Mikrofauna epifitona u različitim sastojinama makrofita

Žeželj, Barbara

Master's thesis / Diplomski rad

2014

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:023712

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Biološki odsjek

Barbara Žeželj

MIKROFAUNA EPIFITONA U RAZLIČITIMA SASTOJINAMA MAKROFITA

Diplomski rad

Zagreb, travanj 2014. 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 - smjer znanosti o okolišu.

Zahvaljujem svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Mariji Špoljar, na savjetima, vodstvu i strpljenju pri izradi ovog diplomskog rada.

Također, zahvaljujem neposrednoj voditeljici dr. sc. Ani Ostojić i dr. sc. Tvrtku Dražini na pomoći u terenskom i laboratorijskom radu.

Hvala svim kolegicama i prijateljicama koje su mi uljepšale vrijeme provedeno na fakultetu.

Posebno zahvaljujem svojim roditeljima, sestri i zaručniku na strpljenju i podršci tijekom studiranja.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Diplomski rad

MIKROFAUNA EPIFITONA U RAZLIČITIM SASTOJINAMA MAKROFITA

BARBARA ŽEŽELJ

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb

Istraživanja epifitona provedena su tijekom ljetnih mjeseci (srpanj, kolovoz, rujan) 2012. godine na tri lokaliteta (šljunčara Zajarki, mrtvaja Škrčev kut, rukavac Sutle) s različitim intenzitetom antropogenog utjecaja). Osnovne hipoteze ovog rada bile su: (i) kompleksnost građe habitusa makrofita povećava brojnost i raznolikost mikrofaune epifitona; (ii) različite metode fiksiranja uzoraka utječu na rezultate kvalitativnog i kvantitativnog sastava mikrofaune epifitona. Ciljevi ovog rada bili su utvrditi: 1. razlike u brojnosti i raznolikosti mikrofaune epifitona s obzirom na građu habitusa (složena, jednostavna) makrofita; 2. razlike u brojnosti i raznolikosti mikrofaune epifitona s obzirom na različitost mikrostaništa (unutar sastojina makrofita, rub sastojina vodenih makrofita prema slobodnoj vodi); 3. utjecaj različitih metoda obrade uzoraka na rezultate strukture mikrofaune epifitona.

Od analiziranih fizičko-kemijskih čimbenika rezultati statističke analize ukazivali su na značajne razlike konduktiviteta, ukupnih suspendiranih tvari, mutnoće vode, nitrita, nitrata, ukupnog dušika, KPK, klorofil *a* iz planktona i epifitona i POM između tri lokaliteta. S obzirom na kompleksnost građe habitusa veća brojnost i raznolikost mikrofaune epifitona zabilježena je u rukavcu sa submerznim makrofitima, gdje su sve istraživane skupine mikrofaune postigle svoje najveće brojnosti, a ukupnom strukturom mikrofaune dominirali su Ciliophora. U šljunčari s flotantnim makrofitima zabilježena je statistički najmanja brojnost i raznolikost skupina Testacea, Rotifera i Gastrotricha. U mrtvaji s visokim stupnjem trofije, a malom pokrovnošću flotantnih makrofita zabilježena je mala raznolikost i velika brojnost skupina Testacea, Rotifera i Gastrotricha, ali mala raznolikost. Između istraživanih mikrostaništa na rubu i unutar sastojina makrofita nisu utvrđene statistički značajne razlike u strukturi mikrofaune, iako su rubna mikrostaništa pokazivala veću raznolikost. Rezultati statističke analize ukazuju da je brojnost mikrofaune epifitona pozitivno korelirala s izvorima hrane, algama u epifitonu, suspendiranim i otopljenim organskim česticama te fitoplanktonom. Usporedbom strukture mikrofaune na živom i fiksiranom materijalu. Utvrđeno je značajno smanjenje brojnosti skupina Ciliophora i Gymnamoebea, kao i raznolikosti mikrofaune. Rotifera su se pokazali znatno bolji za determinaciju i kvantitativnu analizu u fiksiranom materijalu. Iz toga proizlazi da različiti načini obrade skupljenog materijala zahtijevaju međusobnu usporedbu u interpretaciji kako bi rezultati bili što potpuniji. Rezultati ovog rada ukazuju da različiti oblici antropogenog djelovanja utječu na okolišne uvjete u vodenim sustavima kao i na promjene u strukturi biocenoze.

(54 stranice, 13 slika, 11 tablica, 69 literaturnih navoda, jezik izvornik: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: epifiton/submerzni i flotantni makrofiti/Rotifera/Ciliophora

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

Ocjenitelji: Izv. prof. dr. sc. Maria Špoljar (mentor)
Izv. prof. dr. sc. Jasenka Sremac
Doc. dr. sc. Sandra Radić Brkanac
Doc. dr.sc. Neven Bočić

Rad prihvaćen: 3. travnja 2014.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Graduation Thesis

EPIPHYTIC MICROFAUNA IN DIFFERENT MACROPHYTES STANDS

BARBARA ŽEŽELJ

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

The research of epiphytic microfauna was conducted during the summer months (July, August, September) of 2012 in three localities (Zajarki Gravel-pit, Škrčev kut Oxbow and Sutla Backwater) with various intensity of anthropogenic impacts. The basic hypothesis of this study were: (i) the complexity of macrophytes habitus increases the diversity and abundance of epiphyton (ii) different methods of fixing the samples affect the results of the qualitative and quantitative composition of the epiphytic microfauna. Main goals of this study were to determine: 1) differences in the diversity and abundance of epiphytic microfauna due to habitat structure (complex and simple) of aquatic macrophytes; 2) differences in the diversity and abundance of epiphytic microfauna considering microhabitats (within macrophyte stands on the edge and in the macrophyte stands); 3) the impact of different methods of sample fixation on the results of epiphyton community structure.

An analysis of physico-chemical parameters showed statistically significant spatial changes of water conductivity, total suspended solids, turbidity, nitrite, nitrate, total nitrogen, chemical oxygen demand, chlorophyll *a* from plancton and epiphyton and POM between three water bodies.
Given the complexity of macrophytes habitus the higher abundance and diversity of epiphytic microfauna was recorded in water body with submerged macrophytes, where all studied groups of microfauna have achieved their highest abundance, and overall structure of the microfauna dominated by Ciliophora. The gravelpit with floatant macrophytes was observed with statistically the smallest abundance and diversity of taxa Testacea, Rotifera and Gastrotricha. In the oxbow with a high degree of trophy and small cover percentages of floatant macrophytes recorded a large number of individual groups of Testacea, Rotifera and Gastrotricha but with small diversity. Among the investigated microhabitats on the edge and inside the macrophytes stands was no statistically significant differences in the structure of the microfauna, although edge of macrophytes stands showed a higher diversity of species. Results of statistical analyzes indicate that the number of the epiphytic microfauna positively correlated with food sources in epiphytic algae, suspended and dissolved organic particles and phytoplankton. Comparing the structure of the microfauna in live and fixed material, a significant decrease of taxa Ciliophora showed while Rotifera showed significantly better for the determination and quantitative analysis in fixed material. Consequently, different ways of processing collected materials require each comparison in the interpretation so the results would be as complete as possible. Results of this study indicate that different forms of anthropogenic activities affect the environmental conditions of individual water body and changes in the structure of biocenoses.

(54 pages, 13 figures, 11 tables, 69 references, original in: Croatian)

This thesis is deposited in the Central Biological Library.
Key words: epiphyton/ submergent and floating macrophytes/ rotifers/ciliates
Supervisor: Dr. Maria Špoljar, Assoc. Prof.
Reviewers: Dr. Maria Špoljar, Assoc. Prof.
Dr. Jasenka Sremac, Assoc. Prof.
Dr. Sandra Radić Brkanac, Assist. Prof.
Dr. Neven Bočić, Assist. Prof.

Thesis accepted: 3rd April, 2014.

Lista kratica

Chl *a* - klorofil *a*

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

KPK - kemijska potrošnja kisika

NH_4 - amonijak

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

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

SD - standardna devijacija

Src - na rubu sastojina makrofita (*Ceratophyllum demersum*)

Sc - unutar sastojina makrofita (*Ceratophyllum demersum*)

Škrl - na rubu sastojina makrofita lokvanj (*Nuphar lutea*)

Škl - unutar sastojina makrofita lokvanj (*Nuphar lutea*)

POM – (eng. *particulate organic matter*) suspendirana organska tvar

TSS - (eng. *total suspended solids*) ukupne suspendirane tvari

Zrl - na rubu sastojina makrofita lokvanj (*Nuphar lutea*)

Zl - unutar sastojina makrofita lokvanj (*Nuphar lutea*)

SADRŽAJ

1.0. UVOD ... 1
1.1. Osnovna obilježja obraštaja ... 1
1.2. Čimbenici koji utječu na razvoj obraštaja ... 3
1.2.1. Abiotički čimbenici ... 3
1.2.2. Biotički čimbenici ... 4
1.3. Različite metode uzorkovanja i mikroskopske analize uzoraka epifitona ... 5
1.3.1. Metode uzorkovanja ... 5
1.3.2. Mikroskopska analiza uzoraka ... 6
1.4. Svrha rada ... 7
2.0. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA ... 8
3.0. MATERIJALI I METODE ... 11
3.1. Analiza uzoraka epifitona ... 12
3.2. Analiza fizičko-kemijskih čimbenika vode ... 12
3.3. Analiza podataka ... 15
4.0. REZULTATI ... 15
4.1. Fizičko-kemijski čimbenici ... 16
4.2. Izvori hrane ... 20
4.3. Brojnost i raznolikost mikrofaune epifitona ... 21
4.3.1. Brojnost i raznolikost mikrofaune epifitona u plitkom jezeru sa submerznim makrofitima ... 21
4.3.2. Brojnost i raznolikost mikrofaune epifitona u plitkom jezeru s flotantnim makrofitima ... 29
4.3.3. Brojnost i raznolikost mikrofaune epifitona u dubljem jezeru s flotantnim makrofitima ... 34
4.3.4. Uvjetovanost različitosti biocenoza ... 41
5.0. RASPRAVA ... 43
6.0. ZAKLJUČAK ... 46
7.0. LITERATURA ... 48
ŽIVOTOPIS ... 54

1.0. UVOD

1.1. Osnovna obilježja obraštaja

Čvrste površine stalno ili povremeno uronjene u vodi tijekom vremena postaju prekrivene obraštajem ili perifitonom (grč. *periphutos* - rasti posvuda; njem. *Aufwuchs*, *auf*- na, *der Wuchs* - rast - u doslovnom prijevodu rasti na ili po nečemu) (Palmer i White, 1997; Woerner i sur., 2000). Pojam obraštaj najprije se odnosio na alge koje sluzavim ovojem oblažu slobodne površine predmeta uronjenih u vodu. Iako su istraživanja obraštaja dugo vremena bila zanemarivana, u novije vrijeme ukazuje se na veliku važnost obraštajnih zajednica u vodenim ekosustavima s obzirom na njihovu produkciju, raznolikost i brojnost organizama (Azim i sur., 2005). Weitzel (1979) proširuje definiciju obraštaja na ukupan broj sesilnih ili pričvršćenih organizama na nekom supstratu. Proširena definicija obraštaja ili perifitona odnosi se na složenu zajednicu koju čine autotrofni (alge) i heterotrofni organizmi (gljivice, Protozoa, mikroskopski sitni beskralježnjaci: virnjaci (Turbellaria), kolnjaci (Rotifera), oblići (Nematoda), trbodlaci (Gastrotricha), dugoživci (Tardigrada), maločetinaši (Oligochaeta)) te bakterije. Također, isti autor uvodi dva nova izraza: a) euperifiton, odnosi se na nepokretne (sesilne) organizme pričvršćene za supstrat rizoidima, želatinoznim drškima ili drugim mehanizmima i b) pseudoperifiton koji uključuje pokretne organizme. Na svim tipovima supstrata euperifiton i pseudoperifiton dolaze zajedno te tvore jedinstvenu zajednicu.

Razvoj obraštaja na supstratu započinje taloženjem organske tvari (aminokiseline, mukopolisaharidi). Kroz nekoliko sati počinje se stvarati biofilm (sluzava prevlaka) bakterija, a otopljene čestice organske tvari služe im za pričvršćivanje i hranu (Flemming, 1995). Prisutnost suspendiranih organskih čestica u eutrofnim jezerima ubrzava proces kolonizacije (naseljavanja) i nastanka obraštaja. Proizvedena sluz bakterija čini supstrat pogodnijim za život autotrofnih i heterotrofnih organizama. Nakon nekoliko dana bakterijske kolonizacije javljaju se prvi autotrofni organizmi - alge. Od heterotrofnih organizama među prvima u zajednici dolaze bičaši, nakon kojih se pojavljuju sluzavci i trepetljikaši dok se kolnjaci pojavljuju u većem broju tek nakon dva do tri tjedna (Azim i sur., 2005).

Ranu fazu kolonizacije obilježava ubrzani rast i raznolikost vrsta, dok kasnije faze kolonizacije obraštaja obilježava velika zastupljenost i rast već postojećih vrsta (Hillebrand i sur., 2000). Raznolikost i brojnost obraštaja ovisi o nizu čimbenika kao što su stanište, vrsta supstrata, intenzitet svjetlosti, stopa grazinga (eng. *grazing* - ispaša, u planktonskoj

terminologiji podrazumijeva filtraciju čestica detritusa, bakterija, algi) i dostupnost hranjivih tvari (Azim i sur., 2005).

S obzirom na vrstu supstrata obraštaj dijelimo na: epifiton - obraštaj vodenog bilja; epipelon - obraštaj mulja; epiliton - obraštaj kamena; epipsamon - obraštaj pijeska; epidendron - obraštaj drva (Azim i sur., 2005).

Brojnost i raznolikost obraštaja na biljkama ili epifitona ovise o morfologiji habitusa makrofita koji na svojoj površini pružaju stanište za kolonizaciju (Kuczynska-Kippen i sur., 2007; Špoljar i sur., 2011). Vodene biljke ili makrofite definiramo kao makroskopske fotosintetske organizme (alge, mahovine, vaskularna vegetacija) koji su prilagođeni životu u vodenom okolišu kao submerzno (*Ceratophyllum*, *Myriophyllum*, *Elodea*), flotantno (*Lemna minor*, *Nuphar*) i emerzno (*Alsima plantag*, *Situm latifolium*) vodeno bilje te su kao takvi važna sastavnica vodenih ekosustava (Chambers i sur., 2008). Razgranjenije stabljike submerznih makrofita (npr. *Myriophyllum* div. sp. i *Ranunculus circinatus*) obično su bogatije epifitonom nego vrste nerazgranjenih stabljika (npr. *Potamogeton* div. sp.). Laugaste (2005) je utvrdio da je brojnost epifitona veća u eutrofnim jezerima, dok udio epifitona u ukupnoj primarnoj produkciji jezera može biti veći u oligotrofnim jezerima s makrofitima koji se nalaze u dubljim dijelovima. U svojim istraživanima Kuczynska-Kippen (2007) objašnjava da osim habitusa makrofita, klorofil *a* i pH utječu na gustoću skupine Rotifera. Tako je i gustoće vrste *Keratella quadrata* povezana s pH što je utvrđeno 2-godišnjim istraživanjima koja su proveli Irfanullah i Moss (2005).

Značaj epifitona očituje se u vezanju ugljika, kruženju hranjivih tvari u vodenim ekosustavima kao i povećanju količine i raznolikosti hrane vodenim beskralježnjacima i kralježnjacima. U sastavu epifitona prevladavaju protisti (jednostanični organizmi s brzom reprodukcijom i kratkim životnim vijekom, tj. alge i protozoa) i mikroskopski sitni višestanični organizmi koji brzo reagiraju na promjene kvalitete vode, stoga je epifiton značajan indikator ekoloških promjena unutar vodenih ekosustava (Biggs i sur., 2000; Azim i sur., 2005). Epifiton se smatra ključnim čimbenikom u procesima pročišćavanja vode i poboljšanja kvalitete vode u jezerima i rijekama. Uloga epifitona je u sposobnosti apsorbiranja višaka hranjivih tvari i teških metala, koji dospijevaju u vodene ekosustave ispiranjem s poljoprivrednih površina, ispuštanjem otpadnih voda, turizmom te prihranjivanjem riba za sportski ribolov (Biggs i sur., 2000; Azim i sur., 2005).

1.2. Čimbenici koji utječu na razvoj obraštaja

Postotak pokrovnosti dna makrofitima, njihova gustoća i biomasa u vodenim ekosustavima značajno utječu na abiotičke (npr. svjetlost, temperatura, koncentracija kisika) i biotičke (npr. kompeticija, predacija, dostupnost hrane) čimbenike i njihove interakcije (Liboriussen i sur., 2005; Kuczynska-Kippen, 2007; Špoljar i sur., 2012).

1.2.1. Abiotički čimbenici

Svjetlost je ograničavajući abiotički čimbenik koji utječe na razvoj različitih skupina organizama u perifitonu. Dovoljan intenzitet svjetlosti uzrokuje dominaciju autotrofnih organizama (algi) u epifitonu dok je dominacija heterotrofnih organizama i/ili bakterija uzrokovana nedostatkom svjetlosti (Vermaat, 2005). Istraživanja koja su proveli Hepinstall i suradnici (1994) ukazuju da smanjenje svjetlosti utječe na smanjenje brojnosti algi u epifitonu i fitoplanktonu za 40 %. Povoljni svjetlosni i temperaturni uvjeti uz povećanje hranjivih tvari utječu na strukturu epifitskih zajednica koje u takvim uvjetima obilježava povećanje biomase i ubrzanje metabolizma (Uehlinger i Brock, 2006).

Eutrofikacija (povećanje primarne produkcije uslijed povećanja koncentracija nitrata i fosfata) ubrzava rast primarnih proizvođača, algi, u planktonu i perifitonu te uzrokuje promjene u sastavu skupina i povećanju gustoće perifitona (Campbell, 1996). Dominacija fitoplanktona zajedno sa suspendiranim organskim česticama uzrokuje smanjenje prozirnosti vode, a samim time i sprječavanje rasta submerzne vegetacije i epifitskih algi (Špoljar, 2013). Prozirna jezera s dominacijom vodenih makrofita i mutna jezera s dominacijom fitoplanktona, podrazumijevaju postojanje dviju značajno različitih vodenih biocenoza u sličnim vanjskim okolišnim uvjetima, ali različitim unutrašnjim koncentracijama hranjivih tvari (Scheffer, 1997). U prozirnim stajaćicama veća je raznolikost vrsta i staništa uslijed dominacije submerzne vegetacije koja sprječava resuspenziju sedimenta, smanjuje koncentraciju hranjivih tvari i daljnju eutrofikaciju, a ujedno osigurava zaklon od predatora zooplanktonu kao i ostalim beskralježnjacima i kralježnjacima (Kuczynska-Kippen, 2003; Špoljar i sur., 2012). U mutnim stajaćicama, zbog smanjenog prodora svjetlosti, izostaje submerzna vegetacija, dominira fitoplankton, a mutnoću povećava resuspenzija sedimenta uslijed vjetra,

valova i bioturbacije (resuspenzija uslijed kretanja organizama) (Meerhoff i sur., 2007; Špoljar i sur., 2011).

U lotičkim sustavima na brojnost i strukturu obraštajnih zajednica utječe brzina strujanja vode (Abe i sur., 2000; Primc-Habdija i sur., 2000). Skupine čvrsto vezane uz podlogu razvijaju se na mjestima gdje je brzina strujanja vode veća, dok na mjestima sporijeg strujanja dominiraju slabo vezane skupine (Abe i sur., 2000).

