

# Utjecaj eksperimentalne eutrofikacije na makrozoobentos u sedrotvornom sustavu Plitvičkih jezera

---

Vurnek, Maja

Doctoral thesis / Disertacija

2018

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:419244>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-20**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
BIOLOŠKI ODSJEK

Maja Vurnek

**UTJECAJ EKSPERIMENTALNE  
EUTROFIKACIJE NA MAKROZOOBENTOS  
U SEDROTVORNOM SUSTAVU PLITVIČKIH  
JEZERA**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2018.



University of Zagreb

FACULTY OF SCIENCE  
DEPARTMENT OF BIOLOGY

Maja Vurnek

**INFLUENCE OF EXPERIMENTAL  
EUTROPHICATION ON  
MACROZOOBENTHOS IN TUFA  
DEPOSITING SYSTEM OF PLITVICE  
LAKES**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2018

*„Ovaj je doktorski rad izrađen u Javnoj ustanovi Nacionalni park Plitvička jezera, pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Renate Matoničkin Kepčija, u sklopu Sveučilišnog poslijediplomskog doktorskog studija Biologije pri Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.“*

## Zahvala

*Najiskrenije hvala mojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Renati Matoničkin Kepčija bez koje ova disertacija ni ne bi bila uobličena u smislenu cjelinu. Njeni savjeti i usmjeravanje bili su od neprocijenjive važnosti za napredak disertacije. Nadam se da sam kroz njen proces mentorstva ujedno stekla i doživotnu kolegicu kojoj ću se još sigurno puno puta obratiti za savjete i pomoć jer je iznimna znanstvenica čije mišljene vrlo cijenim.*

*Veliko hvala kolegama iz Nacionalnog parka Plitvička jezera, gdje posebno ističem kolegu Petra Hodaka bez čije nesebične pomoći i ideja bi bilo iznimno teško postaviti eksperiment u sustav. Rado ću se sjećati njegovog entuzijazma i zaljubljenosti u Plitvička jezera kojega rijetki imaju.*

*Posebna i velika zahvala ide naravno bližoj obitelji koji su bili tu za sve one sate kada sam izostajala fizički i psihički zbog ovog vrlo zahtjevnog procesa doktoriranja. Hvala na potpori u svakom obliku.*

*I na kraju hvala djedu, Karlu Posavcu, bez čije ideje i možda ponekad „nenamjerne“ sugestije da dođem na Plitvička Jezera i počnem raditi u Nacionalnom parku, ovih nizova stranica niti ne bi bilo. Ovaj životni zaokret koji sam poduzela na njegov prijedlog dolaskom na Plitvička Jezera, zasigurno je promijenio tijek mog životnog puta i odveo me upravo tamo gdje sam i trebala biti.*

*Sinu Martinu...*

## **UTJECAJ EKSPERIMENTALNE EUTROFIKACIJE NA MAKROZOOBENTOS U SEDROTVORNOM SUSTAVU PLITVIČKIH JEZERA**

MAJA VURNEK

Javna ustanova Nacionalni park Plitvička jezera

Plitvička jezera predstavljaju jedinstveni slatkovodni kaskadni sustav jezera odijeljenih sedrenim barijerama. U ovom radu istražen je utjecaj modificiranih podloga koje otpuštaju hranjive soli dušika (N) i fosfora (P) na makrozoobentos, klorofil *a* i količinu sedre. Replikatne podloge postavljene su u Nacionalnom parku Plitvička jezera na izlaznim sedrenim barijerama Gradinskog jezera (GJ) i Novakovića brod (NB) u svakom godišnjem dobu tijekom 2015. godine. Vrijednosti fizikalno-kemijskih i hidroloških pokazatelja lotičkih biotopa razlikuju se između barijera uz značajne razlike po godišnjim dobima. Intenzivnije osedranje zabilježeno je na barijeri NB u odnosu na GJ. Fosfor se izdvojio kao limitirajući čimbenik za primarnu proizvodnju. Povišene koncentracije klorofila *a* zabilježene su na barijeri GJ i na mikrolokacijama bez makrovegetacije, a istu dinamiku pratila je i povišena brojnost i broj svojti makrozoobentosa te povišena brojnost hranidbenih skupina strugača i detritivora-sakupljača. Brojnost makrozoobentosa povišena je na podlogama s dodanim hranjivim solima fosfora.

(stranica/129, slika/66, tablica/4, literaturnih navoda/184, priloga/4, jezik izvornika hrvatski)

**Ključne riječi: sedrene barijere, modificirane podloge, hranjive soli, osedranje, primarna proizvodnja, funkcionalne hranidbene skupine**

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Renata Matoničkin Kepčija

Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Marija Gligora Udovič

Izv. prof. dr. sc. Ines Radanović

Dr. sc. Jadranka Barešić

University of Zagreb

Doctoral thesis

Faculty of Science

Department of Biology

**INFLUENCE OF EXPERIMENTAL EUTROPHICATION ON  
MACROZOOBENTHOS IN TUFA DEPOSITING SYSTEM OF PLITVICE LAKES**

MAJA VURNEK

Public Institution Plitvice Lakes National Park

Plitvice lakes represent the unique freshwater cascading system of lakes divided by tufa barriers. This thesis investigates the influence of nutrient diffusing substrates that release nitrogen (N) and phosphorus (P) on macrozoobenthos, chlorophyll *a* and tufa deposition. Replicate substrates were placed in the Plitvice Lakes National Park on the tufa barriers of Gradinsko jezero lake outlet (GJ) and Novakovića brod lake outlet (NB) in every season during 2015. The values of the physico-chemical and hydrological indicators on lotic biotopes were different between barriers with significant differences between seasons. Higher tufa deposition was recorded on the NB barrier compared to GJ barrier. Phosphorus was the limiting factor for primary production. Higher concentrations of chlorophyll *a* were recorded on the GJ barrier and at microlocations without macrovegetation, followed by the same dynamic in higher abundance and number of macrozoobenthic taxa and feeding groups of scrapers and detritivores-collectors. The abundance of macrozoobenthos was higher on the substrates with added phosphorus.

(pages/129, figures/66, tables/4, references/184, supplements/4, original in Croatian)

**Keywords: tufa barriers, modified substrates, nutrients, tufa deposition, primary production, functional feeding groups**

Supervisor: Assoc. prof. Renata Matoničkin Kepčija

Reviewers: Assist. prof. Marija Gligora Udovič

Assoc. prof. Ines Radanović

Jadranka Barešić, PhD

## Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. LITERATURNI PREGLED</b> .....	5
<b>2.1. Jezerski slatkovodni ekosustavi</b> .....	5
<b>2.2. Sedra i sedrene barijere</b> .....	7
<b>2.3. Živi svijet jezera</b> .....	11
<b>2.4. Hranjive soli</b> .....	16
<b>2.4.1. Fosfor i dušik</b> .....	16
<b>2.4.1.1. Kruženje dušika</b> .....	16
<b>2.4.1.2. Kruženje fosfora</b> .....	18
<b>2.4.2. Izvori hranjivih soli u jezerima</b> .....	20
<b>2.5. Stupanj trofije</b> .....	21
<b>2.6. Eutrofikacija</b> .....	23
<b>2.6.1. Promjena trofije i utjecaj na biocenoze</b> .....	25
<b>2.7. Modificirane podloge</b> .....	27
<b>2.8. Pregled istraženosti Plitvičkih jezera</b> .....	28
<b>3. MATERIJAL I METODE</b> .....	35
<b>3.1. Opis istraživanja</b> .....	35
<b>3.2. Dizajn eksperimenta</b> .....	38
<b>3.3. Test difuzije</b> .....	40
<b>3.4. Kemijske analize</b> .....	41
<b>3.5. Biološke analize</b> .....	43
<b>3.6. Statističke metode</b> .....	44
<b>4. REZULTATI</b> .....	46
<b>4.1. Brzina strujanja na mikrostaništima</b> .....	46
<b>4.2. Fizikalno-kemijski pokazatelji</b> .....	48
<b>4.3. <i>In vitro</i> difuzija hranjivih soli</b> .....	62



<b>4.4. Osedranje na umjetnim podlogama.....</b>	<b>64</b>
<b>4.5. Učinak hranjivih soli na klorofil <i>a</i> .....</b>	<b>66</b>
<b>4.6. Makrozoobentos i učinak hranjivih soli .....</b>	<b>71</b>
<b>5. RASPRAVA.....</b>	<b>91</b>
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>106</b>
<b>7. POPIS LITERATURE.....</b>	<b>109</b>
<b>8. PRILOZI .....</b>	<b>IX</b>
<b>9. ŽIVOTOPIS.....</b>	<b>XX</b>

## 1. UVOD

Voda pokriva 7/10 Zemljine površine i zauzima ukupni volumen od  $1,38 \times 10^9 \text{ km}^3$ . Većina vode pojavljuje se između kontinenata kao oceani (96,1% ukupne vode) te kao voda u atmosferi. Ostatak od 3,9% vode koja se nalazi u kontinentalnim granicama (uključujući i polarne kape) pojavljuje se uglavnom kao polarni led i podzemna voda. Ne-polarne površine slatke vode uključujući vodu u tlu, jezera, rijeke i vodotoke zauzimaju oko 0,0013% od ukupne vode ili 0,37% vode koja se pojavljuje u granicama kontinenata. Također, volumen slanih jezerskih voda gotovo je izjednačen sa slatkim vodama. Unutar voda na kopnu postoji razlika u onima s niskim ionskim sadržajem (slatke vode) i s visokim ionskim sadržajem (slane vode).

Slatkovodni sustav ujedno pokazuje razliku između stajaćih voda (lentičkih sustava kao jezera, močvara, bara) i tekućih voda (lotičkih sustava poput rijeka, ušća, kanala). No, razlike između lotičkih i lentičkih sustava nisu uvijek isključive jer gotovo svako vodno tijelo ima neki element protoka (Sigeo, 2005).

Jezera su sastavni dio globalnog hidrološkog sustava. Iz razloga što su u interakciji s vodom iz atmosfere, površinskom vodom i podzemnom vodom, hidrologija jezera je pod utjecajem fiziografskih, ali i klimatskih karakteristika. Iako su jezera povezana sa svim dijelovima hidrološkog sustava, volumen vode kojega sadrže je malen. Slana jezera sadrže  $82,5 \times 10^3 \text{ km}^3$ , a slatkovodna jezera  $95,14 \times 10^3 \text{ km}^3$  vode (Winter, 2004).

Kao predstavnik jedinstvenog kopnenog slatkovodnog jezerskog sustava u Republici Hrvatskoj nalaze se i Plitvička jezera. Nacionalni park Plitvička jezera proglašen je zaštićenim područjem 1949. godine te je najstariji i površinom najveći nacionalni park u Republici Hrvatskoj. Zbog svojih izvornih prirodnih vrijednosti uvršten je na Listu svjetske baštine UNESCO-a 1979. godine. Iako preko 80% površine nacionalnog parka obuhvaćaju šume bukve i jele, vodni ekosustav odnosno jezera, zastupljen na samo 1% površine, je najzanimljiviji i najposjećeniji dio Plitvičkih jezera. Vodni ekosustav ovog nacionalnog parka obuhvaća veliki broj aktivnih i manje aktivnih izvora, razne pritoke i 16 većih imenovanih i nekoliko manjih jezera nakon kojih nastaje rijeka Korana. Proširenjem granica nacionalnog parka za dodatnih 10 000 ha (NN 13/97) obuhvatilo se šire slivno područje što je doprinijelo aktivnoj i detaljnoj zaštiti cjelokupnog vodnog ekosustava.

Vodni ekosustav je bogat biljnim i životinjskim vrstama koje doprinose biološkoj raznolikosti nacionalnog parka i čiji je životni ciklus vezan za vodu. U vodnom ekosustavu odvijaju se također i razni biološki i fizikalno-kemijski procesi, a među najznačajnijima je proces biogenog stvaranja sedre, odnosno proces osedavanja. Na mjestima gdje se odvija proces stvaranja sedre, prisutne su sedrene barijere koje predstavljaju izniman prirodni fenomen, i čije je očuvanje od neprocjenjive važnosti za nacionalni park. Plitvička jezera su vodno tijelo protočnog, kaskadnog odnosno baražnog sustava, a općenito su kao i svaki vodni ekosustav podložni utjecaju eutrofikacije odnosno procesu obogaćivanja vodnog tijela povećanim koncentracijama limitirajućih hranjivih soli. Iako je istraživanje procesa eutrofikacije na Plitvičkim jezerima započelo tijekom 80-ih godina prošlog stoljeća, ono i dalje, s obzirom na visoku prirodnu vrijednost Plitvičkih jezera, ostaje prioritet u praćenju svih promjena u ovom vodnom ekosustavu.

Promatrajući proces eutrofikacije općenito, ono je kao prirodan proces karakterističan za sve vodne sustave i odvija se tisućama godina. Ipak, visoke stope dotoka hranjivih soli uzrokovane antropogenom aktivnosti (kulturna eutrofikacija) značajno doprinose razvoju eutrofikacije u kratkom razdoblju. Upravo su elementi dušik i fosfor u hranjivim solima iz različitih izvora, glavni uzročnici eutrofikacije i degradacije vodnog ekološkog sustava. Povećani dotok fosfora u vodni sustav dolazi iz poljoprivrednih područja smještenih u slivnom području, zatim iz sustava odvodnje otpadnih tvari, industrijskih ispusta i deterdženata. Utjecaj eutrofikacije zamijećen je na cjelokupni vodni ekosustav i njegovu bioraznolikost (Ansari i sur., 2011). Prirast biomase algi i cjelokupna proizvodnja ekosustava može se kontrolirati tipom i intenzitetom limitirajućih hranjivih soli, a upravo razumijevanje veza između koncentracije hranjivih soli i biomase algi važno je za upravljanje procesom eutrofikacije u vodotocima (Dodds i sur., 2002). Pojava eutrofikacije također smanjuje broj rijetkih vrsta i povećava brojnost mezo i hipereutrofnih vrsta (Ansari i sur., 2011). Odgovor algi na povećanje hranjivih soli odvija se brzo i oportunistički dok primjerice makrofite ne odgovaraju tako brzo. Odgovor zooplanktona slijedi promjene primarne proizvodnje algi (Scholten i sur., 2005). Uslijed eutrofikacije, smanjenje biološke raznolikosti može se pojaviti i kod bentičkih hidrobionta. Tada će dominirati hranidbeni lanac razlagača i aktivirat će se saprofitna mikroflora, dok će se trofički odnosi promijeniti, primjerice udio predatora može se smanjiti, a udio sakupljača – detritivora može porasti. Također, omjer usitnjivača i filtratora će porasti (Tokinova i sur., 2012). Često se između susjednih trofičkih razina mogu pratiti

odgovori na eutrofikaciju, ali ti odgovori slabe u idućim karikama hranidbenog lanca (Gray i sur., 2006).

Modificirane podloge koje otpuštaju hranjive soli (eng. *Nutrient diffusing substrates* – NDS) omogućuju jednostavan i prihvatljiv način istraživanja prostornog i vremenskog obrasca limitirajućeg učinka hranjivih soli na proizvodnju perifitona i biomasu u vodnom sustavu (Tank i sur., 2006). Također, empirijski regresijski modeli uspješno su korišteni u upravljanju eutrofikacijom slatkovodnih jezera. Obogaćivanje hranjivim solima stimulira rast perifitona, a odgovor primarnih proizvođača na povećane koncentracije hranjivih soli slabiji je u rijekama nego u jezerima (Dodds i sur., 2002).

Ovim istraživanjem nastojalo se putem postavljanja modificiranih podloga koje otpuštaju hranjive soli dušika (N) i fosfora (P) na sedrene barijere Gornjih i Donjih jezera u Nacionalnom parku Plitvička jezera, pratiti sezonski utjecaj eksperimentalne eutrofikacije na sastav i biomasu makrozoobentosa, razvoj autotrofne komponente perifitona kroz klorofil *a* te taloženje kalcita na modificiranim podlogama. Obraštenost sedrenih barijera makrovegetacijom načelno je odredilo postavljanje istraživanja na dijelove sedrene barijere s makrovegetacijom i na dijelove bez makrovegetacije, a s ciljem promatranja mogućih promjena i utjecaja eksperimentalne eutrofikacije na dvije različite mikrolokacije.

Postavljeni ciljevi ovog istraživanja su:

- a) Određivanje *in situ* utjecaja povišenih koncentracija hranjivih soli dušika (N) i fosfora (P) na više trofičke razine sustava
- b) Analiziranje utjecaja eutrofikacije na razvoj makrozoobentosa u ovisnosti o mikrolokaciji (sedrena barijera s ili bez makrovegetacije) i longitudinalnom položaju sedrenih barijera s obzirom na sustav Gornjih i Donjih jezera
- c) Određivanje utjecaja eutrofikacije na primarnu proizvodnju, odnosno autotrofnu komponentu perifitona
- d) Određivanje direktnog i indirektnog utjecaja eutrofikacije na osedranje kroz praćenje taloženja kalcita u mikrostaništu
- e) Modeliranje prijenosa učinaka eutrofikacije kroz hranidbenu mrežu
- f) Utvrđivanje sezonskih promjena fizikalno-kemijskih i hidroloških pokazatelja u sedrotvornom sustavu s obzirom na različite mikrolokacije i položaj sedrenih barijera u sustavu (Gornja i Donja jezera).

U istraživanju se koristila metoda postavljanja obogaćenih podloga s dušikom i fosforom u prirodni jezerski sustav na sedrene barijere koristeći krute podloge agara s dodatkom spojeva N i P u posudicama koje su zatvorene s propusnom plastičnom mrežicom. Metodologija koja se u sličnim istraživanjima koristi, uglavnom je prilagođena za praćenje utjecaja modificiranih podloga koje otpuštaju hranjive soli na autotrofni perifiton, no za potrebe ovoga istraživanja, pronađen je najpogodniji način za praćenje učinka ovakvih podloga na komponentu makrozoobentosa kao ciljne skupine istraživanja. Ta metodologija do sada nikad nije korištena na Plitvičkim jezerima kao ni u Hrvatskoj, što je čini jedinstvenom i u znanstvenom smislu.

Hipoteze koje proizlaze iz postavljenih ciljeva su:

- a) Povišene koncentracije N i P prisutne *in situ* povećat će brojnost i biomasu makrofaune
- b) Sastav zajednica makrozoobentosa razlikovat će se na dijelu sedrene barijere s makrovegetacijom i bez makrovegetacije
- c) Povišene koncentracije N i P dovest će do jačeg razvoja autotrofne komponente perifitona
- d) Taloženje kalcita u mikrostaništu s makrovegetacijom je niže u odnosu na mikrostanište bez makrovegetacije
- e) Učinak eksperimentalne eutrofikacije kroz hranidbenu mrežu može se prikazati modelom
- f) Fizikalno-kemijski i hidrološki pokazatelji razlikuju se između dvije mikrolokacije i s obzirom na longitudinalni položaj (Gornja i Donja jezera)

Istraživanja i praćenja mnogobrojnih fizikalno-kemijskih i bioloških čimbenika *in situ* najbolji su način za razumijevanje prirodnih procesa koji se odvijaju u vodnom ekosustavu. Zbog iznimne prirodne vrijednosti Plitvičkih jezera, a pogotovo vrijednosti jezerskog sustava sa sedrenim barijerama, valja naglasiti kako je istraživanje osmišljeno na ovaj način imalo mali učinak gotovo točkastog karaktera s obzirom na cjelokupni lotički biotop sedrenih barijera. Postavljanje istraživanja u prirodni, a ne umjetno stvoreni sustav, doprinijelo je većoj relevantnosti dobivenih rezultata, no s minimalnim utjecajem na prirodu. Istraživanje daje doprinos neiscrpoj temi eutrofikacije u prirodnim vodnim ekosustavima, dok će stečene spoznaje svakako doprinijeti kvalitetnom upravljanju i zaštiti prirodnih vrijednosti Nacionalnog parka Plitvička jezera.

## 2. LITERATURNI PREGLED

### 2.1. Jezerski slatkovodni ekosustavi

Ukupni volumen vode smještene u prirodnim i umjetnim jezerima iznosi oko 229.000 km<sup>3</sup>. Veliki dio ovoga volumena pripada slanim jezerima. Ukupna globalna površina jezera procjenjuje se na oko 3 milijuna km<sup>2</sup>. Prema svome porijeklu jezera mogu biti podijeljena na tektonska, vulkanska, jezera nastala iz klizišta, jezera formirana glacijalnim, snježnim aktivnostima te permafrostom i ledom, jezera formirana aktivnošću u kršu i procesima otapanja, fluvijalna jezera, jezera u poplavnim nizinama i područjima delti. Jezera nastala aktivnošću u kršu karakteristična su za vapnenačka područja i karakterizirana su kao krška jezera (Löffler, 2004). Takva jezera sadrže visoke koncentracije karbonata, imaju visoki alkalinitet te obično sadrže makrofitske zajednice kojima dominiraju Characeae i Potamogetonaceae, a karakterizira ih plavo-zelena boja te visoka prozirnost. Uz ove karakteristične pokazatelje, ujedno takva jezera imaju niske koncentracije fosfora (Wiik i sur., 2014; 2015).

Jezera se s obzirom na miješanje vode mogu podijeliti na meromiktična (pojedini dijelovi vodnog stupca ostaju djelomično ili potpuno nepromiješani i pojavljuje se vertikalni kemijski gradijent gustoće nazvan kemoklina) i holomiktična (većina drugih jezera u određenom trenutku u godini imaju istu vrijednost temperature i gustoću vode od površine prema dnu što omogućuje kompletno miješanje vodnog stupca). Meromiktična jezera imaju ponekad periodični mirujući sloj koji se naziva monimolimnion, a odvojen je od gornjeg dijela miksolimniona, u kojem je prisutna cirkulacija. Holomiktična jezera u umjerenim područjima dovoljno su duboka da se razvije ljetna stratifikacija koja je samo dio kompleksnog godišnjeg termalnog ciklusa. U ovakvim jezerima, kasnoproletni i ljetni počeci zagrijavanja površine jezera iznad 4°C stvaraju epilimnion, sloj u kojem voda relativno slobodno kruži. Duboki, hladni, mirni sloj, gdje je temperatura oko 4°C ili malo iznad, zove se hipolimnion. Sloj u kojem dolazi do brzih promjena u temperaturi zove se metalimnion, a u njemu se javlja termoklina izražena kroz nagli pad i promjenu temperature. Tijekom jeseni, epilimnion se hladi i temperatura se od površine do dna izjednačava te dolazi do jesenskog miješanja vode. Ako se površinski sloj nastavi hladiti ispod 4°C, nastupa obrnuta ili zimska stratifikacija. Otapanjem leda nastupa proljetno miješanje i stupac vode je jednake gustoće. Jezera koja se dva puta godišnje miješaju nazivaju se dimiktična jezera (Löffler, 2004). Terminologiju za klasifikaciju jezera s obzirom na njihove termalne karakteristike (oligomiktična, polimiktična,

topla monomiktična i hladna monomiktična) uvode autori Hutchinson i Löffler (1956). Reviziju klasifikacije jezera temeljenu na miješanju uvodi autor Lewis (1983) za meromiktične i holomiktične jezerske tipove, ne mijenjajući terminologiju već uz objašnjenje da svako jezero može biti klasificirano kao meromiktično ili holomiktično te klasificirano prema tipologiji baziranoj na sezonskim karakteristikama. Prema ovoj klasifikaciji autor smatra kako se ne zanemaruje sezonska dinamika jezera. Također, autor isključuje oligomiktična jezera, ali navodi plitka jezera koja dalje kategorizira kao hladna (razvija se sezonski ledeni „pokrivač“) i topla (ne razvija se takav „pokrivač“).

Jezera su u interakciji s raznim komponentama hidrološkog sustava: vodom iz atmosfere koja putem oborina dolazi direktno na jezersku površinu, površinskom vodom iz vodotoka ili otjecanjem s okolnog područja i podzemnom vodom. Ove tri komponente ujedno su i važne za gubitak vode iz jezera u atmosferu putem evaporacije, otjecanjem vode iz jezera nekim vodotokom i podzemnim vodama kroz razne prolaze. Ukupni tokovi vode u i iz jezera s obzirom na sve navedene komponente, čine glavni proračun količine jezerske vode te je za razjašnjenje svih komponenti potrebno razumjeti cjelokupni hidrološki sustav (Winter, 1995).

Ponekad jezera mogu nastati pregrađivanjem riječnog toka nekom vrstom barijera. Takve, nekada riječne doline, sadrže brojna protočna jezera, u obliku kaskadnog odnosno baražnog sustava poput jezera u Španjolskoj (The Ruidera Lakes Natural Park) ili u Velikoj Britaniji (North Derbyshire) (Pedley i sur., 1996). Baražni sustav obično nastaje pregrađivanjem vodnih tokova brojnim barijerama koje su usmjerene nizvodno, a vapnenački talog taloži se u uzvodnim dijelovima, te su barijere uske i mogu biti lokacije pogodne za kolonizaciju makrofita (Ford i Pedley, 1996). Primjer takvog sustava upravo su Plitvička jezera za koja se smatra da su nastala prije 12.000-15.000 godina pregrađivanjem korita riječne doline Korane sedrenim barijerama (Roglić, 2000).

## 2.2. Sedra i sedrene barijere

Definicije sedre mnogobrojne su i uglavnom se referiraju na temperaturu kao važan čimbenik ili na sam proces nastanka. Prema autoru Pentecost (2005) temperatura nije poželjan čimbenik za objašnjenje pojma i važno je uključiti više čimbenika primjerice način taloženja – anorganski/organski, hidrološko stanje, način zasićenja, porozitet itd. Isti autor tako definira sedru kao:

„Kemijski istaložen kontinentalni vapnenac nastao oko malih pukotina, izvora, duž rijeka i potoka, povremeno u jezerima i sastoji se od kalcita ili aragonita, niske do umjerene među kristalne poroznosti i s često visokom poroznošću unutar vadoznog ili plitkog freatičkog okoliša. Talozenje se odvija primarno kroz prijenos ugljikovog dioksida iz ili u podzemni izvor što dovodi do prezasićenja kalcijevim karbonatom s nukleacijom/rastom kristala ispod potopljene površine.“

Ovom definicijom stavljen je naglasak na anorganski proces, ali nije uključen biološki proces. Bakterije, alge, mahovine i trska često su inkrustirani u sedru (Pentecost, 2005). Autori Ford i Pedley (1996) pojam sedra (eng. *Tufa*) definiraju kao:

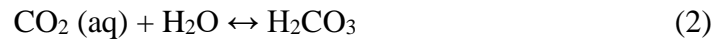
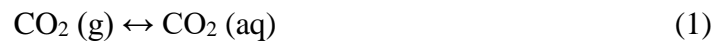
„Slatkovodne kalcitne naslage, uglavnom nastale u kasnom Kvartaru. Sedra je produkt istaloženog kalcijevog karbonata pri temperaturnim uvjetima bliskim temperaturi okoliša i često sadrži ostatke mikro i makrofita, beskralješnjaka i bakterija.“

U engleskom govornom području koristi se pojam *tufa*, dok riječ *travertine* izvorno potječe od *lapis Travertinus*, pojma kojim su se opisivale vulkanske naslage na izvorima u Tivoliju (Italija) (Pentecost, 2005). Korištenje engleskih riječi *tufa* ili *travertine* je na raspolaganju svakom autoru kako bi samostalno odlučio koji izraz će koristiti. Prema autorima Ford i Pedley (1996) pojam *tufa* koristi se za opis svih slatkovodnih kalcitnih karbonata, s niskim udjelom magnezija i nastalih u hladnijim ili temperaturnim uvjetima bliskim temperaturi okoliša, dok se pojam *travertine* koristi za opis slatkovodnih termalnih i hidrotermalnih naslaga kalcijevog karbonata uz fizikalno-kemijske i mikrobne precipitate, ali bez makrofitskih ili životinjskih ostataka.

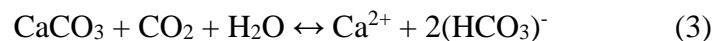
Znanstvenici su se u istraživanjima procesa taloženja kalcijevog karbonata u obliku sedre usredotočili na jednu od četiri značajke: precipitacijski proces, geokemiju ugljikovog dioksida, građu sedre i morfologiju (Pentecost, 2005). Da bi uopće došlo do taloženja kalcijevog karbonata odnosno sedre, važan je niz procesa i reakcija koje mu prethode.



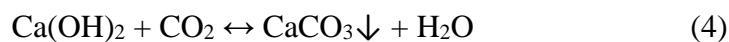
Atmosferski ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>) otapa se u vodi. Topljivost CO<sub>2</sub> u vodi omogućuje nastanak karbonatne kiseline (Ford i Williams, 2007).



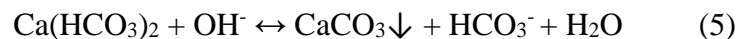
Karbonatna kiselina koja nastaje ovom reakcijom otapa karbonatne stijene pri čemu nastaje otopina kalcijevih i bikarbonatnih iona. Ovakva podzemna voda može u svom sastavu imati više od 2 mmol L<sup>-1</sup> kalcija.



Prema Pentecost (2005), neki oblici sedre nastaju na dva načina: reakcijom ugljikovog dioksida s hiper-alkalnom podzemnom vodom koja sadrži kalcijev hidroksid,



te prilikom reakcije podzemnih voda obogaćenih kalcijem u kontaktu s alkalnom površinskom vodom. U tom slučaju hidroksilni ioni reagiraju s bikarbonatom i nastaje karbonat koji se taloži. Ovaj oblik taloženja najčešće se događa u slanim jezerima u kojima je povišena koncentracija hidroksida kao rezultat geokemijskih procesa.



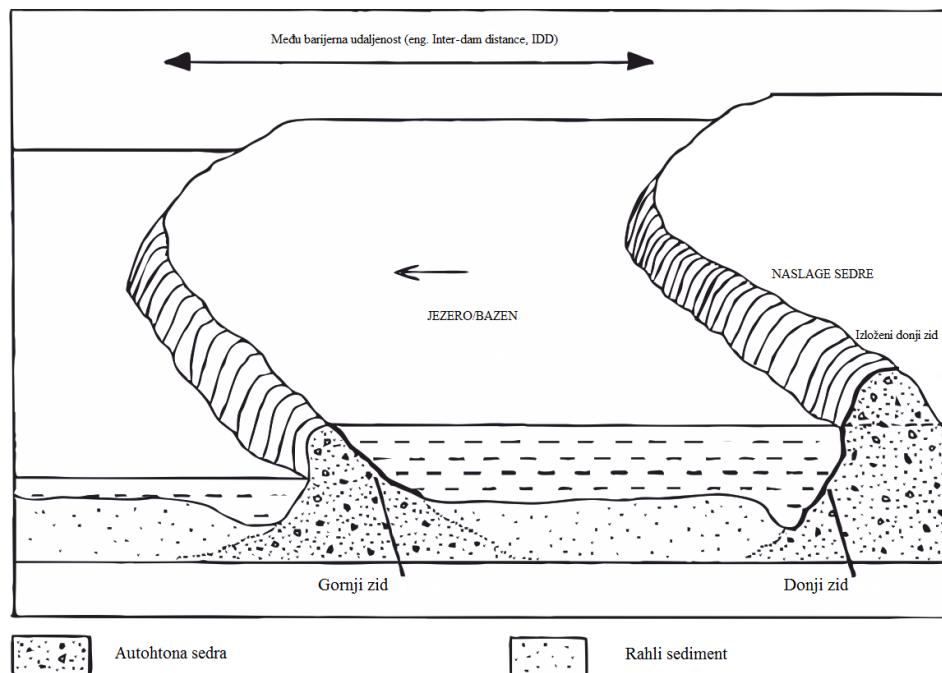
Konačno, taloženje kalcijevog karbonata u prirodnim vodama odvija se po slijedećoj reakciji:



Taloženje kalcijevog karbonata ima važan utjecaj na hidrokemijske promjene riječnih sustava te na globalni ciklus ugljika upravo zato što se velike količine CO<sub>2</sub> oslobađaju iz vode u atmosferu. Proces taloženja kalcita odvija se u vodama koje su 5-10 puta prezasićene s obzirom na kalcit (Chen i sur., 2004).

Među pojedine forme autohtonih naslaga sedre poput nakupina na izvorima, grebena, kaskada, jezerskog sedimenta i drugih, ubrajaju se i barijere. Barijere se razlikuju od kaskada po svojem lokaliziranom vertikalnom srastanju što dovodi do zatvaranja vode u bazene i jezera (slika 1). Upravo se pojam „baražno“ često koristi za ove forme. Barijere se pojavljuju u serijama duž vodotoka, ponekad u pravilnom i predvidivom obrascu. Udaljenost između sukcesivnih barijera (među-barijerna udaljenost, eng. *Inter-dam distance* – IDD) može imati

raspon od centimetra do preko kilometra i ovisi o gradijentu riječnog korita i protoku. Svaka barijera obično je odvojena bazenom ili jezerom čije dubine variraju. Barijera je u većoj mjeri sastavljena od sedre koja nastaje *in situ*. Sedrene barijere su podijeljene na mini barijere za koje je IDD od 1 cm do 1 m i makro barijere s IDD od 1 do 100 m. Upravo su makro barijere karakteristične za epigeansku sedru i ponekad se mogu naći i u špiljama. Mnoge ovakve strukture nastaju oko lokalnih zapreka poput ostataka odrona, drvenih dijelova i slično. Veće riječne barijere ponekad stvaraju spektakularna jezera, među najpoznatijima u Europi su upravo Plitvička jezera (Pentecost, 2005).

