

# Protozoa u obraštaju na umjetnim makrofitama

---

**Pavlović, Nikola**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of biology / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za biologiju**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:181:037271>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-04-24**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Department of biology, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek](#)



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Odjel za biologiju

Preddiplomski sveučilišni studij Biologija

Nikola Pavlović

## **Protozoa u obraštaju na umjetnim makrofitama**

Završni rad

Osijek, 2018.

**TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA****Završni rad****Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku****Odjel za biologiju****Preddiplomski sveučilišni studij Biologija****Znanstveno područje:** Prirodne znanosti**Znanstveno polje:** Biologija**PROTOZOA U OBRAŠTAJU NA UMJETNIM MAKROFITAMA****Nikola Pavlović****Rad je izrađen na:** Odjel za biologiju, Zavod za ekologiju voda, Laboratorij za vodene beskraljnjake**Mentor:** Dr. sc. Dubravka Čerba, docent**Neposredni voditelj:** Dr. sc. Barbara Vlaičević**Kratak sažetak završnog rada:**

U razdoblju od 7. studenog do 6. prosinca 2017. godine provedeno je istraživanje zajednice praživotinja u obraštaju na umjetnim makrofitama. Istraživanje je provedeno u Sakadaškom jezeru smještenom unutar poplavnog područja Kopački rit. Tijekom istraživanja praćene su promjene vodostaja Dunava, abiotički i biotički čimbenici vode jezera, promjene biomase perifitona te promjene kvalitativnog i kvantitativnog sastava praživotinja u obraštajnim zajednicama. Ukupno je zabilježena 51 svojta praživotinja koje pripadaju supergrupama Amoebozoa, SAR i Incertae sedis Eukaryota. Najveću brojnost i raznolikost imala je skupina Ciliophora (trepetljikaši) koja pripada supergrupi SAR. U obraštaju je najzastupljenija bila trofička skupina bakteriovora-detritivora. Unatoč sporom prirastu biomase i malim količinama obraštaja te relativno maloj brojnosti praživotinja u obraštaju, što je najvjerojatnije povezano s niskom temperaturom vode i smanjenom količinom svjetlosti tijekom istraživnog razdoblja, umjetne makrofite mogu predstavljati povoljno stanište za brojne praživotinje koje imaju važnu ulogu u prijenosu organske tvari od nižih prema višim trofičkim razinama u slatkovodnim staništima.

**Jezik izvornika:** hrvatski**Ključne riječi:** praživotinje, perifiton, umjetna podloga, trofička struktura, Sakadaško jezero**Rad je pohranjen:** na mrežnim stranicama Odjela za biologiju te u Nacionalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu.

**BASIC DOCUMENTATION CARD****Bachelor thesis****Josip Juraj Strossmayer University of Osijek****Department of Biology****Undergraduate university study programme in Biology****Scientific Area:** Natural sciences**Scientific Field:** Biology**PERIPHYTIC PROTOZOA COMMUNITY ON ARTIFICIAL MACROPHYTES****Nikola Pavlović**

**Thesis performed at:** Department of Biology, Subdepartment of Water Ecology, Laboratory for Aquatic Invertebrates

**Supervisor:** Dubravka Čerba, PhD, Assistant Professor

**Assistant Supervisor:** Barbara Vlaičević, PhD

**Short abstract:**

In the period from November 7<sup>th</sup> to December 6<sup>th</sup> 2018 the periphytic protozoan community on artificial macrophytes was studied. The study was conducted in the Sakadaš Lake, which is part of the Kopački rit floodplain. During the research Danubian water level, abiotic and biotic lake water properties, periphyton biomass and qualitative and quantitative protozoan composition were observed. In total, 51 protozoan taxa were found, belonging to supergroups Amoebozoa, SAR and Incertae sedis Eukaryota. Ciliates (Ciliophora), belonging to supergroup SAR, were represented with the highest diversity and abundance. The bacterivores-detritivores were the most abundant trophic group in periphyton. Despite of the slow biomass accrual, small amounts of periphyton and relatively low abundances of periphytic protozoans, most probably related to low water temperature and lower light intensity, artificial macrophytes represent suitable substrata for various protozoans which have important role in transferring organic matter from lower to higher trophic levels in freshwater habitats.

**Original in:** Croatian

**Key words:** protozoans, periphyton, artificial substrate, trophic structure, Sakadaš Lake

**Thesis deposited:** on the Department of Biology website and the Croatian Digital Theses Repository of the National and University Library in Zagreb.

## SADRŽAJ

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. UVOD.....                                                                | 1  |
| 1.1. Protozoa (praživotinje).....                                           | 1  |
| 1.2. Obraštaj (perifiton).....                                              | 3  |
| 1.3. Proces razvoja obraštaja.....                                          | 4  |
| 1.4. Obraštaj na umjetnim podlogama.....                                    | 5  |
| 1.5. Cilj istraživanja.....                                                 | 6  |
| 2. MATERIJALI I METODE.....                                                 | 7  |
| 2.1. Područje istraživanja.....                                             | 7  |
| 2.1.1. Kopački rit.....                                                     | 7  |
| 2.1.2. Sakadaško jezero .....                                               | 8  |
| 2.2. Dizajn eksperimenta.....                                               | 8  |
| 2.3. Prikupljanje uzoraka.....                                              | 9  |
| 2.4. Mjerenje fizikalno-kemijskih čimbenika vode.....                       | 10 |
| 2.5. Laboratorijska obrada uzoraka.....                                     | 11 |
| 2.5.1. Određivanje koncentracije klorofila.....                             | 11 |
| 2.5.2. Određivanje ukupne suspendirane tvari u vodi.....                    | 11 |
| 2.5.3. Određivanje organske i anorganske tvari u perifitonu.....            | 12 |
| 2.5.4. Analiza protozoa u perifitonu.....                                   | 12 |
| 3. REZULTATI.....                                                           | 14 |
| 3.1. Abiotički i biotički čimbenici vode.....                               | 14 |
| 3.2. Biomasa perifitona.....                                                | 19 |
| 3.2.1. Klorofil <i>a</i> , <i>b</i> i <i>c</i> na umjetnim makrofitama..... | 19 |
| 3.2.2. Anorganska i organska tvar na umjetnim makrofitama.....              | 20 |
| 3.3. Razvoj zajednice protozoa u perifitonu.....                            | 20 |
| 3.3.1. Kvalitativni i kvantitativni sastav zajednice protozoa.....          | 21 |
| 3.3.2. Trofička struktura zajednice protozoa.....                           | 24 |
| 4. RASPRAVA.....                                                            | 26 |
| 5. ZAKLJUČCI.....                                                           | 30 |
| 6. LITERATURA.....                                                          | 31 |
| 7. PRILOZI.....                                                             | 37 |

## KRATICE

**A** – algivora (engl. *algivores*)

**AFDW** – masa organske tvari u perifitonu (engl. *ash-free dry weight*)

**AW** – masa anorganske tvari u perifitonu (engl. *ash weight*)

**B** – bakteriovora-detritivora (engl. *bacterivores-detritivores*)

**Chl-a P** – koncentracija klorofila *a* u perifitonu

**Chl-b P** – koncentracija klorofila *b* u perifitonu

**Chl-c P** – koncentracija klorofila *c* u perifitonu

**DW** – masa suhe tvari (engl. *dry weight*)

**FHS** – funkcionalne hranidbene skupine

**N** – neselektivni omnivora (engl. *nonselective omnivores*)

**P** – fotosintetski autotrofni organizmi (engl. *photosynthetic autotrophs*)

**PIM** – anorganska čestična tvar (engl. *particulate inorganic matter*)

**POM** – organska čestična tvar (engl. *particulate organic matter*)

**R** – predatori (engl. *raptors*)

**S** – saprotrofi (engl. *saprotrophs*)

**TSS** – ukupna suspendirana tvar (engl. *total suspended solids*)

# 1. UVOD

## 1.1. Protozoa (praživotinje)

Protozoa ili praživotinje su jednostanični eukariotski organizmi koji pripadaju skupini protista (Habdija i sur. 2011; Adl i sur. 2005). Svaka praživotinja predstavlja jedinstvenu samostalnu stanicu s osobinama sličnim životinjama (pokretljivost i heterotrofan način ishrane). Veličina praživotinja kreće se od 2  $\mu\text{m}$  do 10 mm, što ukazuje na vrlo veliki raspon u njihovoj veličini (Esteban i sur. 2015). Pojedine vrste slobodnoživućih praživotinja, kao što su primjerice trepetljikaši iz skupine Peritrichia, udružuju svoje stanice tvoreći kolonijalne oblike. Praživotinje su specifične po fagotrofnom načinu ishrane, odnosno sposobnosti hvatanja i gutanja čestica hrane iz okolnog prostora. Mogu se pronaći u gotovo svim tipovima staništa gdje ima vode – u slatkovodnim staništima, morima, u vlažnom tlu – što je povezano s činjenicom da na površini stanice imaju plazmatsku membranu kroz koju se voda vrlo lako može gubiti. Mnoge praživotinje mogu ući u fazu mirovanja stvarajući oblike poput cista ili spora koje su zaštićene vodonepropusnim ovojem. Protozoa, kao i većina drugih mikroorganizama, stvaraju velike populacije te predstavljaju najbrojniju skupinu fagotrofnih organizama u biosferi. Njihova brojnost ovisi o količini dostupne hrane u nekom staništu te su stoga u najvećem broju prisutni u ekosustavima s visokom biološkom produkcijom. Brojni bentoski oblici praživotinja mogu preživjeti u anaerobnim uvjetima, pri čemu mnogi od njih sadrže simbiotske bakterije (Esteban i sur. 2015). Praživotinje su važni potrošači organskih tvari i mikroorganizama (naročito bakterija) u većini slatkovodnih sustava, uključujući prirodne ekosustave stajaćih i tekućih voda, kao i umjetne vodene ekosustave koji su od ekonomske važnosti za pročišćavanje otpadnih voda. Prema tome, protozoa imaju iznimno važnu ulogu u hranidbenim lancima slatkovodnih ekosustava kao poveznica nižih i viših trofičkih razina, a u postrojenjima za pročišćavanje otpadnih voda smanjuju brojnost bakterija te tako poboljšavaju kvalitetu vode (Sigee 2005; Arndt i sur. 2003; Finlay i Esteban 1998).

Slobodnoživuće praživotinje se tradicionalno mogu podijeliti u tri glavne skupine: alveolatni, flagelatni i ameboidni protozoa. Prvenstveno se razlikuju prema načinu pokretanja, ali se također razlikuju i u načinu hranjenja te veličini stanice. Alveolatni protozoa (Dinoflagellata, Apicomplexa i Ciliophora) imaju na površini stanice

karakterističnu pelikulu izgrađenu od plazmaleme i spljoštenih mjehurića alveola, flagelatne protozoa obilježava posjedovanje biča, a ameboidni protozoa za kretanje i hranjenje koriste pseudopodije (Habdija i sur. 2011). U novijim klasifikacijama eukariotskih organizama napuštene su tradicionalne sistematske kategorije, pa tako i brojne tradicionalne skupine organizama. Nove klasifikacije utemeljene su na rezultatima brojnih molekularnih istraživanja, filogenetskim odnosima te istraživanjima na području biokemije (Adl i sur. 2012, 2005). Adl i sur. (2012) eukariotske organizme razvrstavaju u pet supergrupa (Amoebozoa, Opisthokonta, Excavata, Sar i Archaeplastida), a predstavnike čiji položaj još nije razjašnjen klasificiraju kao Incertae sedis Eukaryota. U obraštajnim zajednicama najčešći predstavnici praživotinja su heterotrofni bičaći, gole i okućene amebe, sunašca i trepetljikaši (Arndt i sur. 2003). **Trepetljikaši** (Ciliophora, supergrupa SAR) su vrlo uspješna skupina mikropotrošača prisutnih u većini slatkovodnih staništa. Trepetljikaši se od ostalih praživotinja razlikuju na osnovu nekoliko morfoloških karakteristika. Kreću se i hrane pomoću trepetljika koje su vrlo slične bičevima, ali su kraće i obično prisutne u puno većem broju. Predatorske vrste trepetljikaša iz skupine Suctoria u odraslom stadiju nemaju trepetljike te hvataju svoj plijen pomoću tentakula s haptocistama, dok je kod nekih predstavnika trepetljikaša brojnost i aktivnost trepetljika smanjena (Habdija i sur. 2011; Lynn 2008). Trepetljikaši mogu kontrolirati populacije bakterija i alga u vodenim ekosustavima budući da su jedni od njihovih glavnih konzumenata (Sigee 2005; Finlay i Esteban 1998). Imaju važnu ulogu i kao bioindikatori kvalitete vode budući da promjene unutar nekog vodenog tijela mogu dovesti do promjena u sastavu zajednice trepetljikaša (Gong i sur. 2005; Foissner i Berger 1996). **Bičaći** (tradicionalno uključeni u skupinu Mastigophora) su skupina praživotinja koje prvenstveno karakterizira posjedovanje jednog ili više bičeva koji su pričvršćeni na prednjem dijelu stanice te su obično veličine kao i sama stanica. Osim u kretanju, bičevi imaju ulogu u hranjenju i pričvršćivanju za supstrat. Bičaći su obično malih veličina, pri čemu je većina predstavnika manja od 20  $\mu\text{m}$ . Složeni taksonomski odnosi također karakteriziraju ovu skupinu protozoa. Heterotrofni bičaći su u vodenim ekosustavima važni kao jedni od glavnih potrošača bakterija, ali i drugih protista te time sudjeluju u recikliranju hranjivih tvari (Patterson 2003). **Amebe** (supergrupa Amoebozoa) su skupina praživotinja koje žive u slatkim vodama, morima te u vlažnom tlu. Tradicionalno su amebe smještene u skupinu Sarcodina (sluzavci) (Habdija i sur. 2011). Najbitnija značajka ove skupine praživotinja jest ameboidno kretanje pomoću pseudopodija (privremenih citoplazmatskih produžetaka) koji imaju ulogu i u hranjenju. Mnoge amebe proizvode čvrstu vanjsku ljušturu ili kućicu (okućene amebe). Amebe su prema

tradicionalnoj sistematici podijeljene u tri razreda: Gymnamoebea (gole amebe), Testacea (okućene amebe) i Archamoebea (Habdija i sur. 2011). Amebe su najbrojnije u tlu gdje zajedno s heterotrofnim bičasiima kontroliraju brojnost bakterija, a također su važne i u vodenim ekosustavima jer sudjeluju u pročišćavanju vode (Rodríguez-Zaragoza 1994). Jedni od brojnijih predstavnika protozoa u slatkovodnim staništima su i **sunašca**. Sunašca se hrane drugim praživotinjama, algama i ostalim mikroorganizmima (Patterson 2003; Web 1). Ova skupina je tradicionalno smještena u skupinu Sarcodina, zajedno s amebama, zbog posjedovanja pseudopodija – aksopodija i filopodija (Habdija i sur. 2011). Međutim, prema novoj klasifikaciji ubrajaju se u supergrupu Incertae sedis Eukaryota kao skupina (prvi rang) Centrohelida (Adl i sur. 2012).