Strukturna složenost staništa značajna je za sastav obraštaja jer određuje rasprostranjenost vrsta s obzirom na njihovu veličinu, tjelesna obilježja i način prehrane (Kuczynska-Kippen i sur., 2007). Time brojnost mikrofaune raste s povećanjem površine i razgranjenošću habitusa makrofita (Kuczynska-Kippen, 2003; Špoljar i sur., 2012).

Različita dna obilježava različita veličina čestica (megalital, makrolital, psamal i dr.) što uvelike ovisi da li se radi o lotičkom ili lentičkom sustavu. Tako u gornjim tokovima tekućica prevladavaju velike čestice na kojima se razvija obraštaj (epiliton), no ponekad je najveća biomasa vezana uz sitne čestice sedimenta (mulj ili pijesak) (Cattaneo i sur., 1997). Gucker (2003) ukazuje da fizička i kemijska svojstva sedimenta utječu na rasprostranjenost Protozoa. Primjer tome je kvantitativna i kvalitativna rasprostranjenost marinskih intersticijskih trepetljikaša koji su morfološki prilagođeni i ovise o veličini intersticijskih međuprostora u sedimentu.

1.2.2. Biotički čimbenici

Od biotičkih čimbenika najvažniji su predacija, kompeticija i izvori hrane koji utječu na bioraznolikost i brojnost obraštajnih zajednica. Svojom morfologijom makrofiti pružaju zaštitu mikrofauni obraštaja koja je glavna hrana mnogim beskralježnjacima (puževi, rakovi, ličinke kukaca) te ribama i vodenjacima kao predstavnicima kralježnjaka (Vermaat, 2005; Meerhoff i sur., 2007). Beskralježnjaci (npr. puževi) i kralježnjaci (npr. ribe) *grazing*-om uzrokuju fizičke promjene na obraštaju čime smanjuju biomasu, ali povećavaju produktivnost obraštaja uklanjajući mrtve i stare alge te na taj način obogaćuju perifiton hranjivim tvarima (fosfor i dušik). Predatori obraštaja mogu biti specijalizirani raznim morfološkim i fiziološkim prilagodbama što također može utjecati na strukturu obraštaja. Vrste ciprinidnih riba iz roda

Labeo (L. calbasu, *L. gonius* i *L. rohita*) s poprečnim i debelim ustima s oštrim rubovima kojima stružu epifitske alge s podloge, visoko su specijalizirane za herbivornu prehranu (Sibbing i sur., 2005). Kolnjaci se brzo prilagođavaju dostupnom izvoru hrane te pokazuju veliku prilagodljivost raznim promjenama i funkcionalnu specijaliziranost za određene vrste hrane. Kolnjaci koji žive na makrofitima (u odnosu na planktonske vrste) manje veličine i imaju jedan prst na nozi s adhezivnim žlijezdama kojima su pričvršćeni za supstrat (Duggan, 2001; Kuczynska-Kippen i sur., 2007).

Odnos makrofit - epifiton često se navodi kao jedinstvena ekološka jedinica u plitkim vodenim ekosustavima sa složenim interakcijama (simbioza ili mutualizam, kompeticija, alelopatija). Zagovornici simbioze ili mutualizma slažu se da epifiton ima koristi od organskih spojeva i hranjivih tvari koje pružaju makrofiti, dok su makrofiti zaštićeni od grazinga prevlakom epifitona (Wetzel, 2001). Brandt i Koch (2003) svojim istraživanjem ukazuju na važnost epifitona na makrofitima koji je njihov „štit“ od UV-B zračenja.

Zagovornici kompeticije slažu se da je odnos makrofit - epifiton u stalnoj borbi za izvorima hranjivih tvari i svjetlosti (Goldsborough i sur., 2005) i može imati negativan utjecaj na biljku domaćina uslijed smanjenja dostupnosti svijetla, a time i asimilacije ugljika (Jones i sur., 2000). Teorija alelopatije objašnjava izlučivanje tvari koji inhibiraju rast makrofita odnosno epifitona. Alelopatija između makrofita i algi mnogo puta je opisivana u literaturi te su mnogi spojevi izolirani iz lista makrofita ukazivali na negativne učinke na rast i fotosintezu algi (Gross i sur., 2003). Također, istraživanja Burksa (2002) su ukazala na negativan učinak submerznih makrofita (*Elodea canadensis*) ispuštanjem tvari koje reduciraju rast vrsta roda *Daphnia*.

1.3. Različite metode uzorkovanja i mikroskopske analize uzoraka epifitona

1.3.1. Metode uzorkovanja

Zbog brojnih nedostatka u kvantitativnoj analizi obraštaja na neravnim i grubim površinama prirodnih podloga mnogi znanstvenici u istraživanjima odabiru umjetne podloge (Cattaneo i sur., 1992). Umjetna podloga je bilo koja podloga stavljena u vodu na određeno vremensko razdoblje u kojem osigurava životni prostor živim organizmima (Ostojić, 2010). Od kada je Hentschel 1916. godine prvi puta upotrijebio staklo kao umjetnu podlogu u jezeru za kvalitativnu analizu obraštaja, broj različitih materijala i metoda koje su se koristile u istraživanju obraštaja je porastao. Umjetno stvorene podloge imaju prednosti u odnosu na

prirodne, kao što su: laka manipulacija, jednostavnija kvantitativna mjerenja, jeftine su i relativno jednostavne za korištenje te pojednostavljuju kvantificiranje vrsta s uzorkovane površine (Cattaneo i sur., 1992). Najčešće korištena su stakalca i poliuretanske pjene (Cairns, 1982; Ostojić, 2010).

Istraživanja o razlikama podataka s obzirom na metode uzorkovanja obraštaja su malobrojna te postoji veći broj radova vezanih uz metode sakupljanja zooplanktona, u kojima je bitna veličina oka planktonske mrežice, i njihovog utjecaja na rezultate istraživanja. Primjer tome su istraživanja mezozooplankona u čijim uzorcima prevladavaju planktonski rakovi dok su kolnjaci, koje obilježava mala veličina tijela, često zanemarivani (Rodriguez i sur., 2013) Ista skupina istraživača je dokazala da u mrežici od 200-300 μm ima manje od 10 % mezozooplanktonskih zajednica dok je biomasa smanjena za jednu trećinu, a sekundarna produkcija za dvije trećine u odnosu na rezultate vezane uz korištenje mrežice veličine oka 20-63 μm.

1.3.2. Mikroskopska analiza uzoraka

Mikroskopska analiza odnosi se na determinaciju i kvantificiranje uzoraka Identifikacija (determinacija) vrsta se provodi za taksonomske skupine i razvojne stadije koji mogu biti klasificirani s obzirom na obilježja vezana uz prehranu, biologiju, ponašanje i njihovo pojavljivanje u pojedinim vodenim tijelima (Postel i sur., 2000; Foissner, 2014). Za većinu metoda determinacije vrsta znanstvenici koriste literaturu, laboratorijske priručnike i rad u laboratoriju (Foissner, 2014). Neke od metoda kojima se mogu bolje uočiti strukture bitne za determinaciju su: supravitalno bojenje s metil zelenim-pironinom, impregnacija suhim i mokrim srebrovim nitratom, elektronska mikroskopija (Foissner, 2014).

Determinacija trepetljikaša, kao i ostalih brzopokretnih mikroskopskih organizama, na živim uzorcima predstavlja izazov zbog brzog kretanja vrsta u promatranom uzorku. Do danas su opisane mnoge fizičke i kemijske metode za usporavanje kretanja trepetljikaša, kao što su imobilizacija niklovim sulfatom ili povećanje viskoznosti medija karbosimetil celulozom, koje su se prema iskustvu mnogih znanstvanika pokazale kao neprikladne za determinaciju vrsta budući da takvi postupci uzrokuju mijenjanje staničnih struktura (Foissner, 2014). Metoda koju je primijenio Foissner (2014) za determinaciju trepetljikaša koristeći petroleter (vazelin) koji se ubrizgava na svaki od četri kuta pokrovnice, pokazala se korisnom jer na taj način vrste postaju manje pokretljive i bolje uočljive što uvelike olakšava njihovu determinaciju. S druge strane, najčešće korišteni postupci bojanja su tehnike impregnacije

srebrom uz snimanje elektronskim mikroskopom (Foissner, 2014). Impregnacija srebrovim nitratom ili karbonatom nije primjenjiva za sve vrste trepetljikaša i za pojedine skupine meiofaune (Turbellaria, Rotifera, Gastrotricha) koje su determinirane na živom materijalu pošto se prilikom konzerviranja pripadnici ovih skupina kontrahiraju te se ne mogu uočiti njihova anatomska obilježja. Kako bi informacije vezane za određeni uzorak i promatrane skupine bile potpune, potrebna je kombinacija dviju ili više metoda bojanja i/ili fiksiranja, a njima svakako prethodi pregledavanje živog uzorka (Foissner, 2014).

1.4. Svrha rada

Staništa vodenih makrofita pružaju veliku ponudu hrane beskalježnjacima i kralježnjacima u vodenim ekosustavima (Kuczynska-Kippen i sur., 2007; Špoljar i sur., 2011, 2012). Dosadašnja istraživanja su pokazala da na brojnost i raznolikost zajednica epifitona utječe građa habitusa makrofita zajedno s prozirnošću/mutnoćom vode. Habitusom složeniji i stariji makrofiti, imaju veću površinu i raznolikost mikrostaništa za razvoj mikrofaune te stabilniji sastav algi i bakterija kao izvora hrane što doprinosi većoj raznolikosti epifitona. Suprotan utjecaj na razvoj epifitona i pripadajuće mikrofaune imaju mlađi i habitusom jednostavniji makrofiti (Liboriussen i sur., 2005; Kuczynska-Kippen i sur., 2010).

Nadalje, različite metode uzorkovanja kao i fiksiranja uzoraka mogu utjecati na rezultate kvalitativnog i kvantitativnog sastava zajednice (Rodriguez i sur., 2013; Foissner, 2014).

Osnovne hipoteze ovog rada koje objašnjavaju da kompleksnost građe habitusa makrofita povećava brojnost i raznolikost epifitona i da različite metode fiksiranja uzoraka utječu na rezultate kvalitativnog i kvantitativnog sastava mikrofaune epifitona bile su polazište za utvrđivanje ciljeva ovog rada.

Ciljevi istraživanja u ovom radu bili su utvrditi:

- razlike u brojnosti i raznolikosti mikrofaune epifitona s obzirom na građu habitusa (složena, jednostavna) vodenih makrofita;
- razlike u brojnosti i raznolikosti mikrofaune epifitona s obzirom na različitost mikrostaništa (unutar sastojina makrofita i na rubu sastojina vodenih makrofita prema slobodnoj vodi);
- utjecaj različitih metoda obrade uzoraka na rezultate o strukturi mikrofaune epifitona.

2.0. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Istraživana su tri lokaliteta: rukavac Sutle, mrtvaja Škrčev kut i šljunčara Zajarki, koja se nalaze u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske, u Hrvatskom zagorju. 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 iz Hrvatskog zagorja povuklo se Paratethys more, a izdignute su današnje planine i formiran je čitav hidrografski sustav. Zajedničkim djelovanjem denudacije i riječne erozije tijekom posljednjih 150 000 godina (u gornjem pleistocenu i holocenu) nastao je današnji krajolik Hrvatskog zagorja (Herak, 1984).

Istraživani lokaliteti uz rijeke Krapinu i Sutlu pripadaju Savskom odnosno Crnomorskom slivu, a njigove su aluvijalne ravnice najniži predjeli Hrvatskog zagorja. Rijeka Sutla granična je rijeka Hrvatske sa Slovenijom, ukupne dužine oko 91 km. U rijeku Savu utječe kao njezin lijevi pritok. Slivno područje Sutle ima brdske i nizinske značajke. Brdski je dio veće površine od nizinskog dijela, a posljedica su toga bujični tokovi u brdskom dijelu i pojave vodnih valova u nizinskom dijelu slivnog područja (Tomec i sur., 2009). Rijeka Krapina također je lijeva pritoka rijeke Save, dužine toka oko 75 kilometara, s izvorom rijeke na planini Ivanščici. Sava tako prima vode obiju navedenih rijeka, ukupne duljine 945,5 km i površine poriječja 96 328 km^2. S prosječnim protokom na ušću od 1670 m^3/s vodom je najbogatiji dunavski pritok (po vodnom bogatstvu osmi u Europi).

Istraživana tri lokaliteta različitog su postanka, morfometrije, prozirnosti, sastava i pokrivenosti makrofitima. Sva tri lokaliteta danas su ribnjaci kojima upravlja Sportsko ribolovno društvo „Šaran“ Zaprešić te su poribljeni šarankama, dok je Zajarki najveći šaranski ribnjak u Hrvatskoj. Stoga u ihtiofauni jezera dominiraju šaranke od koji izdvajamo sljedeće vrste: babuška (*Carassius gibelio*), štuka (*Esox lucius*), vijun (*Cobitis elongata*), grgeč (*Perca fluviatilis*), sunčanica (*Lepomis gibbosus*), bodorka (*Rutilus rutilus*), bezribica (*Pseudorasbora parva*) i karas (*Carassius auratus*).

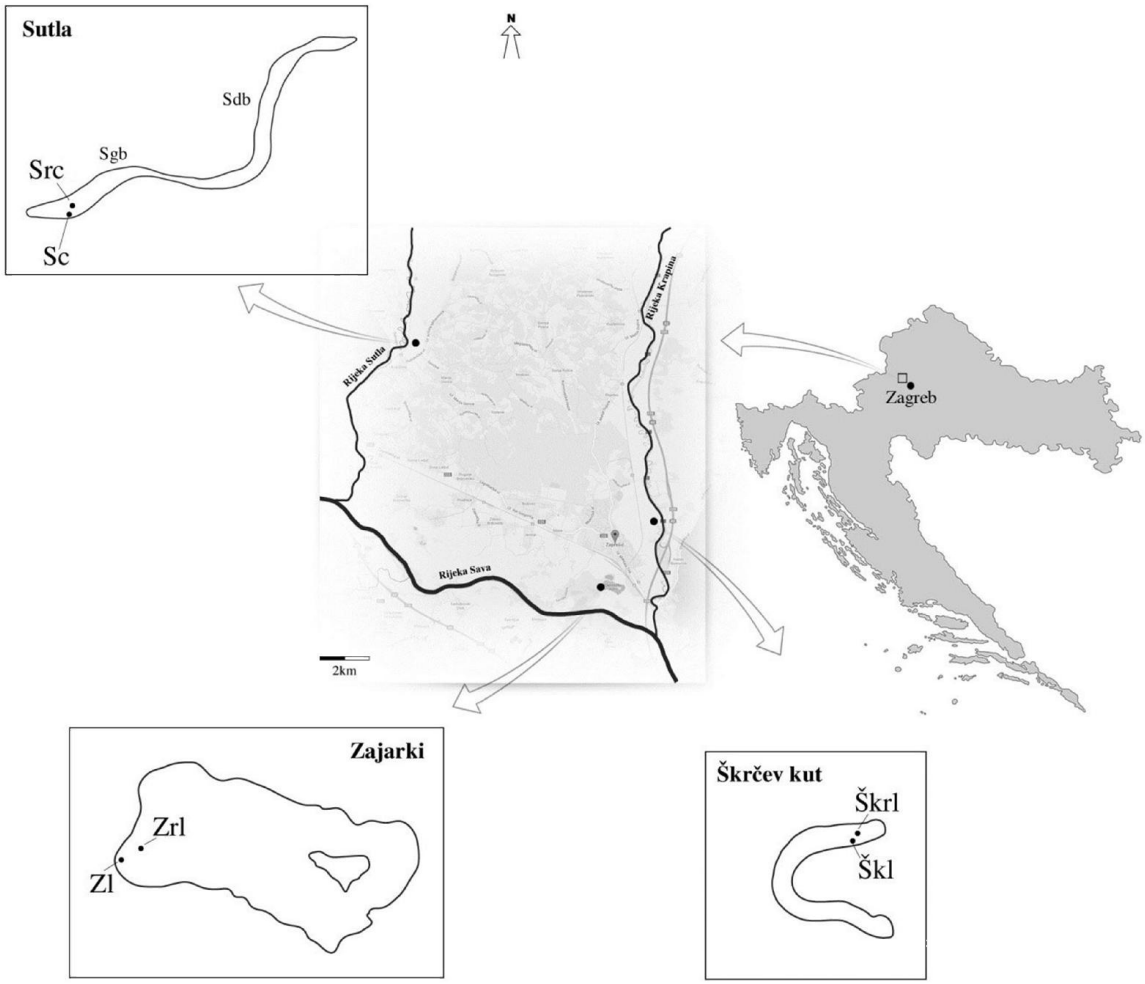
Rukavac rijeke Sutle (S), ima dva bazena: a) gornji bazen - plitak, veće površine i velike pokrovnosti submerznim makrofitima i b) donji bazen - dublji, veće površine i manje pokrovnosti submerznim makrofitima. U gornjem bazenu dominantni su submerzni makrofiti - voščika (*Ceratophyllum demersum*) gdje su bile smještene istraživane postaje (Tablica 1,

Slika 1). Pod intenzivnim je utjecajem ispiranja tvari s okolnih livada i oranica, ali i sportskog ribolova.

Mrtvaja Škrčev kut (Šk) je odsječeni meandar rijeke Krapine nastao odvajanjem od glavnog toka rijeke uslijed gradnje Zagorske magistrale pedesetih godina XX stoljeća. Mrtvaja Škrčev kut je plitka, male površine, velike mutnoće u odnosu na šljunčaru Zajarki s malo flotantnih makrofita (lokvanj *Nuphar lutea*), te je pod utjecajem ispiranja tvari s okolnih livada i oranica (Tablica 1, Slika 1).

Jezero Zajarki (Z) je po postanku šljunčara nastala na aluvijalnim nanosima blizu ušća Krapine u Savu (Tablica 1, Slika 1). Počeci iskapanja šljunka na mjestu današnjeg jezera Zajarki počeli su sedamdesetih godina dvadesetog stoljeća te su trajali do 2010. godine. U početku je nastalo nekoliko malih ujezerenja koja su iskapanjem šljunka spojena i produbljena. Šljunčara Zajarki je duboka, veće površine i prozirnija u odnosu na ostala dva istraživana lokaliteta. Šljunčaru obilježava malo flotantnih (plutajućih) makrofita, a dominira lokvanj, *Nuphar lutea*. Antropogeni utjecaj se očituje u sportskom ribolovu i ljetnoj sezoni kupanja.

Okolnu vegetaciju sva tri vodena tijela čine vrbe (*Salix* sp.) i topole (*Populus* sp.).



Slika 1 Shematski prikaz istraživanih lokaliteta rukavac Sutle (S), mrtvaja Škrčev kut (Šk) i šljunčara Zajarki (Z) s označenim postajama uzorkovanja: Src - rukavac Sutle rub sastojina *Ceratophyllum demersum*, Sc - rukavac Sutle unutar sastojina *Ceratophyllum demersum*, Škrl - mrtvaja Škrčev kut rub sastojina lokvanja *Nuphar lutea*, Škl - mrtvaja Škrčev kut unutar sastojina lokvanj *Nuphar lutea*, Zrl - šljunčara Zajarki rub sastojina lokvanja *Nuphar lutea* i Zl - šljunčara Zajarki unutar sastojina lokvanj *Nuphar lutea*.