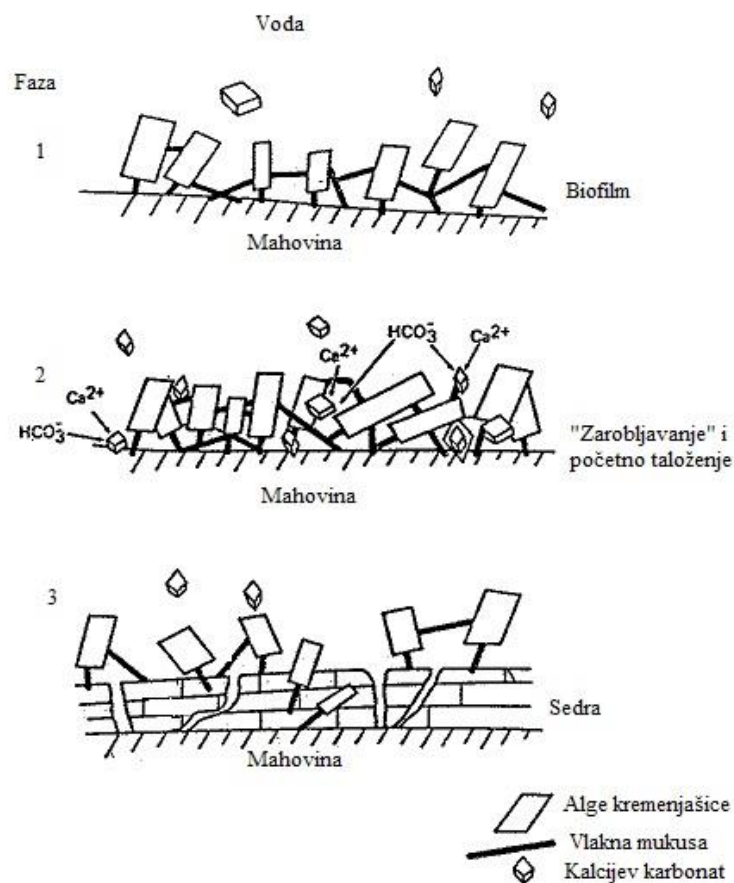


Slika 1. Morfološki izgled sedrenih barijera (preuzeto i prerađeno iz Pentecost, 2005)

Dolina rijeke u kojima se taloži kalcitna sedra modelirana je kroz kalcificirajuće reofilne alge i mahovine, uz čiji rast i taloženje karbonata nastaje porozni čvrsti supstrat koji se lateralno širi preko toka rijeke pri čemu nastaje barijera s jezerom u pozadini. Barijera raste vertikalno, smanjuju se erozijski procesi, a jezero uzvodno postaje mjesto gdje se taloži erodirani materijal. Postepeno, rijeka se pretvara u niz jezera i slapova i riječno dno postaje niz „terasa“.

Vodne mahovine poput *Palustriella commutata* (Hedw.) Ochyra (= *Cratoneuron commutatum* (Brid.) G. Roth.), *Eucladium verticillatum* (With.) Bruch & Schimp., *Ptychostomum pseudotriquetrum* (Hedw.) J.R. Spence & H.P. Ramsay (= *Bryum pseudotriquetrum* (Hedw.) G. Gaertn., B. Mey. & Scherb.) i *Didymodon tophaceus* (Brid.)

Jur. Poznate su kao sedrotvorni organizmi između čijih se površina razvija biofilm mikroorganizama poput cijanobakterija, bakterija, algi kremenjašica i algi poput *Oocardium stratum* Nägeli, 1849. Kako biofilm mikroorganizama povezuje kristale istaloženog kalcijevog karbonata, donji dijelovi mahovine postaju spužvasti karbonatni sediment, no one i dalje nastavljaju rasti. Tako nastaje zanimljiv oblik sedrenih naslaga. Dijelom zbog reofilnog karaktera mahovina i mikroorganizama, karbonati se talože u brzacima bolje nego u jezerima (Golubić i sur., 2008). Autori Emeis i sur. (1987) zaključuju kako je nastajanje sedrenih barijera usko povezano s biološkim čimbenicima upravo preko staničnog produkta mukusa kojega stvaraju razne alge i koji omogućuje „zarobljavanje“ kristala karbonata i početak taloženja (slika 2).



Slika 2. Faze taloženja kalcijevog karbonata na biofilm algi kremenjašica u mahovinama i nastanak sedre (preuzeto i prerađeno iz Emeis i sur., 1987)

Nakon istraživanja uloge biofilma u laboratorijskim uvjetima s obzirom na taloženje kalcijevog karbonata, autori Rogerson i sur. (2008) zaključili su kako je postojanje biofilma vrlo važno u procesu taloženja karbonata. Autori Yoshimura i sur. (2004) također zaključuju

kako je doprinos biološke aktivnosti u taloženju karbonata nedvojben. Istraživanjem kalcificiranih kućica ličinki tulara (Trichoptera) autori Leggitt i Loewen (2002) ukazali su na važnost ličinki tulara u taloženju i eroziji sedrenih naslaga u jezerima u Americi (The Green River Formation).

Mnogobrojna istraživanja nastojala su objasniti proces taloženja kalcijevog karbonata kroz različita godišnja doba, promatrajući čimbenike poput fizikalno-kemijskih uvjeta, razvoja strukture sedre i veza s mikrobiontima (Kano i sur., 2003), zatim ovisno o brzini strujanja vode u bazenima (Lu i sur., 2000) ili hidrološkim promjenama na slapovima (Chen i sur., 2004). Autore Drysdale i sur. (2003) zanimalo je utjecaj dnevnih promjena temperature na hidrokemijske procese u sedrotvornim sustavima.

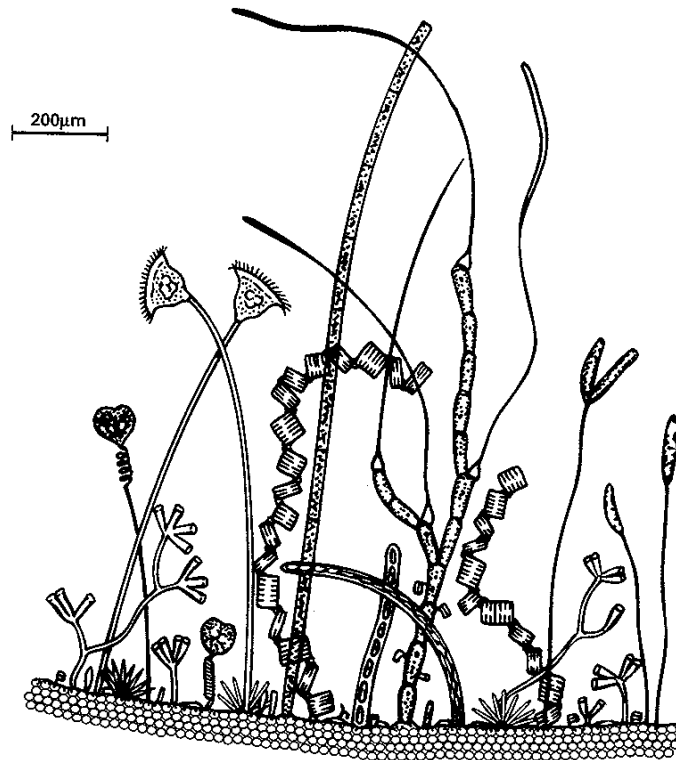
### **2.3. Živi svijet jezera**

Rubovi i dno jezera kao staništa mnogobrojnih vrsta puno su kompleksnija od otvorene vode, pelagijala (Moss 1998). U pelagijalu nalazimo bakterioplankton, fitoplankton i zooplankton, organizme koji lebde ili se ograničeno kreću u vodi nošeni strujama i valovima, zatim nekton koji uključuje najrazličitiju faunu koja se aktivno kreće neovisno o vodnim strujama i neuston, organizme koji su u kontaktu s površinskim slojem (Thorp i Covich, 2010). Klasifikacija ovih staništa razlikuje dva tipa: litoral (uključuje dno jezera između najviše razine vode i eufotične dubine koju još nastanjuju alge) i profundal koji uključuje dno jezera ispod eufotične zone gdje više nema fotosinteze. Litoral podupire prisutnost većeg broja zajednica. Utjecaj valova dijeli litoral na gornju uznemirenu zonu gdje dolazi do erozije čestica i na donju, mirniju zonu gdje se čestice sedimentiraju. U velikim jezerima gornji dio obale može biti stjenovit i na taj dio se prihvaćaju alge, bakterije, praživotinje i ličinke kukaca. Bentos profundala uglavnom je sastavljen od jednostavnih zajednica bakterija i praživotinja, a ako ne vladaju anoksični uvjeti prisutni su beskralješnjaci i ribe. Ovo stanište uglavnom tvori fini sediment detritusa (Moss, 1998).

Vadeboncoeur i sur. (2002) su proveli meta-analizu limnoloških publikacija i zaključuju kako limnolozi 10 puta češće istražuju proizvodnju fitoplanktona nego perifitona u jezerima, dok u više od 50% radova češće opisuju zooplankton nego zoobentos. Postoji jasni dokaz kako raspodjela primarne proizvodnje između dva staništa (pelagijal i bentos) varira s veličinom jezera i trofičkim statusom, što proizlazi iz različitih kapaciteta bentičkih i pelagičkih primarnih proizvođača u korištenju svjetlosti i hranjivih soli (Vadeboncoeur i sur. 2002).

Bentičke alge prisutne su na sedimentu u gotovo svakom vodnom sustavu gdje im je potrebno odgovarajuće svjetlo za provođenje fotosinteze i za rast. Dio su zajednice obraštaja (perifiton) koji se sastoji od mikroorganizama i beskralješnjaka (slika 3). Varijacije u biomasi perifitonskih algi mogu biti uzrokovane s nekoliko čimbenika koji uključuju sastav supstrata, temperaturu, aktivnost strugača, svjetlost i opskrbu hranjivim solima (Hansson, 1992). U istraživanju biomase perifitonskih algi u jezerima u Švedskoj uočeno je da se biomasa perifitonskih algi povećava kada se temperatura smanjuje u jesen. To se ujedno povezalo s čimbenikom svjetlosti i dostupnosti fosfora. U travnju se ta biomasa smanjila i vrijednosti fosfora su se vratile na razine normalnih vrijednosti. S obzirom da je autor pratio odnos biomase algi i koncentracije fosfora u sedimentu u jezerima s niskom proizvodnjom, zaključuje kako će alge biti limitirane hranjivim solima samo u slučaju kada je proizvodnja jezera niska. Suprotno tome, u jezerima s visokom proizvodnjom, limitirajući čimbenik bit će svjetlost (Hansson, 1992). Za jezera umjerenog područja karakteristične su sezonske promjene biomase perifitona s maksimumom biomase u proljeće i kasno ljeto/jesen za epilitske, epipelitičke i epifitske zajednice. Temperatura ima sekundarnu ulogu u određivanju sezonskih promjena u primarnoj proizvodnji perifitona pogotovo u sustavima s niskom koncentracijom hranjivih soli (DeNicola, 1996).

Alge u perifitonu mogu biti određene kroz biomasu, taksonomski sastav ili kemijski sastav. Biomasa algi bentosa je masa algi po jedinici površine supstrata i određuje se kroz mjerenje klorofila *a*, ugljika, dušika ili fosfora, suhu masu i anorganski suhi ostatak. Klorofil *a* (Chl *a*) ipak je precizniji u procjeni biomase algi u odnosu na ugljik, dušik ili fosfor (Stevenson i sur., 1996). Niske vrijednosti klorofila *a* pojavljuju se ako prevladava limitacija hranjivim solima, dok su više vrijednosti klorofila *a* prisutne uslijed svjetlosno-limitirajućih uvjeta (Padisák, 2004) te svakako uslijed povećanog dotoka fosfora i dušika kao hranjivih soli koje stimuliraju rast biomase fitoplanktona i bentičkih mikroalgi (Dokulil i Teubner, 2011). Spojevi dušika (N) i fosfora (P) važne su hranjive soli za proizvodnju algi, često su limitirani u odnosu na potrebu za staničnim rastom. Rast algi primarno određuje trofički status jezera i najbolje se definira kroz pojam primarne proizvodnje odnosno količine organskog ugljika proizvedenog fotosintezom (Dokulil i Teubner, 2011).



Slika 3. Perifiton na listu *Myriophyllum* s algama kremenjašicama, zelenim algama i prazivotinjama (preuzeto i prerađeno iz Moss, 1998)

Uz bentičke alge vrlo važan dio slatkovodnog ekosustava su makrofiti koji uključuju skupine poput Charophyceae, Bryophyta, Pteridophyta i neke Spermatophyta čiji su fotosintetski aktivni dijelovi stalno ili nekoliko mjeseci u godini potopljeni u vodi ili plutaju na vodenoj površini ili su iznad nje. Makrofiti odgovaraju na promjene u kvaliteti vode, promjene vodostaja i ostalih okolišnih čimbenika te su prirodan dio jezerskog ekosustava u kojem predstavljaju stanište i hranu za životinje, koncentriraju hranjive soli i otpuštaju kisik tijekom fotosinteze. U zoni litorala nalazi se i skupina emerznih makrofita (biljke koje su korijenom pričvršćene za dno dok su im listovi i cvjetovi iznad vode) kao što su rodovi *Phragmites* i *Typha*, a nazivamo ih i helofitima. Pojedine skupine vodnih beskralješnjaka koriste makrofite kao sklonište ili utočište (Chironomidae, Culicidae, Ephemeroptera, Trichoptera) dok nekoliko skupina koriste ove biljke kao izvor hrane (Pokorný i Květ, 2004).

Zoobentos jezera uključuje uglavnom beskralješnjake koji nastanjuju kruto-tekuću površinu dna raznih slatkovodnih staništa. Zbog iznimmog bogatstva životnih oblika kao i njegove bioraznolikosti, zoobentos može dati osnovne informacije o slatkovodnim staništima. Primarni proizvođači jedan su od najvažnijih izvora hrane za zoobentos. Također, usitnjena organska tvar (eng. *particulate organic matter* - POM) i otopljena organska tvar (eng.

*dissolved organic matter* - DOM) doprinose hrani zoobentosa (Jónasson, 2004). Kukci koji žive u vodnim ekosustavima mogu se prema autoru Cummins (1973) podijeliti u funkcionalne prehrambene skupine ovisno o njihovim hranidbenim mehanizmima i veličini čestica koje probavljaju (tablica 1). Postoje razlike između detritivora koji konzumiraju ne-živu organsku tvar, karnivora koji se hrane životinjskim tkivom i herbivora koji se hrane algama ili biljnim tkivom. Također postoje i one skupine kukaca koje se prehranjuju širokim spektrom hrane.

Tablica 1. Kategorizacija vodnih kukaca prema hranidbenim mehanizmima i tipovima prehrane (preuzeto i prerađeno prema Cummins, 1973 i Williams i Feltmate, 1994).

Kategorija prema hranidbenim mehanizmima	Veličina čestice hrane ( $\mu\text{m}$ )	Podgrupa prema hranidbenim mehanizmima	Dominantni tip prehrane	Skupina vodnih kukaca
Usitnjivači	$>10^3$	Žvakači i bušači	Herbivori: živo tkivo biljaka	Trichoptera (Leptoceridae), Coleoptera, Lepidoptera, Diptera (Chironomidae)
		Žvakači i bušači	Detritivori: raspadajuće tkivo biljaka	Plecoptera, Trichoptera (Limnephilidae), Diptera (Tipulidae, Chironomidae)
Sakupljači	$<10^3$	Prehrana filtracijom ili iz suspenzija	Herbivori-detritivori: stanice raspadajuća organska tvar	Ephemeroptera, Trichoptera (Philopotamidae), Diptera (Simuliidae, Chironomidae)
		Prehrana sedimenta ili taloga	Detritivori: raspadajuća organska tvar	Ephemeroptera (Caenidae, Baetidae), Hemiptera, Coleoptera (Hydrophilidae), Diptera
Strugači	$<10^3$	Strugači mineralnih podloga	Herbivori: alge i mikroflora pričvršćena za podlogu	Ephemeroptera, Trichoptera (Glossostamatidae), Coleoptera (Elmidae), Diptera (Tabanidae)
		Strugači organskih podloga	Herbivori: alge i pripadajuća pričvršćena mikroflora	Ephemeroptera (Caenidae), Hemiptera, Trichoptera (Leptoceridae), Diptera

Kategorija prema hranidbenim mehanizmima	Veličina čestica hrane (µm)	Podgrupa prema hranidbenim mehanizmima	Dominantni tip prehrane	Skupina vodnih kukaca
Predatori	>10 <sup>3</sup>	Gutači	Karnivori: cijele životinje	Odonata, Plecoptera, Trichoptera (Polycentropodidae, Hydropsychidae), Diptera (Chironomidae)
		Bušači	Karnivori: stanice ili tekućine tkiva	Hemiptera (Belastomatidae, Notonectidae), Diptera

Kategorizacija organizama u funkcionalne hranidbene skupine metodološki se temelji na morfologiji usnih organa, ponašanju u prehrani i vrsti hrane koja se konzumira. Također, određeni organizmi mijenjaju svoj način prehrane tijekom svog razvojnog ciklusa te je važno cjelovito sagledati ekološku funkciju pojedinog organizma u zajednici (Moog, 2002). Prema Moog (2002) makrozoobentos se može podijeliti u jedanaest funkcionalnih hranidbenih skupina: usitnjivači (eng. *shredders* - SHR), strugači (eng. *grazers* - GRA), aktivni procjeđivači (eng. *active filter-feeders* - AFIL), pasivni procjeđivači (eng. *passive filter-feeders* - PFIL), detritivori – sakupljači (eng. *detritivores* - DER), bušači (eng. *miners* - MIN), ksilofagi (eng. *xylophagous* - XYL), grabežljivci (eng. *predators* - PRE), nametnici (eng. *parasites* - PAR), ostali (eng. *others* - OTH) i svejedi (eng. *omnivores* - OMN).



## **2.4. Hranjive soli**

Hranjive soli su obično podijeljene na makronutrijente kao anorganske spojeve koji sadrže ugljik, dušik, fosfor i silicij te na hranjive soli koje u prirodnim vodama dolaze u malim količinama odnosno mikronutrijente. Mikronutrijenti uključuju neke anione i katione te elemente u tragovima poput metala mangana, željeza, kobalta, bakra i drugih (Sigeo, 2005). Teoretski, svaki od ovih elemenata može postati važni, limitirajući čimbenik. S obzirom da su u mnogim jezerima mnogi od elemenata u suvišku, limitirajuće hranjive soli najčešće su spojevi dušika, fosfora i neki elementi u tragovima. Samo topivi oblici hranjivih soli predstavljaju izvor dostupan za preuzimanje organizmima (Lampert i Sommer, 2007).

### **2.4.1. Fosfor i dušik**

Fosfor je element prisutan u Zemljinoj kori te su spojevi ovog elementa relativno netopljivi, dok u atmosferi ne postoje rezerve ovih spojeva. Dušik je s druge strane kao element prisutan u atmosferi s udjelom od oko 80%, ali u elementarnom obliku je relativno nereaktivan te je dostupan samo nekim fiksatorima. Fosfor ulazi u vodna tijela ne samo kao anorganski fosfatni ioni ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) već također i kao anorganski polimer, kroz spojeve organskog fosfora, živuće mikroorganizme i detritus. Dušik ima sličan put. Samo neke od ovih formi dostupne su odmah za rast biljaka i algi, dok ostale postaju dostupne kroz mikrobnu razgradnju. Suma svih oblika fosfora i dušika izražena kao ukupni fosfor i ukupni dušik ujedno je i mjerilo proizvodnje vodnog sustava. Iako ukupni potencijal proizvodnje algi može biti limitiran količinom fosfora ili dušika, individualne vrste među algama mogu biti limitirane drugim čimbenicima kao na primjer alge kremenjašice silikatima. Kontinuirana regeneracija dušika i fosfora iz bakterijske razgradnje detritusa uz određene količine ovih elemenata koji dolaze utjecanjem, mogu biti dostatne za potrebe rasta fitoplanktonskih stanica (Moss, 1998).

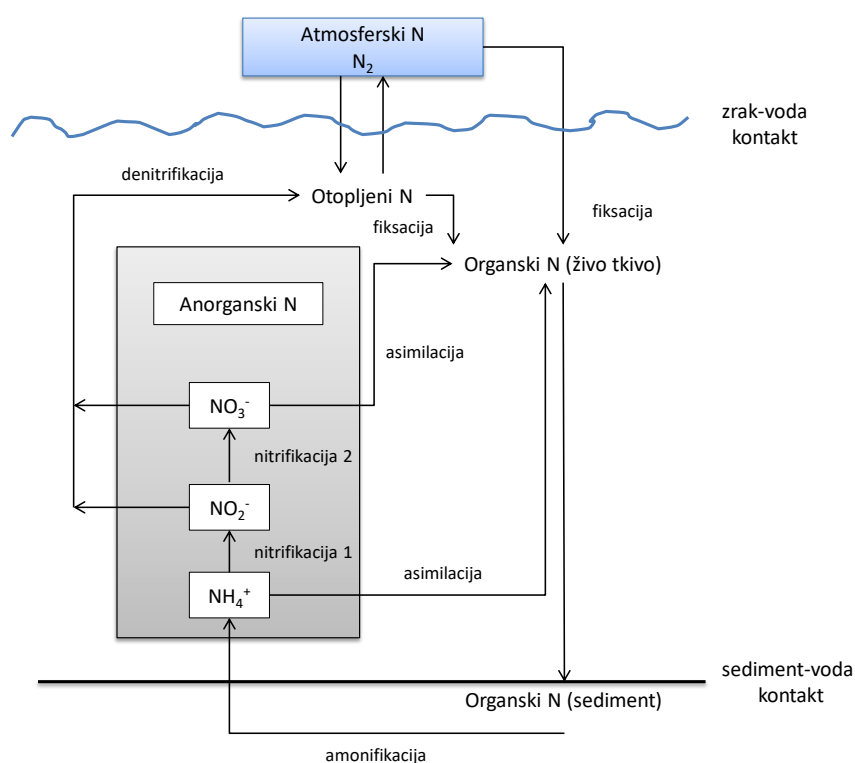
Koncentracije dušika u većini slatkovodnih sustava obično su više nego koncentracije fosfora, tako da je prosječna koncentracija hranjivih soli u omjeru 16N:1P (Heathwaite, 1993).

#### **2.4.1.1. Kruženje dušika**

Kruženje dušika (N) u slatkovodnim sustavima slično je kruženju u kopnenim sustavima. Promjene dušika tijekom kruženja u vodnom tijelu predstavljene su kroz osnovne procese fiksacije, nitrifikacije, asimilacije, denitrifikacije i mineralizacije ili amonifikacije (slika 4).

Ujedno je ovaj proces kruženja ovisan i o mnogobrojnim čimbenicima kao što su opskrba dušikom, anaerobioza (obično je regulirana amonijakom) i prodiranje svjetlosti (nitrit-oksidirajuće vrste su osjetljive na svjetlost dok amonijak-oksidirajuće vrste nisu).

Proces kruženja započinje fiksacijom atmosferskog dušika pri čemu dolazi do redukcije molekularnog N do amonijaka. Ovaj proces je neučinkovit pri nedostatku svjetlosti jer je potreban adenzin-trifosfat (ATP) koji se pak sintetizira tijekom fotosinteze. Ipak, postoje skupine cijanobakterija koje mogu fiksirati dušik direktno. Proces fiksacije važan je posebno za eutrofna jezera s gustim populacijama cijanobakterija.



Slika 4. Kruženje dušika u vodnom tijelu (preuzeto i prerađeno iz Heathwaite, 1993)

U procesu asimilacije dušika najvažniju ulogu ima plankton koji asimilira nitrata. Raznim istraživanjima potvrđeno je da bi primarni proizvođači mogli biti važan mehanizam za uklanjanje nitrata iz slatkovodnih sustava. Proces amonifikacije i mineralizacije karakterizira stvaranje amonijaka koji nastaje kako u stupcu vode, tako i u sedimentu. Amonijak se u slatkovodnim sustavima pojavljuje u obliku amonij kationa (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) ili kao neionizirana molekula amonijaka (NH<sub>3</sub>). Mikrobnom razgradnjom organski dušik pretvara se u amonijak, a ovaj proces zahtijeva kisik i regenerira dostupan dušik za re-asimilaciju od strane primarnih

proizvođača. Poznavanje stope oslobađanja dušika iz raspadajuće organske tvari može biti važan čimbenik u određivanju graničnih vrijednosti hranjivih soli u slatkovodnim sustavima. Nitrifikacija je proces koji se odvija u dva stupnja pomoću kemoautotrofnih bakterija *Nitrosomonas* (pretvorba amonijaka do nitrita) i *Nitrobacter* (pretvorba nitrita do nitrata). Nitrifikacija je proces koji zahtijeva prisutnost kisika i može u nekim vodnim sustavima stvoriti anoksične uvjete. Visoka stopa nitrifikacije važna je za učinkovito kruženje dušika iz razloga što je sintetiziran nitrat važan za daljnju denitrifikaciju kojom nastaje otopljeni dušik. Također, proces nitrifikacije posebno je značajan tijekom ljetnih mjeseci kada su temperature vodnog tijela povišene jer u tom razdoblju dotok dušika iz slivnog područja uglavnom je minimalan dok je iskorištavanje dušika od strane algi u maksimumu. Nitrifikacija je stoga u tom razdoblju od velike važnosti za dostatno kruženje dušika. Gubitak nitrata u jezerskim ili riječnim sustavima događa se kroz proces denitrifikacije koja predstavlja važan mehanizam u smanjenju koncentracija nitrata. Ipak, u pojedinim eutrofnim vodama u kojima je stopa denitrifikacije dostatna, ona nije dovoljno učinkovita za uklanjanje nitrata koji dolaze s poljoprivrednih površina.

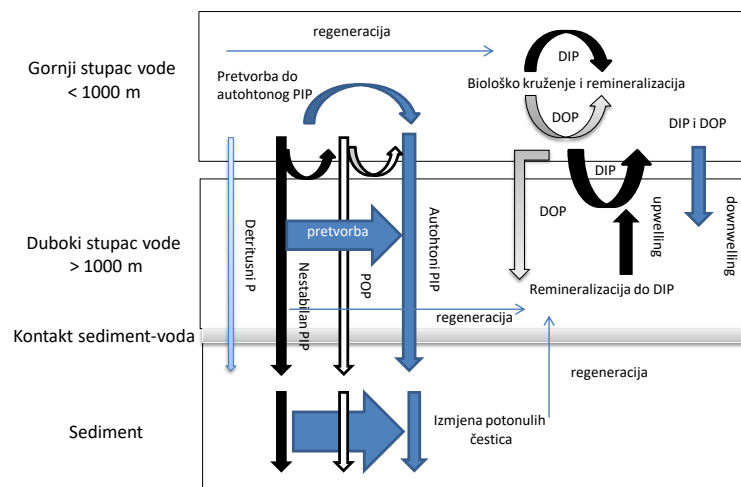
Jezerski sediment i sedimentne naslage u tokovima rijeka sa slabijim strujanjima ujedno su mjesta izvora i gubitka dušika. Dušik u jezerskom sedimentu uglavnom je prisutan kao organski N, pri čemu važnu ulogu ima sedimentacija algi putem kojih fiksirani N dolazi u jezerski sediment i počinje proces mineralizacije. Pretvorba nitrata u jezerskom sedimentu može se događati iz razloga što mikrobnim procesi preferiraju iskorištavanje nitrata umjesto amonijaka. Neto rezultat ovih pretvorbi je taj da će dušik koji dolazi do jezerskog sedimenta biti pretvoren u biološki dostupne forme (Heathwaite, 1993).

#### **2.4.1.2. Kruženje fosfora**

Fosfor je zastupljen u Zemljinoj kori s 1,050 ppm težine, dok je u solarnom sustavu prisutan sa 7 ppm težine. U prirodi se ne pojavljuje kao slobodan element jer je vrlo reaktivan te je nađen u mnogim mineralima i organskim spojevima. Izvori fosfora u okolišu često su antropogenog karaktera i to kao točkasti izvori (kanalizacija i mjesta industrijskih ispusta) i raspršeni izvori (urbano i poljoprivredno ispiranje). Upravo iz razloga što je fosfor važan biološki čimbenik i makromineral za kopnene biljke i fitoplankton, važno je znati kako se fosfor mijenja u vodnim ekološkim sustavima.

Izvor fosfata u jezeru može biti iz gnojiva, životinjskog otpada, erozije tla i otpada iz rudnika kao i atmosferskim odlaganjem. Fosfati ulaze u jezera putem rijeka, podzemnim vodama ili direktnim odlaganjem i ispiranjem. Biljke, alge, cijanobakterije i bakterije koriste fosfate kao hranjive soli i oni se prenose zatim kroz hranidbenu mrežu, dok se dio ovih čestica remineralizira u vodnom stupcu. Dio fosfata taloži se i u sediment, a uz anoksične uvjete fosfati se iz sedimenta mogu regenerirati nazad u vodu.

Neotopljeni oblici fosfora prolaze niz pretvorbi kroz vodni stupac i unutar sedimenta (slika 5). Također se mogu regenerirati u otopljene oblike. Biološko kruženje i remineralizacija osnovni su mehanizmi promjena topivih faza i dominiraju u površinskim vodama, iako se mikrobnna remineralizacija nastavlja u dubini. Otopljeni oblici fosfora gube se iz površinskih voda između ostaloga i biološkim preuzimanjem (nastaje neotopljeni organski fosfor; eng. *particulate organic phosphorus* - POP) te se vraćaju u površinske vode miješanjem. Regeneracijom iz sedimenta oslobađa se višak otopljenih fosfata u duboku vodu (Paytan i McLaughlin, 2011).



Slika 5. Pretvorbe između oblika fosfora u vodenom stupcu i sedimentu (preuzeto i prerađeno iz Paytan i McLaughlin, 2011)

## 2.4.2. Izvori hranjivih soli u jezerima

Količina tvari koja ulazi u vodno tijelo po jedinici vremena i po jedinici prostora jezera naziva se „prostorni unos“ (eng. *areal loading*). Postoji nekoliko izvora „unosa“ koji mogu biti vanjski i unutarnji. Okolno slivno područje i atmosfera kroz oborine, ekskreciju i defekaciju ptica i drugih kralješnjaka sveukupno se smatraju vanjskim dotokom. Unutarnji dotok, uz uobičajeni ciklus fosfora koji je opisan u prethodnom poglavlju, može povremeno postojati u pojačanom obimu iz sedimenta ukoliko dođe do anoksije.

Količina koja je unesena postepeno se razrjeđuje ulazeći u jezero i miješa se s jezerskom vodom. Krajnja postignuta koncentracija povezana je s veličinom jezera ( $z$ , srednja dubina), stopom ispiranja ( $\rho$ ), te dotokom tvari ( $L$ ). Stopa neto izmjene s dnom kao oslobađanje tvari ili gubitak ( $\sigma$ ) također utječe na koncentraciju tvari u jezeru. U većini jezera što se voda duže zadržava veća je mogućnost da se fosfor izgubi na dnu, a koncentracije su u jezeru niže od koncentracija u tekućim vodama. Prema Vollenweider jednadžbi može se izračunati koncentracija tvari u jezerskom sustavu koje se dobro miješa i ona glasi:

$$m = L / z(\rho + \sigma) \quad (7)$$

Kako je vrijednost stope neto izmjene s dnom ( $\sigma$ ) teško mjeriti, moguće je ovu vrijednost zamijeniti s  $R$  koji označava frakciju ukupnog dotoka koji se zadržava u jezerskoj vodi i ne taloži te jednadžba glasi:

$$m = LR / z\rho \quad (8)$$

Ovaj model koristan je za utvrđivanje promjena u dotoku i hidrologiji koje mogu utjecati na koncentraciju što sveukupno može biti korisno za praćenje koncentracije dušika i fosfora u jezerima gdje je ove elemente potrebno smanjiti (Moss, 1998).

Ako promatramo riječno-jezerski sustav, tvari i hranjive soli prenesene rijekom odlažu se i raspadaju u jezerskom sustavu dok se spojevi stvoreni u jezeru raznim procesima transportiraju nizvodno. Mjesta gdje se riječne vode miješaju s jezerskom imaju važnu ulogu u pronosu riječnih tvari. Ova mjesta predstavljaju lokacije intenzivne sedimentacije protočnih suspendiranih tvari zajedno sa selekcijom čestica i njihovim daljnjim kemijskim promjenama. Stopa sedimentacije vrlo je varijabilna te ovisi o protoku i količini unešene tvari, a ubrzano se smanjuje unutar kratkih udaljenosti.

S obzirom na pronos hranjivih soli u riječno-jezerskim sustavima, jezera su učinkovita mjesta uklanjanja dušika prenesenog rijekom, posebno nitratnog dušika donesenog do riječnih dijelova. Razlog tome je uglavnom denitrifikacija potaknuta u jezeru zbog njegovog organskog sedimenta i anoksičnih uvjeta. Jezera također mogu učinkovito, ali privremeno, ukloniti fosfor prenesen rijekom posebno tijekom razdoblja intenzivne proizvodnje (proljeće, ljeto). Ipak tijekom razdoblja stagnacije, fosfor se prenosi nizvodno (Hillbricht-Ilkowska, 1999).

Prema *River Continuum* konceptu, procesi i obrazac riječnih ekoloških sustava mijenjaju se kontinuirano i ovisno o povećanju protoka. Iz toga razloga, jezera se mogu smatrati „smetnjama“ kontinuiranom karakteru riječnog sustava, odnosno mijenjaju stope pronosa i mijenjaju karakter protočne tvari. Neto rezultat procesa taloženja, raspadanja i pronosa tvari i hranjivih soli, određuje jezero kao izvor ili mjesto izlaska ovih spojeva iz vodnog sustava (Hillbricht-Ilkowska, 1999).

U vodnim ekosustavima koji su zasićeni kalcijevim karbonatom dolazi do procesa koprecipitacije odnosno zajedničkog taloženja anorganskog fosfora s kalcitom i stvaranja određenih spojeva. U ovom procesu važna je koncentracija fosfata te tako pri koncentracijama  $< 20 \mu\text{mol dm}^{-3}$  anorganski ioni fosfora koprecipitiraju s kalcitom. Više koncentracije fosfata, međutim, inhibiraju taloženje kalcita te nastaje kalcijev fosfat (Plant i House, 2002). Tako visoke koncentracije fosfata nisu tipične za sedrotvorne sustave (Pentecost, 2005). Na kruženje hranjivih soli u jezerima može indirektno utjecati i skupina algi parožina (Charophyceae) na način da se tijekom procesa intenzivne fotosinteze ujedno odvija i taloženje kalcita što pogoduje imobilizaciji fosfora. Tako se fosfor veže na kristalnu strukturu ili na istaložene mineralne čestice (Kufel i Kufel, 2002).

