

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno matematički fakultet  
Biološki odsjek

Ivana Pozojević

UTJECAJ EUTROFIKACIJE NA PLANKTONSKU ZAJEDNICU PLITKIH  
JEZERA

Zagreb, 2012.

Ovaj rad izrađen je u Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno matematičkog fakulteta, pod vodstvom Doc.dr.sc. Marie Špoljar i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2011./12.

## Sadržaj:

1. Uvod.....	1
1.1. Značajke plitkih jezera i planktonskih biocenoza .....	1
1.2. Utjecaj biotičkih i abiotičkih čimbenika na sastav zajednica planktona.....	2
2. Hipoteza i ciljevi rada .....	5
3. Materijali i metode .....	6
3.1. Područje istraživanja .....	6
3.2. Uzimanje i analiza uzoraka zooplanktona .....	7
3.3. Određivanje fizikalno-kemijskih parametara vode .....	11
3.4. Statistička analiza podataka .....	13
4. Rezultati .....	15
4.1. Fizikalno-kemijski parametri .....	15
4.2. Sastav i trofička struktura zooplanktona u mrtvajama rijeke Krapine.....	18
4.3. Trofička struktura zooplanktona kao indikator promjene okolišnih čimbenika ....	24
5. Rasprava.....	28
6. Zaključci .....	32
7. Popis literature .....	35
8. Sažetak .....	41
9. Summary.....	42

# 1. Uvod

## 1.1. Značajke plitkih jezera i planktonskih biocenoza

Uloga plitkih jezera često je bila zanemarivana u odnosu na duboka jezera, međutim danas se ukazuje na značajnu ulogu i raznolikost ovih staništa – bara, močvara, rukavaca, mrtvaja, kao i mnogobrojnih staništa vezanih uz njih te raznolikost životnih zajednica koje podržavaju ovi vodeni ekosustavi (CÉRÉGHINO i sur., 2008). Ispiranjem poljoprivrednih zemljišta, upotrebom prirodnih i mineralnih gnojiva, ispuštanjem komunalnih i industrijskih otpadnih voda, ribolovom i rekreacijom i sličnim antropogenim utjecajima unose se u vodene ekosustave velike količina hranjivih tvari koje ubrzavaju proces eutrofikacije, tj. povećavaju stupanj trofije (HUPFER i HILT, 2008). Premda je eutrofikacija prirodna pojava u stajaćicama, antropogeni utjecaj ubrzava taj proces. HUPFER i HILT (2008) definiraju eutrofikaciju kao povećanu primarnu proizvodnju u vodenim ekosustavima uzrokovanu povećanim unosom hranjivih tvari (nutrijenata). Posljedice antropogeno uzrokovane eutrofikacije su porast primarne (fitoplankton, vodeni makrofiti) i sekundarne produkcije (zooplankton, veći beskralježnjaci, ribe). Porast produkcije, povećanje količine suspendiranih čestica dovodi do povećane sedimentacije i utječe na smanjenje dubine jezera (HORPPILA i NURMINEN, 2001). Taj proces u konačnici može rezultirati terestifikacijom vodenog tijela.

Organizme u planktonu dijelimo na autotrofne (fitoplankton) i heterotrofne (zooplankton i protozoa). U zooplanktonu voda na kopnu najznačajniju ulogu u konverziji tvari i energije imaju kolnjaci (Rotifera) te rakovi (Crustacea): rašljoticalci (Cladocera) i veslonošci (Copepoda). Drugu heterotrofnu planktonsku komponentu čine

protozoa, npr. sunašca (Heliozoa), trepetljikaši (Ciliophora) (KALFF, 2002). Zooplanktoni su važna karika u prijenosu tvari od bakterija i primarnih producenata (algi) prema višim karikama hranidbenog lanca (PERROW i sur., 1999). S jedne strane oni mogu kontrolirati abundaciju fitoplanktona, a s druge strane predstavljaju hranu većim organizmima. Hranidbene (trofičke) skupine, brojnost i raznolikost zooplanktona rezultat su interakcije s drugim organizmima u akvatičkoj biocenozi te ukazuju na stupanj trofije sustava kao i indikatorsku ulogu zooplanktona na promjene okolišnih čimbenika (MAY i O'HARE, 2005; OBERTEGGER i sur., 2011).

## **1.2. Utjecaj biotičkih i abiotičkih čimbenika na sastav zajednica planktona**

Abiotički čimbenici: svjetlost, temperatura, koncentracija otopljenog kisika i hranjive tvari (orto-fosfati, nitrati) imaju značajan utjecaj na brojnost i raznolikost zooplanktonske zajednice (AZVEDO i BONEKER, 2003). Navedeni čimbenici utječu na stupanj trofije ekosustava određujući razvoj primarnih producenata, algi i vodenih makrofita, u plitkim jezerima.

Svjetlost je važan abiotički čimbenik povezan s mutnoćom odnosno prozirnošću vode. Količina svjetlosti određuje da li je jezerski sustav, u prozirnog (eng. *clear water state*) ili mutnom (eng. *turbid water state*) alternativnom stadiju,. Ova dva stadija su reverzibilna (JEPPESEN i sur., 1999; MOSS i sur., 1998), međutim za vraćanje iz mutnog u prozirno stanje potrebno je uložiti veću energiju od one uložene za prelazak iz prozirnog u mutno stanje (SCHEFFER i sur., 1998).

Vodeni makrofiti često imaju direktnu ulogu u promjeni jezera iz oligotrofnog (prozirnog) u eutrofno (mutno) stanje (JEPPESEN i sur., 1999). Oni smanjuju strujanje vode u pridnenim slojevima, čime sprečavaju resuspenziju organske tvari i sedimenta, a također asimiliraju hranjive tvari iz sedimenta i vode (SCHEFFER, 1998). U slučajevima velike mutnoće i velike primarne produkcije fitoplanktona, submerzni makrofiti često u potpunosti izostaju zbog nedostatka svjetlosti. U takvim uvjetima u jezerima dominiraju fitoplankton i emerzni makrofiti (ŠPOLJAR i sur., 2011 a). Suprotno tome, jezerski sustavi veće prozirnosti imaju veću pokrivenost dna submerznim makrofitima (NÖGES i sur., 2003.).

U prozirnem stanju submerzni makrofiti dominiraju u odnosu na emerzne te je omjer fitoplankton:zooplankton u korist zooplanktona (JEPPESEN i sur., 1999; NÖGES i sur., 2003). U navedenom su stadiju Crustacea (Copepoda i Cladocera) izloženi predacijskom pritisku vizualnih predatora (riba) te je njihova vertikalna i horizontalna raspodjela nejednaka (CASTRO i sur., 2007). ). Prozirnost omogućuje predacijski pritisak vizualnih predatora te zooplankton plitkih jezera migrira u litoralnu zonu s makrofitima ili u dubljim jezerima u pridneni jezerski sloj (JEPPESEN i sur., 1999). Također u tom stadiju dominirajući zooplankton se u velikoj mjeri hrani fitoplanktonom uzimajući ga filtracijom, tzv. *grazing*. Na taj način smanjuje se biomasa algi, čime se direktno povećava prozirnost vode što povoljno utječe na usporavanje procesa eutrofikacije (MOSS i sur., 1998, PERROW i sur., 1999).

Mutno stanje obilježava niska prozirnost vode, odsutnost submerznih makrofita i visoka fitoplanktonska produkcija što ukazuje na povećanu eutrofikaciju (SCHEFFER, 1998; HUPFER i HILT, 2008). Velika mutnoća smanjuje efikasnost vizualnih predatora u

hvatanju plijena, npr. zooplanktonskih rakova (STRZALEK i KOPERSKI, 2009) te je njihov plijen homogeno raspoređen horizontalno od litorala do pelagijala i/ili vertikalno, u vodenom stupcu (CASTRO i sur., 2007). Međutim, smanjena vidljivost ne utječe na taktilne predatore, npr. neke vrste iz skupine veslonožaca (Copepoda) i ličinke kukaca te mutnoća ne umanjuje njihov predacijski pritisak na zooplanktonte (STEMBERGER i GILBERT, 1984).

Strukturu zooplanktona značajno određuju količina dostupne hrane (*bottom-up*) i predacijski pritisak (*top-down* kontrola) (BRÖNMARK i HANSSON, 1998; JEPPESEN i sur., 1999). Glavni izvori hrane gotovo svim skupinama planktonskih organizama su suspendirana organska tvar (detritus), bakterije, alge, a neke skupine su predatori drugih predstavnika zooplanktona (KARABIN, 1985; JEPPESEN i sur., 1999).

Kompeticija i predacija su najčešće razmatrani biotički čimbenici koji utječu na brojnost i raznolikost zooplanktona (COTTENIE i sur., 2001). Kao u svim hranidbenim lancima, tako i u planktonu jezerskog sustava, predatori reguliraju brojnost jedinki na nižim trofičkim razinama. VANDERSTUKKEN i sur. (2010) smatraju da submerzni makrofiti pojačavaju *top-down* kontrolu fitoplanktona pružajući utočište filtratorskim rašljoticalcima (Cladocera) koji se hrane fitoplanktonom i time smanjuju suspenziju čestica i povećavaju prozirnost vode. Organizmi općenito, a tako i u planktonu, su u kompeticiji za hranu, tzv. eksploatacijska kompeticija i prostor (stanište), tzv. interferencijska kompeticija (BURNS i GILBERT, 1986). Rašljoticalci su najčešće u kompeticiji za hranu s kolnjacima, pri čemu kolnjaci trpe i mehanička oštećenja (KIRK, 1991). Cladocera također mogu doći u kompeticiju za hranu s rakovima veslonošcima (CASTRO i sur., 2007). U zooplanktonskoj zajednici veslonošci su uglavnom fakultativni

ili obligatni taktilni predatori, a rašljoticalci filtratori. Hranu veslonošcima predstavljaju kolnjaci, protozoa (npr. Tintinnida) te suspenzija algi i bakterija (KARABIN, 1985; BLINDOW i sur., 2000; JONSSON i sur., 2004). Veslonošci su važni u hranidbenim mrežama i kao plijen npr. ličinkama riba i kukaca (LIKENS, 2009). S obzirom na prehranu Tintinnida su neselektivni filtratori koji stvaraju struju vode svojim trepetljikama i konzumiraju detritus, dijatomeje, zelene alge i bičaste iz okolnog vodenog medija (JONSSON i sur., 2004; FOISSNER i sur., 1999). Oni su u kompeticiji s velikim brojem ostalih protozoa koji se hrane filtriranjem suspendiranih čestica bakterija, detritusa i sitnog fitoplanktona iz vode (GODHANTARAMAN, 2002).

