

# Utjecaj biotičkih čimbenika na raspodjelu zooplanktona eutrofnog jezera

---

**Pestić, Ana**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2015**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:181602>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-21**



*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Ana Pestić

UTJECAJ BIOTIČKIH ČIMBENIKA NA RASPODJELU ZOOPLANKTONA  
EUTROFNOG JEZERA

Diplomski rad

Zagreb, 2015. godine

Ovaj diplomski rad izrađen je u Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Marie Špoljar i predan je na ocjenu Vijeću Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra struke znanosti o okolišu.

*Zahvaljujem svojoj mentorici, izv. prof. Mariji Špoljar, za pomoć pri izradi ovog rada, od izbora teme do samog pisanja. Posebno hvala na velikom razumijevanju i strpljenju te na savjetima tijekom pisanja ovog rada.*

*Također, zahvaljujem neposrednom voditelju dr. sc. Tvrtku Dražini za pomoć pri determinaciji, i pisanju ovog rada.*

*Zahvaljujem se i dr. sc. Tei Tomljanović i dr. sc. Danielu Matuliću sa Agronomskog fakulteta na pomoći pri sakupljanju i analizi ihtiofaune.*

*Hvala mojoj obitelji na potpori tijekom studija.*

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Biološki odsjek

Diplomski rad

## UTJECAJ BIOTIČKIH ČIMBENIKA NA RASPODJELU ZOOPLANKTONA EUTROFNOG JEZERA

Ana Pestić

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Istraživanje zooplanktona u mrtvaji Škrčev kut je provedeno od svibnja do listopada 2013. godine. Ciljevi ovog rada bili su utvrditi: (i) raznolikost, brojnost, veličinsku i trofičku strukturu zooplanktona u pelagijalu i litoralu; (ii) zooplanktonske vrste u sedimentu; (iii) strukturu taktilnih i vizualnih predatora; (iv) utjecaj predacije i izvora hrane na raspodjelu zooplanktona eutrofnog jezera.

Rezultati statističke analize ukazali su na statistički značajne oscilacije fizičko-kemijskih čimbenika tijekom istraživanih razdoblja, dok njihove razlike kao i strukture zooplanktona između pelagijala i litorala nisu bile statistički značajne. Na porast mutnoće prvenstveno su utjecale suspendirane tvari i fitoplankton, što je uzrokovalo slabu ili nikakvu pokrovnost makrofitima. Rezultati ukazuju da su zooplanktonske skupine manje migrirale u potrazi za zaklonom, jer su ribe kao vizualni predatori zbog velike mutnoće bile manje efikasne u hvatanju plijena. Izostanak makrofitata također je smanjio ulogu litoralne zone, iako je ukupna brojnost zooplanktona bila veća u litoralu. Mala brojnost skupine Cladocera u zooplanktonu ukazuje da su zbog većih dimenzija i slabe pokretljivosti oni bili glavni izvor hrane vizualnim predatorima. Uklanjanjem većeg algivornog zooplanktona (Cladocera) od strane predatora veću brojnost postižu sitniji organizmi (Rotifera) koji imaju manju stopu filtracije te nisu utjecali na smanjenje mutnoće. U veličinskoj strukturi zooplanktona dominirale su sitne jedinke. Najveću brojnost i raznolikost u pelagijalu i litoralu zabilježila je skupina Rotifera, sa najvećim udjelom mikrofiltratorskih vrsta, od kojih je najveću brojnost imala vrsta *Keratella tecta*. Taktilni predatori (ličinke Insecta i rakovi Cyclopidae) iz bentosa su utjecali na smanjenje planktivornih mikrofiltratora. Rezultati rada ukazuju da povećanje trofije jezera smanjuje raznolikost staništa i utječe na promjenu biotičkih odnosa u plitkim jezerima.

(39 stranica, 9 slika, 5 tablica, 44 literaturnih navoda, izvornik na hrvatskom jeziku)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: mutnoća/ taktilni i vizualni predatori /Rotifera, Cladocera, Copepoda/

Voditelj: Izv. prof. dr. sc. Maria Špoljar

Ocijenitelji: Dr.sc. Božena Mitić, prof.

Dr. sc. Blanka Cvetko Tešović, izv. prof.

Dr. Sc. Neven Bočić, doc.

Rad prihvaćen: 18.veljače 2015.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Biology

Graduation Thesis

### BIOTIC IMPACT ON ZOOPLANKTON DISTRIBUTION IN THE EUTROPHIC LAKE

Ana Pestić

Rooseveltovej trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

The research of zooplankton in Oxbow Škrčev kut was carried out from May to October 2013. The goals of this study were to determine: (i) diversity, abundance, a size and trophic structure of zooplankton in the pelagic and littoral; (ii) zooplankton species in the sediment; (iii) structure of tactile and visual predators; (iv) impact of predation and food resources on zooplankton distribution in the eutrophic lake.

The results of statistical analysis indicated a statistically significant oscillations of physico-chemical factors during the study period, while their differences as well as the zooplankton structure between the the pelagic and littoral were not statistically significant. The increase of turbidity was primarily driven by suspended solids and phytoplankton, which caused little or no cover of macrophytes. Results indicate that zooplankton migrations were not exhibited because the fish as a visual predators were less efficient due to high turbidity. The absence of macrophytes also reduced the role of the littoral zone, although the total abundance of zooplankton was higher in the littoral area. The small abundance of the group Cladocera in zooplankton indicates that due to larger dimensions and low mobility they were the main source of food for visual predators. Removing of large algivornog zooplankton (Cladocera) by predators causes higher abundance of smaller organisms (Rotifera) that have a lower rate of filtration and didn't affect the reduction of turbidity. The size structure zoplanktona was dominated by small individuals. The greatest abundance and diversity in the pelagic and littoral recorded Rotifera, with the highest share of microfiltrator species, of which the greatest abundance species had *Keratella tecta*. Tactile predators (Insecta larvae and crustaceans Cyclopidae) in macrozoobenthos with their predation contributed to a reduction of planktivory microfiltrators. Results of this study suggest that increasing of trophic level reduces the diversity of habitats and impacts on changing of biotic interactions in shallow lakes.

(39 pages, 9 figures, 5 tables, 44 references, original in: Croatian)

This thesis is deposited in the Central Biological Library.

Key words: turbidity /tactile and visual predators/ Rotifera, Cladocera, Copepoda/

Supervisor: Dr. Maria Špoljar, Assoc. Prof.

Reviewers: Dr. Božena Mitić, Prof.

Dr. Blanka Cvetko Tešović, Assoc. Prof.

Dr. Neven Bočić, Asst. Prof

Thesis accepted: 18<sup>th</sup> February, 2015.

## Lista kratica

AFDM - (eng. *ash free dry mass*) vrijednost gubitka mase pri žarenju

Chl *a* - klorofil *a*

COD - (eng. *chemical oxygen demand*) kemijska potrošnja kisika

DOM - (eng. *dissolved organic matter*) koncentracija otopljene organske tvari

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

NTU - (eng. *nephelometric turbidity unit*) mjerna jedinica za mutnoću vode

POM - (eng. *particulate organic matter*) suspendirane organske tvari

SD - standardna devijacija

Šk p - područje pelagijala (zona slobodne vode)

Šk l – litoralno područje (priobalna zona)

TSI - (eng. *trophic state index*) indeks stupnja trofije

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Biotički odnosi u plitkim jezerima .....	2
1.2. Utjecaj makrofita na biotičke interakcije .....	4
1.3. Cilj istraživanja .....	5
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA .....	7
3. MATERIJALI I METODE .....	9
3.1. Uzimanje i analiza uzoraka zooplanktona, makrozoobentosa i ihtiofaune .....	9
3.2. Analiza fizičko – kemijskih svojstava vode .....	10
3.3. Analiza podataka .....	12
4. REZULTATI .....	13
4.1. Promjene fizičko – kemijskih čimbenika .....	13
4.2. Struktura zooplanktona u mrtvaji Škrčev kut .....	17
4.2.1. Trofička struktura zooplanktona eutrofne mrtvaje Škrčev kut .....	19
4.3. Sastav makrozoobentosa litoralne zone eutrofne mrtvaje Škrčev kut .....	23
4.4. Ihtiofauna pelagijala i litorala eutrofne mrtvaje Škrčev kut .....	24
4.5. Analiza sličnosti zajednica i međusobni abiotički/biotički odnosi .....	27
5. RASPRAVA .....	29
6. ZAKLJUČAK .....	33
7. LITERATURA .....	34
ŽIVOTOPIS .....	39



# 1.UVOD

U ekosustavima je konstantno prisutna interakcija organizama i njihovog okoliša. Ekološki čimbenici, kao fizički, kemijski i/ili, biološki, mogu pozitivno ili negativno utjecati na životne funkcije, rast, razmnožavanje i gustoću populacije. Abiotočki čimbenici (svjetlost, temperatura, koncentracija otopljenog kisika i hranjive tvari) su neživa komponenta koja izravno ili neizravno utječe na brojnost i raznolikost organizama. Biotički čimbenici se odnose na interakcije organizama koje mogu biti intraspecijske (unutar iste vrsta) i interspecijske (između različitih vrsta). Dinamika ekosustava realizira se kroz akcije (djelovanje abiotskih faktora na žive organizme), reakcije (djelovanje živih organizama na neživu prirodu) i koakcije (međusobnog djelovanja samih organizama).

Biotički čimbenici imaju značajnu ulogu u funkcioniranju vodenih biocenoza, a također mogu djelovati na promjenu abiotskih čimbenika (Jeppesen i sur., 1997; Burks i sur., 2002). Nalaženje hrane te izbjegavanje predatora u vodenim sustavima uzrok su migracijama zooplanktona (Walls i sur., 1990; Jeppesen i sur., 1999; Kuczynska-Kippen, 2003; Castro i sur., 2007). Migracije u jezerima mogu biti vertikalne i horizontalne. Vertikalne migracije zooplanktona odnose se na kretanje organizama iz površinskog sloja u dublje slojeve vode i obrnuto. Horizontalne migracije zooplanktona podrazumijeva kretanje zooplanktona iz pelagijala (zona slobodne vode) u litoralnu (priobalna zona) zonu koja je često pokrivena vodenom vegetacijom i obrnuto (Castro i sur., 2007; Meerhoff i sur., 2007; Compte i sur., 2011). Vertikalne migracije su obično obilježje stratificiranih dubokih jezera, dok su horizontalne migracije uglavnom vezane za plitka nestratificirana jezera (Castro i sur., 2007). Novija istraživanja upućuju da i u plitkim jezerima dolazi do vertikalnih migracija. Zooplankton pritom koristi pridnene slojeve vode ili sediment kao zaklon od predatora (Burks i sur., 2002; Meerhoff i sur., 2007).

## 1.1. Biotički odnosi u plitkim jezerima

Od biotičkih čimbenika najveći utjecaj na oblikovanje zajednica imaju predacija i kompeticija. Ribe, kao vizualni predatori, te ličinke kukaca i neki Copepoda, kao taktilni predatori svojim djelovanjem utječu na strukturu zooplanktonske zajednice, uzrokuju promjene u morfologiji i ponašanju planktonskih vrsta (Castro i sur., 2007; Meerhoff i sur., 2007; Compte i sur., 2011). Plijen na razne načine pokušava umanjiti predacijski pritisak. Ulogu u obrani od predatora imaju stalne i povremene morfološke varijacije. Neke vrste Rotifera (*Keratella*, *Brachionus*) imaju loriku, čvrsti zaštitni sloj na tijelu s bodljama ili dugim nastavcima, koja im pruža zaštitu od taktilnih predatora, dok druge vrste (npr. Collothecidae) mogu stvarati sluzavu ovojnici koja smanjuje učinkovitost predatora. Kod nekih vrsta zooplanktona, kao zaštita od predatora, javljaju se morfološke promjene tijela, tj. dolazi do ciklomorfoze. To je sezonska promjena oblika tijela vodenih organizama, a vrlo je izražena kod skupina Cladocera i Rotifera. Ove skupine povećavaju dužinu svojih nastavaka ili stvaraju nove što predatoru otežava hvatanje plijena. Neki predatori otpuštaju u vodu kemijske tvari koje kao signal potiču ciklomorfozu zooplanktona. Druge pak vrste, kod kojih ne dolazi do ciklomorfoze, predatore pokušavaju izbjeći svojim iznenadnim i brzim plivanjem (npr. Copepoda) te horizontalnim i/ili vertikalnim migracijama.

Vizualni i taktilni predatori svojom predacijom na različite načine utječu na populacije zooplanktona. Vizualni predatori smanjuju veličinsku strukturu zooplanktona hraneći se prvenstveno većim jedinkama (Brooks i Dodson, 1965; Estlander i sur., 2009), smanjuju stopu hranjenja i aktivnosti jedinki (Beklioglu i Jeppesen, 1999; Lapesa i sur., 2002) te utječu na životni ciklus kroz smanjenje veličine i starosne dobi pri kojoj jedinke dostižu zrelost (Beckerman i sur., 2010). Taktilni predatori također smanjuju aktivnost i veličinsku strukturu jedinki zooplanktona, ali drugačije utječu na životni ciklus jer u njihovom prisutstvu dolazi do povećanja tijela i starosne dobi sazrijevanja te povećavaju stopu hranjenja (Beckerman i sur., 2010).

Velika mutnoća vode utječe na efikasnost vizualnih predatora smanjujući njihov predacijski pritisak te je plijen homogeno raspoređen horizontalno od litorala do pelagijala (Castro i sur., 2007; Špoljar i sur., 2011a). Taktilni predatori za pronalazak plijena oslanjaju se na detekciju pokreta te njihov predacijski pritisak ne ovisi o količini svjetla. Smanjenom vidljivosti, zbog povećanja mutnoće, njihova predacija nije umanjena. Taktilni predatori

plijen su planktivornim ribama čiju predaciju izbjegavaju migracijom iz pelagijala u litoral. Zbog migracije taktilnih predatora prema litoralnu zonu slabi njihov predacijski pritisak u pelagijalu, dok u litoralnu dolazi do povećanja njihove brojnosti, a samim tim raste i njihova predacija prema sitnijem zooplanktonu. Veći broj taktilnih predatora u području litorala može biti jedan od razloga zašto neki zooplanktoni, npr. vrste roda *Daphnia*, izbjegavaju horizontalne migracije u litoralnu zonu (Burks i sur., 2002).

U uvjetima veće prozirnosti kolnjaci (Rotifera) te planktonski rakovi rašljoticalci (Cladocera) i veslonošci (Copepoda) su pod većim predacijskim pritiskom vizualnih predatora što uzrokuje njihove migracije iz pelagijala u litoralnu zonu s makrofitima (Jeppesen i sur., 1999). Zbog prozirnosti i manjih dimenzija tijela u odnosu na planktonske rakove, Rotifera su manje uočljivi za ribe. Rakovi iz skupine Copepoda su većih dimenzija i lakše su uočljiviji od Rotifera, ali brzim kretnjama mogu uspješnije izbjegavati predatore u odnosu na rakove iz skupine Cladocera. Zbog svoje slabe pokretljivosti i većih dimenzija u odnosu na druge vrste zooplanktona, Cladocera su glavni izvor hrane za planktivorne ribe, što dovodi do povećanja brojnosti manjih vrsta npr. iz skupine Rotifera (Burks i sur., 2002; Romo i sur., 2004; Compte i sur., 2011). Smanjenje brojnosti većeg algivornog zooplanktona rezultira promjenom prozirnosti vode koja iz stanja veće prozirnosti prelazi u stanje povećane mutnoće (Lauridsen i sur., 1999) uzrokovane povećanom brojnošću algi.