## 1.2. Obraštaj (perifiton)

Obraštaj ili perifiton predstavlja zajednicu bakterija, algi, praživotinja, gljivica, beskralježnjaka i detritusa (Azim i sur. 2005). Ova se zajednica razvija na različitim tipovima prirodnih i umjetnih podloga koje dospiju ispod površine vode. Zainteresiranost za istraživanja perifitona raste u cijelom svijetu iz nekoliko razloga: iznimno je značajan i često dominantan u procesu fiksiranja ugljika te ima važnu ulogu u hranidbenim lancima u vodenim ekosustavima, odličan je indikator promjena koje se događaju u vodenom okruženju, koristi se za poboljšanje kvalitete vode u jezerima, povećava dostupnost hrane u vodenim ekosustavima te služi kao izvor hrane ribama i školjkašima u uzgajalištima (Azim i sur. 2005). Raznolikost organizama koje nalazimo u perifitonu iznimno je velika te svi oni funkcioniraju kao zajednica, što ih čini vrlo učinkovitim u iskorištavanju i preradi hranjivih tvari. Prema Azim i sur. (2005) većina istraživanja perifitona provedena je u jezerima, rijekama, močvarama i koraljnim grebenima, s težištem na istraživanju biomase i produktivnosti. Na razvoj i sastav perifitona utječu različiti biotički i abiotički čimbenici okoliša, poput temperature vode, kvaliteta i količina svjetlosti, brzina strujanja vode, valovi, dostupnost hranjivih tvari, kemijski sastav vode te tip i sastav podloge (Azim i sur. 2005; Sigeo 2005). Biotički čimbenici koji utječu na razvoj perifitona uključuju ispašu (engl. *grazing*), sastav planktonske zajednice, preferiranje određenog tipa podloge te zastupljenost makrofitske vegetacije u vodenom staništu (Arndt i sur. 2003; Wetzel 2001). Wetzel (2005) kao dva osnovna čimbenika koja reguliraju razvoj i produktivnost obraštajnih zajednica navodi dostupnost resursa unutar samog obraštaja i u okolnoj vodi te predatorski pritisak. Wetzel (2005) smatra da je jedan od čimbenika koji utječe na razvoj perifitona i dostupnost

staništa, odnosno površina u vodi za razvoj perifitona. Na prirast biomase i sastav obraštaja velik utjecaj ima ispaša koja je karakteristična za neke beskralježnjake (puževe, plantkonske rakove i ličinke kukaca) i kralježnjake (ribe i punoglavce) (Siehoff i sur. 2009; Vermaat 2005).

### **1.3. Proces razvoja obraštaja**

Razvoj obraštaja na uronjenim podlogama odvija se vrlo brzo, već unutar nekoliko sati od uranjanja. To je složen proces koji započinje odlaganjem otopljenih organskih tvari na podlogu pomoću elektrostatskih sila, a zatim slijedi pričvršćivanje organizama određenim slijedom (Wetzel 2001). Hidrofobnim reakcijama počinje se najprije stvarati sloj bakterija koje stvaraju nove površine za vezanje organskih i anorganskih elemenata. Nakon bakterija se na organski matriks prihvaćaju alge pomoću različitih morfoloških struktura ili direktnim prijanjanjem uz podlogu (Wetzel 2005). Nakon algi, naseljavaju se praživotinje koje su karakteristične za početnu fazu naseljavanja novih podloga, a koje se hrane bakterijama i algama (heterotrofni bičaći, amebe i trepetljikaši). Nakon njih se naseljavaju veći organizmi, najčešće omnivorni i predatorski oblici praživotinja i beskralježnjaka (Sigg 2005). S vremenom dolazi do razvoja složene trodimenzionalne strukture obraštaja koja je karakteristična za kasnu fazu razvoja zajednice, a time se povećava raznolikost staništa (Azim i Asaeda 2005; Jackson 2003).

Praživotinje naseljavaju podloge vrlo brzo (Arndt 2003). U početnoj fazi razvoja zajednice zbog brze kolonizacije dolazi do naglog povećanja vrsta, dok se kasnije taj broj smanjuje s obzirom da su neke od naseljenih populacija manje konkurentne za prostor te ne mogu opstati u zajednici. Prema Cairns i sur. (1969), prvi kolonizatori perifitona su bakterije koje stvaraju supstrat pogodan za naseljavanje praživotinja. Poslije bakterija sljedeći kolonizatori su heterotrofni bičaći, a zatim sluzavci i trepetljikaši. Zadnji kolonizatori koji se pojavljuju su veliki omnivorni i karnivorni trepetljikaši. Pratt i Cairns (1985) među prvim kolonizatorima na podlogama navode fotosintetske organizme, dok kasnije dominaciju preuzimaju bakteriovora-detritivora, a ostale trofičke skupine praživotinja pojavljuju se kasnije. Protozoa su važna komponenta obraštajnih zajednica. Svojom aktivnošću (hranjenjem ili kretanjem) mogu u potpunosti mijenjati strukturu obraštaja (Pratt i Cairns 1985). Isto tako, važnu ulogu imaju u prijenosu biokemijski važnih tvari u obraštaju, ali i izvan njega. Hraneći se planktonskim mikroorganizmima, filtratorski oblici protozoa imaju

važnu ulogu u povezivanju lanaca ishrane obraštaja i ostalih dijelova vodenih ekosustava. Još jedna važna uloga protozoa je recikliranje hranjivih tvari u obraštaju – mogu potaknuti bakterijsku proizvodnju čime poboljšavaju protok ugljika i energije (Arndt i sur. 2003). Protozoa koji su nastanjeni u obraštaju mogu utjecati i na količinu organskih čestica u stupcu vode budući da se njima hrane (Arndt i sur. 2003).

#### **1.4. Obraštaj na umjetnim podlogama**

Na proces naseljavanja umjetnih podloga utječe nekoliko faktora, a to su sastav, veličina podloge i tekstura podloge, kao i njen položaj unutar staništa te dužina izloženosti podloga u vodi (Cairns i sur. 1979). Za razliku od prirodnih podloga u vodenim ekosustavima na kojima se razvija, a koji je izrazito heterogen, umjetne podloge pružaju mnoge prednosti prilikom istraživanja obraštaja (ujednačeno vrijeme izloženosti u vodi, dubina izloženosti, sastav, struktura i dimenzija podloga) (Pratt i sur. 1986; Cairns i sur. 1976). Najčešće korištene umjetne podloge u istraživanju obraštajnih zajednica su predmetna stakalca (Kralj i sur. 2006; Matonićkin Kepčija 2006; Primc-Habdija i sur. 2005, 2001). Obzirom da se na umjetne podloge naseljavaju vrste koje su pričvršćene za podlogu, Pratt i sur. (1987) umjetne podloge smatraju tzv. ekološkim otocima. U većini dosadašnjih istraživanja prirodne podloge pokazale su se pogodnijima za razvoj obraštaja. Morin (1986) je utvrdio da je broj jedinki po jedinici površine na prirodnoj podlozi veći nego na umjetnoj podlozi. Umjetne makrofite nisu često korištene u dosadašnjim istraživanjima obraštajnih zajednica. Međutim, Hoare i sur. (2006) i Kelly (2006) navode da se postavljanjem umjetnih makrofita u neko vodeno tijelo može kratkotrajno poboljšati kvaliteta vode, ali i povećati bioraznolikost unutar vodenog staništa. Na umjetnim makrofitama se razvija perifiton koji veže fosfor iz vode smanjujući njegovu koncentraciju u vodi, a također predstavlja važno stanište i zaklon za brojne vodene beskraljeznjake. Hao i sur. (2017) su proveli eksperiment kojim su dokazali da složenost strukture makrofita (prirodnih i umjetnih) utječe na razvoj obraštaja. Isti autori su zaključili da se na umjetnim i prirodnim makrofitama razvija različita zajednica alga te da umjetne makrofite, unatoč tome što imaju sličnu morfološku strukturu kao i prirodne makrofite, ne mogu u potpunosti zamjeniti prirodne makrofite u istraživanjima obraštajnih zajednica.

## **1.5. Cilj istraživanja**

Ciljevi provedenog istraživanja bili su sljedeći:

- utvrditi sastav i dinamiku razvoja zajednice praživotinja u obraštaju na umjetnim makrofitama (listovima),
- praćenje naseljavanja praživotinja na umjetne podloge,
- utvrditi kolonizacijski slijed te trofičku strukturu praživotinja tijekom razvoja obraštaja.

## 2. MATERIJALI I METODE

### 2.1. Područje istraživanja

#### 2.1.1. Kopački rit

Park prirode Kopački rit se nalazi u sjeveroistočnom dijelu Hrvatske, u sastavu Osječko-baranjske županije (Slika 1). Prostire se na površini od 12 665 ha, na zemljopisnom položaju između  $45^{\circ} 15' - 45^{\circ} 53'$  sjeverne zemljopisne širine i  $16^{\circ} 06' - 16^{\circ} 41'$  istočne zemljopisne dužine (Mihaljević i sur. 1999). Kopački rit je poplavno područje koje se nalazi pod utjecajem dviju rijeka, Drave i Dunava. Područje Parka prirode se nalazi u najnižem dijelu Baranje, gdje se nadmorska visina kreće do 86 m. Sam izgled područja, odnosno pojedinih biotopa Kopačkog rita, ovisi o intenzitetu plavljenja koje je prvenstveno uvjetovano promjenama vodostaja Dunava. Mihaljević i Stević (2011) navode da poplave manjeg intenziteta započinju kada vodostaj Dunava na mjernoj postaji Apatin (1401,4 r. km) prijeđe 3 m. Mikroreljefna struktura Kopačkog rita je vrlo složena (Mihaljević i sur. 1999).



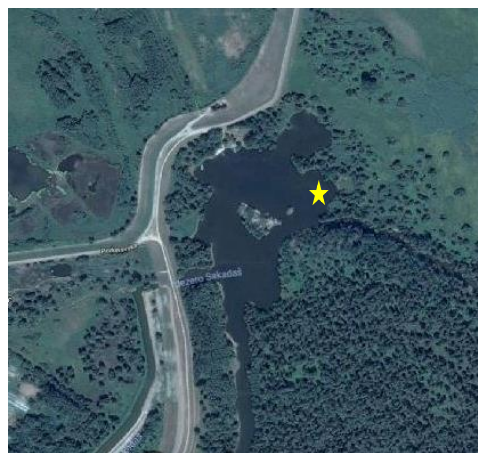
Slika 1. Karta Parka prirode Kopački rit s označenim područjem istraživanja (Sakadaško jezero) (Web 2).

### 2.1.2. Sakadaško jezero

Sakadaško jezero (Slika 2A i B) je smješteno u zapadnom dijelu Kopačkog rita te predstavlja najdublju vodenu depresiju u ritu. Prema Gucunski (1994) Sakadaško jezero je nastalo 1926. godine nakon vrlo velike poplave, kada su dunavske vode probile nasip Zmajevac-Kopačevo i tu se trajno zadržale. Dubina jezera za vrijeme normalnih vodostaja iznosi preko 7 metara. Maksimalna dubina jezera može doseći i do 12 m, budući da je dno jezera ispresijecano vrtačama i depresijama. Sakadaško jezero je ovalnog oblika sa strmim obalama (Mihaljević i sur. 1999).



A)



B)

Slika 2. A) Sakadaško jezero (fotografirao Nikola Pavlović). B) Sakadaško jezero s označenom postajom istraživanja (zvjezdica) (Web 3).

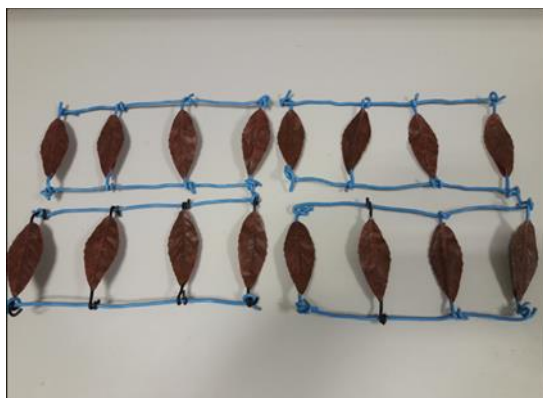
### 2.2. Dizajn eksperimenta

U razdoblju od 7. studenog do 6. prosinca 2017. godine provedeno je eksperimentalno istraživanje zajednice protozoa u perifitonu. Sam proces naseljavanja i razvoja zajednice protozoa praćen je na umjetnim makrofitama, odnosno umjetnom akvarijskom lišću. Umjetne podloge činila su dva lista međusobno spojena pomoću silikonskog ljepila, pri čemu je između listova umetnuta izolirana bakrena žica pomoću koje su listovi bili učvršćeni u jednom položaju (Slika 3A i B). Površina svake umjetne podloge iznosila je ukupno 40 cm<sup>2</sup>. Vrijeme trajanja eksperimenta iznosilo je četiri tjedna, zbog čega su na samom početku eksperimenta pripremljena četiri seta umjetnih podloga (Slika 3A). Svaki set sastojao se od

četiri umjetne podloge, odnosno, na početku eksperimenta postavljeno je ukupno 16 umjetnih podloga za četiri serije uzorkovanja. Podloge su pričvršćene za drveni nosač pomoću silka za ribolov. Cijela konstrukcija je postavljena u Sakadaškom jezeru u uvali koja se nalazi neposredno u blizini kanala Čonakut (Slika 2). Plutanje drvenog nosača omogućile su plutače koje su bile zavezane za krajeve samog nosača, a njegova konstrukcija omogućila je da podloge budu uvijek izložene na istoj dubini u stupcu vode, bez obzira na promjene razine vode u Sakadaškom jezeru (Slika 3C). Podloge su izložene vertikalno u stupcu vode na dubini od 20 cm ispod površine vode.