## **2.5. Stupanj trofije**

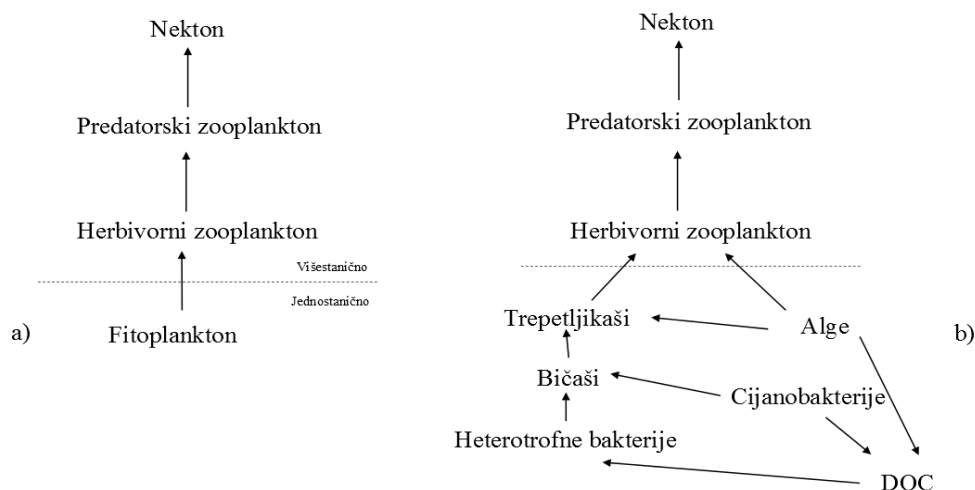
U vodnim ekosustavima pod pojmom trofičkog stanja ili stanja trofije podrazumijeva se ukupna težina biomase u vodnom tijelu u vrijeme mjerenja, a trofička razina označava položaj nekog organizma u hranidbenom lancu. Prema Lindeman-u (1942) svi organizmi unutar ekosustava mogu su grupirati u određene trofičke razine kao proizvođači, primarni potrošači, sekundarni potrošači, gdje su proizvođači direktno ovisni o svjetlosti kao izvoru energije.

Biomasa koja je vrlo važna u hranidbenom sustavu, nastaje fotosintetskom aktivnošću autotrofnih organizama te je zatim konzumirana od strane heterotrofa, prelazeći tako iz jedne u drugu grupu u definiranim sljedovima trofičkog reda. Među-veze i procesi prijenosa uključeni su kroz tri glavna stupnja:

1. Hranidbeni lanac – linearni slijed koji opisuje progresiju za glavne grupe organizama.
2. Ekološka piramida – linearni slijed u kojem su organizmi grupirani kroz ekološku ulogu, a dinamika prijenosa mase je kvantificirana.
3. Hranidbena mreža – pokazuje detaljne interakcije između određenih grupa i vrsta, često uključujući i detalje biomase ili prijenosa energije.

U pelagijalu, koji je stanište za slobodno lebdeće (planktonske) i plivajuće (nektonske) organizme, interakcije između organizama mogu se razmotriti kroz dva glavna prijenosa biomase: glavni trofički slijed i mikrobna petlja.

Glavni trofički slijed je glavni sustav prijenosa mase u vodnom okolišu. On uključuje proizvodnju biomase od strane fotosintetskih organizama (cijanobakterija i algi) nakon čega slijedi konzumacija primarnih proizvođača i unos hrane. Unos fotosintetskih organizama provode herbivori (npr. zooplankton), nakon čega slijede karnivori (slika 6).



Slika 6. Klasični pelagički hranidbeni lanac (a) i hranidbeni lanac s uključenom mikrobnom petljom s različitim mikrobnim komponentama (b) (preuzeto i prerađeno iz Sigee, 2005)

Prisustvo mikrobne petlje uočeno je u trenutku kada je postalo jasno da određeni dio primarne proizvodnje ne ulazi u slijed konzumacije, već se otpušta kao otopljeni organski ugljik (eng. *dissolved organic carbon* - DOC) u okoliš i od kada je spoznato da velike populacije virusa, bakterija i praživotinja imaju glavnu ulogu u otpuštanju i upotrebi DOC-a algi. Otopljeni organski ugljik kojeg otpuštaju mikroalge preusmjeren je prema konzumaciji. DOC metaboliziraju bakterije, koje onda konzumiraju praživotinje i manji zooplankton (Sigeo, 2005).

Primarni proizvođači u slatkovodnim ekosustavima upravo su cijanobakterije, alge i makrofiti koji su osnova svake hranidbene mreže. Oni su dalje konzumirani od strane primarnih potrošača zooplanktona ili bentičkih organizama. Oko 30-90% primarne proizvodnje algi konzumirano je i završava u hranidbenom lancu (Scholten i sur., 2005).

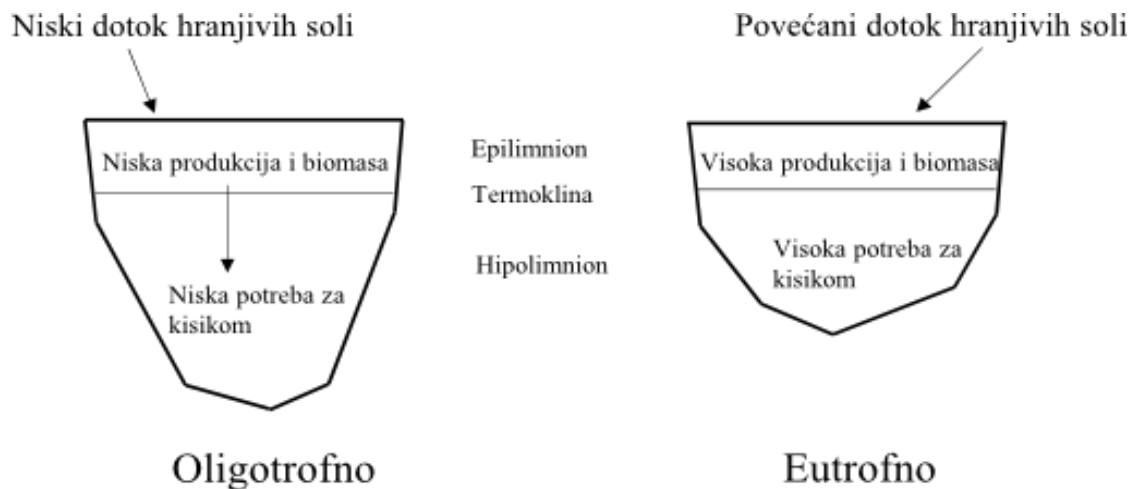
Trofičke kaskade definiraju se kao recipročni odnosi predator-plijen koji mijenjaju gustoću, biomasu i proizvodnju zajednice ili trofičku razinu između više od jedne poveznice u hranidbenoj mreži. Primjerice hranidbeni lanac s tri razine uključivao bi veću gustoću predatora koji su na vrhu lanca što bi rezultiralo nižom gustoćom srednjih potrošača i visokom gustoćom primarnih proizvođača. Uz trofičke kaskade vrlo se čestu vežu i pojmovi poput *top-down* kontrole što znači reguliranje nižih dijelova hranidbene mreže od strane viših razina, dok će pojam *bottom-up* opisivati reguliranje hranidbene mreže od strane primarnih proizvođača ili čak unosom limitirajućih hranjivih soli u ekosustav (Pace i sur., 1999).

## **2.6. Eutrofikacija**

Autor Weber, 1907 (iz Dokulil i Teubner, 2011) uvodi pojmove eutrofno, mezotrofno i oligotrofno za opis različitih stanja flore cretova s obzirom na njihove promjene tijekom vremena. Navedene pojmove koristi i autor Naumann, 1919 (iz Dokulil i Teubner, 2011) u opisivanju voda u Švedskoj kao oligotrofnih, mezotrofnih ili eutrofnih ovisno o njihovom sadržaju hranjivih soli. S obzirom da u to vrijeme nisu postajale dostupne metode mjerenja koncentracije hranjivih soli, Naumann ponovno definira kategorije, ali prema stadiju jezera u ljetu i prema fitoplanktonskim grupama. Uspostavlja se obrazac oligotrofno-eutrofnog sustava koje označava oligotrofna jezera kao duboka jezera koja primaju hranjivim solima oslabljene pritoke i imaju malu proizvodnju organske tvari u epilimnionu, dok su tvari koje tonu u hipolimnion u malim količinama te je niska potrošnja kisika. Eutrofna jezera su plića, bogatiji je utok hranjivih soli iz pritoka kao i podzemnim vodama te je i primarna proizvodnja ujedno



viša, dok u hipolimnion dolazi više organske tvari i povećana je potrošnja kisika (slika 7) (Dokulil i Teubner, 2011).



Slika 7. Obrazac oligotrofno-eutrofnog sustava (preuzeto i prerađeno iz Dokulil i Teubner, 2011)

Pojam eutrofikacije objašnjava se kao proces obogaćivanja vodnog tijela hranjivim solima, što rezultira pojačanim rastom fitoplanktona i makrofita. Eutrofikacija je ujedno i jedan od ozbiljnih problema onečišćenja vode koji direktno utječe na floru i faunu s obzirom na smanjivanje otopljenog kisika što u konačnici uzrokuje značajne promjene u bioraznolikosti i promjene u trofičkim strukturama ekološkog sustava. Kontinuirana eutrofikacija također dovodi do izdizanja sedimenta primjerice jezera što uzrokuje terestifikaciju vodnog tijela (Ansari i sur., 2011). Većina hranjivih soli ulazi u vodotoke i jezera putem kanalizacijskog sustava, poljoprivrednim aktivnostima ili putem oborina te tako hranjive soli mogu biti urbanog porijekla (kanalizacija, industrijski otpad) ili ruralnog porijekla (poljoprivreda, upravljanje šumama) (Mason, 2002).

U Eksperimentalnom jezerskom području sjeverozapadnog dijela grada Ontario u Kanadi, 1972. godine ispitivao se utjecaj dodavanja fosfora i dušika u pokusno jezero 227 koje je imalo iznimno niske vrijednosti otopljenog anorganskog ugljika kako bi se razjasnilo može li nedostatak ugljika spriječiti eutrofikaciju. No, unutar par tjedana od početka pokusa, jezero je poprimilo zelenu boju i značajno je porasla primarna proizvodnja. Pokus je nastavljen i u malom jezeru 226, 1973. godine te je tom prilikom jezero podijeljeno na dva dijela (slika 8). U oba dijela dodani su dušik i ugljik dok je fosfor dodan samo u sjeveroistočnom dijelu. Tamnozeleno boja dijela jezera u kojem je bio dodan fosfor uzrokovana je cvjetanjem modrozelenih algi *Anabaena spiroides* Klebahn 1895. Drugi dio jezera ostao je u istom stanju

kao i prije obogaćivanja. Zaključeno je da je svakako potrebna regulacija utoka fosfora u vode kao prevencija eutrofikacije. Ovim pokusom je također utvrđeno da se malo ili gotovo ništa fosfora oslobađa iz sedimenta u jezero čak i uz anoksične uvjete.



Slika 8. Pokusno jezero 226 podijeljeno barijerom. U gornjem dijelu jezera dodani su dušik, ugljik i fosfor a u donjem dijelu dušik i ugljik (preuzeto sa stranice <https://www.minnpost.com/earth-journal/2013/11/leading-canadian-ecologist-calls-scientists-recover-policy-influence>)

U jezeru 304 koje godinama nije bilo obogaćivano hranjivim solima i ugljikom pratila se koncentracija klorofila koja je znatno porasla 1972. godine kada je u jezero dodana određena koncentracija dušika, fosfora i ugljika. Tijekom 1973. godine nastavljeno je dodavanje dušika i ugljika, ali bez dodavanja fosfora, a cijeli proces zapravo simulira uvjete eutrofnog jezera u slučaju poduzimanja osnovnih mjera za sprječavanje eutrofikacije. Opadanje koncentracije klorofila *a* upućivalo je na oporavak jezerskog sustava (Schindler, 1974).

### **2.6.1. Promjena trofije i utjecaj na biocenoze**

Svako vodno tijelo pripada određenom trofičkom stanju. Utjecajem eutrofikacije dolazi do smanjenja bioraznolikosti na višim trofičkim razinama (zooplankton i fitoplankton imaju potencijala biti bioindikator statusa onečišćenja) (Thakur i sur., 2013). U procjeni stupnja onečišćenja, trofičkog statusa ili degradacije vodnih tijela koriste se podaci o bioraznolikosti,

gustoći, biomasi i hranidbenim odnosima. Mikrofauna ima vrlo važnu ulogu u prijenosu hrane i energije od bakterija i algi do viših trofičkih razina, a metazooplankton uglavnom čine kolnjaci, rašljoticalci i veslonošci (Špoljar, 2013). Također, lokacija, morfologija i hidrologija imaju veliki utjecaj na trofiju jezera.

Oligotrofni sustavi su češće mrežno heterotrofni te ih karakterizira malo hranjivih soli, a potiču samo ograničeno preuzimanje ugljika uslijed procesa fototrofije. U eutrofnim jezerima povišene su hranjive soli te preuzimanje ugljika nije ograničeno, ali s obzirom na više anorganskih hranjivih soli prisutna je autotrofija (Siggé, 2005).

Posljedice eutrofikacije nastale antropogenim utjecajem u slatkovodnim sustavima nisu bile poznate do 40-ih i 50-ih godina prošlog stoljeća. Potencijalni učinak kulturne eutrofikacije, uzrokovane prekomjernim unosom fosfora i u manjoj mjeri dušika u jezera jasno je iskazan kroz povećanje biomase fitoplanktona i makrofita, te između ostalog i povećanju biomase bentičkih i epifitskih cijanobakterija i algi (Dokulil i Teubner, 2011). Visoki sastav hranjivih soli podupire rast algi i visoke dnevne vrijednosti otopljenog kisika mjerene blizu vodene površine ukazuju na visoku primarnu proizvodnju (Illyová i Pastuchová, 2012). Ujedno, prisutnost ili odsutnost određenih skupina algi ima dijagnostičku vrijednost na procjenu statusa trofije jezera. Tako je primjerice u oligotrofnom jezeru Thingvallavatn (Island) koje je duboko oko 114 m zabilježena prosječna godišnja proizvodnja fitoplanktona vrlo niska ( $95 \text{ g C m}^{-2} \text{ god}^{-1}$ ) dok je za eutrofno jezero Esrom (Danska) koje je oko 22 m dubine, proizvodnja fitoplanktona gotovo 2,5 puta veća (Jónasson, 2004).

Također, trofičko stanje jezerskog ekosustava utječe na sastav i brojnost rotifera. Autori Tasevska i sur. (2012) promatrali su sastav rotifera u različitim trofičkim jezerskim sustavima i uvidjeli kako se u jezeru Dorjan među kolnjacima nalaze indikativne svojte za eutrofno stanje (*Brachionus* spp. i *Anuraeopsis fissa* Gosse, 1851), dok u jezeru Ohrid kao oligotrofnom jezeru pojavljuje se svojta *Gastropus stylifer* Imhof, 1891. Gustoća populacije rotifera ujedno je pozitivno bila povezana s koncentracijom N i P. Općenito, najvažniji okolišni čimbenici koji utječu na bogatstvo i gustoću kolnjaka su bili temperatura, kisik, pH-vrijednost i električna vodljivost, dok se s višim stupnjevima trofije povećavala gustoća, ali ne i raznolikost kolnjaka (Viayeh i Špoljar, 2012).

## 2.7. Modificirane podloge

Modificirane podloge koje otpuštaju hranjive soli (eng. *nutrient diffusing substrates* - NDS) omogućuju jednostavan i prihvatljiv način istraživanja prostornog i vremenskog obrasca limitirajućeg učinka hranjivih soli na proizvodnju perifitona i biomasu u vodnom sustavu (Tank i sur., 2006). Prvo takvo istraživanje provedeno je krajem 40-ih godine u Kanadi kada je istraživač Huntsman postavio vrećice obogaćene kemijskim gnojivom u vodu uz obalu rijeke te nizvodno primijetio razvoj gustih slojeva filamentoznih zelenih algi (Huntsman, 1948).

Limitirajući učinak hranjivih soli indiciran je onda kada su rast algi ili proizvodnja na obogaćenima podlogama značajno viši u odnosu na kontrolne podloge (Rugenski i sur., 2008). Obogaćene podloge korištene su primjerice u istraživanjima limitirajućih učinaka hranjivih soli na heterotrofnu i autotrofnu komponentu obraštaja u vodotocima pri različitom režimu svjetlosti i s obzirom na prisutnu vegetaciju (Tank i Dodds, 2003), u istraživanjima učinka temperature vode na stope otpuštanja hranjivih soli s podloga (Rugenski i sur., 2008), u procjeni N ili P limitacije i N+P kolimitacije primarnih proizvođača (Sanderson i sur., 2009) te utjecaju obogaćivanja na fitoplankton (Setaro i Melack, 1984). Meta-analizom više od 200 znanstvenih radova o utjecaja dodatka N, P ili N+P na biomasu bentičkih algi, Francoeur (2001) je utvrdio kako dodatak dušika stimulira biomasu algi s prosječno jednakim učinkom kao i dodatak fosfora.

Prva istraživanja (Matoničkin Kepčija i sur., 2011) utjecaja modificiranih podloga na razvoj obraštaja i osedranje u hidrosustavu Plitvičkih jezera pokazala su kako povišene koncentracije nitrata i fosfata dovode do jačeg razvoja autotrofnog perifitonskog matriksa i promjena u bioraznolikosti mikrofaune.

Modificirane podloge rijetko su se koristile za istraživanja utjecaja otpuštajućih hranjivih soli na zoobentos. U istraživanju autora Kiffney i Richardson (2001) koristile su se keramičke pločice obogaćene dodatkom N i P te se pratio odgovor perifitona i herbivornog zoobentosa. Hart i Robinson (1990) pratili su utjecaj dodatka fosfora na perifiton i strugače. U laboratorijskim uvjetima na vodi i sedimentu iz mezotrofnog jezera, autori Tokinova i sur. (2012) proveli su istraživanje utjecaja dodatka hranjivih soli na zoobentos. Pri određenim koncentracijama dušika i fosfora došlo je do smanjenja broja maločetinaša (*Oligochaeta*), dok je pri većim koncentracijama došlo do smrti organizama, te nakon toga do djelomičnog oporavka zajednice zoobentosa. U biotopu koji je sadržavao makrovegetaciju (*Typha*

*angustifolia* L.) porasla je biomasa i broj maločetinaša te je tako negativan učinak hranjivih soli izostao.

Istraživači su tražili odgovarajuću metodologiju koju bi mogli koristiti u kreiranju modificiranih podloga, a pojedine podloge pokazale su se i neodgovarajuće za praćenje otpuštanja hranjivih soli. Autori Brown i sur. (2001) utvrdili su kroz svoje istraživanje kako je otpuštanje fosfora kroz glinene tanjuriće u niskim koncentracijama i ne kontinuirano, dok korištenje takvih podloga ujedno pokazuje nedosljednost u ponavljanim serijama (replikatima) i uspoređivanju sličnih istraživanja zbog korištenja tanjurića različitog sastava i proizvođača. Također, zabilježeno je često vezanje fosfora uz druge elemente prisutne u glini.

## **2.8. Pregled istraženosti Plitvičkih jezera**

Prema autoru Franiću (1910), prvi zapisi o Plitvičkim jezerima zabilježeni su na kartografskim prikazima iz druge polovice 16. stoljeća od autora Mercatora i tom prilikom su ucrtana kao jedno jezero, no nisu imenovana. Stjepan Glavač, isusovac, u svojoj karti iz 1673. godine imenuje jezera kao „*Jezera*“. Kroz 17. stoljeće polako se počinju na drugim kartama ucrtavati Plitvička jezera, ali i dalje kao jedno jezero s pojedinim pritokama (Plitvica, Rječica). Početkom 18. stoljeća nakon protjerivanja Osmanlija preko Plješivice, pojavljuje se prvi vjerniji kartografski prikaz Plitvičkih jezera s ucrtanih pet gornjih i pet manjih donjih jezera te su ujedno zapisana imena pojedinih jezera (Proschie Jezero, Cchigino, Gallovacz itd.). Dominik Vukasović, otočki župnik 1777. godine zapisuje u svoju kartu „*Plitvicza*“ jezera i tako se prvi puta naziv Plitvička počinje stvarati i vezati za jezera kakva danas znamo. U prvoj polovini 19. stoljeća započinju prva posjećivanja jezera i to od strane Austro-ugarske aristokracije te ujedno tadašnji posjetitelji donose detaljne opise jezera uz obilje subjektivnih dojmova o slapovima i krajobrazu.

Franić (1910) navodi kako je prvi znanstveni opis Plitvičkih jezera objavljen 1858. godine autora L. Vukotinića. Prvi limnološki rad smatra se onaj majora Franz Bacha koji 1850. godine mjeri dubinu Plitvičkih jezera, a prvi geološki prikaz jezera autora Josipa Saucha iste godine. Dragutin pl. Šoštarić 1888. godine objavljuje „Prilog poznavanju faune slatkovodnih korepnjaka Hrvatske“ u kojem opisuje nalaz planktonskog račića *Daphnia plitvicensis* Sosteric, 1888.

Sveučilišni profesor Gustav Janeček uz razne istomišljenike osnovao je u Zagrebu 1893. godine Društvo za uređenje i poljepšanje Plitvičkih jezera i okolice koje je osnovano s ciljem i ...“da se trajno očuvaju krasote Jezera i okolice, da se prouče prirodne prilike toga kraja (geološke prilike, klima i hidrografija, flora i fauna...” (Franić, 1910).

Naposljetku, i sam autor Franić (1910) iznosi svoja razmišljanja o postanku Plitvičkih jezera i obrađuje tada dostupne podatke i zaključke pojedinih autora poput Gavazzija (o genezi Plitvičkih jezera), Cara (geologiji), Tućana (sastav vapnenca kod Crne rijeke), Janečeka (analiza vode Prošćanskog jezera, Kozjaka, Milanovca iz 1909. godine), Hranilovića (nastajanje kaskada), Setinskog (hidrologija), te mnogih drugih.

Znanstveni interes za Plitvička jezera u prvoj polovini 20. stoljeća posebno pokazuje akademik Ivo Pevalek, koji 1920. godine iznosi znanstveno izvješće u kojem ističe potrebu zaštite prirode Plitvičkih jezera upravo zbog karakterističnih geomorfoloških oblika sedre koji su uskoj vezi s mahovinama i algama (Pevalek-Kozlina, 2011). Plitvička jezera su i upravo zalaganjem akademika Pevaleka 1928. godine zaštićena na jednu financijsku godinu kao nacionalni park. No, tek 1949. godine u listopadu, Plitvička jezera službeno su proglašena nacionalnim parkom, te su tako postala najstarije zaštićeno područje u Republici Hrvatskoj.

Pevalek (1958) iznosi zapažanja o biogenom taloženju vapnenca, o biološkim tipovima sedre koju dijeli na kratoneuronsku sedru (od mahovine *Cratoneuron commutatum* (Hedw.) Roth) i briumsku sedru (*Bryum pseudotriquetrum* (Hedw.) P. Gaertn.), te o morfološkim oblicima sedre poput zastora, žljebova, cijevi itd. Pevalek također napominje važnost osnivanja stanice za rad istraživača, što je u konačnici i osigurano od 60-ih godina prošlog stoljeća i nastavljeno u vidu otvaranja Znanstveno-stručnog centra dr. Ivo Pevalek 2003. godine.

Prva multidisciplinarna istraživanja na području limnologije počinju od 1951. godine. Petrik (1958) istražuje hidrologiju i određuje dubine jezera, Emili (1958) iznosi biološka istraživanja zooplanktona i fitoplanktona te prva istraživanja koliformnih bakterija u jezerima, Iveković (1958) istražuje kemijski sastav odnosno fizikalno-kemijske pokazatelje u vodotocima i jezerima te su aktivni i mnogi drugi istraživači koji proučavaju razna staništa Plitvičkih jezera. Ispitivanje dijela izvorišnog područja nacionalnog parka kojeg čine izvori Bijele i Crne rijeke započelo je također 50-ih godina 20. stoljeća. Tada su provedena prva bakteriološka i kemijska ispitivanja kakvoće vode s metodama koje su u ono vrijeme bile dostupne kao i pregled životnih zajednica (Kostić-Brnek i Brnek-Kostić, 1965; Matoničkin i Pavletić, 1965;

Emili, 1965). Ujedno, pristupilo se determinaciji algi na području slapova Plitvičkih jezera (Marčenko, 1960).

Znanstvena istraživanja iz slatkovodne ekologije Plitvičkih jezera nastavljena su 60-ih godina prošlog stoljeća. Autori Matoničkin i sur. (1971) donose spoznaje o reikotopnim staništima razlikujući pri tome reikotopna staništa izvorišnog područja bez osedavanja ili sa slabim osedavanjem i područja voda tekućica na sedrenim tvorevinama. Isti autori iznose popise svojti različitih skupina od algi, praživotinja do ličinaka kukaca s različitih lokaliteta od izvorišta do jezera i rijeke Korane. Autori Kostić-Brnek i Brnek Kostić (1971) donose pregled dijela hironomidne faune Plitvičkih jezera koju su istraživali 1959. godine i tom prilikom sakupili 1000 uzoraka bentosa.

Tijekom 70-ih godina u nacionalnom parku intenzivno se radilo na daljnjem razvijanju znanstvene aktivnosti te nakon otvaranja znanstvene stanice „Ivo Pevalek“ 1971. godine s opremljenim laboratorijima, 1978. godine pokreće se program istraživanja Plitvičkih jezera odnosno Plitvički istraživački projekt. Kroz projekt su se obrađivale teme poput hidrogeoloških, hidrokemijskih i hidrološko-sanitarnih istraživanja, problem populacije riječnog raka, alge kao dio plitvičke vodne flore, limnološka istraživanja, intersticijalna fauna u sedri, geomehanička svojstva sedrenih oblika te mnoga druga istraživanja koja nisu uključivala samo vodni ekosustav već i travnjake, šume, tlo i inventarizacije biljnog i životinjskog svijeta (Brnek Kostić i Krga, 1978). Detaljan geološki pregled Plitvičkih jezera donosi autor Polšak (1974) uz opis hidrogeoloških spoznaja o propusnosti područja. Autor Stoffers (1975) opisuje recentne karbonatne naslage (sedru) Plitvičkih jezera.

Godinu dana od pokretanja Plitvičkog istraživačkog projekta, Nacionalni park Plitvička jezera uvršten je 1979. godine na Listu svjetske baštine UNESCO-a zbog svojih iznimnih univerzalnih vrijednosti prema tri kriterija (vii, viii i ix):

- sadrži prirodni fenomen ili područja od iznimne prirodne ljepote i estetske važnost (vii),
- sadrži iznimne primjere koji predstavljaju glavne faze zemljine povijesti u smislu značajnih geoloških procesa ili značajnih geomorfnih ili fiziografskih oblika (viii),
- sadrži značajne neprekidne ekološke i biološke procese u evoluciji i razvoju kopnenih i slatkovodnih ekosustava i zajednice biljaka i životinja (ix) (Galland i sur., 2016).

Gotova sva važnija istraživanja Plitvičkih jezera u drugoj polovici 20. stoljeća započinju 80-ih godina. Velika pažnja posvećuje se istraživanjima procesa sedrenja i doprinos tima istraživača s Instituta Ruđer Bošković iznimno je vrijedan za to razdoblje. Autori Srdoč i sur. (1985) donose jasne zaključke koji su uvjeti potrebni da bi se proces sedrenja odvijao u vodotocima odnosno u jezerima nacionalnog parka. Ističu tri glavna kemijska svojstva vode koja moraju biti zastupljena:

- prezasićenost kalcijevim karbonatom treba biti iznad 3 (indeks zasićenja od 5 do 7),
- pH-vrijednost vode iznad 8,0 i
- koncentracija otopljene organske tvari treba biti niža od 10 mg L<sup>-1</sup> ugljika.

Isti autori ujedno su prvi ispitivali starost sedrenih barijera pomoću izotopa ugljika <sup>14</sup>C (do 40 000 godina starosti) i izotopima <sup>230</sup>Th/<sup>234</sup>U (do 400 000 godina starosti) te putem izotopa kisika <sup>18</sup>O određivane su klimatske prilike u kojima je sedra nastajala. Istraživanja starosti sedrenih naslaga nastavila su se i kasnijim radom Horvatinčić i Srdoč (1990-91), te Horvatinčić i Čalić (2000), dok vrijedan doprinos razumijevanju taloženja i stvaranja sedrenih naslaga donose autori Chafetz i sur. (1994). U radovima autora Kempe i sur. (1985) i Emeis i sur. (1987) nastojao se objasniti proces taloženja kalcijevog karbonata posebno sa stajališta promatranja kemijskog i biološkog dijela sedrenja uz detaljne kemijske analize vode (prethodno opisano u poglavlju 2.2). Dešković i sur. (1981) donose rezultate hidrokemijskih i hidroloških istraživanja s posebnim osvrtom na tadašnje provedeno trasiranje podzemnih vodnih tokova kojim je utvrđeno slivno područje Crne rijeke. Nastavno na istraživanja procesa sedrenja, veliku važnost zauzela su tada biološka istraživanja: botanička istraživanja makrofita jezera (Blaženčić i Blaženčić, 1990-91; 1992), istraživanja kakvoće voda s obzirom na mikrobiologiju (koliformne bakterije i druge indikatore fekalnog onečišćenja) (Stilinović i Futač, 1985; 1989), istraživanja sastava obraštaja algi u sustavu Plitvičkih jezera na mikroskopskim stakalcima ostavljenima u vodi između 30 i 90 dana, tijekom kojega je zabilježeno 191 svojta algi među kojima su alge kremenjašice imale uglavnom kvalitativnu i kvantitativnu zastupljenost (Plenković-Moraj i Stilinović, 1998), te u konačnici detaljna istraživanja stupnja trofije velikih jezera Kozjak i Prošćansko zajedno s ispitivanjima bioloških, mikrobioloških i kemijskih pokazatelja na svim vodotocima i lotičkim biotopima Plitvičkih jezera (Habdija i sur., 1986; 1987; 1989; 1990-91; Habdija 1988, Primc i sur., 1984).



Upravo je 80-ih godina na temelju tadašnjih istraživanja razmatran i vrlo često spominjan proces eutrofikacije Plitvičkih jezera, a za jezero Kozjak utvrđen je trend prelaska iz oligotrofno u mezotrofno stanje (Habdija i sur., 1986). Tadašnji problem nesređenog kanalizacijskog sustava uz jezera, intenzivno stočarstvo uz vodotok Bijele rijeke, mogućnost kupanja u jezerima i porast posjećenosti, doveli su do intenzivnijeg antropogenog utjecaja na području vodotoka i jezera. Uočene su promjene kvalitativnog i kvantitativnog sastava fitoplanktona te je u jezeru Kozjak zabilježena prisutnost svojiti koje upućuju na eutrofikacijske procese (Maloseja, 1985).

Nakon okupacije Nacionalnog parka Plitvička jezera, oslobođenja i završetka Domovinskog rata, ponovno se uspostavlja uprava i vraćaju se aktivnosti u zaštićeno područje. Otvaraju se mogućnosti za provođenje znanstvenih istraživanja s ciljem utvrđivanja situacije nakon dugotrajnog znanstvenog odmaka. Provođe se istraživanja bentičkih makrobekralješnjaka i organske tvari s ciljem utvrđivanja funkcionalnih hranidbenih skupina na sedrenim barijerama (Habdija i sur., 2000), istraživanje utjecaja brzine strujanja vode i zadržavanja čestica različitih veličinskih frakcija u staništu mahovina na makrobekralješnjake (Habdija i sur., 2004), postavljanje stakalaca u vodu kako bi se pratilo naseljavanje perifitona pri čemu se opisala nova slatkovodna vrsta Ciliophora (Primc-Habdija i Matoničkin, 2005) te se na isti način pratila stopa osedranja ovisno o godišnjim dobima i brzini strujanja vode (Matoničkin Kepčija i sur., 2005).

Početkom 2000. godine pokrenuta su ponovno razna istraživanja koja su uključivala mnoge teme ne samo vezane za slatkovodni ekosustav već i za druga staništa te ujedno razne inventarizacije biljnog i životinjskog svijeta. Nacionalni park upravo je tada pokretao proces donošenja dokumenta Plana upravljanja koji je bio nužan za razvijanje odgovornog i sustavnog upravljanja Plitvičkim jezerima. Plan upravljanja usvojen je 2007. godine. Upravo 2001. godine pokreću se dva projekta s ciljem utvrđivanja stope osedranja na sedrenim barijerama (Habdija i sur. 2005) i drugi s detaljnim biološko-ekološkim istraživanjima akvatorija (Kerovec i sur. 2007). Oba projekta doprinijela su značajnoj istraženosti vodnog ekosustava Plitvičkih jezera s obzirom na razumijevanje procesa osedranja, razvoja perifitona, zadržavanja čestica detritusa, pronosa sestona, brojnost i sastav makro faune sedrenih barijera te detaljno opisivanje funkcionalnih organizacija zajednica bekralješnjaka izvorišta, vodotoka i jezera.

Također, ponovno se pokrenulo izdavanje Plitvičkog biltena, časopisa koji je prijašnjih godina uvrstio raznovrsna istraživanja s pregledom tadašnje znanstvene aktivnosti u nacionalnom parku. Autori Stilinović i sur. (2004) zaključuju kako je kakvoća vode po pitanju mikrobioloških pokazatelja poboljšana (I vrste) u odnosu na razdoblje do 1990. godine (II-III vrste). S obzirom na daljnja promišljanja o procesu eutrofikacije, od 2001. – 2004. godine pristupilo se uklanjanju makrovegetacije s pojedinih sedrenih barijera i vodotoka. S barijere Novakovića brod močvarni ljutak očišćen je s područja od 150 m<sup>2</sup>, a vrba s 1000 m<sup>2</sup> (Pavlus i Novosel, 2004). S obzirom da se istovremeno provodilo biološko istraživanje, autori Miliša i sur. (2006b) opisali su utjecaj uklanjanja makrovegetacije na brzinu strujanja vode, stopu osedranja i zajednicu makrobeskralješnjaka na barijeri Novakovića brod.