Piscivorne ribe u vodenim ekosustavima izazivaju učinak trofičke kaskade, tj. svojom predacijom utječu na brojnost fitoplanktona. Hraneći se planktivornim ribama one smanjuju njihovu brojnost te tako smanjuju pritisak njihove predacije na zooplankton. Smanjenje predacijskog pritiska planktivornih riba na zooplankton dovodi do povećanja njegove brojnosti. Uslijed razvoja algivornog zooplanktona dolazi do smanjenja fitoplanktona i mutnoće u jezeru, što povoljno utječe na usporavanje procesa eutrofikacije (Romo i sur., 2004; Compte i sur., 2011).

Organizmi su općenito u kompeticiji za hranu, tzv. eksploatacijska kompeticija i prostor (stanište), tzv. interferencijska kompeticija (Burns i Gilbert, 1986, Conde-Porcuna, 2000). Cladocera su najčešće u kompeticiji za hranu (alge, bakterije, suspendirane i otopljene organske tvari) sa skupinom Rotifera. Stopa filtriranja hrane iz vode je viša kod mnogih mikrofiltratorskih rakova nego kod Rotifera. Gilbert (1989) je u svom istraživanju pokazao da Cladocera imaju negativan utjecaj na Rotifera i Ciliophora jer u prisutnosti roda *Daphnia* brojnost Rotifera i Ciliophora se znatno smanjila. *Daphnia* može uzrokovati mehanička

oštećenja kod zooplanktona manjih dimenzija (npr. Rotifera). Prilikom ulaska Rotifera u filtracijski prostor *Daphnia* dolazi do njihovog oštećenja koje može biti smrtonosno ili djelomično pa utječe na efikasnost hranjenja i razmnožavanja. Cladocera također mogu doći u kompeticiju za hranu s rakovima iz skupine Copepoda kojima hrana mogu biti Rotifera, protozoa (npr. Tintinnida), ali također i suspenzija algi i bakterija (Karabin, 1985; Castro i sur., 2007).

## 1.2. Utjecaj makrofita na biotičke interakcije

Vodena vegetacija ili makrofiti su makroskopski fotosintetski organizmi prilagođeni životu u vodi ili pored nje. Makrofiti mogu biti emerzni (rastu u vodi, ali pojedini dijelovi se nalaze iznad površine vode), submerzni (biljke koje su u cijelosti pod vodom) i flotantni (biljke čije lišće pluta na površini vode, dok korijenje slobodno pliva u stupcu vode ili je zakorijenjeno u sedimentu).

Makrofiti imaju višestruki utjecaj na ekologiju jezera. Oni sprečavaju resuspenziju sedimenta i organskih tvari, reduciraju koncentraciju hranjivih tvari pa one postaju nedostupne fitoplanktonu te se tako sprečava njegov nekontrolirani rast, a time utječu na smanjenje eutrofikacije u jezerima (Jeppesen i sur., 1999; Lau i Lane, 2002; Horppila i Nurminen, 2005). U slučajevima velike mutnoće i velike primarne produkcije fitoplanktona, submerzni makrofiti često u potpunosti izostaju zbog nedostatka svjetlosti. U takvim uvjetima u jezerima dominiraju fitoplankton i emerzni makrofiti, a mutnoću povećava i resuspenzija sedimenta djelovanjem vjetrova i bioturbacije (Hilt i sur., 2010; Špoljar i sur., 2011a).

Makrofiti utječu na brojnost i raznolikost zooplanktonske zajednice. Veća brojnost i raznolikost zooplanktona zabilježena je unutar makrofitskih sastojina, u odnosu na područja u kojima makrofiti izostaju (npr. pelagijal) (Castro i sur., 2007; Meerhoff i sur., 2007). Vodeni makrofit pružaju zaklon zooplanktonu prvenstveno od vizualnih predatora. Na efikasnost makrofita kao zaklona utječe više čimbenika: gustoća makrofita, složenost građe, prisutnost predatora unutar sastojina makrofita (Burks i sur., 2002; Kuczynska-Kippen i Nagengast, 2003; Meerhoff i sur., 2007). Složenija struktura submerznih makrofita pruža zooplanktonu raznovrsniji izbor staništa, veću količinu hrane te osigurava veću zaštitu od predatora u

odnosu na jednostavniju građu floatantnih i emerznih makrofita (Diehl 1992; Duggan, 2001; Meerhoff i sur., 2007).

U jezerima s floatantnim makrofitima veća je brojnost riba i predatorskih beskralježnjaka ispod njihovih listova u odnosu na submerzne makrofite. U pojasu makrofita, zooplankton koji izbjegava pelagijske predatore, dolazi u doticaj s predatorima u području litorala. Litoralne predatore čine beskralježnjaci i planktivorne ribe koje se mogu kretati među makrofitima i tamo loviti svoj plijen. Planktivorne ribe iz pelagijala također mogu među makrofitima potražiti zaštitu od piscivornih riba. Predatorski beskralježnjaici i planktivorne ribe time umanjuju učinkovitost makrofita kao skloništa za zooplankton (Burks i sur., 2002; Compte i sur., 2011).

Osim zaklona od predatora, makrofiti zooplanktonu pružaju bogatstvo raznolikih izvora hrane, npr. fitoplankton, epifiton, detritus (Špoljar i sur., 2012). Veće zasjenjivanje fitoplanktona od strane floatantnih, u odnosu na submerzne makrofite, dovodi do slabijeg razvoja fitoplanktona te nižih koncentracija kisika (Meerhoff i sur., 2007). To je također razlog manje zastupljenosti zooplanktona, posebno rašljoticalaca, ispod floatantnih u odnosu na submerzne makrofite. Makrofiti mogu ispuštati i određene kemijske spojeve, alelopatske tvari, koji odbijaju druge organizme, npr. vrste roda *Daphnia* koji izbjegavaju floatantne makrofite (Burks i sur., 2002).

### **1.3. Cilj istraživanja**

Raspodjela zooplanktona, njegova brojnost i raznolikost, veličinska i trofička struktura u vodenim zajednicama rezultat su djelovanja abiotičkih (mutnoća) i biotičkih čimbenika (gustoća i raznolikost makrofita, predacija, kompeticija). Dosadašnja istraživanja su pokazala da u jezerima dolazi do razlika u horizontalnoj i vertikalnoj raspodijeli zooplanktona. U plitkim jezerima prevladavaju horizontalne migracije (Castro i sur., 2007; Compte i sur., 2011), ali novija istraživanja upućuju da i plitkim jezerima dolazi do vertikalnih migracija u pridnene slojeve vode ili sediment (Burks i sur., 2002; Meerhoff i sur., 2007). Uslijed izostanka makrofita, zbog velike mutnoće vode jezera, veće zooplanktonske vrste nalaze zaklon od predatora i u sedimentu (Castro i sur., 2007; Meerhoff i sur., 2007).

Hipoteza ovog rada je bila da na raspodjelu i brojnost zooplanktona utječe prisutnost predatora te stupanj trofije jezera. To je bilo polazište ovog istraživanja čiji su ciljevi bili utvrditi:

1. raznolikost, brojnost, veličinsku i trofičku strukturu zooplanktona u pelagijalu i litoralu;
2. zooplanktonske vrste u sedimentu;
3. strukturu taktilnih i vizualnih predatora;
4. utjecaj predacije i izvora hrane na raspodjelu zooplanktona.

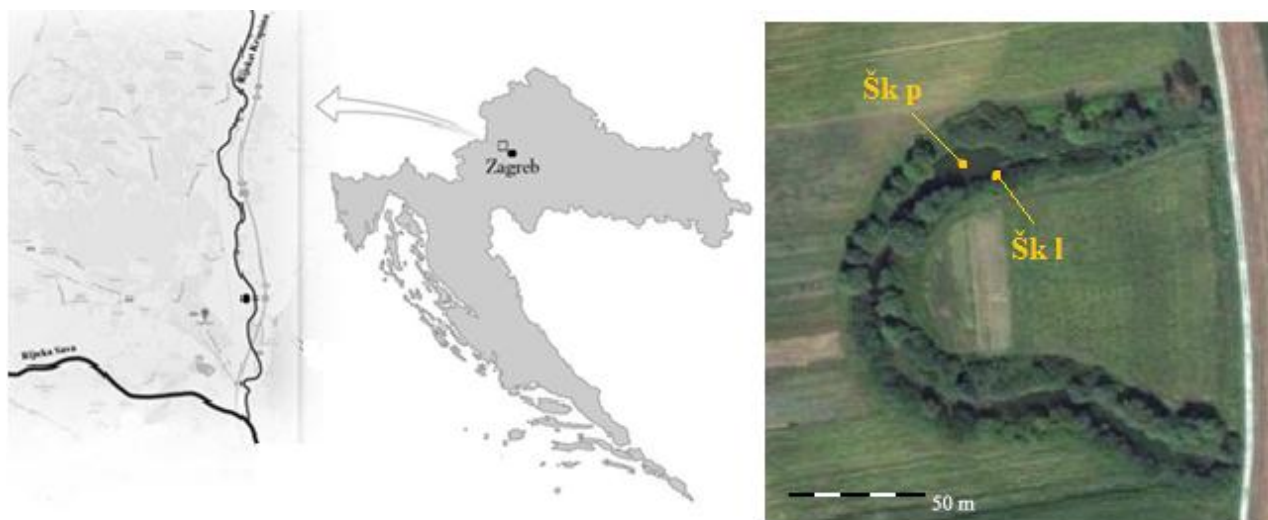
## 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Ovo istraživanje je provedeno na mrtvaji rijeke Krapine, Škrčev kut (Šk), u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Geološku podlogu Hrvatskog zagorja izgrađuju stijene koje su nastajale od paleozoika do kvartara, a prema geološkim mjerenjima to odgovara rasponu od približno 440 milijuna godina. Njihov litološki sastav s brojnim fosilima ukazuje da su najvećim dijelom bile taložene u morima ili oceanima. Tijekom pliocena i kvartara (prije oko 5 milijuna godina) došlo je do povlačenja Panonskog mora te izdizanja današnjih planina i oblikovanja hidrografskog sustava. Zajedničkim djelovanjem denudacije i riječne erozije tijekom posljednjih 150 000 godina (u gornjem pleistocenu i holocenu) oblikovan je današnji krajolik Hrvatskog zagorja (Herak, 1984).

Rijeka Krapina izvire na planini Ivanščici, s dužinom toka od oko 75 km je lijeva pritoka rijeke Save. Mrtvaja je plitko jezero male površine koje je nastalo odvajanjem meandra od glavnog toka rijeke. Uzrok odvajanja može biti prirodan (nakon poplava i/ili odvajanjem meandara uslijed taloženja sedimenta) ili antropogen (odvajanje meandra uslijed kanaliziranja glavnog toka rijeke). Mrtvaja Škrčev kut je nastala pedesetih godina XX stoljeća odvajanjem meandra od glavnog toka rijeke prilikom izgradnje Zagorske magistrale i kanaliziranja glavnog toka rijeke Krapine. Škrčev kut koristi se za sportski ribolov, plitko je eutrofno jezero koje obilježava mala površina i velika mutnoća, a okruženo je obradivim poljoprivrednim površinama (Tablica 1, Slika 1). Tijekom istraživanog razdoblja floatantni makrofiti (lokvanj - *Nuphar lutea*) pojavili su se krajem lipnja i u srpnju sa pokrovnošću oko 1%. Okolna vegetacija se sastoji od vrba (*Salix* sp.) i topola (*Populus* sp.).

Tablica 1 Morfometrijska obilježja istraživanog lokaliteta – mrtvaja Škrčev kut (Šk)

Obilježje	Lokalitet
Koordinate	45°51'47'' N 15°49'30'' E
Površina (m <sup>2</sup> )	2500
Duljina <sub>max</sub> (m)	300
Širina <sub>max</sub> (m)	12
Dubina (m)	0,4 - 3,4
Prozirnost vode (m)	0,4 ± 0,1
Pokrovnost makrofitima (%)	0 - 3
Vodeni makrofiti	Floatantni
Vrsta vodenih makrofita	Lokvanj ( <i>Nuphar lutea</i> )
Antropogeni utjecaj	ispiranje i unos tla, anorganskih i organskih tvari s okolnih oranica; športski ribolov



Slika 1 Prikaz istraživanog lokaliteta mrtvaja Škrčev kut s postajama uzorkovanja (Šk p – pelagijal, Šk l – litoral)



### 3. MATERIJALI I METODE

#### 3.1. Uzimanje i analiza uzoraka zooplanktona, makrozoobentosa i ihtiofaune

Uzorci zooplanktona su skupljani na lokalitetu mrtvaja Škrčev kut u razdoblju od svibnja do listopada 2013. godine. Uzorkovanje je provedeno na dvije postaje: pelagijal (zona slobodne vode, Šk p) te litoralna zona (Šk l). Uzorci su uzimani jedanput u svibnju, rujnu i listopadu te dva puta od lipnja do kolovoza. Na svim postajama uzorci su skupljani u triplikatu,  $3 \times 10$  L vode planktonskom mrežom promjera oka 26  $\mu\text{m}$ .

Uzorci su konzervirani u 4% formalinu te su centrifugirani (3000 rpm, u trajanju 5 minuta; EBA-20, Hettich) u svrhu koncentriranja volumena uzoraka na 10 do 15 mL. Svaki je uzorak izbrojan u tri poduzorka korištenjem svjetlosnog mikroskopa oznake Jenaval (Carl Zeiss Jena, 125 $\times$  i 400 $\times$ ), a brojnost zooplanktona izražena je brojem jedinki po litri (jed/L) kao srednja vrijednost triplikata. U determinaciji vrsta korišteni su sljedeći ključevi: Rotifera (Voigt i Koste, 1978), Cladocera (Amoros, 1984) i Copepoda (Einsle, 1993).

U svrhu rekonstrukcije trofičkih odnosa zooplanktonske vrste su podijeljene u funkcionalne trofičke skupine, FFG (eng. *Functional Feeding Guilds*): mikrofiltratori (detritivori), makrofiltratori (algivori) i predatori. Mikrofiltratori se hrane suspenzijom čestica detritusa, bakterija i jednostaničnih alga, veličine 15 – 20  $\mu\text{m}$ . U toj kategoriji su vrste iz skupina Protozoa, Rotifera (*Brachionus*, *Keratella*, *Anuraeopsis*), Cladocera (*Bosmina*). Makrofiltratori se hrane česticama veličine od 5  $\mu\text{m}$  do 50  $\mu\text{m}$ . Hrana ovoj trofičkoj skupini su uglavnom alge, uključujući i nitaste alge, a ponekad i praživotinje. Toj kategoriji pripadaju neke vrste iz skupina Rotifera (*Polyarthra*, *Synchaeta*, *Trichocerca*) te Copepoda (*Eudiaptomus*). Predatori se hrane uglavnom drugim zooplanktonima i protozoima. Predatorskih vrsta ima unutar Rotifera (*Asplanchna*, *Cephalodella*) i Copepoda (Cyclopoidae) (Karabin, 1985).

Uzorci makrozoobentosa, u kojima su razmatrani taktilni predatori, uzimani su Surberovom mrežom (25  $\times$  25 cm) te su konzervirani u 70 % alkoholu, a nakon toga su izolirani po sistematskim skupinama.

Ihtiofauna je uzorkovana elektroagregatom (Hans Grassl EL 63II; 220/400 V; 17,8/8,9 A) u trajanju od 15 minuta. Dužina i masa riba izmjerene su na terenu. U ihtiofauni jezera dominirale su šaranke: obična ukljia (*Alburnus alburnus*), deverika (*Abramis brama*), babuška (*Carassius gibelio*), vijun (*Cobitis elongata*), šaran (*Cyprinus carpio*), krkuša (*Gobio gobio*), bezribica (*Pseudorasbora parva*), bodorka (*Rutilus rutilus*), klen (*Squalius cephalus*), crvenperka (*Scardinius erythrophthalmus*). Osim šaranki prisutne su grgečke s vrstom sunčanica (*Lepomis gibbosus*) i somovke s vrstom patuljasti somić (*Ameiurus nebulosus*). Obična ukljia, deverika, babuška, vijun, krkuša, bezribica, bodorka i crvenperka su prema načinu prehrane planktivorne ribe. Šaran, klen, sunčanica i patuljasti somić su ribe koje se hrane planktonom i malim ribama.

