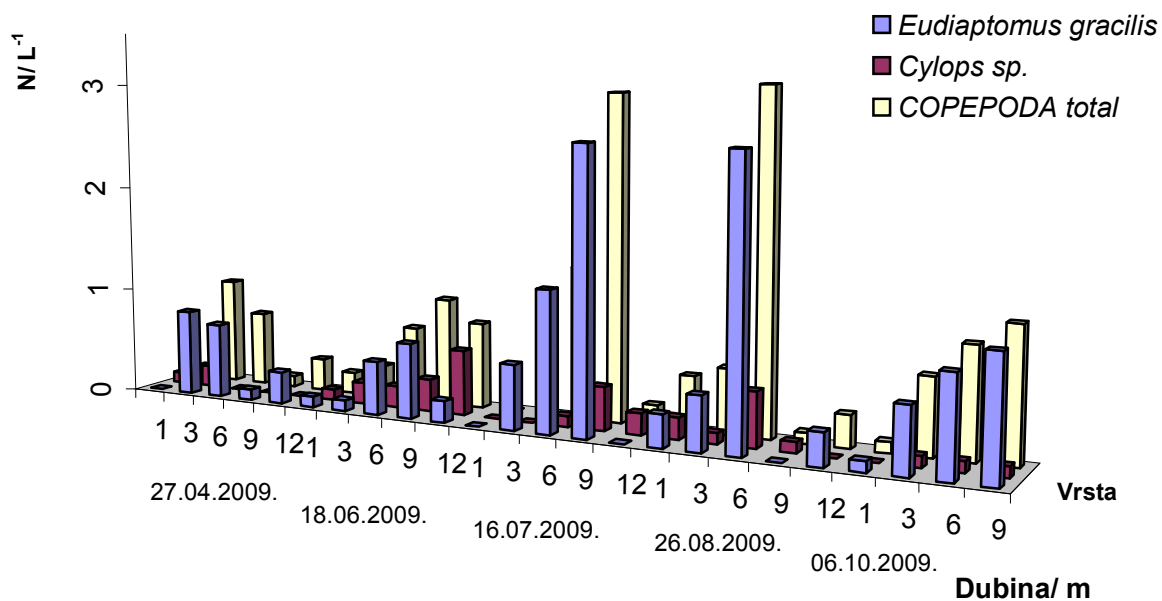




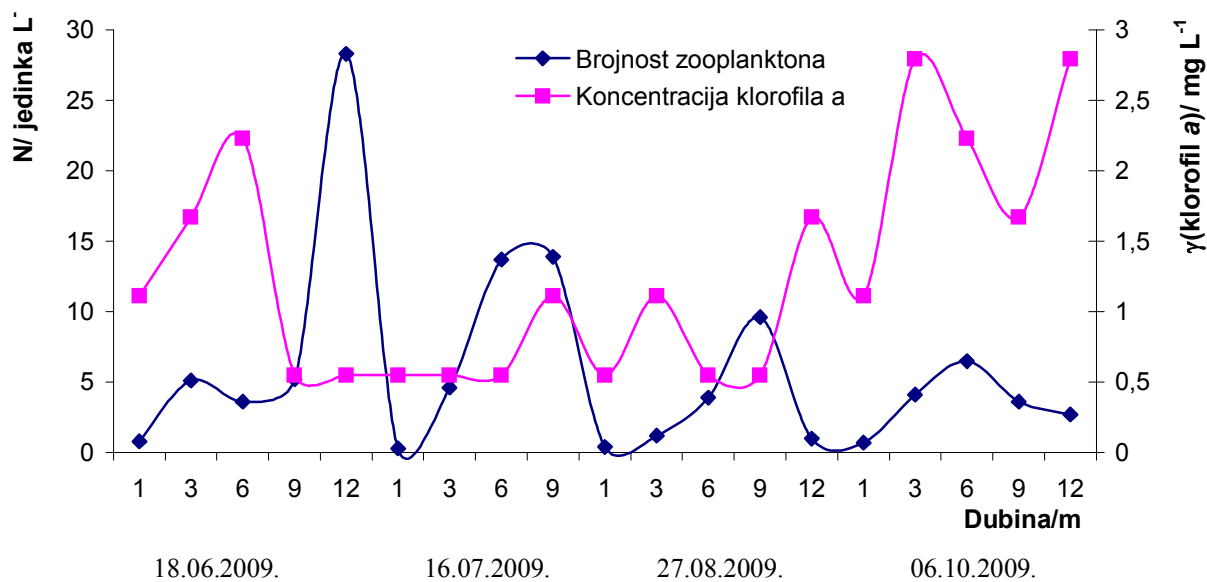
Slika 4.9. Brojnost Cladocera u istraživanom razdoblju.

