

# Trofička struktura zooplanktona u rukavcu rijeke Krapine

---

Grčić, Zlatko

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:217:657152>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-26**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Zlatko Grčić

**TROFIČKA STRUKTURA ZOOPLANKTONA  
U RUKAVCU RIJEKE KRAPINE**

Diplomski rad

Zagreb, siječanj 2010. godine

Ovaj diplomski rad izrađen je u Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, pod vodstvom Doc. dr. sc. Marie Špoljar, predan je na ocjenu Vijeću Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja dipl. ing. biologije – smjer ekologija.

*Veliko hvala mentorici Doc. dr. sc. Mariji Špoljar na pomoći pri odabiru teme, velikom strpljenju, podršci te brojnim korisnim savjetima koji su omogućili izradu ovog rada.*

*Veliko hvala mojim roditeljima na velikoj potpori i razumijevanju tijekom studiranja.*

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Diplomski rad

**TROFIČKA STRUKTURA ZOOPLANKTONA  
U RUKAVCU RIJEKE KRAPINE**

ZLATKO GRČIĆ

Zoologijski zavod, Biološki odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Rooseveltov trg 6,  
10000 Zagreb, Hrvatska

**SAŽETAK**

Istraživanje zooplanktona u rukavcu rijeke Krapine provedeno je u razdoblju od siječnja do lipnja 2008. godine na dvije postaje. Postaja P je bila smještena u zoni slobodne vode, a postaja L u litoralnoj zoni. Sezonske i prostorne promjene trofičke strukture zooplanktona razmatrane su na organizmima iz skupina kolnjaka (Rotifera), rašljoticalaca (Cladocera) i veslonožaca (Copepoda). Istraživanje je provedeno u zimskom razdoblju bez emerzne vegetacije te u proljetnom razdoblju s razvijenom emerznom vegetacijom. Osnovna hipoteza u ovom radu bila je da prozirnost vode i morfometrijska obilježja litoralne zone te raznolikost makrofita utječu na trofičku strukturu zooplanktona u plitkim eutrofnim jezerima. Ciljevi istraživanja bili su sljedeći: 1. analizirati i utvrditi utjecaj hranjivih tvari i izvora hrane na brojnost i biomasu trofičkih skupina zooplanktona; 2. utvrditi utjecaj prozirnosti vode i riblje predacije na veličinske kategorije zooplanktona u litoralnoj zoni i zoni slobodne vode; 3. analizirati fizičko-kemijske čimbenike i njihov utjecaj na trofičku strukturu zooplanktona u zoni slobodne vode i u litoralnoj zoni.

U litoralnoj zoni zabilježen je veći broj svojiti (postaja P 25, postaja L 36), ali manja brojnost jedinki (srednja vrijednost: P  $650 \pm 383$  jed/L, L  $354 \pm 169$  jed/L) i biomasa suhe tvari (P  $216 \pm 260$   $\mu\text{g/L}$ , L  $203 \pm 214$   $\mu\text{g/L}$ ) zooplanktona u odnosu na zonu slobodne vode. U trofičkoj strukturi kolnjaci su prevladavali na obje postaje, čemu je brojnošću najviše pridonijela mikrofiltratorska vrsta *Keratella cochlearis*. Fizičko-kemijski čimbenici nisu se statistički značajno razlikovali između istraživanih postaja ( $p > 0,05$ ). Prozirnost i temperatura vode, konduktivitet te koncentracije otopljene i suspendirane organske tvari statistički su značajno pozitivno korelirali s ukupnom biomasom zooplanktona i indeksa raznolikosti vrsta ( $H'$ ). Utjecaj predacije riba očitovao se u dominantnoj biomasi veslonožaca u zoni slobodne vode koji dobro izbjegavaju predatorski pritisak (veličina tijela 1000 - 1500  $\mu\text{m}$ , veličinska kategorija VII) te dominantnoj biomasi rašljoticalaca u litoralnoj zoni koji su osjetljiviji na predaciju te nalaze zaštitu u zoni vodenih makrofita (veličina tijela 500 - 1000  $\mu\text{m}$ , veličinska kategorija VI). Rezultati ovog rada ukazuju da stupanj prekrivenosti litoralne zone makrofitima te prozirnost vode imaju značajan utjecaj na primarnu produkciju, a time i trofičku strukturu i prostorni raspored veličinskih kategorija zooplanktona.

(50 stranica, 13 slika, 4 tablice, 56 literaturnih navoda, izvornik na hrvatskom jeziku)

**Ključne riječi:** zooplankton/prozirnost vode/trofičke skupine/veličina tijela/predacija riba

Voditelj: Dr. sc. Maria Špoljar, docent  
Ocjenitelji: Dr. sc. Branka Pevalek-Kozlina, redoviti profesor  
Dr. sc. Vesna Benković, docent  
Zamjena: Dr. sc. Ivančica Ternjej, docent  
Rad prihvaćen: 13. siječnja 2010.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Division of Biology

Graduation Thesis

### TROPHIC STRUCTURE OF ZOOPLANKTON COMMUNITY IN THE OXBOW LAKE OF KRAPINA RIVER

ZLATKO GRČIĆ

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

#### SUMMARY

Research in the oxbow lake of Krapina river was provided from January until June 2008 on two study sites, marked as P (in the open-water zone) and L (in littoral zone). Spatial and temporal variations in the trophic structure of zooplankton community were examined on Rotifera, Cladocera and Copepoda. Research was conducted during winter period without emergent vegetation and spring period with emergent vegetation. Main hypothesis in this study was that water transparency and morphometrical characteristics of littoral zone and diversity of macrophytes effect trophic structure of zooplankton community in shallow eutrophic lakes. Aims of this study were 1. to analyse an establish effect of food resources and nutrients on abundance and biomass of trophic structure of zooplankton community; 2. to establish effect of water transparency and fish predation on body size groups of zooplankton in littoral zone and i open-water zone; 3. to analyse physico-chemical factors on trophic structure of zooplankton community in open-water zone and littoral zone.

Higher species richness was recorded in littoral zone (station P 25, station L 36), but lower abundance (average: P  $650 \pm 383$  jed/L, L  $354 \pm 169$  jed/L), and biomass dry weight (P  $216 \pm 260$   $\mu$ g/L, L  $203 \pm 214$   $\mu$ g/L) of zooplankton in comparison to the open-water zone. In trophic structure, rotifers were most abundant on both stations, with the most dominant microfilter-feeder species *Keratella cochlearis*. Differences in physico-chemical factors between station were not statistically significant ( $p > 0,05$ ). Water transparency, conductivity, water temperature and concentrations of dissolved and suspended organic matter significantly positively correlated ( $p < 0,05$ ) with total zooplankton biomass and species diversity index ( $H'$ ). Effect of fish predation manifested in dominant biomass of copepods in open-water zone (body size 1000 – 1500  $\mu$ m, size category VII), and dominant biomass of cladocerans in littoral zone (body size 500 – 1000  $\mu$ m, size category VI). The results of this study suggest that the percentage of macrophyte covered area and water transparency have a significant influence on primary production, and therefore on trophic structure and size categories distribution of zooplankton. (50 pages, 13 figures, 4 tables, 56 references, original in croatian)

Key words: zooplankton/water transparency/trophic groups/body size/fish predation

Supervisor: Dr. sc. Maria Špoljar, Assistant Professor  
Reviewers: Dr. sc. Branka Pevalek-Kozlina, Full Professor  
Dr. sc. Vesna Benković, Assistant Professor  
Substitute: Dr. sc. Ivačica Ternjej, Assistant Professor  
Thesis accepted: 13<sup>th</sup> January 2010

# SADRŽAJ

|   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| 1.0 UVOD.....   | 2                                   |
| 1.1 Uloga litoralne zone u jezerima .....                               | 3                                   |
| 1.2 Utjecaj abiotičkih čimbenika na sastav jezerskog zooplanktona ..... | 4                                   |
| 1.3 Utjecaj biotičkih čimbenika na sastav jezerskog zooplanktona.....   | 4                                   |
| 1.4 Hipoteza i ciljevi rada .....                                       | 6                                   |
| 2.0 PODRUČJE ISTRAŽIVANJA.....  | 8                                   |
| 3.0 MATERIJALI I METODE.....  | 10                                  |
| 3.1 Uzimanje i analiza uzoraka zooplanktona .....                       | 10                                  |
| 3.2 Određivanje fizičko-kemijskih čimbenika vode .....                  | 14                                  |
| 3.3 Određivanje izvora hrane za zooplankton.....                        | 15                                  |
| 3.4 Statistička analiza podataka .....                                  | 16                                  |
| 4.0 REZULTATI.....  | 18                                  |
| 4.1 Fizičko-kemijska svojstva vode .....                                | 18                                  |
| 4.2 Hranjive tvari i izvori hrane zooplanktona .....                    | 21                                  |
| 4.3 Prostorna i sezonska dinamika zooplanktona .....                    | 23                                  |
| 4.3.1 Zona slobodne vode (postaja P).....                               | 23                                  |
| 4.3.2 Litoralna zona (postaja L).....                                   | 30                                  |
| 5.0 RASPRAVA .....  | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| 6.0 ZAKLJUČAK .....   | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| 7.0 LITERATURA .....  | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |

## 1.0 UVOD

Jezeru su dinamični ekosustavi koji s vremenom polagano prelaze u ekosustave sa sve manjom količinom vode, dok na kraju ne prijeđu u potpuno terestričke ekosustave. Naime, svako slabo produktivno jezero nakon određenog vremena, i bez utjecaja čovjeka, procesom eutrofikacije prelazi u vrlo produktivno jezero. Proces eutrofikacije je prirodan proces zatrpavanja jezera uzrokovanim sedimentacijom organskih i anorganskih čestica. Smanjenjem dubine jezera povećava se relativni volumen osvijetljenog sloja vode u kojemu djelovanjem primarnih proizvođača raste produkcija organske tvari. Na taj način se pojačava primarna produkcija, koju slijedi i povećanje sekundarne produkcije, što dodatno ubrzava proces sedimentacije organskih čestica i smanjenja dubine jezera. U plitkim jezerima, ovaj sediment je često resuspendiran djelovanjem vjetrova i valova što rezultira značajnim oslobađanjem hranjivih tvari u stupac vode, što dodatno doprinosi primarnoj produkciji (CASTRO i sur., 2005; QIN i sur.; 2006, LI i sur., 2008). 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 jezera i pravilnom zaštitom ekosustava.

Mnoga prirodna i umjetna jezera su danas namijenjena uzgoju ribe. U njima se preko gnojiva, dodatne hrane za ribe i vapna unose velike količine alohtonih tvari, što mijenja prirodne tokove trofičnih odnosa. Cilj ovakvih unosa je stimulacija razvoja prirodne riblje hrane, a u šaranskim ribnjacima osnovna prirodna riblja hrana je zooplankton. To je važno jer bez dovoljne količine njihove prirodne hrane ribe ne mogu fiziološki potpuno iskoristiti dodatnu hranu (MIŠETIĆ, 1985). Poznavanje i istraživanje poribljenih vodenih sustava omogućuje povećanje ihtioprodukcije uz očuvanje ravnoteže u njima.

Na vrhu hranidbenog lanca jezerskih sustava nalazi se raznolika zajednica planktona (organizmi koji su fiziološki i morfološki prilagođeni životu u slobodnoj vodi). Plankton se sastoji od fitoplanktona (alge) i zooplanktona (uglavnom mikroskopski životinjski



organizmi). Glavne biocenološke komponente zooplanktona u kopnenim vodama su: kolnjaci (Rotifera), rašljoticalci (Cladocera) i veslonošci (Copepoda). 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., 1999; PEREIRA i sur., 2002; AZEVEDO i BONECKER, 2003; CASTRO i sur. 2005).

### **1.1 Uloga litoralne zone u jezerima**

Za razumijevanje utjecaja litoralne zone na raspodjelu organizama u jezeru, važno je naglasiti da se ona sastoji od mozaika staništa s različitim oblicima strukturalne složenosti (LODGE i sur., 1988, CHICK i McIVOR, 1994, cit. iz ROMARE i sur., 2003). Litoralna zona je često nastanjena makrofitima, makroskopskim biljkama koje su prilagođene na život u akvatičkom sustavu. S obzirom na njihovu funkcionalnu povezanost sa supstratom možemo ih podijeliti na ukorijenjene i slobodno plivajuće, a s obzirom na uronjenost habitusa u vodu možemo ih podijeliti na emersne, čiji listovi i stabljika izlaze iznad površine vode, flotantne, čiji listovi plutaju na površini vode, i submersne, čiji su listovi i stabljika u potpunosti ispod površine vode (WETZEL, 2001). Makrofiti imaju ulogu „utočišta“ (zaklona) od predatora malim ribama i zooplanktonu. Oni povećavajući strukturalnu kompleksnost staništa, smanjuju vizualno polje predatora i stopu susreta plijena i predatora (SCHRIEVER i sur., 1995, MANATUNGE i sur., 2000, cit. iz ROMARE i sur., 2003). Makrofiti smanjuju resuspenziju i eroziju sedimenta reducirajući vodene struje i energiju valova (LI i sur., 2008). Smanjena resuspenzija sedimenta povećava prozirnost vode i smanjuje količinu hranjivih tvari u slobodnoj vodi što ograničava rast fitoplanktona a time i usporava eutrofikaciju jezera (HORPPILA i NURMINEN, 2001, LI i sur., 2008). Makrofiti za izgradnju vlastite biomase vežu hranjive tvari iz jezera te i na taj način smanjuju razvoj fitoplanktona što povoljno utječe na usporavanje procesa eutrofikacije.

## 1.2 Utjecaj abiotičkih čimbenika na sastav jezerskog zooplanktona

Abiotički čimbenici koji značajno utječu na strukturu zooplanktona su: hranjive tvari (orto-fosfati, nitrati), temperatura, koncentracija otopljenog kisika, pH te svjetlosni uvjeti (MIŠETIĆ, 1985; ŠPOLJAR, 1998; RODRIGO i sur., 2001; AZEVEDO i BONECKER, 2003; BOZKURT i GUVEN, 2009; ESTLANDER i sur., 2009). Abiotički čimbenici utječu na trofički status ekosustava, a količina i sastav hranjivih tvari (orto-fosfati, nitrati) su glavni ograničavajući čimbenici fitoplanktona koji je primarni proizvođač organske tvari i hrana sekundarnim producentima, zooplanktonu (*bottom-up* kontrola) (KARABIN, 1985, 1985a; BOGDAN i GILBERT, 1987, cit iz. DUGGAN, 2001; HORPPILA i NURMINEN, 2001; ARORA i MEHRA, 2003). Temperatura utječe na promjene gustoće populacije pojedinih vrsta, životni vijek, razmnožavanje, brzinu razvoja, generacijsko vrijeme, produkciju, respiraciju itd. (ŠPOLJAR, 1998). Posebno je važna i prozirnost vode koja ovisi o sadržaju koloidnih i suspendiranih čestica, kemijskom sastavu vode i gustoći planktona (MIŠETIĆ, 1985). Zooplankton je zaštićen od predacije kod povećane mutnoće vode, jer suspendirane čestice značajno ometaju detekciju plijena kod vizualnih predatora (riba) zbog učinka rasipanja svjetlosti (HORPPILA i sur., 2004, cit. iz ESTLANDER i sur., 2009). Stoga, 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, otopljenje tvari imaju mali učinak na rasipanje ali velik učinak na slabljenje intenziteta svjetlosti (KIRK 1994, cit iz ESTLANDER i sur., 2009). Poznato je da slabiji intenzitet svjetlosti smanjuje stopu predacije planktivornih riba (BERGMAN, 1987, cit iz ESTLANDER i sur., 2009). Jako smanjena prozirnost vode u jezerima može uzrokovati smanjenje površine litoralne zone koja je prekrivena makrofitima te potpuni nedostatak submerzne vegetacije (ESTLANDER i sur., 2009).

## 1.3 Utjecaj biotičkih čimbenika na sastav jezerskog zooplanktona

Biotički čimbenici koji najviše utječu na strukturu zooplanktona su kompeticija i predacija. Rezultati mnogih istraživanja ukazuju na interakciju rašljoticalaca (Cladocera)

i veslonožaca (Copepoda) s kolnjacima (Rotifera), kroz kompeticiju i predaciju (JACK i GILBERT, 1994, FUSSMANN, 1996, DIEGUEZ i GILBERT, 2002, cit. iz CASTRO i sur., 2005). Budući da planktonske skupine kolnjaka i rašljoticalaca zauzimaju istu ekološku nišu, populacije su im u kompeticiji za životni prostor i hranu (alge, bakterije, suspendirane i otopljene organske tvari). Većina istraživanja eklogije jezerskih ekosustava je usmjerena primarno na rašljoticalce, budući da su učinkovitiji u uzimanju hrane zbog svoje veće tjelesne mase (CASTRO i sur., 2005). Ipak, ANDREW i FITZSIMONS (1992) pokazuju da kolnjaci značajno pridonose zooplanktonskoj produkciji u jezerima. Skupina kolnjaka je kompetitivno inferiorna u odnosu na rašljoticalce iz dva razloga. Prvo, rašljoticalci konzumiraju hranu puno šireg veličinskog spektra zbog čega imaju veću ponudu hrane. Drugo, stopa filtriranja hrane iz vode viša je kod mnogih mikrofiltratorskih rakova nego kod skupine kolnjaka (GILBERT, 1988, FERNÁNDEZ-ROSADO i LUCENA, 2001). Kompeticija za hranu između skupina kolnjaka i rašljoticalaca rezultira supresijom kolnjaka u zoni slobodne vode. Međutim, kolnjaci pokazuju tendenciju migriranja u litoralnu zonu po druge izvore hrane, ostavljajući tako rašljoticalce u slobodnoj vodi. Međutim, kolnjaci imaju mogućnost ekstremno brzog rasta populacije i kratkog razvojnog vremena u povoljnim uvjetima (ANDREW i FITZSIMONS, 1992, THOUVENOT i sur., 2000, cit. iz CASTRO i sur. 2003). Oni također zbog visoke stope asimilacijske efikasnosti, kratkog generacijskog vremena te zbog nižeg praga koncentracije hrane koji je potreban za rast populacije, dominiraju brojnošću u planktonu mnogih jezera (BERNINGER i sur., 1993; HABERMAN, 1995; ANDREW i FITZSIMONS, 1992; THOUVENOT i sur., 2000; CASTRO i sur 2003).