### 3.2. Analiza fizičko – kemijskih svojstava vode

Na terenu su prilikom uzorkovanja biotičke komponente izmjereni osnovni limnološki čimbenici: temperatura vode (°C), koncentracija otopljenog kisika, pH vrijednost (mg O<sub>2</sub>/L, oksimetar oznake Hatch HQ30d), prozirnost vode (m, Secchi disk), konduktivitet (μS/cm, konduktometar oznake Hach sensION5).

Paralelno su uzimani i uzorci za kemijsku analizu vode i izvora hrane. U laboratoriju je volumetrijskim i sprektrofotometrijskim metodama određivana koncentracija: orto-fosfata (mg P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L), ukupnog fosfora (mg P/L), amonijaka (mg N-NH<sub>4</sub>/L), nitrita (mg N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L), nitrata (mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L), ukupnog dušika (mg N/L), otopljenih organskih tvari, DOM (eng. *dissolved organic matter*) temeljem kemijske potrošnje kisika, COD (eng. *chemical oxygen demand*, mg O<sub>2(Mn)</sub>/L), suspendirane organske tvari, POM (eng. *particulate organic matter*) temeljem gubitka pri žarenju, AFDM (mg/L, eng. *ash free dry mass*) i biomasa fitoplanktona izražena kao koncentracija klorofila *a*, Chl *a*, μg/L.

Koncentracija orto-fosfata određivana je metodom s amonij-molibdatom u kiselom mediju (pH < 1) stvarajući fosfomolibdatni kompleks koji se reducira kositar-kloridom i nastaje plavo obojenje. Intenzitet obojenja mjeren je spektrofotometrijski na valnoj dužini 690 nm. Ukupni fosfor određen je prevođenjem u ortofosfate i dalje je određivan metodom s amonijevim molibdatom.

Koncentracija nitrata određena je metodom reakcije s natrijevim salicilatom spektrofotometrijski na valnoj dužini 420 nm. Ukupni dušik je određivan Kjeldahlovom metodom, a nitriti i amonijak su određivani pomoću ionskog kromatografa (APHA, 1995).

Koncentracija suspendirane organske tvari određivana je sušenjem na temperaturi od 104°C /4 h (suhi ostatak, DM, eng. *dry mass*). Uzorci su zatim izvagani te žareni u mufolnoj peći na 600 °C /6 h (žareni ostatak). Iz razlike suhog i žarenog ostatka izračunata je količina organske tvari ili gubitak pri žarenju, AFDM (mg/L). Koncentracija klorofila *a* (Chl *a*) mjerena je metodom etanolske ekstrakcije (Nush, 1980).

Mjesečne vrijednosti fizičko – kemijskih čimbenika prikazane su kao srednja vrijednost dviju postaja (Šk p i Šk l).

### 3.3. Analiza podataka

Vrijednosti TSI (eng. *trophic state index*) izračunate su temeljem prozirnosti izmjerenih Secchi diskom te govore o stupnju produktivnosti vodenog sustava (Carlson, 1977).

Prije statističke analize svi podaci su logaritamski transformirani [ $\log(x+1)$ ] i provedena je provjera raspodjele podataka Shapiro–Wilk’s T testom. Shapiro–Wilk’s T test je za fizičko – kemijske čimbenike ukazao da su slijedili pravilnu raspodjelu. Za daljnju analizu fizičko–kemijskih čimbenika korišteni su parametrijski ANOVA testovi, a za detaljnu informaciju o značajnosti razlika između postaja korišten je *post hoc* Tukey HSD test. Za biotičke čimbenike Shapiro–Wilk’s T test je ukazao na njihovu nepravilnu raspodjelu pa je za daljnju analizu korišten neparametrijski Kruskal–Wallis test (usporedba više nezavisnih varijabli), a za detaljnu informaciju o značajnosti razlika između pojedinih postaja korišten je *post hoc* test višestruke usporedbe. Mann–Whitney U test korišten je za utvrđivanje razlika biotičkih čimbenika između dvije nezavisne varijable. Za utvrđivanje značajnosti interakcija između abiotičkih i biotičkih čimbenika korišten je Spearmanov koeficijent korelacije ( $r$ ). Nemetričko multidimenzionalno skaliranje (NMDS) korišteno je za utvrđivanje sličnosti između postaja temeljem brojnosti dominantnih skupina zooplanktona. Navedena analiza se temelji na Bray Curtis-u indeksa sličnosti. Za statističku analizu ovih podataka korišten je program STATISTICA 8.0 (StatSoft inc., 2007) i računalni program PRIMER (version 6; PRIMER–E, Plymouth, UK).

U prikazu podataka korištene su osnovne statističke mjere kao što su srednja vrijednost i standardna devijacija (SD). U grafičkim prikazima mjeseci su označeni rimskim brojevima (svibanj – V, lipanj – VI, srpanj - VII, kolovoz -VIII, rujanj – IX, listopad - X). Uzorci iz V i VI/1 se odnose na proljetno razdoblje, od VI/2 do IX na ljetno, dok je jesensko razdoblje obuhvaćeno X. Grafički i tabelarni prikazi izrađeni su u programu Microsoft Excel 2007 (Microsoft Corporation, 2007).

## 4. REZULTATI

### 4.1. Promjene fizičko – kemijskih čimbenika

Statistička analiza ukazuje da su fizičko – kemijski čimbenici u litoralu i pelagijalu bili ujednačeni (ANOVA,  $p > 0,05$ ). Odabrane postaje su se statistički značajno razlikovale u odnosu na dubinu koja je iznosila  $0,8 \pm 0,4$  m u litoralu, odnosno  $2,2 \pm 0,8$  m u pelagijalu (ANOVA,  $F = 11,9$ ;  $p = 0,003$ ). Vrijednosti većine analiziranih fizičko – kemijskih čimbenika statistički su značajno oscilirale tijekom istraživanog razdoblja i navedene su u Tablici 2.

Oscilacije prozirnosti od 0,1 m do 0,6 m bile su značajne u proljetnom razdoblju, a kasnije su zabilježene u manjim amplitudama. Vrijednosti mutnoće oscilirale su od 28 NTU do 60 NTU te je mutnoća bila značajno manja sredinom ljetnog razdoblja u odnosu na ostalo istraživano razdoblje (Slika 2).

Temperature vode u jesenskom razdoblju su bile statistički značajno manje u odnosu na vrijednosti u proljetnim i ljetnim mjesecima (Slika 2). Ukupne oscilacije temperature su varirale od  $13,7$  °C u jesenskom razdoblju pa do  $28,3$  °C u ljetnom razdoblju.

Vrijednosti otopljenog kisika su očekivano bile inverzne temperaturnim promjenama. Statistički su značajne razlike zabilježene maksimuma od  $13,07$  mg O<sub>2</sub>/L početkom srpnja, do minimuma od  $2,98$  mg O<sub>2</sub>/L početkom kolovoza (Slika 2).

Vrijednosti pH kretale su se u alkalnom području oscilirajući od 7,1 do 8,6, sa nižim vrijednostima krajem proljeća i sredinom ljeta. Konduktivitet je statistički značajno oscilirao tijekom cijelog istraživanog razdoblja. Vrijednosti su pokazale tendenciju porasta od minimuma u svibnju ( $229$  μS/cm) prema maksimumu u listopadu ( $319$  μS/cm) (Slika 2).

Koncentracije orto-fosfata pokazivale su znatne oscilacije od  $0,0449$  mg/L do  $0,1618$  mg P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L. Maksimum početkom srpnja se statistički značajno razlikovao od ostalih mjeseci kada su vrijednosti bile niže (Slika 3).

Koncentracije nitrata su oscilirale od  $0,0529$  mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L do  $0,1941$  mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L. Vrijednosti u proljeće značajno su se razlikovale u odnosu na ostatak istraživanog razdoblja kada su amplitude bile manje (Slika 3). Koncentracije nitrita tijekom istraživanog razdoblja nisu pokazale statistički značajne razlike te su se kretale oko  $0,010 \pm 0,005$  mg N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L.

Oscilacije koncentracija amonijaka od 0,0011 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L do 0,3267 mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L su bile statistički značajne, s većim vrijednostima u jesenskom razdoblju u odnosu na proljeće i ljeto (Slika 3).

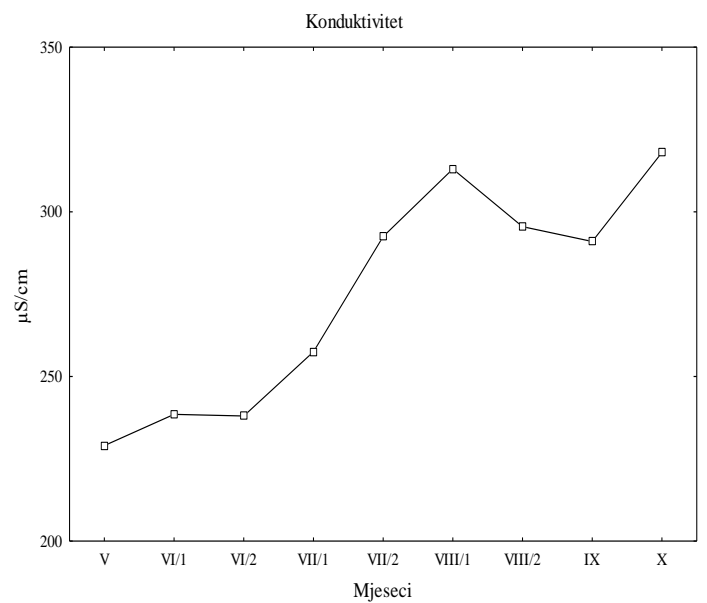
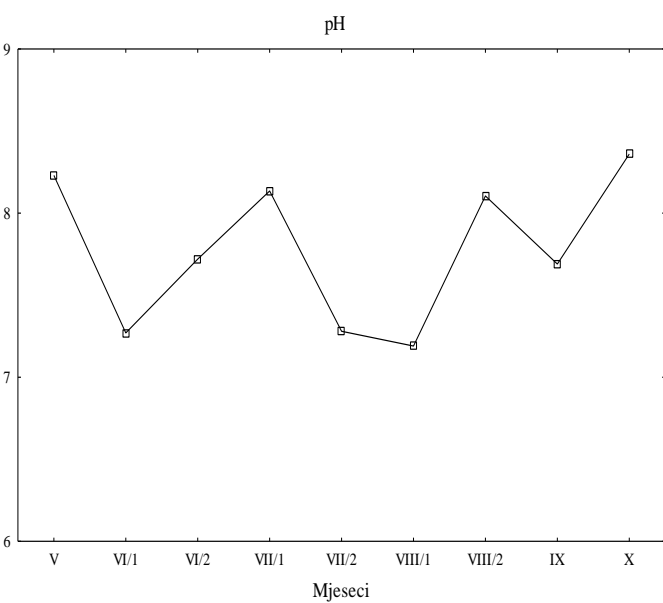
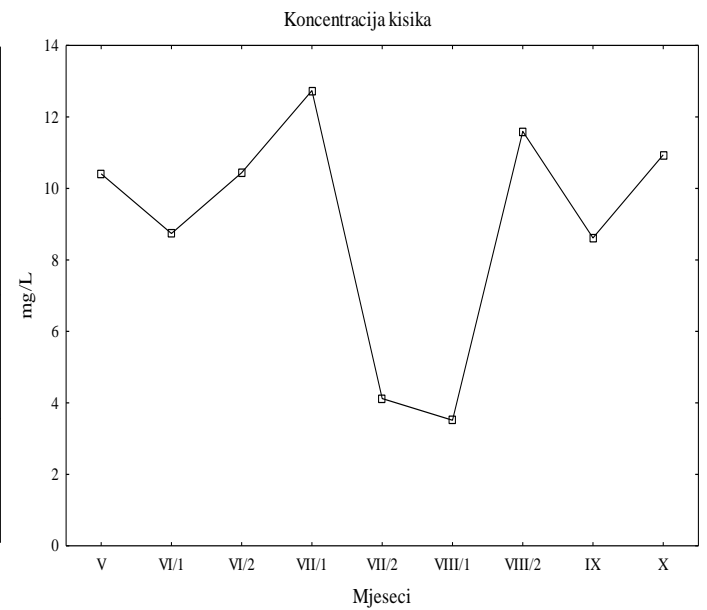
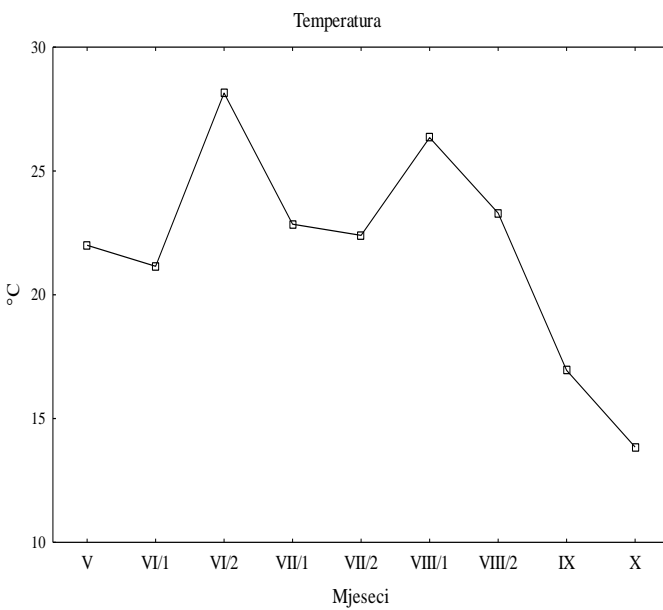
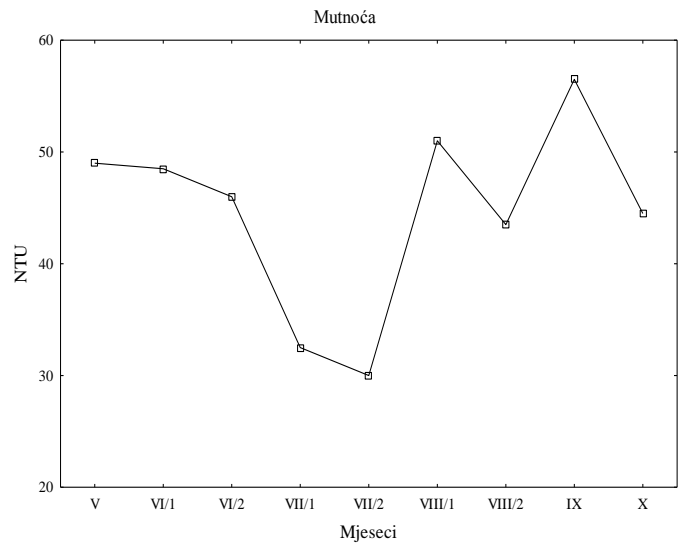
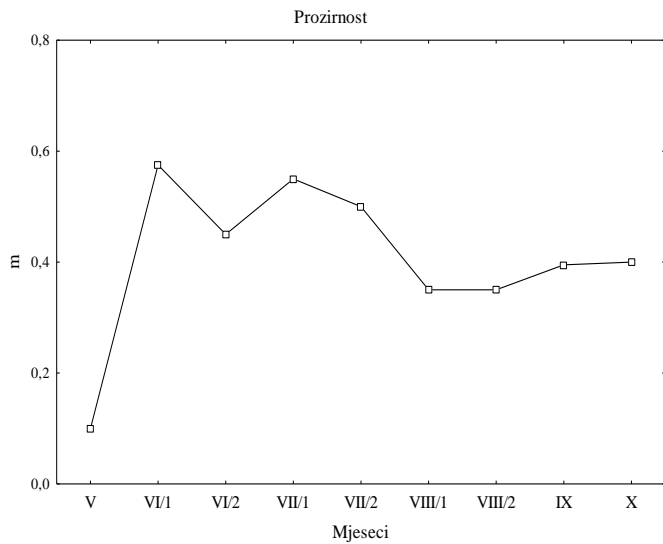
Vrijednosti DOM oscilirale su od 21,33 mg O<sub>2Mn</sub>/L do 38,552 mg O<sub>2</sub>/L, a visoka vrijednost u svibnju se statistički značajno razlikovala od nižih vrijednosti tijekom istraživanog razdoblja (Slika 3).