Tablica 1 Morfometrijska obilježja istraživanih lokaliteta - Sutla (S), Škrčev kut (Šk) i Zajarki (Z)

Obilježje / Lokalitet	Sutla (S)	Škrčev kut (Šk)	Zajarki (Z)
Koordinate	45°54´51´´S; 15°42´11´´I	45°51´45´´S; 15°49´29´´I	45°50´36´´S; 15°48´78´´I
Duljina max (m)	260	300	750
Širina max (m)	20	12	310
Površina (m^2)	2 500	2 500	31 000
Dubina max (m)	3	2	6
Pokrovnost makrofitima (%)	70 - 80	30 - 40	10
Prozirnost vode (m)	1,4 ± 0,2	0,53 ± 0,2	2,1 ± 0,1
$TSI_{(SD)}$	55	69	49
Tip vodenih makrofita	Submerzni	Flotantni	Flotantni
Vrsta vodenih makrofita	Voščika (*Ceratophyllum demersum*)	Lokvanj (*Nuphar lutea*)	Lokvanj (*Nuphar lutea*)
Okolno područje	Livade i oranice	Livade i oranice	Uređene obale za sportski ribolov i rekreaciju
Ihtiofauna	Sunčanica (*Lepomis gibbosus*) Bodorka (*Rutilus rutilus*)	Sunčanica (*Lepomis gibbosus*) Vijun (*Cobitis elongata*)	Sunčanica (*Lepomis gibbosus*) Grgeč (*Perca fluviatilis*)

3.0. MATERIJALI I METODE

Plan istraživanja

Uzorci su sakupljani jednom mjesečno na tri lokaliteta tijekom ljetnog razdoblja (srpanj, kolovoz, rujan) 2012. godine. Na svakom lokalitetu, rukavac Sutle (S), mrtvaja Škrčev kut (Šk) i šljunčara Zajarki (Z) uzorkovane su dvije postaje (mikrostaništa): na rubu tj. granici makrofiti - pelagijal i unutar sastojina makrofita. U šljunčari Zajarki i mrtvaji Škrčev kut uzorci epifitona su uzimani s flotantnih makrofita - lokvanj (*Nuphar lutea*) (Zajarki rub sastojina lokvanja (Zrl), Škrčev kut rub sastojina lokvanja (Škrl) i Zajarki unutar sastojine lokvanj (Zl), Škrčev kut unutar sastojinae lokvanj (Škl),U rukavcu Sutle uzorci su uzimani sa submerznih makrofita - voščike (*Ceratophyllum demersum*) (Sutla rub sastojina *Ceratophyllum demersum* (Src) i Sutla unutar sastojina *Ceratophyllum demersum* (Sc)). Na svakoj postaji uzorci za kvalitativnu i kvantitativnu analizu mikrofaune epifitona i izvora

hrane (alge, detritus) uzimani su struganjem sa stabljika makrofita u triplikatima. Uzorci epifitona skupljani su rezanjem 10 - 15 cm stabljike submerznih ili flotantnih makrofita, zatim su stavljani u plastične vrećice uz dodatak 50 do 100 mL vode s pripadajuće postaje. Svi uzorci su dopremljeni u Limnološki laboratorij Zoologijskog zavoda Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu u prijenosnim hladnjacima i spremljeni u hladnjak na temperaturi od 4^{o}C.

3.1. Analiza uzoraka epifitona

Za analizu mikrofaune, epifiton je u laboratoriju strugan četkicom sa svake stabljike. Stabljike s kojih je odstranjen epifiton bile su sušene do konstantne težine na 104 °C te izvagane radi izračuna brojnosti mikrofaune epifitona po jedinici suhe mase stabljike (jed/g SM). Za kvantitativnu analizu, svaki uzorak je izbrojan u tri poduzorka. Determinacija svojti provedena je na živom i fiksiranom (4 % formalin) materijalu korištenjem svjetlosnog mikroskopa oznake Jenaval (Carl Zeiss Jena, 125× i 400×). Za determinaciju vrsta korišteni su sljedeći ključevi:

- Sarcodina (Ogden i Hedely, 1980),
- Ciliophora (Foissner i Berger, 1996),
- Rotifera (Voigt i Koste, 1978),
- Cladocera (Amoros, 1984),

Većina trepetljikaša i kolnjaka iz skupine Monogononata je određena do vrste. Bdeloidni kolnjaci (Bdelloidea), trbodlaci (Gastrotricha), oblići (Nematoda), dugoživci (Tardigrada) maločetinaši (Oligochaeta), ljuskari (Ostracoda) i veslonošci (Copepoda) nisu određeni do vrste.

3.2. Analiza fizičko-kemijskih čimbenika vode

Fizičko-kemijska analiza vode obuhvaćala je mjerenje sljedećih čimbenika:

- temperature vode (°C, oksimetar oznake WTW OXI 96)
- koncentracije otopljenog kisika (mg O_2/L, oksimetar oznake WTW OXI 96)
- pH vrijednosti (pH-metar oznake WTW 330i)
- konduktiviteta (µS/cm, konduktometar marke Hach Sension 5)

- ukupne suspendirane tvari, eng. *total suspended solids* - TSS (mg/L)
- mutnoće vode(NTU - eng. *nephelometric turbidity unit*)
- koncentracije ortofosfata (mg $P\text{-}PO_4^{3-}$/L)
- koncentracije ukupnog fosfora (mg P/L)
- koncentracije amonijaka (mg $N\text{-}NH_4$/L)
- koncentracije nitrita (mg $N\text{-}NO_2^-$/L)
- koncentracije nitrata (mg $N\text{-}NO_3^-$/L)
- koncentracije ukupnog dušika (mg N/L)
- koncentracije otopljenih organskih tvari (kemijska potrošnje kisika, KPK,mg $O_{2(KMnO4)}$/L)
- biomase fitoplanktona (koncentracija klorofila *a* µg/L)
- biomase epifitskih algi (koncentracija klorofila *a* µg/g SM)
- koncentracije suspendirane organske tvari (mg AFDM / L)

Na terenu su sondama izmjereni osnovni limnološki čimbenici: temperatura, koncentracija otopljenog kisika, pH, konduktivitet. Paralelno s uzorcima epifitona uzimani su uzorci za fizičko-kemijsku analizu vode: ostalih limnoloških čimbenika (mutnoća vode, ukupne suspendirane tvari), hranjivih tvari (fosfati, ukupni fosfor, amonijak nitriti, nitrati i ukupni dušik) kao i analizu izvora hrane (koncentracije otopljenih organskih tvari, biomase fitoplanktona, biomase epifitskih algi, koncentracije suspendirane organske tvari) koji su određivani volumetrijskim i sprektrofotometrijskim metodama (spektrofotometar HACH DR/2000).

Mutnoća vode (eng. *nephelometric turbidity unit* – NTU) i ukupne suspendirane tvari (TSS, eng. *total suspended solids*) određivane su spektrofotometrijski.

Ukupni fosfor određen je prevođenjem u ortofosfate i dalje je određivan metodom s amonijevim molibdatom. Koncentracija ortofosfata određivana je spektrofotometrijski uz amonijev molibdat (APHA, 1995).

Od dušičnih spojeva određivani su amonijak, nitriti (kolona IonPAC AS22), nitrati i ukupni dušik. Nitriti i amonijak su određivani pomoću ionskog kromatografa (Dionex ICS-3000) (APHA, 1995). Ukupni dušik je određivan Kjeldahlovom metodom (APHA, 1995). Koncentracija nitrata određena je metodom reakcije s natrijevim-salicilatom (HÖll K. 1986).

Za procjenu koncentracije otopljene organske tvari (eng. *dissolved organic matter*, DOM) korištena je oksido-redukcijska metoda kemijske potrošnje kisika iz kalijevog permanganata (KPK_{KMnO4}). Metoda se zasniva na kemijskoj reakciji u kojoj kalijev permanganat (jako oksidativno sredstvo), oksidira svu otopljenu organsku tvar u vodi. Količina utrošenoga kisika ekvivalentna je količini otopljene organske tvari (Špoljar i sur., 2011).

Klorofil *a* (Chl *a*) je osnovni fotosintetski pigment većine autotrofnih organizama. Mjerenje njegove koncentracije je jedan od načina određivanja biomase fitokomponente u planktonu i obraštaju. Postupak određivanja koncentracije klorofila *a* proveden je etanolskom ekstrakcijom prema Nuschu (1980). Koncentracija klorofila *a* iz planktona izračunata je prema izrazu:

$$\text{Chl } a \text{ (µg/L)} = 29{,}6 \, (E^{b}_{665} - E^{a}_{665}) \, v/Vd$$

a klorofil *a* iz obraštaja izračunat je prema izrazu:

$$\text{Chl } a \text{ (µg/g ST)} = 29{,}6 \, (E^{b}_{665} - E^{a}_{665}) \, a/md$$

gdje je:

- E^{a}_{665} - ekstinkcija ekstrakta na 665 nm prije zakiseljavanja
- E^{b}_{665} - ekstinkcija ekstrakta na 665 nm nakon zakiseljavanja
- v - volumen ekstrakta uzorka (mL)
- a - jedinica površine
- V - volumen profiltrirane vode (L)
- d - poprečni presjek spektrofotometrijske kivete (cm)
- m - masa suhe tvari makrofita (g SM)

Za procjenu sadržaja detritusa u vodi određivana je masa suspendirane organske tvari (eng. *particulate organic matter,* POM) temeljem vrijednosti gubitka pri žarenju (eng. *ash free dry mass*, AFDM). Uzorak je prvo sušen na temperaturi od 104ºC (vaganjem je dobivena masa suhog ostatka) u keramičkoj posudici, a potom žaren u mufolnoj peći na 600 ºC/6 h (vaganjem je dobivena masa žarenog ostatka). Razlika masa suhog i žarenog ostatka je gubitak pri žarenju, POM (mg AFDM/L).

3.3. Analiza podataka

Pokrovnost jezerskog dna makrofitima (%) određena je temeljem omjera širine pojasa makrofita i širine jezera izmjerene na pet lokacija na svakom jezeru (Lau i Lane, 2002).

Vrijednosti 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, iz čega proizlazi da su podaci za temperaturu, kisik, pH, NTU, TSS, amonijak, ukupni dušik, klorofil *a* iz planktona i epifitona slijedili pravilnu raspodjelu. Stoga su za daljnju analizu korišteni parametrijski ANOVA testovi, a za detaljnu informaciju o značajnosti razlika između pojedinih postaja korišten je *post hoc* Tukey HSD test. Za analizu podataka koji nisu slijedili pravilnu raspodjelu primijenjeni su neparametrijski testovi (Kruskal-Wallis test, Mann-Whitney U test), a za detaljnu informaciju o značajnosti razlika između pojedinih postaja korišten je *post hoc* test višestruke usporedbe. Za utvrđivanje značajnosti interakcija između pojedninih okolišnih čimbenika te interakcija između okolišnih čimbenika i mikrofaune epifitona korišten je Spearmanov koeficijent korelacije (r). Dendrogram sličnosti (*Cluster* analiza) i nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja (NMDS) korišteni su za utvrđivanje sličnosti između postaja temeljem brojnosti dominantnih skupina mikrofaune epifitona. Za statističku analizu ovih podataka korišten je program STATISTICA 8.0 (StatSoft inc., 2007).

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 (srpanj - VII, kolovoz -VIII, rujan - IX). Grafički i tabelarni prikazi izrađeni su u programu Microsoft Excel 2003 (Microsoft Corporation, 2003).

4.0. REZULTATI

Rezultati prikazuju promjene fizičko-kemijskih čimbenika, brojnosti i raznolikosti mikrofaune epifitona na živom i fiksiranom materijalu tijekom ljetnog razdoblja u tri vodena tijela, različita s obzirom na morfometriju, dominaciju makrofita i pokrovnost dna makrofitima.

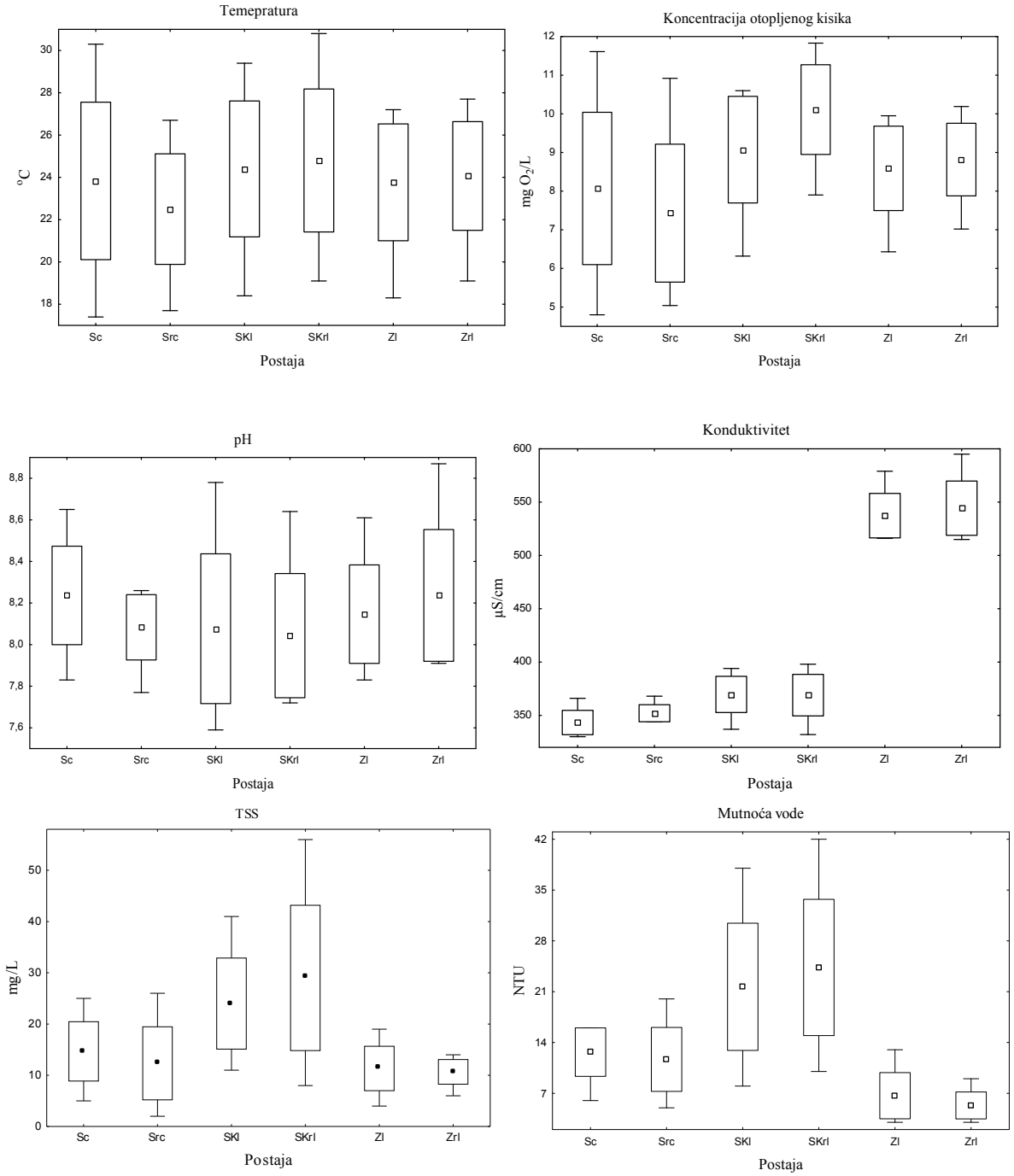
4.1. Fizičko-kemijski čimbenici

Statistička analiza rezultata ukazala je na značajne razlike fizičko-kemijskih čimbenika između tri lokaliteta, dok između istraživanih postaja (rub i unutar sastojina makrofita) na pojedinom lokalitetu nisu bile statistički značajne (ANOVA/Kruskal-Wallis test, $p > 0,05$). Tijekom ljetnog razdoblja **temperatura** (23,89 ± 4,53 °C), **koncentracija otopljenog kisika** (8,68 ± 2,26 mg O_2/L) i **pH** (8,13 ± 0,40) nisu pokazivali statistički značajne oscilacije između tri istraživana vodena tijela (Slika 2, Tablica 2). Vrijednosti temperature statistički su se značajno smanjivale od srpnja prema rujnu, dok su pH vrijednosti u kolovozu bile u alkalnom području te su se statistički značajno razlikovale u odnosu na srpanj i rujan (Tablica 2).

Vrijednosti **konduktiviteta** signifikantno su bile veće na postajama u šljunčari Zajarki u odnosu na postaje u mrtvaji Škrčev kut i rukavcu Sutle, dok vremenske razlike nisu bile statistički značajne (Kruskal-Wallis test, $p > 0,05$) (Tablica 3).

Ukupne suspendirane tvari (TSS) i **mutnoća vode** pokazivale su sličan slijed prostornih oscilacija koje su bile statistički značajne, kao i vremenske oscilacije. U mrtvaji Škrčev kut vrijednost TSS (26,5 ± 18,53 mg/L) i mutnoća vode (23 ± 14,14 NTU) statistički su značajno bile više u odnosu na mjerenja u šljunčari Zajarki i rukavcu Sutle (Slika 2, Tablica 3).