Na Slici 4.10. prikazana je brojnost skupine Copepoda u istraživanom razdoblju. Jasno se vidi da je gustoća veslonožaca znatno manja od gustoće rašljoticalaca, ali također ovisi o razdoblju istraživanja i dubini jezera. Za razliku od skupine Cladocera, najveća gustoća skupine Copepoda zabilježena je u srpnju, a iznosila je 5 jedinki u litri vode ili 2,13 % ukupne brojnosti zooplanktona, a najmanja u travnju i iznosila je 2,2 jedinke u litri vode ili 0,94 % ukupne brojnosti zooplanktona. Najviše jedinki ove skupine bilo je na dubini od 9 m (8,2 jedinki u litri vode ili 3,5 % ukupne brojnosti zooplanktona), a najmanje na površini (0,8 jedinke u litri vode ili 0,34 % ukupne brojnosti zooplanktona). U srpnju na površini jezera, gustoća skupine Copepoda bila je 0 jedinki u litri vode.

Na Slici 4.11. prikazan je odnos koncentracije klorofila *a* i ukupne brojnosti zooplanktona. Iz rezultata se jasno vidi da je njihov odnos obrnuto proporcionalan, tj. u lipnju kada je zabilježena najmanja koncentracija klorofila *a*, ima najviše zooplanktona, a u listopadu, kada je zabilježena najveća koncentracija klorofila *a*, bilo je najmanje zooplanktona.

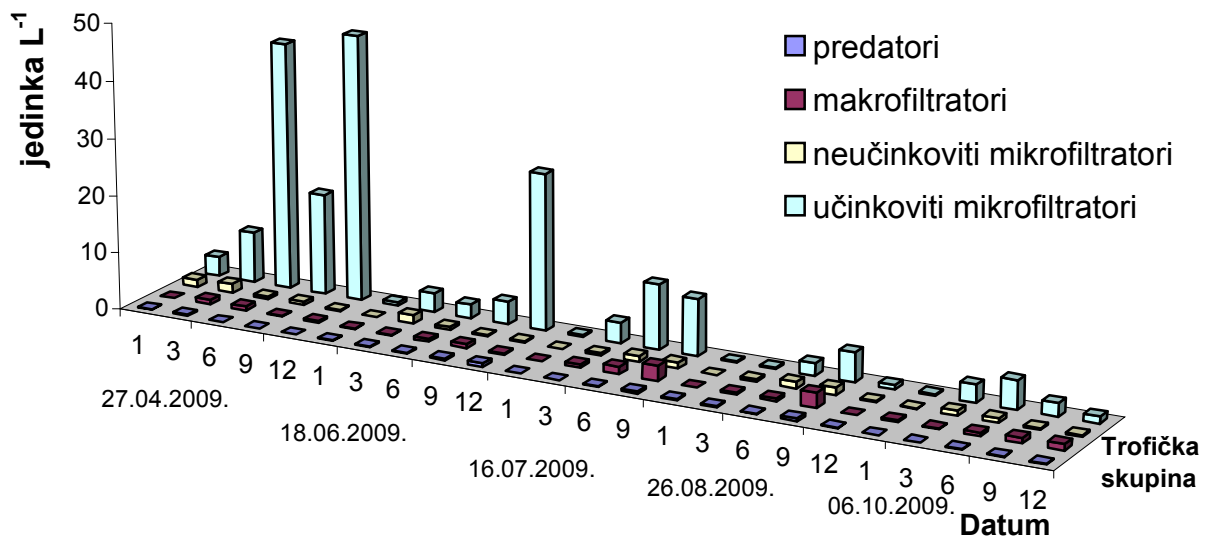


Slika 4.10. Brojnost Copepoda u istraživanom razdoblju.



Slika 4.11. Ukupna brojnost zooplanktona i koncentracija klorofila *a* u istraživanom razdoblju.