Biomasa algi bila je nešto niža u proljeće u odnosu na ljeto i jesen, međutim nije se statistički značajno razlikovala tijekom istraživanog razdoblja na što su ukazivale koncentracije klorofila *a* koje su se kretale oko srednje vrijednosti 56,3 ± 30,7 µg/L (ANOVA, p > 0,05) (Tablica 2).

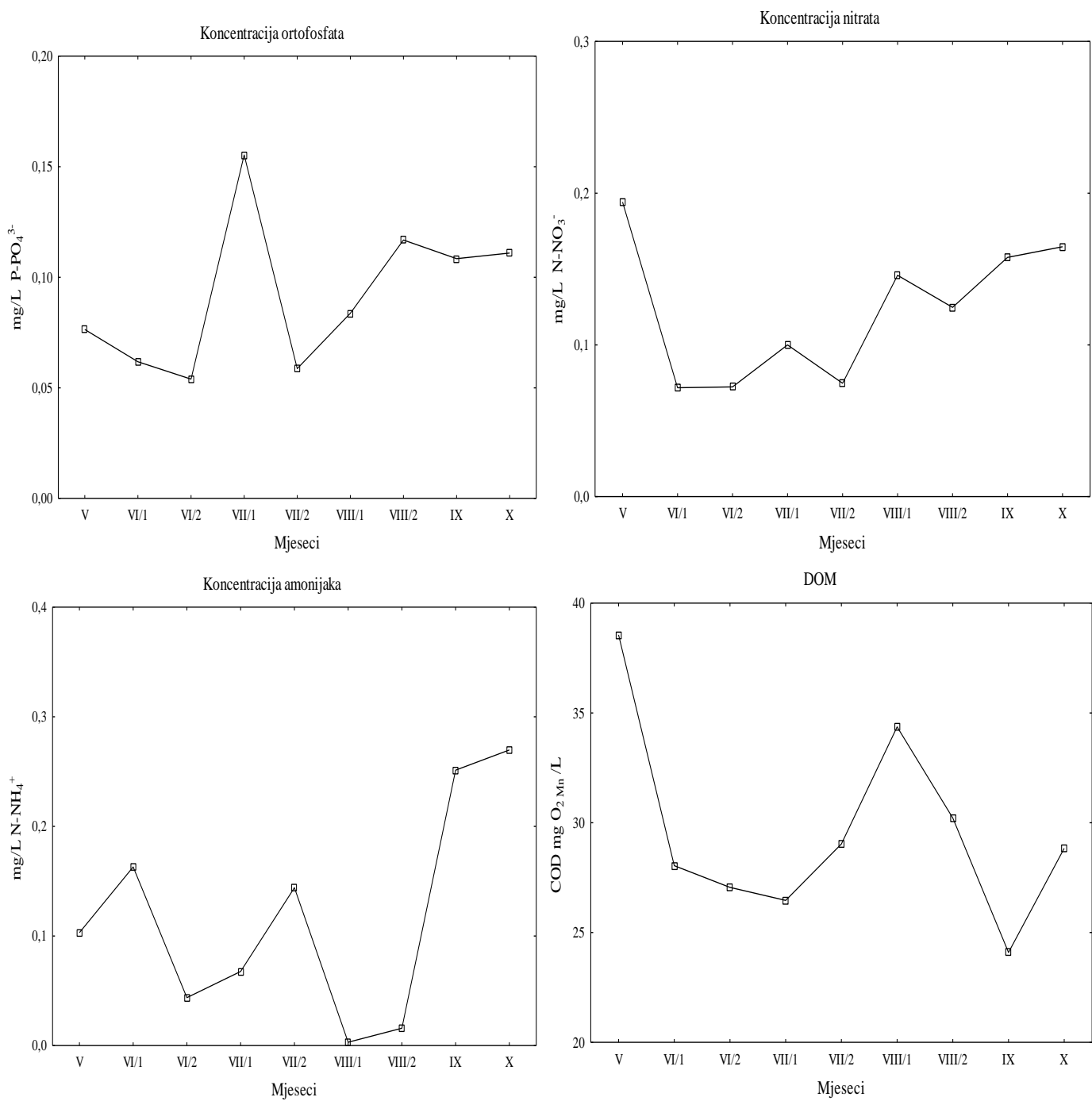
Vrijednosti TSI<sub>SD</sub> (74,3 ± 7,9) su pokazale da je Škrčev kut po stupnju produktivnost hipertrofno jezero.

Tablica 2 Minimalne, maksimalne, srednje vrijednosti (SV) i standardna devijacija (SD) fizičko-kemijskih čimbenika na lokalitetu Škrčev kut, s rezultatima statističke analize vremenskih promjena (ANOVA, df = 8, n = 18; p < 0,05)

Vremenske promjene	Min	Max	SV		SD	F	p
Prozirnost <sub>SD</sub> (m)	0,1	0,6	0,4	±	0,1	17,7	0,0001
Mutnoća (NTU)	28	60	44,6	±	9,2	4,9	0,0144
Temperatura (°C)	13,7	28,3	21,9	±	4,2	199,8	0,0000
Otopljeni kisik (mg /L)	2,98	13,07	9,0	±	3,1	60,7	0,0000
pH	7,1	8,6	7,8	±	0,5	13,1	0,0004
Konduktivitet (µS/cm)	229,0	319,0	274,8	±	33,3	881,1	0,0000
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	0,045	0,162	0,092	±	0,033	21,385	0,0001
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0,053	0,194	0,123	±	0,047	7,336	0,0036
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0,003	0,027	0,010	±	0,005	0,334	ns
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	0,001	0,327	0,118	±	0,102	6,599	0,0053
DOM (mg O <sub>2Mn</sub> /L)	21,33	38,552	29,6294	±	4,478	10	0,0012
Chl <i>a</i> (µg/L)	2,072	117,808	56,3026	±	30,674	2,512	0,06
POM (mg AFDM /L)	0,527	3,705	1,7165	±	0,770	1,667	0,231



Slika 2 Vremenske promjene prozirnosti (m), mutnoće (NTU), temperature (°C), koncentracije otopljenog kisika (mg O<sub>2</sub>/L), pH i konduktiviteta (µS/cm)



Slika 3 Vremenske promjene, DOM (COD mg O<sub>2</sub>Mn/L), orto-fosfata (mg P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L), nitrata (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L) i amonijaka (mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L)

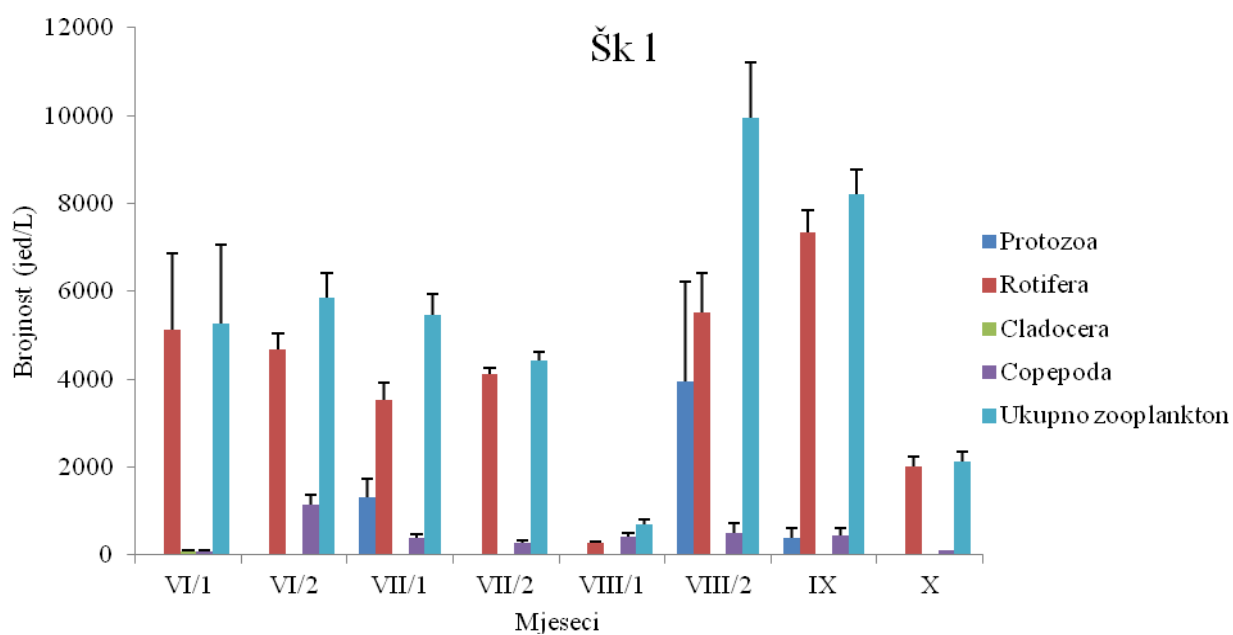
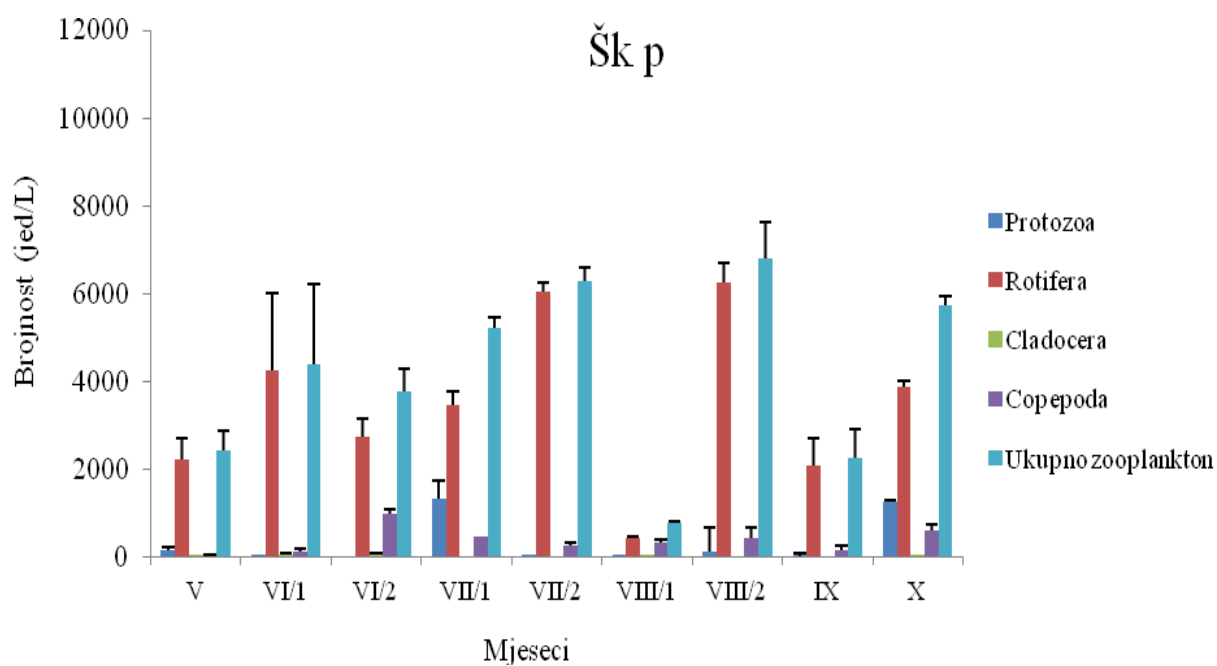


## 4.2. Struktura zooplanktona u mrtvaji Škrčev kut

Na istraživanom lokalitetu Škrčev kut zabilježeno je ukupno 49 različitih svojti zooplanktona. Determinirane svojte su bili predstavnici skupina Sarcodina, Ciliophora, Rotifera, Gastrotricha, Cladocera, Copepoda i ličinki Insecta. Na obje postaje zabilježen je jednak broj svojti (41).

U pelagijalu (Šk p) je najmanji broj vrsta utvrđen početkom kolovoza (11), a najveći (21) početkom lipnja. Najveća brojnost zooplanktona zabilježena je u rujnu ( $6789 \pm 664$  jed/L), a najmanja početkom kolovoza ( $749 \pm 56$  jed/L) (Slika 4, Tablica 4). U ukupnoj brojnosti dominirale su jedinke iz skupine Rotifera ( $3475 \pm 1881$  jed/L) s udjelom od 83 %. Dominantna vrsta bila je *Keratella tecta*, s najvećom brojnošću krajem srpnja (3572 jed/L). Osim brojnosti kolnjaci su bili i najraznolikija skupina sa 29 različitih vrsta. Brojnost skupine Cladocera iznosila je svega  $12 \pm 19$  jed/L, a glavni predstavnik je bila vrsta *Bosmina longirostris* (Tablica 4). Brojnost Copepoda,  $362 \pm 290$  jed/L, je bila veća u odnosu na Cladocera, a predstavljali su je uvelike ličinački stadiji vrste *Thermocyclops oithonoides*.

U litoralu (Šk l) je srednja vrijednost brojnosti zooplanktona je bila veća ( $5244 \pm 2985$  jed/L) u odnosu na pelagijal ( $4172 \pm 2049$  jed/L). Najveća raznolikost vrsta zabilježena je u rujnu (22 vrsta), a najmanja početkom kolovoza (12 vrsta). Najveća brojnost zooplanktona zabilježena je krajem kolovoza s ukupno  $9957 \pm 1254$  jed/L. Najveću raznolikost zabilježili su predstavnici Rotifera (29 svojti). Ova skupina postigla je dominaciju u ukupnoj brojnosti zooplanktona s 78 %-tnim udjelom te je sa srednjom vrijednosti od  $4076 \pm 2175$  jed/L bila brojnija u litoralu, nego u pelagijalu ( $3475 \pm 1882$  jed/L) (Slika 4, Tablica 5). Unutar skupine Rotifera brojnosti su najviše pridonijele vrste *Keratella tecta* (29 %) i *Anuraeopsis fissa* (19 %). U litoralu je također srednja vrijednost brojnosti Cladocera ( $13 \pm 26$  jed/L) bila manja u odnosu na Copepoda ( $416 \pm 332$  jed/L) (Slika 4, Tablica 5). Cladocera su bili predstavljeni uglavnom vrstom *Bosmina longirostris*, a od Copepoda su prevladavali ličinački stadiji vrste *Thermocyclops oithonoides*.