Predacija je također važan čimbenik koji utječe na kvalitativnu i kvantitativnu strukturu zooplanktona (*top-down* kontrola). Predatore možemo podijeliti u dvije skupine: vizualni, koji plijen pronalaze vidom (ribe i njihove ličinke) te taktilni, koji plijen pronalaze dodiranjem (ličinke nekih kukaca te mnogi veslonošci) (STEMBERGER i GILBERT, 1984). Taktilnim predatorima najčešći plijen su kolnjaci (STEMBERGER i GILBERT, 1984). Ribe kao vizualni predatori različito utječu na pojedine skupine zooplanktona. Zbog relativno manjeg i prozirnog tijela, kolnjaci su manje uočljivi za odrasle ribe. Oni su razvili i nekoliko mehanizama obrane od predatora kao npr. morfološki izgled, bijeg te druge

načine izbjegavanja potencijalnih predatora (STEMBERGER I GILBERT, 1987a, cit. iz ŠPOLJAR, 1998). Kod kolnjaka postoje i drugi zaštitni mehanizmi od predatora: kratkim i brzim pokretima, "skakanjem" (trzanjem) (*Hexarthra*, *Polyarthra*, *Filinia*), brzi rast populacije, vertikalne migracije, stvaranje kolonija i sl. Oni zbog svojih obilježja trpe vrlo mali predatorski pritisak od strane odraslih planktivornih riba, ali su često pod intenzivnom predacijom beskralježnjaka i osnovna su hrana ribljim ličinkama u prvim danima postembrionalnog razvoja, uključujući i ličinke herbivornih vrsta (MIŠETIĆ, 1985; MOORE i GILBERT, 1987, HEWITT i GEORGE, 1987, cit. iz DUGGAN, 2001). Odrasle planktivorne ribe konzumiraju veće predstavnike zooplanktona, pri čemu su rakovi iz skupine rašljoticalaca više ugroženi od rakova iz skupine veslonožaca (BURKS i sur., 2001, 2002). Naime, rašljoticalci pokazuju vrlo slabu sposobnost bijega kontinuiranim kretanjem, dok veslonošci pokazuju veliku sposobnost bijega kratkim i brzim pokretima, "skakanjem" (trzanjem) (MIŠETIĆ 1985; CAZZANELLI i sur., 2008; ESTLANDER i sur., 2009). U litorajnoj zoni s makrofitima uspješnost planktivornih riba u hvatanju plijena se smanjuje zbog kompleksnosti staništa (BURKS i sur., 2001, 2002). Niska učestalost zooplanktona velikog tijela (vrste roda *Daphnia*) i povećana učestalost čak i pelagičkih vrsta malog tijela poput onih iz rodova *Ceriodaphnia* i *Bosmina* u makrofitskom staništu, je pokazatelj značajnog predacijskog pritiska (COTTENIE i sur., 2001; CAZZANELLI i sur., 2008). Tako u litoralnoj zoni dominiraju rašljoticalci velikog tijela, dok u zoni slobodne vode dominiraju kolnjaci i veslonošci (JEPPESEN i sur., 2002). Sezonski razvoj makrofita i trofički status jezera utječu na učinkovitost uloge skloništa litoralne zone jezera (BURKS i sur., 2001, 2002).

#### **1.4 Hipoteza i ciljevi rada**

Rezultati mnogih istraživanja pokazali su da submerzni makrofiti pružaju utočište zooplanktonu od predatora (riba), dok je uloga emerznih vrsta makrofita, koje su često dominantne u mutnim eutrofnim jezerima, daleko manje istražena (CAZZANELLI, 2008).

Osnovna hipoteza u ovom radu bila je da prozirnost vode, širina pojasa te kompleksnost građe habitusa emerzne vegetacije utječu na kvalitativnu i kvantitativnu strukturu zooplanktona u plitkim eutrofnim jezerima.

Ciljevi istraživanja bili su sljedeći:

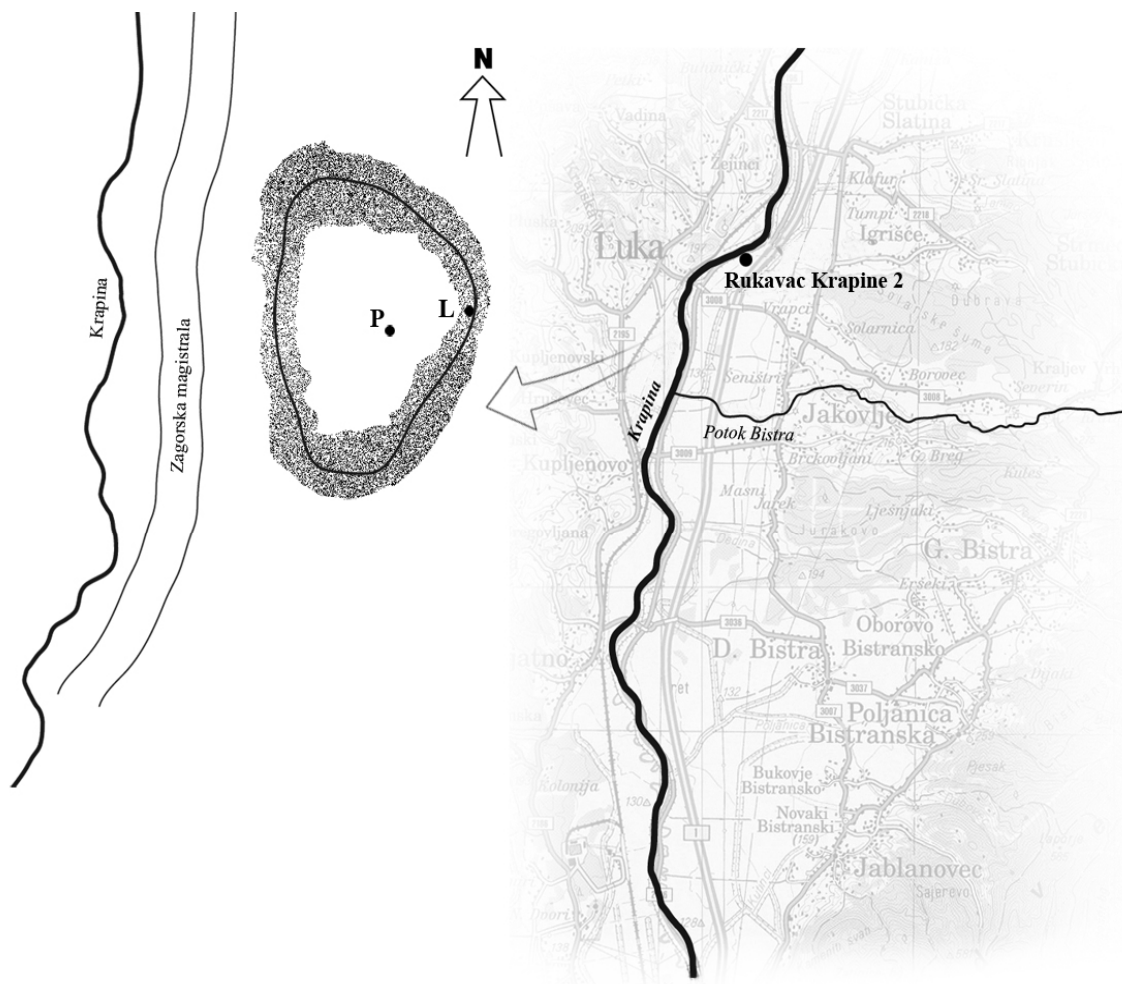
- Analizirati fizičko-kemijske čimbenike i njihov utjecaj na trofičku strukturu zooplanktona u zoni slobodne vode i u litoralnoj zoni.
- Analizirati i utvrditi utjecaj hranjivih tvari i izvora hrane na brojnost i biomasu trofičkih skupina zooplanktona.
- Utvrditi utjecaj prozirnosti vode i riblje predacije na veličinske kategorije zooplanktona u litoralnoj zoni i zoni slobodne vode.

## 2.0 PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Riječni rukavac je proširenje rijeke u kojem je vrlo usporen protok vode u odnosu na glavni tok. Takvo vodeno tijelo može biti i potpuno stagnirajuće, ukoliko je fizički odvojeno od toka rijeke, poprimajući obilježja plitkih jezera. Ovakva vodena tijela nastaju odvajanjem širokih mendara od toka rijeke, a nazivaju se “*oxbow*“ jezera. Ukoliko nastaju prirodnim procesom, “*oxbow*“ jezera su polukružnog oblika, no mogu nastati i antropogenim utjecajem pri čemu nastaju različiti oblici ovakvih vodenih tijela.

Uzorci zooplanktona za ovaj rad uzimani su iz rukavca rijeke Krapine smještenog uz Zagorsku magistralu između mjesta Luka i Veliko Trgovišće (slika 1). Rukavac je odcijepljen od glavnog toka rijeke Krapine izgradnjom magistrale krajem 50-tih godina prošloga stoljeća. Opća klasifikacija stajaćica opisuje ovakve rukavce kao vodena tijela antropogenog porijekla, većinom plitka i općenito bez izražene termičke stratifikacije (RIGLER i PETERS, 1995). Zbog neizražene termičke stratifikacije ovakvi rukavci se ubrajaju u polimiktičke stajaćice, što znači da se stupac vode mješa više puta godišnje. Razina vode u rukavcu ovisi o količini oborina, a tijekom istraživanja najniža razina zabilježena je krajem lipnja.

Istraživani rukavac namijenjen je sportskom ribolovu, zbog čega je povećan unos alohtonih tvari u vodeni sustav (gnojivo, dodatna hrana za ribe, vapno i sl.). U litoralnoj zoni rukavca dominirale su, u proljetnom razdoblju, sljedeće vrste emerznih makrofiti: močvarna perunika (*Iris pseudacorus* L.), širokolisni rogoz (*Typha latifolia* L.), šaš (*Carex* sp.), razgranjeni ježinac (*Sparganium ramosum* Huds.) i vodena metvica (*Mentha aquatica* L.). Najznačajnije vrste riba u rukavcu bile su: šaran (*Cyprinus carpio* L.), linjak (*Tinca tinca* L.), smuđ (*Sander lucioperca* L.), crni somić (*Ameiurus melas* Raf.) i štuka (*Esox lucius* L.). Dno rukavca prekriveno je muljem a submerzna vegetacija nedostaje. Uzorci za analizu osnovnih limnoloških parametara i planktona uzimani su sa dvije postaje; u području slobodne vode (P) i u litoralnom području prekrivenom makrofitima (L).



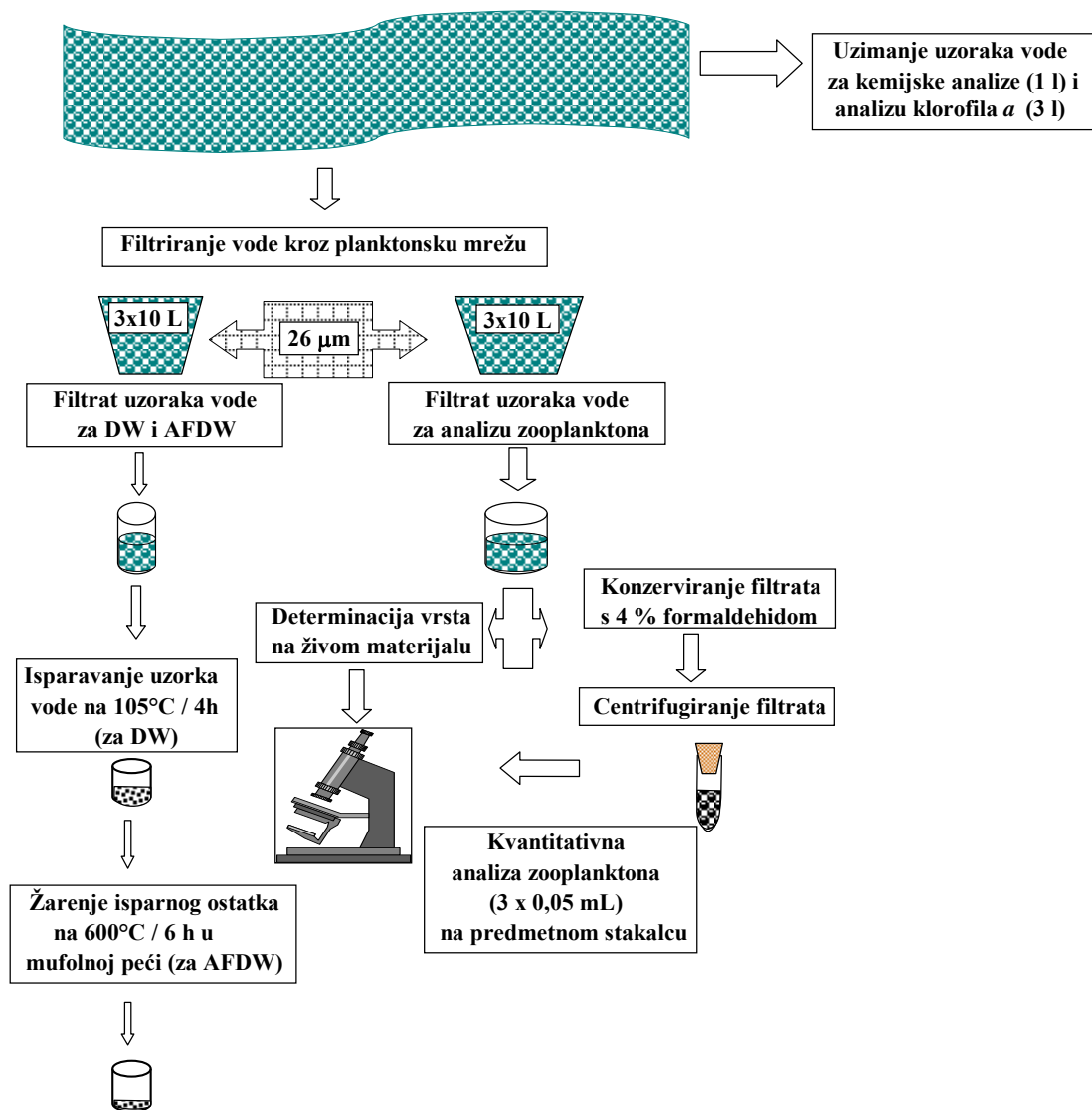
Slika 1. Shematski prikaz rukavca rijeke Krapine s položajem postaja uzorkovanja u zoni slobodne vode (postaja P) i u litoralnoj zoni (postaja L)

## 3.0 MATERIJALI I METODE

### 3.1 Uzimanje i analiza uzoraka zooplanktona

Program sakupljanja uzoraka i njihova laboratorijska obrada prikazani su na slici 2. Uzorci za analizu zooplanktona i limnoloških parametara uzimani su u zimskom (siječanj, veljača, ožujak) i proljetnom (travanj, svibanj, lipanj) razdoblju. Od siječnja do travnja uzimani su jednom mjesečno, a u svibnju i lipnju dva puta mjesečno, u razmaku od dva tjedna. Za određivanje kvalitativne i kvantitativne analize zooplanktona te za određivanje suspendiranih organskih tvari u vodi uzimani su uzorci od 30 litara vode, koji su profiltrirani kroz planktosku mrežu promjera oka 26  $\mu\text{m}$ . Svi uzorci dopremljeni su u laboratorij u prenosivom hladnjaku. Uzorci su pregledani svjetlosnim mikroskopom oznake Zeiss radi determinacije vrsta, a zatim su fiksirani u 4 % formaldehidu. Fiksirani uzorci centrifugirani su na 1000 okretaja u minuti, u trajanju od 5 minuta, tako da je njihov volumen sveden na 10 - 15 mL. Za kvantitativnu analizu, svaki uzorak je izbrojan u tri poduzorka (3 x 0,5 mL), također pod svjetlosnim mikroskopom (Zeiss). Brojnost populacija zooplanktona izražavana je brojem jedinki po litri (jed/L), a biomasa suhom masom po litri (eng. *dry weight*, DW/L).





Slika 2. Program sakupljanja uzoraka i njihova laboratorijska obrada (prema ŠPOLJAR, 2003)

Za utvrđivanje biocenoloških obilježja zooplanktonske zajednice korišteni su:

- Shannon-Wienerov indeks raznolikosti (SHANNON & WEAVER, 1949):

$$H' = - \sum_{i=1}^s (n_i/N) \log_2 (n_i/N)$$

gdje je:

$H'$  = Shannon - Wienerov index raznolikosti (bita/jedinki)

$n_i$  = brojnost vrste  $i$  u uzorku

$N$  = ukupna brojnost u uzorku

$s$  = broj vrsta

- Margalefov indeks brojnosti vrsta:

$$d = (S-1)/\log(N)$$

gdje je:

$d$  = brojnost vrsta

$S$  = ukupan broj vrsta

$N$  = ukupan broj jedinki

- Pielouov indeks ujednačenosti:

$$J' = H'/\log(S)$$

gdje je:

$J'$  = Pielouov indeks ujednačenosti

$H'$  = Shannon – Wienerov indeks raznolikosti

$S$  = ukupan broj vrsta

Vrste kolnjaka (Rotifera) su determinirane prema ključu VOIGT i KOSTE (1978). Rakovi iz skupine rašljoticalaca (Cladocera) su determinirani prema ključu AMOROS (1984), a rakovi iz skupine veslonožaca (Copepoda) prema ključu EINSLE (1993). Suha biomasa (eng. *dry weight*, DW) kolnjaka i planktonskih rakova izračunata je prema literaturnim podacima (DUMONT, 1977; MALLEY i sur., 1989). Kolnjaci (KUCZYŃSKA-KIPPEN, 2005) i planktonski rakovi (BREITIG i TÜMPLING, 1982) podijeljeni su prema veličini tijela u 8 kategorija:

|     |                         |      |                           |
|-----|-------------------------|------|---------------------------|
| I   | 45-80 $\mu\text{m}$ ,   | V    | 250-500 $\mu\text{m}$ ,   |
| II  | 80-120 $\mu\text{m}$ ,  | VI   | 500-1000 $\mu\text{m}$ ,  |
| III | 120-170 $\mu\text{m}$ , | VII  | 1000-1500 $\mu\text{m}$ , |
| IV  | 170-250 $\mu\text{m}$ , | VIII | >1500 $\mu\text{m}$ .     |

Trofička struktura zooplanktona određena je prema KARABINU (1985a). S obzirom na veličinu i vrstu čestica hrane te tipu žvačnjaka kolnjaci su podjeljeni na:

A) Mikrofiltratore:

- A1. osnovna hrana za predstavnike ove podskupine je bakterijsko-detritusna suspenzija, veličina takvih čestica ne prelazi nekoliko  $\mu\text{m}$  u promjeru. Primjer su *Keratella cochlearis* i *Brachionus angularis*;
- A2. ova se podskupina osim bakterijsko-detritusnom suspenzijom hrani i malim algama tipičnim za eutrofne sustave. Primjer su ostale vrste roda *Brachionus*;
- A3. vrste ove podskupine hrane se najviše fitoplanktonom veličine do 20  $\mu\text{m}$ , ali i bakterijsko-detritusna suspenzija može činiti značajan dio njihove prehrane. Primjer je vrsta *Keratella quadrata*.

B) Makrofiltratore:

- B4. hranu ove podskupine sačinjavaju male mrežne alge, uključujući nitaste alge te nerijetko i životinjska hrana. Primjer je rod *Trichocerca*;
- B5. predstavnici ove podskupine hrane se nanofitoplanktonom i mrežnim algama s maksimalnom veličinom čestica preko 50  $\mu\text{m}$ . Primjer je rod *Synchaeta*;
- B6. hranu ovim vrstama sačinjavaju samo nanofitoplanktonske alge maksimalne veličine 20 do 30  $\mu\text{m}$ . Primjer su vrste roda *Polyarthra*;
- B7. ovoj podskupini pripadaju visokospecijalizirane vrste rodova *Ascomorpha* i *Gastropus* koje se hrane pretežno raznim dinoflagelatima, uglavnom rodom *Peridinium*.