Slika 4.12. pokazuje da u trofičkoj strukturi zooplanktona prevladavaju „učinkoviti mikrofiltratori“: *Daphnia* sp., *Ceriodaphnia quadrangula* (ukupno 202,7 jedinki L<sup>-1</sup>). Po brojnosti, odmah poslije „učinkovitih mikrofiltratora“ slijedi skupina makrofiltratora: *Eudiaptomus gracilis* (ukupno 14,4 jedinki L<sup>-1</sup>), zatim „neučinkovitih mikrofiltratora“: *Bosmina longirostris*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Simocephalus vetulus* (ukupno 14,3 jedinki L<sup>-1</sup>) te predatora: *Cyclops* sp. (ukupno 3,6 jedinice L<sup>-1</sup>). Najveća gustoća najbrojnije trofičke skupine je u travnju, a najmanja u kolovozu.



**Slika 4.12.** Sezonske promjene gustoće trofičkih skupina zooplanktona u istraživanom razdoblju.

### 4.3. TROFIČKI INDEKS (TSI)

**Tablica 4.2.** Vrijednosti Trofičkog indeksa prema prozirnosti vode.

Datum	Prozirnost/ m	TSI
02.06.2009.	3,6	41,52
18.06.2009.	3,1	43,68
16.07.2009.	4	40
27.08.2009.	3,2	43,22
06.10.2009.	2,3	47,98

Iz Tablice 4.2. vidimo da se vrijednost trofičkog indeksa i stupanj prozirnosti vode odnose obrnuto proporcionalno. Drugim riječima, što je veća prozirnost vode, to je manja vrijednost trofičkog indeksa i obratno. Najveća vrijednost trofičkog indeksa iznosila je 47,98, a izračunata je prema stupnju prozirnosti 2,3 m. Trofički indeks je u granicama mezotrofije.

## **5. RASPRAVA**

## 5. RASPRAVA

Kvaliteta vode akumulacije Butoniga se već prati godinama. Diković (2010) navodi rezultate istraživanja provedenih 2004. i 2009. Tijekom tih razdoblja primjetna je degradacija kvalitete vode. Tijekom tog istraživanja kvaliteta vode akumulacije se pratila na tri vertikalna profila: u površinskom sloju, na mjestu usisa za preradu vode i 1 m od dna jezera. S obzirom na termičku stratifikaciju, ocjena kakvoće vode se mijenja s dubinom uzorkovanja. U istraživanju koje je provedeno 2004. rezultati kakvoće vode bili su sljedeći (Diković 2005.):

- pH vrijednost površinskog sloja niža od pH vrijednosti na dubini od 4 m i dna.
- Visoke temperature u epilimniju (sredinom ljeta od 27 do 28 °C) , visoka mikrobiološka aktivnost; temperature u hipolimniju niže (od 15 do 20 °C) , a na dnu oko 10 °C.
- Sadržaj otopljenog kisika mijenja se sa dubinom akumulacije (u epilimniju voda dobro zasićena kisikom, u hipolimniju hipoksija).

Moje istraživanje provedeno je također tijekom 2009. godine, ali su uzorci vode i planktona sabrani na više dubina (površina, 3 m, 6 m, 9 m i 12 m ). Iz rezultata se jasno vidi da temperatura, koncentracija otopljenog kisika i zasićenje kisikom uistinu variraju s obzirom na dubinu i razdoblje, te se rezultati uglavnom poklapaju s prethodnim nalazima na akumulaciji. Međutim, pH vrijednost se na površini jezera kretala od 7,9 do 8,37, a na dnu od 7,35 do 7,56. To se ne podudara s rezultatima koje navodi Diković. U našim rezultatima vrijednosti pH opadaju s dubinom jezera.

Temperatura vode slijedi uobičajen godišnji hod, s pojavom termokline između 5 i 10 m dubine. Temperature u epilimniju više su od temperatura u hipolimniju. Hajduk Černeha (2004) ističe da je akumulacija Butoniga termalno stratificirana od ožujka do listopada. Epilimnij, kao gornji topli sloj akumulacije, počinje se formirati u travnju, a u srpnju i kolovozu dostiže najvišu prosječnu temperaturu od 28°C. U rujnu se proteže do dubine od 8 metara ispod površine s prosjekom temperature od 24°C. Temperature u hipolimniju od srpnja do rujna, kreću se prosječno oko 10°C.