U daljnjim istraživanjima autori Habdija i sur. (2005) zaključuju kako lotički biotopi u opskrbnim vodama i na sedrenim barijerama s obzirom na prostorni raspored i sezonske promjene u koncentraciji hranjivih soli imaju oligotrofna obilježja. Sedrene naslage promatraju se s obzirom na mineraloški sastav te geokemiju (Frančišković-Bilinski i sur., 2004) dok autori Mikac i sur. (2011) donose rezultate višegodišnjeg istraživanja sedimenta jezera Kozjak i Prošćansko s obzirom na metale u tragovima, anorganske spojeve i spojeve iz deterdženata. Isti autori zaključuju kako sediment sadrži povišene koncentracije spojeva iz deterdženata, vjerojatno zbog propuštanja kanalizacijskog sustava. Kanalizacijski sustav u konačnici je obnovljen 2004. godine. Istraživanje stabilnih izotopa <sup>2</sup>H, <sup>18</sup>O i <sup>3</sup>H kao dio EU projekta koji je obuhvatio područje Bihačke regije i Nacionalni park Plitvička jezera s ciljem ispitivanja antropogenog utjecaja na vodni ekosustav nakon ratnih zbivanja na ovom području, potvrdilo je povezanost površinske i podzemne vode. Tako su sezonske varijacije izotopa utvrdile kako je srednje vrijeme zadržavanja vode za glavninu plitvičkih izvora kraće od 5 godina (Babinka i sur., 2007).

Istraživanja vodnog ekosustava obuhvatila su također i praćenje stabilnog izotopa ugljika u otopljenom anorganskom ugljiku (eng. *dissolved inorganic carbon* - DIC) s ciljem razumijevanja procesa taloženja kalcita (Barešić i sur., 2011), praćenje teških metala u vodi, sedimentu i ribama (Vukosav i sur., 2013), dok od bioloških istraživanja mogu se izdvojiti ona vezana za makrozoobentos odnosno skupinu Simuliidae (Ivković i sur., 2012), muhe plesačice (Ivković i sur., 2012), faunu vodencvjetova (Vilenica i sur., 2014), obalčara (Popijač i Sivec, 2009) te tulara (Previšić i sur., 2010; Šemnički i sur., 2012), zatim utjecaj brzine strujanja vode na raspadanje listinca (Belančić i sur., 2009; Miliša i sur., 2006a) te istraživanje sezonskih i prostornih promjena drifta (Sertić Perić i sur., 2010).

Na području hidrogeoloških i hidroloških istraživanja 2005. godine pokrenut je projekt koji je uz hidrokemijske analize voda svih glavnih vodotoka i jezera, donio vrlo vrijedne podatke o hidrogeološkim karakteristikama cjelokupnog slivnog područja, ali i istaknuo lokacije na kojima se gube velike količine vode otjecanjem (potok Plitvica) (Biondić i sur., 2010). Hidrološka istraživanja protoka i vodostaja vodnog ekosustava Plitvičkih jezera posebno su praćena i opisana u radovima autora Rubinić i sur. (2008), Rubinić i Zwicker (2011) te Brozinčević i sur. (2013) dok se kasnije uz temu protoka vežu i usporedbe s fizikalno-kemijskim i mikrobiološkim pokazateljima (Katalinić i sur., 2008; Vurnek i sur., 2010).

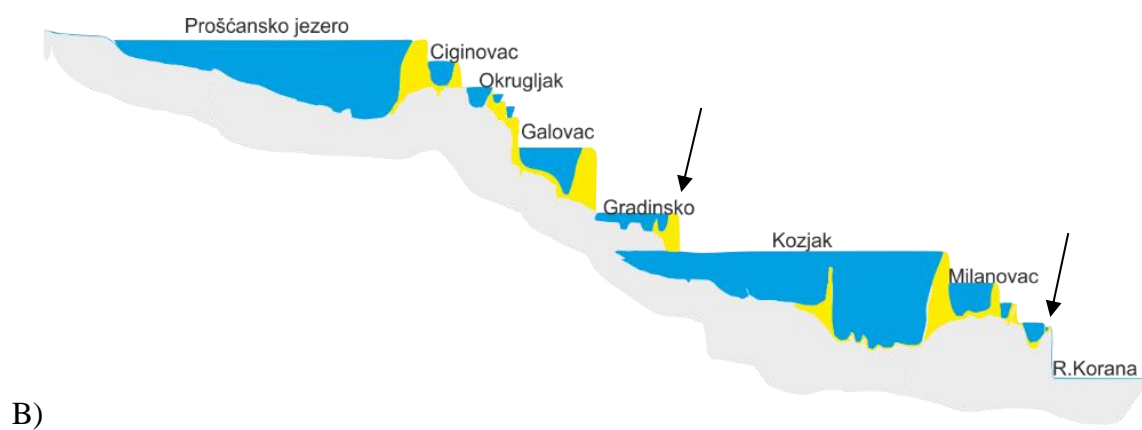
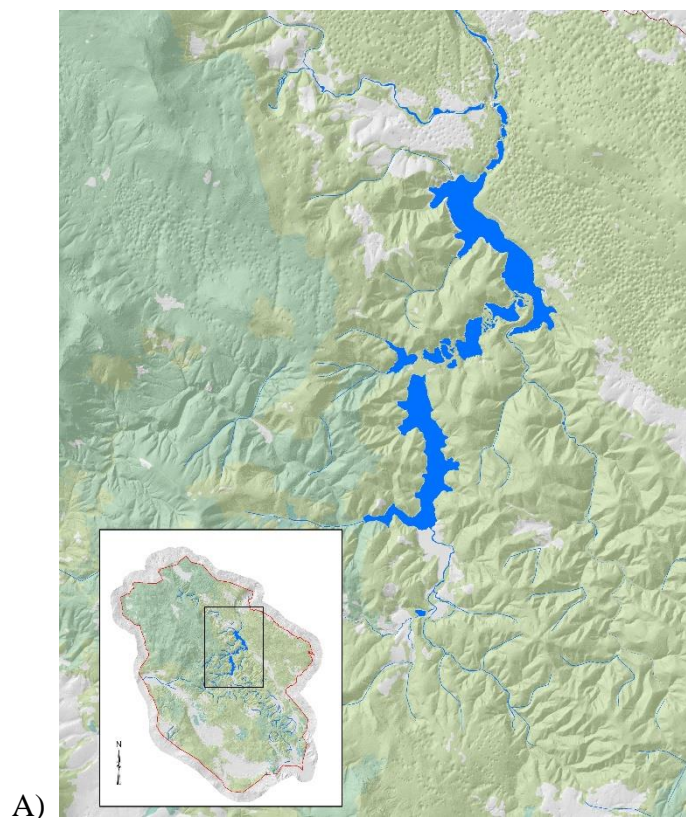
Novija istraživanja pokrenuta kroz projekt praćenja funkcionalne organizacije planktonske zajednice jezera Kozjak i Prošćansko, utvrdila su njihovo vrlo dobro stanje te oligotrofiju (Habdija i sur., 2011). Usporedba rezultata analiza hranjivih soli iz 80-tih godina i mjerenja posljednjih šest godina za jezero Kozjak koja provode djelatnici NP Plitvička jezera, ukazuje na smanjenje koncentracije ortofosfata odnosno da su praćeni pokazatelji hranjivih soli najčešće ispod granica detekcije metode (Brozinčević i sur., 2013). Recentno objavljeni rezultati istraživanja bakterija indikatora fekalnog onečišćenja ističu lokaciju Bijele rijeke poslije naselja Plitvički Ljeskovac kao najopterećeniji dio vodotoka Plitvičkih jezera (Vurnek i sur., 2016). Autori Alegro i sur. (2014) donose detaljan pregled flore mahovina utvrdivši tako na Plitvičkim jezerima dvije nove vrste mahovina za floru Hrvatske. Noviji rad autora Sironić i sur. (2017) donosi zapažanja u vezi promjena geokemijskih pokazatelja tijekom tri desetljeća sa zaključcima kako je došlo do porasta temperature vode za 1,5°C u jezerima te povećanja koncentracije  $\text{Ca}^{2+}$  i  $\text{HCO}_3^-$ . Istraživanjem fitobentosa sedrenih barijera Plitvičkih jezera utvrdila se 161 svojta bentičkih algi, pri čemu brojem svojti dominiraju alge kremenjašice (107 svojti), a slijede ih cijanobakterije (57 svojti). Također je utvrđena velika brojnost algi koje biogenim procesima ugrađuju karbonate poput *Rivularia haematites* C.Agardh ex Bornet & Flahault, 1886 i *Oocardium stratum* Nägeli (Stanković i sur., 2017).

### 3. MATERIJAL I METODE

#### 3.1. Opis istraživanja

Istraživanje u sklopu ove doktorske disertacije provedeno je u Nacionalnom parku Plitvička jezera koji je smješten u središnjem dijelu Dinarskog krša. Sustav od 16 većih i manjih jezera podijeljenih na Gornja (12) i Donja (4) jezera ima ukupni volumen vode od 22,95 milijuna m<sup>3</sup> (Babinka, 2007). Jezera su odijeljena sedrenim barijerama i kaskadno poredana spuštajući se od 636 m n. v. do 503 m n. v. Vodni ekosustav nacionalnog parka počinje izvorima Bijele i Crne rijeke koje se zajedno spajaju u blizini naselja Plitvički Ljeskovac u rijeku Maticu. Rijeka Matica zatim utječe u Prošćansko jezero kojim započinje sustav Gornjih jezera. Gornja jezera smještena su na geološkoj podlozi dolomita iz razdoblja Trijasa i završavaju jezerom Kozjak kao najvećim (0,83 km<sup>2</sup>) i najdubljim jezerom sustava (oko 46 m). Nakon jezera Kozjak slijede četiri Donja jezera usječena u kanjon vapnenaca i smještena na geološkoj podlozi iz razdoblja Krede. U kanjon Donjih jezera dotječe potok Plitvica preko 76 m visoke vapnene i osedrene stijene Veliki slap te zajedno s vodama Donjih jezera i ispod slapova Sastavaka nastaje rijeka Korana (Meštrović i sur., 1998).

Istraživanje eksperimentalne eutrofikacije provedeno je na izlaznoj sedrenoj barijeri Gradinskog jezera (GJ, u sustavu Gornjih jezera) te na sedrenoj barijeri između jezera Kaluđerovac i Novakovića brod (NB, u sustavu Donjih jezera) (slika 9). Odabrane lokacije predstavljaju lotičke dijelove vodnog ekosustava. Na svakoj od navedene dvije glavne lokacije odabrano je po 6 mikrostaništa odnosno po tri mikrostaništa na čistoj sedrenoj barijeri (NB-sedra; GJ-sedra) i po tri među makrovegetacijom (NB-makrov; GJ-makrov) (tablica 2). Makrofiti koji obrastaju sedrene barijere uglavnom čine biljke poput vrbe (*Salix* spp.) i močvarnog ljutka (*Cladium mariscus* (L.) Pohl.) te lopuha (*Petasites* spp.) i trske (*Phragmites* sp.). Ploče su postavljene u vodu u svakom godišnjem dobu na ista mikrostaništa i položene na način da je strujanje vode u smjeru niza istih podloga, odnosno da se spriječi eventualni utjecaj obogaćenih podloga na kontrolne, tj. jednih na druge. U svakom godišnjem dobu bilo je postavljeno po 6 ploča na svakoj barijeri i ostavljeno u vodi 6 tjedana. Odabir svakog mikrostaništa proveden je uz mjerenje brzine strujanja vode (Model 3000, Swofer Instruments, Seattle, USA) i s ciljem kako oscilacije u brzini strujanja ne bi bile velike (između 12,3 i 20,5 cm s<sup>-1</sup>) što je izmjereno prilikom prvog odabira mikrostaništa u siječnju 2015. godine. Brzina strujanja je izmjerena postavljanjem mjernog krilca na rub ploče, otprilike 10-tak cm od dna.



Slika 9. Karta Nacionalnog parka Plitvička jezera s detaljem vodnog ekosustava pritoka i jezera (A) i detalj kaskadnog sustav s označenim lokacijama na kojima se provodilo istraživanje (B)

Tablica 2. Popis lokacija, mikrolokacija i mikrostaništa s koordinatama na kojima je provedeno uzorkovanje

LOKACIJA	MIKROLOKACIJA	MIKROSTANIŠTE	KOORDINATE
<b>NOVAKOVIĆA BROD</b>	NB-sedra	A	15°36'35,633"E 44°54'6,442"N
	NB-sedra	B	15°36'35,452"E 44°54'6,649"N
	NB-sedra	C	15°36'35,521"E 44°54'6,919"N
	NB-makrov	D	15°36'38,055"E 44°54'7,96"N
	NB-makrov	E	15°36'37,339"E 44°54'7,989"N
	NB-makrov	F	15°36'38,445"E 44°54'8,019"N
<b>GRADINSKO JEZERO</b>	GJ-sedra	G	15°36'47,803"E 44°52'46,472"N
	GJ-sedra	H	15°36'48,164"E 44°52'46,469"N
	GJ-sedra	I	15°36'48,496"E 44°52'46,458"N
	GJ-makrov	J	15°36'48,69"E 44°52'46,057"N
	GJ-makrov	K	15°36'48,973"E 44°52'46,11"N
	GJ-makrov	L	15°36'49,208"E 44°52'46,262"N

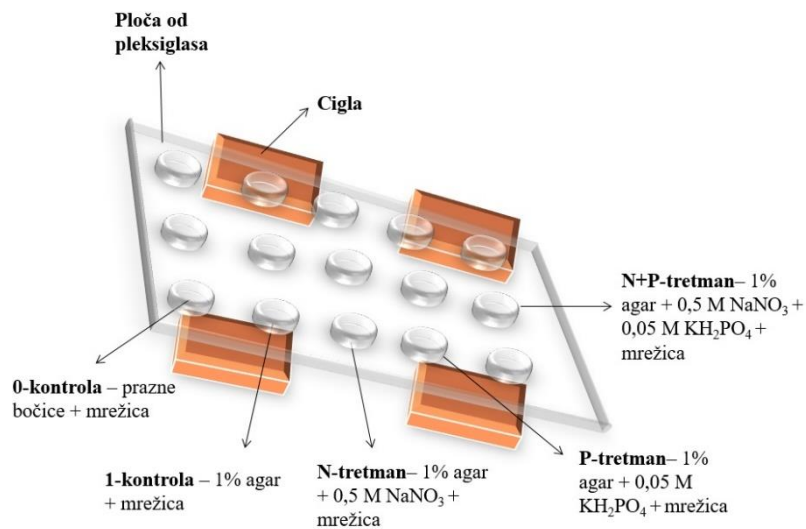
Terenska istraživanja provedena su tijekom 2015. godine s ciljem uključivanja reprezentativnih uzoraka za sva četiri godišnja doba (zima, proljeće, ljeto i jesen), a terenski rad započeo je u veljači 2015. godine s postavljanjem prvih ploča za zimsko uzorkovanje. Također, na polovini ekspozicije podloga mjereni su fizikalno-kemijski pokazatelji kako bi se dobio kvalitetniji niz podataka. Za zimsku seriju, mjerenje je provedeno i u prosincu 2015. godine (tablica 3).

Tablica 3. Datumi postavljanja i podizanja ploča te dodatnog mjerenja fizikalno-kemijskih pokazatelja

GODIŠNJE DOBA	POSTAVLJANJE/PODIZANJE	DODATNO MJERENJE
<b>ZIMA</b>	03.02.2015./17.03.2015.	10.12.2015.
<b>PROLJEĆE</b>	21.04.2015./02.06.2015.	14.05.2015.
<b>LJETO</b>	28.07.2015./09.09.2015.	20.08.2015.
<b>JESEN</b>	6.10.2015./17.11.2015.	29.10.2015.

### 3.2. Dizajn eksperimenta

Kroz otvore u pločama od pleksiglasa postavljene su plastične posudice od 120 mL, na čiji se otvor postavila plastična mrežica i učvrstila čepom. Ploča od pleksiglasa predstavlja nosač za ukupno 5 tretmana: 0-kontrola (bez agara), 1-kontrola (agar), N-tretman (0,5 M  $\text{NaNO}_3$ ), P-tretman (0,05 M  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) i N+P-tretman (0,5 M  $\text{NaNO}_3$  + 0,05 M  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ). Radi stabilnosti, ploče su dodatno opterećene ciglama (slike 10., 11. i 12).



Slika 10. Prikaz pleksiglas ploče učvršćene ciglama i s otvorima za posudice. Sljedovi tretmana po jednoj ploči (0-kontrola, 1-kontrola, N-tretman, P-tretman i N+P-tretman)



Slika 11. Ploča s pripremljenim posudicama za prvo postavljanje u veljači 2015. g.



Slika 12. Ploča u vodi na lokaciji Novakovića brod-sedrena barijera

Prema literaturnim podacima, NDS podloge mogu se pripremiti prema protokolu Gibeau i Miller (1989) i Biggs i Kilroy (2000), korištenjem 2% bakteriološkog agara. Potom se za N-podloge priprema otopina 0,5 M  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (Sanderson i sur., 2009) ili otopina 0,5 M  $\text{NaNO}_3$  (Matoničkin Kepčija i sur., 2011) odnosno 0,5 M  $\text{KNO}_3$  (Bernhardt i Likens, 2004). Za P-podloge koristi se otopina 0,5 M  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (Tank i Dodds, 2003; Sanderson i sur., 2009) ili otopina 0,05 M  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  (Matoničkin Kepčija i sur., 2011) odnosno 0,1 M  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  (Higley i sur., 2001). Većina navedenih istraživanja s NDS-om uglavnom su provedena u plastičnim posudama ili na podlogama od gline (glinenim tanjurićima, kao u radu autora Brown i sur., 2001).

Podloge u ovom istraživanju pripremljene su s 1% bakteriološkim agarom (Bios Special II, Biolife, Italija) na način da se 10 g agara otopi uz kuhanje u 1000 mL destilirane vode. Takav čisti 1% agar bez dodataka kemikalija predstavlja 1-kontrolu. Za pripremu N-tretmana korištena je 0,5 M otopina  $\text{NaNO}_3$  kao i u istraživanju Matoničkin Kepčija i sur. (2011). Podloga je pripremljena na način da se 42,5 g  $\text{NaNO}_3$  (BDH Prolabo, Velika Britanija) dodalo u 1000 mL 1% agara i kuhalo dok se kemikalija ne otopi i dok pripremljena podloga ne zakuha. Zatim se tako pripremljena podloga izlivala u plastične posudice. P-tretman pripremljen je dodavanjem 19 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (BDH Prolabo, Velika Britanija) u 1000 mL 1% agara i to je ujedno bila 0,05 M otopina. N+P-tretman pripremljen je na način da se po 42,5 g  $\text{NaNO}_3$  i 19 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  dodalo u 1000 mL 1% agara te dalje pripremila kako je prethodno navedeno.

Sve pripremljene podloge izlile su se u posudice zapremnine od oko 120 mL do samog ruba. Ukupno je s pripremljenim podlogama po sezoni napunjeno 144 posudice, dok je 36 posudica ostalo prazno predstavljajući 0-kontrolu. Zatim se preko ruba posudice rastezala plastična



mrežica i pričvrstila izrezanim čepom tako da gornja površina mrežice ostane u kontaktu s vodom kada se ploče postave na mikrostaništa (slika 13). Raspored podloga omogućio je dovoljan broj replikata što znači da je na svakom mikrostaništu (tablica 2.) bila po jedna ploča s po tri replikata za pojedinu kontrolu odnosno tretman te se na taj način izbjegla opasnost od pseudoreplikacije.



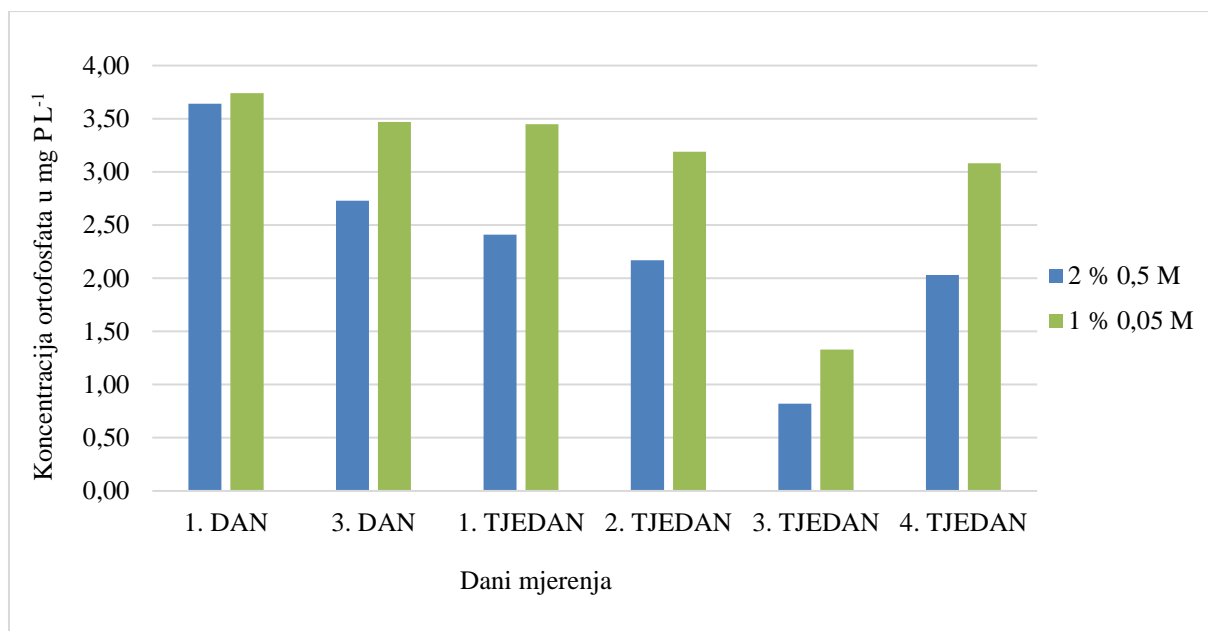
Slika 13. Primjer pripremljene posudice s razvučenom mrežicom pričvršćenom čepom

### 3.3. Test difuzije

Za razliku od prethodno spomenutih istraživanja u ovom radu koristio se 1% agar. Prethodno je proveden *in vitro* test difuzije ortofosfata iz 2% i 1% agara u lipnju i srpnju 2014. godine. Agar za P-tretman pripremljen je na prethodno opisani način, ali u dvije koncentracije: 2% agar s 0,5 M  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  i 1% agar s 0,05 M  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . U po jednu Erlenmeyer tikvicu izliveno je po 100 mL P-podloge. Nakon stvrdnjavanja agara, polagano je uz stijenke tikvice dodano oko 250 mL deionizirane vode (iz uređaja NIRO VV-Atlantic). Prvi test difuzije proveden je nakon dva sata od pripreme na način da se 25 mL deionizirane vode iz tikvice s P-podlogom prelilo u cilindar, te je uslijedila analiza određivanja koncentracije ortofosfata. Tikvice s podlogama su se zatim prekrile parafilmom (Parafilm M, Pechaney Plastic Packing, Chicago, USA) i vratile u hladnjak. Drugi test je uslijedio nakon 48 sati (dva dana) te zatim jednom tjedno do ukupno četiri tjedna od prve pripreme podloga.

Prema grafičkom prikazu može se uočiti kako je test difuzije za 2% agar s 0,5 M  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  ukazao na značajna smanjena koncentracije ortofosfata u uzorku dok je 1% agar s 0,05 M  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  ukazao na ujednačeno otpuštanje ortofosfata u uzorku vode tijekom nekoliko tjedana (slika 14). Razlika između mjerenja koncentracije ortofosfata u uzorcima između trećeg i

četvrtog tjedna je vrlo velika, i vjerojatno je posljedica početka raspadanja agara iz kojega se onda oslobađaju veće koncentracije ortofosfata te tako dopijevaju u uzorak.



Slika 14. Koncentracije ortofosfata u uzorku vode izmjerene nakon provedenog testa difuzije *in vitro* u određenim vremenskim razmacima

### 3.4. Kemijske analize

Prije svakog spuštanja ploča u vodu na početku provedbe eksperimenta, na polovini ekspozicije te nakon podizanja ploča iz vode (poslije 6 tjedna) na pojedinoj mikrolokaciji (sedra i makrovegetacija) digitalnim terenskim multimetrom (WTW - Wissenschaftlich-Technische Werkstätten, Njemačka) izmjereni su temperatura vode, pH-vrijednost i električna vodljivost. Uzorci vode za laboratorijsko određivanje uzeti su prilikom spuštanja i podizanja ploča te je određena koncentracija otopljenog kisika, ukupna tvrdoća, ortofosfati, nitrati, ukupni fosfor (TP) i ukupni dušik (TN). Za određivanje koncentracije otopljenog kisika, ukupne tvrdoće, nitrata i ortofosfata koristile su se standardne analitičke metode (APHA, AWWA i WEF 2005) koje su uključivale:

- jodometrijsku metodu po Winkler-u za titraciju s 0,05 M otopinom natrijevog tiosulfata sa škrobom kao indikatorom (otopljeni kisik),
- titraciju uzorka s 0,01 mol L<sup>-1</sup> EDTA uz dodatak lužnatog amonijevog pufera i indikatora (ukupna tvrdoća),

- spektrofotometrijsku analizu uzorka pri valnoj duljini od 220 nm i 275 nm uz reagens 1 N HCl (nitrati),
- spektrofotometrijsku analizu uzorka pri valnoj duljini od 690 nm uz dodatak amonijevog molibdata i kositar klorida (ortofosfati).

Ukupni fosfor (TP) i ukupni dušik (TN) određeni su dvjema standardnim modificiranim metodama prema Hachu s testnim kivetama. Do srpnja 2015. godine ukupni dušik mjeren je pomoću TNT Total Nitrogen testa (Hach Lange GMBH, Njemačka), a ukupni fosfor s TNT Total Phosphorus testom (Hach Lange GMBH, Njemačka) na spektrofotometru DR 4000 (Hach, Njemačka). U srpnju, zbog nabave novog spektrofotometra DR 6000 (Hach Lange GMBH, Njemačka), ukupni dušik određivan je s testnim kivetama LCK 138 Laton, Total Nitrogen (Hach Lange GMBH, Njemačka), a ukupni fosfor s LCK 349 Phosphat (Hach Lange GMBH, Njemačka).

Granice detekcije metode kretale su se od 0,1 – 1,5 mg N L<sup>-1</sup> za koncentraciju nitrata, 0,01 – 0,5 mg P L<sup>-1</sup> za koncentraciju ortofosfata, 1 – 16 mg TN L<sup>-1</sup> za koncentraciju ukupnog dušika i 0,05 – 1,50 mg TP za koncentraciju ukupnog fosfora.

Nakon svakog sezonskog podizanja ploča, pratila se *in vitro* difuzija nitrata i ortofosfata iz agara koji je u vodi proveo po 6 tjedana. Sa po dvije ploče s pojedinog mikrostaništa uzeta su po dva replikata agara iz posudica s N, P i N+P-tretmanom (ukupno 24 uzorka za kemijsku analizu). Agar je prenesen u označene tikvice (mikrolokacija/tretman) i polagano uz stjenke Erlenmeyer tikvice dodano je 200 mL deionizirane vode. Nakon 2 sata stajanja uzoraka, provedena je filtracija u graduirane cilindre od 25 mL i 50 mL preko filter papira (Papir bijela vrpca, Munktell 110 mm/389, Njemačka) radi uklanjanja viška agara te su zatim provedene standardne analitičke metode određivanja koncentracija nitrata i ortofosfata.

Također, po jedna mrežica od svakoga tretmana izdvajala se za određivanje količine istaloženog kalcijevog karbonata odnosno sedre. Mrežice za analizu sušene su tijekom 4 sata u sušioniku na 104°C. Nakon hlađenja na sobnu temperaturu u eksikatoru, uzorci su izvagani na analitičkoj vagi s točnošću od 0,1 mg. Uzorci su zatim otapani u 16% solnoj kiselini, ponovno sušeni i vagani nakon hlađenja na sobnu temperaturu. Iz razlike suhe tvari prije i poslije otapanja u solnoj kiselini, dobivena je količina istaloženog kalcijevog karbonata (izražena u g cm<sup>-2</sup>).

### 3.5. Biološke analize

Na sakupljenim uzorcima mrežice koji su se izolirali na način da svaka kontrola i tretman imaju po 4 replikata (ukupno 80 uzoraka po godišnjem dobu), provedla se analiza klorofila *a* prema metodi etanolske ekstrakcije po Nusch (1980). Po dolasku s terena, odvojene mrežice prvo su se izrezale na veličinu kruga koji je bio izložen utjecaju vode (4,7 cm promjera). Tako pripremljene mrežice su se odgovarajuće označile (s obzirom na ploču i tretman) i pohranile u plastične vrećice i u zamrzivač na -4°C. Naredna 4 dana analiziralo se po 20 uzoraka dnevno, a provedba etanolske ekstrakcije započela je nakon odležavanja mrežica.

Svaka mrežica se odvojila u zasebnu epruvetu u koju se zatim dodalo 10 mL 96% etanola (Gram-mol, Zagreb) te se epruveta zagrijavala iznad plamenika do 1 minute. Zatim se provedla mikrofiltracija uz pomoć šprica (BD Discardit II, Becton Dickinson, Španjolska) od 10 mL i mikrofiltera s porama od 0,45 µm (Chromofil Xtra PET-45/25, Macherey-Nagel, Njemačka) te se filtrirani sadržaj sakupio u odmjerne epruvete od 15 mL. Nakon provedene filtracije, odmjerne epruvete su se nadopunile do 10 mL s 96% etanolom.

Apsorbancija uzoraka i slijepe probe (96% etanol) mjerila se na 665 nm u 1 cm kvarcnoj kivetu. Nakon izmjerene apsorbancije dodala se po 1 kap HCl kiseline (Carlo Erba, Italija) u svaki uzorak u epruveti i ponovno se izmjerila vrijednost na 665 nm kao korekcija za feofitin. Dobivene vrijednosti apsorbancije i ostale vrijednosti uvrstili su se u formulu

$$\text{Chl } a \text{ } [\mu\text{g}/\text{cm}^2] = 29,6 \times (A_{665} - A_{665+\text{HCl}}) \times V \text{ (mL)} / a \text{ (cm}^2) \times d \text{ (cm)} \quad (9)$$

u kojoj je: *V* = volumen otopine ekstrakta uzorka u mL (10 mL), *a* = površina mrežice (cm<sup>2</sup>) (promjer kruga izloženog vodi = 4,7 cm; *r* = 2,35 cm;  $P = r^2\pi$ ,  $P = 17,34 \text{ cm}^2$ ) i *d* = poprečni presjek kivete (cm) (1 cm).

Po četiri replikata mrežice od svakog tretmana posebno se odvajalo u plastične posudice i konzerviralo u 70% otopini etanola za izolaciju makrozoobentosa (ukupno 80 uzoraka po godišnjem dobu). Izolacija organizama s mrežica provodila se pregledavanjem mrežica pod lupom (Olympus SZ-PT, Japan) pri povećanjima od 0,67 – 4 x 10. Tako izolirani organizmi iz uzoraka određivani su uporabom lupe i mikroskopom (Olympus BX41, Japan) pri povećanjima od 4 – 40 x 20.

U određivanju makrozoobentosa i svih organizama izoliranih s mrežice, koristili su se ključevi prema autorima Sundermann i sur. (2007), Bauernfeind i Humpesch (2001),

Waringer i Graf (2011), Birmingham i sur. (2005), Zwick (2004), Nilsson (1996; 1997) i Knoz (1965).

### 3.6. Statističke metode

Iz podataka brzine strujanja, fizikalno-kemijskih pokazatelja, *in vitro* mjerenih hranjivih soli, količine sedre, klorofila *a* te brojnosti makrozoobentosa izračunate su srednje vrijednosti i standardna devijacija. Statističke analize provedene su u programu Statistica 8 (StatSoft, USA, 2005) i Statistica 13.3 (TIBCO Software Inc., USA). Na svim prikupljenim podacima prethodno posloženima u Excel tablici, prvo se provelo testiranje distribucije podataka korištenjem Shapiro-Wilk *W* testa i Kolmogorov-Smirnov testa u programu Statistica 8 i 13.3. U cilju dobivanja normalne raspodjele podataka, provela se jedna od slijedećih transformacija: drugi korijen-četvrti korijen-logaritam. Nakon toga slijedila je analiza varijance (eng. *main effects ANOVA*) u svrhu utvrđivanja statistički značajnih razlika brzine strujanja, fizikalno-kemijskih pokazatelja, *in vitro* izmjerenih hranjivih soli, koncentracije klorofila *a*, brojnosti i broja svojiti makrozoobentosa te funkcionalnih hranidbenih skupina između pojedinih čimbenika: lokacija, mikrolokacija, mikrostanista, godišnjih doba i tretmana. Testiranje razlika između pojedinih zavisnih varijabli i čimbenika provedeno je *post-hoc* Tukey HSD testom (test poslije glavnog testa). Za analize koncentracije klorofila *a* i brojnosti makrozoobentosa unutar svakog godišnjeg doba provedena je trofaktorska analiza varijance (eng. *3-way ANOVA*). Analiza je imala za cilj testiranje značajnosti razlika zavisnih varijabli (koncentracije klorofila *a*, broja svojiti i brojnosti makrozoobentosa) između barijera, mikrolokacija, tretmana te kombinacija faktora. Pojedine razlike i kombinacije za svako godišnje doba zatim su se testirale *post-hoc* Tukey HSD testom. Provedena je i neparametrijska analiza Kruskal-Wallis test u slučaju kada se nije postigla normalna distribucija podataka.