### 2.3. Prikupljanje uzoraka

Prikupljanje uzoraka trajalo je od 15. studenog do 6. prosinca 2017. godine. Uzorci su prikupljeni tijekom četiri terenska izlaska, odnosno tjednom dinamikom. Prilikom svakog uzorkovanja prikupljen je jedan set podloga, odnosno četiri umjetne makrofite. Tri nasumično odabrane podloge služile su za analizu zajednice protozoa u obraštaju, dok je na jednoj podlozi određena biomasa obraštaja i koncentracija klorofila u obraštaju. Umjetne podloge su prebačene u plastične posude napunjene jezerskom vodom (Slika 4). Također su prilikom svakog uzorkovanja prikupljeni uzorci jezerske vode (po 1 L) na dubini od 20 cm za određivanje koncentracije klorofila i ukupne suspendirane tvari u vodi. Uzorci su prenešeni u laboratorij u prijenosnom terenskom hladnjaku te je daljnja obrada uzoraka slijedila odmah nakon dolaska u laboratorij.



A)



B)



C)

Slika 3. Dizajn i izgled umjetnih podloga (A i B) te položaj drvenog nosača s umjetnim podlogama u Sakadaškom jezeru (C) (fotografirao Nikola Pavlović).



Slika 4. Umjetne podloge (makrofite) u plastičnim posudama ispunjenima jezerskom vodom (fotografirao Nikola Pavlović).

## 2.4. Mjerenje fizikalno-kemijskih čimbenika vode

Vodostaj Dunava, koji najvećim dijelom utječe na razinu vode u Sakadaškom jezeru i o kojem ovisi intenzitet poplava, zabilježen je na vodomjernoj stanici kod Apatina (1401,4 r.km Dunava). Vodostaj Sakadaškog jezera očitavan je kod Ustave Kopačevo prilikom svakog izlaska na teren. Prilikom svakog uzorkovanja perifitona *in situ* mjereni su sljedeći fizikalno-kemijski čimbenici vode: dubina, prozirnost, temperatura, koncentracija otopljenog kisika, pH i električna provodljivost. Temperatura vode, koncentracija otopljenog kisika u vodi, pH i električna provodljivost vode izmjereni su pomoću elektroda iz

prijenosnog minilaboratorija WTW Multi 340i/SET (Wissenschaftlich-Technische Werkstätten, Weilheim, Njemačka). Prozirnost vode je određena pomoću Secchi ploče, dok je dubina jezera mjerena baždarnim konopom s utegom.

## **2.5. Laboratorijska obrada uzoraka**

### **2.5.1. Određivanje koncentracije klorofila**

Za određivanje koncentracije klorofila *a* u jezerskoj vodi ukupno je profiltrirano 1000 mL jezerske vode pomoću Büchnerovog lijevka, vakuum sisaljke i boce za odsisavanje uz korištenje filter-papira (Whatman GF/C) promjera 55 mm s otvorom pora 1,2  $\mu\text{m}$ . Zatim je filter-papir zajedno s talogom usitnjen u tarioniku uz dodatak 15 mL 90%-tnog acetona te je na taj način izvršena ekstrakcija klorofila. Usitnjeni sadržaj prenesen je u plastičnu kivetu koja je zatim zatvorena budući da je aceton vrlo hlapljiva kemikalija. Nakon stajanja 24 sata u hladnjaku uzorak je centrifugiran 10 minuta na 3000 okretaja u minuti. Nakon centrifugiranja volumen supernatanta izmjeren je u menzuri te je pomoću spektrofotometra izmjerena apsorbancija supernatanta pri 630, 645, 663 i 750 nm (Strickland i Parsons 1968; SCOR-Unesco 1966). U svrhu određivanja koncentracije klorofila *a*, klorofila *b* i klorofila *c* u perifitonu pomoću žileta je sastrugan materijal s polovice jedne te polovice druge strane umjetnog lista. Perifiton je sastrugan u 100 mL vodovodne vode. Daljnji postupak utvrđivanja koncentracije klorofila u perifitonu isti je kao i prethodno opisan postupak utvrđivanja koncentracije klorofila u jezerskoj vodi (Strickland i Parsons 1968; SCOR-Unesco 1966).

### **2.5.2. Određivanje ukupne suspendirane tvari u vodi**

Ukupna količina suspendirane tvari u jezerskoj vodi određena je prema Luef i sur. (2007). Uzorak jezerske vode profiltriran je uz pomoć Büchnerovog lijevka, vakuum sisaljke i boce za odsisavanje. Filtracija je izvršena preko filter-papira (Whatman GF/C, promjera 55 mm i otvora pora 1,2  $\mu\text{m}$ ) koji je prethodno izaren četiri sata na 450 °C u žarnoj peći (Nabertherm, LE040K1RN) te izvagan. Filter-papir s talogom je nakon filtriranja sušen 24 sata u sušioniku na 105 °C. Nakon sušenja filter-papir je izvagan te je na osnovu dobivenih vrijednosti (masa praznog filter-papira i masa nakon sušenja) izračunata ukupna količina suspendirane tvari u vodi. Nakon sušenja je filter-papir ponovno žaren u žarnoj peći četiri sata na 450 °C.

Vaganjem nakon žarenja izračunata je masa anorganske tvari suspendirane u vodi, a masa organske tvari u vodi izračunata je kao razlika između mase anorganske tvari i mase praznog filter-papira.

### **2.5.3. Određivanje organske i anorganske tvari u perifitonu**

Za određivanje biomase perifitona materijal je sastrugan žiletom s umjetne podloge na način da je sastrugana polovica jedne te polovica druge strane umjetnog lista. Obraštaj je sastrugan u prethodno izvagan porculanski lončić, a za ispiranje perifitona s lista i žileta korištena je destilirana voda. Porculanski lončić s uzorkom perifitona je zatim sušen u sušioniku na 105 °C tijekom 24 sata. Nakon hlađenja i vaganja uzorka dobivena je ukupna masa organske i anorganske tvari u perifitonu, odnosno određena je masa suhe tvari. Nakon toga uzorak je žaren u žarnoj peći jedan sat na temperaturi od 500 °C. Hlađenjem i vaganjem uzorka dobivena je masa anorganske tvari u perifitonu. Razlika između mase suhe tvari prije žarenja i mase anorganske tvari nakon žarenja predstavlja masu organske tvari.

### **2.5.4. Analiza protozoa u perifitonu**

Analiza kvalitativnog i kvantitativnog sastava zajednice protozoa u perifitonu provedena je na živom materijalu, a uzorci su pregledani unutar maksimalno 60 sati od prikupljanja (Cairns i sur. 1976). Analiza zajednice protozoa provedena je uz pomoć mikroskopa Olympus BX51. Brojnost protozoa određena je pod manjim povećanjima od 100x i 200x, dok su za determinaciju korištena veća povećanja od 400x i 600x. Za određivanje kvalitativnog sastava korišteni su sljedeći determinacijski ključevi: Kreutz i Foissner (2006), Patterson (2003), Streble i Krauter (2002), Dovgal (2002), Foissner i Berger (1996). Za svrstavanje pojedinih svojti protozoa u skupine (rangove) korištena je klasifikacijska shema prema Adl i sur. (2012). Uz pomoć opreme Olympus CAMEDIA C-4040z napravljene su fotografske snimke prilikom mikroskopiranja. Prije svakog mikroskopiranja uzorak je pripremljen na način da je obraštaj pomoću žileta sastrugan s obje strane umjetne makrofite (lista). Ukupna površina umjetne makrofite iznosila je 40 cm<sup>2</sup>. Obraštaj je sastrugan u čašu te razrijeđen u 30 mL jezerske vode. Iz homogenizirane suspenzije uzeto je tri poduzorka volumena 0,05 mL pomoću pipete (ukupno 0,15 mL) i svaki je pregledan pod mikroskopom (Vlaičević i sur. 2017). Kvantitativni sastav protozoa određen je brojanjem jedinki u ukupnom pregledanom volumenu iz svake suspenzije. Vrijednosti su preračunate preko faktora

preračunavanja te je brojnost svake svojte protozoa prikazana kao broj jedinki po jedinici površine od 1 cm<sup>2</sup>. Kao postotni udio jedinki pojedine svojte u odnosu na ukupan broj jedinki izračunata je dominantnost svojti (u obzir je uzeta prosječna brojnost izračunata za tri poduzorka). Dominantnim svojtama smatrane su svojte koje su činile najmanje 5% od ukupnog broja jedinki. Praživotinje su podijeljene u funkcionalne hranidbene (trofičke) skupine prema Pratt i Cairns (1985) koji su pojedine svojte protozoa razvrstali u ukupno šest trofičkih skupina:

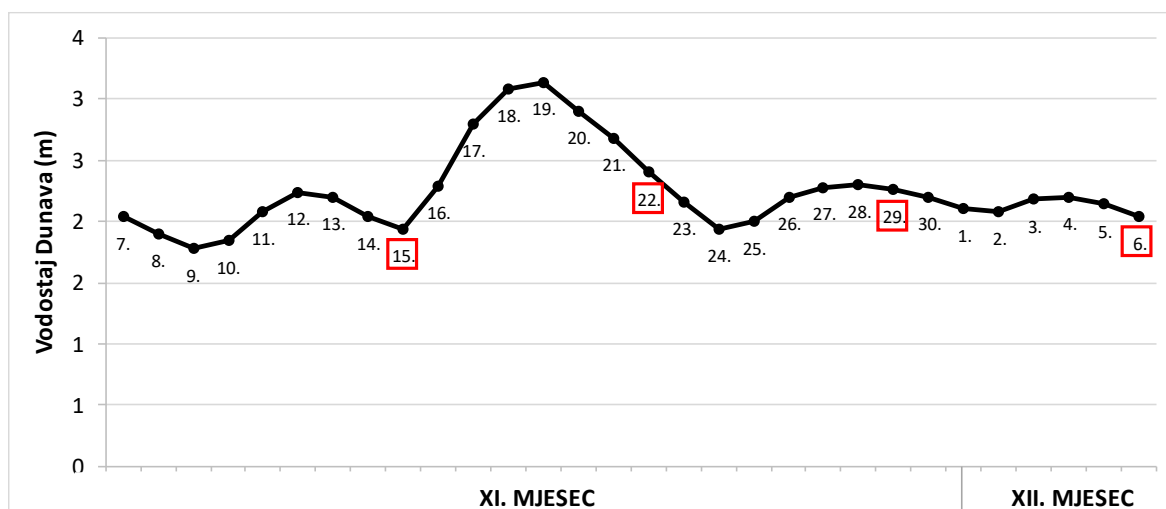
- A (engl. *algivores*; algivora) – hrane se algama (posebno diatomejama),
- P (engl. *photosynthetic autotrophs*; fotosintetski autotrofni organizmi) – fitoflagelatni organizmi koji su primarni producenti,
- B (engl. *bacterivores-detritivores*; bakteriovora-detritivora) – hrane se bakterijama i česticama detritusa s bakterijama; uključuju najveći broj svojti,
- S (engl. *saprotrophs*; saprotrofi) – hrane se otopljenim tvarima u vodi,
- N (engl. *nonselective omnivores*; neselektivni omnivora) – svejedi; uglavnom veći organizmi koji se hrane algama, ali i bakterijama i česticama detritusa,
- R (engl. *raptors*; predatori) – hrane se drugim praživotinjama ili manjim beskralježnjacima.

U ovo istraživanje uključeni su predstavnici ameboidnih i alveolatnih protozoa, dok su predstavnici flagelatnih protozoa izostavljeni budući da je zbog vrlo malih veličina njihova determinacija često nemoguća uz pomoć svjetlosnog mikroskopa te je potreban elektronski mikroskop (Sigeo 2005).

### 3. REZULTATI

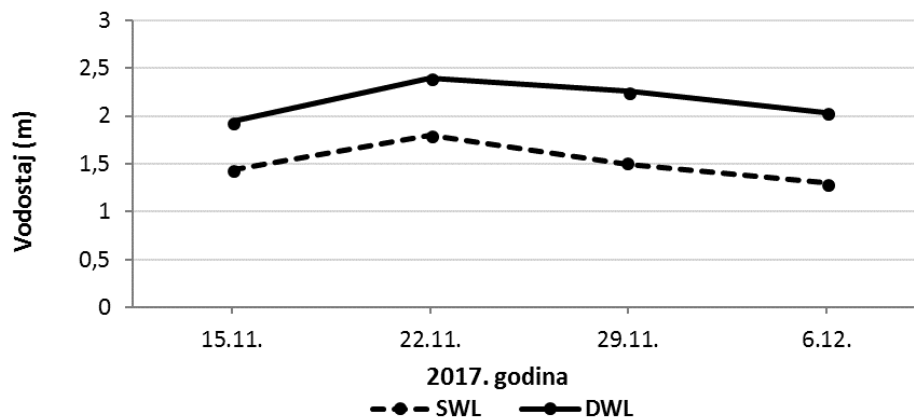
#### 3.1. Abiotički i biotički čimbenici vode

Tijekom razdoblja istraživanja od 7. studenog do 6. prosinca 2017. godine vodostaj Dunava kretao se od minimalnih 1,78 m (9. studenog) do maksimalnih 3,14 m (19. studenog). Vodostaj Dunava je 18. i 19. studenog iznosio preko 3 m, što znači da je došlo do kratkotrajnog plavljenja Sakadaškog jezera. Tijekom preostalog razdoblja istraživanja Sakadaško jezero bilo je u fazi izolacije, odnosno nije došlo do plavljenja (Slika 5).



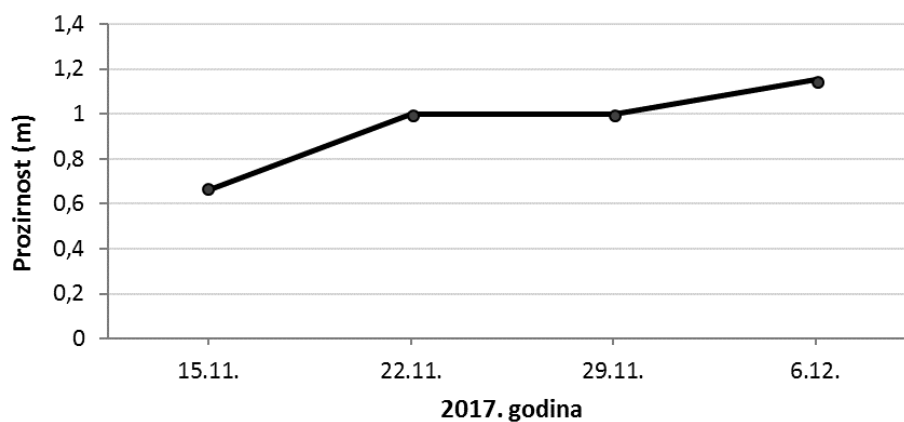
Slika 5. Promjene dnevnih vrijednosti vodostaja Dunava (zabilježene na vodomjernoj postaji Apatin na 1401,4 r. km) u razdoblju istraživanja od 7. studenog do 6. prosinca 2017. godine. Crvenim kvadratima označeni su datumi kada je provedeno uzorkovanje umjetnih makrofita.