Koncentracije kisika razlikuju se s obzirom na dubinu jezera i razdoblje u godini. Tako je najveća koncentracija otopljenog kisika izmjerena tijekom lipnja u epi- i metalimniju, a najmanja u listopadu u hipolimniju. Prezasićenost kisikom u površinskim slojevima vode, te hipoksija na dnu, konzistentna je sa nalazima Zavoda za javno zdravstvo koji navode primjetnu degradaciju kvalitete vode (opadanje prema IV kategoriji) (Hajduk Černeha 2004). Najveći problem je u razdobljima intenzivne primarne proizvodnje na što nam ukazuje povećana koncentracija klorofila *a*. Velika produkcija algi uzrokuje po danu intenzivnu fotosintezu čime se u vodu oslobađaju velike količine kisika te uzrokuju hipersaturaciju, posebno u epilimniju, gdje algi, zbog dobrog osvjetljenja, ima najviše. Međutim, koncentracija kisika u vodi ne ovisi samo o primarnoj proizvodnji, već i o temperaturi i količini otopljenih soli. Stoga, iako je koncentracija kisika i klorofila *a* najveća u epilimniju, njihov odnos nije proporcionalno linearan, već ovisi i o promjenama temperature i otopljenih soli.

Temperatura vode određuje i dinamiku životnog ciklusa planktona. Tijekom visokih temperatura ciklus se ubrzava, a brojnost organizama povećava (Karabin 1985). Brzi porast fito i zooplanktona uzrokuje brzo nakupljanje odumrlih organizama na dnu i intenzivnu razgradnju. Tijekom razgradnje se troši kisik. Ovi procesi najbolje objašnjavaju nestašice kisika u pridnenim slojevima akumulacije koja je utvrđena tijekom istraživanja, U prilog tome idu i povećane vrijednosti permanganatnog broja te koncentracije fosfata, čije su najveće vrijednosti utvrđene upravo u hipolimniju, a koje ukazuju na veću količinu organskih tvari i procese mineralizacije kojima se oslobađaju hranjive tvari.

Zajednica makrozooplanktona akumulacije Butoniga se brojnošću i sastavom znatno mijenja iz godine u godinu što govori o određenoj nestabilnosti eko-sustava (Ternjej i sur. 2010). Ona se očituje u regulaciji razine vode ispuštanjem hipolimnijskog sloja. U praćenju kvalitete vode vrlo je bitno odrediti sastav zajednice makrozooplanktona (Ternjej i sur. 2010). To je ujedno bio i jedan od ciljeva ovog istraživanja. Rezultati istraživanja ukazuju da se kroz nekoliko mjeseci mijenja brojnost jedinki, ali sastav je isti. Prevladavaju jedinke vrste *Daphnia* sp. Postotni udio jedinki ove vrste u litri vode bio je najveći u svim razdobljima istraživanja. U sastav zajednice makrozooplanktona ulaze *Diaphanosoma brachyurum* i *Bosmina longirostris*, koje su karakteristične za mezotrofna-eutrofna jezera, ali sa značajnije manjim brojčanim udjelom.

Od travnja do listopada 2009. brojnost određenih vrsta makrozooplanktona se povećava (*Ceriodaphnia quadrangula*, *Eudiaptomus gracilis*, *Cyclops* sp.). To se može povezati s opadanjem stupnja prozirnosti vode. Naime, kako se povećava mutnoća vode, zooplankton je bolje zaštićen od predatora. Suspendirane čestice značajno ometaju detekciju plijena kod vizualnih predatora (riba) zbog učinka rasipanja svjetlosti (Horppila i sur. 2004). U jako mutnim vodama, zooplankton može izbjegavati predaciju riba u slobodnoj vodi čak i po danu (Estlander i sur. 2009). Suprotno učinku suspendiranih čestica u mutnim vodama, otopljene tvari imaju mali učinak na rasipanje svjetlosti, ali velik učinak na slabljenje intenziteta svjetlosti (Kirk 1994, Estlander i sur. 2009). Poznato je da slabiji intenzitet svjetlosti smanjuje stopu predacije planktivornih riba (Bergman 1987).

To se može objasniti zbog promjena temperature i koncentracije kisika u razdoblju od 02.06.2009. do 06.10.2009. Te promjene znatno utječu na sastav i brojnost zooplanktona. Vrijednosti koncentracija klorofila *a*, stupanj prozirnosti i indeks stupnja trofije ukazuju da je najveći stupanj trofije jezera bio u listopadu 2009. godine. Tada je bila najveća primarna produkcija, tj. bilo je najviše fitoplanktona (koncentracija klorofila *a* iznosila je 2,79  $\mu\text{g L}^{-1}$ ). Također se vidi da vrijednost koncentracije klorofila *a* u lipnju opada s dubinom jezera. Zbog većeg osvjetljenja pri manjim dubinama, veće su i koncentracije klorofila *a*.