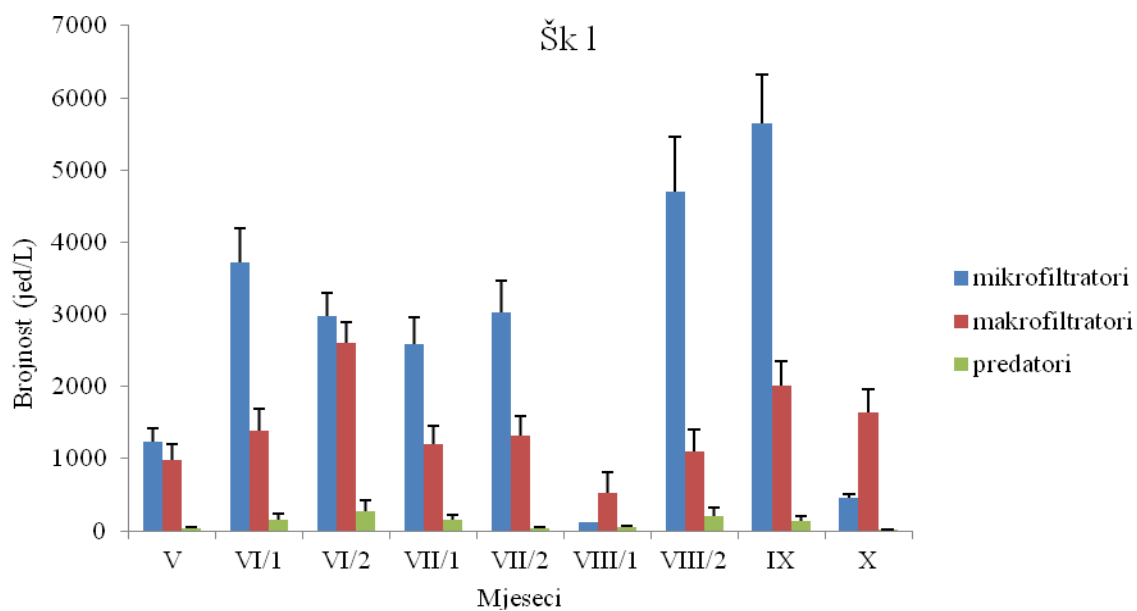
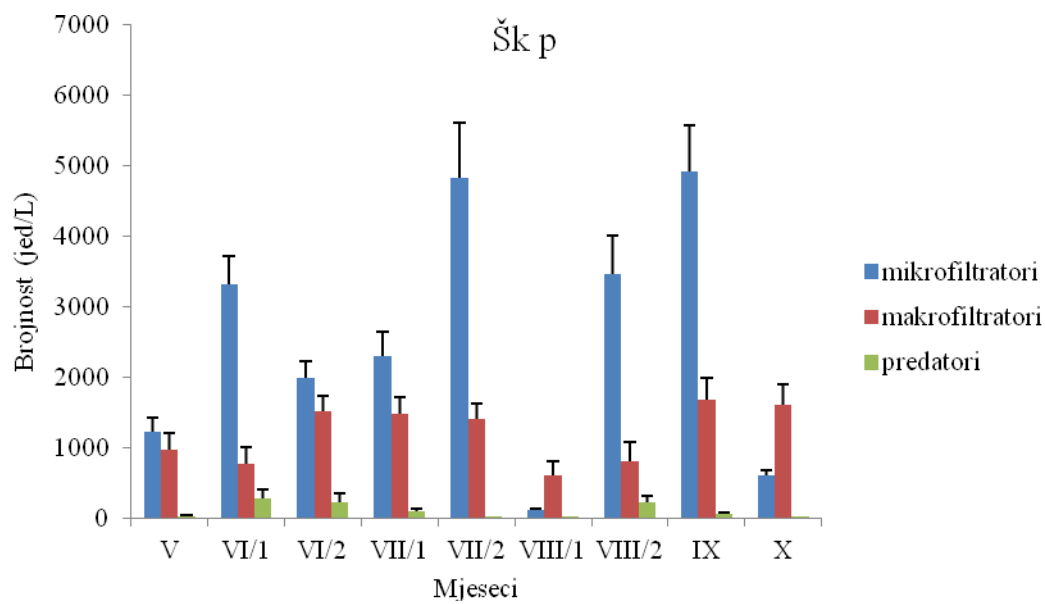


Slika 4 Vremenske promjene brojnosti ( $n = 3 \pm SD$ ) skupina zooplanktona: Protozoa, Rotifera, Cladocera i Copepoda i ukupnog zooplanktona na postajama Šk p i Šk 1

#### 4.2.1. Trofička struktura zooplanktona eutrofne mrtvaje Škrčev kut

Trofička struktura zooplanktona Škrčevog kuta određena je na temelju podataka brojnosti skupina Rotifera, Cladocera i Copepoda.

Zabilježeni broj mikrofiltratorskih svojti u pelagijalu je iznosio 21, a u litoralu 25, makrofiltratorskih svojti u pelagijalu i litoralu je bilo 8, dok su predatore predstavljale 4 svojte u pelagijalu te 3 u litoralu. I u pelagijalu i u litoralu najbrojniji su bili mikrofiltratori sa srednjom vrijednošću od  $2533 \pm 1734$  jed/L u pelagijalu odnosno  $2718 \pm 1863$  jed/L u litoralu (Slika 5). Mikrofiltratori su u rujnu zabilježili najveću brojnost na obje postaje, u pelagijalu ( $4932 \pm 656$  jed/L), a u litoralu ( $5648 \pm 677$  jed/L). Veća brojnost mikrofiltratora je zabilježena u litoralu u odnosu na pelagijal, a najbrojnija vrsta na obje postaje bila je *Keratella tecta*. Brojnost marofiltratorskih vrsta u mrtvaji Škrčev kut također je bila veća u litoralu u odnosu na pelagijal. Dominantna vrsta makrofiltratora na obje postaje je bila *Trichocerca similis* sa srednjom vrijednošću od  $443 \pm 334$  jed/L u pelagijalu i  $618 \pm 373$  jed/L u litoralu. Predatori su na obje postaje zabilježili najmanju brojnost te je *Thermocyclops oithonoides* sa srednjom vrijednošću od  $66 \pm 91$  jed/L u pelagijalu te  $104 \pm 98$  jed/L u litoralu bila najbrojnija predatorska vrsta.



Slika 5 Prikaz brojnosti ( $n = 3 \pm SD$ ) trofičkih skupina zooplanktona (mikrofiltratori, makrofiltratori, predatori) na postajama Šk p i Šk 1

Tablica 4 Raznolikost, brojnost i trofička skupina (FFG) zooplanktona istraživanog lokaliteta mrtvaje Škrčev kut na postaji Šk p (Škrčev kut - pelagijal); MI – mikrofiltratori, MA – makrofiltratori, P – predatori

Svoja/vrsta	FFG	V	VI/1	VI/2	VII/1	VII/2	VIII/1	VIII/2	IX	X
		SV ± SD								
<b>Ciliophora</b>										
<i>Tintinnidium fluviatile</i>					470 ± 130	6 ± 11				
<i>Tintinnopsis lacustris</i>		151 ± 8			862 ± 175	8 ± 7		1262 ± 175	110 ± 48	10 ± 17
<i>Vorticella</i> sp.		1 ± 2								
<b>Ciliophora ukupno</b>		<b>152 ± 7</b>			<b>1333 ± 305</b>	<b>14 ± 15</b>		<b>1262 ± 175</b>	<b>110 ± 48</b>	<b>10 ± 17</b>
<b>Sarcodina</b>										
<i>Arcella dentata</i>			3 ± 5							
<i>Arcella discoïdes</i>		8 ± 14					2 ± 4		4 ± 3	1 ± 1
<b>Sarcodina ukupno</b>		<b>8 ± 14</b>	<b>3 ± 5</b>				<b>2 ± 4</b>		<b>4 ± 3</b>	<b>1 ± 1</b>
<b>Rotifera</b>										
<i>Anuraeopsis fissa</i>	MI							2554 ± 266	2027 ± 285	31 ± 17
<i>Ascomorpha ovalis</i>	MA	251 ± 55	5 ± 5		554 ± 94					158 ± 63
<i>Asplanchna priodonta</i>	P	32 ± 28	276 ± 219	6 ± 4	8 ± 6	8 ± 9		9 ± 5	25 ± 16	4 ± 5
<i>Bdelloidea</i>	MI		8 ± 11							
<i>Brachionus angularis</i>	MI		19 ± 16	554 ± 82	30 ± 10	229 ± 31	16 ± 15	432 ± 120	92 ± 20	23 ± 10
<i>Brachionus calyciflorus</i>	MI		19 ± 26							
<i>Brachionus falcatus</i>	MI							2 ± 3		
<i>Brachionus forficula</i>	MI					6 ± 0	9 ± 4	96 ± 3		
<i>Brachionus quadridentatus</i>	MI		1 ± 2							
<i>Cephalodella auriculata</i>	P		1 ± 2							
<i>Cephalodella gibba</i>	P		1 ± 2							1 ± 1
<i>Collothecidae</i>	MI					35 ± 13				
<i>Colurela obtusa</i>	MI		1 ± 2			6 ± 0			2 ± 3	
<i>Colurella uncinata</i>	MI		12 ± 12		2 ± 3					
<i>Filinia longiseta</i>	MI	15 ± 5	492 ± 238	10 ± 7						2 ± 3
<i>Gastropus stylifer</i>	MA	11 ± 2			2 ± 3	6 ± 11		2 ± 3	2 ± 3	62 ± 49
<i>Keratella cochlearis</i>	MI	260 ± 73	1535 ± 602	550 ± 186	890 ± 115	288 ± 32	14 ± 19	126 ± 40	450 ± 113	170 ± 34
<i>Keratella quadrata</i>	MI	108 ± 42	23 ± 14	5 ± 4	3 ± 6					
<i>Keratella tecta</i>	MI	848 ± 185	1161 ± 549	823 ± 257	1355 ± 97	3572 ± 170	28 ± 7	160 ± 56	2331 ± 251	343 ± 81
<i>Lecane bulla</i>	MI							3 ± 3		
<i>Lecane closteroerca</i>	MI		1 ± 2	1 ± 2	10 ± 5				2 ± 3	1 ± 1
<i>Lecane hamata</i>	MI					2 ± 4				
<i>Lepadella patella</i>	MI			3 ± 3	5 ± 5					
<i>Polyarthra</i> spp.	MA	439 ± 100	607 ± 185	59 ± 9	30 ± 7	63 ± 23	35 ± 12	19 ± 12	482 ± 96	270 ± 38
<i>Pompholyx sulcata</i>	MI					697 ± 44	51 ± 11	78 ± 58	28 ± 8	39 ± 20
<i>Synchaeta pectinata</i>	MA	213 ± 24							25 ± 27	22 ± 8
<i>Synchaeta tremula</i>	MA	39 ± 34							9 ± 8	
<i>Trichocerca pusila</i>	MA		11 ± 10	321 ± 58	30 ± 7	206 ± 37		103 ± 63	185 ± 65	
<i>Trichocerca similis</i>	MA	9 ± 8	57 ± 23	393 ± 63	518 ± 69	902 ± 273	264 ± 39	299 ± 52	592 ± 85	956 ± 45
<b>Rotifera ukupno</b>		<b>2224 ± 464</b>	<b>4231 ± 1758</b>	<b>2731 ± 428</b>	<b>3437 ± 341</b>	<b>6021 ± 239</b>	<b>418 ± 40</b>	<b>3883 ± 458</b>	<b>6251 ± 616</b>	<b>2082 ± 113</b>
<b>Gastrotricha ukupno</b>										
<i>Neogosseia</i> sp.								2 ± 4		
<b>Cladocera</b>										
<i>Bosmina longirostris</i>	MI	3 ± 2	44 ± 34	45 ± 33			5 ± 4	8 ± 3		
<i>Polyphemus pediculus</i>	MI			1 ± 2						
<b>Cladocera ukupno</b>		<b>3 ± 2</b>	<b>44 ± 34</b>	<b>46 ± 35</b>			<b>5 ± 4</b>	<b>8 ± 3</b>		
<b>Copepoda</b>										
<i>Eudiaptomus gracilis</i>	MA	1 ± 2	3 ± 5	9 ± 7					2 ± 3	
<i>Thermocyclops oithonoides</i> nauplij	P			228 ± 47	90 ± 20	10 ± 4	19 ± 8	208 ± 103	32 ± 38	6 ± 1
	MA	19 ± 14	96 ± 69	729 ± 85	352 ± 26	225 ± 99	303 ± 65	384 ± 146	391 ± 74	150 ± 153
<b>Copepoda ukupno</b>		<b>20 ± 12</b>	<b>99 ± 74</b>	<b>966 ± 118</b>	<b>442 ± 8</b>	<b>235 ± 97</b>	<b>322 ± 73</b>	<b>593 ± 246</b>	<b>425 ± 108</b>	<b>156 ± 152</b>
<b>Insecta</b>										
<i>Diptera</i> ličinka				5 ± 5						
<i>Ephemeroptera</i> ličinka						2 ± 4				
<b>Insecta ukupno</b>				<b>5 ± 5</b>		<b>2 ± 4</b>				
<b>Zooplankton ukupno</b>		<b>2407 ± 463</b>	<b>4376 ± 1850</b>	<b>3747 ± 542</b>	<b>5211 ± 242</b>	<b>6272 ± 323</b>	<b>749 ± 56</b>	<b>5745 ± 837</b>	<b>6789 ± 664</b>	<b>2248 ± 193</b>

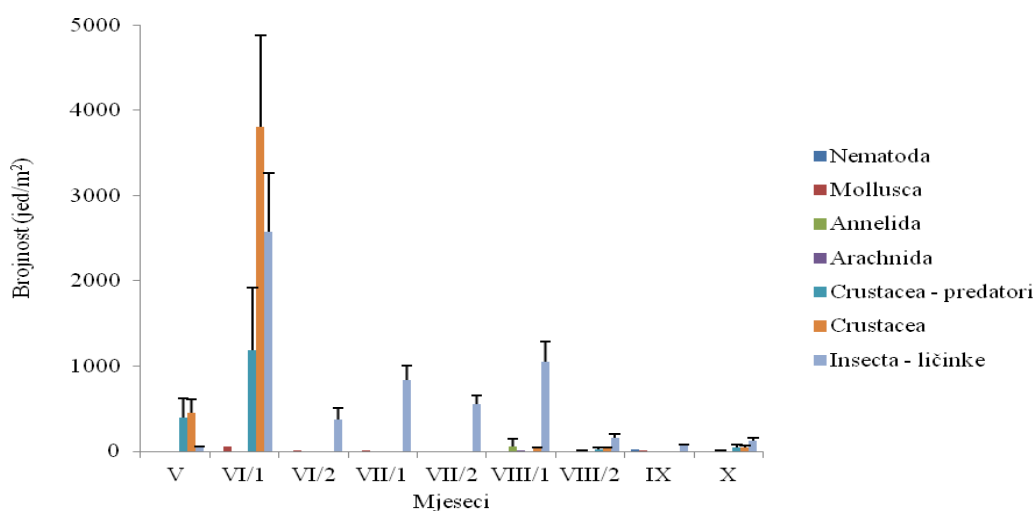
Tablica 5 Raznolikost, brojnost i trofička skupina (FFG) zooplanktona istraživanog lokaliteta mrtvaje Škrčev kut na postaji Šk I (Škrčev kut – litoral); MI – mikrofiltratori, MA – makrofiltratori, P – predatori