C) Predatore:

Ovoj podskupini pripadaju vrste rodova *Asplanchna* i *Ploesoma*.

Planktonski rakovi iz skupina rašljoticalaca i veslonožaca podijeljeni su s obzirom na mehanizam sakupljanja hrane u slijedeće hranidbene tipove:

- I Mikrofiltratori, hrane se česticama veličine 2 do 5  $\mu\text{m}$ , bakterijama i detritusom. Primjer je vrsta *Bosmina longirostris*.
- II Mikrofiltratori, veličina čestica hrane 10 do 12  $\mu\text{m}$ , s većinskim udjelom nanofitoplanktona. Primjer su vrste *Daphnia cuculata* i *Daphnia longispina*.
- III Makrofiltratori se hrane česticama veličine od 4 do 5  $\mu\text{m}$  do 40 do 50  $\mu\text{m}$ , a glavčinu

hrane čini nanofitoplankton. Primjer su različiti razvojni stadiji veslonožaca i vstera roda *Eudiaptomus*.

IV Obligatni predator je vrsta *Leptodora kindtii*, dok su neki razvojni stadiji veslonožaca i adultni Cyclopoida fakultativni predatori.

### 3.2 Određivanje fizičko-kemijskih čimbenika vode

Za ispitivanje fizičko-kemijskih svojstava vode uzimani su uzorci u plastičnim bocama od 1 L. Fizičko-kemijska analiza vode obuhvaćala je mjerenje sljedećih parametara:

- prozirnost vode (m, Secci disk)
- temperatura (°C)
- koncentracija otopljenog kisika (mg O<sub>2</sub>/L, oksimetar oznake WTW OXI 96)
- konduktivitet (μS/cm, konduktometar oznake Hach Sension 5)
- ukupne otopljene tvari (mg/L, eng. *total dissolved solids*, TDS, konduktometar oznake Hach Sension 5)
- pH vrijednost (pH-metar WTW, 330i)
- koncentracija ortofosfata (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)

Prozirnost vode, temperatura, koncentracija otopljenog kisika, konduktivitet, ukupne otopljene tvari (TDS) i pH vrijednost mjereni su *in situ*. Konduktivitet je sposobnost vodene otopine za provođenje struje, a ovisi o broju prisutnih aniona i kationa u vodi te njihovoj pokretljivosti. Ukupne otopljene tvari (TDS) definiraju se kao masa svih otopljenih tvari (anioni, kationi i otopljene organske tvari) u vodi.

Koncentracija ortofosfata, koncentracija nitrata i alkalitet mjereni su u laboratoriju. Koncentracija ortofosfata određivana je metodom s amonij-molibdat reagensom (APHA, 1985). Amonij-molibdat reagira u kiselom mediju (pH<1) sa ortofosfatima i stvara molibdofosfornu kiselinu. Nastala kiselina se reducira s kositar-kloridom i daje fosfomolibdensko plavilo. Intenzitet obojenja mjereno je spektrofotometrijski na valnoj

duljini 690 nm. Koncentracija nitrata određena je metodom s natrijevim-salicilatom. Natrijev-salicilat reagira sa nitratima, a u kiselom mediju i u prisutnosti otopine kalijevog-natrijevog-tartarata daje, ovisno o koncentraciji nitrata, žuto obojenje. Intenzitet obojenja mjeren je spektrofotometrijski na valnoj duljini 420 nm. Za sva spektrofotometrijska mjerenja korišten je spektrofotometar oznake HACH DR/2000 . Alkalitet obilježavaju koncentracije karbonatnih ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), bikarbonatnih ( $\text{HCO}_3^{2-}$ ) i hidroksidnih ( $\text{OH}^-$ ) aniona, a određen je titrimetrijski s otopinom 0.1 M HCl uz metiloranž kao indikator do završne točke titracije kod  $\text{pH} = 4.3$ .

Stupanj trofije sustava, određen je prema CARLSONU (1977). Prema prozirnosti vode mjerene Secci diskom (SD), izračunava se indeks stupnja trofije (eng. *trophic state index*, TSI) prema formuli:

$$\text{indeks stupnja trofije (TSI}_{\text{SD}}) = 10 (6 - \log_2 \text{SD})$$

a plitki nestratificirani vodeni sustavi mogu se podijeliti na:

1. Mezo-eutrofne (2,8 m -1,4 m;  $\text{TSI}_{\text{SD}}$  45-55)
2. Eutrofne (1,4 m - 0,6 m;  $\text{TSI}_{\text{SD}}$  55-65)
3. Politrofne (<0,6 m;  $\text{TSI}_{\text{SD}}$  >65)

### 3.3 Određivanje izvora hrane za zooplankton

Zooplanktonski organizmi se hrane fitoplanktonom (alge), detritusom i bakterijama te otopljenom organskom tvari. Za procjenu količine fitoplanktona određivana je koncentracija klorofila *a* (chl *a*), za procjenu količine detritusa određivana je količina suspendirane organske tvari (eng. *particulate organic matter*, POM) preko gubitka pri žarenju (eng. *ash free dry weight*, AFDW), a za procjenu koncentracije otopljene organske tvari korištena je metoda potrošnje kisika iz kalijevog permanganata ( $\text{KPK}_{\text{KMnO}_4}$ ).

Za procjenu količine fitoplanktona korišteni su podaci mjerenja koncentracije klorofila *a* (chl *a*), koji je osnovni fotosintetski pigment za većinu autotrofnih algi. Koncentracija klorofila *a* mjerena je metodom etanolske ekstrakcije (NUSCH, 1980). Absorbancija

uzoraka određena je spektrofotometrijski (spektrofotometar oznake HACH DR/2000) na valnoj duljini apsorpcijskog maksimuma klorofila *a*, kod 665 nm. Koncentracija klorofila *a* izračunata je prema sljedećoj formuli:

$$\text{Chl } a \text{ (mg/m}^3\text{)} = 29,6 (E^a_{665} - E^b_{665}) v/V*d$$

gdje je:

Chl *a* – koncentracija klorofila *a*

E<sub>665</sub><sup>a</sup> – ekstinkcija ekstrakta na 665 nm prije zakiseljavanja (Chl *a* + feofitin)

E<sub>665</sub><sup>b</sup> – ekstinkcija ekstrakta na 665 nm nakon zakiseljavanja (samo feofitin)

v – volumen otopine ekstrakta uzorka u mililitrima (mL)

V – volumen profiltrirane vode u litrama (L)

d – promjer spektrofotometrijske kivete u centimetrima (cm)

Uzorci za određivanje koncentracije suspendirane organske tvari, sakupljeni filtriranjem 30 L vode kroz planktonsku mrežu promjera oka 26 μm, sušeni su na temperaturi od 105°C / 4h (suhi ostatak, eng. *dry weight*, DW), izvagani te žareni u mufolnoj peći na 600°C / 6h (žareni ostatak, eng. *ash free dry weight*, AFDW). Iz razlike suhog i žarenog ostatka izračunata je količina suspendirane organske tvari ili gubitak pri žarenju, AFWD (mg/m<sup>3</sup>).

Za određivanje koncentracije otopljene organske tvari (eng. *dissolved organic matter*, DOM) korištena oksido-redukcijska metoda kemijske potrošnje kisika (KPK) iz kalij-permanganata. Kalij-permanganat je jako oksidativno sredstvo te oksidira otopljenu organsku tvar u vodi, a količina utrošenog kisika ekvivalentna količini otopljene organske tvari.

### 3.4 Statistička analiza podataka

Za statističku analizu podataka (Mann-Whitney U test, Spearmanov koeficijent korelacije) korišten je program STATISTICA 8.0 (StatSoft inc., 2007). Prilikom utvrđivanja stupnja značajnosti sezonskih i prostornih razlika zooplanktona 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 izračunavanje Shannon-Wienerovog indeksa raznolikosti ( $H'$ ), Margalefovog indeksa brojnosti vrsta ( $d$ ) i Pieoluovog indeksa ujednačenosti vrsta ( $J'$ ) korišten je program Primer 5 (PRIMER-E Ltd, 2002). Grafički i tablični prikaz izrađeni su u programu Microsoft Excel 2003 (Microsoft Corporation, 2003).

## 4.0 REZULTATI

### 4.1 Fizičko-kemijska svojstva vode

Vrijednosti mjerenih fizičko-kemijskih parametara između dviju istraživanih postaja nisu se statistički značajno razlikovale (Mann-Whitney U test,  $p > 0,05$ ).

Tijekom istraživanog razdoblja najveća prozirnost vode zabilježena je u veljači (1,15 m), a najmanja u travnju (0,6 m) (slika 3).

Temperature vode imale su na obje postaje trend postepenog rasta, a kretale su se od 4,2 °C u siječnju, do 28,6 °C krajem lipnja (sl. 4a). Rezultati Mann-Whitney U testa ukazuju da su se na obje istraživane postaje temperaturne vrijednosti sezonski značajno razlikovale ( $p < 0,05$ ). U zimskom razdoblju koncentracije otopljenog kisika kretale su se, na obje postaje, oko medijane vrijednosti 14 mg O<sub>2</sub>/L, a u proljetnom razdoblju su bile niže te su se kretale oko 11 mg O<sub>2</sub>/L na postaji P i oko 6 mg O<sub>2</sub>/L na postaji L (slika 4b). Koncentracija otopljenog kisika bila je u statistički značajno negativnoj korelaciji s temperaturom na što ukazuju više vrijednosti otopljenog kisika zimi, a manje u proljeće (tablica 1).

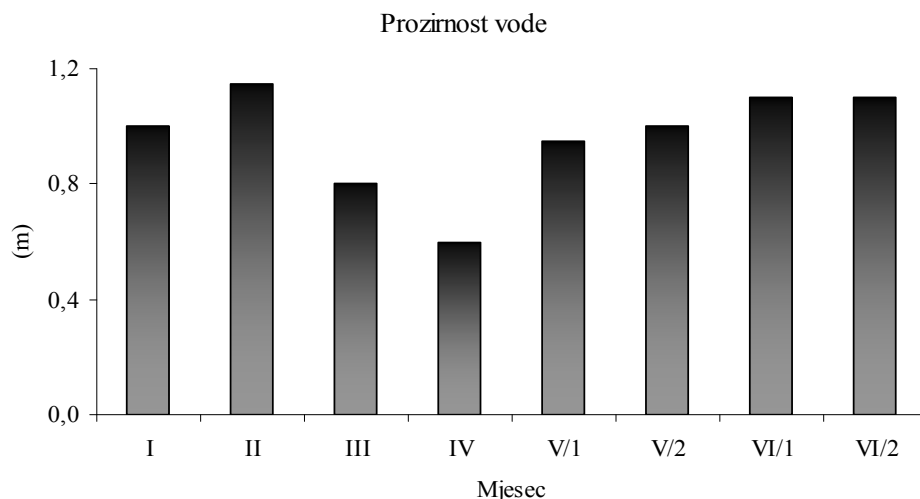
Vrijednosti konduktiviteta bile su na obje postaje u postepenom porastu. U zimskom razdoblju vrijednosti konduktiviteta imale su sličnu medijanu vrijednosti, oko 288 μS/cm, a u proljetnom razdoblju oko 298 μS/cm (slika 4c). Koncentracije ukupne otopljene tvari (TDS) također pokazuju porast od zimskog prema proljetnom razdoblju. U zimskom razdoblju kretale oko medijane vrijednosti 138 mg/L, dok su u proljetnom razdoblju oscilacije bile veće i kretale su se u rasponu od 137 mg/L do 148 mg/L (slika 4d). Vrijednosti konduktiviteta i koncentracije ukupno otopljenih tvari bile su međusobno u vrlo izraženoj pozitivnoj korelaciji ( $r = 0,99$ ,  $p < 0,05$ ), a rezultati statističke analize ukazuju da su njihove vrijednosti bile značajno veće porastom temperature (konduktivitet  $r = 0,86$ ; TDS  $r = 0,85$ ;  $p < 0,05$ ) (tablica 1).



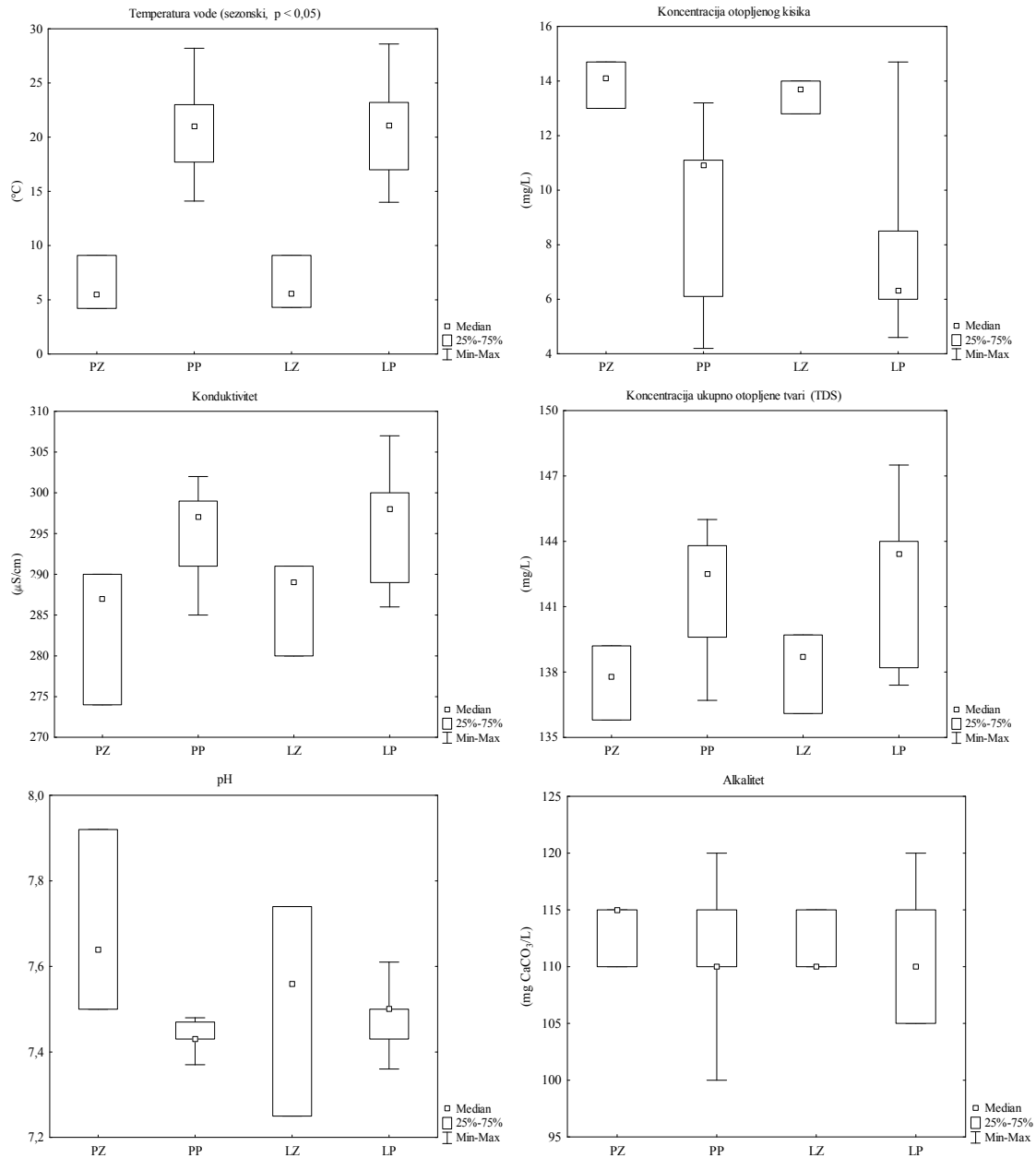
pH vrijednosti su na postaji P bile znatno više u zimskom (7,75) nego u proljetnom (7,45) razdoblju ( $p < 0,05$ ), dok su se na postaji L kretale oko vrijednosti od 7,5 (slika 4e). Vrijednosti alkaliteta su se na obje postaje tijekom istraživanog razdoblja kretale oko 110 mg CaCO<sub>3</sub>/L, a oscilacije su bile veće u proljetnom nego u zimskom razdoblju (slika 4f).