Na Slici 6. prikazani su vodostaji Sakadaškog jezera i Dunava tijekom istraživanog razdoblja. Vidljivo je da se vodostaj Sakadaškog jezera mijenjao ovisno o promjenama vodostaja Dunava. Najniži vodostaj jezera zabilježen je 6. prosinca i iznosio je 1,3 m, dok je najviši zabilježen 22. studenog i iznosio je 1,8 m.



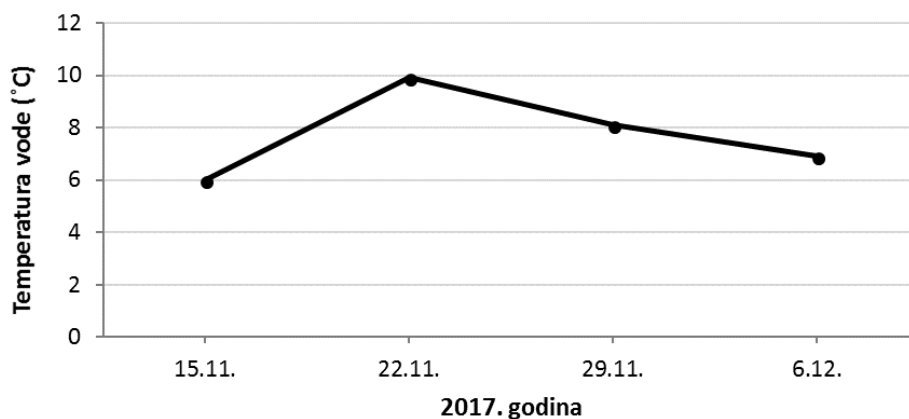
Slika 6. Promjene vodostaja Sakadaškog jezera (SWL) te vodostaja Dunava (DWL) tijekom razdoblja istraživanja 2017. godine.

Vrijednosti prozirnosti vode tijekom provedenog istraživanja kretale su se od minimalnih 0,66 m izmjerenih 15. studenog, do maksimalnih 1,15 m izmjerenih 6. prosinca (Slika 7).



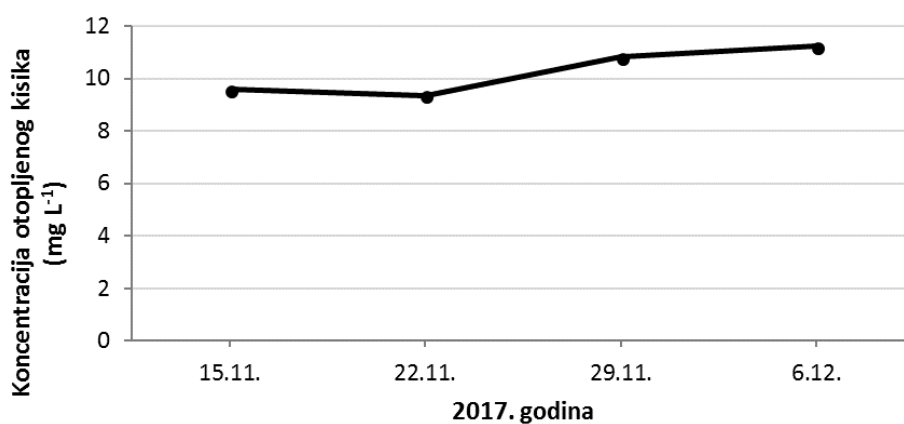
Slika 7. Prozirnost vode Sakadaškog jezera tijekom razdoblja istraživanja 2017. godine.

Temperatura vode bila je u skladu s godišnjim dobom u kojem je provedeno istraživanje. Najniža vrijednost temperature (6°C) zabilježena je 15. studenog, dok je najviša temperatura (9,9°C) zabilježena 22. studenog (Slika 8).



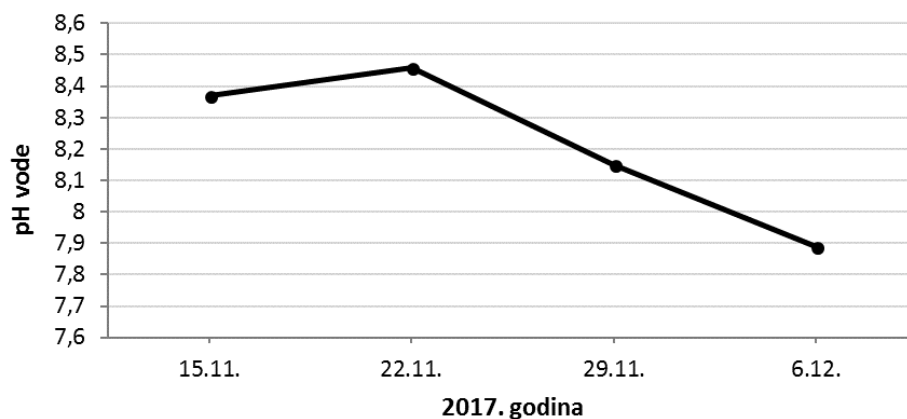
Slika 8. Temperatura vode Sakadaškog jezera tijekom razdoblja istraživanja 2017. godine.

Koncentracija otopljenog kisika u vodi bila je najniža 22. studenog te je iznosila 9,35 mg L<sup>-1</sup>, dok je najviša vrijednost zabilježena 6. prosinca i iznosila je 11,22 mg L<sup>-1</sup> (Slika 9).



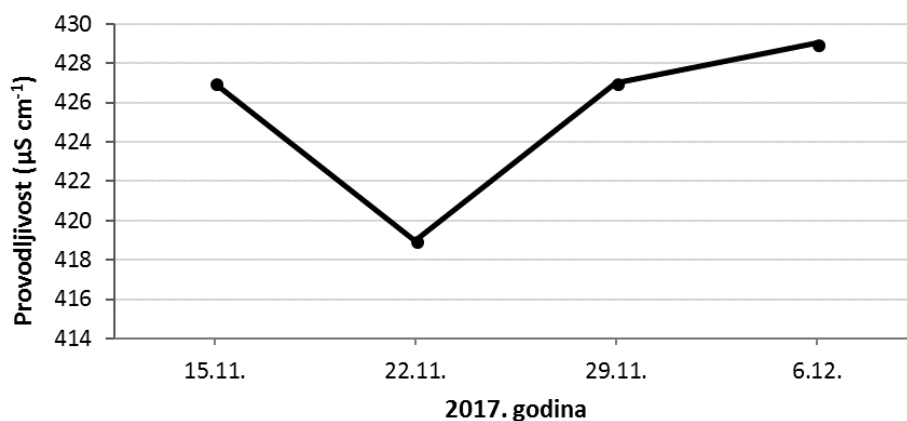
Slika 9. Vrijednosti koncentracije otopljenog kisika u Sakadaškom jezeru tijekom razdoblja istraživanja 2017. godine.

Vrijednosti pH vode kretale su se od minimalnih 7,89 (6. prosinca) do maksimalnih 8,46 (22. studenog) (Slika 10).



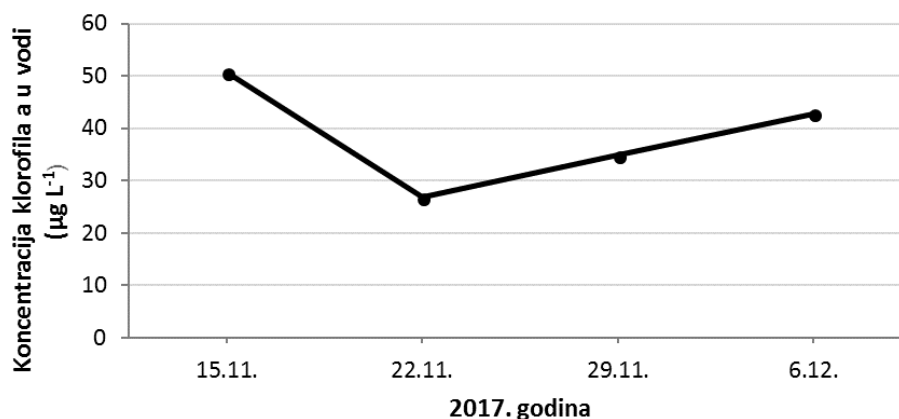
Slika 10. pH vrijednost vode u Sakadaškom jezeru tijekom razdoblja istraživanja 2017. godine.

Najniža vrijednost električne provodljivosti vode zabilježena je 22. studenog ( $419 \mu\text{S cm}^{-1}$ ), dok je najviša vrijednost električne provodljivosti zabilježena 6. prosinca ( $429 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) (Slika 11).



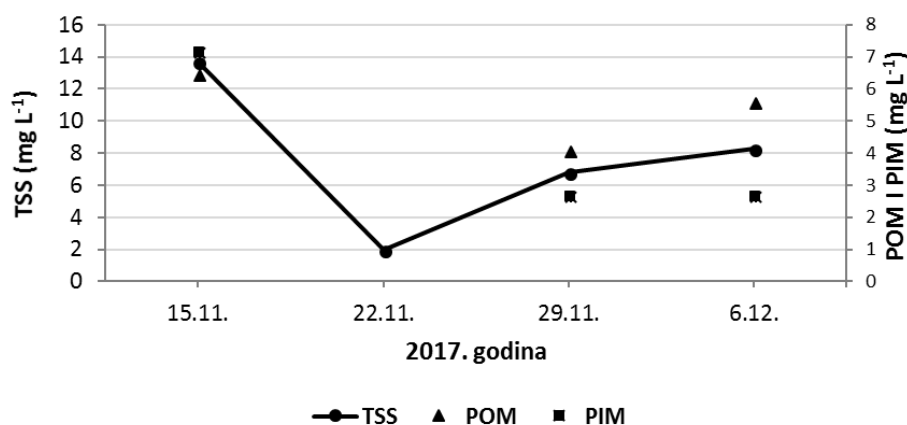
Slika 11. Električna provodljivost vode Sakadaškog jezera tijekom razdoblja istraživanja 2017. godine.

Najniža vrijednost koncentracije klorofila *a* zabilježena je 22. studenog ( $26,83 \mu\text{g L}^{-1}$ ), dok je najviša vrijednost zabilježena 15. studenog ( $50,72 \mu\text{g L}^{-1}$ ) (Slika 12).



Slika 12. Vrijednosti koncentracije klorofila *a* u Sakadaškom jezeru tijekom razdoblja istraživanja 2017. godine.

Najviša koncentracija ukupnih suspendiranih čestica ( $13,7 \text{ mg L}^{-1}$ ), ali i anorganskih ( $7,2 \text{ mg L}^{-1}$ ) te organskih čestica ( $6,5 \text{ mg L}^{-1}$ ) zabilježena je tijekom prvog terenskog izlaska (15. studenog). Najniža koncentracija ukupnih suspendiranih čestica zabilježena je tijekom drugog terenskog izlaska (22. studenog) i iznosila je  $2 \text{ mg L}^{-1}$ . Koncentracija anorganskih čestica u početku istraživanja bila je veća od koncentracije organskih čestica, no tijekom trećeg i četvrtog terenskog izlaska zabilježene su veće koncentracije organskih čestica (Slika 13).

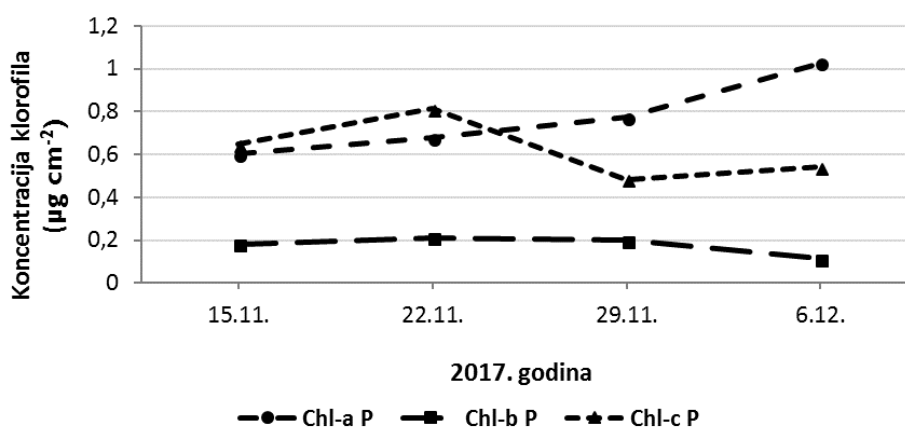


Slika 13. Koncentracija ukupnih suspendiranih čestica (TSS), anorganskih čestica (PIM) i organskih čestica (POM) u Sakadaškom jezeru tijekom razdoblja istraživanja 2017. godine (nedostaju vrijednosti za 22. studeni).