Svojt/Vrsta	FFG	VI/1	VI/2	VII/1	VII/2	VIII/1	VIII/2	IX	X
		SV ± SD							
<b>Ciliophora</b>									
<i>Tintinnidium fluviatile</i>				483 ± 441					
<i>Tintinnopsis lacustris</i>				834 ± 184	21 ± 19		3944 ± 123	391 ± 69	12 ± 20
<b>Ciliophora ukupno</b>				<b>1318 ± 567</b>	<b>21 ± 19</b>		<b>3944 ± 123</b>	<b>391 ± 69</b>	<b>12 ± 20</b>
<b>Sarcodina ukupno</b>									
<i>Arcella discoidea</i>					4 ± 6			3 ± 2	3 ± 6
<b>Rotifera</b>									
<i>Anuraeopsis fissa</i>	MI						3766 ± 218	2416 ± 320	3 ± 6
<i>Ascomorpha ovalis</i>	MA			310 ± 40					66 ± 66
<i>Asplanchna priodonta</i>	P	145 ± 52		2 ± 3	7 ± 7		13 ± 11	6 ± 5	
<i>Brachionus angularis</i>	MI	9 ± 8	618 ± 156	73 ± 24	184 ± 57	40 ± 18	309 ± 164	88 ± 36	34 ± 31
<i>Brachionus calyciflorus</i>	MI	4 ± 8							2 ± 3
<i>Brachionus falcatus</i>	MI							1 ± 2	
<i>Brachionus forficula</i>	MI				1 ± 2		239 ± 118		
<i>Cephalodella gibba</i>	P			2 ± 3					2 ± 3
<i>Collothecidae</i>	MI			6 ± 10	19 ± 4	5 ± 4			
<i>Colurela obtusa</i>	MI	4 ± 8		2 ± 3	11 ± 10	2 ± 4		3 ± 2	
<i>Colurella uncinata</i>	MI		13 ± 12						
<i>Euchlanis dilatata</i>	MI								5 ± 9
<i>Filinia longiseta</i>	MI	257 ± 108	18 ± 19					1 ± 2	
<i>Gastropus stylifer</i>	MA			21 ± 9	2 ± 4				57 ± 36
<i>Keratella cochlearis</i>	MI	1954 ± 618	1092 ± 199	685 ± 104	174 ± 66	16 ± 4	130 ± 32	569 ± 180	130 ± 60
<i>Keratella quadrata</i>	MI	4 ± 8	8 ± 13						
<i>Keratella tecta</i>	MI	1404 ± 528	1178 ± 137	1809 ± 146	2138 ± 183	23 ± 25	157 ± 76	2472 ± 147	236 ± 73
<i>Lecane closterocerca</i>	MI	7 ± 7	15 ± 8	6 ± 0				1 ± 2	
<i>Lecane flexillis</i>	MI							1 ± 2	2 ± 3
<i>Lecane hamata</i>	MI			2 ± 3	1 ± 2			1 ± 1	
<i>Lepadella patella</i>	MI	4 ± 4			1 ± 2	7 ± 12		4 ± 0	3 ± 3
<i>Lophocharis oxysternon</i>	MI		3 ± 4						
<i>Monommatia longiseta</i>	MI				1 ± 2				
<i>Polyarthra</i> spp.	MA	1221 ± 417	99 ± 33	13 ± 3	90 ± 36	33 ± 15	10 ± 6	364 ± 70	470 ± 149
<i>Pompholyx sulcata</i>	MI				498 ± 117	21 ± 7	102 ± 60	90 ± 30	46 ± 25
<i>Synchaeta pectinata</i>	MA							64 ± 15	39 ± 20
<i>Synchaeta tremula</i>	MA							7 ± 12	
<i>Trichocerca pusila</i>	MA	33 ± 30	1072 ± 244	63 ± 25	193 ± 50		28 ± 17	105 ± 43	
<i>Trichocerca similis</i>	MA	66 ± 40	560 ± 18	541 ± 80	793 ± 124	138 ± 8	771 ± 334	1151 ± 182	922 ± 139
<b>Rotifera ukupno</b>		<b>5113 ± 1758</b>	<b>4674 ± 364</b>	<b>3534 ± 388</b>	<b>4114 ± 130</b>	<b>285 ± 23</b>	<b>5526 ± 886</b>	<b>7345 ± 490</b>	<b>2017 ± 211</b>
<b>Gastrotricha ukupno</b>									
<i>Neogosseia</i> sp.							9 ± 11	9 ± 11	
<b>Cladocera</b>									
<i>Alona rectangularis</i>	MI	2 ± 4							
<i>Bosmina longirostris</i>	MI	48 ± 30	28 ± 4		1 ± 2	2 ± 4			
<i>Chydorus sphaericus</i>	MI	7 ± 11							
<i>Scapholeberis kingi</i>	MI	10 ± 5							
<i>Scapholeberis mucronata</i>	MI	4 ± 8							
<b>Cladocera ukupno</b>		<b>72 ± 41</b>	<b>28 ± 4</b>		<b>1 ± 2</b>	<b>2 ± 4</b>			
<b>Copepoda</b>									
<i>Eudiaptomus gracilis</i>	MA							16 ± 10	
<i>Thermocyclops oithonoides</i>	P	7 ± 7	271 ± 65	142 ± 53	26 ± 16	49 ± 7	199 ± 155	131 ± 85	7 ± 8
nauplij	MA	66 ± 17	869 ± 158	254 ± 36	245 ± 57	357 ± 81	288 ± 93	311 ± 80	91 ± 18
<b>Copepoda ukupno</b>		<b>73 ± 24</b>	<b>1140 ± 221</b>	<b>396 ± 80</b>	<b>271 ± 67</b>	<b>406 ± 84</b>	<b>487 ± 248</b>	<b>458 ± 151</b>	<b>98 ± 18</b>
<b>Zooplankton ukupno</b>		<b>5257 ± 1810</b>	<b>5842 ± 580</b>	<b>5458 ± 487</b>	<b>4412 ± 202</b>	<b>702 ± 109</b>	<b>9957 ± 1254</b>	<b>8197 ± 576</b>	<b>2130 ± 225</b>

### 4.3. Sastav makrozoobentosa litoralne zone eutrofne mrtvaje Škrčev kut

U makrozoobentosu Škrčevog kuta zabilježeni su predstavnici skupina Nematoda, Mollusca, Annelida, Arachnida, Crustacea i ličinki Insecta (Ephemeroptera, Odonata, Coleoptera, Diptera, Heteroptera, Collembola). Najveći udio u brojnosti imali su Insecta (55 %) s maksimumom od  $2576 \pm 683$  jed/m<sup>2</sup>, a slijede ih Crustacea (42 %) s maksimumom od  $3800 \pm 1073$  jed/m<sup>2</sup>. Obje skupine su najveću brojnost postigle početkom lipnja (Slika 6). Od Insecta najbrojniji su bili redovi Diptera ( $2367 \pm 283$  jed/m<sup>2</sup>) i Ephemeroptera ( $213 \pm 494$  jed/m<sup>2</sup>). Od Crustacea najveći udio u brojnosti imali su Cladocera (60 %), dok je udio Copepoda bio gotovo dvostruko manji (36 %). Brojnost Cladocera (rod *Simocephalus*) se kretala od 8 jed/m<sup>2</sup> do 2496 jed/m<sup>2</sup>, a Copepoda od 24 jed/m<sup>2</sup> do 1144 jed/m<sup>2</sup>. Brojnost tih dviju skupina je bila veća u svibnju te početkom lipnja, dok je u ostalim mjesecima bila smanjena.

Predatori u makrozoobentosu litorala su predstavljeni sa jedinkama iz skupina Insecta (porodica Chironomidae), rakovima iz porodice Cyclopidae te jedinkama Hydracarina. Brojnosti predatora najviše je pridonijela porodica Chironomidae, s maksimumom početkom lipnja ( $920$  jed/m<sup>2</sup>) dok je minimum bio u rujnu ( $24$  jed/m<sup>2</sup>). Predatorski rakovi predstavljali su 38 % ukupne brojnosti rakova u makrozoobentosu litorala ovog istraživanja. Najmanju zastupljenost od svih skupina u ovom uzorku imale su jedinice Hydracarina sa udjelom od 0,15 % u ukupnoj brojnosti.



Slika 6 Vremenske promjene brojnost ( $n = 3 \pm SD$ )skupina makrozoobentosa na lokalitetu Škrčev kut

#### 4.4. Ihtiofauna pelagijala i litorala eutrofne mrtvaje Škrčev kut

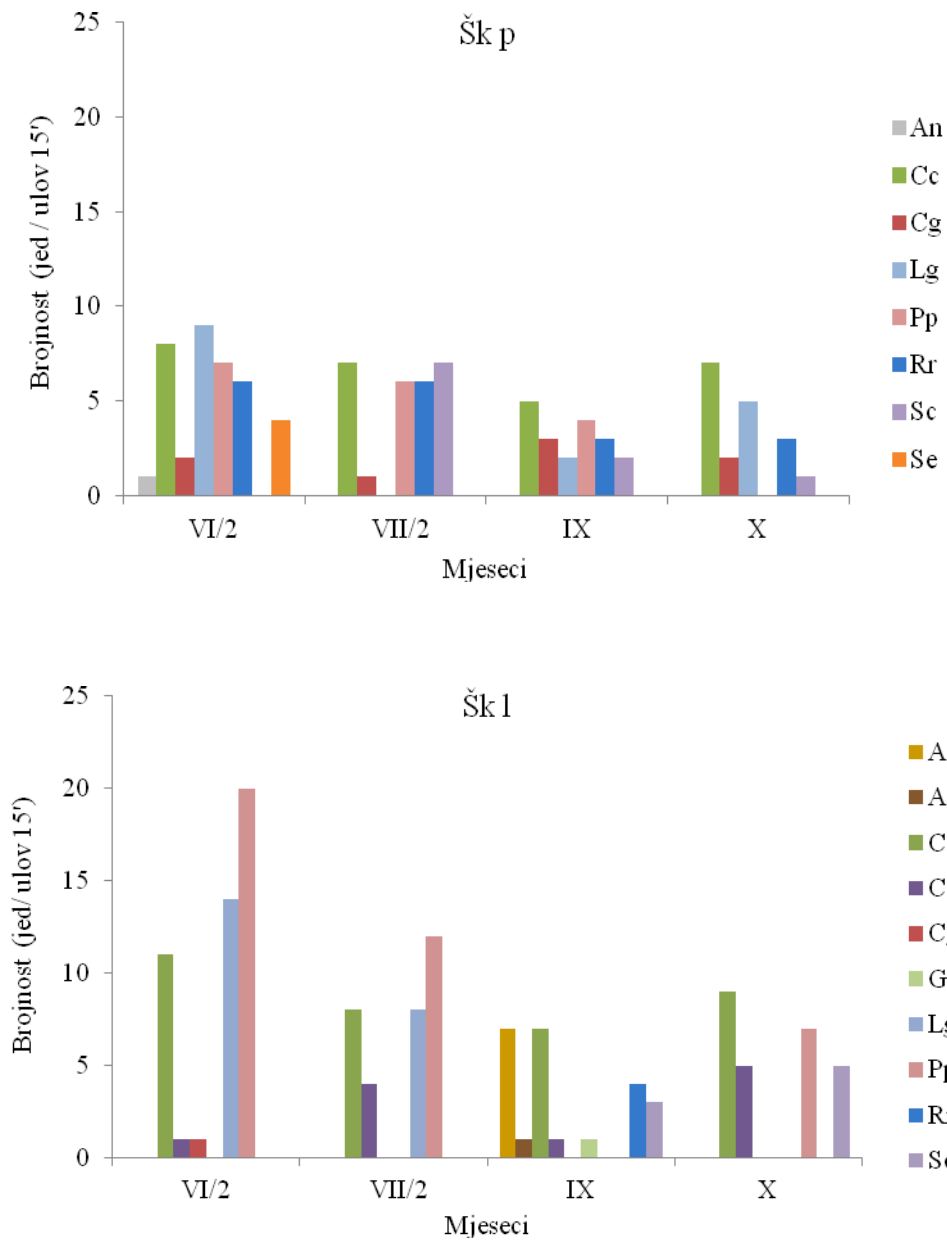
U pelagijalu je zabilježeno 8 različitih vrsta riba, a dominirale su šaranke. Zabilježene su 4 vrste planktivornih te 4 vrste koje imaju planktivorno/piscivornu prehranu. Najveći udio u brojnosti pelagijalnih riba imao je šaran (27 %), a slijedili su ga bodorka (18 %), bezribica (17 %) i sunčanica (16 %). Brojnost ihtiofaune se smanjivala od lipnja prema listopadu (Slika 7). Ukupnoj masi ihtiofaune najviše se pridonijeli babuška ( $60 \pm 30$  g) i klen ( $39 \pm 32$  g). Masa riba početkom ljeta je bila manja u odnosu na kasnije razdoblje. Najveća masa je zabilježena u rujnu kada je iznosila 204 g, a najmanja u lipnju (85 g). Ukupna srednja vrijednost dužine riba je iznosila  $7,6 \pm 5,7$  cm te se u svim mjesecima kretala oko te vrijednosti. Osim mase, babuška i klen su imali i najveće dužine od prisutnih riba (klen  $13 \pm 9$  cm; babuška  $12 \pm 4$  cm).

U području litorala također su dominirale šaranke te su bili prisutni i primjerci grgečke. Od 10 prisutnih vrsta, tri su vrste imale planktivorno/piscivornu prehranu, dok su preostalih 7 vrsta bile planktivori. U brojnosti riba dominirala je bezribica ( $10 \pm 8$ ), a pored nje veću brojnost zabilježio je šaran ( $9 \pm 2$ ) s maksimumima krajem lipnja (bezribica 20 jed, šaran 11 jed) (Slika 7). Najveća masa riba zabilježena je krajem lipnja (224,5 g), dok je u ostalim mjesecima masa riba bila znatno manja. Ukupnoj masi najviše je pridonio šaran (66 %), s maksimumom 172,6 g krajem lipnja. Šaran je zabilježio i najveću dužinu od svih riba u litoralu sa srednjom vrijednošću od  $11,8 \pm 8,2$  cm, osim njega veću dužinu tijela imao je i vijun  $10,3 \pm 2,2$  cm.

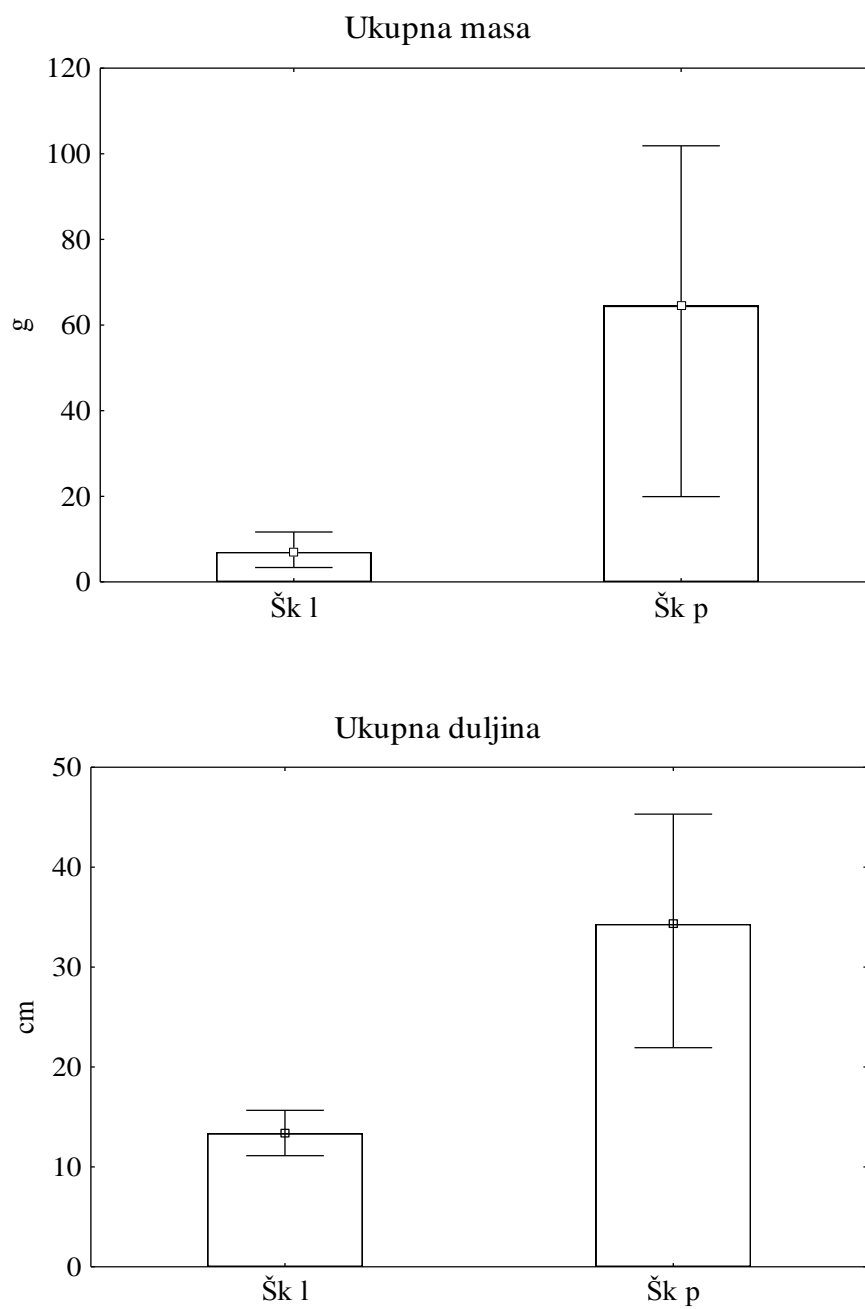
U litoralu je bila veća brojnost ( $3 \pm 5$  jed/L) i raznolikost vrsta (10), u odnosu na pelagijal gdje je zabilježeno 8 vrsta uz brojnost  $3 \pm 3$  jed/L. Srednja vrijednost mase riba je u litoralu ( $3 \pm 6$  g) bila manja u odnosu na pelagijal ( $16 \pm 5$  g). Isto su pokazale vrijednosti za dužinu koje su bile manje u litoralu, a veće u pelagijalu (Slika 8).