Tablica 1. Spearmanov koeficijent korelacije između abiotičkih čimbenika, brojnosti i biomase skupina u rukavcu rijeke Krapine ( $p < 0,05$ )

| Parametar  | <i>r</i>  | Parametar  | <i>r</i>  |
|--|-----------|--|-----------|
| <b>Temperatura (°C)</b>                              |           | <b>POM (mg AFDW/m<sup>3</sup>)</b>                       |           |
| Koncentracija otopljenog kisika (mg/L)               | -0,717231 | Rotifera mikrofiltratori A1 (jed/L)                      | -0,382353 |
| Konduktivitet (μS/cm)                                | 0,868829  | Rotifera mikrofiltratori A3 (jed/L)                      | -0,507519 |
| TDS (mg/L)   | 0,853569  | Crustacea mikrofiltratori I (jed/L)                      | 0,841176  |
| POM (mg AFDW/m <sup>3</sup> )                        | 0,894776  | Crustacea mikrofiltratori II (jed/L)                     | 0,523078  |
| Crustacea mikrofiltratori I (jed/L)                  | 0,800589  | Crustacea mikrofiltratori I (μg DW/L)                    | 0,867647  |
| Crustacea mikrofiltratori II (jed/L)                 | 0,738036  | Crustacea mikrofiltratori II (μg DW/L)                   | 0,513653  |
| Crustacea mikrofiltratori I (μg DW/L)                | 0,818249  | <b>Koncentracija klorofila a (mg/m<sup>3</sup>)</b>      |           |
| Crustacea mikrofiltratori II (μg DW/L)               | 0,716029  | Rotifera mikrofiltratori A1 (jed/L)                      | -0,510670 |
| <i>Chydorus ovalis</i> (jed/L)                       | 0,820581  | Ukupno zooplankton (jed/L)                               | -0,359088 |
| <b>TDS (mg/L)</b>                                    |           | <b>Orto-fosfati (mg P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L)</b> |           |
| Konduktivitet (μS/cm)                                | 0,998528  | Konduktivitet (μS/cm)                                    | 0,506264  |
| Orto-fosfati (mg P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L) | 0,510670  | <b>Prozirnost vode (m)</b>                               |           |
| Crustacea mikrofiltratori I (jed/L)                  | 0,688235  | DOM (mg O <sub>2</sub> /L)                               | -0,513683 |
| Crustacea mikrofiltratori II (jed/L)                 | 0,578056  |  |           |
| Crustacea mikrofiltratori I (μg DW/L)                | 0,691176  |  |           |
| Crustacea mikrofiltratori II (μg DW/L)               | 0,546640  |  |           |



Slika 3. Sezonske oscilacije prozirnosti vode u rukavcu rijeke Krapine



Slika 4. Sezonske promjene fizičko-kemijskih čimbenika u rukavcu rijeke Krapine. Postaja P u zimskom (PZ) i u proljetnom (PP) razdoblju, postaja L u zimskom (LZ) i proljetnom (LP) razdoblju

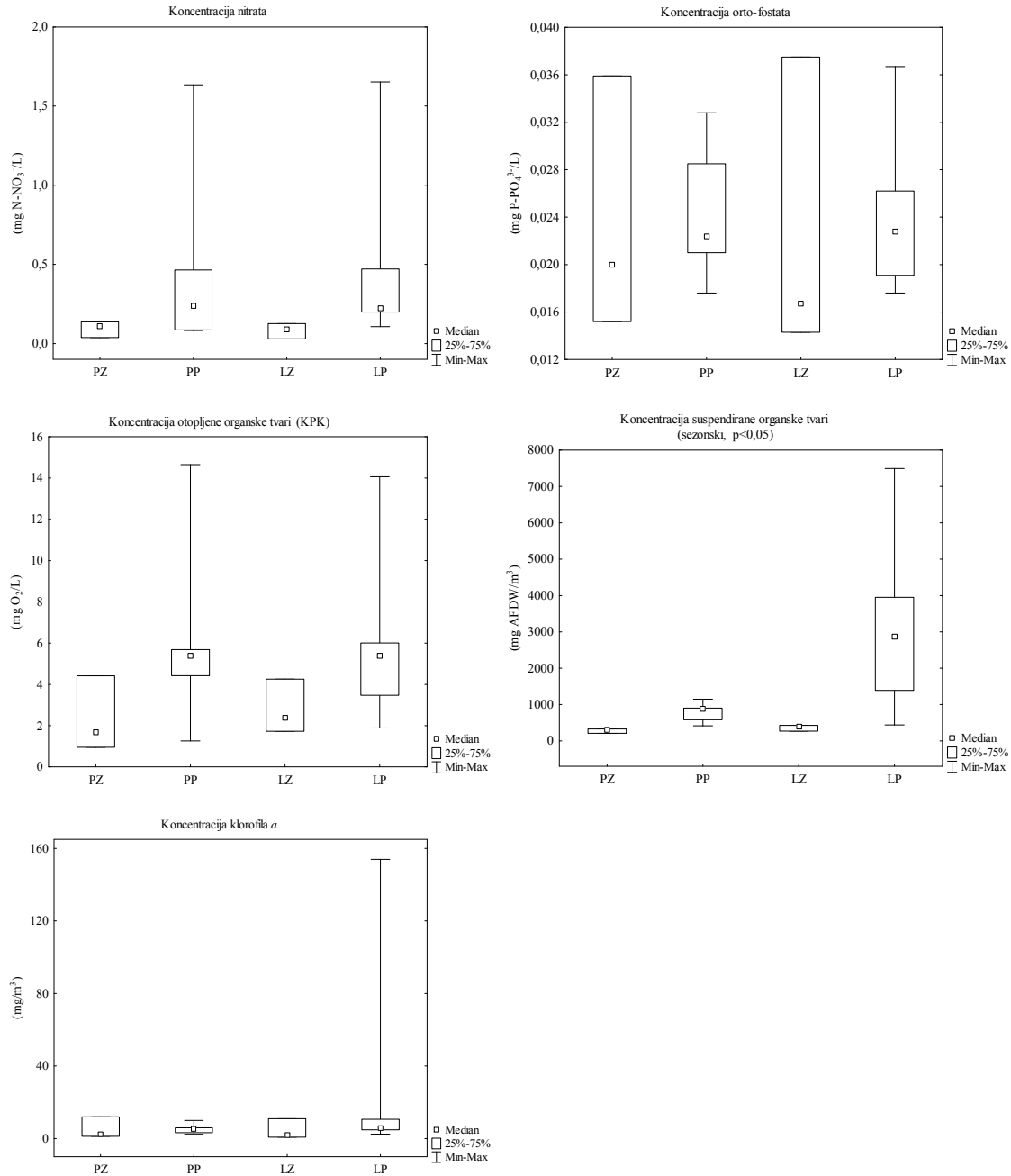
## 4.2 Hranjive tvari i izvori hrane zooplanktona

U zimskom razdoblju su na obje postaje zabilježene niske koncentracije nitrata (oko 0,1 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L), dok su u proljetnom razdoblju zabilježene nešto više koncentracije s izraženim maksimumom u drugoj polovici svibnja (1,63 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L na postaji P i 1,65 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L na postaji L) (slika 5a). Koncentracije orto-fosfata su se u zimskom razdoblju kretale u rasponu od 0,02 mg P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L do 0,04 mg P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L na postaji P te od 0,014 mg P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L do 0,038 mg P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L na postaji L. U proljetnom razdoblju su vrijednosti orto-fosfata nešto manje oscilirale i kretale su se na obje postaje oko medijane vrijednosti 0,02 mg P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L (slika 5b). Koncentracije orto-fosfata pozitivno su utjecale na porast konduktiviteta i koncentraciju ukupno otopljenih tvari (TDS) (tablica 1).

Vrijednosti KPK su na obje postaje neznatno varirale u zimskom (oko medijane vrijednosti od 2 mg O<sub>2</sub>/L) u odnosu proljetno razdoblje kada su oscilirale u rasponu od 1,3 mg O<sub>2</sub>/L do 15 mg O<sub>2</sub>/L na postaji P te od 2 mg O<sub>2</sub>/L do 14 mg O<sub>2</sub>/L na postaji L (slika 5c).

U zimskom razdoblju na obje postaje koncentracije suspendiranih organskih tvari (POM) varirale su oko 340 AFDW mg/m<sup>3</sup> (slika 5d). POM vrijednosti su u proljetnom razdoblju imale veće oscilacije nego u zimskom (postaja P od 413 AFDW mg/m<sup>3</sup> do 1150 AFDW mg/m<sup>3</sup>; postaja L od 440 AFDW mg/m<sup>3</sup> do 7493 AFDW mg/m<sup>3</sup>). Također, POM vrijednosti su na obje postaje bile manje u zimskom nego u proljetnom razdoblju iz čega i proizlaze statistički značajne sezonske razlike (Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ) te značajno pozitivna korelacija s temperaturom ( $r = 0,89$ ) (tablica 1).

Koncentracije klorofila *a* su tijekom zimskog razdoblja bile niže u odnosu na proljetno razdoblje izuzev vrijednosti u siječnju (11, 98 mg/m<sup>3</sup> na postaji P i 10,95 mg/m<sup>3</sup> na postaji L) kad su bile izrazito visoke za zimsko razdoblje. U proljetnom razdoblju vrijednosti chl *a* na obje postaje kretale su se oko 5,5 mg/m<sup>3</sup>, na što ukazuju njihove medijane vrijednosti. Na postaji L u drugoj polovici lipnja zabilježena je vrlo visoka maksimalna vrijednost klorofil *a* (153,92 mg/m<sup>3</sup>) (slika 5f).



Slika 5. Sezonske promjene hranjivih tvari i izvora hrane u rukavcu rijeke Krapine. Postaja P u zimskom (PZ) i u proljetnom (PP) razdoblju, postaja L u zimskom (LZ) i proljetnom (LP) razdoblju

## 4.3 Prostorna i sezonska dinamika zooplanktona

### 4.3.1 Zona slobodne vode (postaja P)

U zoni slobodne vode determinirano je ukupno 25 svojiti, od čega je skupini kolnjaka pripadalo 12, skupini rašljoticalaca 10, a skupini veslonožaca 3 svojite (tablica 2). Srednja vrijednost indeksa raznolikosti vrsta bila je manja u zimskom ( $1,7 \pm 0,36$ ) nego u proljetnom razdoblju ( $2,02 \pm 0,50$ ). Srednja vrijednost Margalefovog indeksa brojnosti vrsta također je bila manja u zimskom ( $1,36 \pm 0,44$ ) nego u proljetnom razdoblju ( $1,58 \pm 0,21$ ), dok je Pielouov indeks ujednačenosti vrsta imao je trend postepenog rasta u oba razdoblja (slika 6).

Ukupna brojnost zooplanktona postigla je minimalnu vrijednost u siječnju (127 jed/L), a maksimalnu u ožujku (1190 jed/L), dok se u proljetnom razdoblju kretala u rasponu od 533 jed/L do 1107 jed/L, izuzev prve polovice svibnja kada je zabilježen nagli pad (168 jed/L) (slika 7). Tijekom istraživanog razdoblja kolnjaci su najviše pridonijeli brojnosti zooplanktona (72 %), dok je udio veslonožaca (24 %) i rašljoticalaca (3 %) bio znatno manji. Minimalna vrijednost ukupne biomase zooplanktona zabilježena je u siječnju ( $22 \mu\text{g/L}$ ) te se dalje u zimskom razdoblju kretala oko srednje vrijednosti od  $65 \pm 37,5 \mu\text{g/L}$ . U proljetnom razdoblju biomasa jedinki postupno je rasla do maksimalne vrijednosti u drugoj polovici lipnja ( $780 \mu\text{g/L}$ ) (slika 7). Udjeli pojedinih skupina zooplanktona u biomasi su obrnuli nego u brojnosti, te su joj najviše doprinijeli rašljoticalci (48 %) i veslonošci (45 %) a znatno manje kolnjaci (7 %).

U trofičkoj strukturi kolnjaka dominirali su mikrofiltratori čija se brojnost kretala oko srednje vrijednosti od  $446 \pm 343,37 \text{ jed/L}$ , a maksimalnu brojnost postigli su u ožujku (1099 jed/L) (slika 7a). Brojnosti mikrofiltratora najviše su doprinijele vrste koje se hrane suspenzijom bakterija i detritusa (A1) od kojih najviše *Keratella cochlearis* (55 %) te vrsta koja se tipično hrani fitoplanktonom, ali i bakterijsko-detritusna suspenzija može činiti značajan dio njene prehrane (A3) *Keratella quadrata* (20 %) (slika 7a). Tijekom istraživanog razdoblja kolnjaci makrofiltratori imali su znatno manju brojnost u odnosu na mikrofiltratore, a maksimalnu brojnost postigli su u prvoj polovici lipnja (120 jed/L).

Brojnosti makrofiltratora najviše su doprinijele vrste *Trichocerca longiseta* i vrste roda *Polyarthra*. Kolnjaci predatori bili su zastupljeni samo s vrstom *Asplanchna brightwelli* koja se pojavila u travnju i drugoj polovici svibnja s malom brojnošću od 3 jed/L do 7 jed/L (slika 7a). Odnosi i oscilacije biomase kolnjaka odnose se kao i njihove brojnosti u odnosu na mikrofiltratore (slika 8a).

U trofičkoj strukturi rakova dominirali su makrofiltratori koji su maksimalnu brojnost od 632 jed/L postigli u prvoj polovici lipnja (slika 7b). Brojnosti makrofiltratora najviše su doprinijeli ličinački stadiji veslonožaca, naupliji (84 %). Rakovi mikrofiltratori imali su znatno manju brojnost od makrofiltratora, a maksimum brojnosti postigli su u drugoj polovici svibnja (mikrofiltratori tipa I 49 jed/L, mikrofiltratori tipa II 46 jed/L) (slika 7b). U biomasi rakova također su dominirali makrofiltratori, izuzev druge polovice lipnja kada su dominaciju preuzeli mikrofiltratori (304  $\mu\text{g/L}$ ), među kojima su dominirale vrste *Moina brachiata* (50 %), *Ceriodaphnia quadrangula* (28 %) i *C. megops* (19 %) (slika 8b).

Slika 9 prikazuje sezonske oscilacije biomase veličinskih kategorija u zooplanktonu u pelagijalu (postaja P). U zimskom razdoblju u zooplanktonu su dominirali predstavnici najveće veličinske kategorije (VIII) zastupljeni samo s vrstom iz skupine veslonožaca, *Eudiaptomus gracilis* (50 %). U travnju dominaciju u pelagijalu imaju manje vrste, među kojima je najveći udio imala vrsta *Keratella quadrata* (51 %) iz kategorije IV. Tijekom svibnja i lipnja najveći udio u biomasi zooplanktona pelagijala imala je kategorija VII što se pripisuje vrstama *Moina brachiata* (42 %) i *Ceriodaphnia quadrangula* (24 %).

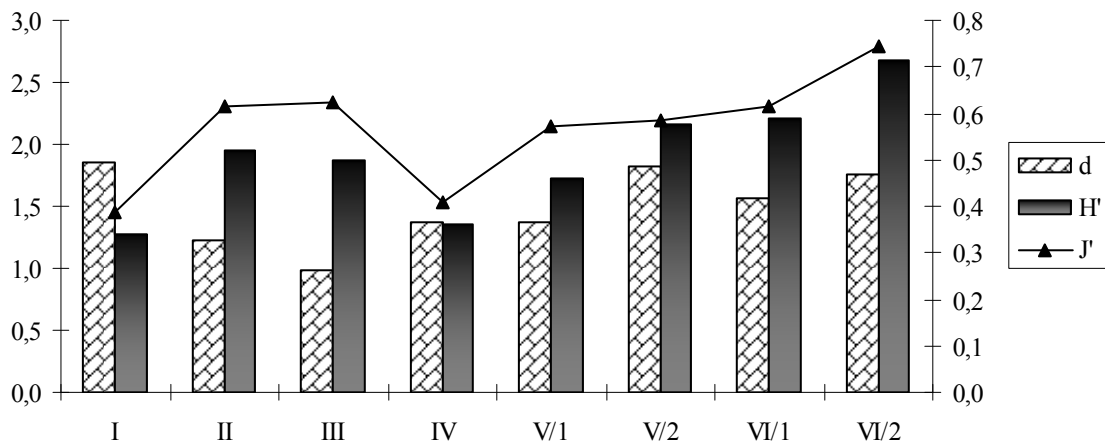
Tablica 2. Sezonske promjene trofičke strukture zooplanktona na postaji P

|                           |           |                                 | Mjesec        |                |               |               |               |                |               |              |
|---------------------------|-----------|---------------------------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|--------------|
|                           |           |                                 | I             | II             | III           | IV            | V/1           | V/2            | VI/1          | VI/2         |
| Trofička skupina          | Skupina   | Svojta                          | Broj jed/L    |                |               |               |               |                |               |              |
| A1                        | Rotifera  | <i>Brachionus angularis</i>     | 8,80          | 115,56         | 120,70        | 9,82          |               |                |               |              |
|                           |           | <i>Filinia longiseta</i>        | 9,78          | 110,52         | 79,33         | 0,58          |               |                | 148,80        | 230,76       |
|                           |           | <i>Keratella cochlearis</i>     | 97,45         | 343,41         | 680,57        | 254,80        | 8,44          | 360,89         | 180,80        | 44,00        |
|                           |           | <i>Lecane luna</i>              |               |                |               |               |               | 0,62           | 3,20          |              |
| <b>A1 ukupno</b>          |           | <b>116,03</b>                   | <b>569,48</b> | <b>880,60</b>  | <b>265,20</b> | <b>8,44</b>   | <b>361,51</b> | <b>332,80</b>  | <b>274,76</b> |              |
| A2                        | Rotifera  | <i>Lepadella patella</i>        |               |                |               |               |               | 2,49           |               |              |
|                           |           | <i>Testudinella mucronata</i>   |               |                |               |               |               | 36,71          |               |              |
|                           |           | <i>Testudinella patina</i>      |               |                |               |               | 2,11          |                |               |              |
| <b>A2 ukupno</b>          |           |                                 |               |                |               | <b>2,11</b>   | <b>39,20</b>  |                |               |              |
| A3                        | Rotifera  | <i>Keratella quadrata</i>       | 0,49          | 20,74          | 218,73        | 418,31        | 22,52         | 36,71          |               |              |
| <b>A3 ukupno</b>          |           | <b>0,49</b>                     | <b>20,74</b>  | <b>218,73</b>  | <b>418,31</b> | <b>22,52</b>  | <b>36,71</b>  |                |               |              |
| <b>A ukupno</b>           |           | <b>116,52</b>                   | <b>590,22</b> | <b>1099,33</b> | <b>683,51</b> | <b>33,07</b>  | <b>437,42</b> | <b>332,80</b>  | <b>274,76</b> |              |
| B4                        | Rotifera  | <i>Trichocerca longiseta</i>    |               |                |               | 1,16          | 2,11          | 44,80          | 92,80         | 7,82         |
| B5                        | Rotifera  | <i>Synchaeta oblonga</i>        |               | 0,30           |               |               |               |                |               |              |
| B6                        | Rotifera  | <i>Polyarthra spp.</i>          |               |                |               |               |               |                | 26,40         | 23,47        |
| <b>B ukupno</b>           |           |                                 |               | <b>0,30</b>    |               | <b>1,16</b>   | <b>2,11</b>   | <b>44,80</b>   | <b>119,20</b> | <b>31,29</b> |
| C                         | Rotifera  | <i>Asplanchna brightwelli</i>   |               |                |               | 2,60          |               | 6,84           |               |              |
| <b>C ukupno</b>           |           |                                 |               |                |               | <b>2,60</b>   |               | <b>6,84</b>    |               |              |
| I                         | Cladocera | <i>Alona rectangula</i>         | 0,16          |                |               |               |               |                |               |              |
|                           |           | <i>Alona weinerei</i>           |               |                |               |               |               |                | 2,40          |              |
|                           |           | <i>Bosmina longirostris</i>     | 0,33          | 1,78           | 13,60         | 3,18          | 9,15          | 2,49           | 3,20          | 5,87         |
|                           |           | <i>Chydorus ovalis</i>          |               |                |               |               | 0,70          |                | 8,80          | 1,96         |
|                           |           | <i>Moina brachiata</i>          |               |                |               |               |               |                |               | 41,07        |
| <b>I ukupno</b>           |           | <b>0,49</b>                     | <b>1,78</b>   | <b>13,60</b>   | <b>3,18</b>   | <b>9,85</b>   | <b>2,49</b>   | <b>14,40</b>   | <b>48,89</b>  |              |
| II                        | Cladocera | <i>Ceriodaphnia megops</i>      |               |                |               |               |               |                |               | 18,58        |
|                           |           | <i>Ceriodaphnia quadrangula</i> |               |                |               |               |               |                |               | 27,38        |
|                           |           | <i>Ceriodaphnia reticulata</i>  |               |                |               |               |               |                | 7,20          |              |
|                           |           | <i>Daphnia longispina</i>       |               |                |               | 1,44          |               | 7,47           | 1,60          |              |
|                           |           | <i>Daphnia pulex</i>            | 0,16          |                |               |               |               | 3,11           |               |              |
| <b>II ukupno</b>          |           | <b>0,16</b>                     |               |                | <b>1,44</b>   |               | <b>10,58</b>  | <b>8,80</b>    | <b>45,96</b>  |              |
| III                       | Copepoda  | <i>Eudiaptomus gracilis</i>     | 1,47          | 6,81           | 1,70          | 0,29          |               | 3,11           |               | 5,87         |
|                           |           | kopepodit                       | 0,49          | 2,37           | 6,80          |               | 13,37         | 32,36          | 80,00         | 45,96        |
|                           |           | nauplij                         | 8,15          | 54,22          | 68,57         | 25,71         | 109,07        | 166,13         | 552,00        | 80,18        |
| <b>III ukupno</b>         |           | <b>10,10</b>                    | <b>63,41</b>  | <b>77,07</b>   | <b>26,00</b>  | <b>122,44</b> | <b>201,60</b> | <b>632,00</b>  | <b>132,00</b> |              |
| <b>UKUPNO ZOOPLANKTON</b> |           | <b>127,27</b>                   | <b>655,70</b> | <b>1190,00</b> | <b>717,89</b> | <b>167,48</b> | <b>703,73</b> | <b>1107,20</b> | <b>532,89</b> |              |