## 3.2. Biomasa perifitona

### 3.2.1. Klorofil *a*, *b* i *c* na umjetnim makrofitama

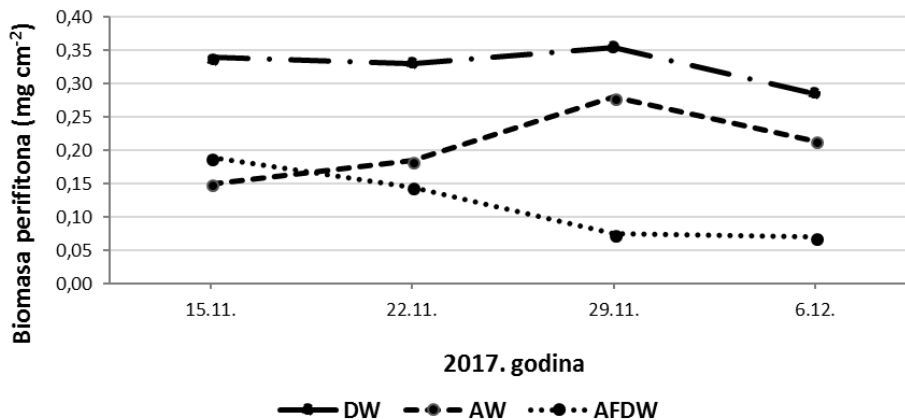
Koncentracije klorofila *a*, *b* i *c* u perifitonu su analizirane kao pokazatelj biomase i brojnosti pojedinih skupina alga u perifitonu. Vrijednosti koncentracije klorofila *a* u perifitonu tijekom eksperimentalnog razdoblja su postupno rasle. Najmanja vrijednost zabilježena je 15. studenog (nakon tjedan dana izloženosti podloga u vodi) te je iznosila  $0,60 \mu\text{g cm}^{-2}$ , dok je najviša koncentracija klorofila *a* zabilježena 6. prosinca (nakon četiri tjedna izloženosti podloga u vodi) i iznosila je  $1,03 \mu\text{g cm}^{-2}$ . Tijekom cijelog eksperimentalnog razdoblja koncentracija klorofila *b* bila je niska. Najniža koncentracija klorofila *b* u perifitonu zabilježena je nakon četiri tjedna (6. prosinca) i iznosila je  $0,11 \mu\text{g cm}^{-2}$ , dok je najviša vrijednost koncentracije klorofila *b* zabilježena nakon dva tjedna (22. studenog) te je iznosila  $0,21 \mu\text{g cm}^{-2}$ . Koncentracija klorofila *c* rasla je na početku razdoblja istraživanja, pa je tako najviša vrijednost zabilježena 22. studenog (nakon dva tjedna izloženosti podloga u vodi) te je iznosila  $0,81 \mu\text{g cm}^{-2}$ , nakon čega su vrijednosti počele opadati, a najniža vrijednost zabilježena je nakon tri tjedna (29. studenog) i iznosila je  $0,48 \mu\text{g cm}^{-2}$  (Slika 14).



Slika 14. Vrijednosti koncentracije klorofila *a* (Chl-a P), klorofila *b* (Chl-b P) i klorofila *c* (Chl-c P) u perifitonu tijekom razdoblja istraživanja.

### 3.2.2. Anorganska i organska tvar na umjetnim makrofitama

Najviša vrijednost mase suhe tvari zabilježena je 29. studenog (nakon tri tjedna izloženosti podloga u vodi) te je iznosila  $0,36 \text{ mg cm}^{-2}$ , dok je najniža vrijednost zabilježena na kraju eksperimentalnog razdoblja (nakon četiri tjedna izloženosti u vodi) i iznosila je  $0,29 \text{ mg cm}^{-2}$ . Masa anorganske tvari je varirala tijekom razdoblja istraživanja. Najviša vrijednost iznosila je  $0,28 \text{ mg cm}^{-2}$  (29. studenog, nakon tri tjedna izloženosti u vodi), dok je najniža vrijednost iznosila  $0,15 \text{ mg cm}^{-2}$  (15. studenog, nakon tjedan dana izloženosti u vodi). Masa organske tvari postupno se smanjivala tijekom eksperimentalnog razdoblja pa je tako najviša vrijednost zabilježena 15. studenog (nakon tjedan dana izloženosti u vodi) i iznosila je  $0,19 \text{ mg cm}^{-2}$ , dok je najniža vrijednost zabilježena na kraju eksperimenta (nakon četiri tjedna izloženosti u vodi) i iznosila je  $0,07 \text{ mg cm}^{-2}$ . Nakon tjedan dana izloženosti u vodi na umjetnim makrofitama je zabilježena veća količina organske tvari, nakon čega se povećala količina anorganske tvari te je ona prevladavala u perifitonu do kraja razdoblja istraživanja (Slika 15).



Slika 15. Promjene mase suhe tvari (DW), anorganske tvari (AW) i organske tvari (AFDW) u perifitonu tijekom razdoblja istraživanja.

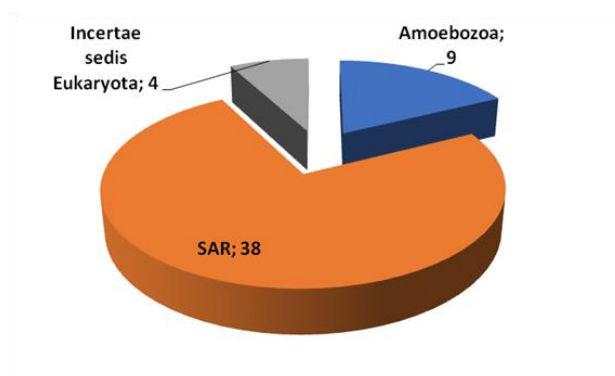
### 3.3. Razvoj zajednice protozoa u perifitonu

S ciljem praćenja dinamike razvoja zajednice praživotinja na umjetnim makrofitama u kasnojesenskim i zimskim uvjetima, uzorkovanje je provedeno tjednom dinamikom tijekom

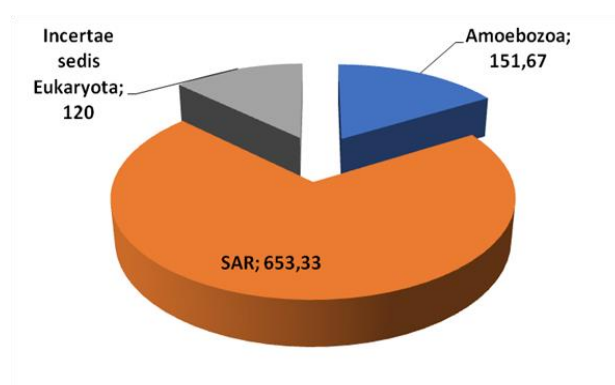
mjesec dana (7. studenog – 6. prosinca 2017. godine). Praćene su promjene kvalitativnog i kvantitativnog sastava praživotinja u perifitonu razvijenom na umjetnim makrofitama.

### 3.3.1. Kvalitativni i kvantitativni sastav zajednice protozoa

Tijekom provedenog istraživanja zabilježena je ukupno 51 svojta praživotinja u obraštaju razvijenom na umjetnim makrofitama (Slika 16A). Prema klasifikacijskoj shemi Adl i sur. (2012) sve pronađene svojte razvrstane su u tri supergrupe: Amoebozoa, SAR i Incertae sedis Eukaryota. Najveću raznolikost i brojnost tijekom cijelog razdoblja istraživanja imala je supergrupa SAR, dok je najmanju raznolikost i brojnost imala supergrupa Incertae sedis Eukaryota (Slika 16B).



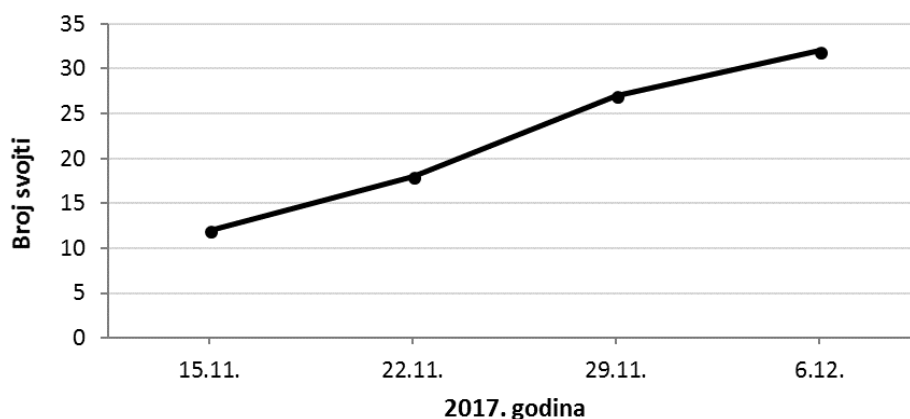
A)



B)

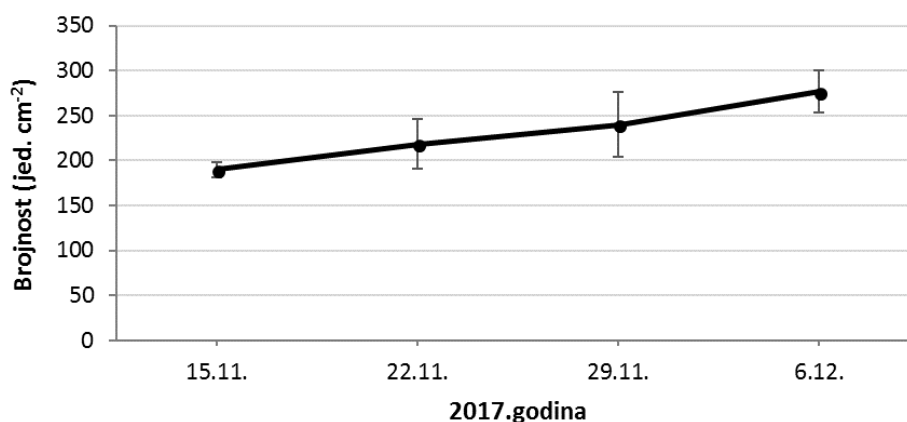
Slika 16. Relativni udio pojedinih supergrupa protozoa u perifitonu obzirom na ukupan broj svojti (A) i ukupnu brojnost (B) za cjelokupno razdoblje istraživanja 2017. godine.

Tijekom razvoja obraštaja broj svojti se konstantno povećavao od ukupno 12 svojti zabilježenih 15. studenog (nakon tjedan dana razvoja) do ukupno 32 svojte zabilježene 6. prosinca (nakon četiri tjedna razvoja) (Slika 17).



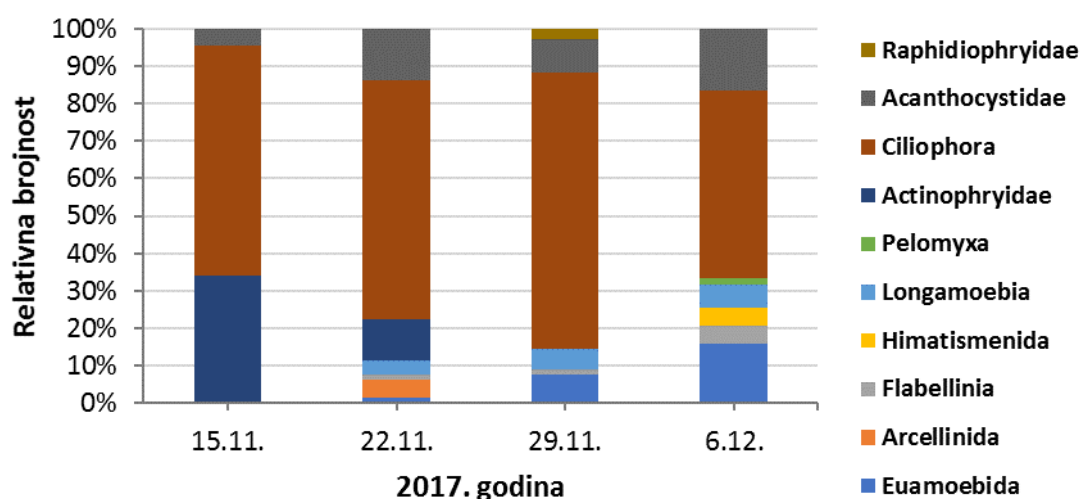
Slika 17. Promjene ukupnog broja svojti protozoa u perifitonu u Sakadaškom jezeru tijekom razdoblja istraživanja 2017. godine.

Ukupna brojnost protozoa u perifitonu tijekom razdoblja istraživanja postupno se povećavala od prvog do posljednjeg dana naseljavanja. Obzirom na to, minimalna ukupna brojnost zabilježena je 15. studenog (nakon tjedan dana izloženosti podloga u vodi) kada je brojnost iznosila 190 jed.  $\text{cm}^{-2}$ , dok je maksimalna brojnost zabilježena 6. prosinca (nakon četiri tjedna izloženosti podloga u vodi) i iznosila je 276,67 jed.  $\text{cm}^{-2}$  (Slika 18).



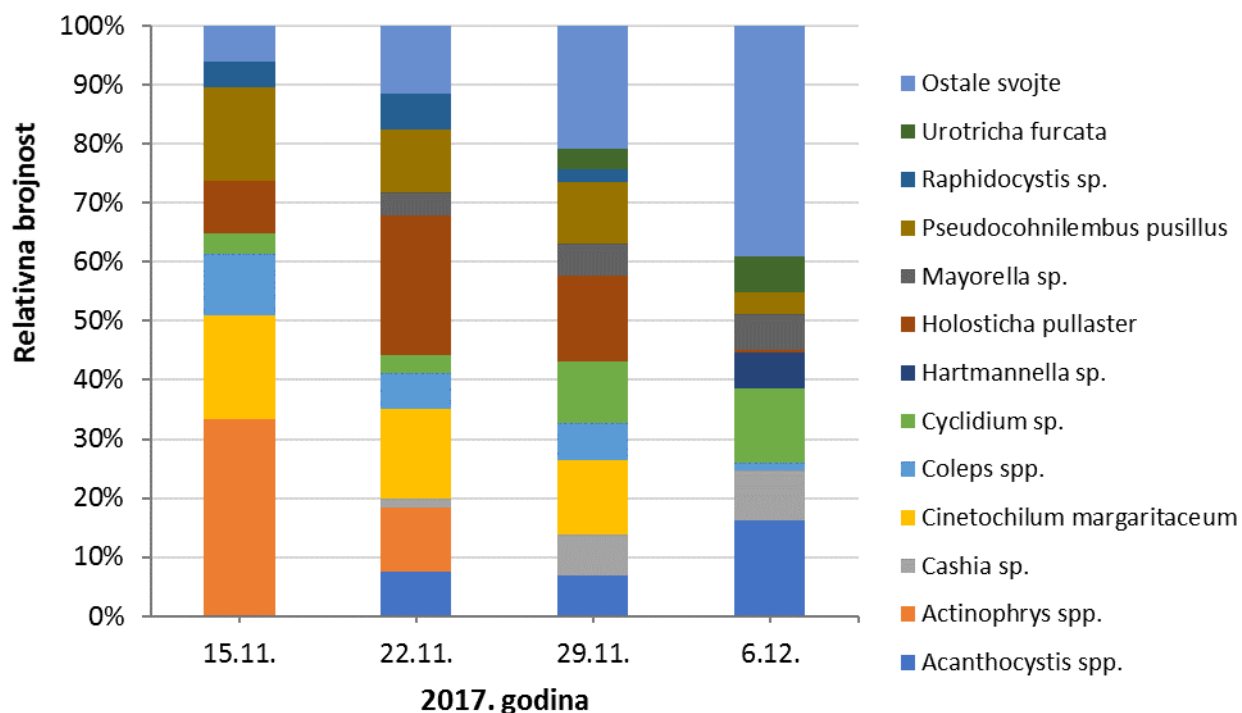
Slika 18. Promjene ukupne brojnosti protozoa u perifitonu u Sakadaškom jezeru tijekom razdoblja istraživanja 2017. godine.