## **2. Hipoteza i ciljevi rada**

Istraživanje zooplanktona u ovom radu provedeno je u dva plitka jezera (mrtvaje) za koje je u prethodnim istraživanjima utvrđeno da se statistički značajno razlikuju s obzirom na prozirnost i širinu pojasa emerznih makrofita (ŠPOLJAR i sur., 2011a, b). Osnovana hipoteza ovog rada bila je da povećanje stupnja trofije dovodi do promjene odnosa hranidbenih (trofičkih) skupina zooplanktona. Za provjeru ove hipoteze postavljeni su sljedeći ciljevi istraživanja : (i) utvrditi utjecaj okolišnih čimbenika na zooplanktonsku zajednicu; (ii) usporediti brojnost Tintinnida, Rotifera, Cladocera i Copepoda; (iii) utvrditi glavne čimbenike koji utječu na trofičku strukturu zooplanktona u dva plitka jezera. Smatram da će rezultati ovog rada ukazati na indikatorsku ulogu zzooplanktona s obzirom na antropogeni utjecaj i promjene okolišnih čimbenika.



### 3. Materijali i metode

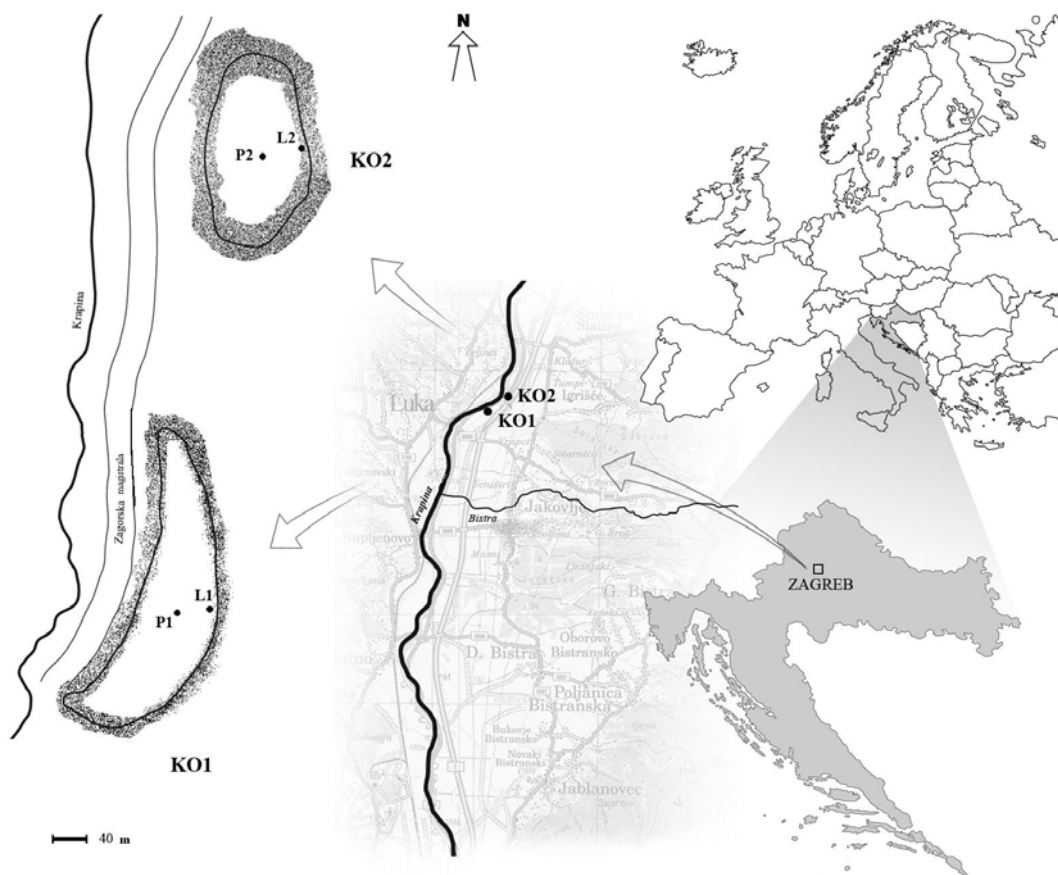
#### 3.1. Područje istraživanja

Mrtvaje (eng. *oxbow lake*) su plitka jezera relativno male površine. Mogu nastati prirodno nakon poplava i/ili odvajanjem meandara uslijed sedimentacije ili antropogeno odsijecanjem meandra prilikom kanaliziranja glavnog toka rijeke. Mrtvaje rijeke Krapine nastale su pedesetih godina XX stoljeća prilikom izgradnje Zagorske magistrale i kanaliziranjem glavnog toka rijeke (Slika 1). One su plitka, eutrofna i polimiktička jezera čije miješanje vodenog stupca ovisi o vjetru i bioturbanciji (ŠPOLJAR, 2011a, b).

Osnovna morfometrijska obilježja istraživanih mrtvaja prikazana su u Tablici 1. One su pod ingerencijom sportsko-ribolovnog društva „Šaran“ – Zaprešić, te su uglavnom poribljene ciprinidnim vrstama riba. Stoga u ihtiofauni obaju jezera dominira šaran (*Cyprinus carpio*), zatim som (*Silurus glanis*), štika (*Esox lucius*), smuđ (*Sander lucioperca*), linjak (*Tinca tinca*), deverika (*Abramis brama*) i patuljati somić (*Ameiurus melas*) (ŠPOLJAR i sur., 2011a).

**Tablica 1** Morfometrijska obilježja istraživanih plitkih jezera – mrtvaja, KO1 i KO2

Parametar	KO1	KO2
Koordinate	45° 57' 96" N; 15° 50' 78" E	45° 57' 37" N; 15° 50' 63" E
Duljina <sub>max</sub> (m)	150	81
Širina <sub>max</sub> (m)	37	48
Površina(m <sup>2</sup> )	17000	10000
Dubina <sub>max</sub> (m)	4	3
Nagib obale	strma obala	blaži nagib
Pokrivenost makrofitima (%)	3.2-5.5	5.0-7.8
Okolno područje	oranice	livade
Sastav makrofita (%)	<i>Typha latifolia</i> (40%) <i>Iris pseudacorus</i> (30%) <i>Carex</i> sp. (15%) <i>Sparganium ramosum</i> (15%)	<i>Typha latifolia</i> (40%) <i>Iris pseudacorus</i> (20%) <i>Carex</i> sp. (15%) <i>Mentha aquatica</i> (25%)

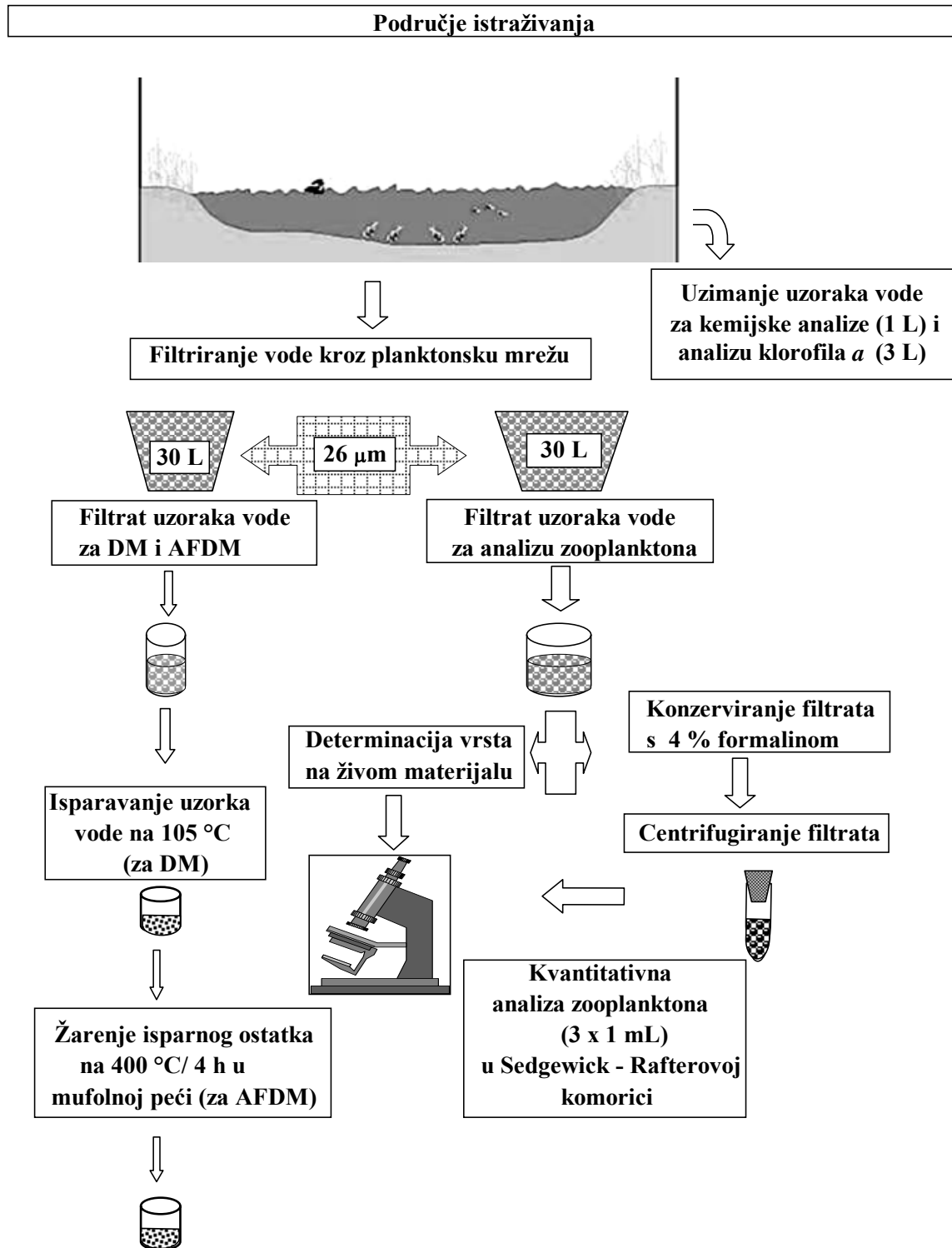


**Slika 1** Područje istraživanja rijeke Krapine (mrtvaje KO1 i KO2) s postajama uzorkovanja (P1 – pelagijal KO1, L1 – litoral KO1; P2 – pelagijal KO2, L2 – litoral KO2)

### **3.2. Uzimanje i analiza uzoraka zooplanktona**

Uzorci jezerske vode skupljani su tijekom ljetnog razdoblja, od lipnja do kolovoza 2008. godine (jednom u lipnju i kolovoza te dva puta u srpnju, označeno u grafovima kao VII/1, VII/2). U svakoj mrtvaji, KO1 i KO2, uzimani su uzorci s dvije postaje: P1 i P2–u zoni slobodne vode i L1 i L2–u litoralnoj zoni. Na svakoj postaji profiltrirano je dva puta po 30 L vode kroz planktonsku mrežu promjera oka 26  $\mu\text{m}$  (Slika 2). Jedan uzorak profiltrirane vode korišten je za određivanje raznolikosti i brojnosti zooplanktona, a drugi

za određivanje sadržaja organske tvari. Za laboratorijsku kemijsku analizu i određivanje klorofila *a* uzimani su uzorci jezerske vode u bocama od 1 L odnosno 3 L. Nakon dopremanja uzoraka u prenosnom hladnjaku, provedena je kvalitativna analiza živog materijala na svjetlosnom mikroskopu oznake Jenaval (Carl Zeiss Jena, 125× i 400×). Nakon determinacije uzorci su konzervirani u 4% formalinu te su centrifugirani (2000 okretaja u minuti, u trajanju od pet minuta) u svrhu koncentriranja volumena uzoraka na 10 do 15 mL. Svaki uzorak izbrojan je u tri poduzorka u Sedgewick – Rafterovoj komorici, a brojnost zooplanktona izražavana je brojem jedinki po litri, jed/L (Slika 2).