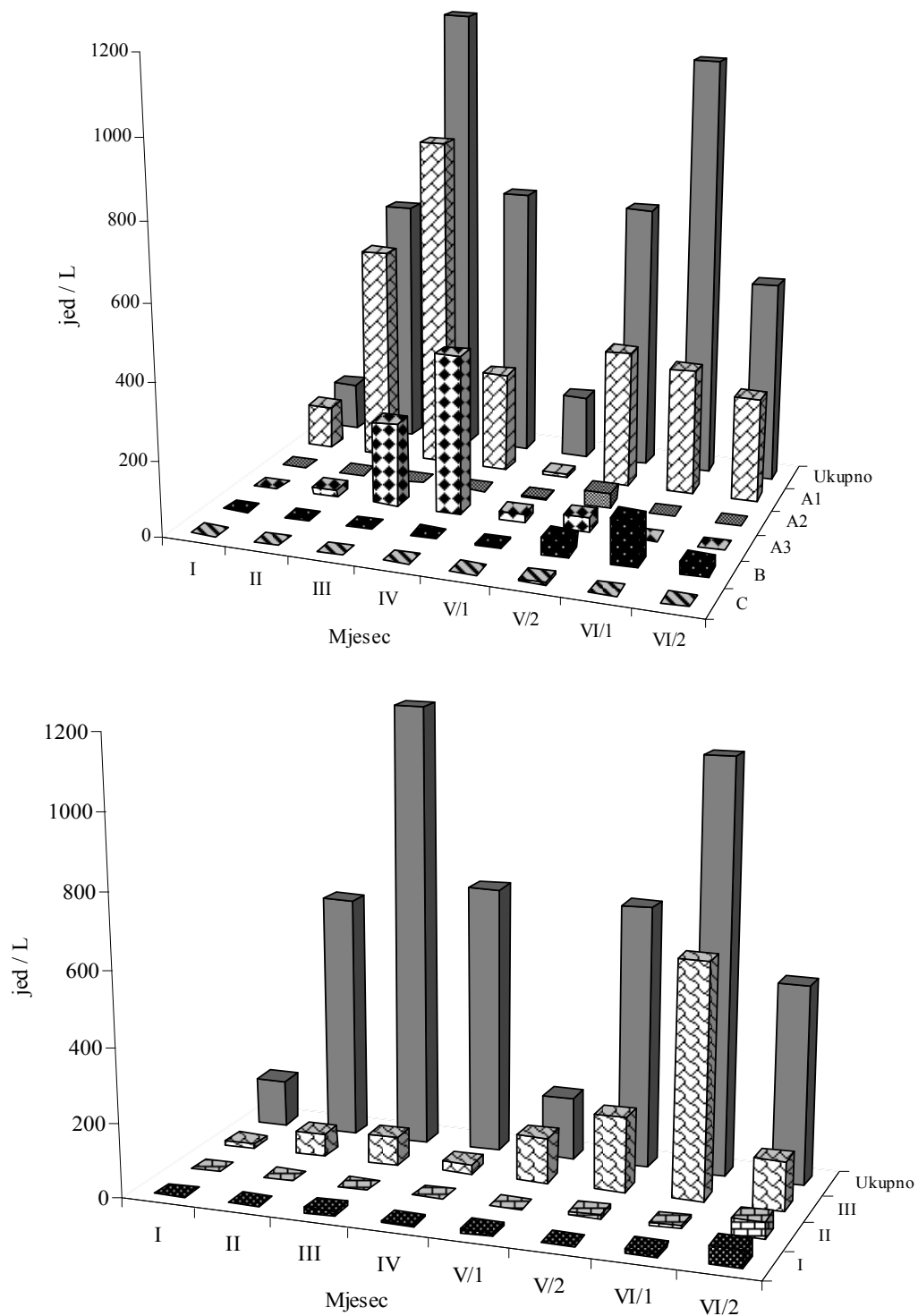
Tablica 3. Sezonske promjene biomase veličinskih kategorija na postaji P

|                       |           |                                 | Mjesec       |              |              |              |              |               |               |               |        |
|-----------------------|-----------|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|--------|
|                       |           |                                 | I            | II           | III          | IV           | V/1          | V/2           | VI/1          | VI/2          |        |
| Velikinska kategorija | Skupina   | Takson                          | µg/L         |              |              |              |              |               |               |               |        |
| II                    | Rotifera  | <i>Lepadella patella</i>        |              |              |              |              |              |               | 0,01          |               |        |
| <b>II Ukupno</b>      |           |                                 |              |              |              |              |              | <b>0,01</b>   |               |               |        |
| III                   | Rotifera  | <i>Brachionus angularis</i>     | 0,19         | 2,54         | 2,65         | 0,22         |              |               |               |               |        |
|                       |           | <i>Keratella cochlearis</i>     | 1,12         | 3,95         | 7,83         | 2,93         | 0,10         | 4,15          | 2,08          | 0,51          |        |
|                       |           | <i>Lecane luna</i>              |              |              |              |              |              | 0,01          | 0,04          |               |        |
|                       |           | <i>Polyarthra spp.</i>          |              |              |              |              |              |               | 0,63          | 0,56          |        |
|                       |           | <i>Testudinella mucronata</i>   |              |              |              |              |              | 5,32          |               |               |        |
| <b>III Ukupno</b>     |           |                                 | <b>1,31</b>  | <b>6,49</b>  | <b>10,48</b> | <b>3,15</b>  | <b>0,10</b>  | <b>9,48</b>   | <b>2,75</b>   | <b>1,07</b>   |        |
| IV                    | Rotifera  | <i>Filinia longiseta</i>        | 0,41         | 4,64         | 3,33         | 0,02         |              |               |               | 6,25          | 9,69   |
|                       |           | <i>Keratella quadrata</i>       | 0,03         | 1,14         | 12,03        | 23,01        | 1,24         | 2,02          |               |               |        |
|                       |           | <i>Synchaeta oblonga</i>        |              | 0,02         |              |              |              |               |               |               |        |
|                       |           | <i>Testudinella patina</i>      |              |              |              |              | 0,32         |               |               |               |        |
|                       |           | <i>Trichocerca longiseta</i>    |              |              |              | 0,11         | 0,20         | 4,21          | 8,72          | 0,74          |        |
| <b>IV Ukupno</b>      |           |                                 | <b>0,44</b>  | <b>5,80</b>  | <b>15,36</b> | <b>23,14</b> | <b>1,76</b>  | <b>6,23</b>   | <b>14,97</b>  | <b>10,43</b>  |        |
| V                     | Rotifera  | <i>Asplanchna brightwelli</i>   |              |              |              | 1,08         |              | 2,84          |               |               |        |
| <b>V Ukupno</b>       |           |                                 |              |              |              | <b>1,08</b>  |              | <b>2,84</b>   |               |               |        |
| VI                    | Cladocera | <i>Alona rectangula</i>         | 0,15         |              |              |              |              |               |               | 2,28          |        |
|                       |           | <i>Alona weinerei</i>           |              |              |              |              |              |               |               |               |        |
|                       |           | <i>Bosmina longirostris</i>     | 0,33         | 1,78         | 13,60        | 3,18         | 9,15         | 2,49          | 3,20          | 5,87          |        |
|                       |           | <i>Chydorus ovalis</i>          |              |              |              |              | 2,22         |               | 27,72         | 6,16          |        |
|                       | Copepoda  | nauplij                         | 0,81         | 5,42         | 6,86         | 2,57         | 10,91        | 16,61         | 55,20         | 8,02          |        |
| <b>VI Ukupno</b>      |           |                                 | <b>1,30</b>  | <b>7,20</b>  | <b>20,46</b> | <b>5,75</b>  | <b>22,27</b> | <b>19,10</b>  | <b>88,40</b>  | <b>20,04</b>  |        |
| VII                   | Cladocera | <i>Ceriodaphnia megops</i>      |              |              |              |              |              |               |               |               | 111,47 |
|                       |           | <i>Ceriodaphnia quadrangula</i> |              |              |              |              |              |               |               |               | 164,27 |
|                       |           | <i>Ceriodaphnia reticulata</i>  |              |              |              |              |              |               | 43,20         |               |        |
|                       |           | <i>Daphnia longispina</i>       |              |              |              | 9,03         |              | 46,67         | 10,00         |               |        |
|                       |           | <i>Daphnia pulex</i>            | 3,75         |              |              |              |              | 71,56         |               |               |        |
|                       |           | <i>Moina brachiata</i>          |              |              |              |              |              |               |               |               | 291,57 |
|                       | Copepoda  | kopepodit                       | 1,32         | 6,40         | 18,36        |              | 36,10        | 87,36         | 216,00        | 124,08        |        |
| <b>VII Ukupno</b>     |           |                                 | <b>5,07</b>  | <b>6,40</b>  | <b>18,36</b> | <b>9,03</b>  | <b>36,10</b> | <b>205,58</b> | <b>269,20</b> | <b>691,39</b> |        |
| VIII                  | Copepoda  | <i>Eudiaptomus gracilis</i>     | 14,23        | 66,14        | 16,50        | 2,80         |              | 30,19         |               | 56,94         |        |
| <b>VIII Ukupno</b>    |           |                                 | <b>14,23</b> | <b>66,14</b> | <b>16,50</b> | <b>2,80</b>  |              | <b>30,19</b>  |               | <b>56,94</b>  |        |

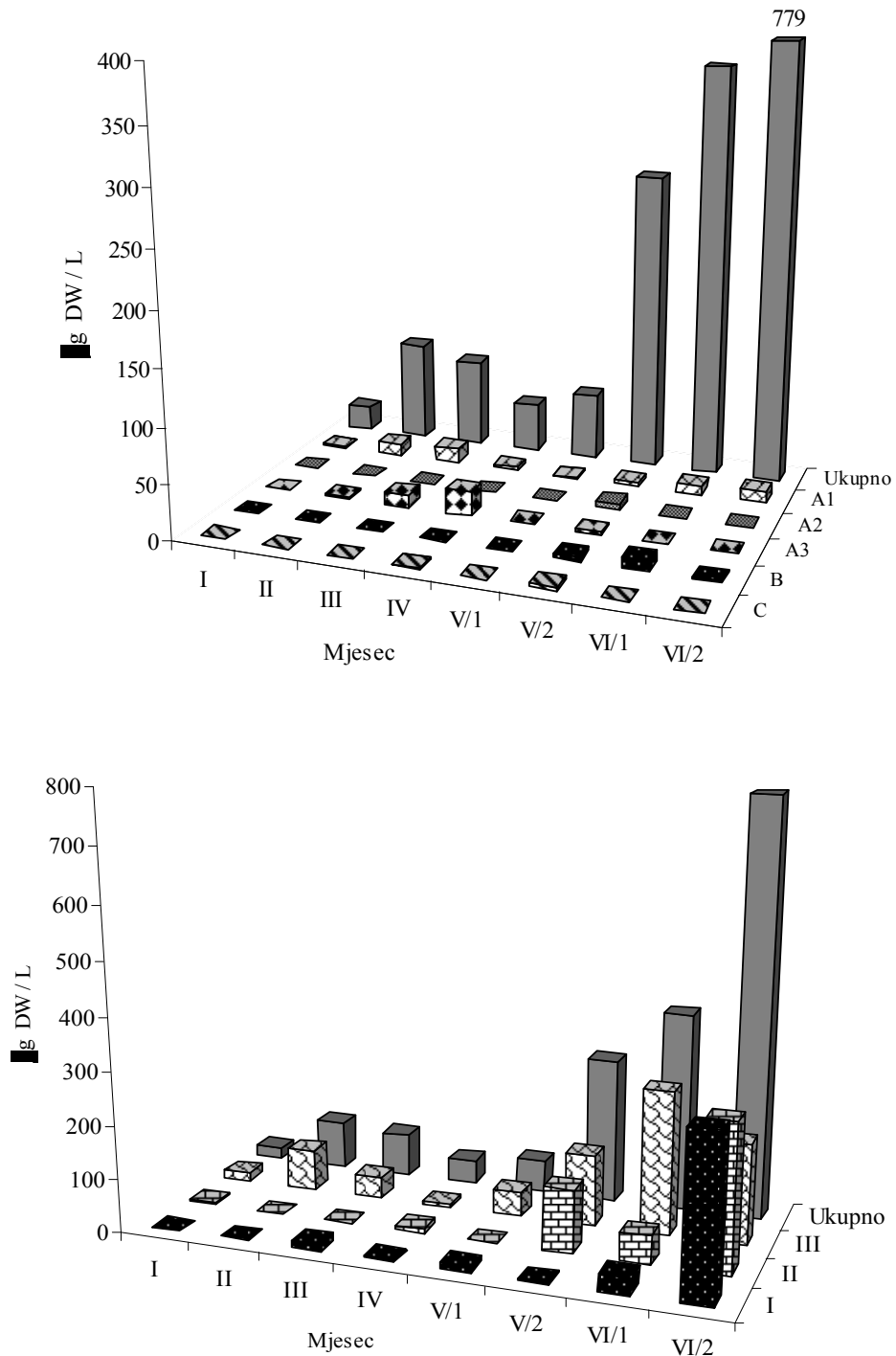




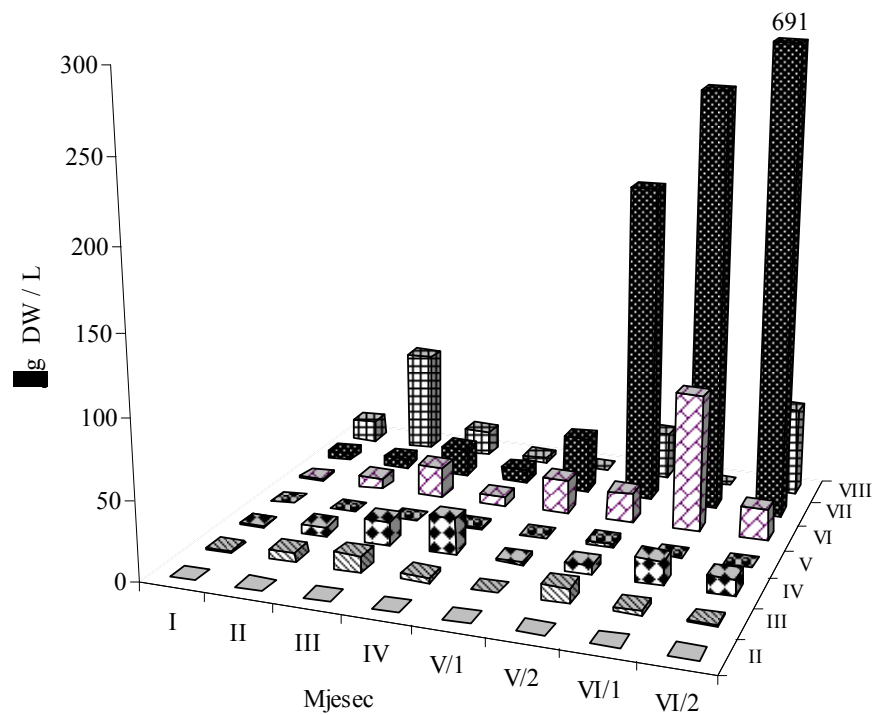
Slika 6. Sezonske promjene Margalefovog indeksa brojnosti vrsta (d), Shannon-Wienerovog indeksa raznolikost (H') i Pielouovog indeksa ujednačenosti (J') na postaji P



Slika 7. Sezonske promjene brojnosti trofičkih skupina zooplanktona na postaji P:  
 a) Rotifera: mikrofiltratori (podskupine A1, A2, A3), makrofiltratori (B), predatori (C);  
 b) Crustacea: mikrofiltratori tipa I (I), mikrofiltratori tipa II (II) i makrofiltratori (III)



Slika 8. Sezonske promjene biomase trofičkih skupina zooplanktona na postaji P:  
 a) Rotifera: mikrofiltratori (podskupine A1, A2, A3), makrofiltratori (B), predatori (C);  
 b) Crustacea: mikrofiltratori tipa I (I), mikrofiltratori tipa II (II), makrofiltratori (III)



Slika 9. Sezonske promjene veličinskih kategorija zooplanktona na postaji P

#### 4.3.2 Litoralna zona (postaja L)

U litoralnoj zoni determinirano je ukupno 36 svojti, od čega su skupini kolnjaka pripadale 22 svojte, skupini rašljoticalaca 9, a skupini veslonžaca 5 svojti. Srednja vrijednost indeksa raznolikosti vrsta bila je manja u zimskom ( $1,91 \pm 0,11$ ) nego u proljetnom razdoblju ( $2,33 \pm 0,92$ ), a ovakav trend odražavao je i Margalefov indeks brojnosti vrsta (zima  $1,77 \pm 0,40$ ; proljeće  $2,42 \pm 0,83$ ). Izraženi minimum raznolikosti zabilježen je u travnju ( $0,96$ ), a maksimum u drugoj polovici lipnja ( $3,4$ ), dok je indeks ujednačenosti oscilirao od  $0,3$  do  $0,8$  (slika 10).

Ukupna brojnost zooplanktona bila je najmanja u siječnju ( $113 \text{ jed/L}$ ), a najveća u ožujku ( $607 \text{ jed/L}$ ), dok se u proljetnom razdoblju kretala od  $159 \text{ jed/L}$  do  $536 \text{ jed/L}$ . Najveći udio u ukupnoj brojnosti zooplanktona imali su kolnjaci ( $73 \%$ ), a znatno manji udio

rašljoticalci (13 %) i veslonošci (12 %). Minimalna vrijednost ukupne biomase zooplanktona zabilježena je u travnju (13 µg/L), a maksimalna u drugoj polovici svibnja (820 µg/L). Tijekom istraživnog razdoblja ukupnoj biomasi najviše su doprinijeli rašljoticalci (80 %), a znatno manje veslonošci (17 %) i kolnjaci (3 %).