Sve pronađene svojte su razvrstane u 10 skupina (drugi rang prema klasifikacijskoj shemi Adl i sur. (2012)): Euamoebida, Arcellinida, Flabellinia, Himatismenida, Longamoebia, Pelomyxa, Actinophryidae, Ciliophora, Acanthocystidae, Raphidiophryidae. Najveći broj jedinki tijekom cijelog eksperimentalnog razdoblja imala je skupina Ciliophora (trepetljikaši). Na početku istraživanja, nakon tjedan dana izloženosti podloga u vodi, osim trepetljikaša u obraštaju su bili sa značajnijom brojnosti zastupljeni i predstavnici skupine Actinophryidae. Međutim, brojnost ove skupine se s dužom izloženosti podloga u vodi smanjila, dok se brojnost skupine Acanthocystidae povećala. Prema kraju razdoblja istraživanja povećala se i brojnost ameba iz skupina Euamoebida, Longamoebia, Flabellinia i Himatismenida u obraštaju (Slika 19).



Slika 19. Relativni udio pojedinih skupina protozoa u perifitonu obzirom na brojnost tijekom razdoblja istraživanja 2017. godine u Sakadaškom jezeru.

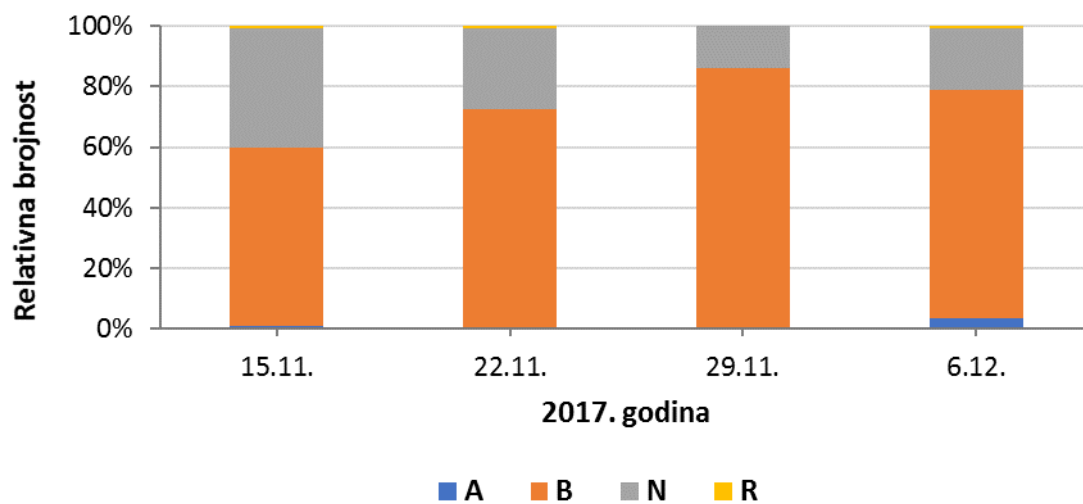
Tijekom provedenog istraživanja zabilježeno je ukupno 12 dominantnih svojti protozoa. Nakon tjedan dana razvoja obraštaja najveći udio u ukupnoj brojnosti imala je svojta *Actinophrys* spp., a također je veliki udio imala i vrsta *Cinetochilum margaritaceum*. Značajniji udio u brojnosti imale su i svojte *Coleps* spp. i *Pseudocohnilembus pusillus*. S duljom izloženošću podloga u vodi povećavala se brojnost vrste *Holosticha pullaster*. Na kraju istraživanja se brojnost svih navedenih svojti jako smanjila, a povećala se brojnost svojti *Acanthocystis* spp., *Cyclidium* sp. i *Cashia* sp. (Slika 20).



Slika 20. Promjene relativnog udjela dominantnih svojti protozoa s obzirom na brojnost u perifitonu na umjetnoj podlozi tijekom razdoblja istraživanja 2017. godine u Sakadaškom jezeru.

### 3.3.2. Trofička struktura zajednice protozoa

U perifitonu na umjetnim makrofitama zabilježene su četiri trofičke skupine praživotinja: algivora, bakteriovora-detritivora, neselektivni omnivora i predatori (Slika 21). Najveću brojnost tijekom cijelog razdoblja istraživanja imali su bakteriovora-detritivora, a nakon njih brojnošću su najzastupljeniji bili neselektivni omnivora. S vremenom se u perifitonu smanjila brojnost neselektivnih omnivora, povećao se udio bakteriovora-detritivora u ukupnoj brojnosti. Tijekom cijelog razdoblja istraživanja zabilježena je mala brojnost predatorskih praživotinja, dok je udio algivora porastao na kraju istraživanja (nakon četiri tjedna izloženosti podloga u vodi) (Slika 21).



Slika 21. Udio brojnosti trofičkih skupina u ukupnoj brojnosti protozoa tijekom razdoblja istraživanja 2017. godine u Sakadaškom jezeru (A – algivora; B – bakteriovora-detritivora; N – neselektivni omnivora; R – predatori).

#### 4. RASPRAVA

Razvoj obraštajnih zajednica u jezerima umjerenih područja pod utjecajem je sezonskih promjena različitih abiotičkih i biotičkih ekoloških čimbenika (Azim i sur. 2005; Sigee 2005). Tijekom provedenog istraživanja uvjeti u Sakadaškom jezeru nisu se značajnije mijenjali obzirom da je istraživanje provedeno tijekom kraćeg kasnojesensko-zimskog razdoblja. Temperatura vode bila je niska i u skladu sa sezonskim razdobljem u kojem je istraživanje provedeno (Slika 8). Prema Wetzel (2001), koncentracija otopljenog kisika u vodi ovisi o metabolizmu aerobnih vodenih organizama te je usko povezana s temperaturom vode. Prema tome, koncentracija otopljenog kisika u vodi je očekivano bila visoka tijekom cijelog istraživanja s obzirom da je temperatura vode bila niska (Slika 8). Gotovo tijekom cijelog istraživanja vodostaj Dunava bio je niži od 3 m te je Sakadaško jezero bilo u fazi izolacije. Do kratkokrajnog plavljenja slabijeg intenziteta došlo je nakon što je vodostaj Dunava prešao 3 m, što je zabilježeno 18. i 19. studenog (Slika 5). Nakon toga, zabilježene su značajnije promjene u vrijednostima određenih čimbenika vode u jezeru – povećala se prozirnost vode, a smanjila se električna provodljivost vode te koncentracija klorofila *a* u vodi i ukupnih suspendiranih čestica (Slika 7, 11, 12 i 13). Ovakav utjecaj poplava u Kopačkom ritu ustanovljen je i u ranijim istraživanjima (Galir Balkić i sur. 2018; Vlaičević 2017; Mihaljević i Stević 2011). Provodljivost je mjera sposobnosti vode da provodi električnu struju i ovisi o količini otopljenih anorganskih tvari te o temperaturi vode. Provodljivost se može znatno mijenjati u poplavnim nizinama i niska je kada su razine vode visoke, a visoka kada su razine vode niske (Van der Valk 2006). Vidaković i Palijan (2010) su u mjesecu studenom također zabilježili visoke vrijednosti za provodljivost. Smanjenje koncentracije klorofila *a* u vodi, odnosno smanjenje brojnosti planktonskih algi, uslijed plavljenja Sakadaškog jezera utvrdili su i Mihaljević i Stević (2011) te Mihaljević i sur. (2010). Luef i sur. (2007) su također utvrdili da poplave dovode do sniženja koncentracije klorofila *a* u poplavnom području, međutim dovode do povećanja količine suspendiranih čestica u vodi. Prema Mihaljević i sur. (2010) i Tockner i sur. (1999) poplavne vode unose suspendirane čestice u poplavna područja te povećavaju njihovu koncentraciju. Međutim, u ovom istraživanju primjećen je pad koncentracije suspendiranih čestica u vodi nakon kratkotrajnog plavljenja (Slika 13).

Koncentracije klorofila *a*, *b* i *c* su pokazatelji primarne proizvodnje. Klorofil *a* je jedini pigment koji može neposredno sudjelovati u pretvorbi Sunčeve energije u kemijsku te je dominantan u višim biljkama i algama (Pevalek-Kozlina 2002). Klorofil *a* prisutan je kod svih alga, klorofil *b* je dominantan u zelenim algama, dok je klorofil *c* prisutan kod alga iz razreda Bacillariophyceae (dijatomeje), dinoflagelata i smeđih alga. Prema rezultatima ovog istraživanja možemo zaključiti da su populacije dijatomeja bile zastupljenije tijekom prva dva tjedna razvoja perifitona, nakon čega se njihova brojnost smanjila (Slika 14). Mihaljević i Žuna Pfeiffer (2012) navode da su dijatomeje dominantna skupina alga u perifitonu u početnoj fazi razvoja na umjetnim podlogama u Sakadaškom jezeru. Navedeno istraživanje provedeno je tijekom proljetnog razdoblja, kada vrijednosti temperature vode još uvijek nisu značajno narasle, a vodostaj Dunava imao je slične vrijednosti kao i u ovom istraživanju.

Prema Biggs (1996) biomasa perifitona se mijenja s vremenom ekspozicije podloga u vodi te razlikujemo fazu prirasta i fazu gubitka. Fazu rasta karakterizira eksponencijalni porast biomase obraštaja (Azim i Asaeda 2005), a pod utjecajem je različitih okolišnih čimbenika kao što su hidrološki režim i dostupnost hranjivih tvari (Gaiser 2008). Na trajanje pojedinih faza u razvoju obraštaja također utječu temperatura i dostupnost svjetlosti. Prema Mihaljević i Žuna Pfeiffer (2012) u Sakadaškom jezeru ukupna biomasa obraštaja na umjetnoj podlozi dostiže svoje vršne vrijednosti oko 40.-tog dana razvoja, nakon čega slijedi faza gubitka. U istraživanju obraštajnih zajednica u Sakadaškom jezeru koje su proveli Vlaičević i sur. (2017), zabilježene su visoke vrijednosti biomase, za razliku od ovog istraživanja u kojem su zabilježene niske vrijednosti biomase, vjerojatno zbog sporijeg prirasta pri nižoj temperaturi i manje količine svjetlosti, kao i sporijeg naseljavanja protozoa i drugih organizama na podloge tek uronjene u jezero. Prema Vlaičević i sur. (2017), prvo značajnije povećanje biomase perifitona u poplavnom području se pojavljuje u ljetnom periodu. Matonićkin Kepčija (2006) je istraživanjem obraštajnih zajednica sedrenih barijera na umjetnim podlogama također došla do zaključka da je u zimskom razdoblju vrijednost biomase najniža. Rezultati dosadašnjih istraživanja obraštajnih zajednica ukazuju na to da se perifiton brže razvija pri povišenoj temperaturi vode, većoj količini svjetlosti i većoj količini hranjivih tvari (Azim i Asaeda, 2005; Wetzel, 2001; Moschini-Carlos i sur., 2000). Iako Hoare i sur. (2006) i Kelly (2006) navode da umjetne makrofite predstavljaju povoljno stanište za naseljavanje slatkovodnih beskralježnjaka, za praživotinje to još uvijek nije dokazano. Prema Azim i Asaeda (2005) pomicanje makrofita uslijed pojačanog gibanja vode

može mehanički oštetiti i odstraniti perifiton s podloge te dovesti do smanjenja ukupne biomase, što je moguće jedan od razloga smanjene količine obraštaja na umjetnim makrofitama u ovom istraživanju.

Protozoa naseljavaju nove podloge vrlo brzo (Arndt i sur. 2003), što je potvrđeno i u ovom istraživanju s obzirom da je već nakon tjedan dana izloženosti podloga u vodi pronađeno 12 svojti protozoa. Od 51 svojte, koliko ih je pronađeno tijekom cjelokupnog istraživanja, najveći broj svojti pripada skupini Ciliophora (trepetljikaši) koja pripada supergrupi SAR. Prema istraživanju koje je provela Strüder-Kypke (1999) najveću raznolikost tijekom zimskog razdoblja u močvarnom jezeru imali su heterotrofni bičaći, a tijekom istog razdoblja pronađeno je svega nekoliko svojti trepetljikaša. Xu i sur. (2005) su istraživanjem zajednice protozoa na umjetnom podlozi od poliuretanske pjene u eutrofnom jezeru pronašli ukupno 114 svojti protozoa, a dominantni predstavnici tijekom zimskog razdoblja bili su trepetljikaši. Važno je istaknuti da u ovom istraživanju provedenom u Sakadaškom jezeru nije obuhvaćena skupina bičaća koja često predstavlja dominantnu skupinu protozoa u obraštajnim zajednicama (Arndt i sur. 2003; Strüder-Kypke 1999). Osim Ciliophora, veliki udio u brojnosti imale su i skupine Actinophryidae i Acanthocystidae (Slika 19), vjerojatno zbog dostupnih resursa, odnosno dovoljne količine hrane – bakterija, alga i drugih praživotinja (Patterson 2003; Pratt i Cairns 1985). Dominantne svojte praživotinja s obzirom na brojnost bile su *Actinophrys* spp., *Cinetochilum margaritaceum*, *Coleps* spp. i *Pseudocohnilembus pusillus*. *Actinophrys* se hrani bičaćima i drugim praživotinjama, naročito manjim pokretnim trepetljikašima koje hvata pomoću aksopodija s ekstrusomima (Patterson 2003). Prema tome, velika brojnost manjih pokretnih trepetljikaša u perifitonu pogodovala je naseljavanju svojte *Actinophrys* spp.. *Cinetochilum margaritaceum*, *Coleps* spp. i *Pseudocohnilembus pusillus* su trepetljikaši manje veličine koji se kreću unutar obraštaja uzimajući hranu. Ove svojte možemo označiti kao pionirske, odnosno svojte karakteristične za početnu fazu naseljavanja čistih podloga (Vlaičević i sur. 2017; Matonićkin Kepčija 2006; Strüder-Kypke 1999). Budući da pripadaju skupini bakteriovora-detritivora, ove su svojte bile dominantne na početku razvoja obraštaja jer su imale dovoljno hrane. Nakon taloženja organskih čestica na čistu podlogu, bakterije su prvi organizmi koji se dalje naseljavaju na tu podlogu (Arndt i sur. 2003; Battin i sur. 2003). S duljom izloženošću u vodi rastao je i udio svojte *Acanthocystis* spp. u ukupnoj brojnosti koja se hrani na sličan način kao i *Actinophrys* spp. Vrsta trepetljikaša *Holosticha pullaster*, čija se