**Slika 2** Program sakupljanja uzoraka i njihova laboratorijska obrada (prema ŠPOLJAR, 2003) Kratice: DM:(eng. *dry mass*) – suha masa; AFDM: (eng. *ash free dry mass*) – suspendirana organska tvar

Za determinaciju zooplanktona korišteni su sljedeći ključevi: Tintinida FOISSNER i sur. (1999); kolnjaci (Rotifera) VOIGT i KOSTE (1978); veslonošci (Copepoda) EINSLE (1993); rašljoticalci (Cladocera). Prema FOISSNERU i sur. (1999) od trepetljikaša razmatrani su jedino mikrofagni Tintinnida, jer su bili najbrojniji i ne promijene oblik dodatkom konzervansa. Vrste iz skupine Cladocera (rašljoticalci) razvrstane su u dvije veličinske kategorije (ŠPOLJAR i sur., 2012):- malog tijela (500  $\mu\text{m}$  – 1 mm) i velikog tijela (>1mm). Suha biomasa Tintinnida, kolnjaka i planktonskih rakova izračunata je prema literaturnim podacima (BOTTRELL i sur., 1976; DUMONT, 1977; MALLEY i sur., 1989). Za razvrstavanje zooplanktona u hranidbene (trofičke) skupine korištena je raspodjela prema KARABINU (1985), s obzirom na vrstu i veličinu te način sakupljanja hrane:

a) Mikrofage–filtratore

– osnovna hrana za predstavnike ove trofičke skupine je suspenzija bakterija, detritusa i jednostaničnih algi. Veličina takvih čestica ne prelazi 15-20  $\mu\text{m}$  te su one sakupljene filtriranjem. Ovoj skupini pripadaju kolnjaci-mikrofiltratori te rakovi rašljoticalci.

b) Algivore—omnivore

– hranu ove trofičke skupine sačinjavaju male mrežne alge, uključujući nitaste alge te nerijetko i životinjska hrana koju aktivno traže. Ovoj skupini pripadaju kolnjaci-makrofiltratori i predatori te juvenilne jedinice veslonožaca.

c) Predatore (karnivore)

– ovoj trofičkoj skupini pripadaju adultni oblici Copepoda koji mogu biti obligatni ili fakultativni predatori.

### 3.3. Određivanje fizikalno-kemijskih parametara vode

Tijekom istraživanja mjereni su fizikalno-kemijski parametri vode:

- temperatura vode (°C, oksimetar oznake WTW OXI 96)
- koncentracija otopljenog kisika (mg O<sub>2</sub>/L, oksimetar oznake WTW OXI 96)
- prozirnost vode (m, Secchi disk)
- pH vrijednost (pH-metar WTW, 330i)
- konduktivitet – definira se kao sposobnost vodene otopine za provođenje struje, a određen je brojem prisutnih aniona i kationa te njihovom pokretljivošću (μS/cm, konduktometar oznake Hach Sension 5)
- koncentracija orto-fosfata (mg P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L)
- koncentracija nitrata (mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L)
- alkalitet (mg CaCO<sub>3</sub>/L) – definira se kao sadržaj karbonatnih (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), bikarbonatnih (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) i hidroksidnih (OH<sup>-</sup>) aniona.

Temperatura vode, koncentracija otopljenog kisika, prozirnost vode, pH i konduktivitet mjereni su na terenu odgovarajućim sondama. Alkalitet je određen titrimetrijski s otopinom 0.1 M HCl uz metilorange kao indikator do završne točke titracije kod pH = 4.3 (HÖELL, 1986).

Za sva spektrofotometrijska mjerenja korišten je spektrofotometar oznake HATCH DR/2000. Koncentracija orto-fosfata određivana je metodom s amonij-molibdat reagensom (APHA, 1985). Amonij-molibdat reagira u kiselom mediju (pH < 1) s fosfatima i stvara molibdofosforu kiselinu. Nastala kiselina reducira se s kositar-kloridom i daje intenzivno fosfomolibdensko plavilo. Intenzitet obojenja mjereno je na

spektrofotometrijski na valnoj dužini 690 nm. Koncentracija nitrata određena je metodom s natrijevim salicilatom spektrofotometrijski na valnoj dužina 420 nm (HÖELL, 1986).

Alge i suspendirane organske tvari razmatrane su kao osnovni izvori hrene zooplanktonskih organizama. Za procjenu biomase algi u planktonu određivana je koncentracija klorofila *a* (chl *a*) dok je za procjenu količine suspendirane organske tvari mjeren gubitak pri žarenju (eng. *ash free dry mass*, AFDM).

Uzorci planktona za određivanje koncentracije suspendirane organske tvari, sakupljeni filtriranjem vode, 3×10 L, kroz planktonsku mrežu promjera oka 26 μm, sušeni su na temperaturi od 104°C /4 h (suhi ostatak, DM, eng. *dry mass*), izvagani te žareni u mufolnoj peći na 600 °C /6 h (žareni ostatak). Iz razlike suhog i žarenog ostatka izračuna se količina organske tvari ili gubitak pri žarenju, AFDM (mg/m<sup>3</sup>).

Koncentracija klorofila *a* mjerena je metodom etanolske ekstrakcije (NUSH, 1980). Absorbancija uzoraka određivana je spektrofotometrijski (HATCH DR/2000), na valnoj duljini apsorpcijskog maksimuma chl *a* kod 665 nm. Koncentracija klorofila *a* izračunata je prema sljedećem matematičkom izrazu:

$$\text{Chl } a \text{ (mg/m}^3\text{)} = 29.6 (E_{665}^a - E_{665}^b) v / V * d$$

gdje je:

Chl *a* – koncentracija klorofila (mg/m<sup>3</sup>)

$E_{665}^a$  – ekstinkcija ekstrakta na 665 nm prije zakiseljavanja (Chl *a* + feofitini)

$E_{665}^b$  – ekstinkcija ekstrakta na 665 nm nakon zakiseljavanja (samo feofitini)

v – volumen otopine ekstrakta uzorka u mililitrima (mL)

V – volumen profiltrirane vode u litrima (L)

d – promjer spektrofotometrijske kivete u centimetrima

### 3.4. Statistička analiza podataka

Pokrivenost jezerskog dna makrofitima (%) određena je temeljem omjera širine pojasa makrofita i širine jezera izmjerene na pet lokacija na svakom jezeru (LAU i LANE, 2002). Vrijednosti indeksa stupnja trofije, TSI (eng. *trophic state indeks*) izračunate su iz prozirnosti izmjerene Secchi diskom (CARLSON, 1977), više vrijednosti ovog indeksa ukazuju na veći, a manje na niži stupanj trofije vodenog sustava.

Pri procjeni utjecaja eutrofikacije na planktonsku zajednicu korišten je omjer trofičkih (hranidbenih) skupina, GR (eng. *guild ratio*), koji je korišten u literaturi za prikaz odnosa trofičkih skupina kolnjaka, mikrofagnih:predatorskih (SMITH i sur., 2009; OBERTEGGER i sur., 2011). U predatore su uključeni i algivorno–omnivorni organizmi iz KARABIN-ove (1985) podjele na trofičke skupine. U ovom radu primijenjena je modifikacija ovog omjera uzimajući u obzir trofičke skupine svih predstavnika zooplanktona, :  $GR = \frac{\sum [\text{biomasa (algivori-omnivori + predatori)} - \text{biomasa mikrofaga}]}{\sum (\text{biomasa obje skupine})}$ . Vrijednosti GR kreću se u rasponu od -1 do +1, gdje vrijednosti manje od nule indiciraju dominaciju mikrofaga i veći stupanj trofije, dok rezultati veći od nule predstavljaju dominaciju algivora-omnivora i manji stupanj trofije (SMITH i sur., 2009). Popis vrsta Rotifera, Cladocera i Copepoda na kojem se temelji trofička struktura zooplanktona u ovom radu prikazali su ŠPOLJAR i sur. (2011a)

Prije statističke analize provedena je provjera raspodjele podataka Sharpio-Wilk's testom, iz čega proizlazi da niti nakon logaritamske transformacije  $[\log(x+1)]$  podaci nisu slijedili pravilnu raspodjelu. Stoga su za daljnju analizu korišteni neparametrijski testovi. Prilikom utvrđivanja stupnja značajnosti razlika okolišnih čimbenika i zooplanktona između dviju nezvisnih varijabli korišten je neparametrijski



Mann-Whitney U test za usporedbu dviju nezavisnih varijabli, a prilikom utvrđivanja značajnosti korelacija između pojedinih okolišnih čimbenika te korelacija između okolišnih čimbenika i zooplanktona korišten je Spearmanov koeficijent korelacije ( $r$ ). Za statističku analizu podataka korišten je program STATISTICA 8.0 (StatSoft inc., 2007). Statistička analiza ukazala je da u svakoj mrtvaji nije postojala signifikantna razlika fizikalno-kemijskih parametara i brojnosti zooplanktona između litoralne i pelagičke zone (Mann-Whitney U test,  $p > 0.05$ ) te da je prevladavala istovjetna horizontalna raspodjela istraživanih skupina zooplanktona. Stoga su dvije postaje istraživanja (P, L) u svakom jezeru razmatrani kao replikati, a sve analize i rezultati temeljeni su na usporedbi razlika dviju mrtvaja (lokaliteta). Grafički i tabelarni prikazi izrađeni su u programu Microsoft Excel 2003 (Microsoft Corporation, 2003).

## 4. Rezultati

### 4.1. Fizikalno-kemijski parametri

Razlike fizikalno-kemijskih parametara između mrtvaja KO1 i KO2 prikazane su u Tablici 2. Koncentracija otopljenog kisika, temperatura, alkalitet i AFDM imale su niže vrijednosti u KO1 u odnosu na KO2. Nasuprot tome, vrijednosti pH, koncentracije ortofosfata i nitrata bile su veće u KO2. Međutim, navedene razlike između KO1 i KO2 nisu bile statistički značajne ( $p > 0.05$ ) (Tablica 3). Nasuprot tome, veće vrijednosti koncentracije klorofila *a* i konduktiviteta i TSI te manje vrijednosti prozirnosti u KO1 u odnosu na KO2 bile su statistički značajne ( $p < 0.05$ ; Tablica 3). Očekivano, kod manje prozirnosti vrijednosti TSI bile su veće, što je rezultiralo statistički značajnom negativnom korelacijom (Tablica 4). Visoke vrijednosti koncentracije nitrata značajno su pridonijele povećanju konduktiviteta. Rezultati korelacija ukazuju na smanjenje prozirnosti uslijed povećanog konduktiviteta i koncentracija nitrata te povećanje vrijednosti TSI porastom konduktiviteta (Tablica 4).