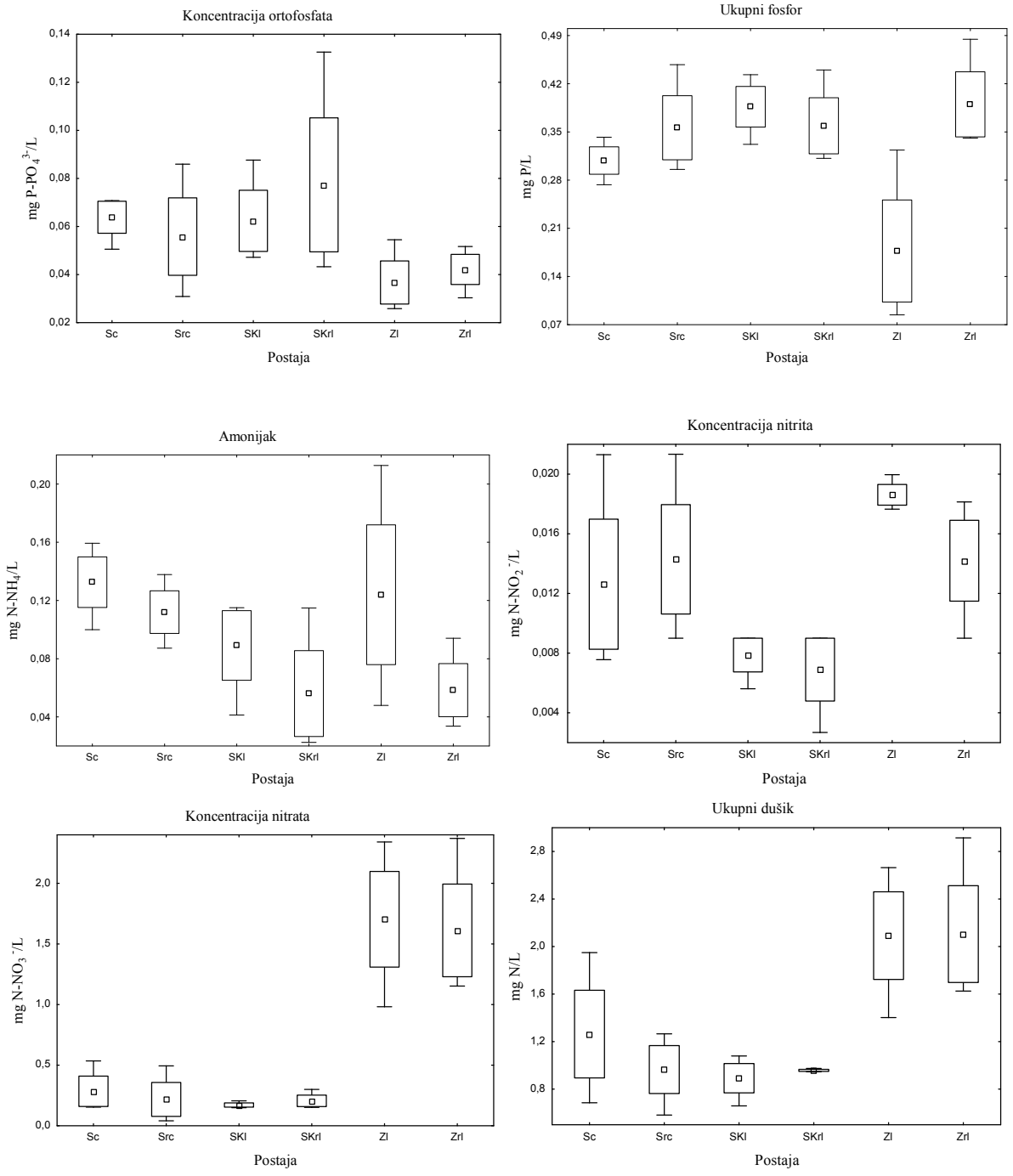
Koncentracije orto-fosfata i **ukupnog fosfora** nisu se značajno razlikovale prostorno niti vremenski (Kruskal-Wallis test, $p > 0,05$), a kretale su se oko srednje vrijednosti 0,06 ± 0,02 mg P-PO_4^{3-}/L za orto-fosfate i 0,33 ± 0,1 mg P/L za ukupni fosfor (Slika 3, Tablica 3). Vrijednosti **koncentracije amonijaka** nisu bile statistički značajno različite između tri lokaliteta (ANOVA, $p > 0,05$), a kretale su se oko srednje vrijednosti 0,095 ± 0,051 mg N-NH_4/L. Statistički značajno veća koncentracija NH_4 zabilježena je u kolovozu u odnosu na ostala dva ljetna mjeseca (Tablica 2). Vrijednosti koncentracija **nitrita** i **nitrata** bile su statistički značajno veće u šljunčari Zajarki u odnosu na mrtvaju Škrčev kut i rukavac Sutle (Tablica 3). Statistički veće vrijednosti **ukupnog dušika** zabilježene su u šljunčari Zajarki. Statistički značajno niže vrijednosti ukupnog dušika zabilježene su u kolovozu u odnosu na ostala dva ljetna mjeseca (Slika 3, Tablica 2 i 3).



Slika 2 Oscilacije minimalnih, maksimalnih i srednjih vrijednosti temperature (^oC), koncentracije otopljenog kisika (mg O_2/L), pH, konduktiviteta (µS/cm), ukupnih suspendiranih tvari, TSS (mg/L) i mutnoće vode (NTU) na istraživanim postajama. Legenda: ⊡ srednja vrijednost ± SD ⌶ Minimalna-Maksimalna vrijednost

Tablica 2 Značajnost prostornih i vremenskih razlika u promjenama fizičko-kemijskih čimbenika, hranjivih tvari i izvora hrane na tri istraživana lokaliteta (ANOVA, *post-hoc* Tukey HSD test, $p < 0,05$)

Limnološki čimbenici	**F**	**p**	**Tukey HSD test**
Temperatura (^oC)			
Lokalitet	3,2	0,0726	
Mjesec	173,5	0,0000	VII > VIII > IX
Kisik (mg O_2/L)			
Lokalitet	1,4	0,2904	
Mjesec	2,0	0,1741	
pH			
Lokalitet	0,8	0,4667	
Mjesec	29,4	0,0000	VIII > VII, IX
Mutnoća vode (NTU)			
Lokalitet	17,2	0,0002	Šk > S > Z
Mjesec	12,4	0,0010	IX < VII, VIII
TSS (mg/L)			
Lokalitet	9,6	0,0028	Šk > S,Z
Mjesec	28,4	0,0000	IX < VII, VIII
Amonijak (mg N-NH_4/L)			
Lokalitet	2,7	0,1061	
Mjesec	5,8	0,0160	VIII > VII > IX
Ukupni dušik (mg N/L)			
Lokalitet	23,2	0,0001	Z > S, Šk
Mjesec	8,1	0,0053	VIII < VII, IX
Chl *a* plankton (μg/L)			
Lokalitet	14,8	0,0004	Z < S, Šk
Mjesec	3,3	0,0675	
Chl *a* epifiton (μg/g SM)			
Lokalitet	4,7	0,0287	Z < S
Mjesec	0,1	0,9154	



Slika 3 Oscilacije minimalnih, maksimalnih i srednjih vrijednosti orto-fosfata (mg $P\text{-}PO_4$-/L), ukupnog fosfora (mg P/L), amonijaka (mg $N\text{-}NH_4$/L), nitrita (mg $N\text{-}NO_2^-$/L), nitrata ($N\text{-}NO_3^-$/L) i ukupnog dušika (mg N/L) na istraživanim postajama. Legenda: ⊡ srednja vrijednost ± SD ⌶ Minimalna-Maksimalna vrijednost

Tablica 3 Značajnost prostornih razlika u promjenama fizičko-kemijskih čimbenika, hranjivih tvari i izvora hrane na tri istraživana lokaliteta (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$; *post hoc* test višestruke usporedbe)

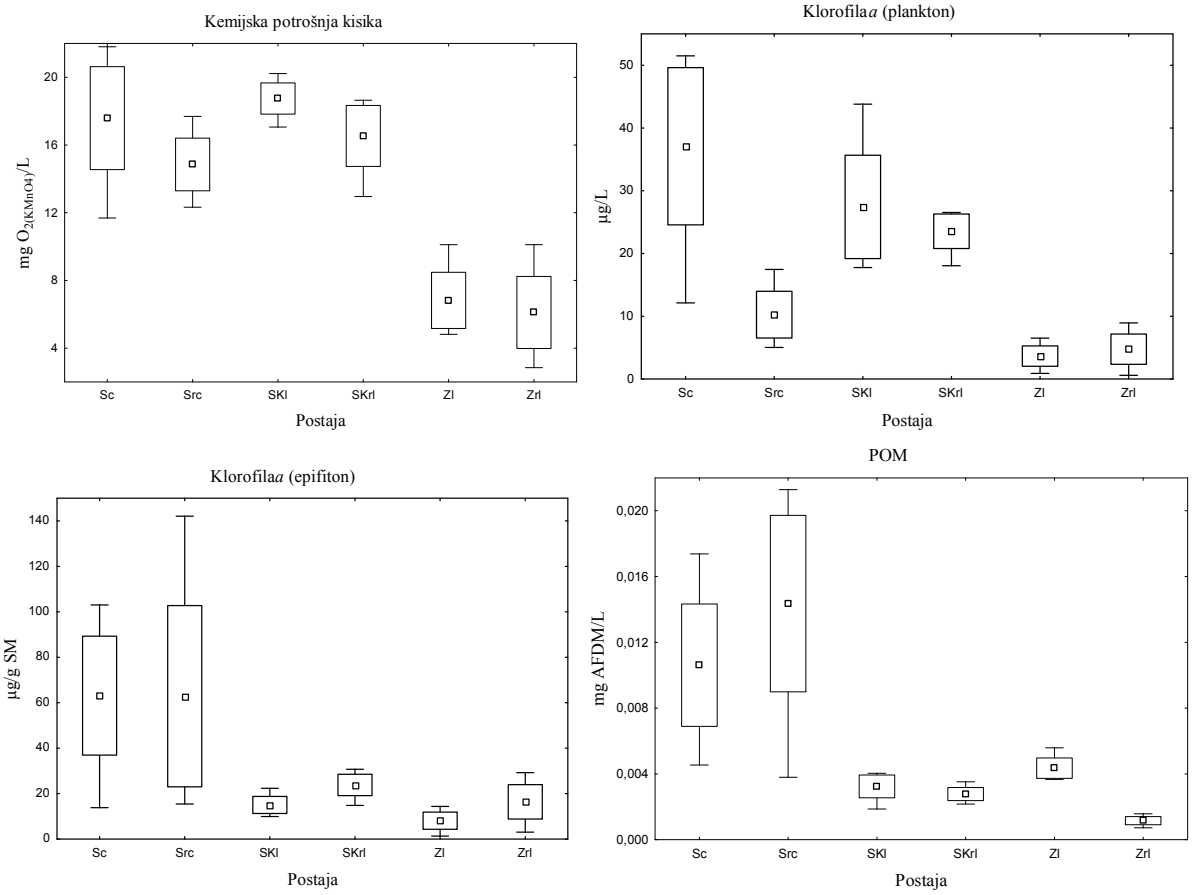
Limnološki čimbenici	**H**	**p**	**Višestruka usporedba**
Konduktivitet (μS/cm)	12,3	0,0021	Z > S, Šk
Koncentracija ortofosfata (mg P-PO_4^{3-}/L)	4,7	0,0945	
Ukupni fosfor (mg P/L)	1,4	0,499	
Koncentracija nitrita (mg N-NO_2^-/L)	6,9	0,0317	Z > S, Šk
Koncentracija nitrata (mg N-NO_3^-/L)	11,4	0,0034	Z > S, Šk
KPK $_{KMnO4}$ (mg/L O_2)	11,6	0,0031	S, Šk > Z
POM (mg AFDM/L)	8,6	0,0138	S > Šk, Z

4.2. Izvori hrane

Koncentracije otopljene organske tvari, mjerene kao KPK_{KMnO4}, statistički su značajno bile više u rukavacu Sutle i mrtvaji Škrčev kut nego u šljunčari Zajarki (Slika 4, Tablica 3), dok vremenske oscilacije nisu bile statistički značajne (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$).

Koncentracije kolorofila *a* zabilježene u planktonu rukavaca Sutle i mrtvaji Škrčev kut bile u signifikantno više u odnosu na one u šljunčari Zajarki (Slika 4, Tablica 2). Vrijednosti klorofila *a* u epifitonu bile su također više na lokalitetu rukavac Sutle u odnosu na šljunčaru Zajarki, što je rezultiralo statistički značajnim razlikama (Slika 4, Tablica 2).

Suspendirane organske tvari, izražene kao **POM,** pokazivale su ujednačene vrijednosti na lokalitetima šljunčara Zajarki i mrtvaja Škrčev kut dok su vrijednosti POM na lokalitetu rukavac Sutle bile značajno više (Slika 4, Tablica 3).



Slika 4 Oscilacije minimalnih, maksimalnih i srednjih vrijednosti KPK (mg O_2/L), klorofila *a* (plankton) (µg/L), klorofila *a* (epifiton) (µg/g SM) i POM (mg AFDM/L) na istraživanim postajama. Legenda: ⊡ srednja vrijednost ± SD, ⌶ Minimalne-Maksimalne vrijednosti

4.3. Brojnost i raznolikost mikrofaune epifitona

Rezultati su prezentirani usporedbom brojnosti i raznolikosti mikrofaune epifitona na živom i fiskiranom materijalu. U njima su prikazane promjene raznolikosti i brojnosti mikrofaune epifitona unutar i na rubu makrofitskih sastojina u tri različita hidrosustava.

4.3.1. Brojnost i raznolikost mikrofaune epifitona u plitkom jezeru sa submerznim makrofitima

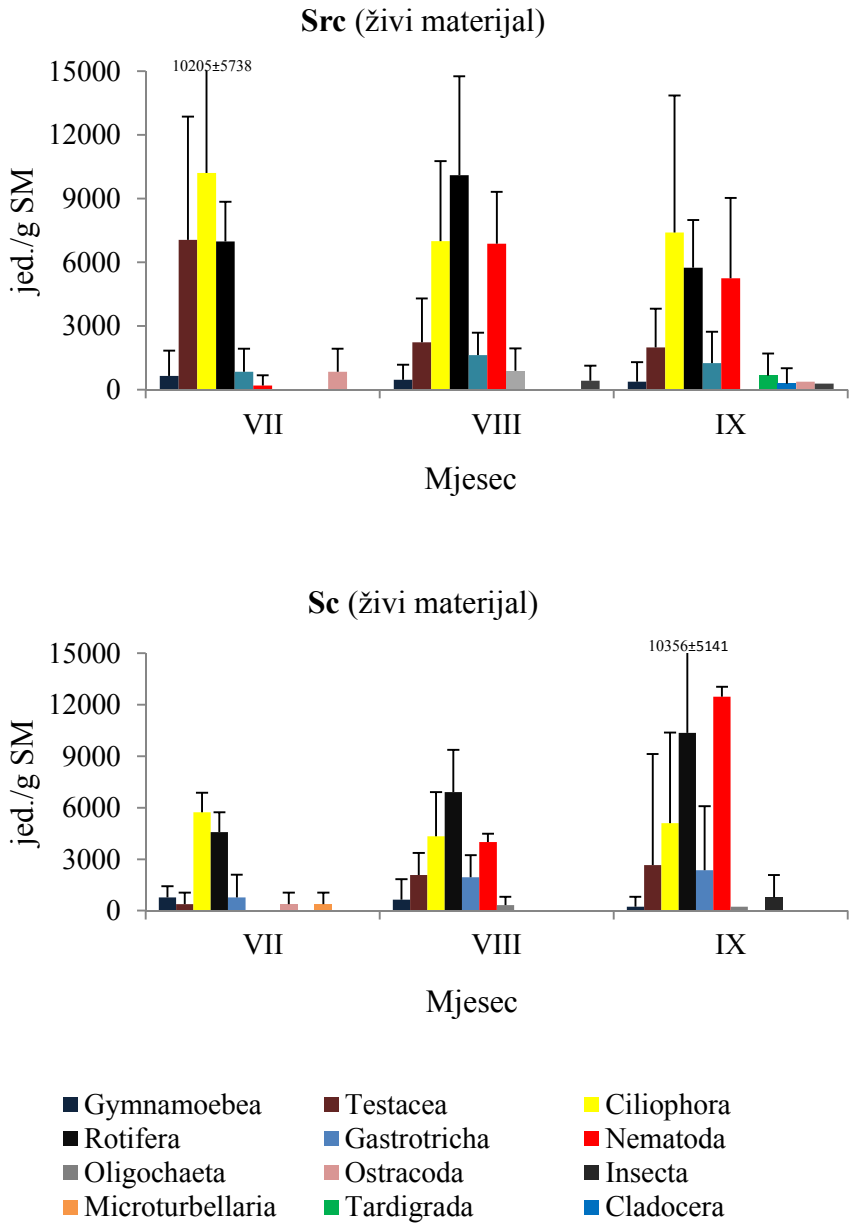
Rukavac Sutle

Živi materijal

Na rubu sastojina vrste *Ceratophyllum demersum* (Src) determinirano je 50 svojti iz skupine Ciliophora (26), a dvostruko manje iz skupine Rotifera (12). Podjednak broj svojti

zabilježen je u sva tri mjeseca (27 ± 1,5) (Tablica 4). U ukupnoj brojnosti mikrofaune epifitona prevladavale su jedinke iz skupine Ciliophora (38 %) i Rotifera (26 %). Dominantna vrsta Ciliophora bila je *Uronema nigricans* s najvećom brojnošću u srpnju (3281 jed/g SM). Od Rotifera značajan udio u brojnosti imali su bdeloidni kolnjaci (64 %), te vrsta *Colurella obtusa* (18 %) od monogonontnih kolnjaka. Skupina Ciliophora postigla je na ovoj postaji najveću brojnost (8201,667 jed/g SM).

Na postaji unutar sastojina vrste *Ceratophyllum demersum* (Sc) zabilježeno je ukupno 40 svojti. Najviše ih je zabilježeno tijekom kolovoza (28), a najmanje u srpnju (14). Najveća ukupna brojnost na toj postaji zabilježena je u rujnu (34378 jed/g SM). Najveću brojnost postigla je skupina Gymnamoebea (546 jed/g SM) u odnosu na ostale lokalitete. Skupina Ciliophora isticala se raznolikošću (20 svojti), a srednja vrijednost brojnosti iznosila je 5054 ± 698 jed/g SM. Rotifera su bili zastupljeni s 9 svojti, ali je njihova srednja vrijednost brojnosti od 7282 ± 2904 jed/g SM bila najveća u odnosu ostale skupine (Slika 6, Tablica 4). Najveći udio u skupini Ciliophora postigla je vrsta *Cinetochilum margaritaceum* (47 %). Udio bdeloidnih kolnjaka iznosio je 42 % u ukupnoj brojnosti Rotifera (Slika 6). Ukupna raznolikost svojti kao i brojnost skupina Gymnamoebea i Ciliophora u rukavcu Sutle značajno su bile više u odnosu na ostala dva lokaliteta, a također i broj ostalih skupina i ukupne mikrofaune epifitona u odnosu na šljunčaru Zajarki (Tablica 5).