brojnost povećala u obraštaju nakon dva tjedna izloženosti podloga, uobičajena je za početne faze razvoja obraštaja (Vlaičević i sur. 2017). Povećanje brojnosti svojiti *Cyclidium* sp. (trepetljikaš) i *Casbia* sp. (gola ameba) u perifitonu također je najvjerojatnije bilo povezano s izvorom hrane. Prema Burgmer i sur. (2010) u obraštajnim zajednicama su zastupljene različite trofičke razine, a s razvojem perifitona se mijenja trofička struktura zajednice protozoa. Međutim, tijekom provedenog istraživanja trofička struktura protozoa nije se značajnije mijenjala s vremenom, pri čemu su najbrojniji bili bakteriovora-detritivora. Nakon njih slijedili su neselektivni omnivora (Slika 21). Algivora su bili brojčano slabo zastupljeni, budući da prema Pratt i Cairns (1985) vrlo mali broj vrsta protozoa se hrani isključivo algama. Predatori su imali malu brojnost tijekom cijelog istraživanja što se može objasniti činjenicom da su oni uglavnom karakteristični za kasnije faze razvoja perifitona kada imaju dostupne veće količine hrane (Vlaičević i sur. 2017; Arndt i sur. 2003, Strüder-Kypke 1999; Pratt i Cairns 1985). Pratt i Cairns (1985) su također utvrdili najveću brojnost bakteriovora-detritivora na umjetnim podlogama izloženim u močvarnim staništima. Praživotinje su važni potrošači organskih tvari i mikroorganizama (naročito bakterija) u većini slatkovodnih sustava (prirodnih i umjetnih) te stoga imaju važnu ulogu u hranidbenim lancima slatkovodnih ekosustava kao poveznica nižih i viših trofičkih razina (Sigeo 2005; Arndt i sur. 2003; Finlay i Esteban 1998). U vrijeme niske temperature vode i slabijeg intenziteta svjetlosti, kada se razvija znatnije manja količina obraštaja, u obraštaju na umjetnim makrofitama izloženim u Sakadaškom jezeru dominiraju praživotinje koje se hrane prvenstveno česticama hrane smještenim unutar samog obraštaja (posebice česticama detritusa i bakterijama). Prema tome, značajna ekološka uloga ovih organizama je u preradi žive i nežive organske tvari i njenom prijenosu prema višim trofičkim skupinama.

## 5. ZAKLJUČCI

- Vrijednosti temperature vode bile su niske što je u skladu s godišnjim dobom u kojem je provedeno istraživanje. Koncentracija otopljenog kisika u vodi imala je visoke vrijednosti, što je povezano s niskom temperaturom vode i sporijim metabolizmom vodenih organizama. Nakon kratkotrajnog plavljenja Sakadaškog jezera uočeno je povećanje prozirnosti vode te smanjenje električne provodljivosti vode, koncentracije klorofila *a* u vodi i koncentracije ukupnih suspendiranih čestica u vodi.
- Niske vrijednosti biomase obraštaja na umjetnim makrofitama izloženim u Sakadaškom jezeru vjerojatno su rezultat sporijeg prirasta pri nižoj temperaturi vode i smanjenoj količini svjetlosti, kao i sporijeg naseljavanja protozoa i drugih organizama na podloge tek uronjene u jezero.
- Obrašaj se na umjetnim makrofitama uronjenima u Sakadaško jezero razvija vrlo brzo.
- Veće vrijednosti koncentracije klorofila *c* u obraštaju tijekom prva dva tjedna razvoja ukazuju na moguću dominantnost dijatomeja (algi kremenjašica) u početnoj fazi razvoja obraštaja u kasnojesenskom razdoblju.
- Zabilježena je ukupno 51 svojta praživotinja, što ukazuje na veliku raznolikost praživotinja na ovakvom tipu umjetnih podloga koje nisu često korištene u ekološkim istraživanjima.
- Najveću brojnost i raznolikost imali su trepetljikaši (Ciliophora) koji pripadaju supergrupi SAR.
- Dominantne svojte u obraštaju na umjetnim makrofitama bile su *Actinophrys* spp. (sunašca) te *Cinetochilum margaritaceum*, *Coleps* spp. i *Pseudocohnilembus pusillus* (trepetljikaši) koje predstavljaju pionirske vrste, odnosno prve kolonizatore čistih uronjenih podloga.
- Trofička struktura zajednice protozoa nije se značajnije mijenjala s vremenom izloženosti podloga u vodi. U obraštaju su tijekom cijelog razdoblja dominirali bakteriovora-detritivora koji se hrane neživom organskom tvari i bakterijama.
- Protozoa u obraštaju imaju važnu ulogu u prijenosu žive i nežive organske tvari od nižih prema višim trofičkim skupinama te stoga predstavljaju važnu komponentu u hranidbenim mrežama jezerskog ekosustava.

## 6. LITERATURA

Adl, S. M., Simpson, A. G. B., Farmer, M. A., Andersen, R. A., Anderson, O. R., Barta, J. R., Bowser, S. S., Brugerolle, G., Fensome, R. A., Fredericq, S., James, T. Y., Karpov, S., Kurgens, P., Krug, J., Lane, C. E., Lewis, L. A., Lodge, J., Lynn, D. H., Mann, D. G., Mccourt, R. M., Mendoza, L., Moestrup, O., Mozley-Standridge, S. E., Nerad, T. A., Shearer, C. A., Smirnov, A. V., Spiegel, F. W., Taylor, M. F. Jr. (2005) The new higher level classification of eukaryotes with emphasis on the taxonomy of protists. *Journal of Eukaryotic Microbiology* 52: 399-451.

Adl, S. M., Simpson, A. G. B., Lane, C. E., Lukeš, J., Bass, D., Bowser, S. S., Brown, M. W., Burki, F., Dunthorn, M., Hampl, V., Heiss, A., Hoppenrath, M., Lara, E., le Gall, L., Lynn, D. H., McManus, H., Mitchell, E. A. D., Mozley-Stanridge, S. E., Parfrey, L. W., Pawlowski, J., Rueckert, S., Shadwick, L., Schoch, C. L., Smirnov, A., Spiegel, F. W. (2012) The revised classification of eukaryotes. *Journal of Eukaryotic Microbiology* 42: 293-310.

Arndt, H., Schmidt-Denter, K., Auer, B., Weitere, M. (2003) *Protozoans and Biofilms*. U: Krumbein, W.E., Patterson, D.M., Zavarzin, G.A. (ur.) *Fossil and Recent Biofilms*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, str. 161-179.

Azim, M. E., Asaeda, T. (2005) *Periphyton Structure, Diversity and Colonization*. U: *Periphyton: Ecology, Exploitation and Management*, Azim, M. E., Verdegem, M. C. J., van Dam, A. A., Beveridge, M. C. M. (ur.) CAB International, CABI Publishing, Wallingford, Oxfordshire, UK, str.15-33.

Azim, M. E., Beveridge, M. C. M., van Dam, A. A., Verdegem, M. C. J. (2005) *Periphyton and Aquatic Production: An Introduction*. U: Azim, M. E., Verdegem, M. C. J., van Dam, A. A., Beveridge, M. C. M. (ur.) *Periphyton: Ecology, Exploitation and Management*. CAB International, CABI Publishing, Wallingford, Oxfordshire, UK, str. 1-13.

Battin, T. J., Kaplan, L. A., Newbold, J. D., Hanson, C. M. E. (2003) Contributions of microbial biofilms to ecosystem processes in stream mesocosms. *Nature* 426: 439-442.

Biggs, B. J. F. (1996) *Patterns in Benthic Algae of Streams*. U: Stevenson, R. J., Bothwell, M. L., Lowe, R. L. (ur.) *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*. Academic Press, San Diego, California, str.31-56.

- Burgmer, T., Reiss, J., Wickham, S. A., Hillebrand, H. (2010) Effects of snail grazers and light on the benthic microbial food web in periphyton communities. *Aquatic Microbial Ecology* 61: 163-178.
- Cairns, J., Dahlberg, M. L., Dickson, K. L., Smith, N., Waller, W. T. (1969) The relationship of freshwater protozoan communities to the MacArthur-Wilson equilibrium model. *The American Naturalist* 93: 439-454.
- Cairns, J. Jr., Yongue, W. H. Jr. (1974) Protozoan colonization rates on artificial substrates suspended at different depths. *Transactions of the American Microscopical Society* 93: 206-210.
- Cairns, J. Jr., Plafkin, J. L., Yongue, W. H. Jr., Kaesler, R. L. (1976) Colonization of artificial substrates by protozoa: replicated samples. *Archiv für Protistenkunde* 118: 259-267.
- Dovgal, I. V. (2002) Evolution, phylogeny and classification of Suctorea (Ciliophora). *Protistology* 2: 194-270.
- Esteban, G. F., Finlay, B. J., Warren, A. (2015) Free-Living Protozoa. U: Thorp, J. H., Rogers, D. C. (ur.) Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates: Ecology and General Biology. Fourth edition, Volume 1. Elsevier, str.113-131.
- Finlay, B. J., Esteban, G. F. (1998) Freshwater protozoa: biodiversity and ecological function. *Biodiversity and Conservation* 7: 1163-1186.
- 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.
- Gaiser, E. E. (2008) Periphyton as an indicator of restoration in the Florida Everglades. *Ecological Indicators* 9: 31-45.
- Galir Balkić, A., Ternjej, I., Špoljar, M. (2018) Hydrology driven changes in the rotifer trophic structure and implications for food web interactions. *Ecohydrology* 11: 1-12.
- Gucunski, D. (1994) Važnost zaštite hidrološkog sustava Specijalnog zoološkog rezervata Kopački rit. *Zbornik ekoloških radova „Problemi u zaštiti okoliša“*. Osijek, 1: 15-23.

Habdija, I., Primc-Habdija, B., Radanović, I., Špoljar, M., Matoničkin Kepčija, R., Vujčić, K. S., Miliša, M., Ostojić, A., Sertić Perić, M. (2011) Protista – Protozoa, Metazoa – Invertebrata. Strukture i funkcije. Alfa, Zagreb.

Hao, B., Wu, H., Cao, Y., Xing, W., Jeppensen, E. (2017) Comparison of periphyton communities on natural and artificial macrophytes with contrasting morphological structures. *Freshwater Biology* 62: 1783-1793.

Hoare, D., Jackson, M. J., Perrow, M. (2006) The addition of artificial macrophytes to provide macroinvertebrate refugia at Alderfen Broad, Norfolk, England. *Conservation Evidence* 3: 58-60.

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

Kelly, A. (2006) The addition of artificial macrophytes in an attempt to improve water quality at Barton Broad, Norfolk, England. *Conservation Evidence* 3: 44-46.

Kralj, K., Plenković-Moraj, A., Gligora, M., Primc-Habdija, B., Šipoš, L. (2006) Structure of periphytic community on artificial substrata: influence of depth, slide orientation and colonization time in karstic Lake Visovačko, Croatia. *Hydrobiologia* 560(1): 249-258.

Kreutz, M., Foissner, W. (2006) Protozoological Monographs: The Sphagnum Ponds of Simmelried in Germany: A Biodiversity Hot-Spot for Microscopic Organisms. Shaker Verlag, Germany.

Luef, B., Aspetsberger, F., Hein, T., Huber, F., Peduzzi, P. (2007) Impact of hydrology on free-living and particle-associated microorganisms in a river floodplain system (Danube, Austria). *Freshwater Biology* 52: 1043-1057.

Lynn, D. H. (2008) The Ciliated Protozoa: Characterization, Classification, and Guide to the Literature. Third edition. Springer.

Matoničkin Kepčija, R. (2006) Utjecaj brzine strujanja vode na naseljavanje perifitonskih zajednica sedrenih barijera. Doktorski rad. Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Mihaljević, M., Getz, D., Tadić, Z., Živanović, B., Gucunski, D., Topić, J., Kalinović, I., Mikuska, J. (1999) Kopački rit. Pregled istraživanja i bibliografija. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb.

- Mihaljević, M., Špoljarić, D., Stević, F., Cvijanović, V., Hackenberger Kutuzović, B. (2010) The influence of extreme floods from the River Danube in 2006 on phytoplankton communities in a floodplain lake: Shift to a clear state. *Limnologica* 40: 260-268.
- Mihaljević, M., Stević, F. (2011) Cyanobacterial blooms in a temperate river-floodplain ecosystem: the importance of hydrological extremes. *Aquatic ecology* 45: 335-349.
- Mihaljević, M., Žuna Pfeiffer, T. (2012) Colonization of periphyton algae in a temperate floodplain lake under a fluctuating spring hydrological regime. *Fundamental and Applied Limnology* 180: 13-25.
- Mihaljević, M., Žuna Pfeiffer, T., Stević, F., Špoljarić, D. (2013) Dynamics of phytoplankton and periphytic algae in a Danubian floodplain lake: a comparative study under altered hydrological conditions. *Fresenius Environmental Bulletin* 22: 2516-2523.
- Morin O'Neill, J. (1986) Initial colonization of periphyton on natural and artificial apices of *Myriophyllum heterophyllum* Michx. *Freshwater Biology* 16: 685-694.
- Moschini-Carlos, V., Henry, R., Pompeo, M. L. M. (2000) Seasonal variation of biomass and productivity of the periphytic community on artificial substrata in the Jurumirim Reservoir (Sao Paulo, Brazil). *Hydrobiologia* 434: 35-40.
- Palijan, G. (2010) Different impact of flood dynamics on the development of culturable planktonic and biofilm bacteria in floodplain lake. *Polish Journal of Ecology* 58: 439-448.
- Patterson, D. J. (2003) *Free-Living Freshwater Protozoa: A Color Guide*. ASM Press.
- Pevalek-Kozlina, B. (2002) *Fiziologija bilja*. Profil International, Zagreb.
- Pratt, J. R., Cairns, J. Jr. (1985) Functional groups in the protozoa: roles in differing ecosystems. *The Journal of Protozoology* 32: 415-423.
- Pratt, R. P., Lang, B. Z., Kaesler, R. L., Cairns, J. Jr. (1986) Effect of seasonal changes on protozoans inhabiting artificial substrates in a small pond. *Archiv für Protistenkunde* 131: 45-57.
- Rodriguez-Zaragoza, S. (1994) Ecology of free-living amoebae. *Critical Reviews in Microbiology* 20(3): 225-41.