**Tablica 2** Srednje, minimalne i maksimalne vrijednosti te standardne devijacije (SD) izmjerenih fizikalno-kemijskih parametara u KO1 i KO2. Kratice: Chl *a* – koncentracija klorofila *a*; AFDM (eng. *ash free dry mass*) – koncentracija suspendiranih organskih tvari; TSI (eng. *trophic state index*) – indeks stupnja trofije

Parametar – Okolišni čimbenici		KO1	KO2
Kisik (mg/L)	Srednja vrijednost	5.6	6.1
	Min - Max	3.4 - 7.7	4.2 - 7.4
	SD	1.7	1.2
Temperatura (°C)	Srednja vrijednost	23.6	25.0
	Min - Max	19.5 - 27.5	20.8 - 28.6
	SD	2.9	2.9
Prozirnost <sub>SD</sub> (m)	Srednja vrijednost	0.6	0.9
	Min - Max	0.5 - 0.7	0.7 - 1.1
	SD	0.1	0.2
Konduktivitet (µS/cm)	Srednja vrijednost	376.8	307.8
	Min - Max	364 - 384	300 - 325
	SD	8.4	7.7
pH	Srednja vrijednost	7.2	7.4
	Min - Max	7.1 - 7.4	7.1 - 7.6
	SD	0.1	0.2
Alkalitet (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Srednja vrijednost	114.4	115.0
	Min - Max	110 - 125	105 - 125
	SD	5.0	5.3
Ortofosfati, P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	Srednja vrijednost	0.0	0.0
	Min - Max	0.02 - 0.03	0.02 - 0.03
	SD	0.0	0.0
Nitrati, N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	Srednja vrijednost	0.1	0.1
	Min - Max	0.08 - 0.13	0.09 - 0.15
	SD	0.02	0.02
Chl <i>a</i> (mg/m <sup>3</sup> )	Srednja vrijednost	15.0	11.0
	Min - Max	7.1 - 23.4	4.7 - 36.7
	SD	6.1	9.6
AFDM (mg/m <sup>3</sup> )	Srednja vrijednost	1855.3	3524.2
	Min - Max	846.7 - 3916.7	953.3 - 15736.7
	SD	1155.1	4977.5
TSI	Srednja vrijednost	68.8	36.7
	Min - Max	2.1	6.4
	SD	65.2 - 70	30 - 47.8

**Tablica 3** Razlike okolišnih čimbenika između mrtvaja KO1 i KO2 (Mann-Whitney U test)

Parametar – okolišni čimbenici	n	Z	p
Prozirnost (m)	8	-3.23	0.001*
Kisik (mg/L)	16	-0.32	0.75
Temperatura(°C)	16	-1.26	0.21
Konduktivitet (μS/cm)	16	3.37	0.001*
pH	16	-1.74	0.08
Alkalitet (mg/L)	16	-0.67	0.50
Nitrati, N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	16	1.68	0.09
Ortofosfati, P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	16	0.79	0.43
Chl <i>a</i> (mg/m <sup>3</sup> )	16	2.68	0.01*
AFDW (mg/m <sup>3</sup> )	16	-0.74	0.46
TSI	8	3.40	0.001*

## 4.2. Sastav i trofička struktura zooplanktona u mrtvajama rijeke

### Krapine

U ovom radu razmatrana je brojnost četiriju skupina jezerskog zooplanktona: cilijatni protozoa – Tintinnida, kolnjaci – Rotifera, rakovi (Crustacea): rašljoticalci – Cladocera i veslonošci – Copepoda te njihove interakcije s abiotičkim i biotičkim čimbenicima.

Tintinnida su bili zastupljeni s podjednakim udjelom u ukupnoj brojnosti zooplanktona u KO1 (27%) i u KO2 (25% Slika 3). Brojnost Tintinnida bila je veća u KO1 u odnosu na KO2, međutim navedene razlike brojnosti nisu bile statistički značajne (Slika 4, Tablica 5). Ovi mikrofagi bili su zastupljeni s dvije vrste: *Tintinnidium fluviatile* i *Tintinnopsis lacustris*. U oba plitka jezera vrsta *T. lacustris* (KO1 99.6%, KO2 99.5%) bila je dominantna u odnosu na vrstu *T. fluviatile* (KO1 0.4%, KO2 0.5%). Tijekom ljetnog razdoblja na brojnost Tintinnida istraživani abiotički i biotički čimbenici nisu statistički značajno utjecali (Spearmanov koeficijent korelacije,  $p > 0.05$ ).

Skupina kolnjaka (Rotifera) imala je najveći udio u ukupnoj brojnosti zooplanktona u obje mrtvaje (KO1 62%, KO2 42%) (Slika 3). Njihova brojnost bila je statistički značajno veća u KO1 u odnosu na KO2 (Slika 4, Tablica 5). Rezultati statističke analize ukazuju da je smanjenje prozirnosti i temperature pretilo povećanje brojnosti kolnjaka (Tablica 4). S obzirom na trofičku strukturu obje skupine kolnjaka, mikrofagi i algivori-omnivori, postigle su veću brojnost u KO1 u odnosu na KO2, međutim ove razlike bile su statistički značajne samo za brojnost trofičke skupine algivora-omnivora (Slika 5, Tablica 5).

Unutar skupine rašljoticalca (Cladocera) vrste su bile razmatrane u dvije veličinske kategorije, a ova se podjela podudarala s različitim načinom prehrane vrsta. Vrste Cladocera malog tijela bile su prisutne u obje mrtvaje. Većinski udio u njihovoj prehrani ima suspenzija detritusa i bakterija, a manji alge. Vrste velikog tijela uzimaju za hranu uglavnom alge, a manji udio njihove prehrane čine detritus i bakterije. Ova veličinska kategorija je bila prisutna samo u KO2. U zooplanktonu u mrtvaji KO1 bile su zastupljene samo jedinke malog tijela (3%), dok su u KO2 bile zastupljene obje veličinske kategorije, što je uzrokovalo veći udio (15%) i brojnost Cladocera u KO2 u odnosu na KO1 (Slika 3, 4, Tablica 5). Temperatura i prozirnost pozitivno su utjecali na povećanje brojnosti Cladocera velikog tijela. Rezultati statističke analize kroz signifikantne negativne vrijednosti korelacije ukazuju na njihovu kompeticiju s algivorno-omnivornim kolnjacima (Tablica 4).

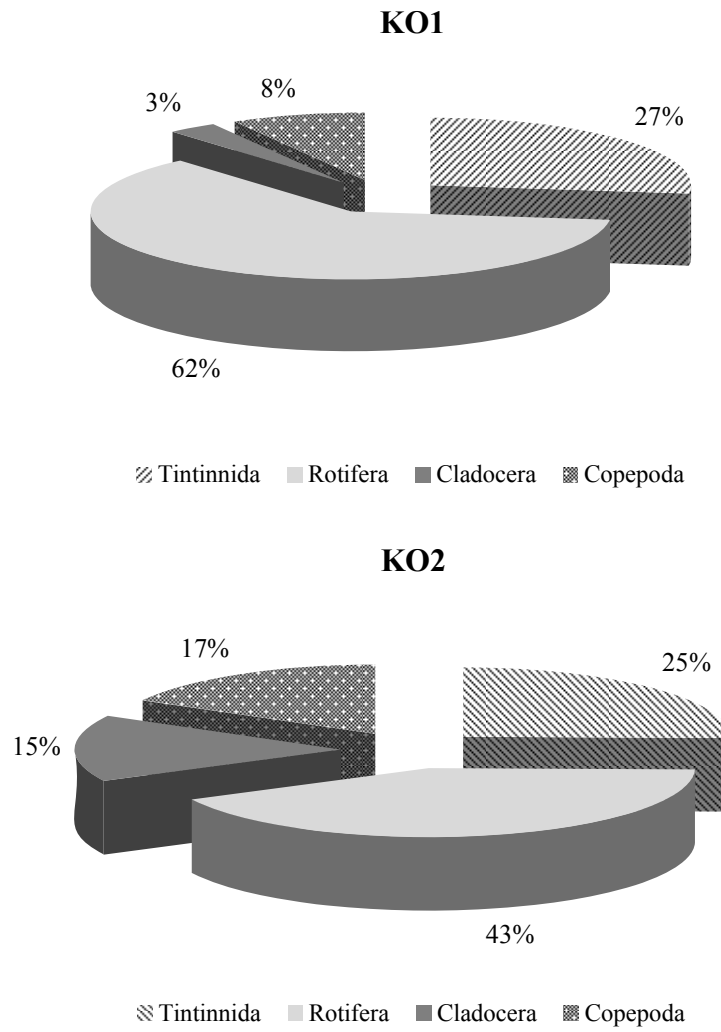
Rakovi veslonošci (Copepoda) su bili zastupljeni s adultnim oblicima dviju vrsta, *Cyclops* sp. i *Eudiaptomus gracilis* te njihovim ličinačkim stadijima, nauplijima i kopepoditima. Postotni udio Copepoda u ukupnoj brojnosti zooplanktona kao i njihova brojnost nisu ukazivali na statistički značajne razlike između KO1 i KO2 (Slika 3, 4, Tablica 5). Zabilježen je porast brojnosti Copepoda povećanjem prozirnosti na što ukazuje i statistički značajna pozitivna korelacija (Tablica 4). Ličinački stadiji Copepoda, pripadaju trofičkoj skupini algivora-omnivora, u obje su mrtvaje sačinjavali više od 90% brojnosti Copepoda, međutim razlika u njihovoj brojnosti između mrtvaja nije bila statistički značajna (Slika 5, Tablica 5). Brojnost trofičke skupine adultnih Copepoda koji su s obzirom na način prehrane pripadaju predatorima. bila je i statistički značajno veća u KO2 u usporedbi s KO1 (Slika 5, Tablica 5). Brojnost Copepoda nije se smanjivala

povećanjem prozirnosti na što ukazuje i statistički značajna pozitivna korelacija (Tablica 4).

Na ukupnu brojnost zooplanktona značajno su utjecali Rotifera ( $r = 0.86$ ,  $n = 16$ ,  $p < 0.05$ ), ali razlika ukupne brojnosti zooplanktona između KO1 i KO2 nije bila statistički značajna (Slika 5, Tablica 5).