Slika 6 Vremenske promjene pojedinih skupina mikrofaune epifitona u rukavcu Sutle na postajama Src i Sc

Tablica 4 Promjene brojnosti i raznolikosti mikrofaune epifitona submerznih makrofita na istraživanim postajama u rukavcu Sutle (Src - rub sastojina makrofita *Ceratophyllum demersum* i Sc - unutar sastojina makrofita *Ceratophyllum demersum*)

Postaja		**Src** ± SD	**Sc** ± SD	**Src** ± SD	**Sc** ± SD	**Src** ± SD	**Sc** ± SD
Mjesec		Srpanj		Kolovoz		Rujan	
Skupina	Svojta	Jed/g SM		Jed/g SM		Jed/g SM	
Gymnamoebea							
	Amoeba proteus			211 ± 516	82 ± 202		
	Thecamoeba striata		764 ± 662		396 ± 641		
	Thecamoeba verrucosa				165 ± 403		
	Vahlkampfia limax	650 ± 1116		251 ± 614		375 ± 918	232 ± 567
Gymnamoebea ukupno		**650** ± 1196	**764** ± 662	**461** 719	**643** ± 1191	**375** ± 918	**232** ± 567
Testacea							
	Arcella discoides	1101 ± 1328	382 ± 662	1173 ± 1118	530 ± 1075	666 ± 1043	1589 ± 3890
	Centropyxis aculeata	5508 ± 4747		1054 ± 1680	1554 ± 1003	1331 ± 1528	1059 ± 2593
	Difflugia oviformis	452 ± 1212					
Testacea ukupno		**7061** ± 5809	**382** ± 662	**2227** ± 2073	**2084** ± 1279	**1997** ± 1821	**2647** ± 6483
Ciliophora							
	Aspidisca costata	990 ± 1168				291 ± 712	
	Aspidisca lynceus	594 ± 994					
	Chilodonella sp.			211 ± 516			
	Chilodonella uncinata	848 ± 1082					
	Chilodontopsis sp.			251 ± 614			
	Cinetochilum margaritaceum	594 ± 1455	2674 ± 2386	502 ± 777	576 ± 826	291 ± 712	1059 ± 1640
	Coleps hirtus	199 ± 485		421 ± 1032	149 ± 366	375 ± 918	529 ± 1297
	Cyclidium sp.	1355 ± 2424	2293 ± 1985	1595 ± 1714	1548 ± 1486		
	Epistylis sp.	452 ± 1212			411 ± 1008	2036 ± 4986	
	Euplotes charon					291 ± 712	
	Euplotes patella			421 ± 1032	165 ± 255	375 ± 918	
	Holosticha pulaster					666 ± 1043	463 ± 718
	Litonotus lamella		382 ± 662	502 ± 777	149 ± 366		529 ± 1297
	Loxophyllum meleagris					666 ± 1043	
	Microthorax pusillus						232 ± 567
	Nassula ornata			923 ± 1078	299 ± 731	582 ± 902	232 ± 567
	Ophryoglena atra			251 ± 614			
	Oxytrichidae		382 ± 662	963 ± 1811	247 ± 413		
	Paramecium bursaria				149 ± 366		
	Spirostomum ambiguum					291 ± 712	
	Stentor sp.			251 ± 614	82 ± 202		
	Stylonychia sp.	792 ± 970					
	Tetrahymena pyriformis				165 ± 403	582 ± 902	
	Uronema nigricans	3281 ± 2866					529 ± 1297
	Urostyla grandis				149 ± 366		
	Vaginicola sp.				82 ± 202		
	Vorticella campanula						463 ± 718
	Vorticella microstoma	903 ± 1484					529 ± 1297
	Vorticella monilata					291 ± 712	
	Vorticella similis				82 ± 202	291 ± 712	
	Vorticella- telotroh	199 ± 485		712 ± 785	82 ± 202	375 ± 918	529 ± 1297
Ciliophora ukupno		**10205** ± 5738	**5730** ± 1146	**7001** ± 3764	**4336** ± 2565	**7399** ± 6468	**5095** ± 5287

Tablica 4 (nastavak) Promjene brojnosti i raznolikosti mikrofaune epifitona submerznih makrofita na istraživanim postajama u rukavcu Sutle (Src - rub sastojina makrofita *Ceratophyllum demersum* i Sc - unutar sastojina makrofita *Ceratophyllum demersum*)

Postaja		**Src** ± SD	**Sc** ± SD	**Src** ± SD	**Sc** ± SD	**Src** ± SD	**Sc** ± SD
Mjesec		Srpanj		Kolovoz		Rujan	
Skupina	Svojta	Jed/g SM		Jed/g SM		Jed/g SM	
Microturbellaria ukupno			**382** ± 662				
Rotifera							
	Bdelloidea	4493 ± 2130	1911 ± 1752	5577 ± 3007	3535 ± 1257	2869 ± 1924	4864 ± 3307
	Cephalodella forficula	199 ± 594	1146 ± 1146				
	Cephalodella sp.			3310 ± 1690	2130 ± 1335	1622 ± 1983	5493 ± 2276
	Colurella obtusa	1299 ± 1429	382 ± 662				
	Colurella uncinata			251 ± 614	381 ± 442	375 ± 918	
	Euchlanis dilatata	199 ± 485					
	Keratella cochlearis	199 ± 485				291 ± 712	
	Lecane flexilis					291 ± 712	
	Lecane lunaris	396 ± 1063	764 ± 662	251 ± 614	710 ± 502	291 ± 712	
	Lepadella patella			461 ± 719			
	Monommata sp.				149 ± 366		
	Synchaeta pectinata	199 ± 485					
	Trichocerca biroistris		382 ± 662	251 ± 614			
Rotifera ukupno		**6980** ± 1871	**4584** ± 1146	**10100** ± 4669	**6905** ± 2470	**5738** ± 2256	**10356** ± 5141
Gastrotricha uku	*Chaetonotus* sp.	**848** ± 1082	**764** ± 1323	**1635** ± 1052	**1951** ± 1281	**1247** ± 1480	**2350** ± 3734
Nematoda ukupno		**199** ± 485		**6880** ± 2444	**3992** ± 1822	**5241** ± 3800	**12474** ± 6715
Oligochaeta ukupno				**883** ± 1056	**314** ± 487		**232** ± 567
Tardigradaukupn	*Macrobiotus* sp.					**666** ± 1043	
Cladocera ukupn	*Alona* sp.					**291** ± 712	
Ostracoda ukupno		**848** ± 1082	**382** ± 662			**375** ± 918	
Insecta							
	Chironomidae			211 ± 516		291 ± 712	761 ± 1307
	Ephemeroptera			211 ± 516			
Insecta ukupno				**421** ± 653		**291** ± 712	**761** ± 1307
Ukupno		**26789** ± 6798	**12989** ± 4632	**29608** ± 6174	**20305** ± 6762	**23620** ± 9378	**34378** ± 18358

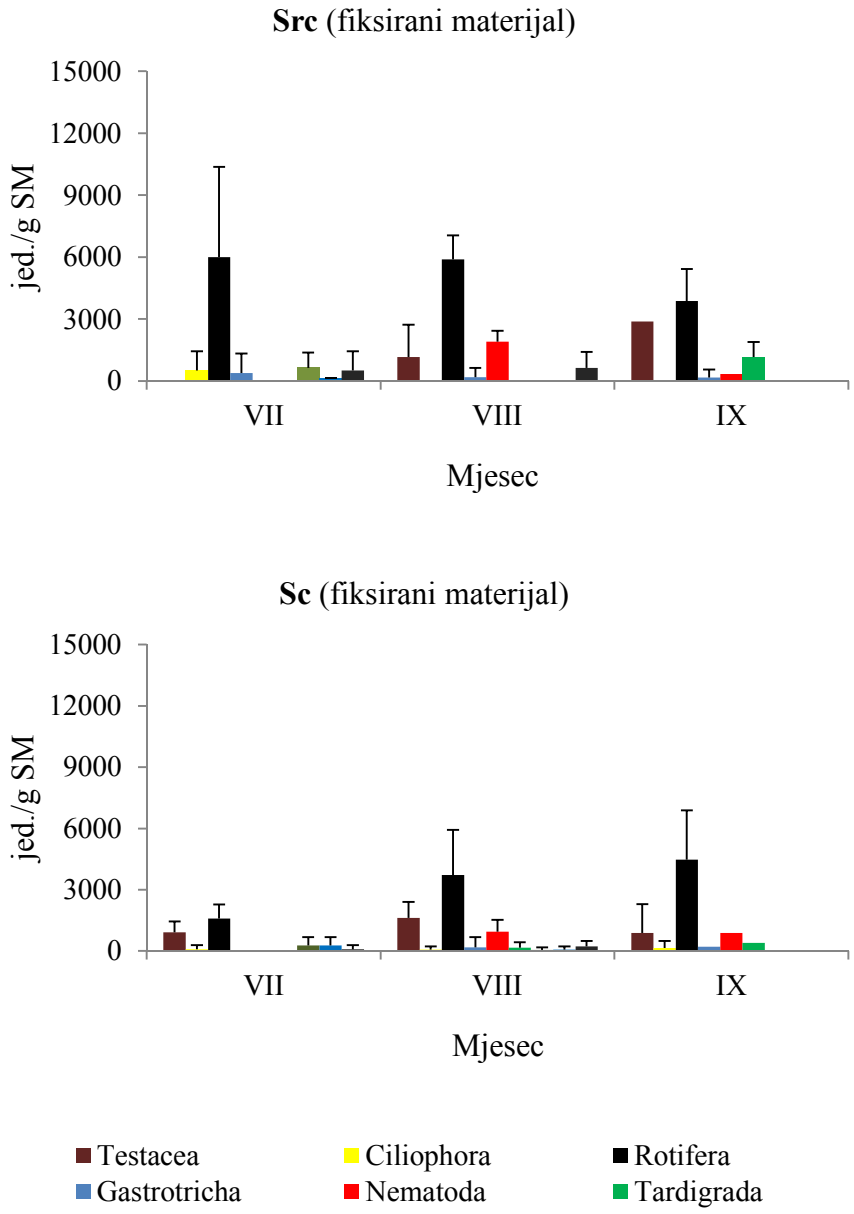
Fiksirani materijal

Na rubu sastojina makrofita (Src) zabilježena je 21 svojta, što je 42 % manje svojti nego u živom materijalu. Skupine Testacea, Rotifera i Nematoda najbrojnije su skupine na ovoj postaji u odnosu na ostale postaje i lokalitete. Udio Rotifera u ukupnoj brojnosti mikrofaune epifitona iznosio je 73 %, odnosno srednja vrijednost brojnosti iznosila je od 5252 ± 1199 jed/g SM. Osim konstantno brojne skupine bdeloidnih kolnjaka u ovom uzorku značajnu brojnost postigle su u srpnju vrste monogonontnih kolnjaka *Lecane flexilis* (768 jed/g SM) i *Epiphanes senta* (384 jed/g SM).

Unutar sastojina makrofita (Sc) determinirane su ukupno 22 svojte. Rotifera su s 50 %-tnim udjelom prevladavali u ukupnoj brojnosti mikrofaune epifitona. Kao i u živim uzorcima, najbrojnija skupina bili su Bdelloidea (49 %) s najvećom brojnošću u rujnu (3729 jed/g SM) što je za 34 % manje nego u živom materijalu. Veći udio u brojnosti postigli su kolnjaci *Trichocerca biroistris* (19 %) i *Lepadella patella* (19 %) (Slika 7, Tablica 5).

Tablica 5 Značajnost prostornih razlika u promjenama u brojnosti i raznolikosti mikrofaune epifitona (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$; *post hoc* test višestruke usporedbe)

Mikrofauna epifitona	H	p	Višestruka usporedba
Gymnamoebea	13,705	0,0011	S > Z, Šk
Testacea	10,748	0,0046	Z < S, Šk
Ciliophora	9,346	0,0093	S > Z, Šk
Rotifera	14,810	0,0006	Z < S, Šk
Gastrotricha	11,859	0,0027	Z < S, Šk
Ukupna mikrofauna	12,784	0,0017	S > Z, Šk
S	8,749	0,0126	Z < S



Slika 7 Vremenske promjene pojedinih skupina mikrofaune epifitona u rukavcu Sutle na postajama Src i Sc u fiksiranom materijalu

Tablica 6 Promjene brojnosti i raznolikosti mikrofaune epifitona submerznih makrofita na istraživanim postajama u rukavcu Sutle u fiksiranim uzorcima

	Postaja	**Src** ± SD	**Sc** ± SD	**Src** ± SD	**Sc** ± SD	**Src** ± SD	**Sc** ± SD
	Mjesec	Srpanj		Kolovoz		Rujan	
Skupina	Svojta	Jed/g SM		Jed/g SM		Jed/g SM	
Testacea							
	Arcella discoides		264 ± 408	489 ± 541	166 ± 184	852 ± 776	201 ± 493
	Centropyxis aculeata		650 ± 523	674 ± 530	1445 ± 789	2031 ± 1155	685 ± 943
Testacea ukupno			**914** ± 529	**1163** ± 667	**1611** ± 785	**2883** ± 1563	**886** ± 1403
Ciliophora							
	Platycola decumbens		85 ± 208				
	Vaginicola sp.	511 ± 930			64 ± 157		
	Vorticella -telotroh						141 ± 346
Ciliophora ukupno		**511** ± 930	**85** ± 208		**64** ± 157		**141** ± 346
Rotifera							
	Bdelloidea	3959 ± 2640	773 ± 714	3979 ± 1734	2831 ± 1730	2854 ± 1219	3729 ± 2453
	Brachionus patulus				64 ± 157		
	Cephalodella sp.				51 ± 125	508 ± 859	141 ± 346
	Collotheca mutabilis	127 ± 310					
	Epiphanes senta	384 ± 940					
	Keratella cochlearis				51 ± 125	163 ± 399	
	Keratella quadrata	127 ± 310					
	Lecane closterocerca		132 ± 323				
	Lecane cornuta	384 ± 940			102 ± 158		
	Lecane flexilis	768 ± 1190					
	Lecane lunaris		85 ± 208				
	Lepadella patella		302 ± 346	186 ± 455	102 ± 158		603 ± 1010
	Lindia sp.	127 ± 310					
	Lophocaris salpina			523 ± 577	257 ± 315	172 ± 422	
	Trichocerca biroistris	127 ± 310	302 ± 346	1197 ± 1260	257 ± 315	172 ± 422	
Rotifera ukupno		**6001** ± 4366	**1593** ± 677	**5884** ± 1173	**3715** ± 2214	**3870** ± 1560	**4474** ± 2407
Gastrotricha uk	*Chaetonotus* sp.	**384** ± 940		**186** ± 455	**179** ± 314	**163** ± 399	**201** ± 493
Nematoda ukupno				**1905** ± 1474	**948** ± 572	**335** ± 520	**886** ± 1044
Tardigrada							
	Macrobiotus sp.				166 ± 267	1159 ± 731	402 ± 623
Tardigrada ukupno					**166** ± 267	**1159** ± 731	**402** ± 623
Copepoda ukupno		**634** ± 748	**264** ± 408		**51** ± 125		
Cladocera							
	Alona sp.	127	264 ± 408		64 ± 157		
Cladocera ukupno		**127**	**264** ± 408		**64** ± 157		
Insecta							
	Chironomidae	511 ± 930	85 ± 208	640 ± 764	102 ± 250		
	Ephemeroptera				128 ± 199		
Insecta ukupno		**511** ± 930	**85** ± 208	**640** ± 764	**230** ± 266		
Ukupno		**8167** ± 3712	**3203** ± 634	**9779** ± 2595	**7029** ± 2716	**8410** ± 2833	**6991** ± 3623

4.3.2. Brojnost i raznolikost mikrofaune epifitona u plitkom jezeru s flotantnim makrofitima

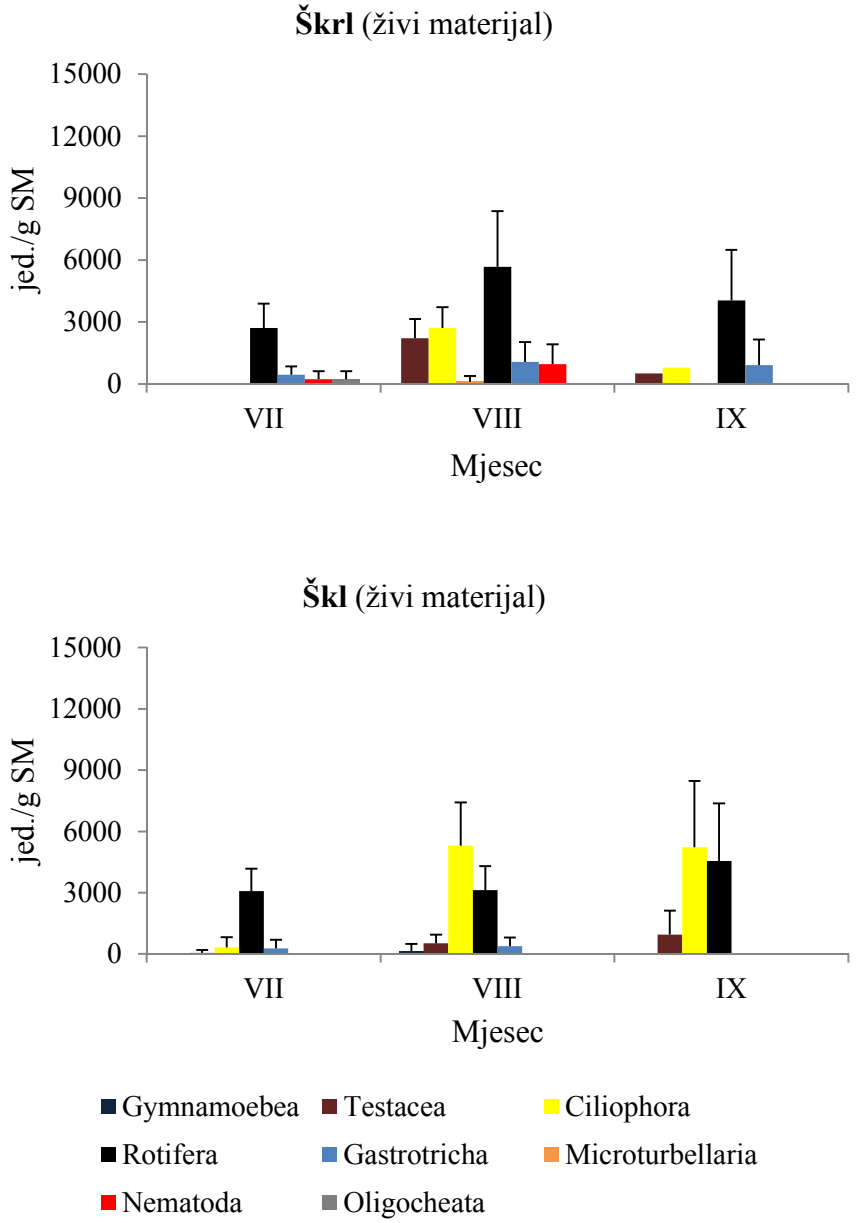
Mrtvaja Škrčev kut

Živi materijal

Na rubu sastojina flotantnih makrofita (Škrl) zabilježeno je 31 svojta, najmanji broj svojti bio je u srpnju (7) a najveći (23) u kolovozu. U ukupnom udjelu mikrofaune epifitona dominirali su Rotifera (75 %) s najvećom brojnošću u kolovozu (5666 jed/g SM). Gastrotricha su bili zastupljeni s 13% u ukupnoj brojnosti najveću brojnost su postigli u kolovozu (1067 jed/g SM). Tijekom istraživanog razdoblja najbrojniji su bili bdeloidni kolnjaci 1511 ± 544 jed/g SM, a od monogonontnih kolnjaka vrsta roda *Cephalodella* 1201 ± 261 jed/g SM. Uz skupinu Rotifera, Ciliophora su bili također brojna i raznolika skupina s dominantnim vrstama *Aspidisca costata* (544 jed/g SM) i *Vorticella similis* (452 jed/g SM) (Slika 8, Tablica 7).

Na postaji unutar sastojina flotantnih makrofita (Škl) zabilježeno je ukupno 35 svojti, najmanje tijekom srpnja (8) a najviše u rujnu (19). Najveća brojnost mikrofaune zbilježena je u rujnu s ukupno 10727 jed/g SM. U ukupnom udjelu mikrofaune epifitona dominirali su Rotifera (83 %) sa srednjom vrijednošću od 3585 ± 840 jed/g SM (Tablica 7). Kod Ciliophora veći udio u brojnosti imale su vrste *Vorticella similis* (27 %) i *Vorticella-telotroh* (25 %).

Na ovom lokalitetu skupine Testacea, Gastrotricha i Rotifera postigle su statitički značajno veće vrijednosti u mrtvaji Škrčev kut u odnosu na šljunčaru Zajarki, dok su skupine Ciliophora i Gymnamoebea postigle statistički značajno manje vrijednost u odnosu na rukavac Sutle (Tablica 5).