Iz rezultata analize Mann Whitney U testa za usporedbu ihtiofaune između postaja Šk p i Šk l proizlazi da su u litoralu vrijednosti ukupne mase ( $Z = -2,17$ ;  $p = 0,03$ ) i duljine riba ( $Z = -2,17$ ;  $p = 0,03$ ) bile statistički značajno manje u odnosu na pelagijal.





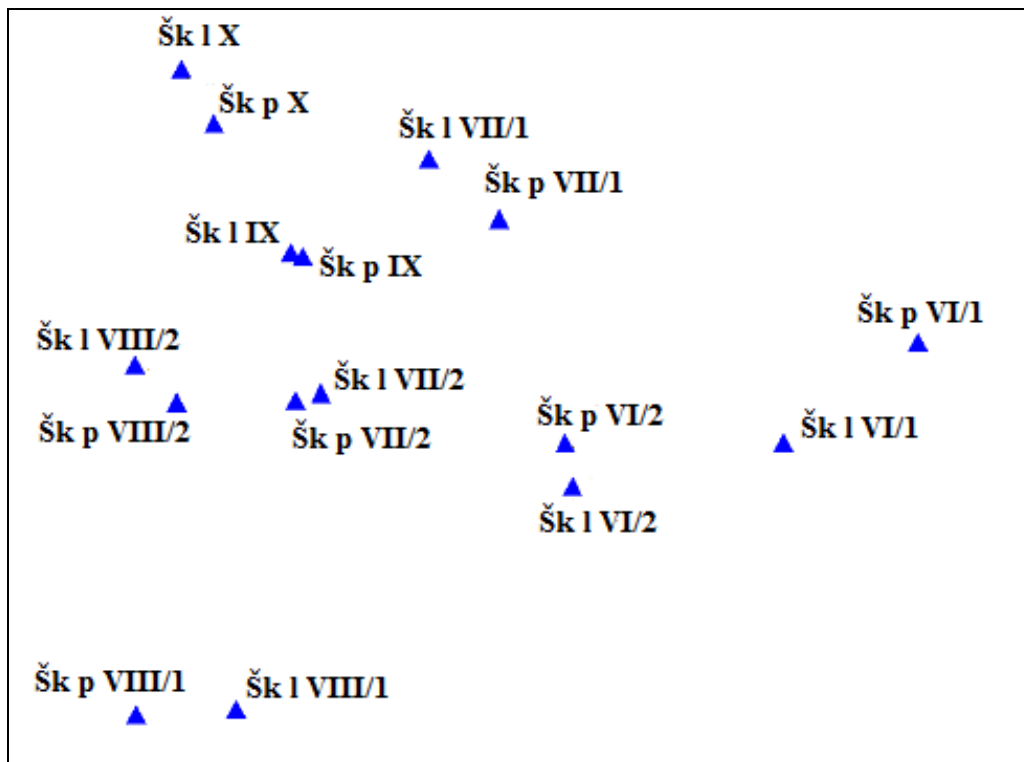
Slika 7 Vremenske promjene brojnosti i raznolikosti riba na postajama Šk p (Škrčev kut pelagijal) i Šk l (Škrčev kut litoral); šaranke - obična uklija (Aa), deverika (Ab), babuška (Cg), vijun (Ce), šaran (Cc), krkuša (Gg), bezribica (Pp), bodorka (Rr), klen (Sc), crvenperka (Se); grgečka - sunčanica (Lg); somovka - patuljasti somić (An)



Slika 8 Statistički značajne prostorne razlike ukupne mase i ukupne duljine riba između postaja Šk p i Šk 1; Legenda:  $\square$  srednja vrijednost,  $\perp$  Minimalna – Maksimalna vrijednost

#### 4.5. Analiza sličnosti zajednica i međusobni abiotički/biotički odnosi

Metoda nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja je ukazala na grupiranje vrijednosti brojnosti zooplanktona prema vremenskim promjenama, odnosno mjesecima uzorkovanja. Prostorne razlike brojnosti zooplanktona, između pelagijala i litorala istog mjeseca, nisu bile značajno različite. Najveći stupanj sličnosti u brojnosti zooplanktona između postaja Šk p i Šk l zabilježen je u rujnu, dok je najmanja sličnost bila početkom lipnja (Slika 9).



Slika 9 Udruživanje postaja s obzirom na vremenske promjene zooplanktona (NMDS, temeljem Bray Curtis indeksa sličnosti, 2D stres 0,13).

Spearmanov test korelacija ukazuje da je koncentracija nitrata statistički značajno ( $p < 0,05$ ) i pozitivno utjecala na mutnoću ( $r = 0,67$ ), a negativno na prozirnost vode ( $r = -0,80$ ). Pokrovnost makrofita i mutnoća vode su bile u negativnoj korelaciji ( $r = -0,78$ ). Biomasa fitoplanktona je kao izvor hrane značajno negativno utjecala na mikrofiltratore ( $r = -0,90$ ) i vrstu *Keratella tecta* ( $r = -0,98$ ), dok je suspendirana organska tvar pozitivno utjecala na mikrofiltratore ( $r = 0,87$ ) i *K. tecta* ( $r = 0,95$ ). Vrijednosti suspendirane organske tvari i klorofila *a* su statistički značajno negativno korelirale ( $r = -0,97$ ). Mikrofiltratorski Cladocera

bili su u kompeticiji za hranu sa skupinom Ciliophora na što ukazuje njihov negativni korelacijski odnos ( $r = -0,81$ ). Predatorski rakovi u sastavu bentosa negativno su utjecali na brojnost trofičkih skupina mikrofiltratora ( $r = -0,76$ ) i predatora ( $r = -0,76$ ) u planktonu. Također proizlazi da su Cladocera u sastavu bentosa su negativno utjecali na planktonske makrofiltratore ( $r = -0,82$ ). Ličinke kukaca u bentosu negativno su utjecale na vrstu Rotifera *Anuraeopsis fissa* ( $r = -0,93$ ).

Ihtiofauna je svojom ukupnim brojnošću negativno utjecala na vrstu *A. fissa* ( $r = -0,84$ ). Klen je statistički značajno negativno utjecao na skupine Cladocera ( $r = -0,86$ ) i Copepoda ( $r = -0,71$ ), u odnosu na sunčanicu koja je pozitivno korelirala s tim skupinama (Cladocera,  $r = 0,91$ ; Copepoda  $r = 0,77$ ). Sunčanica i klen su međusobno negativno korelirali ( $r = -0,95$ ). Šaran je negativno utjecao na biomasu ( $r = -0,87$ ) i duljinu tijela ( $r = -0,87$ ) bodorke, kao i bezribica (biomasa i duljina,  $r = -0,72$ ). Šaran ( $r = 0,75$ ) i bezribica ( $r = 0,88$ ) su pozitivno utjecali na ukupnu brojnost riba. Zabilježene korelacije između ukupne mase i ukupne duljine riba te planktona i bentosa nisu bile statistički značajne (Spearmanov koeficijent korelacije,  $p > 0,05$ ). Ukupna masa i duljina riba u pelagijalu negativno je utjecala na Cladocera, Copepoda i ličinke Insecta u bentosu, dok je u području litorala taj utjecaj bio pozitivan. Ukupna masa i duljina riba su negativno utjecali na Rotifera, Sarcodina i Ciliophora u litoralu, dok je njihov utjecaj na ove skupine u pelagijalu bio pozitivan.

## 5. RASPRAVA

Razlike u strukturi zooplanktona između pelagijala i litorala istraživane su u plitkoj eutrofnoj mrtvaji Škrčev kut. Analize podataka biotičkih i abiotičkih čimbenika ukazuju da biotički čimbenici više utječu na strukturiranje zajednica zooplanktona u plitkim jezerima, ali i utjecaj abiotičkih čimbenika nije zanemariv.

Tijekom istraživanog razdoblja vrijednosti količine otopljenog kisika su bile obrnuto proporcionalne vrijednostima temperature vode. Negativnu korelaciju između temperature vode i koncentracije kisika, potvrdili su i drugi autori (Castro i sur., 2005). Smatram da je na veći pad koncentracije otopljenog kisika krajem srpnja i početkom kolovoza osim temperature vode utjecalo i povećanje otopljenih organskih tvari koje su zabilježene u tom razdoblju. Povišenje otopljenih organskih tvari može upućivati na povećanu mikrobnu razgradnju koju slijedi i niža koncentracija kisika zabilježena u tom razdoblju (Decker i sur., 2004; Špoljar i sur., 2005).

U svibnju je zabilježena najmanja prozirnost vode na što su utjecale povišene koncentracije nitrata zabilježenih u tom mjesecu. Najmanja mutnoća zabilježena je krajem srpnja što se podudaralo s niskim koncentracijama nitrata i orto-fosfata. Povišene koncentracije hranjivih tvari (nitrata i orto-fosfata) utječu na smanjenje prozirnosti vode jer dovode do povećanog razvoja fitoplanktona. U ovom istraživanju koncentracije klorofila *a*, koje se nisu značajno razlikovale između litorala i pelagijala, slijedile su koncentracije nitrata i orto-fosfata. Lauridsen i sur. (1999) te Estlander i sur. (2009) navode da je povećanje biomase fitoplanktona glavni uzrok mutnoće jezera.

Smanjenje mutnoće u srpnju pratila je i pojava floatantnih makrofita, koji su u ostalim mjesecima s visokom mutnoćom izostali. O povezanosti velike mutnoće i izostanaka vegetacije u svojim radovima govore Hilt i sur. (2010) te Špoljar i sur. (2011a). Povećanjem biomase fitoplanktona povećavala se mutnoća, stoga svjetlost, kao jedan od najvažnijih abiotičkih čimbenika odgovornih za pokrovnost dna makrofitima, nije dopirala do dna te je time rast i razvoj submerznih makrofita bio onemogućen.

Tijekom istraživanog razdoblja konduktivitet je pozitivno, ali ne i značajno, korelirao s koncentracijama nitrata i nitrita. Povećanje konduktiviteta od kraja srpnja prema listopadu bilo je pod utjecajem povećanja koncentracija nitrata i orto-fosfata u tom razdoblju. U plitkim

jezerima bez makrofita, kao što je mrtvaja Škrčev kut, povećana je resuspenzija sedimenta, posebno uslijed djelovanja vjetra kojim se u stupac vode oslobađaju ioni iz sedimenta i time povećavaju konduktivitet. Povećanje koncentracije orto-fosfata početkom srpnja objašnjavam ispiranjem mineralnog gnojiva s okolnih oranica te ribolovnim aktivnostima (prihrana riba).

Ukupna brojnost i raznolikost zooplanktona između pelagijala i litorala nije se značajno razlikovala, što objašnjavam visokom mutnoćom jezera. U uvjetima smanjene vidljivosti, uslijed visoke mutnoće, zooplanktonske skupine su manje migrirale u potrazi za zaklonom, jer je u takvim uvjetima smanjena efikasnost vizualnih predatora (riba) u hvatanju plijena (Jeppesen i sur., 1999).

Predatori kroz selektivnu predaciju utječu na veličinsku strukturu zooplanktona. Vizualni predatori, hraneći se prvenstveno većim plijenom (Cladocera i Copepoda) smanjuju utjecaj njihove predacije, tj. kompeticije na sitnije organizme (Rotifera) te time pogoduju razvoju Rotifera. Sitnije jedinke postaju plijen tek kada se smanji brojnost većih jedinki (Estlander i sur., 2009; Špoljar i sur., 2011a). To je uočeno i u ovom istraživanju gdje su Rotifera zabilježili najveću brojnost i raznolikost od svih skupina na obje postaje. Povećanom razvoju Rotifera pogodovala je i mala brojnost Cladocera. Oni su kao zooplankton većih dimenzija i slabe pokretljivosti pod većim predacijskim pritiskom u odnosu na pokretljive Copepoda i sitnije Rotifera (Burks i sur., 2002; Romo i sur., 2004). U ovom istraživanju zabilježenu malu brojnost skupine Cladocera u zooplanktonu objašnjavam time da su zbog navedenih obilježja bili glavni izvor hrane predatorima. U toj skupini najbrojnija je bila vrsta *Bosmina longirostris* koja je manjih dimenzija, dok Cladocera većih dimenzija, poput rodova *Ceriodaphnia* i *Daphnia*, nisu zabilježene.

Smanjenje brojnosti većeg algivornog zooplanktona (Cladocera) od strane predatora utječe na promjenu prozirnosti vode jezera koja iz stanja veće prozirnosti prelaze u stanje povećane mutnoće s dominacijom fitoplanktona (Lauridsen i sur., 1999; Miracle i sur., 2007). Cottenie i sur. (2001) u svom radu govore da u jezerima s povećanom mutnoćom dominiraju Rotifera, dok veći algivori (npr. *Daphnia*) dominiraju u prozirnijim jezerima. To se podudara i s rezultatima ovog istraživanja tijekom kojeg je utvrđeno da su u mutnom eutrofnom jezeru dominirali Rotifera, dok veći algivorni rakovi nisu zabilježeni.

Vrlo malu brojnost zooplanktona u pelagijalu i litoralu početkom kolovoza objašnjavam niskim koncentracijama otopljenog kisika koje su tada zabilježene, te su mogle ograničiti

razvoj organizama, a visoke vrijednosti otopljenih organskih tvari, određenih na temelju kemijske potrošnje kisika, mogle su dovesti i do anoksičnih uvjeta. Roman i sur. (1993) su u svom istraživanju utvrdili da se pri niskim koncentracijama kisika smanjila brojnost Copepoda, te stopa filtriranja hrane, dok je manjak kisika utjecao na smanjenje izlijevanja iz jajeta.