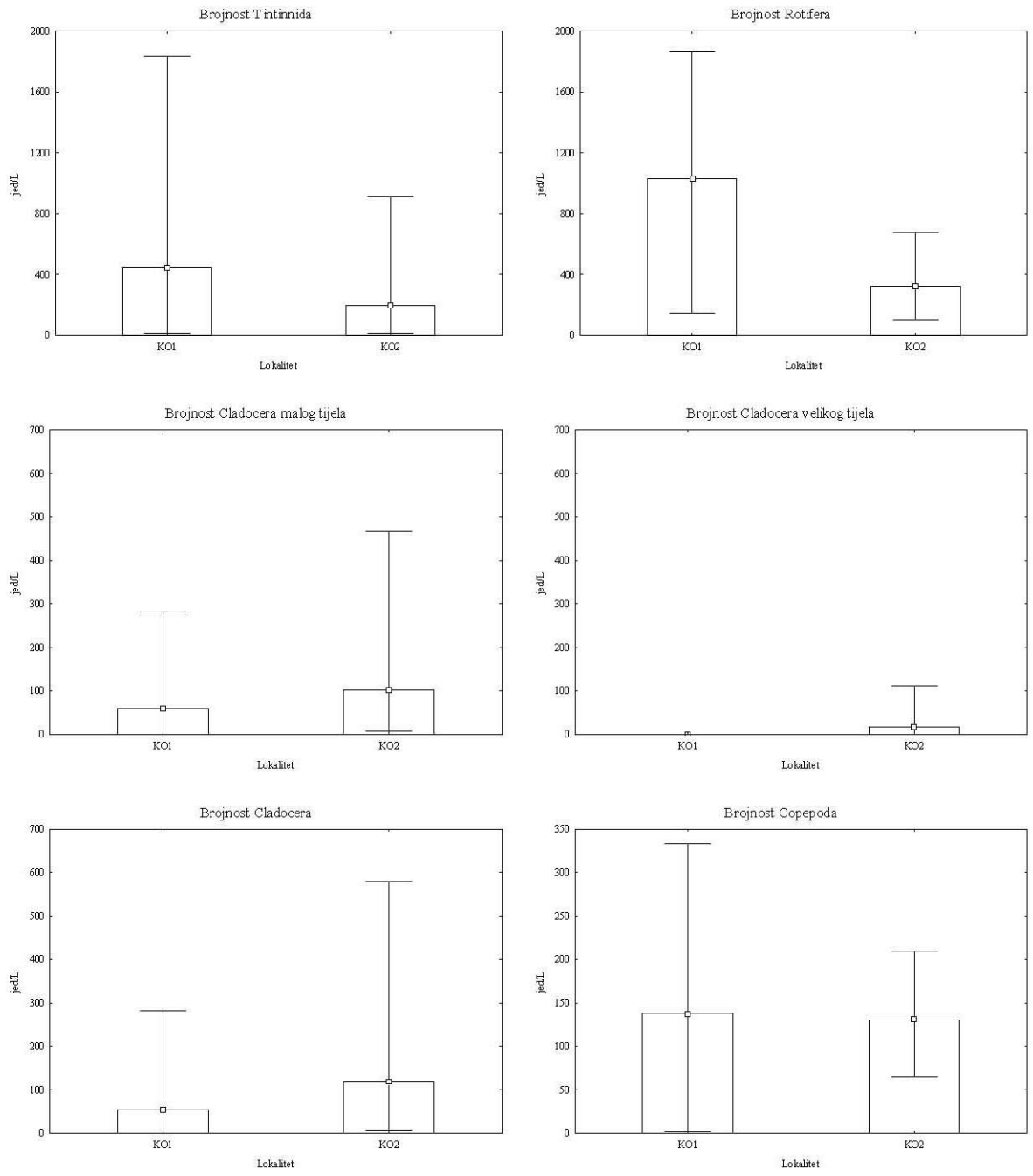
**Tablica 4** Statistički značajne vrijednosti Spearmanovog koeficijenta korelacije ( $p < 0.05$ ) između abiotičkih i biotičkih čimbenika u istraživanim mrtvajama ( $n_{KO1; KO2} = 16$ )

	r		r
<b>Prozirnost (m)</b>		<b>GR</b>	
Konduktivitet ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	-0.91	Cladocera malog tijela biomasa ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	-0.71
Nitrati, $\text{N}-\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	-0.64	Mikrofagi biomasa ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	-0.81
TSI	-0.82		
Rotifera brojnost (jed/L)	-0.52	<b>Ukupni zooplankton biomasa (<math>\mu\text{g}/\text{L}</math>)</b>	
Cladocera velikog tijela brojnost (jed/L)	0.59	Mikrofagi biomasa ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	0.88
Copepoda brojnost (jed/L)	0.60		
Mikrofagi biomasa ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	0.76	<b>Cladocera velikog tijela brojnost (jed/L)</b>	
Ukupni zooplankton biomasa ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	0.76	Rotifera algivori-omnivori brojnost (jed/L)	-0.57
<b>Temperatura (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>		<b>Postotni udio biomase Cladocera (%)</b>	
Rotifera brojnost (jed/L)	-0.61	Prozirnost (m)	0.78
Cladocera velikog tijela brojnost (jed/L)	0.58	Konduktivitet ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	-0.86
<b>Konduktivitet (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b>		Cladocera malog tijela biomasa ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	0.71
Nitrati, $\text{N}-\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg}/\text{L}$ )	0.63	Mikrofagi biomasa ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	0.83
TSI	0.74	GR	-0.90
		<b>Detritivori - algivori biomasa (<math>\mu\text{g}/\text{L}</math>)</b>	
		Copepoda algivori- omnivori biomasa ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	0.83

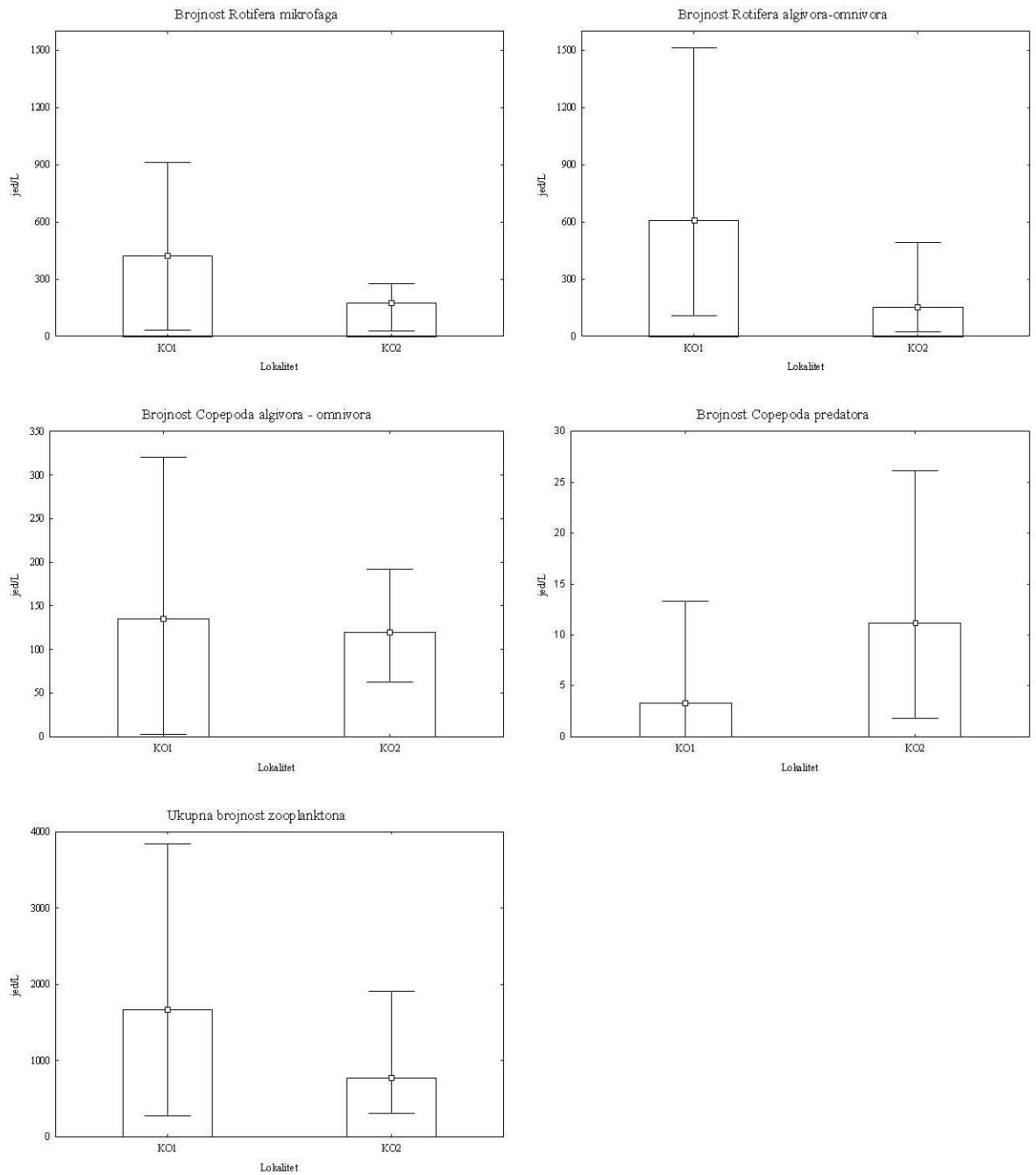


**Slika 3** Postotni udjeli Tintinnida, Rotifera, Cladocera i Copepoda u mrtvajama KO1 i KO2





**Slika 4** Razlike u brojnosti zooplanktona između KO1 i KO2 (□ srednja vrijednost, I minimalne-maksimalne vrijednosti)



**Slika 5** Razlike u brojnosti trofičkih skupina između KO1 i KO2 (□ srednja vrijednost, I minimalne-maksimalne vrijednosti)

### **4.3. Trofička struktura zooplanktona kao indikator promjene okolišnih čimbenika**

Vrijednosti omjera trofičkih skupina, GR, statistički su se značajno razlikovale između KO1 i KO2 (Tablica 5). U KO1 GR vrijednosti oscilirale su u rasponu od 0.04 do 0.82, te su ukazivale na dominaciju algivora-omnivora i manju trofiju. Vrijednosti GR u KO2 uglavnom su bile negativne, izuzev u kolovozu ukazujući na promjenu dominacije od mikrofaga u lipnju i srpnju prema skupini algivora - omnivora u kolovozu, odnosno prijelaz od manjeg prema većem stupnju trofije (Slika 6). Rezultati korelacija ukazuju na smanjivanje vrijednosti GR s povećanjem postotnog udjela biomase Cladocera, biomase Cladocera malog tijela i biomase ukupnih mikrofaga (Slika 6, Tablica 4). Na postotni udio biomase Cladocera značajno su utjecali Cladocera malog tijela kojima glavni udio u prehrani čini suspenzija bakterija i detritusa, što je rezultiralo statistički značajno većim biomasenim udjelom Cladocera, a time i ukupne biomase mikrofaga u KO2 u odnosu na KO1.