Multivarijantne statističke analize provedene su na osnovu međusobne sličnosti makrozoobentosa s obzirom na mikrolokacije i različite tretmane za pojedina godišnja doba te testirane Cluster analizom (hijerarhijska aglomerativna klaster analiza) u programu PRIMER 6. Kao mjera sličnosti korištena je Bray-Curtis sličnost (Clarke i Gorley, 2006). Analiza multidimenzionalnog skaliranja odnosno MDS (eng. *multidimensional scaling*) korištena je za dvodimenzionalni prikaz sličnosti odnosno različitosti makrozoobentosa s obzirom na mikrolokacije i tretmane u istom programu. Podaci su za obje analize transformirani drugim korijenom, a za Cluster analizu proveden je test sličnosti (eng. *similarity profile analysis* -

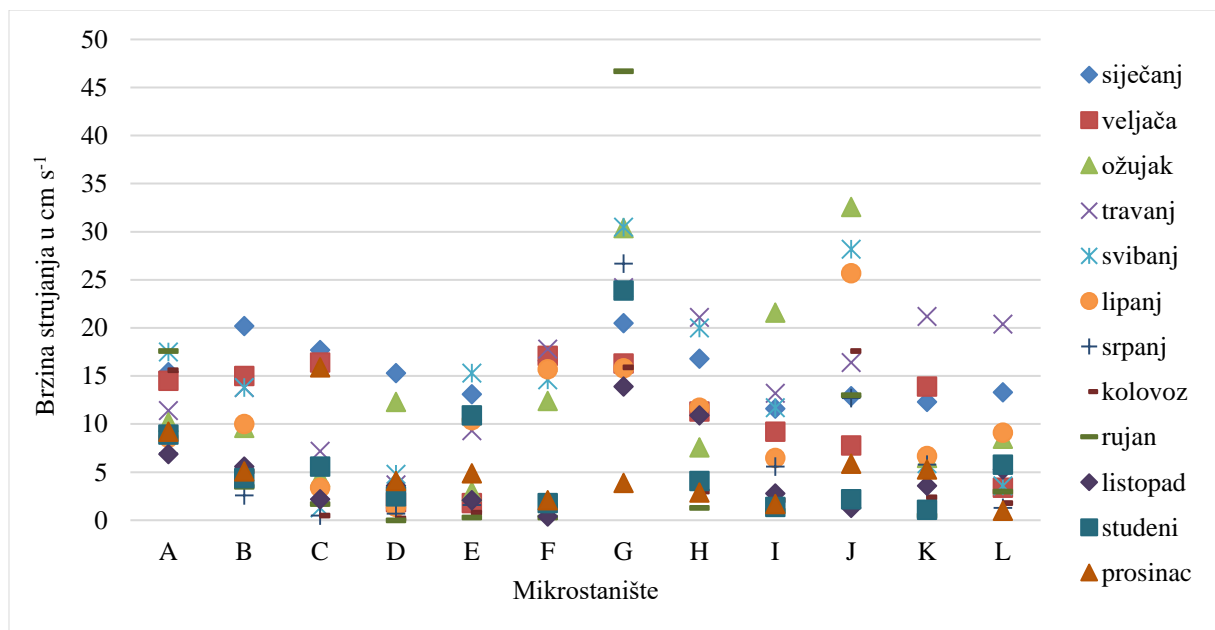
SIMPROF) kojim se utvrdila statistička značajnost klasteriranja u dobivenom dendrogramu. Odnos između makrozoobentosa i mjerenih čimbenika analiziran je kanoničkom analizom korespondencije (eng. *canonical correspondance analysis* - CCA) u programu Canoco 5 (ter Braak i Smilauer, 2012). Varijable koje su korištene u analizi su: brzina strujanja, temperatura, pH-vrijednost, koncentracija otopljenog kisika, električna vodljivost, koncentracija ortofosfata, TP, TN, količina istaloženog kalcijevog karbonata (sedra) i koncentracija klorofila *a*. Ista analiza provedena je za analiziranje pojedinih svojti makrozoobentosa s okolišnim varijablama. U grafičkim prikazima, dužina strelica i njen bliži položaj osi x odnosno osi y označava važnost okolišne varijable koju prikazuje, dok usmjerenje strelice ukazuje na pozitivnu ili negativnu korelaciju. Odabir prikaza okolišnih varijabli za analizu napravljen je na osnovu prethodno provedenog Spearmanovog testa korelacije srednjih vrijednosti makrozoobentosa s okolišnim varijablama (statistički značajne korelacije pri  $p < 0,05$ ).

## 4. REZULTATI

Rezultati istraživanja obrađeni su i prezentirani kroz nekoliko poglavlja koja uključuju rezultate promjena brzine strujanja vode na mikrostaništima, vrijednosti fizikalno-kemijskih pokazatelja određivanih na mikrolokacijama i lokacijama kroz godišnja doba, *in situ* mjerene koncentracije hranjivih soli u obogaćenim podlogama nakon podizanja s mikrolokacija praćenja, količinu istaloženog kalcijevog karbonata na umjetnim podlogama, učinak obogaćivanja hranjivim solima na klorofil *a* te učinak obogaćivanja hranjivim solima na sastav, brojnost i trofičku strukturu makrozoobentosa.

### 4.1. Brzina strujanja na mikrostaništima

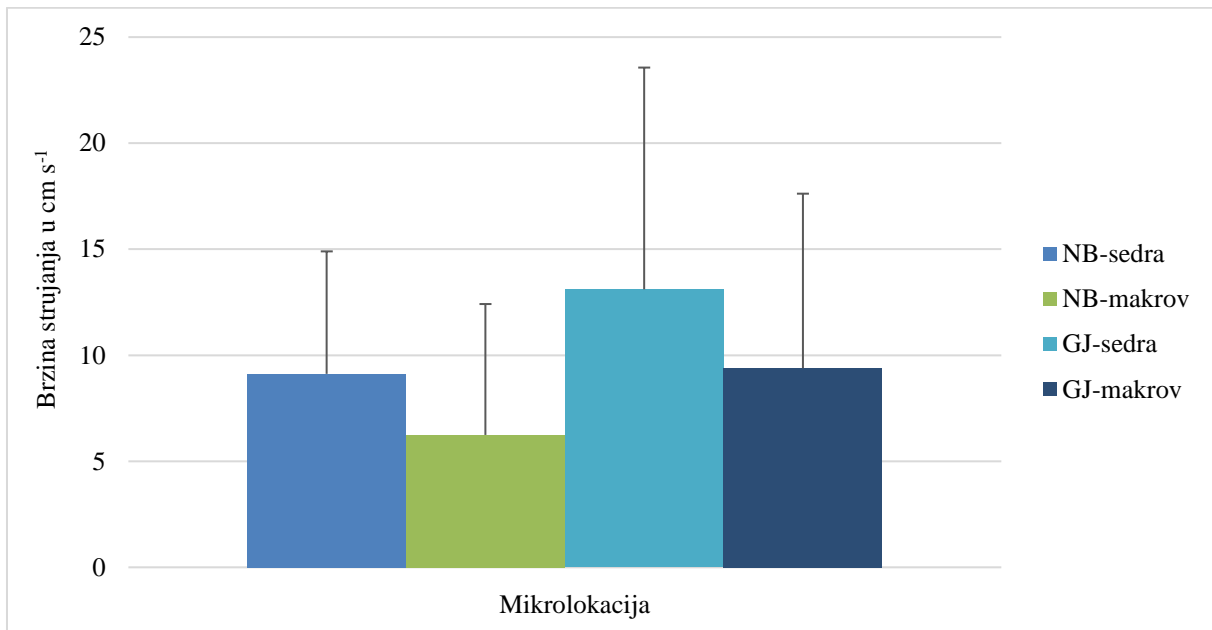
Najviša brzina strujanja zabilježena je na mikrostaništu G (GJ-sedra, rujan 46,7 cm s<sup>-1</sup>), te na istom staništu niti u ljetnim mjesecima brzina strujanja nije bila niža od 15 cm s<sup>-1</sup>. Pojedina mikrostaništa su imala vrlo niske izmjerene vrijednosti u ljetnim mjesecima (najniža je 0,2 cm s<sup>-1</sup> na mikrostaništu D, NB-makrov) (slika 15).



Slika 15. Brzina strujanja vode na mikrostaništima po mjesecima

Analizom varijance istražile su se razlike zavisne varijable brzine strujanja s obzirom na faktore (barijera - NB, GJ; mikrolokacija - sedra, makrovegetacija; mikrostanište - od A do J, mjesec uzorkovanja i godišnje doba). Analiza je ukazala na statistički značajne razlike brzine strujanja između mikrostaništa ( $F_{9,121}=7,0$ ,  $p<0,001$ ), mjeseci ( $F_{11,121}=8,4$ ,  $p<0,001$ ) te

godišnjih doba ( $F_{3,129}=28,0$ ,  $p<0,001$ ), dok nisu zabilježene statistički značajne razlike brzine strujanja između barijera i mikrolokacija. Iako statistički značajne razlike nisu postojale između barijera odnosno mikrolokacija, izdvojila se mikrolokacija GJ-sedra s najvišom srednjom brzinom strujanja ( $13,1 \text{ cm s}^{-1}$ ). Zabilježene su razlike srednjih brzina strujanja između mikrolokacija (slika 16).

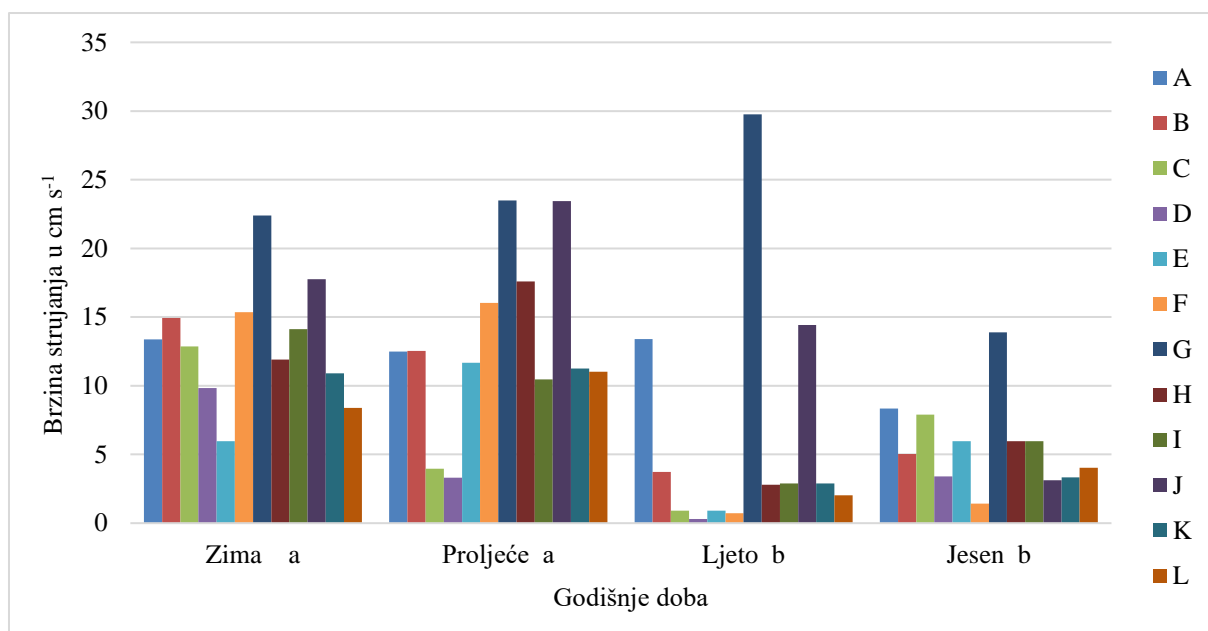


Slika 16. Srednje vrijednosti brzine strujanja ( $\pm$  SD) na mikrolokacijama

Testiranjem statistički značajnih razlika brzine strujanja vode između mikrostaništa korištenjem *post-hoc* Tukey HSD testa, mikrostanište A statistički se značajno razlikovalo od mikrostaništa D ( $p<0,001$ ), mikrostanište C, E i L od J ( $p<0,05$ ), D od J ( $p<0,001$ ), te mikrostanište G od B, C, D, E, F, H, I, K, L ( $p<0,001$ ).

Testiranjem statistički značajnih razlika brzine strujanja vode između godišnjih doba uočene su značajne razlike između zime, ljeta i jeseni ( $p<0,001$ ) te proljeća, ljeta i jeseni ( $p<0,001$ ), dok nije bilo značajnih razlika između zime i proljeća, te ljeta i jeseni (slika 17).





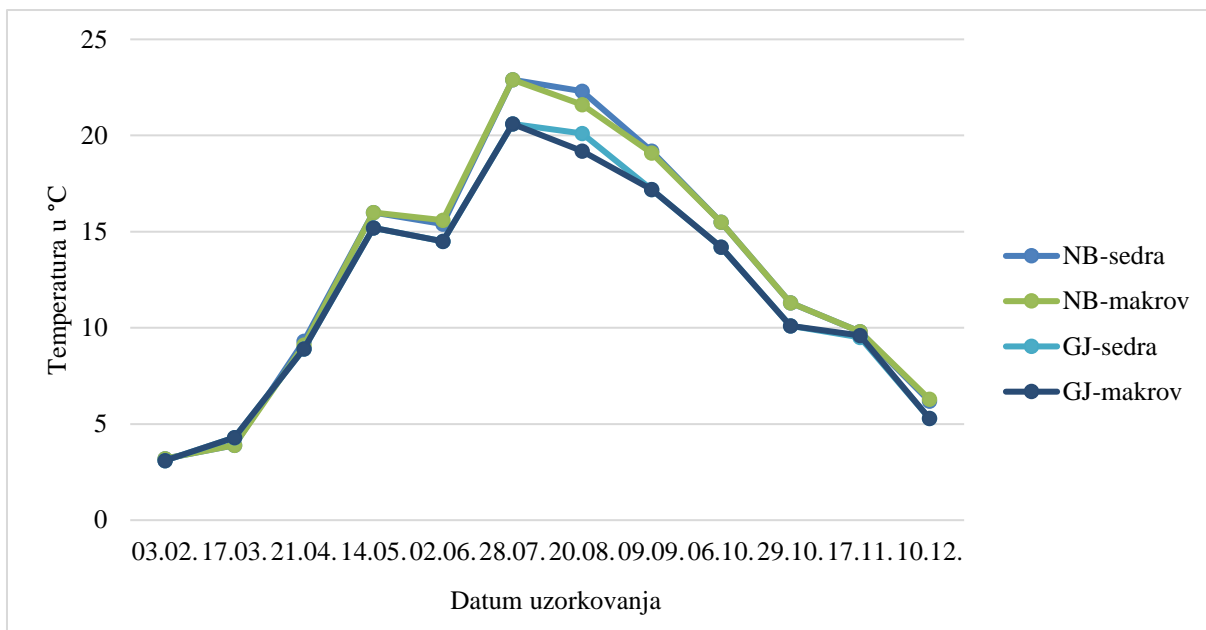
Slika 17. Srednje vrijednosti brzine strujanja ( $\pm$  SD) na mikrostaništima po godišnjim dobima. Različita slova uz godišnja doba označavaju statistički značajnu razliku kod  $p < 0,001$  prema *post-hoc* Tukey HSD testu

#### 4.2. Fizikalno-kemijski pokazatelji

Fizikalno-kemijski pokazatelji (temperatura, pH-vrijednost, koncentracija otopljenog kisika, električna vodljivost, ukupna tvrdoća, nitrati, ortofosfati, ukupni dušik i ukupni fosfor) mjereni su na svakoj barijeri (lokaciji) na dvije mikrolokacije: sedrena barijera bez makrovegetacije (NB-sedra, GJ-sedra) i barijera s makrovegetacijom (NB-makrov, GJ-makrov).

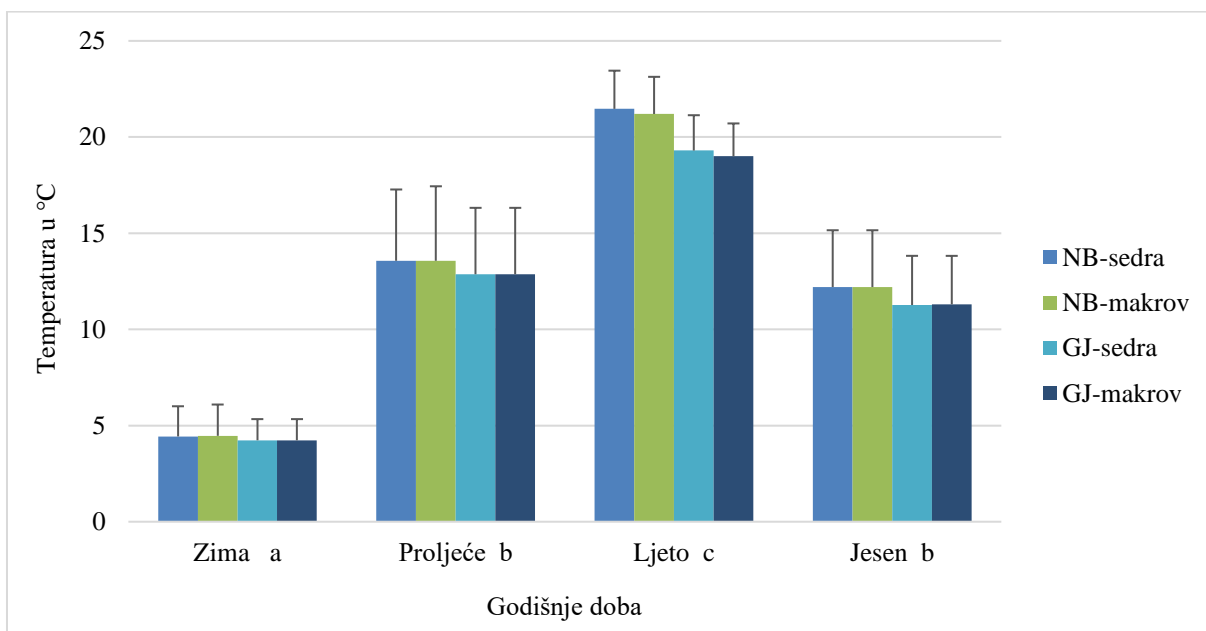
##### *Temperatura*

Praćena temperatura na mjestima uzorkovanja tijekom 2015. godine ukazala je na karakteristične sezonske promjene od niskih zimskih temperatura ( $3,1^{\circ}\text{C}$ , GJ-sedra i GJ-makrov) do postepenog zagrijavanja stupca vode s najviše izmjerenom temperaturom u srpnju  $22,9^{\circ}\text{C}$  (NB-sedra i NB-makrov). Prema kraju godine odnosno od jeseni slijedio je pad temperature. Prosječno je na barijeri GJ zabilježena niža vrijednost temperature za gotovo  $1^{\circ}\text{C}$  u odnosu na NB, a te razlike su bile izraženije od svibnja do listopada dok su u preostalim mjesecima bile minimalne (slika 18).



Slika 18. Promjena temperature na mikrolokacijama po mjesecima

Zabilježene su statistički značajne razlike temperature između barijera ( $F_{1,35}=9,8$ ,  $p<0,01$ ), mjeseci ( $F_{10,35}=137,4$ ,  $p<0,001$ ) te godišnjih doba ( $F_{3,42}=99,4$ ,  $p<0,001$ ), dok između mikrolokacija nisu zabilježene statistički značajne razlike.

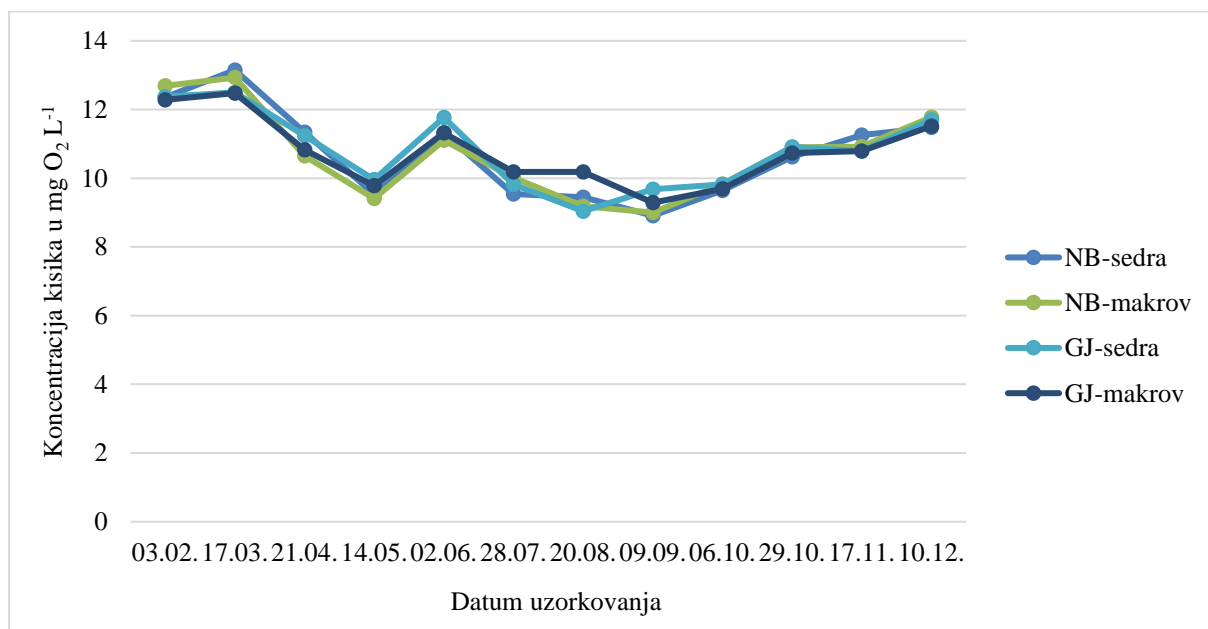


Slika 19. Srednje vrijednosti temperature ( $\pm$  SD) na mikrolokacijama po godišnjim dobima. Različita slova uz godišnja doba označavaju statistički značajnu razliku kod  $p<0,001$  prema *post-hoc* Tukey HSD testu

Testiranje statistički značajnih razlika vrijednosti temperature između godišnjih doba *post-hoc* Tukey HSD testom ukazalo je na statistički značajne razlike zime u odnosu na proljeće, ljeto i jesen ( $p < 0,001$ ), zatim proljeća od ljeta ( $p < 0,001$ ) te ljeta od jeseni ( $p < 0,001$ ). Nisu zabilježene statistički značajne razlike između proljeća i jeseni (slika 19).

### Koncentracija otopljenog kisika

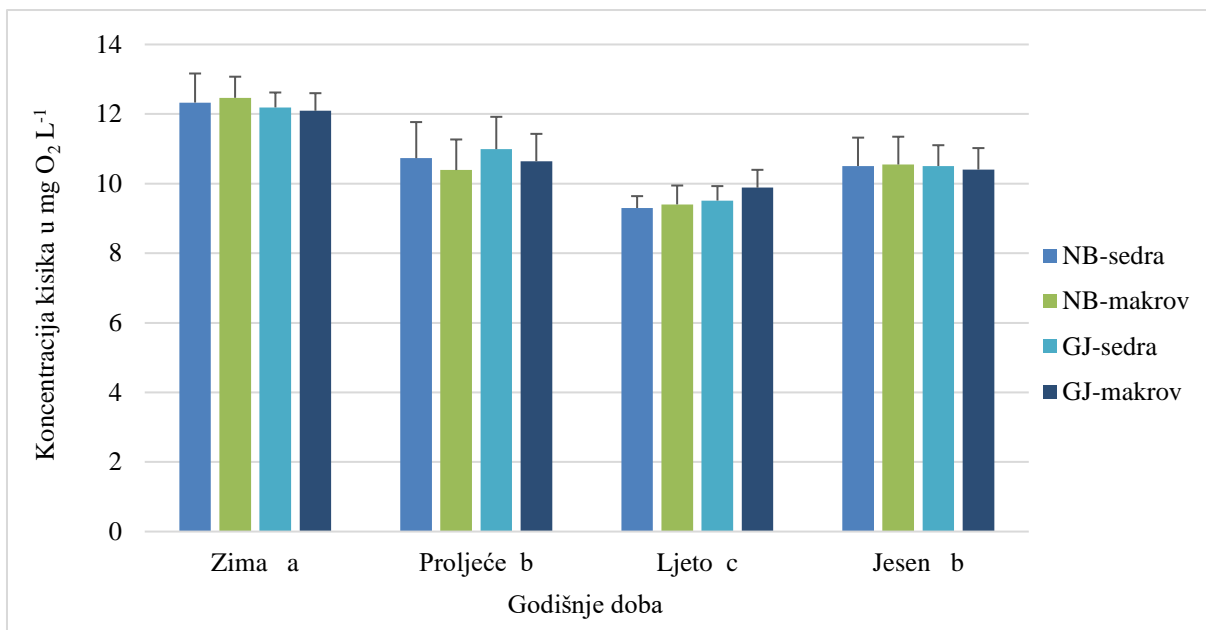
Vrijednosti koncentracije otopljenog kisika na lokacijama NB i GJ su bile približno iste i pratile su sezonske promjene temperature (obrnuto proporcionalno vrijednostima temperature), što znači da je u ljetnim mjesecima koncentracija otopljenog kisika bila niža u odnosu na ostali dio godine (slika 20).



Slika 20. Promjena koncentracije otopljenog kisika na mikrolokacijama uzorkovanja po mjesecima

Zabilježene su statistički značajne razlike u koncentraciji otopljenog kisika između mjeseci ( $F_{10,35}=48,1$ ,  $p < 0,001$ ) i godišnjih doba ( $F_{3,42}=42,3$ ,  $p < 0,001$ ) dok nisu postojale statistički značajne razlike koncentracije kisika između barijera i mikrolokacija.

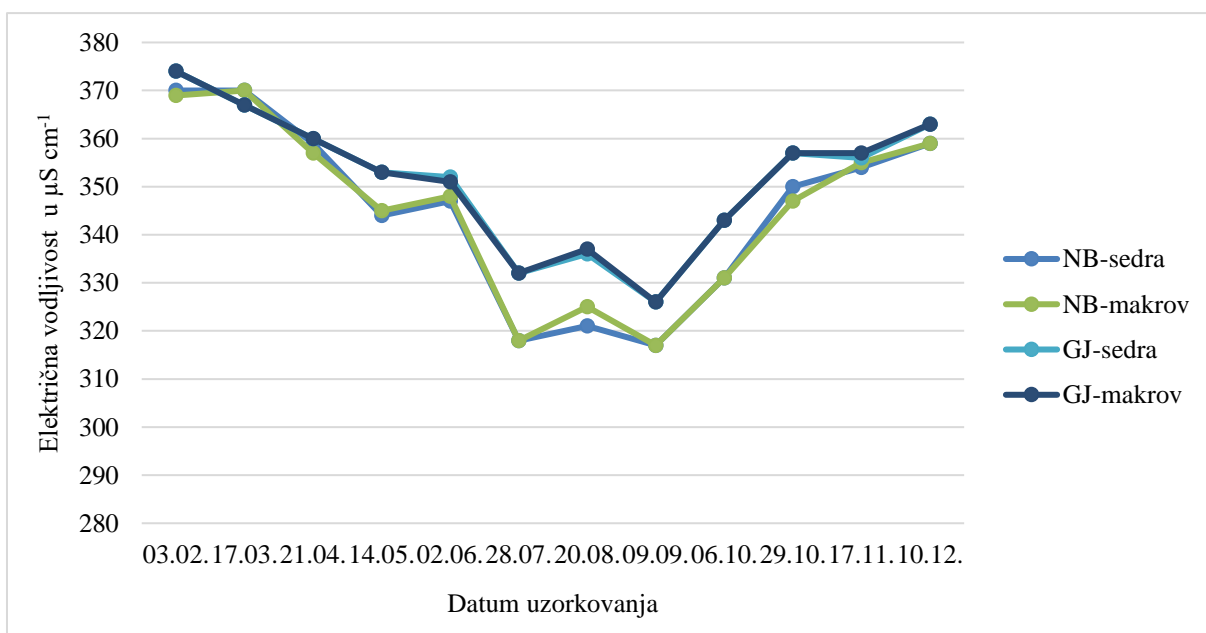
Prema provedenom *post-hoc* Tukey HSD testu, zima se statistički značajno razlikovala od proljeća, ljeta i jeseni ( $p < 0,001$ ), proljeće od ljeta ( $p < 0,001$ ) te ljeto od jeseni ( $p < 0,001$ ). Nije bilo statistički značajne razlike između proljeća i jeseni (slika 21).



Slika 21. Srednje vrijednosti koncentracije otopljenog kisika ( $\pm$  SD) na mikrolokacijama po godišnjim dobima. Različita slova uz godišnja doba označavaju statistički značajnu razliku kod  $p < 0,001$  prema *post-hoc* Tukey HSD testu

### Električna vodljivost

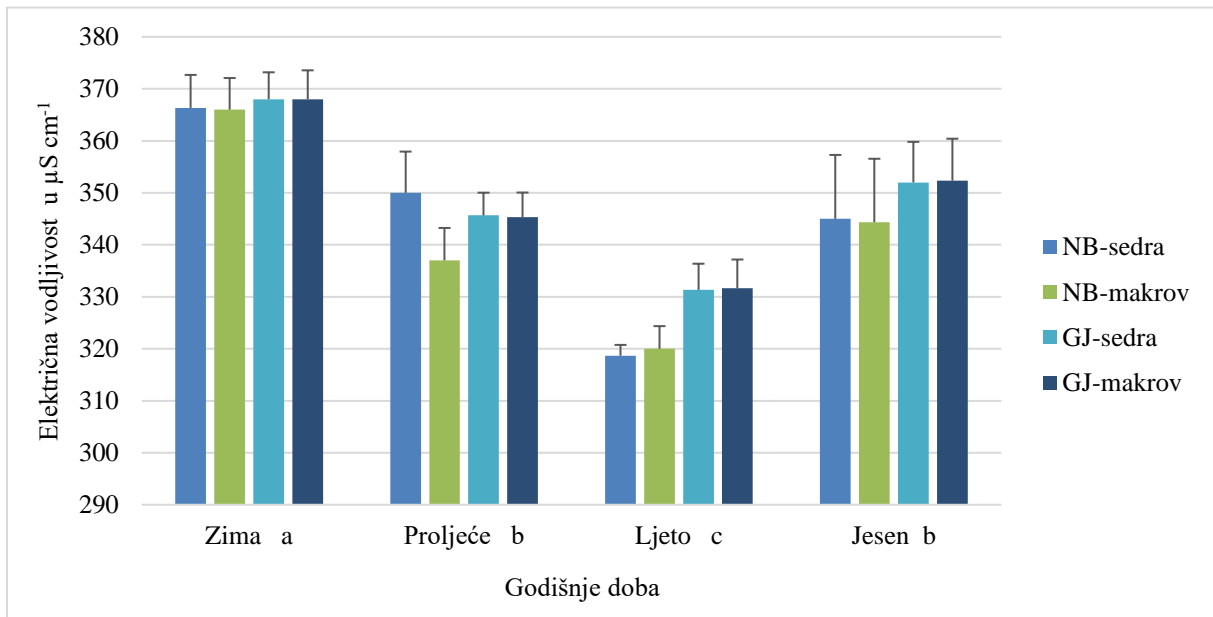
Tijekom 2015. godine vrijednosti električne vodljivosti razlikovale su se između barijera NB i GJ s višim vrijednostima električne vodljivosti na lokaciji GJ u odnosu na lokaciju NB (slika 22).



Slika 22. Promjena električne vodljivosti na mikrolokacijama po mjesecima

Zabilježene su statistički značajne razlike električne vodljivosti između barijera ( $F_{1,35}=22,4$ ,  $p<0,001$ ), mjeseci ( $F_{10,35}=50,3$ ,  $p<0,001$ ) i godišnjih doba ( $F_{3,42}=85,6$ ,  $p<0,001$ ). Statistički značajne razlike električne vodljivosti između mikrolokacija nisu zabilježene.

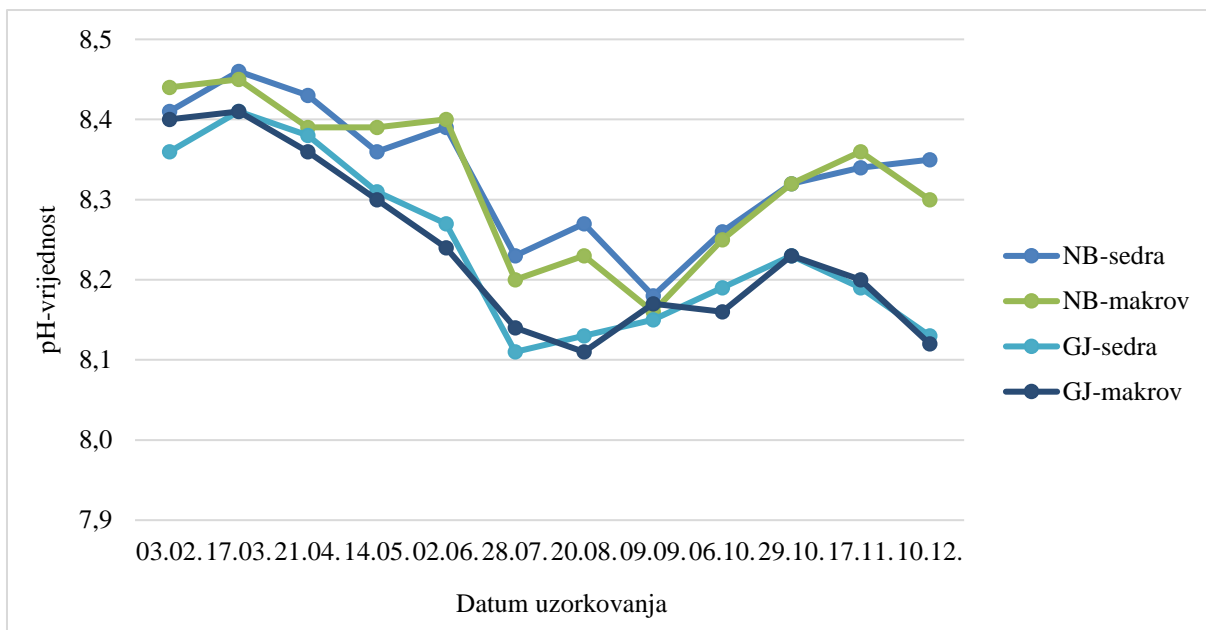
*Post-hoc* Tukey HSD test ukazao je na statistički značajne razlike električne vodljivosti između zime u odnosu na proljeće, ljeto i jesen ( $p<0,001$ ), proljeće od ljeta ( $p<0,001$ ) i ljeto od jeseni ( $p<0,001$ ) dok nema značajnih razlika između proljeća i jeseni (slika 23).