U trofičkoj strukturi kolnjaka dominirali su mikrofiltratori čija se brojnost kretala oko srednje vrijednosti od  $244 \pm 186,71$  jed/L, a maksimalnu brojnost postigli su u ožujku (527,44 jed/L). Tijekom istraživnog razdoblja brojnošću skupine mikrofiltratora dominirala je vrsta *Keratella cochlearis* (71 %) koja se hrani suspenzijom bakterija i detritusa (A1) (slika 11a). Kolnjaci makrofiltratori imali su tijekom istraživnog radoblja manju brojnost od mikrofiltratora, a maksimum su postigli u prvoj polovici svibnja (30 jed/L). Kolnjaci predatori, zastupljeni samo s vrstom *Asplanchna brightwelli* pojavili su se u proljeće s vrlo malom brojnošću ( $2 \pm 1,31$  jed/L) (slika 11a). Mikrofiltratori su imali također najveći udio i u biomasi kolnjaka, među kojima su dominirale vrste *Keratella cochlearis* (41 %), *Filinia longiseta* (25 %) koje se hrane suspenzijom bakterija i detritusa, (A1) te *Keratella quadrata* (18 %) koja se hrani fitoplanktonom, ali i bakterijsko-detritusnom suspenzijom (A3) (slika 12a). Podskupina A1 imala je najveću biomasu tijekom istraživnog razdoblja, izuzev prve polovice svibnja kada je dominantna bila vrsta *Euchlanis dilatata* koja se hrani suspenzijom bakterija i detritusa i malim algama tipičnim za eutrofiju (A2) (36 %). Kolnjaci makrofiltratori i kolnjaci predatori imali su manji udio u ukupnoj biomasi kolnjaka (makrofiltratori 18 %; predatori 4 %) (slika 12a).

U trofičkoj strukturi rakova od siječnja do svibnja brojnošću su dominirali makrofiltratori (srednja vrijednost 40 jed/L), s maksimumom u drugoj polovici lipnja (75 jed/L). Brojnosti makrofiltratora tijekom istraživnog razdoblja najviše su doprinijeli ličinački oblici veslonožaca, naupliji (83 %). U lipnju su mikrofiltratori tipa I znatno povećali brojnost od 103 jed/L do 252 jed/L (slika 11b). Na povećanu brojnost ove trofičke skupine u lipnju značajno je utjecala vrsta *Chydorus ovalis* (92 %). Biomasi rakova su od siječnja do travnja najviše doprinijeli makrofiltratori, među kojima se ističe vrsta *E. gracilis* (63 %) (slika 12). U prvoj polovici svibnja najveću biomasu imali su

mikrofiltratori tipa II zastupljeni vrstama *Daphnia longispina* (71 %) i *Daphnia pulex* (29 %). U lipnju su biomasi rakova najviše doprinijeli mikrofiltratori tipa I, gdje je biomasa vrste *Chydorus ovalis* (81 %) sačinjavala glavninu zooplanktona litoralne zone (slika 12b).

U zimskom razdoblju u litoralnoj zoni prevladavale su jedinke najveće veličinske kategorije (VIII) čiji je jedini predstavnik bila vrsta *E. gracilis* (51 %). U proljetnom razdoblju dominirali su manji organizmi (kategorija VI) koje su sačinjavali uglavnom predstavnici rašljoticalaca s dominantnom vrstom *Ch. ovalis* (slika 13).

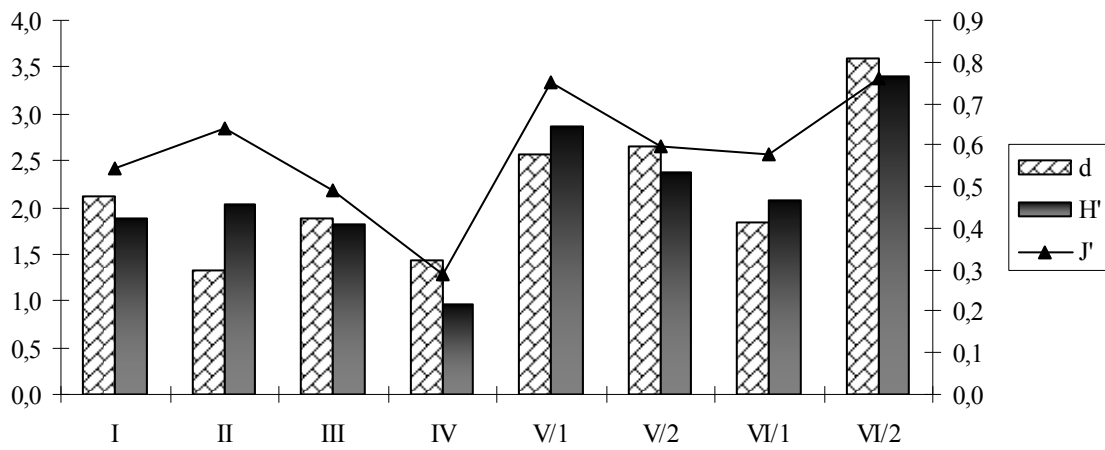
Tablica 3. Sezonske promjene trofičke strukture zooplanktona na postaji L

|                            |           |                                  | Mjesec        |               |               |               |               |               |               |               |
|----------------------------|-----------|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                            |           |                                  | I             | II            | III           | IV            | V/1           | V/2           | VI/1          | VI/2          |
| Trofička skupina           | Skupina   | Svojta                           | Broj jed/L    |               |               |               |               |               |               |               |
| A1                         | Rotifera  | <i>Brachionus angularis</i>      | 15,97         | 71,27         | 14,21         | 1,24          | 0,40          |               | 1,50          | 3,67          |
|                            |           | <i>Filinia longiseta</i>         | 13,27         | 94,70         | 53,12         |               |               |               | 40,50         | 25,67         |
|                            |           | <i>Keratella cochlearis</i>      | 66,79         | 182,84        | 388,29        | 437,21        | 38,00         | 164,70        | 46,50         | 62,33         |
|                            |           | <i>Lecane cornuta</i>            |               |               |               |               |               |               | 4,50          |               |
|                            |           | <i>Lecane luna</i>               |               |               | 4,49          | 0,62          | 2,80          |               | 1,50          | 3,67          |
|                            |           | <i>Lecane lunaris</i>            |               |               |               |               | 4,00          | 3,60          | 3,00          | 7,33          |
|                            |           | <i>Squatinella tridentata</i>    |               |               |               |               | 0,41          |               | 4,50          | 1,83          |
| <b>A1 Ukupno</b>           |           |                                  | <b>96,03</b>  | <b>348,81</b> | <b>460,11</b> | <b>439,50</b> | <b>45,20</b>  | <b>172,80</b> | <b>97,50</b>  | <b>104,50</b> |
| A2                         | Rotifera  | <i>Brachionus calyciflorus</i>   |               | 5,79          | 1,50          |               |               |               |               |               |
|                            |           | <i>Brachionus patulus</i>        |               |               |               |               |               |               |               | 18,33         |
|                            |           | <i>Brachionus quadridentatus</i> |               |               |               |               |               | 0,90          |               | 1,83          |
|                            |           | <i>Brachionus urceolaris</i>     | 2,90          |               |               |               |               |               |               |               |
|                            |           | <i>Colurella obtusa</i>          |               |               |               |               |               | 4,50          |               | 1,83          |
|                            |           | <i>Euchlanis dilatata</i>        |               |               |               | 0,41          | 1,20          |               |               |               |
|                            |           | <i>Lepadella patella</i>         |               |               |               |               |               | 6,30          |               | 9,17          |
|                            |           | <i>Mytilina bicarinata</i>       | 1,04          |               |               |               |               |               |               |               |
|                            |           | <i>Testudinella mucronata</i>    |               |               |               |               |               | 3,60          |               |               |
| <i>Trichotria pocillum</i> | 0,21      |                                  |               |               |               |               |               |               |               |               |
| <b>A2 Ukupno</b>           |           |                                  | <b>4,15</b>   | <b>5,79</b>   | <b>1,50</b>   | <b>0,41</b>   | <b>1,20</b>   | <b>15,30</b>  | <b>31,17</b>  |               |
| A3                         | Rotifera  | <i>Keratella quadrata</i>        | 0,21          | 6,04          | 65,84         | 44,80         | 10,00         |               |               |               |
| <b>A3 Ukupno</b>           |           |                                  | <b>0,21</b>   | <b>6,04</b>   | <b>65,84</b>  | <b>44,80</b>  | <b>10,00</b>  |               |               |               |
| <b>A Ukupno</b>            |           |                                  | <b>100,39</b> | <b>360,65</b> | <b>527,44</b> | <b>484,71</b> | <b>56,40</b>  | <b>188,10</b> | <b>97,50</b>  | <b>135,67</b> |
| B4                         | Rotifera  | <i>Trichocerca longiseta</i>     |               |               |               | 3,53          | 30,00         | 26,10         | 7,50          | 18,33         |
| B5                         | Rotifera  | <i>Synchaeta oblonga</i>         |               |               | 0,75          |               |               |               |               |               |
| B6                         | Rotifera  | <i>Polyarthra spp.</i>           | 0,21          |               | 19,45         |               |               | 1,80          |               | 3,67          |
| <b>B Ukupno</b>            |           |                                  | <b>0,21</b>   |               | <b>20,20</b>  | <b>3,53</b>   | <b>30,00</b>  | <b>27,90</b>  | <b>7,50</b>   | <b>22,00</b>  |
| C                          | Rotifera  | <i>Asplanchna brightwelli</i>    |               |               |               | 0,21          | 2,80          |               |               | 1,83          |
| <b>C Ukupno</b>            |           |                                  |               |               |               | <b>0,21</b>   | <b>2,80</b>   |               |               | <b>1,83</b>   |
| I                          | Cladocera | <i>Alona costata</i>             |               |               |               |               |               | 4,50          |               |               |
|                            |           | <i>Alona rectangula</i>          |               |               | 0,75          |               |               | 2,70          |               | 3,67          |
|                            |           | <i>Alona weinerei</i>            |               |               |               |               |               |               | 7,50          |               |
|                            |           | <i>Bosmina longirostris</i>      |               | 0,76          | 1,50          | 0,62          | 8,40          | 4,50          | 12,00         | 3,67          |
|                            |           | <i>Chydorus ovalis</i>           |               |               |               |               | 4,00          | 17,10         | 232,50        | 95,33         |
| <b>I Ukupno</b>            |           |                                  | <b>0,76</b>   | <b>2,24</b>   | <b>0,62</b>   | <b>12,40</b>  | <b>28,80</b>  | <b>252,00</b> | <b>102,67</b> |               |
| II                         | Cladocera | <i>Ceriodaphnia laticaudata</i>  |               |               |               |               |               |               |               | 5,50          |
|                            |           | <i>Ceriodaphnia megops</i>       |               |               |               |               |               |               | 10,50         |               |
|                            |           | <i>Daphnia longispina</i>        |               |               |               |               | 2,40          |               |               |               |
|                            |           | <i>Daphnia pulex</i>             |               |               |               |               | 1,60          |               |               |               |
| <b>II Total</b>            |           |                                  |               |               |               | <b>4,00</b>   |               | <b>10,50</b>  | <b>5,50</b>   |               |
| III                        | Copepoda  | <i>Eudiaptomus gracilis</i>      | 1,04          | 2,77          | 0,75          |               |               | 5,40          |               | 1,83          |
|                            |           | kopepodit                        | 0,83          | 0,25          | 1,50          |               | 7,60          | 6,30          |               | 20,17         |
|                            |           | nauplij                          | 10,16         | 38,53         | 54,61         | 46,46         | 45,60         | 30,60         | 19,50         | 42,17         |
|                            |           | <i>Scaphaoleberis kingi</i>      |               |               |               |               |               |               |               | 7,33          |
|                            |           | <i>Simocephalus vetulus</i>      |               |               |               |               |               |               |               | 3,67          |
| <b>III Ukupno</b>          |           |                                  | <b>12,03</b>  | <b>41,56</b>  | <b>56,86</b>  | <b>46,46</b>  | <b>53,20</b>  | <b>42,30</b>  | <b>19,50</b>  | <b>75,17</b>  |
| <b>UKUPNO ZOOPLANKTON</b>  |           |                                  | <b>112,62</b> | <b>402,96</b> | <b>606,75</b> | <b>535,53</b> | <b>158,80</b> | <b>287,10</b> | <b>387,00</b> | <b>342,83</b> |

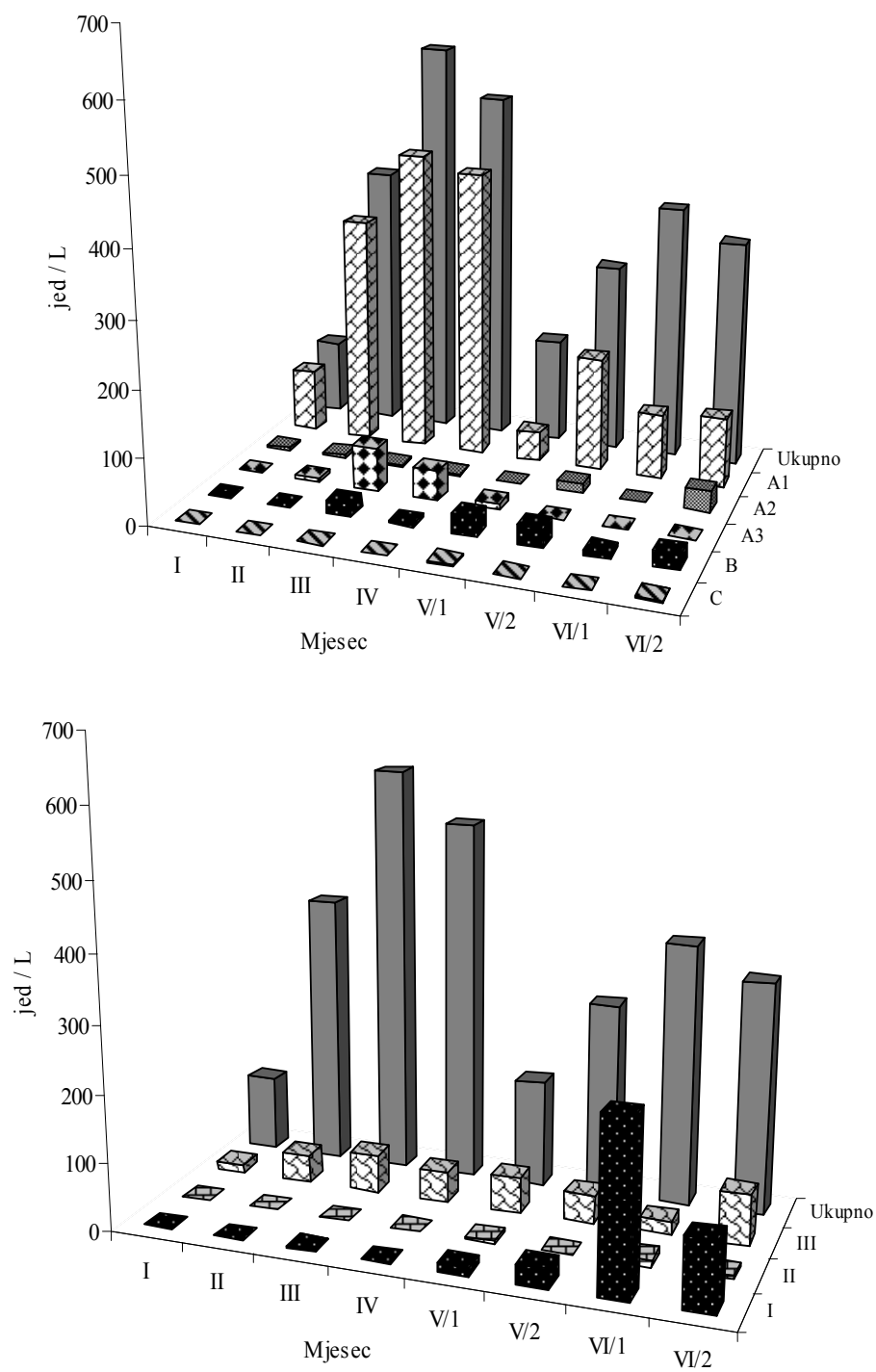
Tablica 4. Sezonske promjene biomase veličinskih kategorija na postaji L