Uzimajući u obzir unos hranjivih tvari, primarnu produkciju, brojnost, biomasu i trofičke skupine zooplanktona rezultati mog rada ukazuju na sljedeće modele promjena u strukturi zooplanktona i akvatičkih biocenoza u istraživanim mrtvajama KO1 i KO2 (Slika 7): (i) povećani unos hranjivih tvari uslijed antropogenog utjecaja (poljoprivredne površine, ribolov) uzrokovao je povećan razvoj fitoplanktona u KO1 u odnosu na KO2; (ii) u (KO1) s većom biomasom fitoplanktona dolazi do povećane brojnosti zooplanktona, naročito Rotifera, dok u KO2 prevladavaju mikrofagni Cladocera, ali i općenito manji broj zooplanktona; (iii) porastom brojnosti algivora-omnivora povećava se brojnost omnivorno bentivornih riba (ciprinidne vrste) koje se njima hrane. Ove vrste

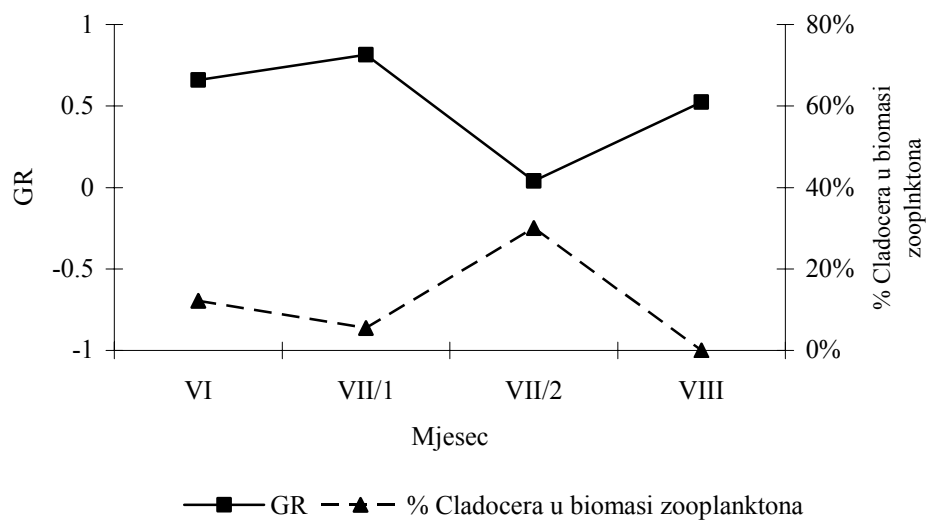
riba također dodatno obogaćuju akvatički sustav nutrijentima resuspenzijom jezerskog sedimenta i time smanjuju prozirnost. U jezeru veće prozirnosti, KO2, prevladavaju mikrofagni Cladocera, povećana je raznolikost riba te su brojnije piscivorne vrste koje ne resuspendiraju jezerski sediment i time ne smanjuju prozirnost. Također, smatram da je povećanoj prozirnosti jezera KO2 u odnosu na KO1, pridonijela veća brojnost mikrofagnih Cladocera.

**Tablica 5** Statističke značajnosti biotičkih parametara između mrtvaja KO1 i KO2 (Mann-Whitney U test) Kratica: GR (eng. *guild ratio*) – omjer trofičkih skupina

Parametar – biotički čimbenici	n	Z	p
Tintinnida brojnost (jed/L)	16	-0.11	0.92
Rotifera mikrofagi brojnost (jed/L)	16	1.26	0.21
Rotifera detritivori - algivori brojnost (jed/L)	16	2.42	0.02*
Rotifera brojnost (jed/L)	16	1.89	0.05*
Cladocera malog tijela brojnost (jed/L)	16	-1.58	0.12
Cladocera brojnost (jed/L)	16	-1.58	0.12
Copepoda ličinački stadij brojnost (jed/L)	16	-0.42	0.67
Copepoda adultne jedinke brojnost (jed/L)	16	-2.10	0.04*
Copepoda brojnost (jed/L)	16	-0.53	0.60
Ukupni zooplankton (jed/L)	16	1.37	0.17
Udio biomase Cladocera (%)	8	-2.31	0,02*
Mikrofagi biomasa (µg/L)	8	-2.02	0.04*
Algivori – omnivori biomasa (µg/L)	8	0.58	0.56
Ukupni zooplankton biomasa (µg/L)	8	-1.44	0.15
GR	8	2.02	0.04*

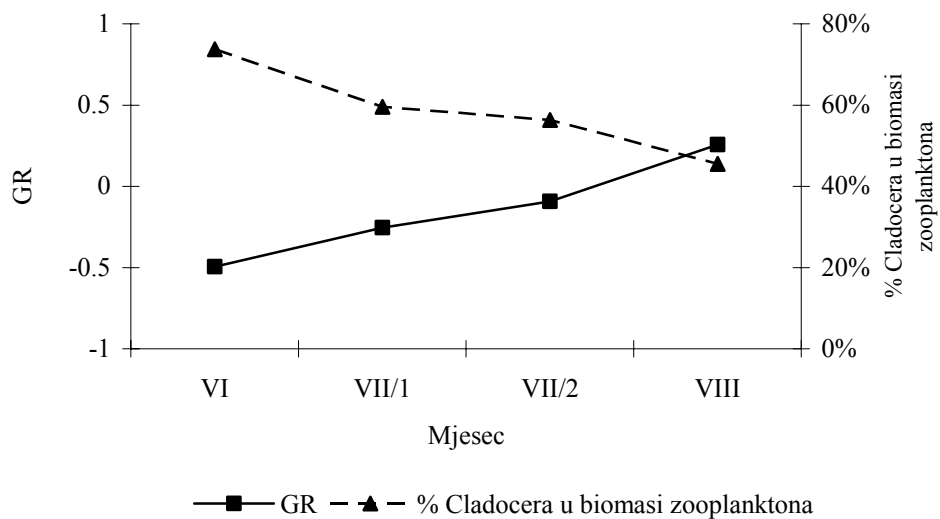
## KO1

a)

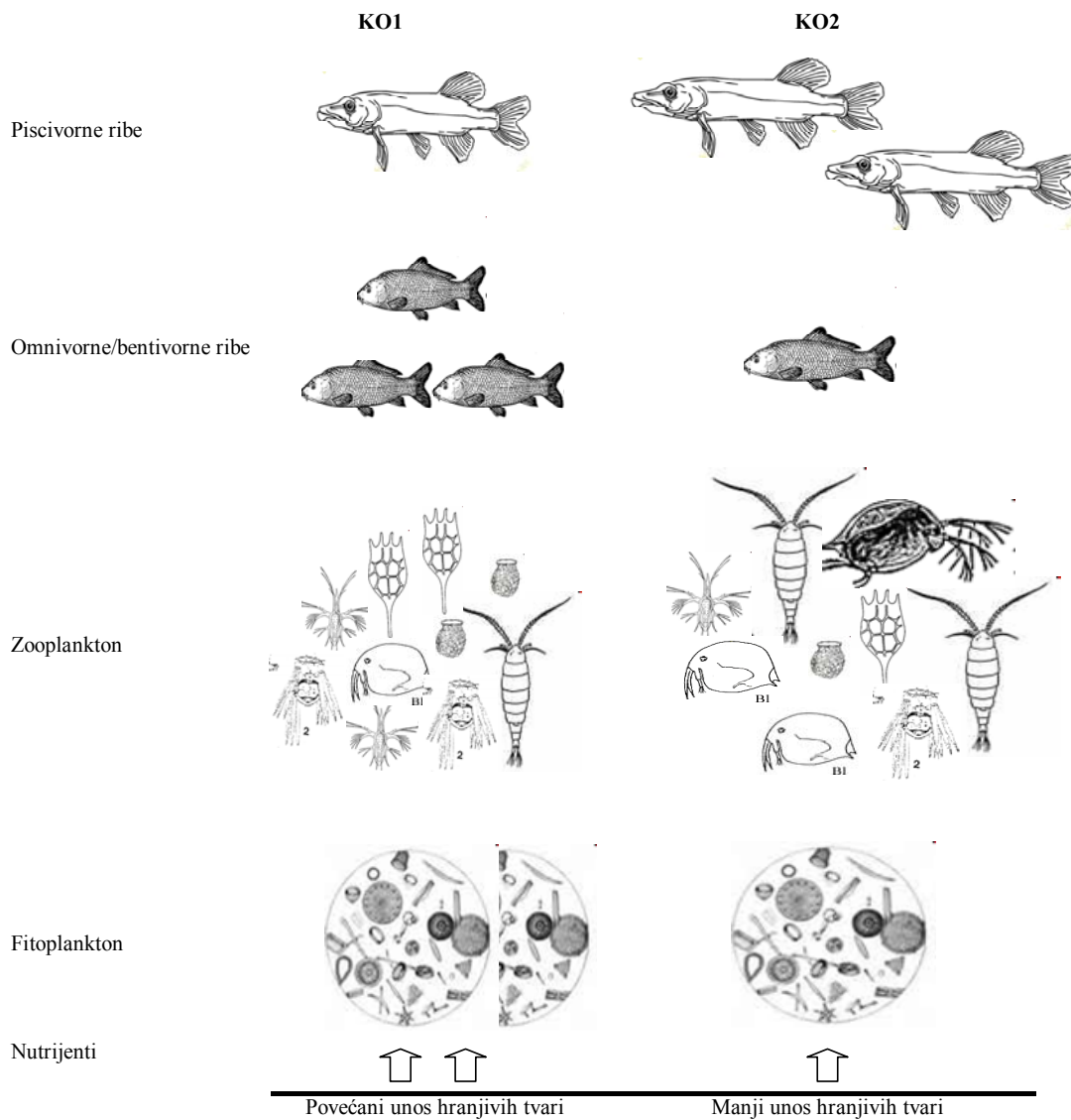


## KO2

b)



**Slika 6** Oscilacije GR i interakcije s postotnim udjelom biomase Cladocera u zooplanktonu u KO1 i KO2



**Slika 7** Model promjena trofičkih struktura akvatičkih biocenoza uzrokovanih antropogenom eutrofikacijom u mrtvajama KO1 i KO2

## 5. Rasprava

Rezultati ovog rada ukazuju da su razlike prozirnosti odnosno prodora svjetlosti uslijed antropogenog djelovanja (ribolov, poljoprivreda) utjecale na promjene u brojnosti i trofičkoj strukturi zooplanktona, a pretpostavljam da su promjene zahvatile i strukturu cjelokupne akvatičke zajednice (CÉRÉGHINO i sur., 2008). Iako su istraživani lokaliteti na relativno maloj udaljenosti (~500m) postojeće razlike abiotičkih čimbenika, izvora hrane i biocenotičke strukture ukazivali su na statistički značajne razlike. Proces eutrofikacije jedan je od ključnih antropogenih utjecaja u plitkim jezerima.