- Siehoff, S., Hammers-Wirtz, M., Strauss, T., Ratte, H. T. (2009) Periphyton as alternative food source for the filter-feeding cladoceran *Daphnia magna*. *Freshwater Biology* 54: 15-23.
- Sigee, D. C. (2005) *Freshwater Microbiology. Biodiversity and Dynamic Interactions of Microorganisms in the Aquatic Environment*. John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex, England.
- Streble, H., Krauter, D. (2002) *Das Leben im Wassertropfen. Mikroflora und Mikrofauna des Süßwassers*. Kosmos-Verlag.
- Strickland, J. D. H., Parsons, T. R. (1968) A practical handbook of sea-water analysis. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 167: 71-76.
- Strüder-Kypke, M. (1999) Periphyton and sphagnicolous protists of dystrophic bog lakes (Bradenburg, Germany). I. Annual cycles, distribution and comparison to other lakes. *Limnologia* 29: 393-406.
- Tockner, K., Pennetzdorfer, D., Reiner, N., Schiemer, F., Ward, J. V. (1999) Hydrobiological connectivity, and the exchange of organic matter and nutrients in a dynamic river-floodplain system (Danube, Austria). *Freshwater Biology* 41: 521-535.
- UNESCO (1966) Determinations of photosynthetic pigments in seawater. Report of SCOR UNESCO. Working Group 17. Monograph of Oceanography Meth, Paris.
- Vermaat, J. E. (2005) Periphyton Dynamics and Influencing Factors. U: Azim, M. E., Verdegem, M. C. J., van Dam, A. A., Beveridge, M. C. M. (ur.) *Periphyton: Ecology, Exploitation and Management*. CAB International, CABI Publishing, Wallingford, Oxfordshire, UK, str. 35-49.
- Vidaković, J., Palijan, G., Čerba, D. (2011) Relationship between nematode community and biomass and composition of periphyton developing on artificial substrates in floodplain lake. *Polish Journal of Ecology* 59: 577-588.
- Vlaičević, B. (2017) *Struktura i razvoj zajednice trepetljikaša u perifitonu jezera poplavnog područja*. Doktorski rad. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Institut Ruđer Bošković Zagreb, Osijek.
- Vlaičević, B., Vidaković, J., Čerba, D. (2017) The colonization and successions patterns of the periphytic ciliate community in a temperate floodplain lake. *Biologia* 72/3: 305-318.

Wetzel, R. G. (2001) Limnology. Lake and River Ecosystems. Third edition. Academic Press, San Diego.

Wetzel, R. G. (2005) Periphyton in the Aquatic Ecosystem and Food Webs. U: Azim, M. E., Verdegem, M. C. J., van Dam, A. A., Beveridge, M. C. M. (ur.). Periphyton: Ecology, Exploitation and Management. CAB International, CABI Publishing, Wallingford, Oxfordshire, UK, str. 51-69.

Xu, M., Cao, H., Xie, P., Deng, D., Feng, W., Xu, J. (2005) The temporal and spatial distribution, composition and abundance of Protozoa in Chaohu Lake, China: Relationship with eutrophication. European Journal of Protistology 41: 183-192.

Web1. Encyclopaedia Britannica, <https://www.britannica.com/science/heliozoan> (18.6.2018.).

Web2. Park prirode Kopački rit, <http://antun.biz/kopackirit/default.asp> (3.5.2018.).

Web3. Google Maps, <https://www.google.com/maps> (4.7.2018.).

## 7. PRILOZI

Prilog 1. Brojnost (jed. cm<sup>-2</sup>) i funkcionalne hranidbene skupine (FHS) protozoa zabilježeni u perifitonu na umjetnim makrofitama nakon tjedan dana (15.11.), dva tjedna (22.11.), tri tjedna (29.11.) i četiri tjedna (6.12.) izloženosti podloga 2017. godine (klasifikacija prema Adl i sur. 2012). Zvezdica (\*) uz kraticu za FHS ukazuje na mogućnost hranjenja pojedine svojte i drugim izvorima hrane (Pratt i Cairns 1985).

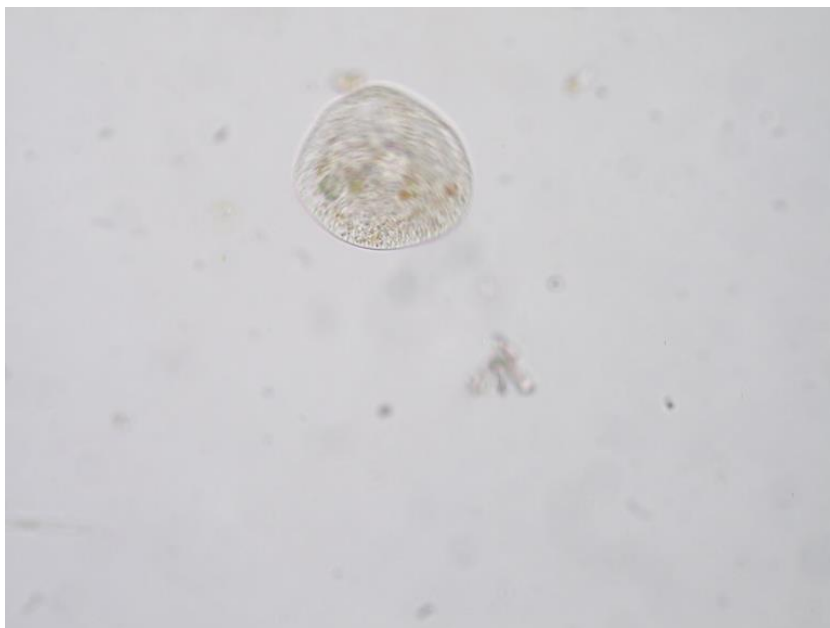
| Supergrupa | Prvi rang     | Drugi rang     | Svojta                            | FHS | 15.11. | 22.11. | 29.11. | 6.12. |
|------------|---------------|----------------|-----------------------------------|-----|--------|--------|--------|-------|
| Amoebozoa  |               |                |                                   |     |        |        |        |       |
|            | Tubulinea     |                |                                   |     |        |        |        |       |
|            |               | Euamoebida     |                                   |     |        |        |        |       |
|            |               |                | <i>Amoeba radiosa</i>             | N*  | 0,00   | 0,00   | 1,67   | 3,33  |
|            |               |                | <i>Cashia</i> sp.                 | B   | 0,00   | 3,33   | 16,67  | 23,33 |
|            |               |                | <i>Hartmannella</i> sp.           | B   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 16,67 |
|            |               | Arcellinida    |                                   |     |        |        |        |       |
|            |               |                | <i>Arcellinida</i> non det.       | B   | 0,00   | 1,67   | 0,00   | 0,00  |
|            |               |                | <i>Cyclopyxis</i> sp.             | B   | 0,00   | 8,33   | 0,00   | 0,00  |
|            | Discosea      |                |                                   |     |        |        |        |       |
|            |               | Flabellinia    |                                   |     |        |        |        |       |
|            |               |                | <i>Vanella</i> sp.                | B   | 0,00   | 3,33   | 3,33   | 13,33 |
|            |               | Himantismenida |                                   |     |        |        |        |       |
|            |               |                | <i>Cochliopodium</i> sp.          | B*  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 13,33 |
|            |               | Longamoebia    |                                   |     |        |        |        |       |
|            |               |                | <i>Mayorella</i> sp.              | B*  | 0,00   | 8,33   | 13,33  | 16,67 |
|            | Archamoebae   |                |                                   |     |        |        |        |       |
|            |               | Pelomyxa       |                                   |     |        |        |        |       |
|            |               |                | <i>Pelomyxa</i> sp.               | B   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 5,00  |
| SAR        |               |                |                                   |     |        |        |        |       |
|            | Stramenopiles |                |                                   |     |        |        |        |       |
|            |               | Actinophryidae |                                   |     |        |        |        |       |
|            |               |                | <i>Actinophrys</i> spp.           | N   | 63,33  | 23,33  | 0,00   | 0,00  |
|            | Alveolata     |                |                                   |     |        |        |        |       |
|            |               | Ciliophora     |                                   |     |        |        |        |       |
|            |               |                | <i>Acineta tuberosa</i>           | R   | 1,67   | 0,00   | 0,00   | 0,00  |
|            |               |                | <i>Amphileptus punctatus</i>      | B   | 0,00   | 0,00   | 3,33   | 1,67  |
|            |               |                | <i>Aspidisca cicada</i>           | B   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 1,67  |
|            |               |                | <i>Aspidisca lynceus</i>          | B   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 3,33  |
|            |               |                | <i>Cinetochilum margaritaceum</i> | B   | 33,33  | 33,33  | 30,00  | 0,00  |
|            |               |                | <i>Coleps</i> spp.                | B*  | 20,00  | 13,33  | 15,00  | 3,33  |
|            |               |                | <i>Ctedoctena acanthocryptum</i>  | B*  | 3,33   | 0,00   | 6,67   | 1,67  |
|            |               |                | <i>Cyclidium</i> sp.              | B   | 6,67   | 6,67   | 25,00  | 35,00 |
|            |               |                | <i>Cyrtolophosis mucicola</i>     | B   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 1,67  |
|            |               |                | <i>Discophrya elongata</i>        | R   | 0,00   | 1,67   | 0,00   | 0,00  |
|            |               |                | <i>Holophrya</i> sp.              | B   | 0,00   | 0,00   | 1,67   | 0,00  |
|            |               |                | <i>Holosticha pullaster</i>       | B   | 16,67  | 51,67  | 35,00  | 1,67  |
|            |               |                | <i>Hypotrichia</i> non det.       | B   | 0,00   | 0,00   | 1,67   | 0,00  |
|            |               |                | <i>Litonotus cygnus</i>           | B   | 0,00   | 0,00   | 1,67   | 0,00  |
|            |               |                | <i>Litonotus</i> sp.              | B   | 0,00   | 0,00   | 6,67   | 8,33  |

Prilog 1. nastavak

|                                 |              |                  |                                         |    |        |        |        |        |
|---------------------------------|--------------|------------------|-----------------------------------------|----|--------|--------|--------|--------|
|                                 |              |                  | <i>Loxophyllum helus</i>                | B  | 0,00   | 0,00   | 1,67   | 0,00   |
|                                 |              |                  | <i>Nassula picta</i>                    | A  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 3,33   |
|                                 |              |                  | <i>Odontochlamys alpestris</i>          | B  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 1,67   |
|                                 |              |                  | <i>Oligotrichia</i> non det.            | N  | 0,00   | 3,33   | 0,00   | 0,00   |
|                                 |              |                  | <i>Pseudochilodonopsis piscatoris</i>   | A  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 6,67   |
|                                 |              |                  | <i>Pseudocohnilembus pusillus</i>       | B  | 30,00  | 23,33  | 25,00  | 10,00  |
|                                 |              |                  | <i>Pseudovorticella monilata</i>        | B  | 0,00   | 0,00   | 1,67   | 0,00   |
|                                 |              |                  | <i>Stentor igneus</i>                   | N* | 0,00   | 0,00   | 1,67   | 0,00   |
|                                 |              |                  | <i>Stentor roeselii</i>                 | N* | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 5,00   |
|                                 |              |                  | <i>Stokesia vernalis</i>                | A  | 1,67   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
|                                 |              |                  | <i>Strombidinopsis gyrans</i>           | N  | 0,00   | 0,00   | 1,67   | 0,00   |
|                                 |              |                  | <i>Stylonychia</i> sp.                  | B* | 0,00   | 3,33   | 0,00   | 0,00   |
|                                 |              |                  | <i>Suctorina</i> non det.               | R  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 1,67   |
|                                 |              |                  | <i>Tachysoma pelliellum</i>             | B  | 0,00   | 0,00   | 1,67   | 0,00   |
|                                 |              |                  | <i>Thigmogaster oppositevacuolatus</i>  | B  | 0,00   | 0,00   | 1,67   | 1,67   |
|                                 |              |                  | <i>Trochilia minuta</i>                 | B  | 0,00   | 1,67   | 3,33   | 13,33  |
|                                 |              |                  | <i>Urotricha furcata</i>                | B  | 0,00   | 0,00   | 8,33   | 16,67  |
|                                 |              |                  | <i>Urotricha venatrix</i>               | B  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 1,67   |
|                                 |              |                  | <i>Vorticella campanula</i>             | B  | 0,00   | 0,00   | 3,33   | 10,00  |
|                                 |              |                  | <i>Vorticella convallaria</i> -kompleks | B  | 1,67   | 0,00   | 0,00   | 3,33   |
|                                 |              |                  | <i>Vorticella infusionum</i> -kompleks  | B  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 1,67   |
|                                 |              |                  | <i>Vorticella</i> sp.                   | B  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 1,67   |
| <b>Incertae sedis EUKARYOTA</b> |              |                  |                                         |    |        |        |        |        |
|                                 | Centrohelida |                  |                                         |    |        |        |        |        |
|                                 |              |                  | <i>Centrohelida</i> non det.            | N  | 3,33   | 1,67   | 0,00   | 3,33   |
|                                 |              | Acanthocystidae  |                                         |    |        |        |        |        |
|                                 |              |                  | <i>Acanthocystis</i> spp.               | N  | 0,00   | 16,67  | 16,67  | 45,00  |
|                                 |              |                  | <i>Raphidocystis</i> sp.                | N  | 8,33   | 13,33  | 5,00   | 0,00   |
|                                 |              | Raphidiophryidae |                                         |    |        |        |        |        |
|                                 |              |                  | <i>Raphidiophrys</i> sp.                | N  | 0,00   | 0,00   | 6,67   | 0,00   |
| <b>UKUPNA BROJNOST</b>          |              |                  |                                         |    | 190,00 | 218,33 | 240,00 | 276,67 |



A)



B)



C)



D)



E)



F)

Prilog 2. Fotografije pojedinih predstavnika protozoa: A) *Actinophrys* spp. (sunašce), B) *Stokesia vernalis* (trepetljikaš), C) *Holosticha pullaster* (trepetljikaš), D) *Pseudocohnilembus pusillus* (trepetljikaš), E) *Coleps* spp. (trepetljikaš), F) *Mayorella* spp. (gola ameba) (fotografirao: Nikola Pavlović).