Slika 8 Vremenske promjene pojedinih skupina mikrofaune epifitona u mrtvaji Škrčev kut na postajama Škrl i Škl

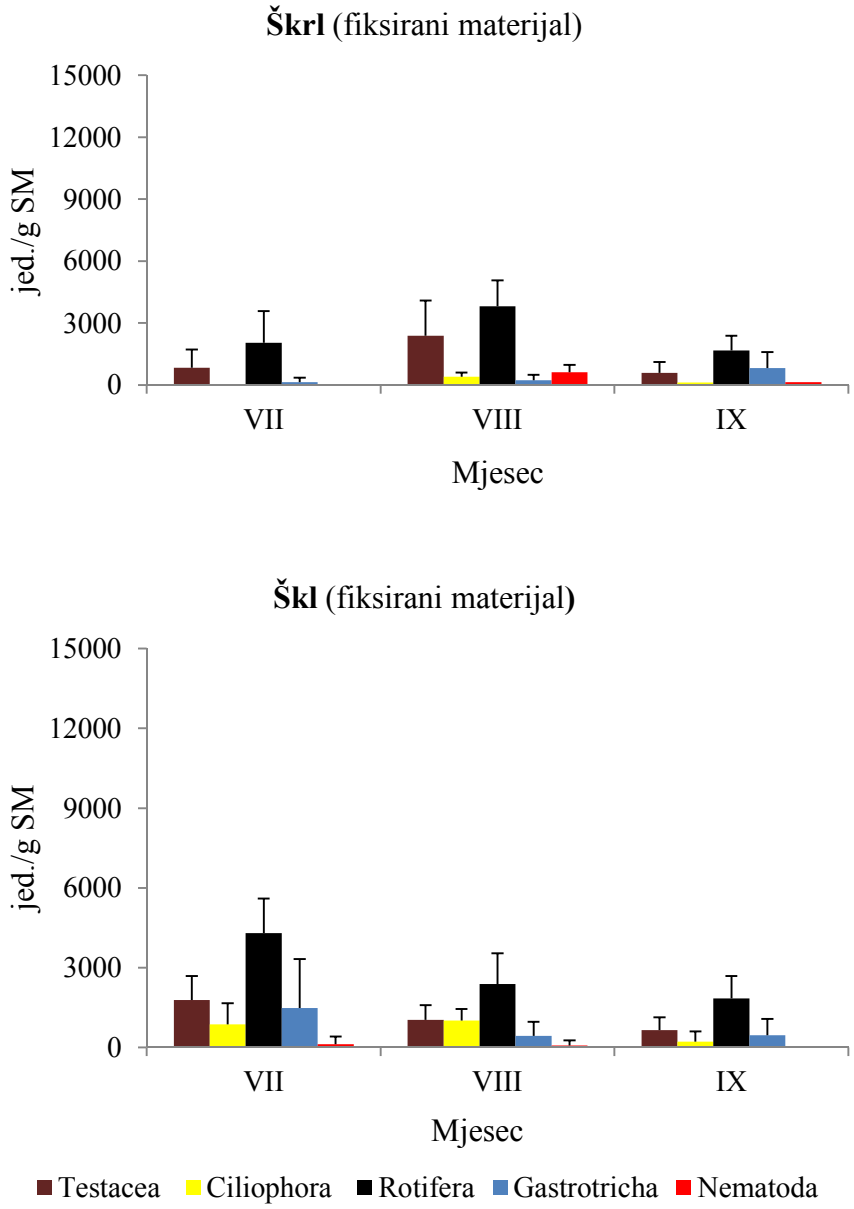
Tablica 7 Promjene brojnosti i raznolikosti mikrofaune epifitona flotantnih makrofita na istraživanim postajama u mrtvaji Škrčev kut (Škrl - rub sastojina makrofita *Nuphar lutea* i Škl - unutar sastojina makrofita *Nuphar lutea*)

Postaja		**Škrl** ± SD	**Škl** ± SD	**Škrl** ± SD	**Škl** ± SD	**Škrl** ± SD	**Škl** ± SD
Mjesec		Srpanj		Kolovoz		Rujan	
Skupina	Svojta	Jed/g SM		Jed/g SM		Jed/g SM	
Gymnamoebea uku	*Vampyrella lateritia*				**144** ± 352		
Testacea							
	Arcella discoides		±	1017 ± 1405	528 ± 414	508 ± 923	348 ± 577
	Centropyxis aculeata		54 ± 132	1201 ± 1150			598 ± 954
Testacea ukupno			**54** ± 132	**2217** ± 2387	**528** ± 414	**508** ± 923	**946** ± 1167
Ciliophora							
	Apsidisca lynceus				120 ± 295		
	Aspidisca costata			544 ± 506			120 ± 293
	Carchesium polypinum						228 ± 559
	Chilodonella uncinata					271 ± 665	120 ± 293
	Cinetochilum margaritaceum						348 ± 577
	Coleps hirtus				144 ± 352		
	Cyclidium sp.		162 ± 397				
	Didinium sp.				144 ± 352		
	Euplotes charon						239 ± 371
	Euplotes patella			113 ± 277	505 ± 885		
	Glaucoma scintillans						120 ± 293
	Halteria cirrifera			216 ± 334			
	Holosticha pulaster					127 ± 311	
	Litonotus lamella			226 ± 553	361 ± 605		456 ± 1117
	Nassula ornata			103 ± 251			
	Opercularia articulata			205 ± 502			
	Paramecium bursaria				144 ± 352		
	Podophrya sp.						228 ± 559
	Tetrahymena pyriformis			103 ± 251			
	Tintinnopsis lacustris		162 ± 396				
	Tokophrya lemnarum				120 ± 295		1522 ± 2099
	Urostyla grandis			113 ± 277	431 ± 721		
	Vaginicola sp.				144 ± 352		
	Vorticella campanula			103 ± 251			228 ± 559
	Vorticella monilata			205 ± 318	431 ± 721	136 ± 332	
	Vorticella similis			452 ± 553	1418 ± 1376	254 ± 394	1391 ± 2120
	Vorticella -telotroh			328 ± 361	1343 ± 1064		228 ± 559
Ciliophora ukupno			**324** ± 502	**2710** ± 852	**5304** ± 2110	**788** ± 1014	**5227** ± 3247
Microturbellaria ukupno				**113** ± 277			
Rotifera							
	Asplanchna priodonta		162 ± 397				
	Bdelloidea	1809 ± 1036	2700 ± 1292	883 ± 709	1274 ± 1148	1840 ± 1109	2673 ± 2239
	Cephalodella sp.			1385 ± 842	672 ± 640	1017 ± 1335	957 ± 2014
	Colurella obtusa	452 ± 392	54 ± 132				
	Colurella uncinata			1324 ± 1339	287 ± 445	407 ± 681	239 ± 586
	Gastropus stylifer				120 ± 295		
	Keratella cochlearis	226 ± 392				127 ± 311	
	Lecane closterocerca				361 ± 885		228 ± 559
	Lecane lunaris	226 ± 392	162 ± 397	318 ± 349		398 ± 675	
	Lepadella patella			1529 ± 1339	408 ± 449	254 ± 623	
	Squatinella sp.			226 ± 350			
	Trichocerca biroistris						456 ± 1117
Rotifera ukupno		**2714** ± 1175	**3079** ± 1101	**5666** ± 2710	**3122** ± 1173	**4043** ± 2448	**4554** ± 2820
Gastrotricha ukupn	*Chaetonotus* sp.	**452** ± 392	**270** ± 431	**1067** ± 957	**384** ± 424	**915** ± 1232	
Nematoda ukupno		**226** ± 392		**965** ± 952			
Oligochaeta ukupno		**226** ± 392					
Ukupno		**3619** ± 2073	**3727** ± 1639	**12737** ± 5558	**9482** ± 2749	**6255** ± 3139	**10727** ± 5376

Fiksirani materijal

Na rubu sastojina flotantnih makrofita (Škrl) zabilježeno je ukupno 17 svojti sa srednjom brojnošću od 4605 ± 2464 jed/g SM što je 46 % manje nego u živom materijalu. Rotifera su sa 68 %-tnim udjelom bili najbrojnija i sa 8 svojti najraznolikija skupina, a maksimum brojnosti (3809 jed/g SM) postigli su u kolovozu. Testacea su sa 27 %-tnim udjelom također postigli najveću brojnost u kolovozu (2390 jed/g SM).

Ukupan broj svojti u fiksiranim uzrocima unutar sastojina flotantnih makrofita (Škl) bio je 20, najveća brojnost zabilježena je u srpnju 8533 jed/g SM. U odnosu na ostale postaje skupina Ciliophora postigla je su najveću brojnost na ovoj postaji. U ukupnom udjelu mikrofaune epifitona Rotifera su bili zastupljeni s 51 %. U ukupnom udjelu unutar skupine Ciliophora zabilježene su vrste s kućicama: *Tintinnopsis lacustris* (40 %), *Tintinnidium fluviatile* (33 %) te *Vaginicola* sp, dok unutar skupine Rotifera prevladavaju Bdelloidea (87 %) s najvećom brojnošću u srpnju 3741 jed/g SM (Slika 9, Tablica 8).



Slika 9 Vremenske promjene pojedinih skupina mikrofaune epifitona u mrtvaji Škrčev kut na postajama Škrl i Škl u fiksiranom materijalu

Tablica 8 Promjene brojnosti i raznolikosti mikrofaune epifitona flotantnih makrofita na istraživanim postajama mrtvaje Škrčev kut u fiksiranim uzorcima

Postaja		**Škrl** ± SD	**Škl** ± SD	**Škrl** ± SD	**Škl** ± SD	**Škrl** ± SD	**Škl** ± SD
Mjesec		Srpanj		Kolovoz		Rujan	
Skupina	Svojta	Jed/g SM		Jed/g SM		Jed/g SM	
Testacea							
	Arcella discoides	443 ± 597	1198 ± 812	786 ± 278	804 ± 347	125 ± 193	486 ± 259
	Centropyxis aculeata	389 ± 335	535 ± 364	1604 ± 1805	224 ± 375	467 ± 456	164 ± 402
	Pseudochlamys arcelloides		43 ± 104				
Testacea ukupno		**832** ± 891	**1776** ± 904	**2390** ± 1693	**1028** ± 557	**592** ± 523	**650** ± 481
Ciliophora							
	Euplotes charon			50 ± 123	75 ± 183		
	Euplotes patella				141 ± 345		
	Stentor sp.					125 ± 193	158 ± 387
	Tintinnidium fluviatile		289 ± 363				
	Tintinnopsis lacustris		341 ± 448				
	Vaginicola sp.		237 ± 580	151 ± 252	369 ± 523		53 ± 129
	Vorticella microstoma			50 ± 123	356 ± 319		
	Vorticella similis				70 ± 172		
	Vorticella -telotroh			151 ± 252			
Ciliophora ukupno			**867** ± 797	**402** ± 492	**1011** ± 437	**125** ± 193	**211** ± 383
Rotifera							
	Bdelloidea	2047 ± 1538	3741 ± 889	2311 ± 903	857 ± 594	852 ± 740	1434 ± 1007
	Cephalodella forficula		118 ± 290				
	Cephalodella sp.		85 ± 209	482 ± 517	369 ± 523	62 ± 153	105 ± 258
	Keratella cochlearis tecta					207 ± 228	
	Lecane closterocerca				294 ± 541	145 ± 224	53 ± 129
	Lecane lunaris			230 ± 564		72 ± 177	
	Lepadella patella		355 ± 594	50 ± 123		62 ± 153	82 ± 201
	Lophocaris salpina			304 ± 254	646 ± 446	145 ± 355	82 ± 201
	Trichocerca biroistris			431 ± 313	211 ± 353	125 ± 306	82 ± 201
Rotifera ukupno		**2047** ± 1538	**4300** ± 1295	**3809** ± 1262	**2378** ± 1161	**1671** ± 710	**1838** ± 850
Gastrotricha ukı	*Chaetonotus* sp.	**140** ± 217	**1473** ± 1852	**228** ± 267	**426** ± 534	**819** ± 774	**451** ± 619
Nematoda ukupno			**118** ± 290	**614** ± 807	**75** ± 183	**145** ± 355	
Ukupno		**3019** ± 1297	**8533** ± 2709	**7444** ± 2890	**4918** ± 933	**3351** ± 483	**3150** ± 1172

4.3.3. Brojnost i raznolikost mikrofaune epifitona u dubljem jezeru s flotantnim makrofitima

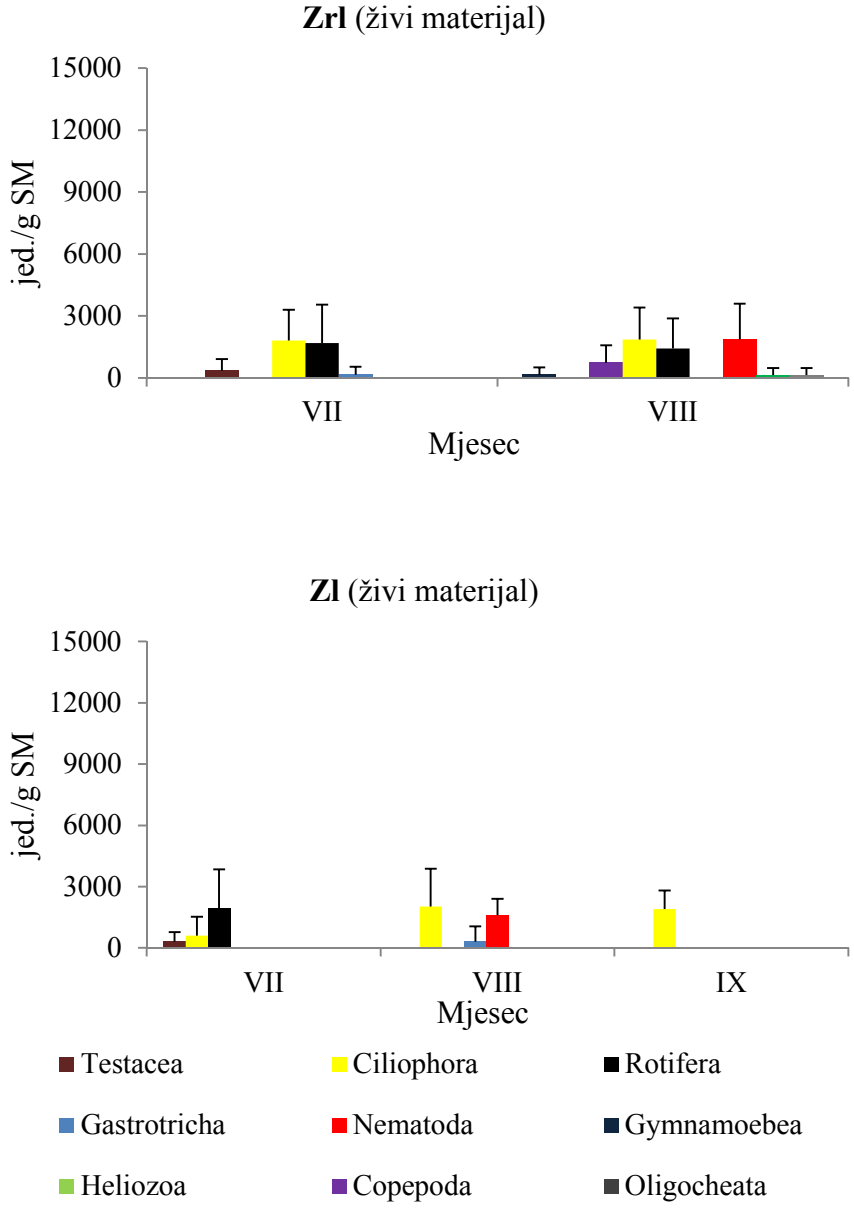
Šljunčara Zajarki

Živi materijal

Na rubu sastojina flotantnih makrofita (Zrl) zabilježeno je ukupno 30 svojti. U ukupnom udjelu u brojnosti mikrofaune epifitona zabilježene su skupine Ciliophora (45 %) i Rotifera (42 %). Brojnošću su se isticali bdeloidni kolnjaci (64 %) a od monogonontnih kolnjaka *Colurella obtusa* (29 %). Unutar skupine Ciliophora prevladali su *Cinetochilum margaritaceum* (21 %), a *Aspidisca costata* (19 %) i *Vorticella microstomata* (15 %).

Na postaji Zajarki unutar sastojina flotantnih makrofita zabilježeno je dvostruko manje svojti (16) tijekom ljetnih mjeseci, a srednja brojnost mikrofaune iznosila je 2896 ± 1019

jed/g SM. U ukupnom udjelu mikrofaune epifitona brojnošću su dominirali Rotifera (68 %) s najvećom brojnošću u srpnju 1933 jed/g SM. Najveća brojnost Ciliophora bila je u kolovozu i iznosila je 2028 jed/g SM. Bdelloidea (50 %) i *Lepadella patella* (31 %) postigli su najveći udio u brojnosti Rotifera (Slika 10, Tablica 9). Brojnost skupina Testacea, Rotifera i Gastrotricha u šljunčari Zajarki značajno su bile niže u odnosu na ostala dva lokaliteta, a također i broj ostalih skupina i ukupne mikrofaune epifitona (Tablica 5).