Mrtvaje rijeke Krapine malih su površina stoga fizičko-kemijski parametri nisu pokazivali statistički značajne razlike između pelagijala i litoralne zone, što je u skladu s istraživanjima drugih plitkih vodenih tijela male površine (ARORA i MEHRA, 2003). Zbog toga su razlike strukture zooplanktona u ovom radu razmatrane temeljem utvrđenih razlika okolišnih čimbenika između dvaju mrtvaja, npr. prozirnosti i širini litoralne zone s emerzima makrofitima (ŠPOLJAR i sur., 2011).

Signifikantno veću koncentraciju klorofila *a*, konduktiviteta, manju prozirnost i viši stupanj trofije, TSI, u KO1 u odnosu na KO2 objašnjavam antropogenim utjecajem. Prvo, oba istraživana plitka jezera u funkciji su ribnjaka s najviše zastupljenim ciprinidnim vrstama. Za prihranu riba najčešće je korištena suspenzija prirodnog gnojiva te je uz frekventni ribolov konstantno bilo prisutno dodatno obogaćivanje organskim tvarima korištenjem mamaca u obliku ugljikohidratnih i/ili proteinskih kugli. Smatram da su navedene aktivnosti uzrokovale ujedno i povećanje mineralizacije, konduktiviteta i

biomase fitoplanktona, a s duge su strane pridonijele smanjenju prozirnosti. Drugo, mrtvaja KO1 okružena je oranicama, za razliku od livadnih područja koje okružuju mrtvaju KO2, što povećava unos tla, prirodnih i umjetnih gnojiva i organskih tvari uslijed ispiranja. HUPFER i HILT (2008) kao jedan od uzroka eutrofikacije navode upravo ispiranje organskih i mineralnih gnojiva s poljoprivrednih zemljišta. Ispiranjem gnojiva objašnjavam i povećane koncentracije nitrata koje su zajedno ostalim ionima nastalim mineralizacijom statistički značajno utjecale na porast konduktiviteta u KO1 u odnosu na KO2. BIELAŃSKA-GRAJNER i GŁADYSZ (2010) u svom istraživanju plitkih jezera zaključile su kako koncentracije mineralnih soli te vrijednosti konduktiviteta proporcionalno rastu s antropogenom eutrofikacijom te ukazuju na povećanje stupnja trofije. Nadalje, ŠPOLJAR i sur. (2011a) ukazuju na utjecaj širine zone makrofita na prozirnost vode, koja je u istraživanim mrtvajama bila šira oko KO2 u odnosu na KO1, u smislu smanjivanja resuspenzije sedimenta, kao i uzimanja hranjivih tvari čime smanjuju njihovu dostupnost fitoplanktonu i u konačnici utječu na povećanje prozirnosti. Također, bentivorne ribe same resuspendiraju sediment svojom pridnenom aktivnošću (bioturbacijom) te smanjuju prozirnost.

Povećanjem stupnja trofije u vodenom sustavu raste količina suspendirane organske tvari te biomasa algi (izraženih u *Chl a*). Obje komponente služe kao hrana zooplanktonu i većim organizmima pa se koncentracija tih komponenti odražava na brojnost, biomasu i hranidbenu strukturu akvatičke zajednice. Smatram da je povećana eutrofikacija a time i produkcija u KO1 uzrokovala veću brojnost svih skupina zooplanktona, naročito Rotifera u KO1 u odnosu na KO2. Istraživanja drugih autora također potvrđuju da velika brojnost populacija pojedinih vrsta, prije nego smanjenje



bioraznolikosti, ukazuje na povećanje stupnja trofije vodenog ekosustava (KARABIN, 1985; CASTRO i sur., 2005; MAY i O'HARE, 2005).

Uz količinu dostupne hrane, brojnost organizama rezultat je biotičkih interakcija kompeticije i predacije (COTTENIE i sur., 2001). Poznato je da ribe i njihove ličinke kao vizualni predatori smanjuju brojnost zooplanktona, posebno rakova Cladocera (ESTLANDER i sur., 2009). Naime one prvo hvataju jedinke velikog tijela, a zatim manje jedinke i to najčešće Cladocera koji su slabije pokretni u odnosu na Copepoda i time bolje izbjegavaju predatore (MIRACLE i sur., 2007). Pretpostavljam da su u slabo prozirnoj vodi, KO1, ribe mogle uočiti samo velike Cladocera što je rezultiralo njihovim izostankom u KO1, gdje su bili prisutni samo Cladocera malog tijela. U KO2 je šira zona makrofita u koju su se Cladocera mogli sakriti, a veća prozirnost omogućavala je i hvatanje manjih Cladocera (ŠPOLJAR i sur., 2011a). Rotifera su najviše doprinijeli ukupnoj brojnosti, ali nakon Tintinnida, najmanje su sudjelovali u ukupnoj biomasi zooplanktona, što je u skladu s rezultatima istraživanja drugih autora (KARABIN 1985; ŠPOLJAR i sur., 2012).

Trofička struktura akvatičke zajednice najbolje pokazuje odnose između hranjivih tvari, izvora hrane i biotičkih interakcija temeljem biomase glavnih trofičkih skupina (SMITH i sur., 2009; OBERTEGGER i sur., 2011). Mnogi autori koriste se podjelom zooplanktona na trofičke skupine jer njihova zastupljenost ukazuje na promjene ekoloških čimbenika (VIRRO i sur., 2009; OBERTEGGER i sur., 2011) i opisuju njihove koakcijske interakcije. Prema hipotezi veličinske efikasnosti veće jedinke, s većom biomasom vrše veći *grazing* i uzimaju i veće čestice i količine hrane (BROOKS i DODSON, 1965). Negativni omjer trofičkih skupina (GR), kao što je slučaj u KO2, sugerira da su u

zooplanktonu dominirali mikrofagi, čiju je glavninu biomase predstavljala skupina Cladocera. Oni filtracijom suspendiranih organskih čestica utječu na povećanje prozirnosti, što je pretpostavljam rezultiralo u manjoj vrijednosti TSI. Pozitivne vrijednosti GR objašnjavam pojačanom predacijom vizualnih predatora (riba i njihovih ličinki) na Cladocera, što je uzrokovalo prevladavanje algivorno-omnivornih ličinačkih i adultnih stadija Copepoda. Također povećani udio trofičke skupine algivora-omnivora objašnjavam pojavom termofilnih adultnih oblika Copepoda u ljetnom razdoblju (VIRRO i sur., 2009).

Rezultati ovog rada ukazuju na interakciju okolišnih čimbenika u strukturiranju akvatičke biocenoze, ali također i utjecaj biocenoze u regulaciji abiotičkih čimbenika. Smatram da je zooplanktonska zajednica, koju sačinjavaju organizmi visokog reprodukcijuskog potencijala i kratkog životnog ciklusa, efikasan indikator okolišnih promjena (MAY i O'HARE, 2005). U ovom radu u prilog tome govore statistički značajne razlike brojnosti i biomase zooplanktona u dva hidrosustava, relativno male udaljenosti, ali različitog intenziteta antropogenog utjecaja.

## 6. Zaključci

Temeljem istraživanja utjecaja eutrofikacije tijekom ljetnog razdoblja na zooplanktonske zajednice u plitkim jezerima (mrtvajama) rijeke Krapine (KO1 i KO2) mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Statističkom analizom fizikalno-kemijskih parametara utvrđeno je da jezero KO1, ima statistički značajno manju prozirnost i veće vrijednosti koncentracije klorofila *a*, konduktiviteta i indeksa stupnja trofije (TSI) u odnosu na jezero KO2.
- Statistički značajno veća brojnost Rotifera u jezeru višeg stupnja trofije, KO1, u odnosu na jezero nižeg stupnja trofije, KO2, rezultat je povećane koncentracije hranjivih tvari i izvora hrane uslijed intenzivnijeg antropogenog utjecaja (poljoprivreda, ribolov).
- U jezeru nižeg stupnja trofije, KO2, populacije planktonskih rakova zastupljene su u većoj brojnosti, gdje su mikrofagni Cladocera filtriranjem suspendiranih čestica pozitivno utjecali na povećanje prozirnosti, a zaklon od vizualnih predatora im je pružila šira zona makrofita.
- Omjeri biomasa trofičkih skupina mikrofaga i algivora-omnivora ukazuju na statistički značajnu razliku trofičkih skupina između istraživanih jezera. Zbog izostanka velikih mikrofagnih Cladocera u KO1 omjer trofičkih skupina bio je pozitivan, dok je u KO2 njihova prisutnost rezultirala negativnim vrijednostima.

- Značajne razlike brojnosti i biomase zooplanktona ukazuju na različite antropogene utjecaje i promjene okolišnih čimbenika, što opravdava ulogu zooplanktona kao senzibilnog indikatora okolišnih promjena.

*Za pomoć pri izradi ovog rada veliko hvala mojoj mentorici Doc. dr. sc. Mariji Špoljar od izbora teme, terenskog i laboratorijskog rada do samog pisanja teksta. Posebno bih htjela zahvaliti na velikom strpljenju, posvećenom vremenu, konstantnom poticanju u izradi ovog rada te najviše na naučenim osnovama o pisanju znanstvenog rada.*

*Veliko hvala mojoj obitelji i prijateljima na podršci.*

## 7. Popis literature

- AMOROS C., 1984. Crustaces cladoceres, Bull. Soc. Linn., 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.
- ARORA J. i MEHRA N. K., 2003. Species siversity of planctonic and epiphytic rotifers in the backwaters of the Delhi segment of the Yamuna river, with remarks on new records for India: ecology, exploitation and menagement. CABI Publishing.
- AZVEDO F. i BONECKER C. C., 2003. Community size structure of zooplanktonic assemblages in three lakes on the upper River Parana floodplain. Hydrobiologia 491:101–109.
- BIELANSKA-GRAJNER I. i GLADYSZ A., 2010: Planktonic rotifers in mining lakes in the silesian upland: relationship to environmental parameters. Limnologica 40:67–72.
- BLINDOW I., HARGEBY A., WAGNER B. M. A. i ANDERSSON G., 2000. How important is the crustacean plankton for the maintenance of water clarity in shallow lakes with abundant submerged vegetation? Freshwater Biology 44:185–197.
- BOTTRELL H. H., DUNCAN A., GLIWITZ Z. M., GRYGIEREK E., HERZIG A., HILLBRICH-ILKOWSKA A., KURASAWA H., LARSSON P., WEGLENSKA T., 1967. A review of some problems in zooplankton production studies. North American Journal of Zoology. 24:431–444.
- BRÖNMARK C. i HANSSON L.-A., 1998. The Biology of Lakes and Ponds. Oxford University. Press Inc., New York.