Slika 23. Srednje vrijednosti električne vodljivosti ( $\pm$  SD) na mikrolokacijama po godišnjim dobima. Različita slova uz godišnja doba označavaju statistički značajnu razliku kod  $p<0,001$  prema *post-hoc* Tukey HSD testu

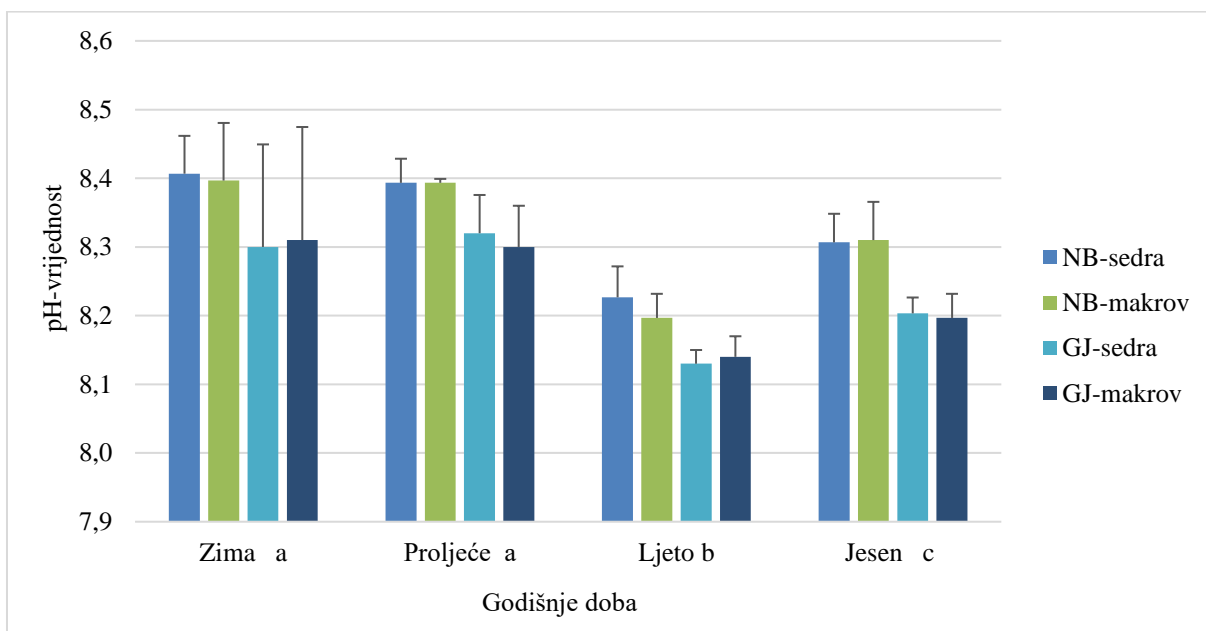
#### *pH*-vrijednost

*pH*-vrijednost je bila viša na barijeri NB u odnosu na barijeru GJ te je za obje barijere bio karakterističan pad *pH*-vrijednosti prema toplijem dijelu godine (najniža zabilježena vrijednost je 8,11 u srpnju i kolovozu na barijeri GJ) (slika 24).



Slika 24. Promjena pH-vrijednosti na mikrolokacijama po mjesecima

Zabilježene su statistički značajne razlike pH-vrijednosti između barijera ( $F_{1,35}=72,0$ ,  $p<0,001$ ), mjeseci ( $F_{10,35}=28,0$ ,  $p<0,001$ ) i godišnjih doba ( $F_{3,42}=23,5$ ,  $p<0,001$ ). Nisu bile zabilježene statistički značajne razlike pH-vrijednosti između mikrolokacija.

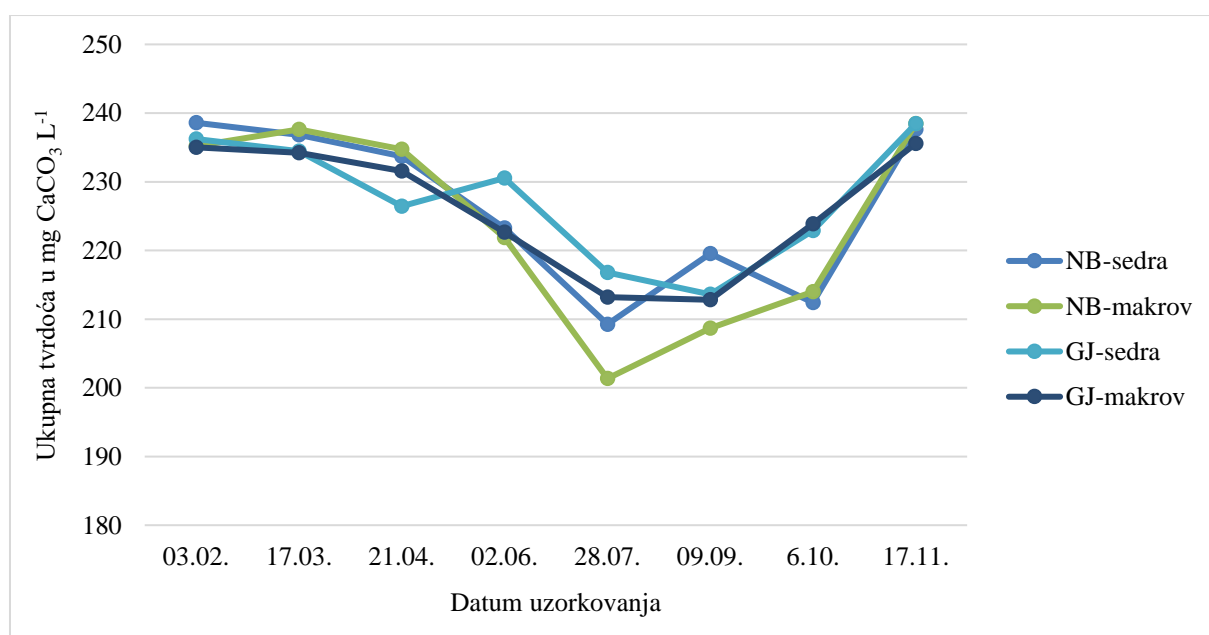


Slika 25. Srednje pH-vrijednosti ( $\pm$  SD) na mikrolokacijama po godišnjim dobima. Različita slova uz godišnja doba označavaju statistički značajnu razliku kod  $p<0,05$  prema *post-hoc* Tukey HSD testu

*Post-hoc* Tukey HSD test ukazao je na statistički značajne razlike između zime i proljeća od ljeta ( $p < 0,001$ ) i jeseni ( $p < 0,01$ ) te ljeta od jeseni ( $p < 0,05$ ). Nije bilo statistički značajnih razlika između zime i proljeća (slika 25).

### Ukupna tvrdoća

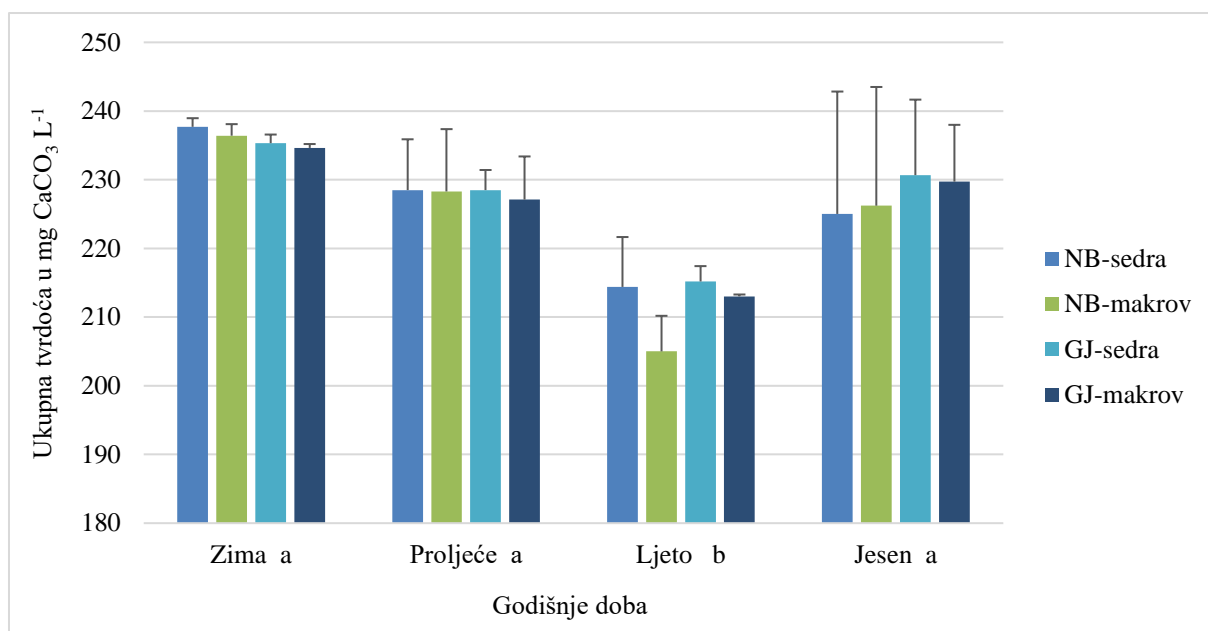
Vrijednosti ukupne tvrdoće izražene kao  $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$  ukazale su na sezonske promjene uz snižavanje koncentracije ukupne tvrdoće u ljetnim mjesecima (najniža zabilježena u srpnju s vrijednosti od  $201,35 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$  na mikrolokaciji NB-makrov) i povišenje vrijednosti u zimskim mjesecima. U jesen su koncentracije ukupne tvrdoće bile u porastu (slika 26).



Slika 26. Promjena ukupne tvrdoće na mikrolokacijama po mjesecima

Zabilježene su statistički značajne razlike ukupne tvrdoće između mjeseci ( $F_{7,22}=28,2$ ,  $p < 0,001$ ) te godišnjih doba ( $F_{3,26}=17,5$ ,  $p < 0,001$ ). Nisu zabilježene statistički značajne razlike ukupne tvrdoće između mikrolokacija i barijera.

*Post-hoc* Tukey HSD test ukazao je na statistički značajne razlike ukupne tvrdoće između zime i ljeta ( $p < 0,001$ ), proljeća i ljeta ( $p < 0,001$ ) te ljeta i jeseni ( $p < 0,001$ ) dok nisu zabilježene statistički značajne razlike između zime, proljeća i jeseni (slika 27).



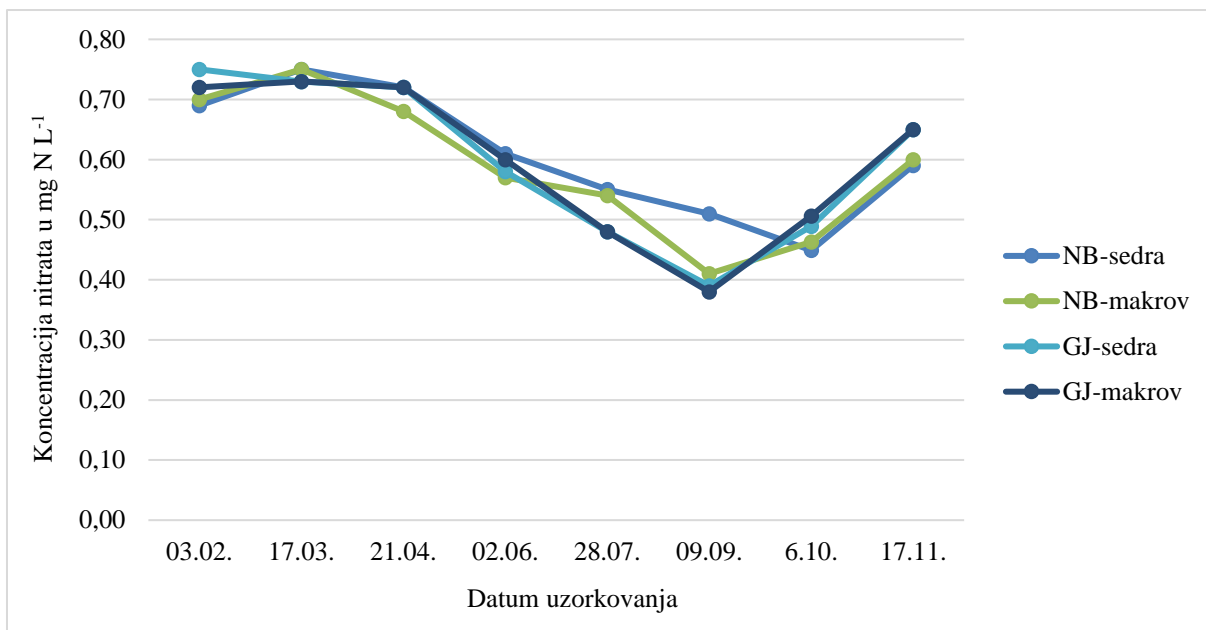
Slika 27. Srednje vrijednosti ukupne tvrdoće ( $\pm$  SD) na mikrolokacijama po godišnjim dobima. Različita slova uz godišnja doba označavaju statistički značajnu razliku kod  $p < 0,001$  prema *post-hoc* Tukey HSD testu

### Nitrati

Koncentracije nitrata praćene na mjestima uzorkovanja nisu ukazale na značajne razlike između barijera, a najniža vrijednost zabilježena je na mikrolokaciji GJ-makrov u rujnu ( $0,38 \text{ mg N L}^{-1}$ ). Uočeno je snižavanje vrijednosti nitrata prema lipnju i povišenje od rujna odnosno prema hladnijem dijelu godine (slika 28).

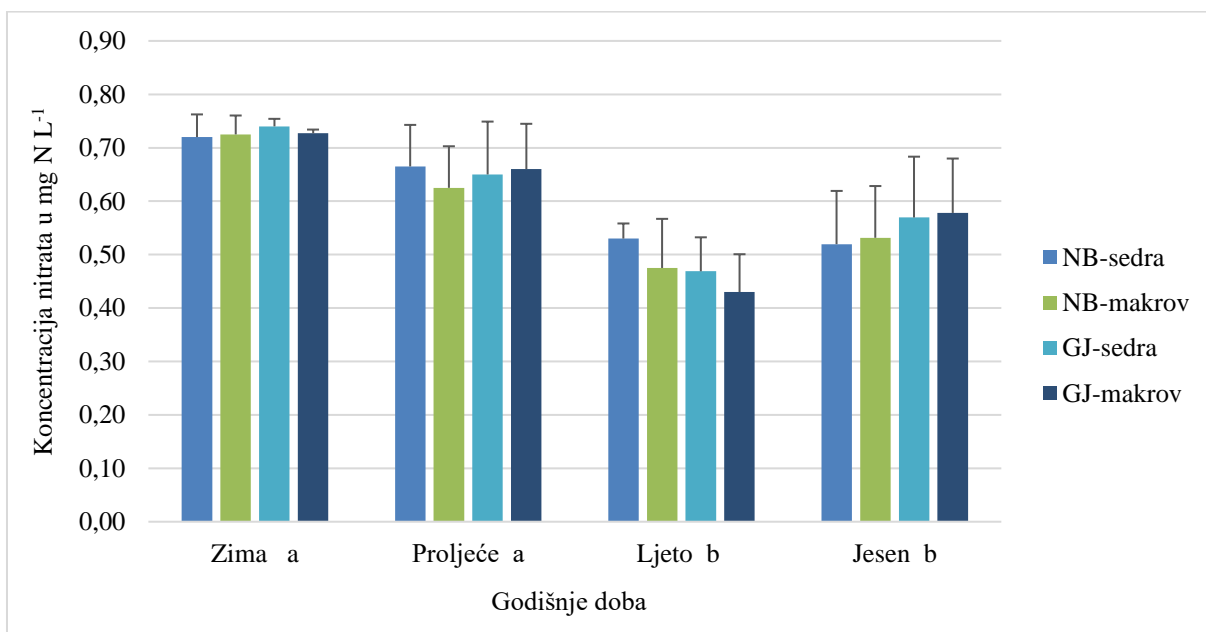
Zabilježene su statistički značajne razlike koncentracije nitrata između mjeseci ( $F_{7,22}=52,5$ ,  $p < 0,001$ ) te godišnjih doba ( $F_{3,26}=23,9$ ,  $p < 0,001$ ). Nisu zabilježene statistički značajne razlike koncentracije nitrata između mikrolokacija i barijera.





Slika 28. Promjena koncentracije nitrata na mikrolokacijama po mjesecima

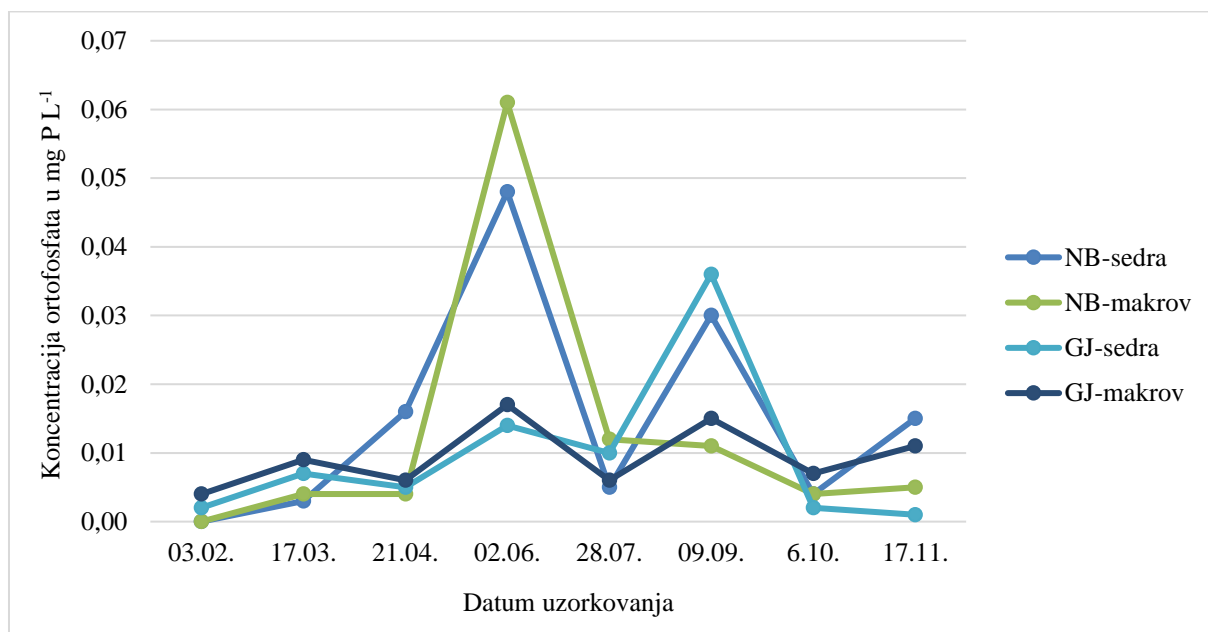
*Post-hoc* Tukey HSD test ukazao je na statistički značajne razlike koncentracije nitrata između zime u odnosu na ljeto i jesen ( $p < 0,001$ ) te proljeća u odnosu na ljeta i jeseni ( $p < 0,001$ ). Nisu zabilježene statistički značajne razlike između zime i proljeća te ljeta i jeseni (slika 29).



Slika 29. Srednje vrijednosti koncentracije nitrata ( $\pm$  SD) na mikrolokacijama po godišnjim dobima. Različita slova uz godišnja doba označavaju statistički značajnu razliku kod  $p < 0,001$  prema *post-hoc* Tukey HSD testu

## Ortofosfati

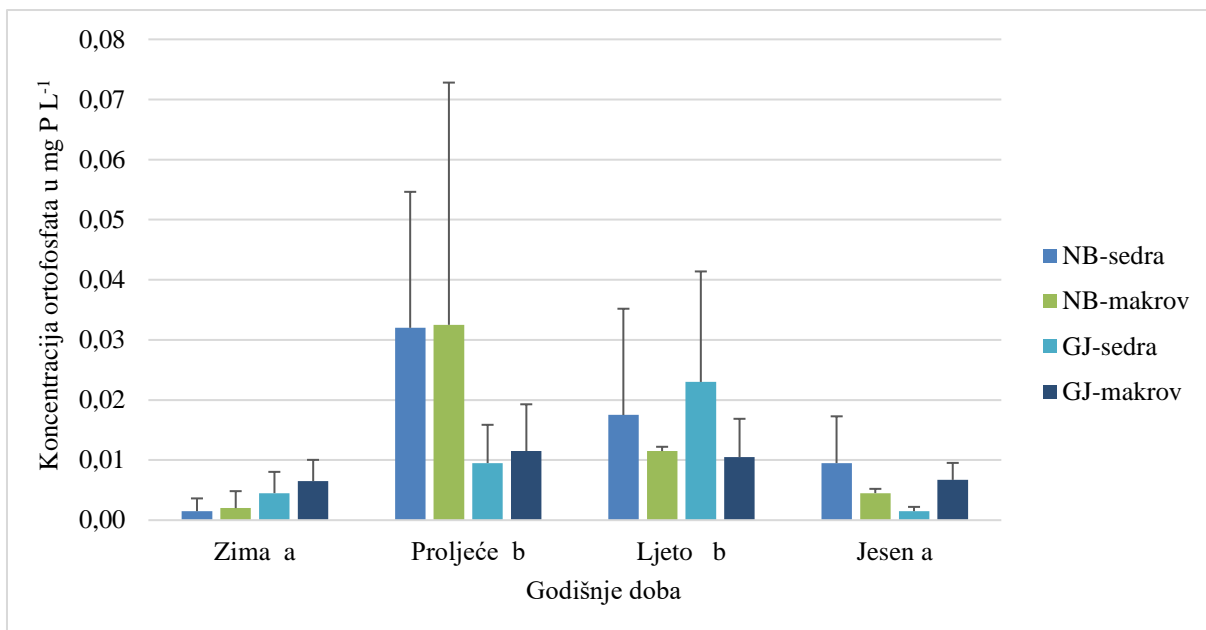
Koncentracije ortofosfata bile su znatno povišene u lipnju i rujnu u odnosu na ostale mjesece. U lipnju je najviša izmjerena koncentracija ortofosfata zabilježena na mikrolokaciji NB-makrov ( $0,06 \text{ mg P L}^{-1}$ ), dok je u rujnu najviša vrijednost ortofosfata zabilježena na mikrolokaciji GJ-sedra ( $0,04 \text{ mg P L}^{-1}$ ) (slika 30).



Slika 30. Promjena koncentracije ortofosfata na mikrolokacijama po mjesecima

Zabilježene su statistički značajne razlike koncentracije ortofosfata između mjeseci ( $F_{7,22}=6,8$ ,  $p<0,001$ ) te godišnjih doba ( $F_{3,26}=5,1$ ,  $p<0,01$ ). Nisu zabilježene statistički značajne razlike koncentracije ortofosfata između mikrolokacija i barijera.

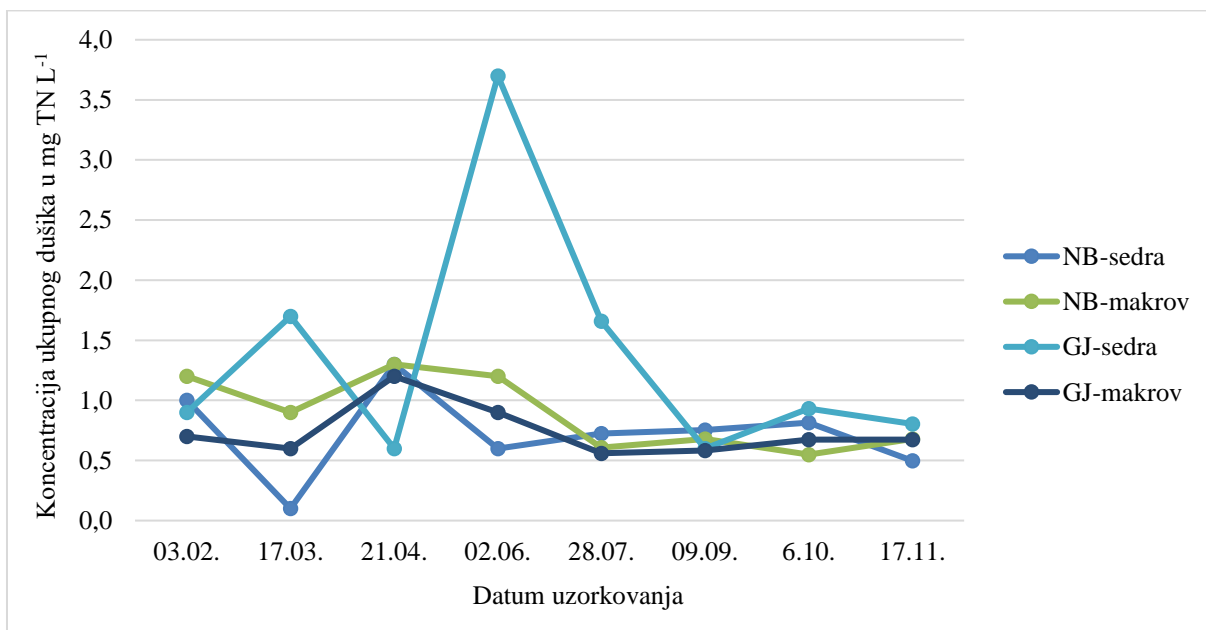
*Post-hoc* Tukey HSD test ukazao je na statistički značajne razlike koncentracije ortofosfata između zime u odnosu na proljeće i ljeto ( $p<0,05$ ) dok nisu zabilježene statistički značajne razlike između jeseni i zime te proljeća i ljeta (slika 31).



Slika 31. Srednje vrijednosti koncentracije ortofosfata ( $\pm$  SD) na mikrolokacijama po godišnjim dobima. Različita slova uz godišnja doba označavaju statistički značajnu razliku kod  $p < 0,05$  prema *post-hoc* Tukey HSD testu

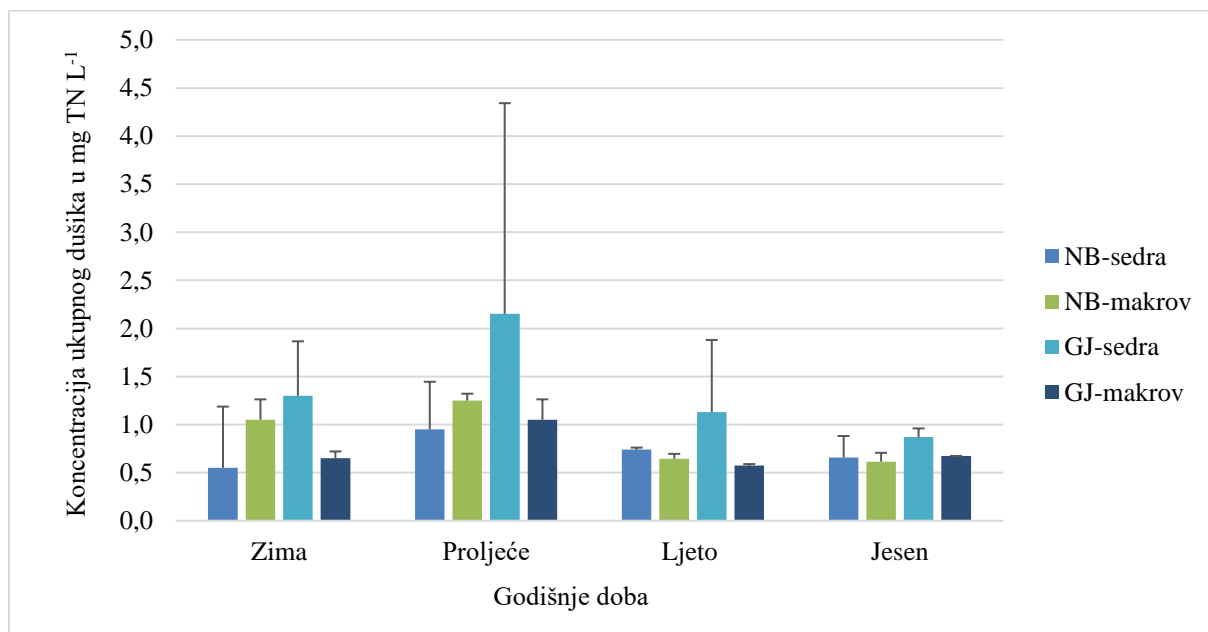
### Ukupni dušik

Koncentracije ukupnog dušika ukazale su na promjene u vrijednostima do rujna s najvišom zabilježenom vrijednosti na mikrolokaciji GJ-sedra (3,7 mg TN L<sup>-1</sup> u lipnju). Od rujna su vrijednosti bile ujednačene (slika 32).



Slika 32. Promjena koncentracije ukupnog dušika na mikrolokacijama po mjesecima

Analizom varijance istražile su se razlike zavisne varijable ukupnog dušika te faktora (barijera - NB, GJ, mikrolokacija - sedra, makrovegetacija, mjesec uzorkovanja i godšnje doba). Analiza nije ukazala na statistički značajne razlike koncentracije ukupnog dušika između testiranih varijabli (slika 33).

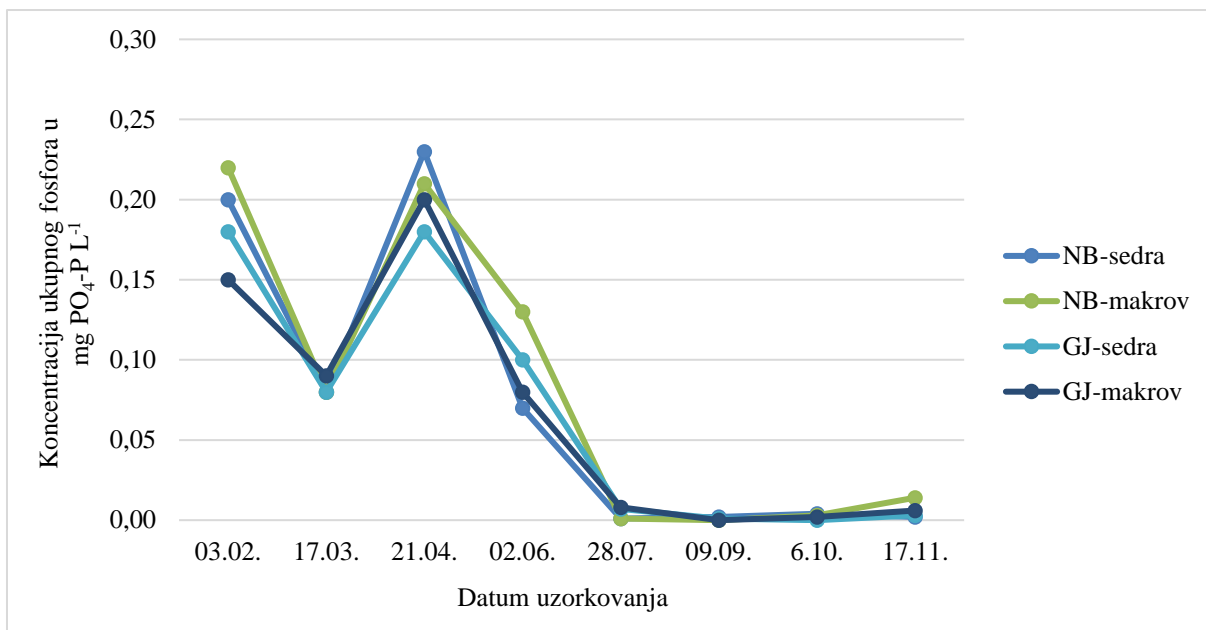


Slika 33. Srednje vrijednosti koncentracije ukupnog dušika ( $\pm$  SD) na mikrolokacijama po godišnjim dobima. Nema statistički značajnih razlika.

#### *Ukupni fosfor*

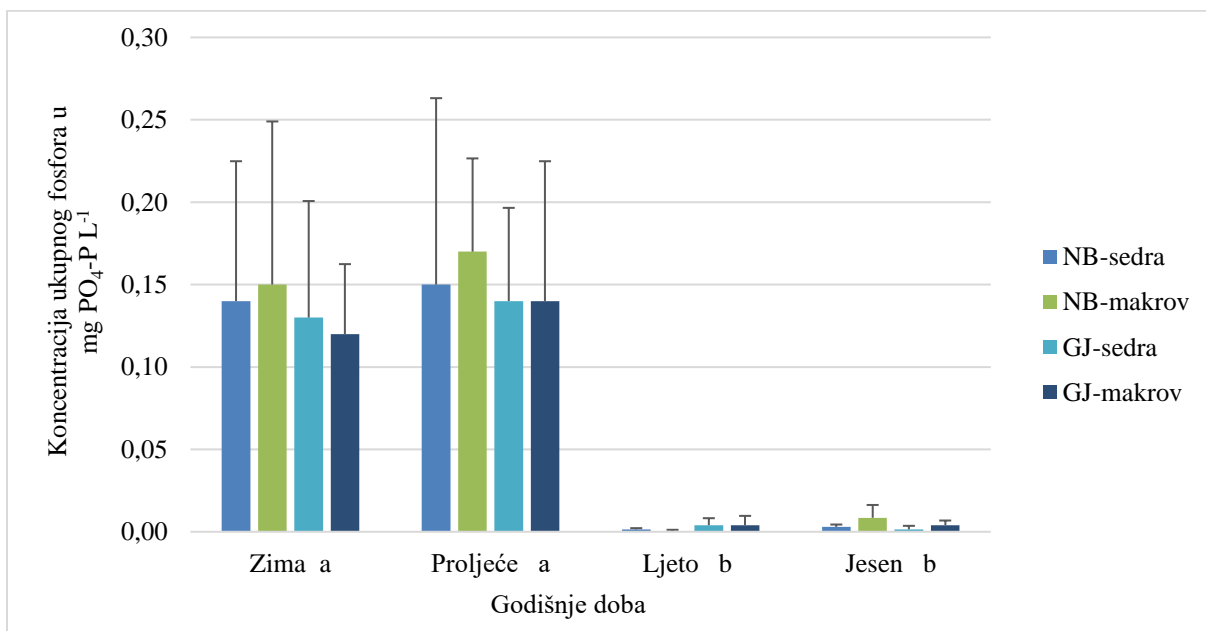
Povišene vrijednosti ukupnog fosfora bile su karakteristične u zimskim i proljetnim mjesecima, a od travnja prema srpnju bile su u padu. Od srpnja vrijednosti ukupnog fosfora bile su izrazito niske i gotovo ujednačene do jeseni (slika 34).

Analizom varijance istražile su se razlike zavisne varijable ukupnog fosfora te faktora (barijera - NB, GJ, mikrolokacija - sedra, makrovegetacija, mjesec uzorkovanja i godišnje doba). Analiza je ukazala na statistički značajne razlike koncentracije ukupnog fosfora između mjeseci ( $F_{7,19}=117,6$ ,  $p<0,001$ ) i godišnjih doba ( $F_{3,26}=26,1$ ,  $p<0,001$ ). Nisu zabilježene statistički značajne razlike ukupnog fosfora između mikrolokacija i barijera.



Slika 34. Promjena koncentracije ukupnog fosfora na mikrolokacijama po mjesecima

*Post-hoc* Tukey HSD test ukazao je na statistički značajne razlike koncentracija ukupnog fosfora između zime u odnosu na ljeto i jesen ( $p < 0,001$ ) te proljeća u odnosu na ljeto i jesen ( $p < 0,001$ ). Nisu zabilježene statistički značajne razlike između zime i proljeća te ljeta i jeseni (slika 35).