Slika 10 Vremenske promjene pojedinih skupina mikrofaune epifitona u šljunčari Zajarki na postajama Zrl i Zl

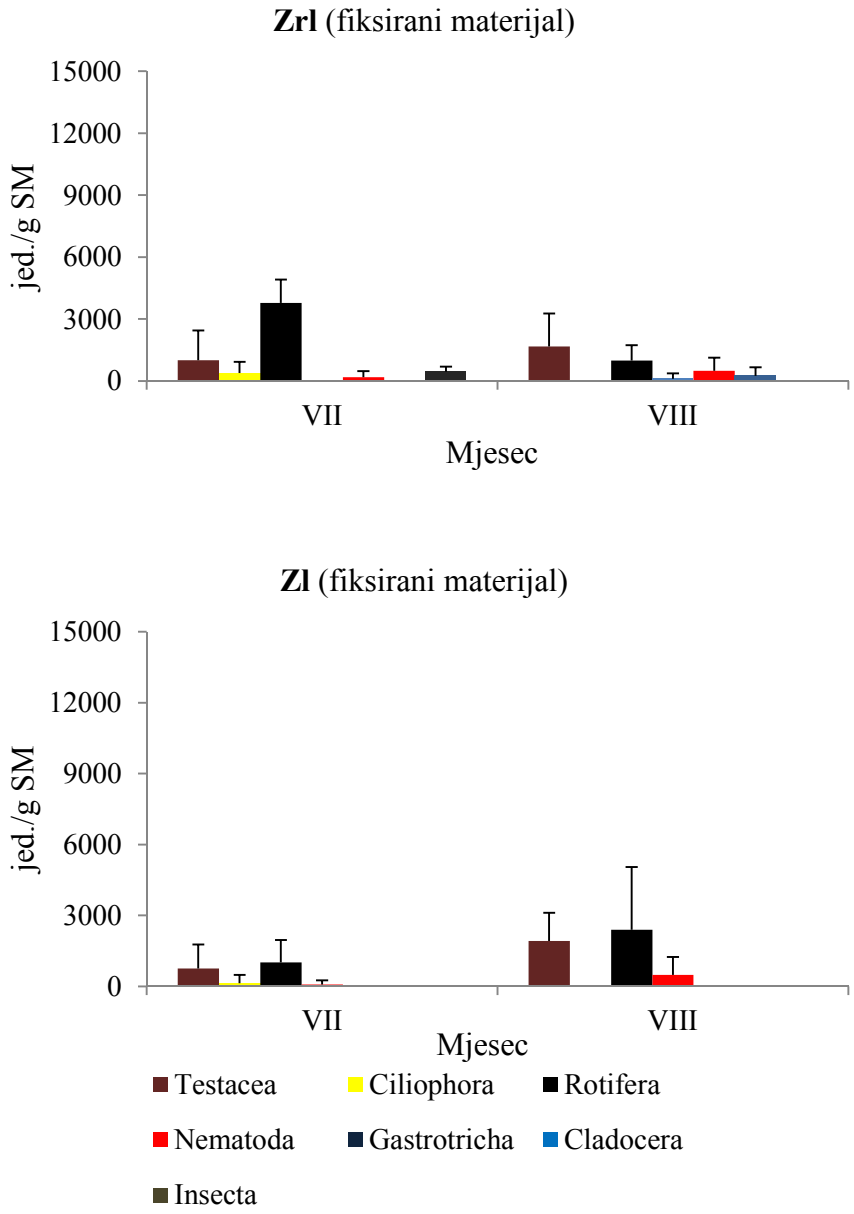
Tablica 9 Promjene brojnosti i raznolikosti mikrofaune epifitona flotantnih makrofita na istraživanim postajama u šljunčari Zajarki (Zrl - rub sastojina makrofita *Nuphar lutea* i Zl - unutar sastojina makrofita *Nuphar lutea*)

		Postaja	**Zrl** ± SD	**Zl** ± SD	**Zrl** ± SD	**Zl** ± SD	**Zl** ± SD
		Mjesec	Srpanj		Kolovoz		Rujan
Skupina	Svojta		Jed/g SM		Jed/g SM		Jed/g SM
Gymnamoebea							
Gymnamoebea ukupno	*Thecamoeba striata*				**149** ± 365		
Testacea							
	Arcella discoides		226 ± 351				
	Centropyxis aculeata		113 ± 277	301 ± 466			
Testacea ukupno			**340** ± 568	**301** ± 466			
Heliozoa ukupno	*Actinophris sol*				**725** ± 852		
Ciliophora							
	Amphileptus sp.			150 ± 368			636 ± 900
	Aspidisca costata		340 ± 832		139 ± 341		636 ± 900
	Aspidisca lynceus		158 ± 387				
	Chilodonella uncinata			150 ± 368	279 ± 682		
	Cinetochilum margaritaceum		384 ± 432			307 ± 752	
	Cyclidium sp.						636 ± 900
	Euplotes patella				428 ± 706		
	Glaucoma scintillans				288 ± 447		
	Halteria grandinella			150 ± 368			
	Holophrya discolor		158 ± 387				
	Holosticha pulaster		113 ± 277				
	Litonotus lamella					688 ± 1686	
	Microthorax pusillus		113 ± 277	150 ± 368			
	Nassula ornata				139 ± 341		
	Tetrahymena pyriformis		158 ± 387				
	Uroleptus piscis				139 ± 341		
	Uronema nigricans				298 ± 462	1033 ± 1728	
	Vorticella convallaria		113 ± 277				
	Vorticella microstoma		271 ± 428				
	Vorticella similis				149 ± 365		
Ciliophora ukupno			**1809** ± 1484	**601** ± 931	**1859** ± 1549	**2028** ± 1849	**1908** ± 900
Rotifera							
	Bdelloidea		1085 ± 1544	972 ± 1811	447 ± 632		
	Cephalodella sp.				139 ± 341		
	Collotheca mutabilis				139 ± 341		
	Colurella obtusa		498 ± 399				
	Colurella uncinata			220 ± 540			
	Lecane flexilis		113 ± 277				
	Lecane lunaris			150 ± 368	418 ± 699		
	Lepadella patella			591 ± 665	279 ± 432		
Rotifera ukupno			**1695** ± 1854	**1933** ± 1905	**1422** ± 1464		
Gastrotricha ukupno	*Chaetonotus* sp.		**158** ± 387			**307** ± 752	
Nematoda ukupno					**1859** ± 1743	**1609** ± 796	
Oligochaeta ukupno					**139** ± 341		
Copepoda ukupno					**139** ± 341		
Ukupno			**4001** ± 2915	**2834** ± 2631	**6293** ± 3690	**3944** ± 1909	**1908** ± 900

Fiksirani materijal

Na rubu sastojina flotantnih makrofita (Zrl) zabilježeno je ukupno 12 svojti. U ukupnom udjelu mikrofaune epifitona prevladavali su Rotifera (65 %) i Testacea (17 %). Vrste *Tintinnidium fluviatile* i *Tintinnopsis lacustris* unutar skupine Ciliophora postigle tijekom srpnja najveću brojnost (385 jed/g SM). Od Rotifera prevladavali su bdeloidni kolnjaci (86 %).

Unutar sastojina flotantnih makrofita (Zl) zabilježeno je ukupno 9 svojti. Najveća brojnost svojti zabilježena je tijekom kolovoza 4800 jed/g SM. U ukupnom udjelu također su prevladavale skupine Rotifera (51 %) i Testacea (38 %). Bdeloidea su i dalje najbrojnija skupina s brojnošću od 1512 ± 1179 jed/g SM (Slika 11, Tablica 10).



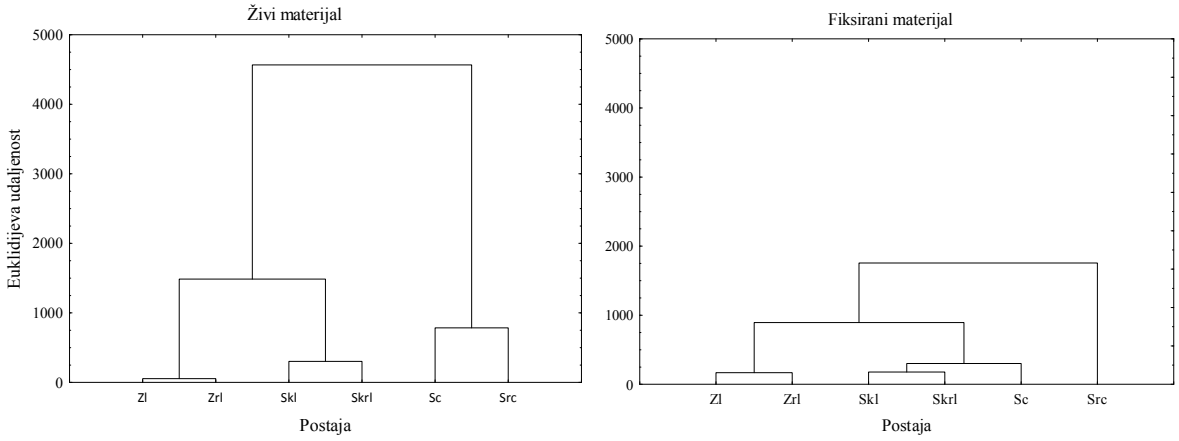
Slika 11 Vremenske promjene pojedinih skupina mikrofaune epifitona u šljunčari Zajarki na postajama Zrl i Zl u fiksiranom materijalu

Tablica 10 Promjene brojnosti i raznolikosti mikrofaune epifitona flotantnih makrofita na istraživanim postajama u šljunčari Zajarki u fiksiranim uzorcima

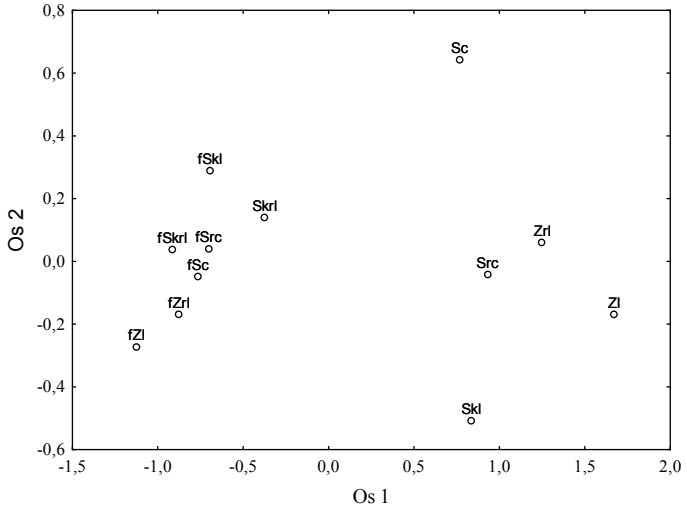
	Postaja	**Zr1** ± SD	**Zl** ± SD	**Zr1** ± SD	**Zl** ± SD
	Mjesec	Srpanj		Kolovoz	
Skupina	Svojta	Jed/g SM		Jed/g SM	
Testacea					
	Arcella discoides	154 ± 239	150 ± 233	167 ± 409	243 ± 594
	Centropyxis aculeata	847 ± 1254	601 ± 931	1503 ± 1398	1683 ± 1422
Testacea ukupno		**1001** ± 1444	**751** ± 1015	**1670** ± 1603	**1925** ± 1181
Ciliophora					
	Tintinnidium fluviatile	231 ± 387			
	Tintinnopsis lacustris	154 ± 239	139 ± 340		
Ciliophora ukupno		**385** ± 540	**139** ± 340		
Rotifera					
	Bdelloidea	3255 ± 1063	717 ± 695	883 ± 733	1192 ± 1667
	Cephalodella sp.	154 ± 239			485 ± 751
	Lecane closterocerca		75 ± 184		
	Lecane flexilis	111 ± 271			
	Lecane lunaris		139 ± 340		237 ± 582
	Lepadella patella	265 ± 418	75 ± 184	107 ± 263	475 ± 1163
Rotifera ukupno		**3784** ± 1122	**1006** ± 951	**990** ± 738	**2390** ± 2653
Gastroticha ukupn	*Chaetonotus* sp.			**107** ± 263	
Nematoda ukupno		**188** ± 297	**75** ± 184	**501** ± 634	**485** ± 751
Cladocera					
	Alona sp.			251 ± 420	
Cladocera ukupno				**251** ± 420	
Insecta					
	Chironomidae	298 ± 335			
	Ephemeroptera	154 ± 239			
Insecta ukupno		**452** ± 242			
Ukupno		**5810** ± 1016	**1971** ± 897	**3520** ± 1624	**4800** ± 1951

4.3.4. Uvjetovanost različitosti biocenoza

Analiza sličnosti ukazuje već na visokoj udaljenosti odvajanje postaja na lokalitetima s flotantnim makrofitima (mrtvaja Škrčev kut i šljunčara Zajarki) od onih sa submerznim makrofitima u rukavcu Sutle (Slika 12). Veću sličnost u sastavu mikrofaune između postaja na rubu i unutar makrofita pokazivale su biocenoze na lokalitetu Zajarki u odnosu na Škrčev kut i Sutlu. U fiksiranim uzorcima analiza sličnosti na manjoj udaljenosti razdvaja postaju Sc s malom zastupljenošću Ciliophora čvrstog skeleta od ostalih postaja, koji se udružuju u dvije skupine: skupina koju čine postaje na dubljem lokalitetu Zajarki (Zl, Zrl) te skupinu koju čine postaje (Škl, Škrl, Src) dvaju plitkih lokaliteta.



Slika 12 Dendogram analize sličnosti postaja temeljem brojnosti dominantnih skupina mikrofaune epifitona u a) živom i b) fiksiranom materijalu



Slika 13 Metoda nemetričkog multidimentionalnog skaliranja uzoraka temeljem brojnosti mikrofaune

Metoda nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja jasno ukazuje na grupiranje uzoraka manje brojnosti fiksiranog materijala od uzoraka veće brojnosti mikrofaune živog materijala (Slika 13). Rezultati Mann-Whitney U testa ukazuju da su živi i fiksirani uzorci pokazivali statistički signifikantne razlike temeljem brojnosti Gymnamoebea ($Z = -2,19$, $p = 0,0284$), Ciliophora ($Z=-2,80$, $p = 0,0051$) i ukupnog broja svojti ($Z = 1,98$, $p = 0,04$).

Raspoloživi izvori hrane značajno i pozitivno su djelovali na dominantne skupine mikrofaune (Tablica 11). Rotifera pokazuju širok spektar prehrane te pozitivno koreliraju sa suspendiranim (POM) i otopljenim (KPK) organskim tvarima, algama iz planktona i epifitona. Pozitivne korelacije s algama iz epifitona zabilježene su i za skupine Gymnamoebea, Testacea, Ciliophora, Rotifera, Gastrotricha te ukupnu mikrofaunu. Statistički značajna korelacija suspendiranih organskih tvari utvrđena je za ukupnu mikrofaunu te skupine Ciliophora i Rotifera.

Tablica 11 Statistički značajne korelacija (Spearmanov koeficijent, $p < 0,05$) između dominantnih skupina mikrofaune epifitona i izvora hrane

Ukupna mikrofauna	**r**	**Gastrotricha**	**r**
KPK_{KMNO4} (mg/L O_2)	0,48	Chl *a* epifiton (µg/g SM)	0,59
AFDM (mg/L)	0,54	**NTU**	**r**
Chl *a* epifiton (µg/g SM)	0,69	Temperatura (^oC)	0,54
Gymnamoebea	**r**	KPK_{KMNO4} (mg/L O_2)	0,74
Chl *a* epifiton (µg/g SM)	0,59	Chl *a* plankton (µg/L)	0,51
Testacea	**r**	**TP (mg/L P)**	**r**
Chl *a* epifiton (µg/g SM)	0,56	Temperatura (^oC)	0,60
Ciliophora	**r**	**AFDM (mg/L)**	**r**
AFDM (mg/L)	0,59	S	0,59
Chl *a* epifiton (µg/g SM)	0,51	**Testacea**	**r**
Rotifera	**r**	S	0,60
KPK_{KMNO4} (mg/L O_2)	0,56	**Ciliophora**	**r**
AFDM (mg/L)	0,57	S	0,58
Chl *a* epifiton (µg/g SM)	0,62		
Chl *a* plankton (µg/L)	0,56		

5.0. RASPRAVA

Istraživanja mikrofaune epifitona u tri vodena tijela u Hrvatskom zagorju razlikovala su se obzirom na morfometriju bazena, pokrovnost dna makrofitima i intenzitet antropogenog utjecaja: plitki rukavac Sutle s velikom pokrovnošću dna submerznim makrofitima (*Ceratophyllum demersum*) okružen oranicama; plitka i mutna mrtvaja Škrčev kut s malom pokrovnošću dna flotantnim makrofitima (*Nuphar lutea*) i dublja i prozirna šljunčara Zajarki s malom pokrovnošću dna flotantnim makrofitima (*Nuphar lutea*). Sva tri hidrosustava su šaranski ribnjaci poribljavani i dohranjivani uz korištenje proteinskih mamca za ribolov što povećava koncentraciju organskih tvari, produkciju, ali i mikrobnu aktivnost (Špoljar i sur., 2011).

Od osnovnih limnoloških čimbenika oscilacije temperature, pH vrijednost, mutnoća vode i koncentracija suspendiranih organskih tvari statistički su bile značajne između istraživanih mjeseci. Smatram da je značajnim razlikama temperature vode pridonio pad temperature od srpnja prema rujnu koji je na nekim postajama iznosio i 16 ^{o}C. Visoke temperature i anoksični uvjeti doveli su do značajnih smanjenja pH vrijednosti kao čestu pojavu u eutrofnim jezerima (Špoljar i sur., 2012). Prozirnost i količina suspendiranih organskih tvari bile su najveće u najplićem jezeru gdje uslijed miješanja stupca vode vjetrom i bioturbacije od strane riba dolazi do resuspenzije sedimenta (Liboriussen i sur., 2003). Smanjenje ovih vrijednosti bilo je značajno u rujnu kada se smanjuje udio fitoplanktona i produkcija općenito (Špoljar i sur., 2011). Statistički značajno više vrijednosti konduktiviteta u šljunčari Zajarki objašnjavam prisutnošću kupača koji utječu i na veće koncentracije nitrita kao odraz svježeg unošenja organskih tvari, dok veća koncentracija nitrata ukazuje na brzu i dobru oksidaciju dušičnih spojeva.

Koncentracije orto-fosfata i ukupnog fosfora ukazuju umjereno eutrofne pokazatelje u vodenim tijelima prema Uredbi o kasifikaciji voda (NN 77/98). Povećane vrijednosti amonijaka, nitrita i nitrata u šljunčari Zajarki objašnjavam intenzivnom sezonom kupanja, vodenim pticama koje doprinose unos duščnih spojeva u ljetnom razdoblju koji utjecali na povećanje koncentracije nitrita i nitrata, a time i ukupnog dušika.

Koncentracije otopljenih i suspendiranih organskih tvari, kao i biomase algi u planktonu i epifitonu razmatrani su kao izvori hrane za organizme u epifitonu. Niže i statistički značajne vrijednosti koncentracije otopljenih tvari zabilježene su na lokalitetu Zajarki što objašnjavam niskom produktivnošću ove šljunčare dok su na ostalim lokalitetima

vrijednosti bile više zbog povećanja primarne i sekundarne proizvodnje, a time i mikrobne razgradnje (Kuczynska-Kippen, 2003).

Kao pokazatelj primarne proizvodnje i izvora hrane u sustavu mjerena je koncentracija kolorofila *a* iz planktona i epifitona. Najniža vrijednost klorofila *a* zabilježena je u šljunčari Zajarki što objašnjavam niskim koncentracijama ortofosfata a time i niskom biomasom fitoplanktona (Kuczynska-Kippen 2007). Statistički značajno veću vrijednost klorofila *a* u epifitonu rukavca Sutle, u odnosu na šljunčaru Zajarki, objašnjavam većim postotkom pokrovnosti dna submerznim makrofitima čiji habitus je razgranjeniji u odnosu na flotantne makrofitešto što povećava površinu za naseljavanje autotrofnih epifitskih algi (Sibbing i sur., 2005). Uslijed intenzivne produkcije i razgradnje u rukavcu Sutle sa submerznim makrofitima došlo je i do visokih koncentracija suspendiranih organskih tvari (Špoljar i sur., 2012).

Epifiton je istraživan na dvije vrste vodenih makrofita: a) submerzni *Ceratophyllum demersum* čiji je habitus složeniji i dobro razgranjen i b) flotantni *Nuphar lutea* s jednostavnijim habitusom. Skupine Gymnamoebea, Ciliophora i ukupna mikrofauna epifitona statistički su značajno bile veće na lokalitetu rukavac Sutle u odnosu na Škrčev kut i Zajarki, dok je na lokalitetu Zajarki zabilježena je statistički najmanja brojnost skupina Testacea, Rotifera i Gastrotricha. Navedeni rezultati mogu se objasniti činjenicom koju navodi Kuczynska-Kippen (2007) da su razgranjenije stabljike submerznih makrofita obično bogatije epifitonom nego vrste s nerazgranjenom stabljikom. Također, razgranjenije stabljike vodenih makrofita osiguravaju zaklon od predatora zooplanktonu i beskralješnjacima, te na tim mikrostaništima pronalazimo veću brojnost i raznolikost svojti (Kuczynska-Kippen, 2003; Špoljar i sur., 2012). Statistički značajno manju brojnost skupina Testacea, Rotifera i Gastrotricha u šljunčari s flotantnim makrofitima objašnjavam jednostavnijim habitusom makrofita koje ne pružaju veliku površinu i zaklon kao stabljike makrofita s razvedenim habitusom, navedene skupine uglavnom su predstavljene kao slabopokretni organizmi koji imaju mehanizme prihvaćanja za podlogu, tako da veća ukupna površina supstrata općenito rezultira većom brojnošću i raznolikošću vrsta. Prisustvo vizualnih predatora u ova tri lokaliteta, koji su ujedno i ribnjaci za sportski ribolov, stvara predatacijski pritisak u jezerima s većom prozirnošću stupca kao što je šljunčara Zajarki. Laugaste i suradnici (2005) je ukazao u svom istržaivanju da brojnost epifitona raste u eutrofnim jezerima gdje je zabilježen manji utjecaj vizualnih predatora. Mikrofauna epifitona uglavnom se hrani ili struganjem epifitona (Testacea, Gastrotricha, neki Rotifera) ili se prihvaćaju za habitus makrofita i filtriraju alge, suspenziju detritusa i bakterije iz stupca vode (neki Ciliophora npr. *Vorticella*, *Vaginicola*; bdeloidni Rotifera). Brojnost i raznolikost svih ovih skupina povećava se s izvorima hrane

koji su raznolikiji i bogatiji na razgranjenijim stabljikama nego na jednostavnim. Također i puževi, vodengrinje i ličinke kukaca jedni su od glavnih konzumenata i predatora mikrofaune epifitona (Liboriussen i sur., 2003). Temeljem neobjavljenih rezultata upravo puževi veće biomase bili su prisutni u šljunčari Zajarki i mrtvaji Škčev kut, dok su u rukavcu Sutle bili prisutni puževi manje biomase, a time i manje efikasnosti konzumiranja epifitona.