U proljeće, kako se koncentracija fitoplanktona povećava, zooplankton lakše pronalazi svoj plijen i naglo se povećava njegova gustoća (ukupno 125,8 jedinki  $\text{L}^{-1}$  u travnju 2009.). Iako fitoplankton dobiva više svjetla i njihova se gustoća povećava, tijekom ljeta fitoplankton ostaje bez hranjivih tvari i tada ih brojnost zooplanktona sustiže. S obzirom da se početkom jeseni mijenjaju fizikalno-kemijski uvjeti vode (temperatura, koncentracija otopljenog kisika, zasićenost ksikom), smanjuje se i gustoća makrozooplanktona. Kako je smanjena brojnost zooplanktona, smanjuje se predacija, povećava se brojnost fitoplanktona, tj. primarna produkcija, a time i stupanj trofije jezera.

Od trofičkih kategorija najzastupljenija kategorija su „učinkoviti“ filtratori. Prisutni su tijekom cijelog istraživanja i u svim slojevima vode. Njihov udio ukazuje na oligotrofno-mezotrofni stupanj. Vrste roda *Daphnia* najbolji su filtratori u planktonu i mogu isfiltrirati velike količine alga, te time kontrolirati trofiju jezerskog ekosustava (Karabin 1985).



Nasuprot njima „neučinkoviti“ mikrofiltratori poput *Bosmina* i *Diaphanosoma* hrane se detritusom i brojni su u eutrofnim sustavima. Makrofiltratori i predatori su također malobrojni u akumulaciji Butoniga. Tu se naravno mora naglasiti da ovdje nisu utvrđeni pravi predatori već samo fakultativni (*Cyclops*). Njihov se udio najčešće povećava sa porastom trofije (Karabin). U prethodnim nalazima (Hajduk Černeha 2004) akumulacija je okarakterizirana kao eutrofni sustav. Ovakva nepodudarnost posljedica je različite metodologije procjene trofije. U prethodnim istraživanjima procjena trofije načinjena je primarno na temelju kemijskih pokazatelja. Kemijski čimbenici ukazuju na trenutno stanje sustava, dok biološki (kao sastav i struktura zajednice) ukazuju na opće trendove.

## **6. ZAKLJUČAK**

## 6. ZAKLJUČAK

1. Prema indeksu stupnja trofije i stupnja prozirnosti, jezero Butoniga je mezotrofno jezero. Prozirnost jezera je bila najmanja u listopadu 2009. godine zbog izražene primarne produkcije. Izmjerene koncentracije klorofila *a* ukazuju na to da je jezero u granicama mezotrofije.

2. Utvrđeno je 7 vrsta planktonskih rakova: 5 skupine Cladocera i 2 skupine Copepoda. Gustoća populacija skupine Cladocera bila je veća od gustoće populacija skupine Copepoda. Ostale vrste koje su sačinjavale makrozooplankton bile su *Bosmina longirostris*, *Ceriodaphnia quadrangula*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Simocephalus vetulus*, *Eudiaptomus gracilis* i *Cyclops* sp.

3. Najveća brojnost zooplanktona zabilježena je u travnju, a najmanja u listopadu. Veća abundancija zooplanktona utvrđena je u pridnenim slojevima, a manja u površinskim. Brojnost raste povišenjem temperature i pri dovoljnoj zasićenosti kisikom.

4. Obzirom na sastav zajednice zooplanktona, jezero Butoniga poprima oligotrofno-mezotrofni karakter. Tijekom istraživanja prevladavaju „učinkoviti“ mikrofiltratori (*Daphnia* sp. i *Ceriodaphnia quadrangula*), a odmah slijede makrofiltratori (*Eudiaptomus gracilis*), „neučinkoviti“ mikrofiltratori (*Bosmina longirostris*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Simocephalus vetulus*) i naposljetku predatori (*Cyclops* sp.).