Slika 35. Srednje vrijednosti koncentracije ukupnog fosfora ( $\pm$  SD) na mikrolokacijama po godišnjim dobima. Različita slova uz godišnja doba označavaju statistički značajnu razliku kod  $p < 0,001$  prema *post-hoc* Tukey HSD testu

### Korelacije fizikalno-kemijskih i hidroloških pokazatelja

Između fizikalno-kemijskih i hidroloških pokazatelja proveden je Spearmanov test korelacije kojim su se izdvojile pozitivne i negativne korelacije pojedinih pokazatelja.

Tablica 4. Spearmanovi koeficijenti korelacije između fizikalno-kemijskih i hidroloških pokazatelja. Navedene su statistički značajne korelacije kod \* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,01$  i \*\*\* $p < 0,001$ . Oznake pokazatelja: BS – brzina strujanja, Temp – temperatura, O<sub>2</sub> – konc. otopljenog kisika, Vodlj – električna vodljivost, pH – pH-vrijednost, Uk. tvr – ukupna tvrdoća, Nitra – konc. nitrata, Ortof – konc. ortofosfata, TN – ukupni dušik i TP – ukupni fosfor

Fizikalno-kemijski i hidrološki pokazatelji										
	BS	Temp	O <sub>2</sub>	Vodlj	pH	Uk. tvr	Nitra	Ortof	TN	TP
BS			0,68 **	0,71 **		0,55 *	0,64 **		0,56 *	0,61 *
Temp			-0,81 ***	-0,88 ***		-0,87 ***	-0,73 **	0,82 ***		
O <sub>2</sub>	0,68 **	-0,81 ***		0,88 ***	0,72 **	0,86 ***	0,87 ***	-0,60 *		0,64 **
Vodlj	0,71 **	-0,88 ***	0,89 ***		0,54 *	0,90 ***	0,90 ***	-0,58 *		0,56 *
pH			0,72 **	0,54 *		0,61 *	0,69 **			0,80 ***
Uk. tvr	0,55 *	-0,87 ***	0,86 ***	0,90 ***	0,61 *		0,87 ***	-0,66 **		0,53 *
Nitra	0,65 **	-0,73 **	0,87 ***	0,90 ***	0,69 **	0,87 ***				0,69 **
Ortof		0,82 ***	-0,60 *	-0,58 *		-0,66 **				
TN	0,56 *									
TP	0,61 *		0,64 **	0,56 *	0,77 ***	0,53 *	0,69 **			

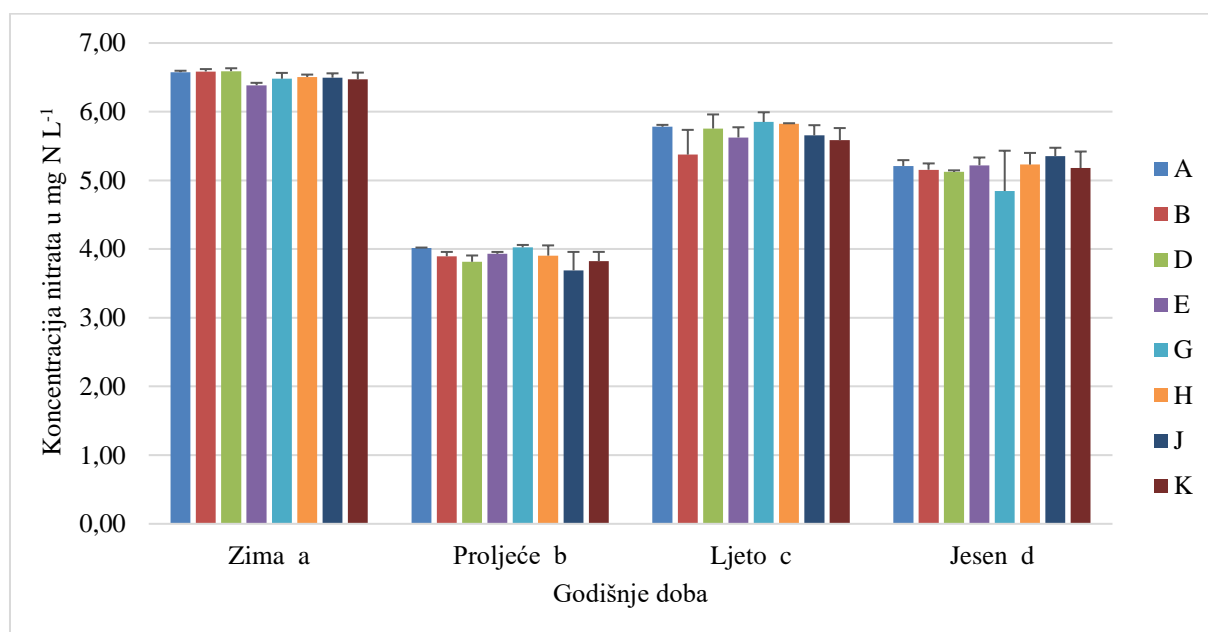
Između mjerenih pokazatelja uočen je visoki stupanj međusobne korelacije. Koncentracija otopljenog kisika, električna vodljivost te ukupna tvrdoća značajno je korelirala s većinom pokazatelja. Navedeni pokazatelji te koncentracija nitrata negativno su korelirali s temperaturom ( $p < 0,001$  i  $p < 0,01$ ). Zabilježena je pozitivna korelacija brzine strujanja s većinom pokazatelja ( $p < 0,05$  i  $p < 0,01$ ) izuzev temperature, pH-vrijednosti i koncentracije ortofosfata. Ukupni dušik jedino je pozitivno korelirao s brzinom strujanja ( $p < 0,05$ ). Ukupni fosfor korelirao je pozitivno s većinom pokazatelja, izuzev temperature, koncentracije ortofosfata te s ukupnim dušikom s kojima nije zabilježena korelacija.

### 4.3. *In vitro* difuzija hranjivih soli

Rezultati *in vitro* testa difuzije prikupljeni su nakon provedene kemijske analize koncentracije nitrata i ortofosfata iz po dva uzorka agara s N, P i N+P-tretmana s pojedinih mikrostaništa (A, B, D, E, G, H, J, K).

Analizom varijance istražile su se razlike između zavisne varijable koncentracije nitrata te faktora mikrostaništa i godišnjeg doba (zima, proljeće, ljeto i jesen). Analiza je ukazala na statistički značajne razlike koncentracije nitrata između godišnjih doba ( $F_{3,45}=597,3$ ,  $p<0,001$ ), no nisu zabilježene statistički značajne razlike koncentracije nitrata između mikrostaništa.

*Post-hoc* Tukey HSD testom testirane su statistički značajne razlike između koncentracija nitrata i godišnjih doba te se svako godišnje doba statistički značajno razlikuje jedno od drugog ( $p<0,001$ ). Nešto više koncentracije nitrata bile su zabilježene testom difuzije u zimu, ljeto i jesen, dok su u proljeće koncentracije nitrata bile niže (slika 36).

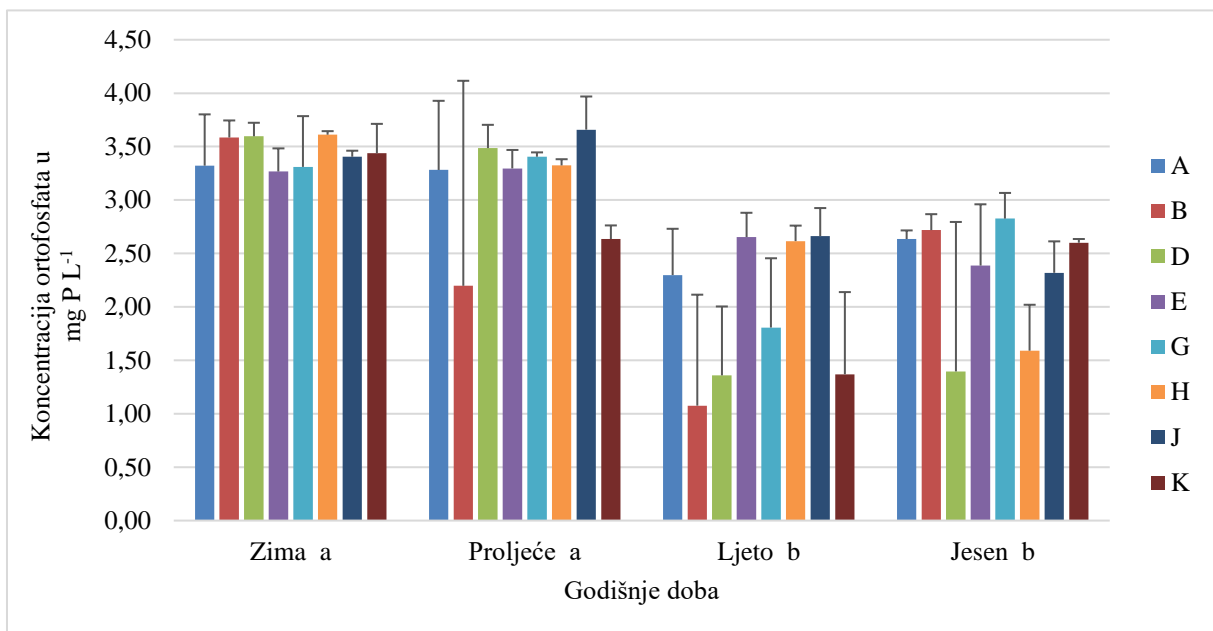


Slika 36. Srednje vrijednosti koncentracije nitrata ( $\pm$  SD) na mikrostaništima po godišnjim dobima nakon provedenog testa difuzije. Različita slova uz godišnja doba označavaju statistički značajnu razliku kod  $p<0,001$  prema *post-hoc* Tukey HSD testu

Analizom varijance istražile su se razlike između zavisne varijable koncentracije ortofosfata te faktora mikrostaništa i godišnjeg doba. Analiza je ukazala na statistički značajne razlike

koncentracije ortofosfata između godišnjih doba ( $F_{3,45}=9,8$ ,  $p<0,001$ ), no nisu zabilježene statistički značajne razlike koncentracije ortofosfata između mikrostaništa.

*Post-hoc* Tukey HSD testom testirane su statistički značajne razlike koncentracija ortofosfata između godišnjih doba. Zima se statistički značajno razlikovala od ljeta ( $p<0,001$ ) i jeseni ( $p<0,01$ ), a proljeće od ljeta ( $p<0,01$ ). Nisu zabilježene statistički značajne razlike između jeseni u odnosu na proljeće i ljeto. Također, uočene su povišene koncentracije ortofosfata u zimu i proljeće, dok su u ljeto te koncentracije bile najniže (slika 37).

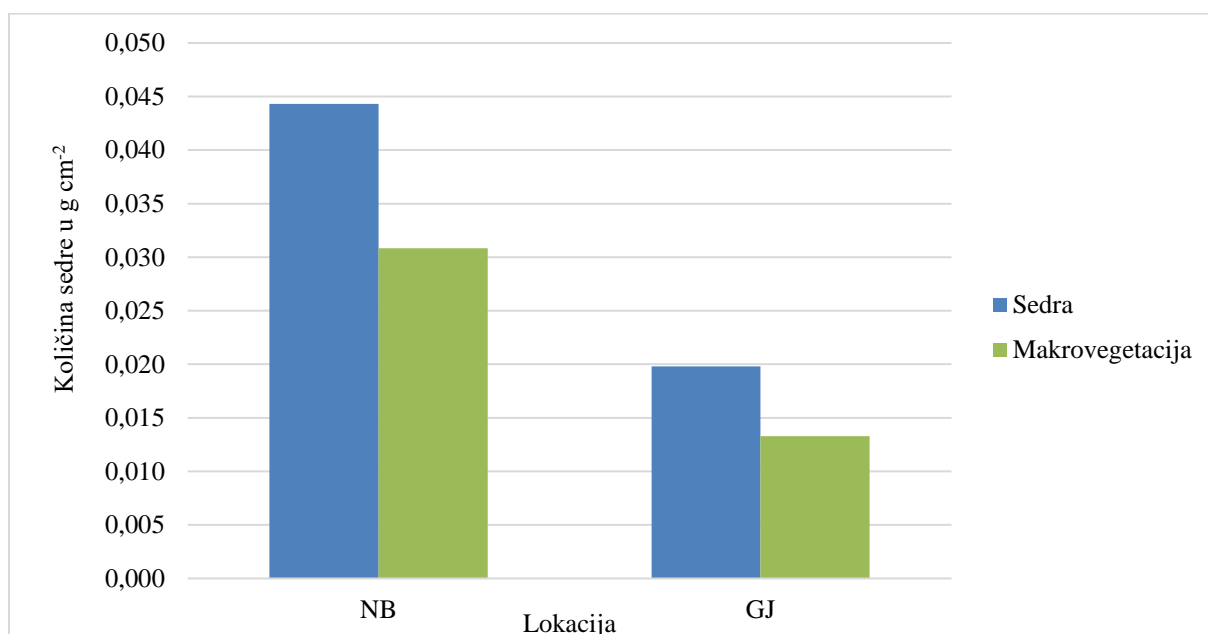


Slika 37. Srednje vrijednosti koncentracije ortofosfata ( $\pm$  SD) na mikrostaništima po godišnjim dobima nakon provedenog testa difuzije. Različita slova uz godišnja doba označavaju statistički značajnu razliku kod  $p<0,01$  prema *post-hoc* Tukey HSD testu



#### 4.4. Osedranje na umjetnim podlogama

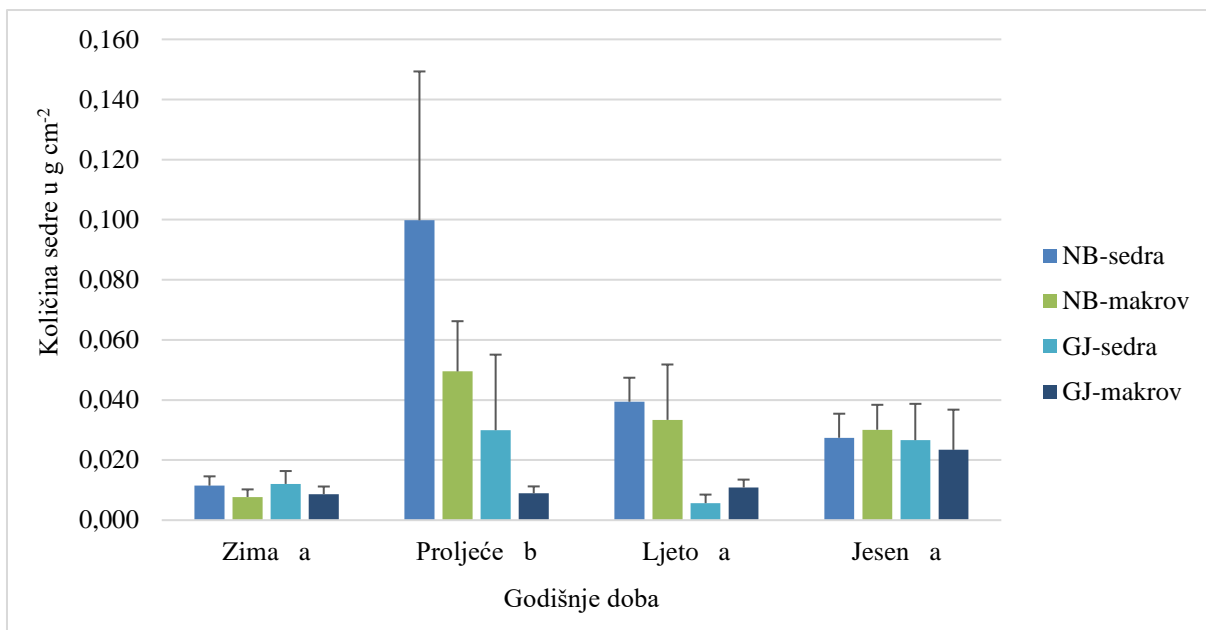
Rezultati količine istaloženog kalcijevog karbonata odnosno sedre dobiveni su nakon provedene metode opisane u poglavlju 3.5. Usporedbom srednjih vrijednosti količine sedre izražene u  $\text{g cm}^{-2}$  između barijera NB i GJ odnosno mikrolokacija sedrena barijera bez makrovegetacije i sedrena barijera s makrovegetacijom (slika 38), uočeno je povišeno osedranje na barijeri NB ( $0,031\text{--}0,044 \text{ g cm}^{-2}$ ) u odnosu na barijeru GJ ( $0,013\text{--}0,020 \text{ g cm}^{-2}$ ). Također, razlikovale su se srednje vrijednosti količine sedre između mikrolokacija na barijerama uz povišene vrijednosti na sedrenoj barijeri bez makrovegetacije za razliku od nižih vrijednosti na sedrenoj barijeri s makrovegetacijom.



Slika 38. Srednje vrijednosti količine sedre u  $\text{g cm}^{-2}$  na lokacijama NB i GJ te na mikrolokacijama

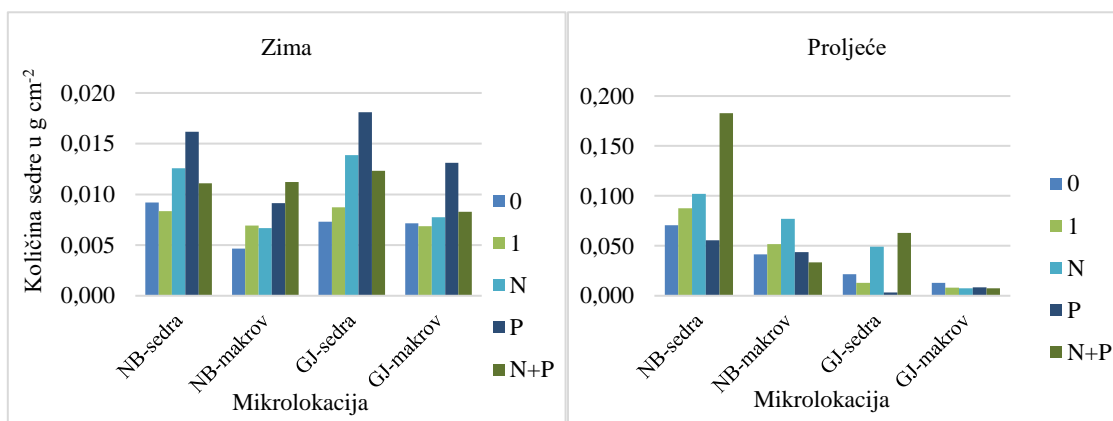
Analiza varijance ukazala je na statistički značajne razlike količine sedre između godišnjeg doba ( $F_{3,74}=10,7$ ,  $p<0,001$ ), barijera ( $F_{1,74}=21,0$ ,  $p<0,001$ ) te mikrolokacija ( $F_{1,74}=4,5$ ,  $p<0,05$ ).

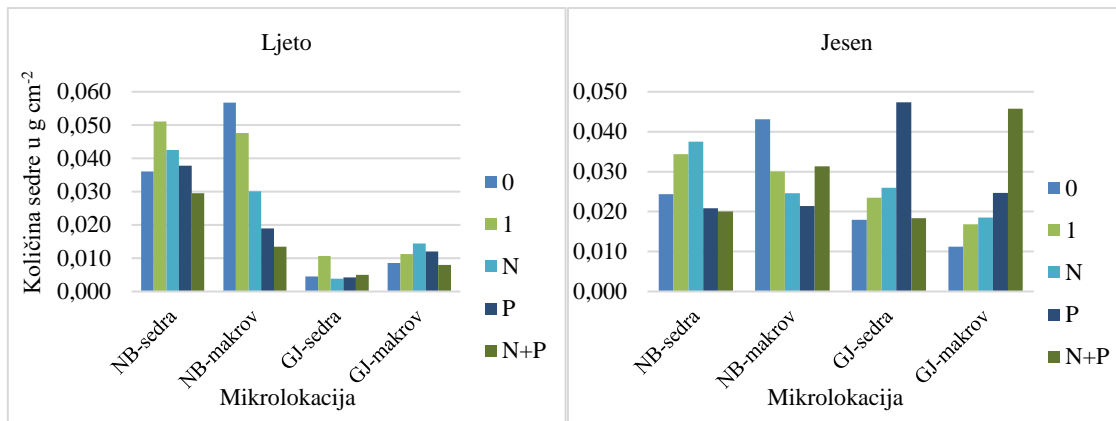
Testiranjem statistički značajnih razlika količine sedre između godišnjih doba korištenjem *post-hoc* Tukey HSD testa, utvrdila se statistički značajna razlika u količini sedre između proljeća i ostalih godišnjih doba ( $p<0,001$ ,  $p<0,01$  i  $p<0,05$ ) (slika 39).



Slika 39. Srednje vrijednosti količine sedre ( $\pm$  SD) na mikrolokacijama za svako godišnje doba. Različita slova uz godišnje doba označavaju statistički značajne razlike kod  $p < 0,05$  prema *post-hoc* Tukey HSD testu

Utjecaj hranjivih soli u N, P i N+P-tretmanima te razlike između pojedinih tretmana te 0 i 1 kontrola po godišnjim dobima i mikrolokacijama nisu zabilježene (slika 40). S obzirom da za ovu analizu nisu korišteni replikati, prikazane su pojedinačne vrijednosti za pojedine tretmane.





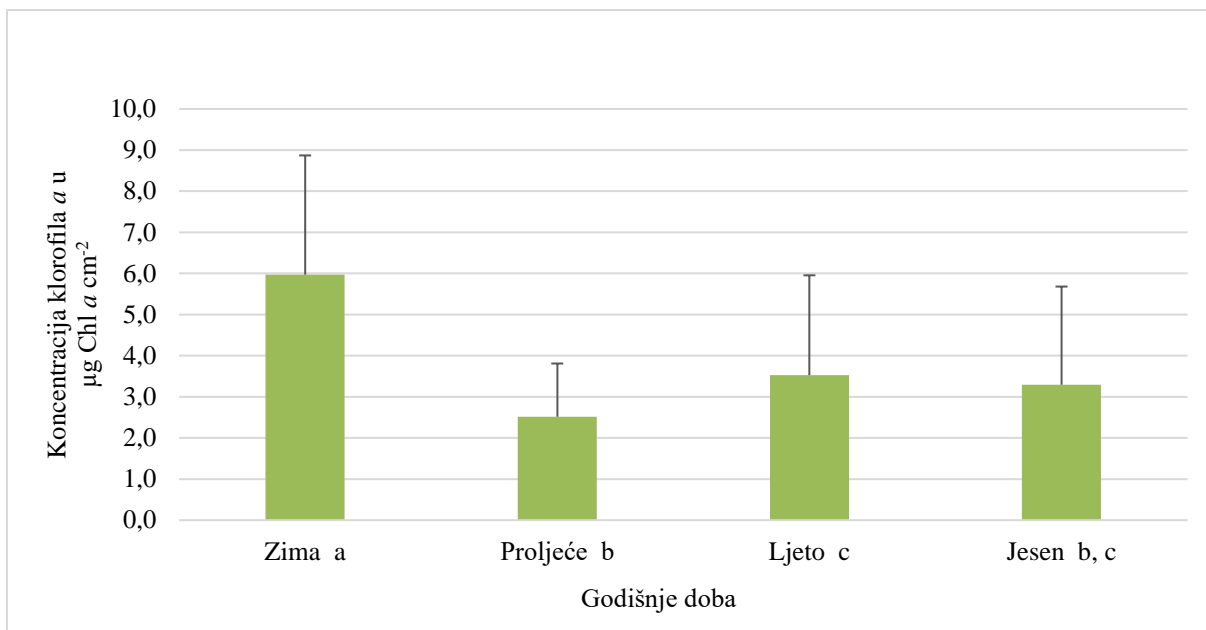
Slika 40. Količine sedre u g cm<sup>-2</sup> za pojedina godišnja doba po tretmanima i pojedinim mikrolokacijama (skala na y-osi se razlikuje između grafikona)

Kao na slici 39., zabilježene su razlike u količini sedre između barijera posebno u proljeće i ljeto kada je za barijeru GJ bilo zabilježeno niže osedranje u odnosu na barijeru NB.

#### 4.5. Učinak hranjivih soli na klorofil *a*

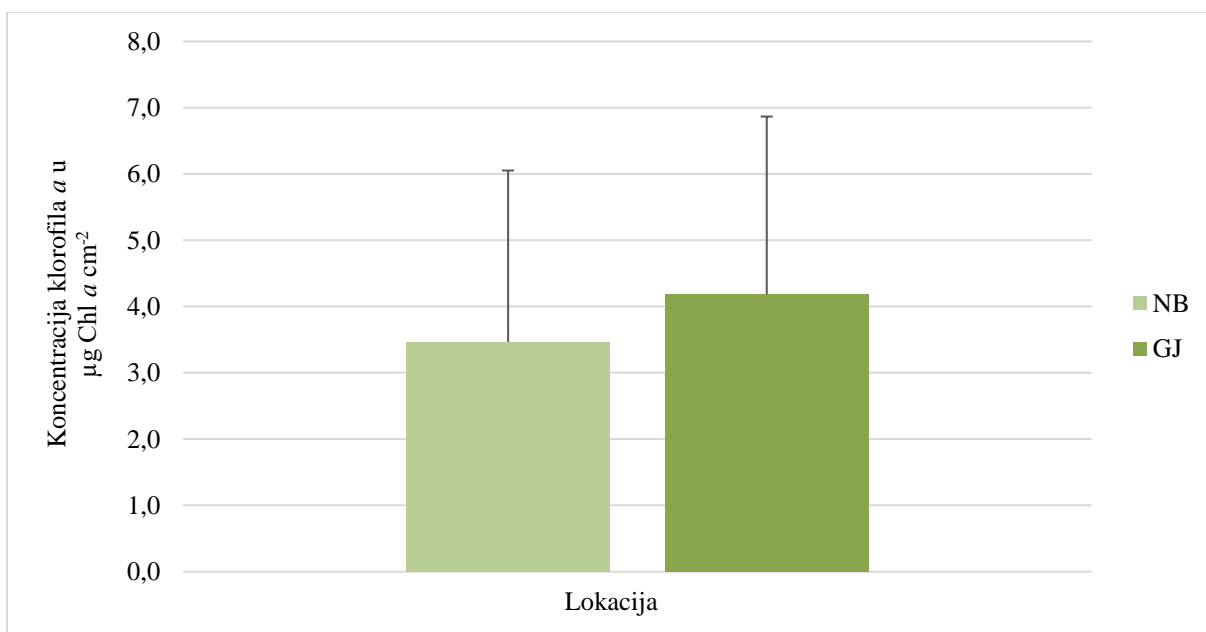
Koncentracije klorofila *a* na umjetnim podlogama kretale su se od 0,3 do 12,3 µg Chl *a* cm<sup>-2</sup>. Analiza varijance ukazala je na statistički značajne razlike koncentracije klorofila *a* između barijera ( $F_{1,310}=17,1$ ,  $p<0,001$ ), mikrolokacija ( $F_{1,310}=4,5$ ,  $p<0,05$ ), tretmana ( $F_{4,310}=29,9$ ,  $p<0,001$ ) te godišnjeg doba ( $F_{3,310}=42,3$ ,  $p<0,001$ ).

Testiranjem statistički značajnih razlika koncentracije klorofila *a* između godišnjih doba korištenjem *post-hoc* Tukey HSD testa, zima se statistički značajno razlikovala od ostalih godišnjih doba prema koncentraciji klorofila *a* ( $p<0,001$ ) te su postojale razlike između proljeća i ljeta ( $p<0,05$ ). Razlike nisu bile statistički značajne za proljeće i jesen te za ljeto i jesen (slika 41).



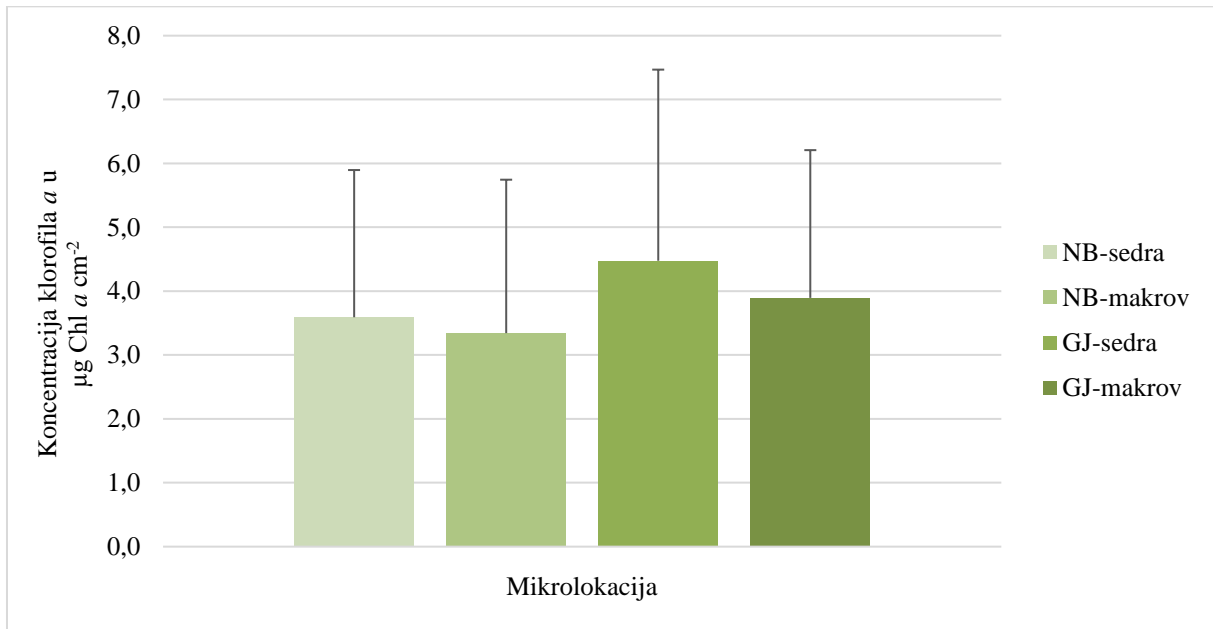
Slika 41. Srednje vrijednosti koncentracije klorofila *a* ( $\pm$  SD) po godišnjim dobima. Različita slova uz godišnja doba označavaju statistički značajnu razliku kod  $p < 0,001$  i  $p < 0,05$  prema *post-hoc* Tukey HSD testu

Više koncentracije klorofila *a* zabilježene su na lokaciji barijere GJ u odnosu na barijeru NB (slika 42).

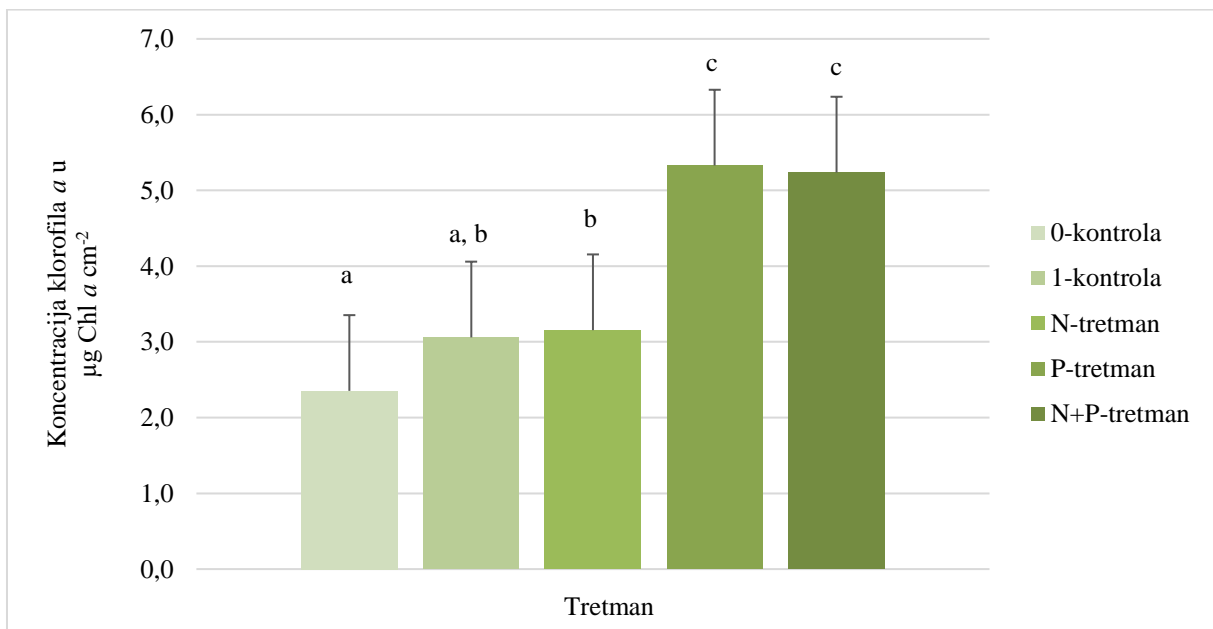


Slika 42. Srednje vrijednosti koncentracije klorofila *a* ( $\pm$  SD) na lokacijama

Povišene koncentracije klorofila *a* uočene su na mikrolokacijama GJ-sedra i GJ-makrov u odnosu na mikrolokacije barijere NB, s najvišim koncentracijama klorofila *a* na lokaciji GJ-sedra (4,5  $\mu\text{g Chl } a \text{ cm}^{-2}$ ) (slika 43).