Analizirani uzorci na rubu sastojina makrofita ukazuju na podjednaku ili nešto veću raznolikost i brojnost svojti u odnosu na rezultate analiziranih uzoraka unutar sastojina makrofita. Smatram da je raznolikost i brojnost svojiti na rubu sastojina makrofita uzrokovana horizontalnim migracijama zooplanktona prema litoralnoj zoni u potrazi za zaklonom koji pružaju makrofiti. Tako u uzorcima nalazim planktonske vrste Rotifera poput *Keratella cochlearis*, *Synchaeta pectinata*, *Asplanchna priodonta*. Također ove planktonske vrste Rotifera ovdje nalaze svoje izvore hrane (*Keratella* sp. - bogatu suspenziju deritusa i bakterija, *Synchaeta* sp. alge a *Asplanchna* sp. kao predator druge predstavnike Rotifera i mikrofaune).

Uzorci sa svih postaja nakon kvalitativne i kvantitativne analize živog materijala bili su fiksirani s 4 % formalinom i ponovno pregledavani. Ovom metodom vrste se jasnije uočavaju što uvelike olakšava njihovu determinaciju (Foissner, 2014). U fiksiranim uzorcima zabilježena je najveća brojnost i raznolikost skupine Rotifera u odnosu na ostale skupine budući da se prilikom fiksiranja pripadnici ostalih skupina (npr. Ciliophora) razgrađuju te se ne mogu uočiti njihova anatomska obilježja niti provesti daljnja detetminacija. Činjenicu da su vrste iz skupine Ciliophora nježnije građe i podložnije razgradnji tjelešaca i organela dokazao je u svojim istraživanjima Foissner (2014). Najveću brojnost imali su Rotifera i Testacea, dok se unutar skupine Ciliophora pojavljuju vrste *Tintinnopsis lacustris* i *Tintinnidium fluviatile*. Testacea, Tinntinida i Rotifera objašnjavam njihovom anatomskom građom odnosno ljušturicama, kućicama i lorikama koje su otpornije na fiksiranje formalinom. Uglavnom se pokazalo da je analizu raznolikosti, kao i kvantitativnu analizu skupina bez egzoskeleta i epidermalnih pojačanja kao što su Gymnamoebea i Ciliophora najbolje provoditi na živom materijalu. Za kvantitativnu a ponekad i kvalitativnu analizu Rotifera, Testacea i Gastrotricha metode fiksiranja uzoraka olakšavaju brojenje i determinaciju.

6.0. ZAKLJUČAK

U istraživanjima provedenim tijekom ljetnog razdoblja na tri lokaliteta (rukavac Sutle, mrtvaja Škrčev kut i šljunčara Zajarki), u svakom na dvije postaje uzorkovanja (rub i unutar sastojina makrofita) analizirani su fizičko-kemijski čimbenici i promjene brojnosti i raznolikosti mikrofaune epifitona na živom i fiksiranom materijalu. Temeljem dobivenih rezultata može se zaključiti sljedeće:

- U šljunčari Zajarki s malom pokrovnošću makrofita i povećanim antropogenim utjecajem zabilježena je najveća vrijednost konduktiviteta, nitrita, nitrata i ukupnog dušika. Na lokalitetu s velikom pokrovnošću submerznih makrofita (rukavac Sutle) zabilježene su najveće vrijednosti izvora hrane (suspendirane organske tvari, alge u epifitonu i planktonu), a u mrtvaji Škrčev kut s najvećim stupnjem trofije ($TSI_{(SD)}$) zabilježena je najveća vrijednost mutnoće vode i TSS.
- Statistički značajno veća brojnost i raznolikost mikrofaune epifitona zabilježena je u rukavcu Sutle sa submerznim makrofitima (*Ceratophyllum demersum*) koje obilježava složen i razgranjen habitus. Na ovom lokalitetu sve istraživane skupine mikrofaune postigle su najveće brojnosti, a ukupnom strukturom mikrofaune dominirali su Ciliophora.
- U vodenim tijelima s malom pokrovnošću flotantnih makrofita, jednostavnog habitusa utvrđena je manja brojnost i raznolikost mikrofaune epifitona, ali su između ova dva lokaliteta također postojale razlike. U šljunčari Zajarki, veće dubine i manjeg stupnja trofije zabilježena je statistički najmanja brojnost i raznolikost skupina Testacea, Rotifera i Gastrotricha. U plitkoj mrtvaji Škrčev kut s visokim stupnjem trofije, zabilježena je velika brojnost pojedinih skupina mikrofaune, ali s malom raznolikošću.
- Mikrofauna epifitona uzorkovana na dva mikrostaništa svakog lokaliteta ne pokazuje statistički značajnu razliku, ipak mikrostaništa na rubu sastojina makrofita pokazuju veću brojnost i raznolikost u odnosu na mikrostaništa unutar sastojina makrofita.
- Usporedbom strukture mikrofaune na živom i fiksiranom materijalu utvrđeno je značajno smanjenje Ciliophora, dok su se Rotifera pokazali znatno bolji za determinaciju i kvantitativnu analizu u fiksiranom materijalu. Iz toga proizlazi da različiti načini obrade skupljenog materijala zahtijevaju međusobnu usporedbu u interpretaciji kako bi rezultati bili što potpuniji.

- Rezultati ovog rada ukazuju da su značajne razlike brojnosti i raznolikosti mikrofaune epifitona povezane s različitim antropogenim utjecajima koji dovode do promjenama okolišnih čimbenika.

7.0. LITERATURA

Abe S., Nagamo T., Tanaka J. (2000): Effects of current on the development of loosely and tightly attached layers in periphyton communities. Phycological Research 48: 261-265.

Adam H., Czihak G. (1964): Arbeitsmethoden der makroskopischen und mikroskopischen Anatomie. Ein Laboratoriumshandbuch für Biologen, Mediziner und technische Hilfskräfte. G. Fischer, Stuttgart. I–XIV, pp. 583.

Amoros C. (1984): Crustaces cladoceres, 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. pp. 1268.

Azim M. E., Beveridge M. C. M., Van Dam A. A., Verdegem M. C. J. (2005): Periphyton and Aquatic Production: An Introduction. pp. 1-13. In: Azim M.E., Verdegem M.C.J., Van Dam A.A., Beveridge M.C.M. (eds): Periphyton: Ecology, Exploitation and Management. CABI Publishing, Oxfordshire.

Biggs B. J. F., Kilroy C. (2000): Stream Periphyton Monitoring Manual. Published by NIWA for Ministry for the Environment, Christchurch. pp. 227.

Bowden B., Glime J. M., Riis T. (2006): Macrophytes and Bryophytes. In: Hauer, F. R. & G. A. Lamberti (eds.), Methods in stream ecology. Elsevier, London: 381–414.

Brandt L.E., Koch E.W. (2003): Periphyton as a UV-B filter on seagrass leaves: a result of different transmittance in the UV-B and PAR. Aquatic botany 76: 317-327.

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

Cairns J., Henebry M. S. (1982): Interactive and noninteractive protozoan colonization processes. In: Cairns J (ed.) Artificial substrates. Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, 23-7.

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

Cattaneo A., Kerimian T., Roberge M., Marty J. (1997): Periphyton distribution and abudance on substrata of different size along a gradient of stream trophy. Hydrobiologia 354: 101-110.

Cattaneo A., Galanti G., Gentinetta S., Romo S. (1998): Epiphytic algae and macroinvertebrates on submerged and floating–leaved macrophytes in an Italian lake. Freshwater biology 39: 725-740.

Chambers P. A., Lacoul P., Murphy K. J., Thomaz S. M. (2008): Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. Hydrobiologia 595: 9-26.

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

Duggan I. C., Green J. D., Thompson K., Shiel R. J. (2001): The influence of macrophytes on the spatial distribution of littoral rotifers. Freshwater Biology 46: 777-786.

Flemming H. C.(1995): Sorption sites in biofilms. Water Science and Tehnology 32: 27-33.

Foissner W., Berger H. (1996): A user-friendly guide to the ciliates (Protozoa, Ciliophora) commonly used by hydrobiologists as bioindicators in rivers, lakes, and waste waters, with notes on their ecology. Freshwater Biology 35: 375–482.

Foissner W. (2014): An update of "basic light and scanning electron microscopic methods for taxonomic studies of ciliated protozoa". International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology 64: 271-292.

Gallienne C. P., Robins D. B. (2001): Is Oithona the most important copepod in the world's oceans? Journal of Plankton Research 23: 1421–1432.

Gucker B., Fischer H. (2003): Flagellate and ciliate distribution in sediments of a lowland river: relationships with environmental gradients and bacteria. Aquatic microbial ecology 31: 67-76.

Hentschel E. (1916): Biologische Untersuchungen über den tierischen und pflanzlichen Bewuchs im Hamburger Hafen. Mitteilungen aus dem Zoologischen Museum Hamburg 33: 1–172.

Hepistall J. A., Fuller R.L. (1994): Periphyton reactions to different light and nutrients levels and the response of bacteria to these manipulations. Archiv für Hydrobiologie 131: 161-173.

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

Hillebrand H., Sommer U. (2000): Effect of continuous nutrient enrichment on microalgae colonizing hard substrates. Hydrobiologia 426: 185-192.

Hillebrand H., Kahlert M. (2002): Effect of grazing and water column nutrient supply on biomass an nutrient content of sediment microalgae. Aquatic Science 47: 2307-2314.

Holling C.S. (1992): Cross-scale morphology, geometry and dinamics of ecosystems. Ecological Monographs 62: 447-502.

HÖll K. (1986): Wasser Untersuchung, Beurteilung, Aufbereitung, Chemie, Bakteriologie, Virologie, Biologie (7th edition). Walter de Gruyter Verlag, Berlin.

Irfanullah H., Moss B. (2005): Effects of pH and predation by Chaoborus larvae on the plankton of a shallow and acidic forest lake. Freshwater Biology 50: 1913–1926.

Jackson C. R. (2003): Changes in community properties during microbial succession. Oikos 101: 444-448.

Jones J. I., Eaton J. W., Hardwick K. (2000): The influence of periphyton on boundary layer pH conditions: a microelectrode investigation. Aquatic botany 67: 191-206.

Jones J. I., Young J.O., Eaton J. W., Moss B. (2002): The influence of nutrient loading, dissolved inorganic carbon and higher trophic levels on the interaction between submerged plants and periphyton. Journal of Ecology 90: 12-24.

Kalff J. (2002): Inland water ecosystem. Pretence hall, Upper saddle river, New Jersey. Limnology.

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

Kuczynska-Kippen N. (2007): Habitat choice in rotifera communities of three shallow lakes: impact of macrophyte substratum and season. Hydrobiologia 593: 27-37.

Kuczynska-Kippen N., Joniak T. (2010): The Impact of Water Chemistry on Zooplankton Occurrence in Two Types (Field versus Forest) of Small Water Bodies. International Review of Hydrobiology 95: 130-141.

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.

Laugatse R., Reunanen M. (2005): The composition and density of epiphyton on some macrophyte species in the partly meromictic Lake Verevi. Hydrobiologia 547: 137-150.

Lauridsen T. L., Pedersen L. J., Jepennsen E. (1996): The importance of macrophyte bed size for Cladoceran composition and horizontal migration in a shallow lake. Journal of plankton research 18: 2283-2294.

Lauridsen T., Jeppesen E., Landkildehus F., Sondergaard M. (2001): Horizontal distribution of caldocerns in arctic Greenland lakes - impact of macrophytes and fish. Hydrobiologia 442: 107-116.

Liboriussen L., Jepennsen E., (2003): Temporal dynamics in epipelic, pelagic and epiphytic algal production in a clear and a turbid shallow lake. Freshwater Biology 48: 418-431.

Liboriussen L., Jeppesen E., Bramm M.E., Lassen M. F. (2005): Periphyton-macroinvertebrate interactions in light and fish manipulated enclosures in a clear and at urbid shallow lake. Aquatic Ecology 39: 23–39.

McAbendroth L., Ramsay P.M., Foggo A., Rundle S. D., Bilton D. T. (2005): Does macrophyte fractal complexity drive invertebrate diversity, biomass and body size distributions? Oikos 111: 279-290.

Meerhoff M., Iglesias C., Teixeira de Mello F., 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.

Narodne novine (1998) Uredba o klasifikaciji voda.77.

Ogden C. G., Hedley R. H. (1980): An Atlas of Freshwater Testate Amoebae. BAS Printers Limited, Over Wallop, Hamoshire.

Ostojić A. (2010): Effects of flow veliocity, temperature, photoperiodism and hydroperiodism on periphytic assemblages dynamics. Division of Biology Faculty of Science, University of Zagreb; pp. 312.

Palmer R. J., White D. C. (1997): Developmental biology of biofilms: implications for treatment and control. Trends in Microbiology 5(11): 435-440.

Pitois S. G., Shaw M., Fox C. J., Frid C. L. J. (2009): Anewfine-mesh zooplankton time series from the Dove sampling station(NorthSea). Journal of Plankton Research 31: 337–343.

Primc-Habdija B., Špoljar M., Matoničkin R. (2000): Influence of current velocity on ciliate assemblages on travertine barriers in karstic biotopes. Limnological Reports 33: 279-284.

Primc-Habdija B., Habdija I., Špoljar M., Matoničkin R. (2005): Development of ciliate community on artificial substrates associated with vertical gradients of environmental conditions in a karstic lake. Archive Hydrobiology 164: 4513–527.

Rodriguez M. A. (1987): Estimating periphyton growh parameters using simple models. Limnology and Oceanography 32: 458-464.

Rodrıguez L. P., Granata A., Guglielmo L., Minutoli R., Zagami G., Brugnano C. (2013): Spring rotifer community structure in the Alcantara River (Sicily,Italy),using different mesh size nets: relation to environmental factors. International Journal of Limnology 49: 287–300.

Romeis B. (1968): Mikroskopische Technik. R. Oldenbourg Verlag, München, Wien.

Sarnelle O., Kratz K. W., Cooper S. D. (1993): Effects of an invertebrate grazer on the spatial arrangement of a bethic microhabitat. Oecologia 96: 208-218.

Scheffer M. (1998): Ecology of Shallow Lakes. Chapman & Hall, London, 357 str.

Sibbing F. A., Witte F. (2005): Adaptations to feeding in herbivorus fish (Cyprinidae and Cichlidae). pp. 113-140. In: Azim M. E., Verdegem M. C. J., Van Dam A. A., Beveridge M. C. M. (eds): Periphyton: Ecology, Exploitation and Management. CABI Publishing, Oxfordshire.

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

Špoljar M., Dražina T., Šargač J., Kralj – Borojević K., Žutinić P. (2012): Submerged macrophytes as a habitat for zooplankton development in two reservoirs of a flow-through system (Papuk Nature Park, Croatia). Journal Limnology 48: 161 – 175.

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.

Špoljar M. (2013): Microaquatic communities as indicators of environmental changes in lake ecosystems. Journal od Engg. 1: 29-42.

Tomec M., Teskeredžić Z., Teskeredžić E. (2009): Sastav mikrofitobentosa u rijeci Sutli. Ribarstvo 67: 133-143.

Uehlinger U., Brock J. T. (2005): Periphyton metabolism along a nutrient gradient in a desert river (Truckee River, Nevada, USA). Aquatic Science 67: 507-516.

Vermaat J. E. (2005): Periphyton dynamics and influencing factors. Periphyton: Ecology, exploatation and management:35-49.

Vilieneuve, A., Montuelle, B., Bouchez A. (2010): Influence of slight differences in environmental conditions (light, hydrodynamics) on the structure and function of periphyton. Aquatic Sciences 72: 33-44.

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

Weitzel R. L. (1979): Methods and Measurements of Periphyton Communities: a Review. ASTM STP 690. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, U.S.A.: 3–33.

Wetzel R. G. (2001): Lake and river ecosystems, Limnology: 3rd edition. Academic press, New York.

Wuhrmann K., Eichenberger E. (1975): Experiments on the effects of inorganic enrichment of rivers on periphyton primary production. Verhandlungen der Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie 19: 2028-2031.

ŽIVOTOPIS

Osobni podaci

Ime	Barbara Žeželj
Adresa	Bisag 25, 42226 Bisag, Hrvatska
Mobitel	+385989147559
e-mail	barbara.zezelj@gmail.com
Datum rođenja	10.02.1989.
Spol	Ž

Edukacija

2012 – 2014	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno Matematički Fakultet - PMF Magistra struke znanosti o okolišu– mag. oecol.
2008 – 2012	Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno Matematički Fakultet - PMF Sveučilišni prvostupnik znanosti o okolišu – bacc.univ.oecol

Radno iskustvo

01/2013 – 01/2014	**Stručni suradnik u odjelu zaštite okoliša** Zelene tehnologije d.o.o.
11/2011 – 01/2013	**Asistent stručnjaku zaštite okoliša** Interseroh d.o.o. - ALBA grupa
06/2011 – 03/2013	**Znanstveni novinar** Biologija.com.hr

Znanstvena sudjelovanja, seminari i stručna edukacija

04/2014	Barbara Žeželj, Ivana Zrinščak, Maria Špoljar, Tvrtko Dražina, Ana Ostojić, Maja Duić Sertić, Daniel Matulić, Jasna Lajtner. Epiphytic gastropods and food supplies in relation to macrophyte stands, Book of abstracts and programme, Joint Symposia 1st Central European Symposium for AquaticMacroinvertebrate Research and 11th Hungarian Symposium for Aquatic Macroinvertebrate Research, Compiled by Peter Mauchart and Zoltan Csabai. Pecs-Szarvas, 2014.
03/2013	Specijalist zaštite okoliša, Zagrebačko Učilište, Zagreb
02/2013	Laboratorijska stručna praksa, Zoologijski zavod - Limnološki laboratorij, PMF, Zagreb
09/2012	Edukacija Hrvatskog Društva za zaštitu voda – Edukator, Osnovne škole, Hrvatska
06/2012	Inovation workshop Croatia – ALBA Group, Aristos, Zagreb
10/2011	Jesenski eko seminar Zelene Akcije, Zelena Akcija, Zagreb
03/2010	Noć Biologije 2010, PMF, Zagreb

Ostalo

- Iskustvo rada na mikroskopu Carl Zeiss Jena te ArcInfo GIS softveru
- Engleski jezik – aktivno korištenje u govoru i pismu
- Vozačka dozvola B kategorije