5. Procjena stupnja trofije u ovom istraživanju ne podudara se u potpunosti s prethodnima. Ovakva nepodudarnost posljedica je različite metodologije procjene trofije. U prethodnim istraživanjima procjena trofije načinjena je primarno na temelju kemijskih pokazatelja. Kemijski čimbenici ukazuju na trenutno stanje sustava, dok biološki (kao sastav i struktura zajednice) ukazuju na opće trendove.

## **7. LITERATURA**

## 7. LITERATURA

Allan, D. J. (1974): Balancing predation and competition in cladocerans. *Ecology* **55**: 622-629.

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

APHA (1985): Standard methods for the examination of water and waste. 12<sup>th</sup> ed. American Public Health Association. New York.

Azevedo, F. I Bonecker, C. C. (2003): Community size structure of zooplanktonic assemblages in three lakes on the upper River Paraná floodplain, PR-MS, Brazil.

Beaver, J. R. i Havens, K. E. (1996): Seasonal and spatial variation in zooplankton community structure and their relation to possible controlling variables in Lake Okeechobee. *Freshwater biology* **36**: 45-56.

Bergman, M. J. N. I van der Veer, H. W. (1987): Predation by crustaceans on a newly settled 0-gropu place *Pleuronectes platessa* population in the western Wadden Sea, *Marine Ecology – Progress Series* **35**: 203-215.

Brooks, J. L. i Dodson, S. I. (1965): Predation, body-size and competition in plankton. *Science* **150**: 28-35.

Burks, R. L., Lodge, D. M., Jeppesen, E. i Lauridsen, T. L. (2002): Diel horizontal migration of zooplankton: costs and benefits of inhabiting the littoral. *Freshwater biology* **47**: 343-356.

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

- Castro, B. B., Antunes, S. C., Pereira, R., Soares, A. M. V. M. i Gonçalves, F. (2005): Rotifer community structure in three shallow lakes: seasonal fluctuations and explanatory factors. *Hydrobiologia* **543**: 221-232.
- de Bernardi, R., Giussani G. (1975): Population dynamics of three cladocerans of lago Maggiore related to predation pressure by a planktonophagous fish. *Verh. International Verein Limnology* **19**, 2906-2912.
- de Bernardi, R., Giussani, G., Manca, M. (1987): Cladocera: Predators and prey. *Hydrobiologia* **145**: 225-243
- Diković, S. (2005): Kakvoća prirodnih resursa voda uključenih u vodoopskrbu u istarskoj županiji u 2004.godini, Zavod za javno zdravstvo istarske županije, Služba za zdravstvenu ekologiju, Odjel za zaštitu i unaprjeđenje okoliša, Pula.
- Diković, S. (2010): Kakvoća prirodnih resursa voda uključenih u vodoopskrbu u istarskoj županiji u 2009.godini, Zavod za javno zdravstvo istarske županije, Služba za zdravstvenu ekologiju, Odjel za zaštitu i unaprjeđenje okoliša, Pula.
- Dodson, S. I. (1970): Complementary feeding niches sustained by size selective predation. *Limnology and Oceanography* **15**: 131-137.
- Dodson, S. I., Edvarde, C., Wiman, F., Normandin (1976): Zooplankton: Species distribution and food abundance. *Limnology and Oceanography* **21**: 309-313.
- Einsle, U. (1993): Crustacea, Copepoda, Calanoida und Cyclopoida. Süßwasserfauna von Mitteleuropa 8/4. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Erlih, S (2010): Pogled s "površine" na dogajanja v jezerskih ekosistemih. On line (<http://www.josko.org/pogledspovrsine.htm>); pristupljeno 21.08.2010.
- Estlander, S., Nurminen, L., Olin, M., Vinni, M. i Horppila, J. (2009): Seasonal fluctuations in macrophyte cover and water transparency of four brown-water lakes: implications for crustean zooplankton in littoral and pelagic habitats. *Hydrobiologia* **620**: 109-120.