Vrste Cladocera koje su zabilježene bentosu (rod *Simocephalus*) uglavnom žive pričvršćene za makrofite u litoralnoj zoni (Hanazato i sur., 2001). Smatram da su te vrste zbog izostanka makrofita zaklon od predatora potražile blizu sedimenta ili u njemu (Meerhoff i sur., 2007). Pri povećanju prozirnosti, u području litorala i u sedimentu dolazi do povećanja brojnosti planktonskih jedinki, ali samim tim raste i predacijski pritisak taktilnih predatora prema zooplanktonu (Jeppesen i sur., 1999; Burks i sur., 2002). U ovom istraživanju ličinke Insecta u bentosu su negativno utjecale na brojnost mikrofiltratorske vrste *Anuraeopsis fissa*. Taj negativna utjecaj od strane Insecta objašnjavam predacijskim pritiskom, budući da su najveću brojnost unutar te skupine postigle predatorske ličinke iz porodice Chironomidae. Negativan utjecaj predatorskih rakova bentosa na mikrofiltratore iz planktona objašnjavam, također, njihovim predacijskim pritiskom na tu skupinu organizama.

Od trofičkih skupina u mrtvaji Škrčevi kut najveću brojnost u litoralu i pelagijalu su postigli mikrofiltratori. Neka istraživanja ukazuju da se s povećanjem trofije povećava brojnost posebno nekih detritovornih vrsta kao što je utvrdili May i O'Hare (2005). To je zabilježeno i u ovom istraživanju, gdje je u jezeru visokog stupnja trofije ( $TSI_{SD} = 74$ ) zabilježena dominacija detritivora (mikrofiltratora). Detritusna suspenzija prezentirana kao koncentracija suspendiranih organskih tvari bila je glavni izvor hrane mikrofiltratorima. To je vidljivo i iz pozitivnih korelacija koncentracija suspendiranih organskih tvari s dominantnom mikrofiltratorskom vrstom *Keratella tecta*. Negativan utjecaj fitoplanktona, kao izvora hrane, na mikrofiltratore objašnjavam prvo time da fitoplankton nije njihov prvi izbor hrane, a također i time da u ovakvim jezerima, s visokim stupnjem trofije, dominiraju nitaste alge koje mikrofiltratori zbog prevelikih dimenzija ne mogu konzumirati (Karbin, 1985; Jeppesen i sur., 1999).

Značajan negativan utjecaj Cladocera na skupinu Ciliophora objašnjavam kompeticijom za hranu pri čemu su Cladocera bili uspješniji. Gilbert (1989) je u svom istraživanju utvrdio da Cladocera imaju negativan utjecaj na Rotifera i Ciliophora čija se brojnost znatno smanjila.

Razlog tome je viša stopa filtriranja hrane iz vode te konzumacija hrane šireg spektra od strane mnogih mikrofiltratorskih rakova u odnosu na Rotifera i Ciliophora te mogućnost oštećivanja ovih dviju skupina od strane Cladocera tijekom hranjenja.

U skladu s rezultatima prethodnih istraživanja, pretpostavljam da je utjecaj ihtiofaune na zooplankton ovisio o načinu njihove prehrane (Meerhoff i sur., 2007). Klen u svojoj prehrani uglavnom koristiti zooplankton, dok je udio piscivorne prehrane zabilježen kod većih primjeraka (Vlach i sur., 2013). U ovom istraživanju rezultati ukazuju da je klen negativno utjecao na skupine Cladocera i Copepoda, što objašnjavam time da se klen više hranio planktonom nego malim primjercima riba. Značajan negativan utjecaj klena na Cladocera i Copepoda u odnosu na Rotifera objašnjavam selektivnom predacijom na temelju veličine tijela. Ribe, kao vizualni predatori, prvo hvataju jedinke većih dimenzija (Cladocera i Copepoda), a tek nakon njih hvataju sitnije jedinke (Rotifera) (Estlander i sur., 2009). Pretpostavljam da je kod sunčanice koja također može biti planktivor i piscivor, prevladavala planktivorna prehrana kao i kod klena, dok je manji udio pripadao algama te jajima i ličinkama riba (Jordan i sur., 2009). Analize podataka u ovom istraživanju su pokazale da je sunčanica pozitivno utjecala na Cladocera i Copepoda, ali je bila u negativnoj korelaciji s klenom. Smatram da je došlo do kompeticije za hranu između klena i sunčanice u kojoj je klen bio uspješniji, pa je predacijski pritisak sunčanice na skupine Cladocera i Copepoda bio umanjen. Predacija od strane piscivornih riba te ponuda hrane razlog je migriranju planktivornih riba iz pelagijalu čime dolazi do povećanja njihove brojnosti u litoralu (Castro i sur., 2007). Veće vrijednosti masa i duljina tijela riba u pelagijalu u odnosu na litoral, iako je brojnost manja, objašnjavam prisutstvom većih primjeraka u području pelagijala, dok su ribe sitnijih dimenzija brojnije u litoralu. Negativan utjecaj šarana i bezribice na bodorku objašnjavam kompeticijom za hranu, koja je dovela do migriranja bodorke, prema pelagijalu gdje je postigla veću brojnost u odnosu na litoral.

Rezultati ovog rada ukazuju da je na intenzitet migracija i brojčanu strukturu zooplanktona horizontalnog profila jezera od okolišnih čimbenika prvenstveno utjecala prozirnosti, odnosno mutnoća. U malim vodenom tijelima prisutni su kompleksni biotički odnosi između planktona, bentosa i riba. Njihove međusobne interakcije utječu na strukturu zajednice te na stupanj trofije jezera.



## 6. ZAKLJUČAK

Prema rezultatima istraživanja zooplanktona, kao i abiotičkih i biotičkih čimbenika, provedenog u mrtvaji Škrčev kut, na dvije postaje Šk p (pelagijal) i Šk l (litoralna zona) mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Vrijednosti fizičko-kemijskih čimbenika pokazale su značajne sezonske promijene, dok razlike između pelagijala i litorala nisu bile statistički značajne.
- Stanje visoke mutnoće rezultat je povećanog razvoja fitoplanktona uslijed viših koncentracija hranjivih tvari. Visoka mutnoća utjecala je i na izostanak makrofita, čime je omogućena veća resuspenzija sedimenta od strane prisutnih organizama, a time i povećana koncentracija suspendiranih tvari.
- U stanju visoke mutnoće koja je zabilježena u istraživanom razdoblju, brojnost zooplanktona u pelagijalu i litoralu nije bila značajno različita. Ovi podaci ukazuju da je smanjen predatorski pritisak vizualnih predatora te da je zooplankton manje migrirao i bio homogeno raspoređen na horizontalnom profilu. Ipak, u litoralu neke su vrste (*Polyarthra* spp., *Trichocerca similis*) zabilježile veću brojnost, a skupina Cladocera veću raznolikost u odnosu na pelagijal.
- Na najmanju brojnost zooplanktona tijekom istraživanog razdoblja, koja je zabilježena početkom kolovoza, utjecale su niske vrijednosti koncentracije kisika, praćene visokom temperaturom i visokim koncentracijama otopljene organske tvari.
- Od trofičkih skupina najbrojniji u pelagijalu i litoralu su bili mikrofiltratori (*Keratella tecta*) na čiju je brojnost pozitivno utjecala suspenzija detritusa.
- Na obje postaje najbrojniji su bili predstavnici zooplanktona sitnijih dimenzija (Rotifera), čemu su pridonijeli vizualni predatori koji su se prvenstveno hrane većim zooplanktonom (Cladocera) te utječu na dominaciju sitnijih vrsta.
- Taktilni predatori makrozoobentosa prisutni unutar skupina Insecta (red Diptera) te rakova negativno su utjecali mikrofiltratorske Rotifera.
- Ribe su svojom predeacijom izazvale učinak trofičke kaskade, jer su utječući na veličinsku strukturu zooplanktona i njihovu brojnost, odnosno izostanak većeg algivornog zooplanktona (Cladocera) neizravno utjecale i na povećanje koncentracija fitoplanktona, a time i mutnoće i stupnja trofije.

## 7. LITERATURA

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

APHA (1985): Standard methods for the examination of water and wastewater 16th. Ed. Amer. Pub. Health Assoc. New York. str. 1268

Beckerman A.P., Gwendolene M. Rodgers G.M., Dennis S.R., (2010): The reaction norm of size and age at maturity under multiple predator risk. *Journal of Animal Ecology* 79: 1069–1076

Beklioglu M., Jeppesen E., (1999): Behavioural response of plant-associated *Eurycerus lamellatus* (Ö.F. Müller) to different food sources and fish cues. *Aquatic Ecology* 33: 167-173

Brooks J. H., Dodson S. I., (1965): Predation, body size, and composition of plankton. *Science* 150: 28-35

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

Burns C.W., Gilbert J.J., (1986): Direct observations of the mechanisms of interference between *Daphnia* and *Keratella cochlearis*. *Limnol. Oceanogr.* 31 (4): 859-866

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

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

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

Compte J., Gascón S., Quintana X.D., Boix D., (2011): Fish effects on benthos and plankton in a Mediterranean salt marsh. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 409: 259–266

Conde-Porcuna, J. M., (2000): Relative importance of competition with *Daphnia* (Cladocera) and nutrient limitation on *Anuraeopsis* (Rotifera) population dynamics in laboratory study. *Freshwater biology* 44: 423-430

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

Decker M.B., Breitburg D.L., Purcell J.P., (2004): Effects of low dissolved oxygen on zooplankton predation by the ctenophore *Mnemiopsis leidyi*. *Mar Ecol Prog Ser* 280: 163-172

Diehl E., (1992): Fish predation and benthic community structure: The role of omnivory and habitat complexity. *Ecology*.73 (5): 1646-1661

Duggan I. C., (2001): The ecology of periphytic rotifers. *Hydrobiologia* 446/447: 139-148

Einsle, U., (1993): Crustacea, Copepoda, Calanoida und Cyclopoida. Gustav Fischer Verlag, Berlin

Estlander S., Nurminen L., Olin M., Vinni M, Horppila J., (2009): Seasonal fluctuations in macrophyte cover and water transparency of four brown-water lakes: implications for crustacean zooplankton in littoral and pelagic habitats. *Hydrobiologia* 605:109-120

Gilbert J.J., (1989): The effect of Daphnia interference on natural rotifer and ciliate community: Short – term bottle experiments. *Limnol.Oceanogr.* 34 (3): 606 - 617

Hanazato T., Fueki K., Yoshimoto M., (2001): Fish-induced life-history shifts in the cladocerans Daphnia and Simocephalus: are they positive or negative responses? *Journal of plankton research.* 23 (9): 945-951

Herak M., (1984): Geotektonski okvir speleogeneze (Geotectonical frame of speleogenesis). *Zbornik Devetog speleološkog kongresa Jugoslavije (Karlovac, 1984), Zagreb:* 111-129

Hilt S., Henschke I., Rucker J., Nixdorf B., (2010): Can Submerged Macrophytes Influence Turbidity and Trophic State in Deep Lakes? Suggestions from a Case Study. *J. Environ. Qual.* 39: 725-733

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

Jeppesen E., Jensen J. P., Søndergaard M., Lauridsen T., Pedersen L. J., Jensen L., (1997): Top-down control in freshwater lakes: the role of nutrient state, submerged macrophytes and water depth. *Hydrobiologia* 342/343: 151-164

Jeppesen E., Jensen J. P., Søndergaard M., Lauridsen T., (1999): Trophic dynamics in turbid and clearwater lakes with special emphasis on the role of zooplankton for water clarity. *Hydrobiologia* 408/409: 217-231

Jordan, C., Backe, N., Wright, M.C., and Tovey, C.P., (2009): Biological synopsis of pumpkinseed (*Lepomis gibbosus*). *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2886: iv + 16 p

Karabin A., (1985): Pelagic zooplankton (Rotatoria + Crustacea) variations in the proces of lake eutrophication. I. Structural and quantitative features, *Ekol. pol.* 33: 567-616

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

Kuczynska-Kippen N., Nagengast B., (2003): The impact of the spatial structure of hydromacrophytes on the similarity of rotifera communities (Budzyńskie Lake, Poland). *Hydrobiologia* 506–509: 333-338

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

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

Lauridsen T. L., Jeppesen E., Mitchell S. F., Lodge D. M., Burks R. L., (1999): Diel variation in horizontal distribution of *Daphnia* and *Ceriodaphnia* in oligotrophic and mesotrophic lakes with contrasting fish densities. *Hydrobiologia* 408/409: 241-250

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

Meerhoff M., Iglesias C., De Mello F. T., Clemente J. M., Jensen E., Lauridsen T. L., Jeppesen E. (2007): Effects of habitat complexity on community structure and predator avoidance behaviour of littoral zooplankton in temperate versus subtropical shallow lakes. *Freshwater Biology*, 52: 1009-1021

Miracle M. R., Alfonso M. T., Vicente E., (2007): Fish and nutrient enrichment effects on rotifers in a Mediterranean shallow lake: a mesocosm experiment. *Hydrobiologia* 593: 77-94

Nusch E.A., (1980): Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. *Arch. Hydrobiol. Beih.* 14: 14-36

Roman M.R., Gauzens A.L., Rhinehart W.K., Jacques R. White J.R., (1993): Effects of low oxygen waters on Chesapeake Bay zooplankton. *Limnol.Oceanogr.* 38(8): 1603-1614

Romo S., Miracle M. R., Villena M.-J., Rueda J., Ferriol C., Vicente E., (2004): Mesocosm experiments on nutrient and fish effects on shallow lake food webs in a Mediterranean climate, *Freshwater Biology* 49: 1593-1607

Špoljar M., Habdija I., Primc-Habdija B., Sipos L., (2005): Impact of Environmental Variables and Food Availability on Rotifer Assemblage in the Karstic Barrage Lake Visovac (Krka River, Croatia). *Hydrobiologia* 90: 555-579

Špoljar M., Dražina T., Habdija I., Meseljević M. i Grčić Z., (2011a): Contrasting zooplankton assemblages in two oxbow lakes with low transparencies and narrow emergent macrophyte belts (Krapina River, Croatia). *International Review of Hydrobiology* 96: 175-190

Špoljar M., Fressl J., Dražina T., Meseljević M., Grčić Z., (2012): Epiphytic metazoans on emergent macrophytes in oxbow lakes of the Krapina River, Croatia: differences related to plant species and limnological conditions. *Acta Botanica Croatica* 71: 125-138

Walls M., Kortelainen I., Sarvala J., (1990): Prey responses to fish predation in freshwater communities. *Ann. Zool. Fennici* 27: 183-199

Vlach P., Švátora M., Dušek J., (2013): The food niche overlap of five fish species in the Úpoř brook (Central Bohemia). *Knowl. Managt. Aquatic Ecosyst.* 411, 04

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

# ŽIVOTOPIS

## Osobni podaci

Ime	Ana Pestić
Adresa	Strojarska cesta 2, 10 000 Zagreb, Hrvatska
Mobitel	+385996776535
e-mail	<a href="mailto:ana.pestic@yahoo.com">ana.pestic@yahoo.com</a>
Datum rođenja	07.02.1991.
Spol	Ž

## Edukacija

2012 – 2015	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno Matematički Fakultet - PMF Magistra struke znanosti o okolišu– mag. oecol.
2009 – 2012	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno Matematički Fakultet - PMF Sveučilišni prvostupnik znanosti o okolišu – bacc.univ.oecol

## Znanstvena sudjelovanja i stručna edukacija

zimski semestar 2014/2015	Demonstrator na praktikumu iz kolegija „Primjenjena limnologija“
ljetni semestar 2013/2014	Demonstrator na praktikumu iz kolegija „Osnove biologije“
06/2014	Sudjelovanje u radionici „Vodeni mikrosafari“
ljetni semestar 2011/2012	Laboratorijska stručna praksa, Botanički zavod - Laboratorij za fiziologiju bilja, PMF, Zagreb

## Ostalo

- Engleski jezik –korištenje u govoru i pismu
- Vozačka dozvola B kategorije