- BROOKS, J. H. i DODSON, 1965. Predation, body size, and composition of plankton. *Science* 150:28–35.
- BURNS C. W. i GILBERT J. J., 1986. Effects of daphnid size and density on interference between *Daphnia* and *Keratella cochlearis*. *Limnology and Oceanography* 31:848–858.
- 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: sesonal fluctuations an explanatory factors. *Hydrobiologia* 543:221–232.
- CASTRO B. B., MARQUES S. M. i GONÇALVES F., 2007. Habitat selection and diel distribution of the crustacean zooplankton from a shallow Mediterranean lake during the turbid and clear wather phases. *Freshwater biology* 52:421–433.
- CÉRÉGHINO R., BIGGS J., OERTLI B. i DECLERCK S., 2008. The ecology of European ponds: defining the characteristics of a neglected freshwater habitat. *Hydrobiologia* 597:1–6.
- COTTENIE K., NUYTTEN N., MICHELS E. i DE MEESTER L., 2001. Zooplankton community structure and enviromental conditions in a set of interconnected ponds. *Hydrobiologia* 442:339–350.
- DUMONT H. J. 1977. Biotic factors in the population dynamics of rotifers. *Archiv für Hydrobiologie Beiheft* 8:98–122.
- EINSLE U., 1993. Crustacea, Copepoda, Calanoida und Cyclopoida. Gustav Fischer Verlag, Berlin.

- 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* 605:109–120.
- FOISSNER W., BERGER H. i SCHAUMBURG J., 1999. Identification and Ecology of Limnetic Plankton Ciliates. *Informationsberichte Heft 3/99*.
- GODHANTARAMAN N., 2002. Seasonal variations in species composition, abundance, biomass and estimated production rates of tintinnids at tropical estuarine and mangrove waters, Parangipettai, southeast coast of India. *Journal of Marine Systems* 36:161–171.
- HOELL K., 1986. *Wasser Untersuchung, Beurteilung, Aufbereitung, Chemie, Bakteriologie, Virologie, Biologie* (7th edition). Walter de Gruyter Verlag, Berlin.
- HUPFER M. i HILT S., 2008. Lake Restoration. U: S. E. Jørgensen i B. D. Fath (ur.) *Ecological Engineering Vol (3) of Encyclopedia of Ecology (5 vols): 2080–2093*.
- HORPPILA J. i NURMINEN L., 2001. The effect of an emergent macrophyte (*Typha angustifolia*) on sediment resuspension in a shallow north temperate lake. *Freshwater Biology* 46:1447–1455.
- JONSSON P. R., JOHANSSON M. i PIERCE R. W., 2004. Attachment to suspended particles may improve foraging and reduce predation risk for tintinnid ciliates. *Limnology and Oceanography* 49:1907–1914.
- JEPPESSEN E., JENSEN J. P., SØNDERGAARD M. i LAURIDSEN T. L., 1999. Trophic dynamics in turbid and clearwater lakes with special emphasis on the role of zooplankton for water clarity. *Hydrobiologia* 408/409:217–231.



- KALFF J., *Limnology : Inland Water Ecosystems*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2002.
- KARABIN A., 1985. Pelagic zooplankton (Rotatoria + Crustacea) variations in the proces of lake eutrophication. I. Structural and quantitative features, *Ekologia Polska* 33:567–616.
- KIRK, K. L., 1991. Inorganic particles alter competition in grazing plankton: the role of effective feeding. *Ecology* 72:915–923.
- KUCZYŃSKA-KIPPEN N. M., 2007. Habitat choice in rotifera communities of three shallow lakes: impact of macrophyte substratum and season. *Hydrobiologia* 593:27–37
- LAU S. S. S., LANE S. N. 2002. Nutrient and grazing factors in relation to phytoplankton level in a eutrophic shallow lake: the effect of low macrophyte abundance. *Water Reasearch* 36:3593–3601.
- LIKENS G. E., 2009. *Encyclopedia of inland waters: Plankton of inland waters*. Cary Institute of Ecosystem Studies Millbrook, NY, USA.
- MALLEY D. F., LAWRECE S. G., MACLAVER M. A., FINDLAY W. J., 1989. Range of variation in estimates of dry weight for planktonic Crustacea and Rotifera from temperate North American Lakes. U: Canadian technical report of fisheries and aquatic sciences. No. 1666. 49 str.
- MAY L. i O'HARE M, 2005. Changes in rotifer species composition and abundance along a trophic gradient in Loch Lomond, Scotland, UK. *Hydrobiologia* 546:397–404.
- MIRACLE M. R., ALFONSO M. T. i VICENTE E., 2007. Fish and nutrient enrichment effects on rotifers in a Mediterranean shallow lake: a mesocosm experiment. *Hydrobiologia* 593:77–94.

- MOSS B., MADGWICK J. i PHILIPS G., 1998. A guide to the restoration of nutrient-enriched shallow lakes. School of Biological Sciences, University of Liverpool.
- NÖGES P., TUVIKENE L., FELDMANN T., TÖNNO I., KÜNNAP H., LUUP H., SALUJÖE J. i NÖGES T., 2003. The role of charophytes in increasing water transparency: a case study of two shallow lakes in Estonia. *Hydrobiologia* 506-509:567–573.
- NUSCH E.A., 1980. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. *Archiv für Hydrobiologie Beiheft* 14:14–36.
- OBERTEGGER U., SMITH H. A., FLAIM G. i WALLACE R.L., 2011. Using the guild ratio to characterize pelagic rotifer communities. *Hydrobiologia* 662:157–162.
- PERROW M. R., JOWITT A. J. D., STANSFIELD J. H. i PHILLIPS G. L., 1999. The practical importance of the interactions between fish, zooplankton and macrophytes in shallow lake restoration. *Hydrobiologia* 395/396:199–210.
- PRIMC B., 1986. Vertical distribution of *Tintinnopsis lacustris* (ENTZ) and *Tintinnidium fluviatile* STEIN (Ciliata) in Lake Kozjak (Plitvice Lakes). *International Review of Hydrobiology*. 71:179–185.
- SCHEFFER M., 1998. Ecology of Shallow lakes. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- SMITH H. A., EJSMONT-KARABIN J., HESS T. M. i WALLACE R.L., 2009. Paradox of planktonic rotifers: similar structure but unique trajectories in communities of the Great Masurian Lakes (Poland). *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie* 30:951–956
- STEMBERGER R. S. i GILBERT J. J., 1984. Spine development in the *Keratella cochlearis*: induction by cyclopoid copepods and *Asplanchna*. *Freshwater Biology* 14:639–647.

- STRZALEK M., i KOPERSKI P., 2009. The *Stratiotes aloides* L. stand as a habitat in oxbow lake Bužysko. *Aquatic Botany* 90:1–6.
- ŠPOLJAR M., 2003. Pronos sestona u kaskadnom sustavu Plitvičkih jezera. Doktorska disertacija, PMF, Zagreb.
- ŠPOLJAR M., DRAŽINA T., HABDIJA I., MESELJEVIĆ M. i GRČIĆ Z., 2011a. Contrasting zooplankton assemblages in two oxbow lakes with low transparencies and narrow emergent macrophyte belts (Krapina River, Croatia). *International Review of Hydrobiology* 96:175–190.
- ŠPOLJAR M., TOMLIJANOVIĆ T. i LALIĆ I., 2011b. Eutrophication impact on zooplankton community: a shallow lake approach. *The Holistic Approach to Environment* 1:131–142.
- ŠPOLJAR M., FRESSL J., DRAŽINA T., MESELJEVIĆ M. i GRČIĆ Z., 2012. Epiphytic metazoans on emergent macrophytes in oxbow lakes of the Krapina River, Croatia: differences related to plant species and limnological conditions. *Acta Botanica Croatica* 71:1–14.
- VANDERSTUKKEN M., DECLERCK S. A. J., PALS A., DE MEESTER L. i MUYLEAERT K., 2010. The influence of plant-associated filter feeders on phytoplankton biomass: a mesocosm study. *Hydrobiologia* 646:199–208.
- VIRRO T., HABERMAN J., HALDNA M. i BLANK K., 2009. Diversity and structure of the winter rotifer assemblage in a shallow eutrophic northern temperate Lake Vörtsjärv. *Aquatic Ecology* 43:755–764.
- VOIGT M. i KOSTE W., 1978. *Die Rädertiere Mitteleuropas*. Gebrüder Borntraeger. Berlin, Stuttgart.

## **8. Sažetak**

### **Utjecaj eutrofikacije na planktonsku zajednicu plitkih jezera**

Ivana Pozojević

Istraživanje utjecaja eutrofikacije na zooplanktonsku zajednicu provedeno je tijekom ljetnog razdoblja 2008. godine u dva plitka jezera različite prozirnosti i širine pojasa emerznih makrofita. Ciljevi istraživanja bili su sljedeći: (i) utvrditi utjecaj okolišnih čimbenika na zooplanktonsku zajednicu; (ii) usporediti brojnost Tintinnida, Rotifera, Cladocera i Copepoda; (iii) utvrditi glavne čimbenike koji utječu na trofičku strukturu zooplanktona u dva plitka jezera. Rezultati istraživanja ukazali su na statistički značajno veću vrijednost biomase fitoplanktona i indeksa stupnja trofije u mrtvaji manje prozirnosti i užeg pojasa emerznih makrofita (KO1). U zooplanktonu obaju plitkih jezera dominirali su Rotifera, a njihovu veću brojnost u KO1 prati i povećan stupanj trofije. Omjer trofičkih (hranidbenih) skupina ukazuje da su u zooplanktonu jezera KO1 biomasom dominirali algivorno-omnivorni Copepoda, a u KO2 mikrofagni Cladocera, koji su, moguće, svojim prisustvom utjecali na povećanje prozirnosti tog jezera. Rezultati ovog rada ukazuju da analize brojnosti i trofičke strukture zooplanktona omogućuju kvalitetnu procjenu utjecaja okolišnih čimbenika i biotičkih interakcija izazvanih različitim intenzitetom antropogene eutrofikacije.

Ključne riječi: eutrofikacija /zooplankton/trofičke skupine/

## **9. Summary**

### **Eutrophication impact on the plankton community in shallow lakes**

Ivana Pozojević

The investigation of eutrophication impact on zooplankton communities was conducted during the summer period 2008 in two shallow lakes differing in transparency and width of emerged macrophyte belt. The main objectives of this study were as follows: (i) to determine effects of environmental parameters on zooplankton community; (ii) to compare densities of Tintinnida, Rotifera, Cladocera and Copepoda; (iii) to determine effects of environmental parameters on the zooplankton trophic structure between two shallow lakes. Results of our study indicated a statistically significantly higher trophic state index in the lake with less transparency and narrow emerged macrophyte belt (KO1). In both shallow lakes Rotifera dominated in zooplankton, with significantly higher number in KO1 indicating an increased trophic level. Guild ratio indicated that the zooplankton biomass in KO1 was dominated by algivorous-omnivorous Copepoda, while in KO2 dominated microphagous Cladocera. Results of this study suggest that analyses of zooplankton density and trophic structure provide efficient assessment on environmental factors and biotic interactions caused by different intensities of anthropogenic eutrophication.

Key words: eutrophication / zooplankton / trophic groups /