- Gliwicz, Z. M. (1969): Studies on the feeding of pelagic zooplankton in lakes with varying trophy. *Ekologia Polska, Seria 17*: 663-707.
- Green, J. (1956): Growth, size and reproduction in *Daphnia*. *Proceedings of Zoological Society of London 126*: 173-204.
- Greenberg, A. E., Rhodes Trussell, R. i Clesceri, L. S. (1985): *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association. Washington.
- Habdija, I. (2007): *Predavanja iz beskralježnjaka*, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu
- Hajduk Černeha, B. (2004): Akumulacija Butoniga – kvaliteta vode i potreba za njenim očuvanjem.  
On line ( [http://www.hdzv.hr/public\\_html/Hdzv\\_tekst/clanak\\_za\\_%20hdzv\\_bilten.doc](http://www.hdzv.hr/public_html/Hdzv_tekst/clanak_za_%20hdzv_bilten.doc)); pristupljeno 19.08.2010.
- Hrbaček, J. (1962): Species composition and the amount of zooplankton in relation to fish stock. *Rospravy Ceskoslovenske Akademie Ved Roda Matematickyh a Prirodnich Ved 72(10)*: 1-117.
- Jeppesen, E., Søndergaard, M., Søndergaard, M., Christoffersen, K., Theil-Nielsen, J. i Jürgens, K. (2002): Cascading trophic interactions in the littoral zone: an enclosure experiment in shallow Lake Stigsholm; Denmark *Arch. Hydrobiologia 153*: 533-555.
- Kajak, Z., Dugose, K., Hillbrich-Ilkowska, A., Pieczynski, E., Presj, A., Spondewska, I. I Weglenska, T. (1972): Influence of the artificially increased fish stock on the lake biocenoses. *Verh. International Verein Limnology 18*: 228-235.
- Karabin, A. (1985): Pelagic zooplankton (Rotatoria + Crustacea) variations in the proces of lake eutrophication. I. Structural and quantitative features, *Ekologia Polska 33(4)*: 567-616.

- Karabin, A. (1985a): Pelagic zooplankton (Rotatoria + Crustacea) variations in the proces of lake eutrophication. II. Modifying effect of biotic agents, *Ekologia Polska* **33**(4): 617-644.
- Kerovec, M., (1988): *Ekologija kopnenih voda*. Mala ekološka biblioteka. Hrvatsko ekološko društvo i dr. Ante Pelivan. Zagreb.
- Kirk, J. T. O. (1994): *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*, Second Edition, Cambridge University Press, 509 pp.
- Li, E. H., Li, W., Liu, G. H. I Yuan, L. Y. (2008): The effect of different submerged macrophyte species and biomass on sediment resuspension in a shallow freshwater lake. *Aquatic Botany* **88**: 121-126.
- Lynch, M. (1977): Fitness and optimal body size in zooplankton competition. *Ecology* **58**: 763-774.
- Malus, D. (2009): *Zaštita voda baza podataka*. On line ([http://www.google.hr/#hl=hr&q=za%C5%A1tita+voda&aq=f&aqi=g6&aql=&oq=&gs\\_rfai=&fp=8828a3551830b998](http://www.google.hr/#hl=hr&q=za%C5%A1tita+voda&aq=f&aqi=g6&aql=&oq=&gs_rfai=&fp=8828a3551830b998)). Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu; pristupljeno 23.08.2010.
- Margalef, R. (1983): *Limnol. Omega*, Barcelona. 1010 pp.
- Margaritora, F. (1983): *Cladoceri. Guide per li riconoscimento delle specie animali delle aque interne Italiane*. Verona, p. 169.
- Mc Couley, E. i Kaliff, J. (1981): Empirical relationship between phytoplankton and zooplankton biomass in lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* **38**: 458-463.
- Mihaljević, Z. (2006): *Predavanja iz ekologije životinja*. On line (<http://www.biol.pmf.hr/~eko/zlatko/Predavanje4P.pdf>) Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu; pristupljeno 19.08.2010.



- Moss, B. (1980): Ecology of fresh waters. Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp 332.
- Niell, W. E. (1975): Experimental studies of microcrustacean competition community composition and efficiency of resource utilization. Ecology **56**: 809-826.
- Papović, R. i Šapkarev, R. (1990): Animalna ekologija. Naučna knjiga. Beograd.
- Qin, B., Yang, L., Chen, F., Zhu, G., Zhang, L., Chen, Y. (2006): Mechanism and control of lake eutrophication. Chinese Science Bulletin **51**(19): 2401-2412.
- Ternjej, I., Mihaljević, Z., Stanković, I. i Kerovec, M. (2010): Copepods vs Cladocerans: long term changes in crustaceans zooplankton community of the Butoniga reservoir (Croatia). Hydrobiologia (*in press*).
- Vrebčević, B. (1996): Priručnik za upoznavanje slatkovodnih račića veslonožaca (Copepoda, Cyclopoidae) i rašljoticalaca (Cladocera) Hrvatske. Hrvatsko ekološko društvo, Zagreb.