|                            |           |                                  | Mjesec       |              |             |             |              |              |               |               |
|----------------------------|-----------|----------------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
|                            |           |                                  | I            | II           | III         | IV          | V/1          | V/2          | VI/1          | VI/2          |
| Veličinska kategorija      | Skupina   | Takson                           | μg/L         |              |             |             |              |              |               |               |
| I                          | Rotifera  | <i>Colurella obtusa</i>          |              |              |             |             |              | 0,01         |               | 0,01          |
| <b>I Ukupno</b>            |           |                                  |              |              |             |             |              | <b>0,01</b>  |               | <b>0,01</b>   |
| II                         | Rotifera  | <i>Lepadella patella</i>         |              |              |             |             |              | 0,03         |               | 0,05          |
| <b>II Ukupno</b>           |           |                                  |              |              |             |             |              | <b>0,03</b>  |               | <b>0,05</b>   |
| III                        | Rotifera  | <i>Brachionus angularis</i>      | 0,35         | 1,57         | 0,31        | 0,03        | 0,01         |              | 0,03          | 0,08          |
|                            |           | <i>Brachionus calyciflorus</i>   |              | 0,32         | 0,08        |             |              |              |               |               |
|                            |           | <i>Brachionus patulus</i>        |              |              |             |             |              |              |               | 1,01          |
|                            |           | <i>Brachionus urceolaris</i>     | 0,16         |              |             |             |              |              |               |               |
|                            |           | <i>Keratella cochlearis</i>      | 0,77         | 2,10         | 4,47        | 5,03        | 0,44         | 1,89         | 0,53          | 0,72          |
|                            |           | <i>Lecane cornuta</i>            |              |              |             |             |              |              | 0,05          |               |
|                            |           | <i>Lecane luna</i>               |              |              | 0,05        | 0,01        | 0,03         |              | 0,02          | 0,04          |
|                            |           | <i>Lecane lunaris</i>            |              |              |             |             | 0,05         | 0,04         | 0,03          | 0,08          |
|                            |           | <i>Polyarthra spp.</i>           | 0,00         |              | 0,47        |             |              | 0,04         |               | 0,09          |
|                            |           | <i>Squatinella tridentata</i>    |              |              |             | 0,01        |              | 0,08         |               | 0,03          |
|                            |           | <i>Testudinella mucronata</i>    |              |              |             |             |              | 0,52         |               |               |
| <i>Trichotria pocillum</i> | 0,01      |                                  |              |              |             |             |              |              |               |               |
| <b>III Ukupno</b>          |           |                                  | <b>1,29</b>  | <b>3,99</b>  | <b>5,38</b> | <b>5,07</b> | <b>0,52</b>  | <b>2,58</b>  | <b>0,67</b>   | <b>2,05</b>   |
| IV                         | Rotifera  | <i>Brachionus quadridentatus</i> |              |              |             |             |              | 0,05         |               | 0,10          |
|                            |           | <i>Euchlanis dilatata</i>        |              |              |             | 0,21        | 0,60         |              |               |               |
|                            |           | <i>Filinia longiseta</i>         | 0,56         | 3,98         | 2,23        |             |              |              | 1,70          | 1,08          |
|                            |           | <i>Keratella quadrata</i>        | 0,01         | 0,33         | 3,62        | 2,46        | 0,55         |              |               |               |
|                            |           | <i>Mytilina bicarinata</i>       | 0,04         |              |             |             |              |              |               |               |
|                            |           | <i>Synchaeta oblonga</i>         |              |              | 0,05        |             |              |              |               |               |
|                            |           | <i>Trichocerca longiseta</i>     |              |              |             | 0,33        | 2,82         | 2,45         | 0,71          | 1,72          |
| <b>IV Ukupno</b>           |           |                                  | <b>0,61</b>  | <b>4,31</b>  | <b>5,90</b> | <b>3,00</b> | <b>3,97</b>  | <b>2,50</b>  | <b>2,41</b>   | <b>2,90</b>   |
| V                          | Rotifera  | <i>Asplanchna brightwelli</i>    |              |              |             | 0,09        | 1,16         |              |               | 0,76          |
| <b>V Ukupno</b>            |           |                                  |              |              |             | <b>0,09</b> | <b>1,16</b>  |              |               | <b>0,76</b>   |
| VI                         | Cladocera | <i>Alona costata</i>             |              |              |             |             |              | 4,28         |               |               |
|                            |           | <i>Alona rectangula</i>          |              |              | 0,71        |             |              | 2,57         |               | 3,48          |
|                            |           | <i>Alona weinerei</i>            |              |              |             |             |              |              | 7,13          |               |
|                            |           | <i>Bosmina longirostris</i>      |              | 0,76         | 1,50        | 0,62        | 8,40         | 4,50         | 12,00         | 3,67          |
|                            |           | <i>Chydorus ovalis</i>           |              |              |             |             | 12,60        | 53,87        | 732,38        | 300,30        |
|                            |           | Copepoda                         | nauplij      | 1,02         | 3,85        | 5,46        | 4,65         | 4,56         | 3,06          | 1,95          |
| <b>VI Ukupno</b>           |           |                                  | <b>1,02</b>  | <b>4,61</b>  | <b>7,67</b> | <b>5,27</b> | <b>25,56</b> | <b>68,27</b> | <b>753,45</b> | <b>311,67</b> |
| VII                        | Cladocera | <i>Ceriodaphnia laticaudata</i>  |              |              |             |             |              |              |               | 33,00         |
|                            |           | <i>Ceriodaphnia megops</i>       |              |              |             |             |              |              | 63,00         |               |
|                            |           | <i>Daphnia longispina</i>        |              |              |             |             | 15,00        |              |               |               |
|                            |           | <i>Daphnia pulex</i>             |              |              |             |             | 36,80        |              |               |               |
|                            |           | <i>Scaphaoleberis kingi</i>      |              |              |             |             |              |              |               | 28,23         |
|                            | Copepoda  | koepodit                         | 2,24         | 0,68         | 4,04        |             | 20,52        | 17,01        |               | 54,45         |
| <b>VII Ukupno</b>          |           |                                  | <b>2,24</b>  | <b>0,68</b>  | <b>4,04</b> |             | <b>72,32</b> | <b>17,01</b> | <b>63,00</b>  | <b>115,68</b> |
| VIII                       | Cladocera | <i>Simocephalus vetulus</i>      |              |              |             |             |              |              |               | 14,67         |
|                            | Copepoda  | <i>Eudiaptomus gracilis</i>      | 10,06        | 26,89        | 7,26        |             |              | 52,41        |               | 17,79         |
| <b>VIII Ukupno</b>         |           |                                  | <b>10,06</b> | <b>26,89</b> | <b>7,26</b> |             |              | <b>52,41</b> |               | <b>32,46</b>  |

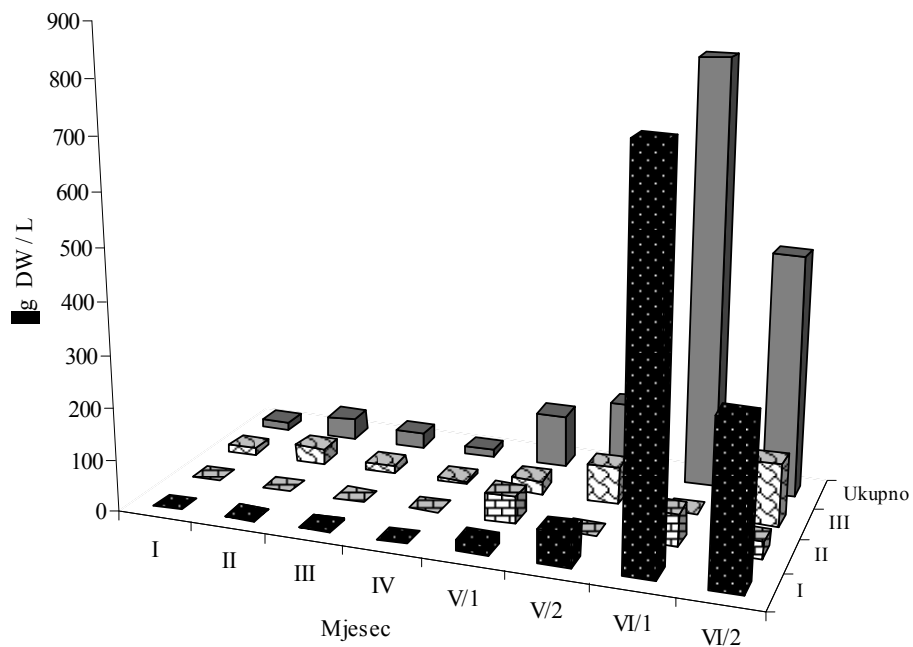
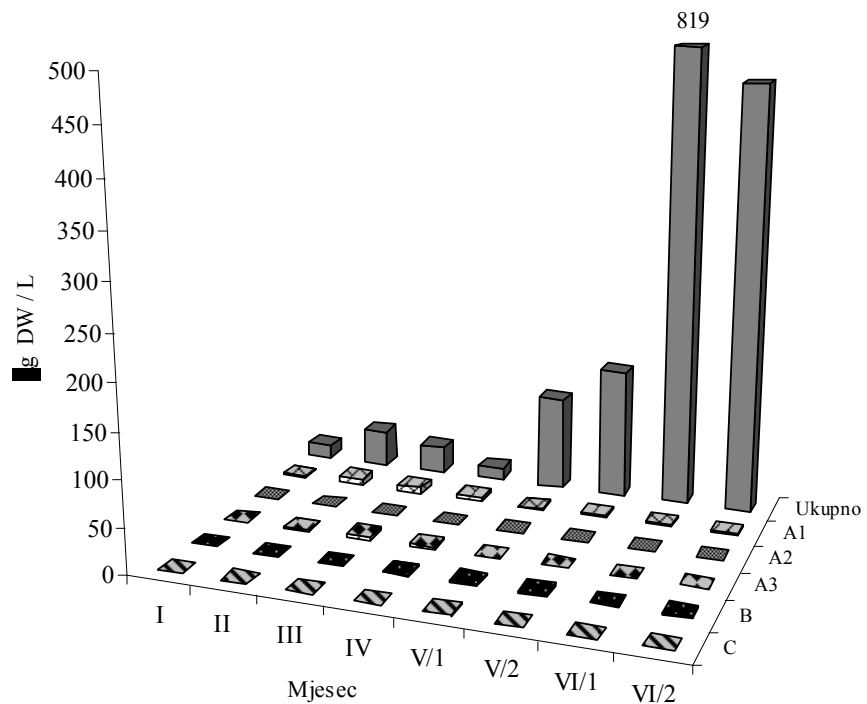




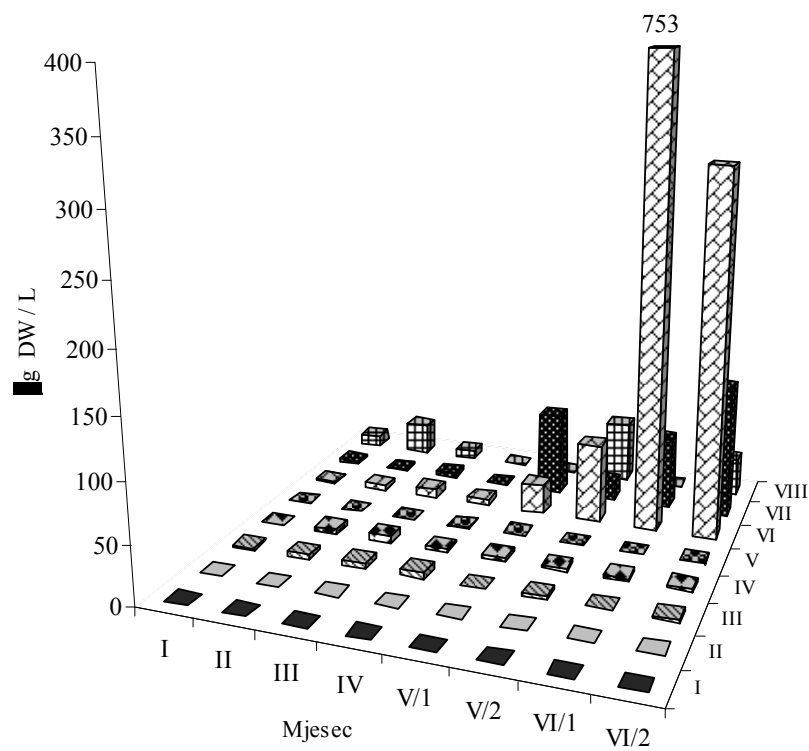
Slika 10. Sezonske promjene Margalefovog indeksa brojnosti vrsta (d), Shannon-Wienerovog indeksa raznolikost (H') i Pielouovog indeksa ujednačenosti (J') na postaji L



Slika 11. Sezonske promjene brojnosti trofičkih skupina zooplanktona na postaji L;  
 a) Rotifera: mikrofiltratori (podskupine A1, A2, A3), makrofiltratori (B), predatori (C);  
 b) Crustacea: mikrofiltratori tipa I (I), mikrofiltratori tipa II (II) i makrofiltratori (III)



Slika 12. Sezonske promjene biomase trofičkih skupina zooplanktona na postaji L;  
 a) Rotifera: mikrofiltratori (podskupine A1, A2, A3), makrofiltratori (B), predatori (C);  
 b) Crustacea: mikrofiltratori tipa I (I), mikrofiltratori tipa II (II), makrofiltratori (III)



Slika 13. Sezonske promjene veličinskih kategorija na postaji L

## 5.0 RASPRAVA

### *Abiotički čimbenici u rukavcu rijeke Krapine*

Budući da je istraživani rukavac Krapine malih dimenzija, površine manje od 1 ha, vrijednosti fizičko-kemijskih parametara ne pokazuju značajne razlike između zone slobodne vode i litoralne zone, što potvrđuju i drugi autori u svojim istraživanjima u plitkim eutrofnim vodenim sustavima (RODRIGO i sur., 2001; ARORA i MEHRA, 2003; MESELJEVIĆ, 2009).

Smanjena prozirnost vode tijekom istraživanog razdoblja može se objasniti povećanim stupnjem trofije sustava uslijed antropogenog utjecaja (prihranjivanje riba, upotreba mineralnih organskih gnojiva po okolnim livadama) te resuspenzijom sedimenta djelovanjem vjetrova i aktivnošću pridnenih riba (KÖRNER, 2001; IRFANULLAH i MOSS, 2004). Povećana trofija ukazuje na povećane koncentracije hranjivih tvari, što potiče razvoj fitoplanktona koji smanjuje intenzitet osvjetljenja dna. U rukavcu je zabilježen nedostatak submerzne vegetacije što je, smatram, posljedica smanjenog osvjetljenja dna. Smanjenu prozirnost vode kao uzrok nedostatka submerzne vegetacije u plitkim jezerima, potvrdili su u svojim istraživanjima IRFANULLAH i MOSS (2004) i CAZZANELLI i sur. (2008). Najmanja prozirnost vode zabilježena je u travnju kod vrlo visoke koncentracije otopljene organske tvari, koju je pratilo znatno smanjenje koncentracije otopljenog kisika, što upućuje na intenzivnu mikrobiološku razgradnju. Smatram da su navedeni čimbenici utjecali na značajno negativnu korelaciju između prozirnosti vode i koncentracije otopljene organske tvari ( $r = -0,51$ ). Prozirnost vode imala je i pozitivan učinak na indeks raznolikosti vrsta, što se podudara s literaturnim podacima za vodene sustave povišene produkcije (KEROVEC, 1988). Naime, veća prozirnost vode povećava primarnu produkciju, a time i omogućuje obilniji izvor hrane zooplanktonskim vrstama. U takvim uvjetima, smanjuje se kompeticija za hranu između pojedinih vrsta zooplanktona te indeks raznolikosti raste.

Prema podjeli koju uvodi CARLSON (1977), s obzirom na prozirnost vode od 0,6 do 1,4 m, ovaj rukavac pripada eutrofnim vodenim sustavima. U njemu je zabilježena značajno veća prozirnost vode i manji stupanj trofije u odnosu na susjedni rukavac (RK1) kojeg je u istom vremenskom razdoblju istraživao MESELJEVIĆ (2009). Veću prozirnost u RK2 objašnjavam dvjema činjenicama: 1) RK2 okružen je livadama za razliku od RK1 gdje su se u neposrednoj blizini nalazile oranice što je, smatram, smanjilo dodatan unos hranjivih i suspendiranih tvari ispiranjem; 2) značajno položenija obala, a time i veća površina litoralne zone prekrivenom makrofitima u RK2 utječe na manju resuspenziju sedimenta te veće crpljenje hranjivih tvari iz vode, za razliku od RK1 gdje je obala bila strmog nagiba te je pojas emerznih makrofita bio znatno uži. Utjecaj povećanja površine prekrivene makrofitima na smanjenje resuspenzije sedimenta i općenito smanjenje trofije sustava potvrdili su u svojim istraživanjima LAU i LANE (2002) i HORPPILA i NURMINEN (2001, 2005).

Temperatura vode važan je čimbenik koji utječe na dinamiku životne zajednice vodenih ekosustava. S obzirom na termiku istraživani rukavac pripada polimiktičkom sustavu što znači da se stupac vode, uslijed izotermije, miješa više puta godišnje. Svako miješanje stupca vode omogućuje donos hranjivih tvari sa dna u gornji sloj vode gdje one povećavaju primarnu, a time i sekundarnu produkciju.

Koncentracija otopljenog kisika važan je čimbenik u vodenim ekosustavima, a njegova količina ovisi o temperaturi vode, fizičkom prozračivanju te o biološkoj proizvodnji (fotosinteza) i potrošnji (respiracija). Odnos između koncentracije otopljenog kisika i temperature opisuje Henryev zakon, prema kojem su u ovom istraživanju koncentracije otopljenog kisika bile u značajno negativnoj korelaciji s temperaturom ( $r = -0,71$ ). Negativnu korelaciju između koncentracije otopljenog kisika i temperature vode utvrdili su i drugi autori (RODRIGO i sur., 2001, CASTRO i sur., 2005).

pH vrijednosti bile su više u zimskom nego u proljetnom razdoblju, a njihov utjecaj na brojnost i sastav vrsta kolnjaka jasno je uočljiv. Naime, u zimskom razdoblju bile su prisutne vrste kojima odgovara povišena pH vrijednost: *Brachionus calyciflorus*,

*Brachionus urceolaris* i *Trichotria pocillum*, a u proljetnom razdoblju bile su prisutne vrste koje imaju maksimum razvoja pri nešto nižim pH vrijednostima: *Colurella obtusa*, *Euchlanis dilatata*, *Lepadella patella*, *Lecane lunaris* i *Brachionus quadridentatus*. Vrste koje su bile prisutne u oba razdoblja, a koje preferiraju povišene pH vrijednosti, bile su mnogo brojnije u zimskom razdoblju poput vrsta *Keratella cochlearis*, *Keratella quadrata*, *Filinia longiseta* i *Brachionus angularis*. Povezanost razvoja pojedinih vrsta kolnjaka i pH vrijednosti uočili su također u svojim istraživanjima BĚRZIŃŠ i PEJLER (1987) i KUCZYŃSKA KIPPEN (2007).

### ***Struktura zooplanktonske zajednice u rukavcu rijeke Krapine***

S obzirom na stupanj trofije vodenog ekosustava prisutnost indikatorskih vrsta *Asplanchna brightwelli*, *Keratella cochlearis*, *Filinia longiseta* te vrsta rodova *Brachionus* i *Trichocerca* potvrđuje da se radi o eutrofnom vodenom sustavu. Na indikatorsku ulogu ovih vrsta kolnjaka ukazuju i drugi autori (BUCKA 1966, 1967, FERESKHA i sur., 1966, LEWKOWICZ, 1974, cit. iz MIŠETIĆ, 1985).

Od izvor hrane, na postaji L u drugoj polovici lipnja zabilježena je vrlo visoka koncentracija klorofila *a*, a u zajednici planktona nije zabilježena promjena koja bi mogla biti rezultat ovakvog porasta klorofila *a*. KUCZYŃSKA KIPPEN (2007) objašnjava ovu pojavu bujanjem nitastih cijanobakterija u toplijem dijelu godine, čime se i u ovom istraživanju mogu objasniti dobiveni rezultati. Naime, cijanobakterije sadrže relativno velike količine klorofila *a*, a zooplankton ih uslijed njihove nitaste strukture i veličine uglavnom ne može konzumirati. Ove količine klorofila *a* nisu imale utjecaja na trofičku strukturu zooplanktona, jer nitaste cijanobakterije ometaju hranidbenu aparaturu, posebno rašljoticala (ŠPOLJAR, 1998).

Ukupna brojnost zooplanktona bila je u negativnoj korelaciji s koncentracijom fitoplanktona ( $r = -0,36$ ), na što ukazuje koncentracija mjenenog klorofila *a*, a objašnjava se konzumacijom (*grazing*) algi od strane zooplanktona, na što ukazuju i rezultati istraživanja drugih autora (KARABIN i sur., 1997; LAU i LANE, 2002). Srednja vrijednost

indeksa raznolikosti vrsta bila je manja u zimskom nego u proljetnom razdoblju, što objašnjavam činjenicom da su mnogim vrstama za razvoj potrebne više temperaure istovremeno s višim koncentracijama izvora hrane. Ovi rezultati podudaraju se s istraživanjima koje su proveli CASTRO i sur. (2005), LALIĆ (2007) i MESELJEVIĆ (2009).

Tijekom istraživanog razdoblja zabilježeno je više svojiti zooplanktona u litoralnoj zoni u odnosu na zonu slobodne vode, što objašnjavam velikom raznolikošću staništa koje podržava suživot većeg broja vrsta za razliku od jednoličnih okolišnih uvjeta u zoni slobodne vode. Ova opažanja bilježe u svojim istraživanjima i drugi autori (LAU i LANE, 2002; KUCZYŃSKA KIPPEN, 2007; KUCZYŃSKA KIPPEN i KLIMASZYK, 2007). U litoralnoj zoni istraživanog rukavca (RK2) zabilježeno je i više svojiti nego u litoralnoj zoni susjednog rukavca (RK1) koje je u istom vremenskom razdoblju istraživao MESELJEVIĆ (2009). Ovu razliku objašnjavam većom raznolikošću vrsta makrofita zabilježenih u litoralnoj zoni RK2, koje su povećale strukturalnu kompleksnost složenom građom habitusa te time ograničile riblju predaciju, povećale heterogenost staništa i omogućile razvoj raznolikije zooplanktonske zajednice. Utjecaj većeg broja vrsta makrofita na smanjenje riblje predacije i povećanje raznolikosti zooplanktonske zajednice bilježe u svojem istraživanjima i drugi autori (ROMARE i sur., 2003; ROMARE i HANSSON, 2003).

U trofičkoj strukturi kolnjaka, na obje postaje najbrojnija je bila podskupina mikrofiltratora A1, čija je osnovna hrana bakterijsko-detritusna suspenzija. Brojnost ove podskupine bila je u značajno negativnoj korelaciji s koncentracijom klorofila *a* ( $r = -0,51$ ) i s koncentracijom suspendirane organske tvari ( $r = -0,38$ ). Negativna korelacija vrste *Keratella cochlearis* s fitoplanktonom, pretpostavljam, je rezultat njenog primarnog izvora hrane, a to je suspenzija bakterija i detritusa, stoga razvoj ove vrste nije ovisan o razvoju fitoplanktona, dok je negativna korelacija sa suspendiranim organskim tvarima rezultat konzumacije od strane ove vrste i pripadajuće trofičke skupine. KARABIN (1985a) je uočio da je u eutrofnim vodenim sustavima, poput rukavca u ovom istraživanju, u brojnosti i biomasi kolnjaka najviše zastupljena trofička podskupina A1, zbog velike ponude njihove optimalne hrane (bakterijsko-detritusna suspenzija) što se također podudara s rezultatima ovog istraživanja. Osim mikrofiltratorske podskupine A1,



brojnosti kolnjaka značajno je doprinijela i podskupina A3, čija je osnovna hrana fitoplankton, ali suspenzija bakterija i detritusa može također činiti značajan dio njihove prehrane. Činjenicu da i trofička podskupina A3 može konzumirati ovaj tip hrane potvrđuje i značajno negativna korelacija njene brojnosti s koncentracijom suspendirane organske tvari ( $r = -0,51$ ). KARABIN (1985a) je također svojim istraživanjem zabilježio značajnu brojnost kolnjaka iz mikrofiltratorske podskupine A3 u eutrofnim jezerima. Kolnjaci su najviše doprinijeli ukupnoj brojnosti, ali najmanje ukupnoj biomasi zooplanktona, što je uobičajena pojava u zooplanktonskoj zajednici jezerskih sustava (KARABIN 1985; MIŠETIĆ 1985; ŠPOLJAR 1998; KARABIN i sur. 1997, MESELJEVIĆ, 2009).

Na obje postaje uočene su značajno pozitivne korelacije između brojnosti i biomse rakova mikrofiltratora i temperature, koncentracije ukupno otopljenih i suspendiranih organskih tvari. Naime, rakovi mikrofiltratori se hrane otopljenom i suspendiranom organskom tvari, a povećanje temperature povoljno utječe na njihov razvoj (KARABIN, 1985a).

U trofičkoj strukturi rakova, u pelagijalu (postaja P) brojnošću su dominirali makrofiltratori, posebice ličinački stadij nauplij, čija je osnovna hrana fitoplankton. Budući da se radi o eutrofnom sustavu, fitoplanktonom dominiraju veće mrežne alge koje su hrana ovoj trofičkoj skupini rakova (KARABIN, 1985a). Makrofiltratore predstavljaju veslonošci koji imaju dobru sposobnost bijega od predatora te na taj način dominiraju brojnošću zooplanktonskih rakova. Bolju prilagođenost veslonožaca u odnosu na rašljoticalce, na bijeg od predatora potvrđuju i rezultati istraživanja koja su proveli CAZZANELLI i sur. (2008) i ESTLANDER i sur. (2009). Na postaji L u zimskom i ranoproljetnom razdoblju u trofičkoj strukturi rakova brojnošću i biomasom dominirali su makrofiltratori, dok su u lipnju dominirali mikrofiltratori tipa I, čija je osnovna hrana bakterijsko-detritusna suspenzija. Dominantna brojnost i biomasa makrofiltratora u zimskom razdoblju na postaji L može se objasniti predatorskim pritiskom planktivornih riba u litoralnoj zoni i pelagijalu. Međutim, razvojem emerznih makrofita povećava se strukturalna složenost litoralnog staništa što ometa planktivorne ribe u hvatanju plijena te se povećava brojnost i biomasa mikrofiltratora tipa I koje uglavnom predstavljaju sitniji

oblici rašljoticalaca. Osnovna hrana mikrofiltratora tipa I je bakterijsko-detritusnom suspenzija koje ima u obilju u vodenim sustavima visokog stupnja trofije, poput rukavca rijeke Krapine istraživanog u ovom radu. Brojnosti i biomasi mikrofiltratora tipa I najviše je doprinijela termofilna vrsta *Chydorus ovalis* koja je zbog porasta temperature naglo povećala brojnost ( $r = 0,82$ ) u svibnju i lipnju. Dominantnost mikrofiltratora tipa I u eutrofnim sustavim sa smanjenim predatorskim pritiskom u litoralnoj zoni uslijed povećanja strukturalne kompleksnosti staništa zabilježili su JEPPESEN i sur. (2002) i ROMARE i sur. (2003).

U proljetnom razdoblju na postaji P zabilježene su najveće vrijednosti biomase za veličinske kategorije VI, VII i VIII uz znatno povećanje biomase u odnosu na zimsko razdoblje. Važno je naglasiti da su u veličinskim kategorijama VI i VII najveći udio imali razvojni stadiji veslonožaca, naupliji i kopepoditi, koji također imaju dobru sposobnost bijega, dok su manji predstavnici zooplanktona (Rotifera) u tom razdoblju znatno manje doprinijeli ukupnoj biomasi uslijed predatorskog pritiska. Smatram, da su u ranoproljetnom razdoblju razvijeni ličinački stadiji riba, jer se prisutne vrste riba (šaran, crni somić, linjak, smuđ, štika) počinju mrijestiti kod temperatura oko 15 °C, te kroz nekoliko dana razvijaju ličinke. One kao plijen uzimaju manje zooplanktonte, kolnjake, a za to vrijeme su se populacije rakova mogle nesmetano razvijati kod povećane temperature i obilja hrane. Veliki oblici rašljoticalaca najviše su ugroženi od strane adultnih riba pa migriraju u zaštićeniju, litoralnu zonu. MIŠETIĆ (1985), JEPPESEN i sur. (2002) i ESTLANDER (2009) potvrđuju da predatorski pritisak u zoni slobodne vode najviše zahvaća krupne oblike rašljoticalaca. Povećani broj juvenilnih oblika veslonožaca objašnjava se povećanim temperaturama koje ubrzavaju metabolizam, a time i reprodukciju organizama. Povezanost temperature s metabolizmom i reprodukcijom, uz posljedicu povećanja broja manjih juvenilnih oblika potvrdili su u svojem istraživanju i drugi autori (KOBAYASHI, 1997, GILLOOLY, 2000, cit. iz AZEVEDO i BONECKER, 2003). U proljetnom razdoblju u litoralnoj zoni zabilježen je najveći udio veličinskih kategorija VI i VII. Za razliku od postaje P, ovdje su dominirali rašljoticalci koji se mogu slobodno razvijati u litoralnom području zaštićeni razvijenom emerznom vegetacijom od predatorskog pritiska riba.

## 6.0 ZAKLJUČAK

Prema rezultatima istraživanja zooplanktona provedenog u rukavcu rijeke Krapine od siječnja do lipnja 2008. godine mogu se izvesti slijedeći zaključci:

- Sezonske promjene temperature i koncentracije suspendirane organske tvari bile su statistički značajne na obje postaje, dok je sezonska promjena pH vrijednosti bila značajna samo na postaji P. Abiotički čimbenici (prozirnost vode, temperatura, konduktivitet, ukupno otopljene tvari, suspendirane organske tvari) statistički su značajno utjecali na povećanje ukupne biomase zooplanktona i povećanje indeksa raznolikosti ( $H'$ ).
- U litoralnoj zoni zabilježen je veći broj svojti (postaja P 25, postaja L 36), ali manja brojnost (srednja vrijednost; postaja P 650 jed/L, postaja L 354 jed/L) i biomasa (srednja vrijednost; postaja P 216  $\mu\text{g/L}$ , postaja L 203  $\mu\text{g/L}$ ) zooplanktona u odnosu na zonu slobodne vode.
- U trofičkoj strukturi kolnjaka brojnošću su, na obje postaje, dominirali mikrofiltratori, s dominantnom vrstom *Keratella cochlearis*, koji se hrane suspenzijom bakterija i detritusa. U zimskom i početkom proljetnog razdoblja, u trofičkoj strukturi rakova, na obje postaje, brojnošću su dominirali konzumenti fitoplanktona, makrofiltratori. U ukupnoj biomasi zooplanktona, na obje postaje, u zimskom i početkom proljetnog razdoblja dominirali su rakovi makrofiltratori, a zatim su dominaciju preuzeli mikrofiltratori.
- S obzirom na veličinu tijela jedinki zooplanktona, na postaji P, biomasom su bile najzastupljenije jedinke veličine tijela od 1000 - 1500  $\mu\text{m}$  (kategorija VII), s najvećim udjelom razvojnih stadija veslonožaca, kopepodita. Na postaji L biomasi su najviše doprinijele jedinke veličine tijela od 500 – 1000  $\mu\text{m}$  (kategorija VI) s najvećim udjelom rašljoticalaca *Chydorus ovalis*.
- Prostorna raspodjela zooplanktona ukazuje na prisutnost predatorskog pritiska. Prisutnost velikih (Copepoda) i malih jedinki (Rotifera) zooplanktona u pelagijalu ukazuje da izbjegavaju ili ne trpe predatorski pritisak od strane adultnih riba, dok jedinke srednje veličine tijela (Cladocera) trpe njihovu

- Slaba prozirnost vode smanjuje predatorski pritisak vizualnih predatora (ličinki i adultnih riba) na zooplanktonske organizme.
- Rezultati ovog rada ukazuju da stupanj prekrivenosti litoralne zone makrofitima te stupanj trofije u stajaćicama imaju značajan utjecaj na trofičku (hranidbenu) strukturu i raspored veličinskih kategorija zooplanktona.

## 7.0 LITERATURA

- AMOROS C., 1984. Crustaceas cladoceros, Bull. Soc. Linn., Lyon, 3/4, 1 – 63.
- ANDREW T. E., i FITZSIMONS A. G., 1992. Seasonality, population dynamics and production of planktonic rotifers in Lough Neagh, Northern Ireland. *Hydrobiologia* 246: 147-164.
- 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 Diversity of Planktonic and Epiphytic Rotifers in the Backwaters of the Delhi Segment of the Yamuna River, with Remarks on New Records from India. *Zoological studies* 42: 239-247.
- 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.
- BERNINGER U-G., WICKHAM A. i FINLAY B. J., 1993. Trophic coupling within the microbial food web: a study with fine temporal resolution in a eutrophic freshwater ecosystem. *Freshwater Biology* 30: 419-432.
- BĒRZIŅŠ B. i PEJLER B., 1987. Rotifer occurrence in relation to pH. *Hydrobiologia* 147: 107-116.
- BOZKURT A., i GUVEN S. E., 2009. Zooplankton Composition and Distribution in Vegetated and Unvegetated Area of Three Reservoirs in Hatay, Turkey. *Journa of Animal and Veterinary Advances* 8 (5): 984-994.
- BREITIG, G. i TÜMPLING, W. 1982: *Ausgewahlte Methoden der Wasseruntersuchung. Band II: Biologische, mikrobiologische und toxikologische Methoden.* VEB Gustav Fischer Verlag. Jena.
- BURKS R. L., JEPPESEN E. i LODGE D. M., 2001. Littoral structures an *Daphnia* refugia against fish predation. *Limnol. Oceanogr.* 46: 230-237.
- 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: 343-365.
- CARLSON R. E., 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 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.

- CAZZANELLI M., WARMING T. P. i CHRISTOFFERSEN K. S., 2008. Emergent and floating-leaved macrophytes as refuge for zooplankton in a eutrophic temperate lake without submerged vegetation. *Hydrobiologia* 605: 113-122.
- DUMONT H. J., 1977. Biotic factors in the population dynamics of Rotifers, *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 8: 98-122.
- EINSLE U., 1993. Crustacea, Copepoda, Calanoida und Cyclopoida. Gustav Fischer Verlag, Berlin.
- 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 crustacean zooplankton in littoral and pelagic habitats. *Hydrobiologia* 620: 109-120.
- FERNÁNDEZ M. J. i LUCENA J., 2001. Space-time heterogeneities of the zooplankton distribution in La Concepción reservoir (Istán, Málaga; Spain). *Hydrobiologia* 455: 157-170.
- GILBERT J. J., 1988. Suppression of rotifers populations by *Daphnia*: a review of the evidence, the mechanisms, and the effects on zooplankton community structure. *Limnol. Oceanogr.* 133: 1286-1303.
- HABERMAN J., 1995. Dominant rotifer of Vortsjav (Estonia). *Hydrobiologia* 313/314: 313-317.
- 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.
- HORPPILA J., i NURMINEN L., 2005. Effects of different macrophyte growth forms on sediment and P resuspension in a shallow lake. *Hydrobiologia* 545: 167-175.
- IRFANULLAH H. MD. i MOSS B., 2004. Factors influencing the return of submerged plants to a clear-water, shallow temperate lake. *Aquatic Botany* 80: 177-191.
- JEPPesen 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.
- 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. Hydrobiol.* 153: 533-555.
- KARABIN A., 1985. Pelagic zooplankton (Rotatoria + Crustacea) variations in the proces of lake eutrophication. I. Structural and quantitative features, *Ekol. pol.* 33: 567 – 616.
- KARABIN A., 1985a. Pelagic zooplankton (Rotatoria + Crustacea) variations in the proces of lake eutrophication. II. Modifying effect of biotic agents, *Ekol. pol.* 33: 617-644.

- KARABIN A., EJSMONT-KARABIN J. i KORATOWSKA R., 1997. Eutrophication process in a shallow, macrophyte-dominated lake – factors influencing zooplankton structure and density in Lake Łuknajno (Poland). *Hydrobiologia* 342/343: 401-409.
- KEROVEC M., 1988. Ekologija kopnenih voda. Hrvatsko ekološko društvo.
- KÖRNER S., 2001. Development of submerged macrophytes in shallow Lake Muggelsee (Berlin, Germany) before and after its switch to the phytoplankton-dominated state. *Arch. Hydrobiol.* 152: 395-409.
- KUCZYŃSKA-KIPPEN N., 2005. On body size and habitat selection in rotifers in a macrophyte-dominated lake Budzyńskie, Poland. *Aquatic Ecology* 39: 447-454.
- KUCZYŃSKA-KIPPEN N., 2007. Habitat choice in rotifera communities of three shallow lakes: impact of macrophyte substratum and season. *Hydrobiologia* 593: 27-37.
- KUCZYŃSKA-KIPPEN N. i KLIMASZYK P., 2007. Diel microdistribution of physical and chemical parameters within the dense *Chara* bed their impact on zooplankton. *Biologia*, Bratislava, 62: 432-437.
- LALIĆ I., 2007. Funkcionalna organizacija zooplanktona u rukavcu rijeke Krapine. Diplomski rad PMF Sveučilišta u Zagrebu. 31 pp.
- LAU S. S. S. i 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 research* 36: 3593-3601.
- 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.
- MALLEY G. F., LAWRENCE S. G., MACLIVER M. A. i FINDLAY W. J., 1989. Range of variation of estimates of dry weight for planktonic Crustacea and Rotifera from temperate North American Lakes. *Can. Tech. Rep. of Fish. And Aquat. Sci.*, 1666.
- MARGALEF R., 1983. *Limnologia*. Omega, Barcelona. 1010 pp.
- MESELJEVIĆ M., 2009. Horizontalna raspodjela zooplanktona u porobljenom rukavcu rijeke Krapine. Diplomski rad PMF Sveučilišta u Zagrebu.
- MIŠETIĆ S., 1985. Dinamika populacija kolnjaka u planktonu šaranskih ribnjaka. Doktorski rad Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.
- NUSCH EA, 1980. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. *Arch. Hydrobiol. Beih.* 14: 14-36.
- PEREIRA R., SOARES A. M. V. M., RIBEIRO R., i GONÇALVES F, 2002. Assessing the trophic state of Linhos lake: a first step towards ecological rehabilitation. *Journal of Environmental Management* 64: 285-297.

- QIN B., YANG L., CHEN F., ZHU G., ZHANG L., CHEN Y., 2006. Mechanism and control of lake eutrophication. *Chinese Science Bulletin* Vol. 51, No. 19: 2401-2412.
- RIGLER F. H. i PETERS R. H., 1995. Science and Limnology. In Kinne, O. (ed.), *Excellence in Ecology*. Ecology Institute, Oldendorf: 239 pp.
- RODRIGO M. A., ARMENGOL-DÍAZ X., OLTRA R., DASÍ M. J. i COLOM W, 2001. Environmental Variables and Planktonic Communities in Two Ponds of El Hondo Wetland (SE Spain). *Internat. Rev. Hydrobiol.* 86: 299-315.
- ROMARE P., BERG S., LAURIDSEN T., i JEPPESEN E., 2003. Spatial and temporal distribution of fish and zooplankton in a shallow lake. *Freshwater Biology* 48: 1353-1362.
- ROMARE P. i HANSSON L.-A., 2003. A behavioral cascade: Top-predator induced behavioral shifts in planktivorous fish and zooplankton. *Limnol. Oceanogr.* 48: 1956-1964.
- SHANNON, C. E. i WEAVER W., 1949: *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana..
- 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.
- ŠPOLJAR M., 1998. Fauna Rotatoria u hranidbenim lancima krških jezera. Magistarski rad PMF Sveučilišta u Zagrebu.
- ŠPOLJAR M., 2003. Pronos sestona u kaskadnom sustavu Plitvičkih jezera. Doktorski rad PMF Sveučilišta u Zagrebu.
- THOUVENOT A., DEBROAS D., RICHARDOT M., JUGNIA L. B. i DÉVAUX J., 2000. A study of changes between years in the structure of plankton community in a newly-flooded reservoir. *Archiv für Hydrobiologie* 149: 131-152.
- VOIGT M. i KOSTE W., 1978. *Die Rädertiere Mitteleuropas*. Gebrüder Borntraeger. Berlin, Stuttgart.
- WETZEL R.G., 2001. *Limnology. Lake and River Ecosystems*. Third Ed. Academic Press, San Diego. xvi, 1006 pp.