Slika 43. Srednje vrijednosti koncentracije klorofila *a* ( $\pm$  SD) na mikrolokacijama



Slika 44. Srednje vrijednosti koncentracije klorofila *a* ( $\pm$  SD) po tretmanima. Različita slova uz tretmane označavaju statistički značajnu razliku kod  $p < 0,001$  i  $p < 0,05$  prema *post-hoc* Tukey HSD testu

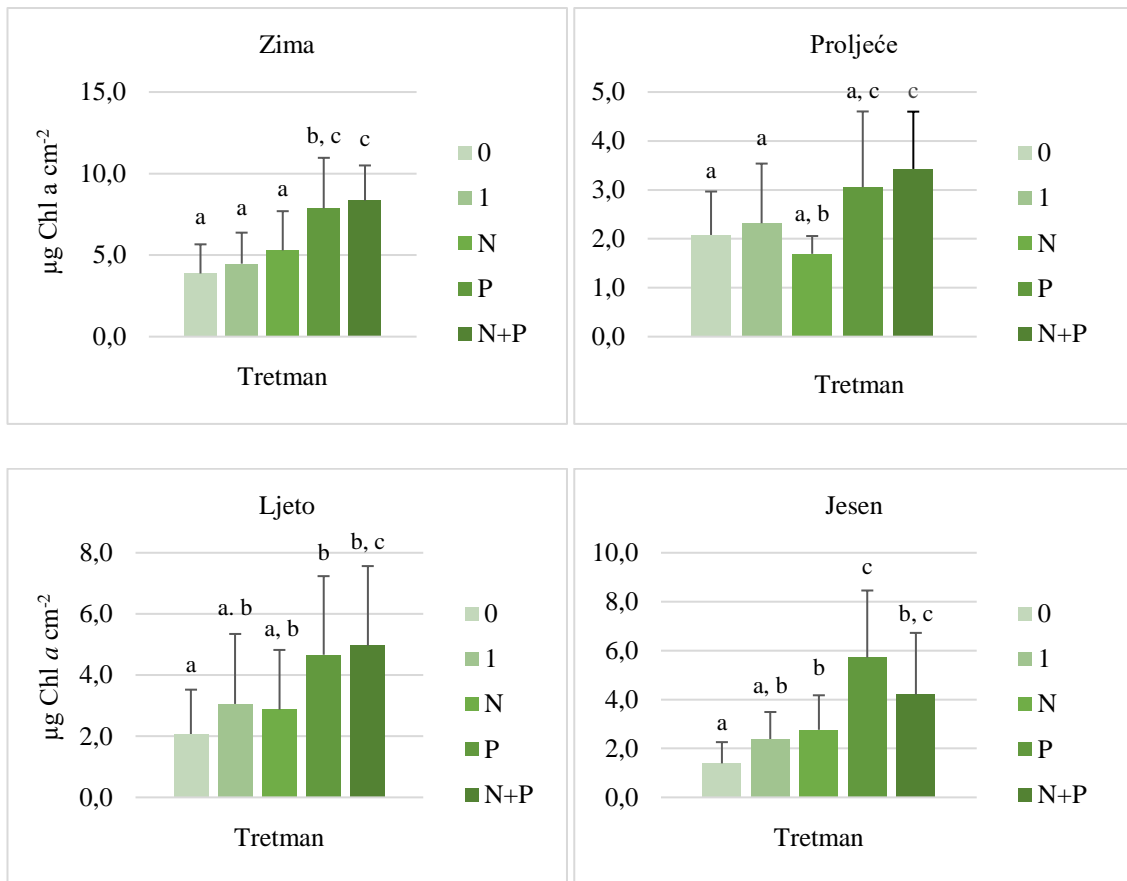
Testiranjem statistički značajnih razlika koncentracije klorofila *a* između 0 i 1-kontrole te tretmana (P, N i N+P) korištenjem *post-hoc* Tukey HSD testa, statistički značajne razlike postoje između P i N+P tretmana ( $p < 0,001$ ) te 0-kontrole i N-tretmana ( $p < 0,05$ ). Nema statistički značajnih razlika između 0-kontrola i 1-kontrole, 1-kontrole i N-tretmana (slika 44).

#### *Koncentracija klorofila a unutar godišnjih doba*

Koncentracija klorofila *a* unutar svakog godišnjeg doba testirala se trofaktorskom analizom varijance u odnosu na faktore (barijera, mikrolokacija i tretman). Uočene su statistički značajne razlike koncentracije klorofila *a* između tretmana za sva godišnja doba: zima ( $F_{4,73}=11,6$ ,  $p < 0,001$ ), proljeće ( $F_{4,60}=7,2$ ,  $p < 0,001$ ), ljeto ( $F_{4,60}=7,0$   $p < 0,001$ ) i jesen ( $F_{4,60}=15,2$ ,  $p < 0,001$ ). Statistički značajne razlike koncentracije klorofila *a* između barijera i mikrolokacija zabilježene su za godišnja doba proljeće (barijera  $F_{1,60}=5,4$ ,  $p < 0,05$ ; mikrolokacija  $F_{1,60}=7,4$ ,  $p < 0,01$ ) i ljeto (barijera  $F_{1,60}=16,3$ ,  $p < 0,001$ ; mikrolokacija  $F_{1,60}=11,8$ ,  $p < 0,01$ ).

*Post-hoc* Tukey HSD test korišten u testiranju razlika koncentracija klorofila *a* između tretmana u svakom pojedinom godišnjem dobu, istaknuo je postojanje statistički značajnih razlika P i N+P-tretmana u odnosu na 0-kontrolu, 1-kontrolu i N-tretman (slika 45).

*Post-hoc* Tukey HSD testom ujedno su se testirale razlike koncentracije klorofila *a* između kombinacije barijera i mikrolokacija. Statistički značajne razlike između koncentracija klorofila *a* i kombinacije barijera i mikrolokacija uočene su za godišnja doba zima (NB-sedra i GJ-sedra,  $p < 0,05$ ), proljeće (NB-sedra i GJ-sedra te NB-makrov od GJ-sedra i GJ-makrov,  $p < 0,05$ ) i jesen (NB-makrov i GJ-makrov te GJ-sedra i GJ-makrov,  $p < 0,01$ ). Nisu zabilježene statistički značajne razlike između koncentracije klorofila *a* i kombinacije barijera\*mikrolokacija za godišnje doba ljeto.



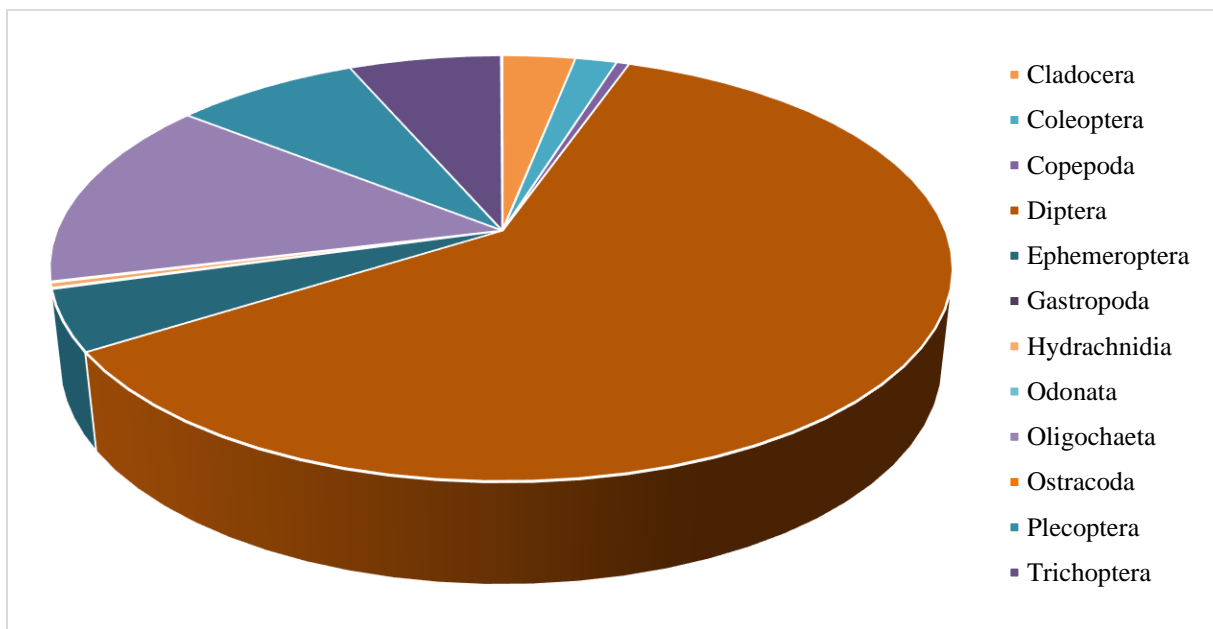
Slika 45. Srednje vrijednosti klorofila *a* ( $\pm$  SD) po tretmanima za svako godišnje doba. Različita slova uz tretmane označavaju statistički značajne razlike kod  $p < 0,001$  i  $p < 0,05$  prema *post-hoc* Tukey HSD testu (skala na y-osi se razlikuje između grafikona)

#### Korelacija klorofila *a* s ostalim pokazateljima

Proveden je Spearmanov test korelacije između klorofila *a* i fizikalno-kemijskih i hidroloških pokazatelja te količine istaloženog kalcijevog karbonata. Iz analiza su se izdvojile negativna korelacija između klorofila *a* i temperature ( $R = -0,50$ ,  $p < 0,05$ ) te negativna korelacija između klorofila *a* i količine istaloženog kalcijevog karbonata ( $R = -0,37$ ,  $p < 0,001$ ). Druge korelacije između pokazatelja nisu bile statistički značajne.

#### 4.6. Makrozoobentos i učinak hranjivih soli

Tijekom istraživanja, sa odvojenih mrežica (četiri replikata za svaku kontrolu odnosno tretman), izolirane su svojite makrozoobentosa koje su pripadale u 13 skupina: Cladocera, Copepoda, Coleoptera, Diptera, Ephemeroptera, Gastropoda, Hydrachnidia, Odonata, Oligochaeta, Ostracoda, Plecoptera, Trichoptera i Turbellaria. Ukupan broj izoliranih jedinki makrozoobentosa sa sve četiri mikrolokacije (NB-sedra, NB-makrov, GJ-sedra i GJ-makrov) iznosio je 6482 jedinki. Determinirane su 83 svojite makrozoobentosa. Skupina s najvišim brojem svojiti (32) bila je skupina Trichoptera (Prilog 3). Najveća brojnost makrozoobentosa zabilježena je za skupinu Diptera (zbirno 22 675,8 jed. dm<sup>-2</sup>) dok su najmanju brojnost imali Ostracoda (5,8 jed. dm<sup>-2</sup>) i Turbellaria (23,1 jed. dm<sup>-2</sup>) (slika 46).

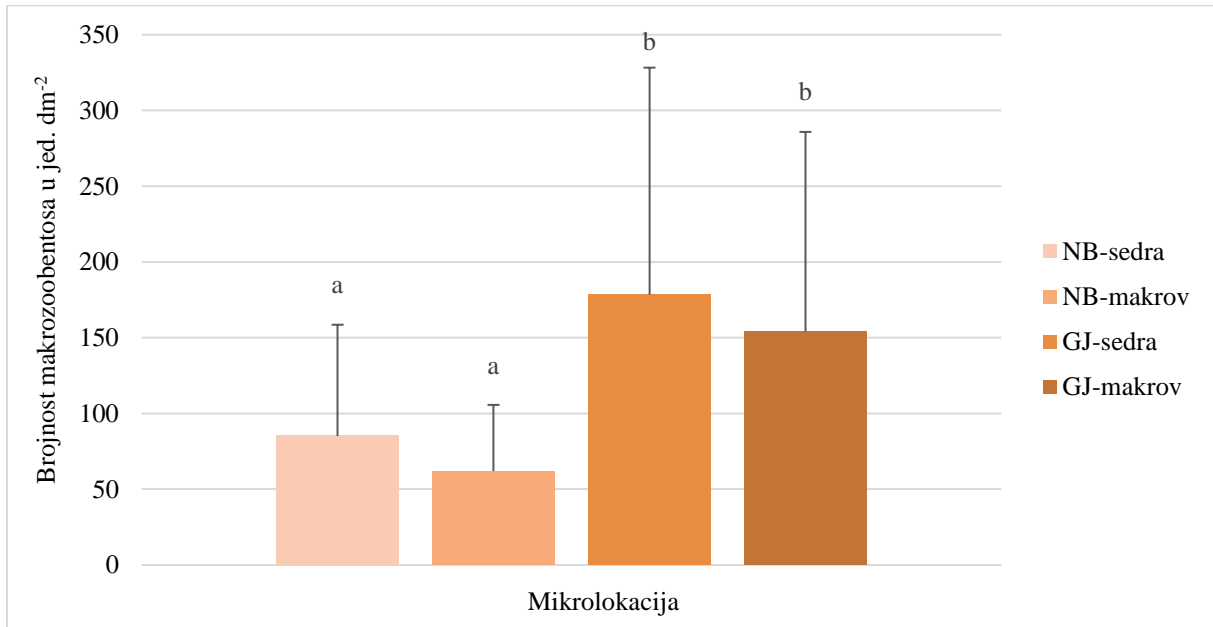


Slika 46. Udio skupina u ukupnoj brojnosti makrozoobentosa

Uočene su razlike između brojnosti makrozoobentosa, pri čemu su srednje vrijednosti bile niže na barijeri NB u odnosu na barijeru GJ. Na mikrolokaciji GJ-sedra zabilježena je najviša brojnost makrozoobentosa (178,5 jed. dm<sup>-2</sup>). Između mikrolokacija također su postojale razlike u brojnosti makrozoobentosa te je ona bila viša na sedrenoj barijeri bez makrovegetacije u odnosu na barijeru s makrovegetacijom (slika 47). Statistički značajne razlike zabilježene su u brojnosti makrozoobentosa (jed. dm<sup>-2</sup>) između barijera ( $F_{1,298}=117,1$ ,  $p<0,001$ ), mikrolokacija ( $F_{1,298}=7,1$ ,  $p<0,05$ ), tretmana ( $F_{4,298}=10,8$ ,  $p<0,001$ ) te godišnjeg doba ( $F_{3,298}=86,4$ ,  $p<0,001$ ). Nakon provedenog *post-hoc* Tukey HSD testa brojnosti makrozoobentosa između mikrolokacija, nisu zabilježene statistički značajne razlike između



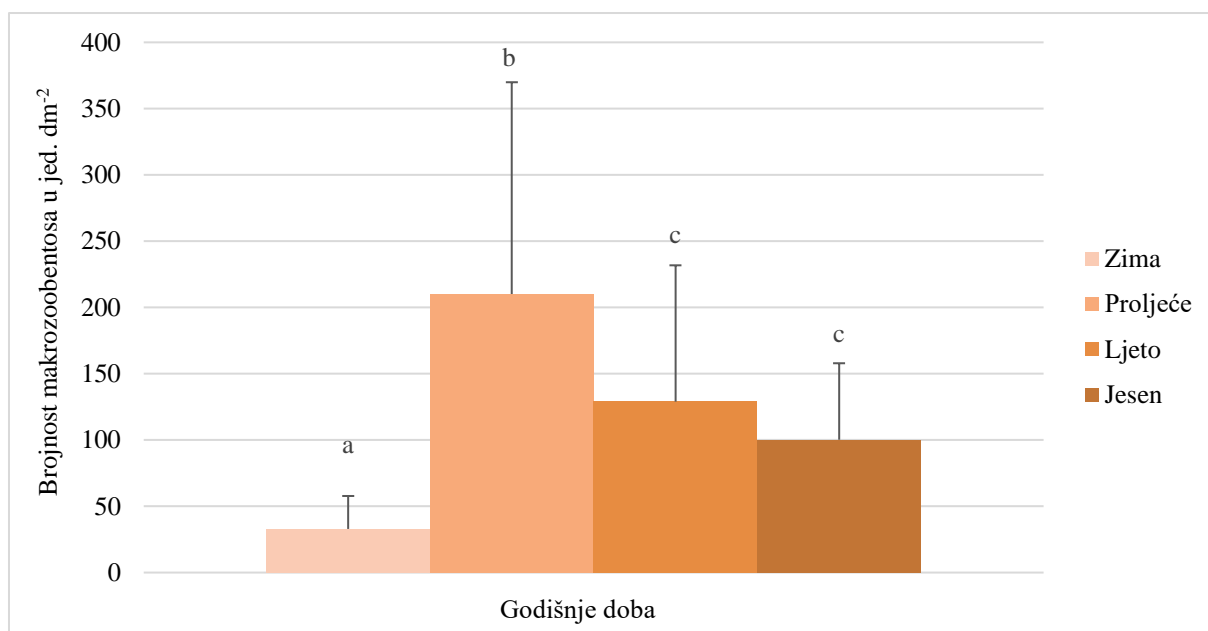
mikrolokacija iste barijere, dok su bile statistički značajne razlike između mikrolokacija NB-sedra i NB-makrovegetacija u odnosu na GJ-sedra i GJ-makrovegetacija ( $p < 0,001$ ).



Slika 47. Srednje vrijednosti brojnosti makrozoobentosa ( $\pm$  SD) na mikrolokacijama.

Različita slova označavaju statistički značajnu razliku kod  $p < 0,001$  prema *post-hoc* Tukey HSD testu

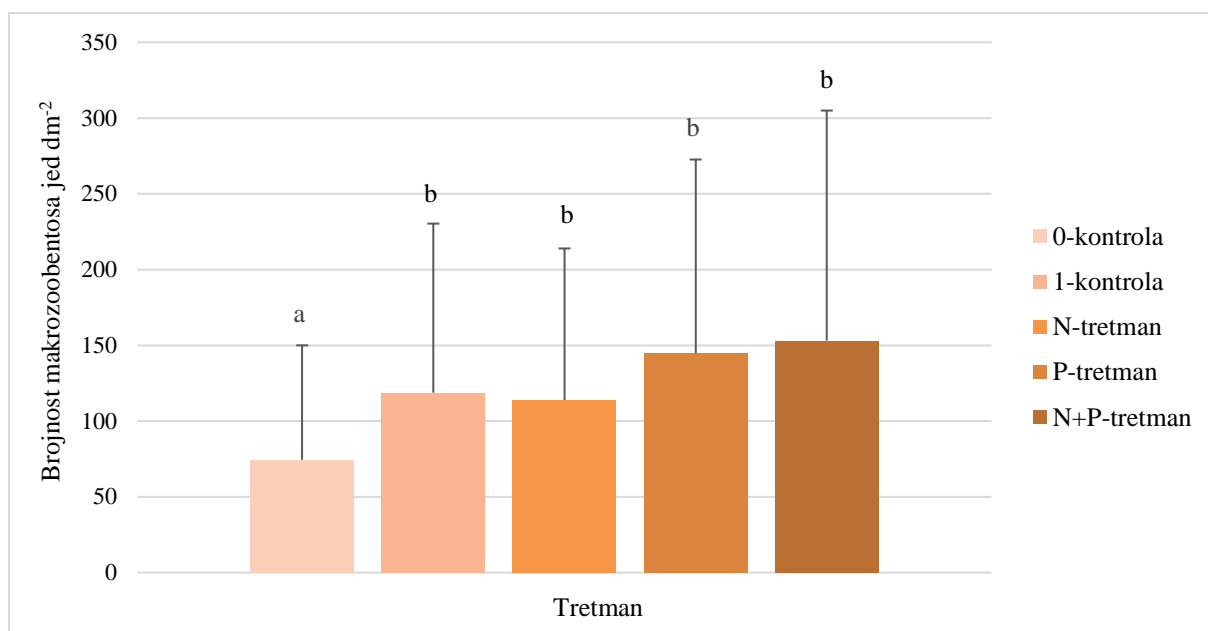
Za srednje vrijednosti brojnosti makrozoobentosa po godišnjim dobima, uočene su razlike između godišnjih doba s najvišom srednjom vrijednosti u proljeće (210,1 jed dm<sup>-2</sup>), dok su najniže srednje vrijednosti zabilježene u zimu (32,9 jed dm<sup>-2</sup>).



Slika 48. Srednje vrijednosti brojnosti makrozoobentosa ( $\pm$  SD) po godišnjim dobima. Različita slova uz godišnja doba označavaju statistički značajnu razliku kod  $p < 0,001$  prema *post-hoc* Tukey HSD testu

*Post-hoc* Tukey HSD test utvrdio je statistički značajne razlike brojnosti makrozoobentosa (jed. dm<sup>-2</sup>) između svih godišnjih doba ( $p < 0,001$ ) izuzev ljeta i jeseni za koje nisu zabilježene statistički značajne razlike (slika 48).

Uočene su razlike između srednjih vrijednosti brojnosti makrozoobentosa između kontrola (0 i 1) i tretmana (N, P, N+P) (slika 49). Najviše srednje vrijednosti brojnosti makrozoobentosa zabilježene su za N+P-tretman (153,1 jed dm<sup>-2</sup>) te za P-tretman (144,7 jed dm<sup>-2</sup>), dok su najniže za 0-kontrolu (74,7 jed dm<sup>-2</sup>). *Post-hoc* Tukey HSD testom testirane su razlike brojnosti makrozoobentosa (jed. dm<sup>-2</sup>) između kontrola i tretmana te se 0-kontrola statistički značajno razlikovala od 1-kontrole i N-tretmana ( $p < 0,05$ ) te od P i N+P-tretmana ( $p < 0,001$ ), dok za ostale tretmane nisu zabilježene statistički značajne razlike.



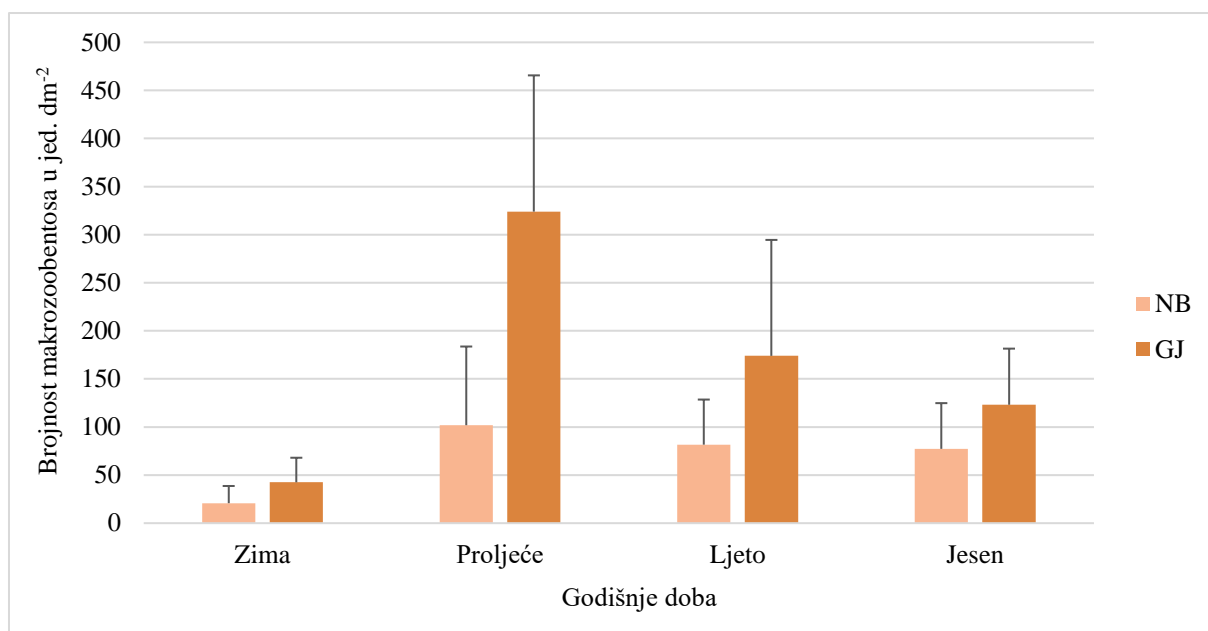
Slika 49. Srednje vrijednosti brojnosti makrozoobentosa ( $\pm$  SD) po tretmanima. Različita slova uz tretmane označavaju statistički značajnu razliku kod  $p < 0,05$  prema *post-hoc* Tukey HSD testu

#### *Brojnost makrozoobentosa unutar godišnjih doba*

Brojnost jedinki makrozoobentosa (jed. dm<sup>-2</sup>) unutar svakog godišnjeg doba testirala se trofaktorskom analizom varijance u odnosu na faktore (barijera, mikrolokacija i tretman) i kombinacije (barijera\*mikrolokacija i barijera\*tretman). Uočene su statistički značajne razlike brojnosti makrozoobentosa između:

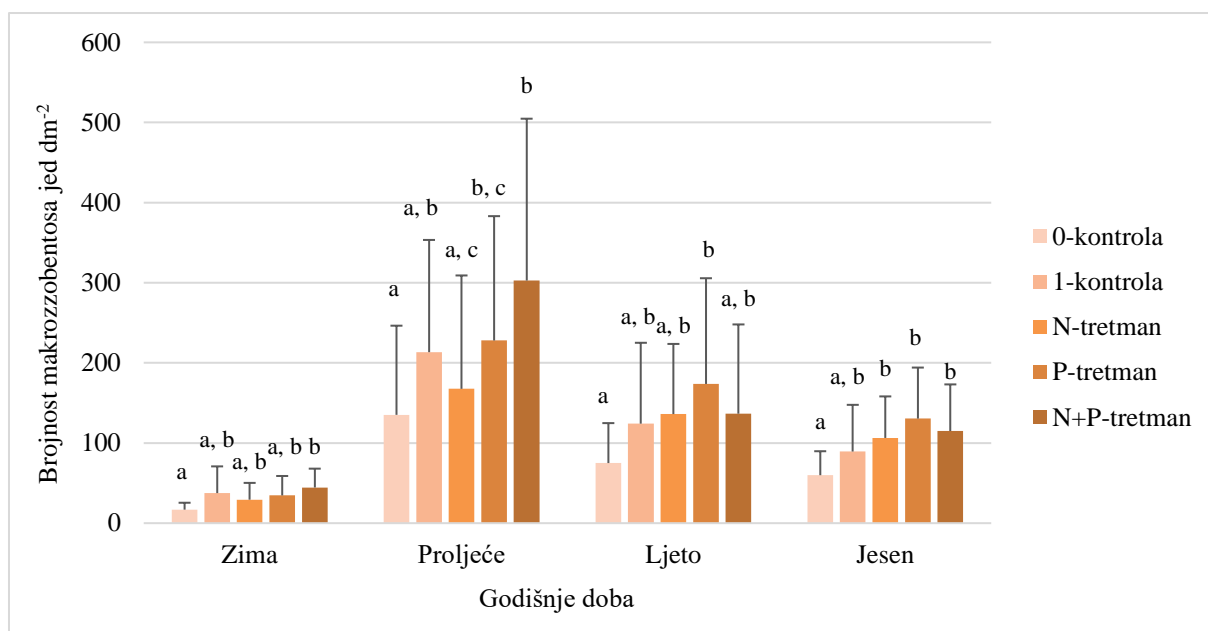
- a) barijera: zima ( $F_{1,48}=29,7$ ,  $p < 0,001$ ), proljeće ( $F_{1,60}=120,2$ ,  $p < 0,001$ ), ljeto ( $F_{1,60}=20,8$ ,  $p < 0,001$ ) i jesen ( $F_{1,60}=20,5$ ,  $p < 0,001$ ),
- b) mikrolokacija: proljeće ( $F_{1,60}=8,7$ ,  $p < 0,01$ ) i ljeto ( $F_{1,60}=5,4$ ,  $p < 0,05$ ),
- c) tretmana: zima ( $F_{4,48}=4,2$ ,  $p < 0,01$ ), proljeće ( $F_{4,60}=6,4$ ,  $p < 0,001$ ), ljeto ( $F_{4,60}=3,1$ ,  $p < 0,05$ ) i jesen ( $F_{4,60}=5,7$ ,  $p < 0,001$ ),
- d) barijera\*mikrolokacija: zima ( $F_{1,48}=4,6$ ,  $p < 0,05$ ), proljeće ( $F_{1,60}=8,4$ ,  $p < 0,01$ ), ljeto ( $F_{1,60}=15,1$ ,  $p < 0,001$ ) i jesen ( $F_{1,60}=6,4$ ,  $p < 0,05$ ) i
- e) barijera\*tretman: zima ( $F_{4,48}=3,1$ ,  $p < 0,05$ ).

Najizraženije statistički značajne razlike za brojnost makrozoobentosa svakog godišnjeg doba bile su između barijera pri čemu je u svakom godišnjem dobu brojnost makrozoobentosa bila niža na barijeri NB u odnosu na barijeru GJ (slika 50).



Slika 50. Srednje vrijednosti brojnosti makrozoobentosa ( $\pm$  SD) po barijerama za svako godišnje doba

Uočene su razlike u brojnosti makrozoobentosa po godišnjim dobima te više vrijednosti brojnosti za P (227,9 jed dm<sup>-2</sup>) i N+P-tretmane (302,8 jed dm<sup>-2</sup>) u proljeće, dok u ostalim godišnjim dobima nije bilo statistički značajne razlike u brojnosti između obogaćenih podloga i kontrola (slika 51).



Slika 51. Srednje vrijednosti brojnosti makrozoobentosa ( $\pm$  SD) po tretmanima za svako godišnje doba. Različita slova uz tretmane označavaju statistički značajne razlike kod  $p < 0,05$  prema *post-hoc* Tukey HSD testu unutar pojedinog godišnjeg doba

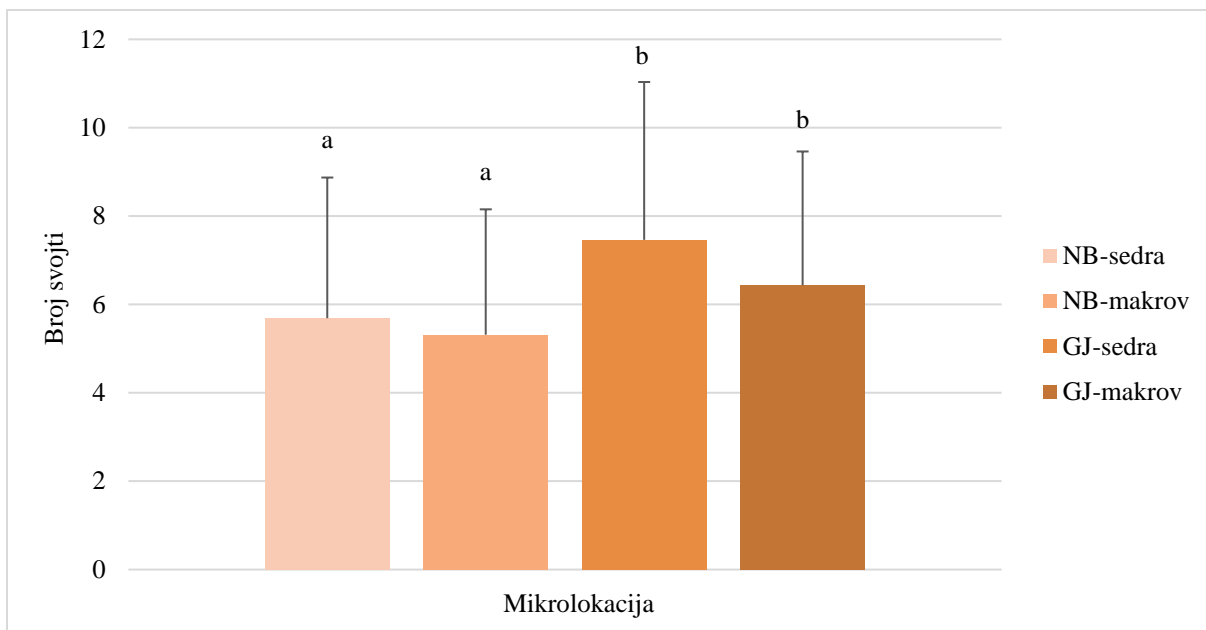
#### *Broj svojti makrozoobentosa*

Ukupno je determinirano 83 svojte makrozoobentosa te su ovi rezultati obrađeni s obzirom na odnose po mikrolokacijama, godišnjim dobima i tretmanima. Najbrojnije svojte makrozoobentosa bile su Tanytarsini (1388 jedinki), Chironomidae (1137 jedinki) i Tanypodinae (542 jedinke) (Diptera), dok je skupina Oligochaeta zabilježena s ukupno 936 jedinki (slika 52).

Najviša srednja vrijednost broja svojti zabilježen je na mikrolokaciji GJ-sedra (7,5), a najniža na mikrolokaciji NB-makrov (5,3) (slika 53), što se podudara s trendom brojnosti makrozoobentosa. Analiza varijance ukazala je na značajne razlike broja svojti između mikrolokacija ( $F_{3,297}=13,6$ ,  $p < 0,001$ ) koje su testirane *post-hoc* Tukey HSD testom.

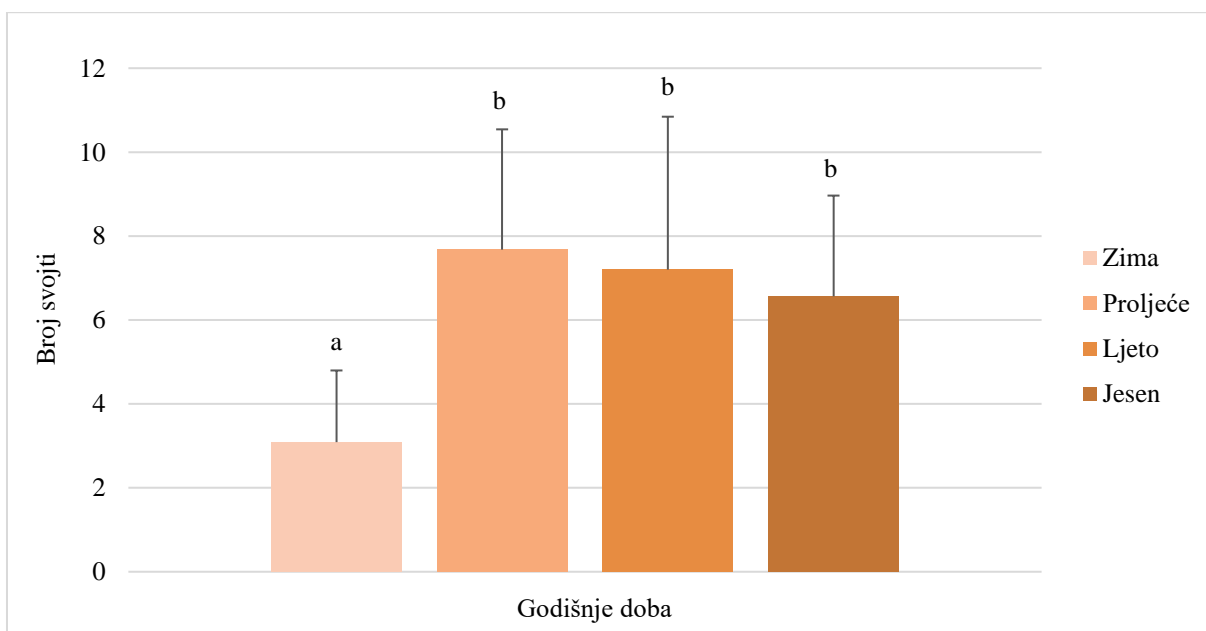


Slika 52. Broj jedinki svih određenih svojti makrozoobentosa



Slika 53. Srednje vrijednosti broja svojti makrozoobentosa ( $\pm$  SD) na mikrolokacijama. Različita slova uz mikrolokacije označavaju statistički značajne razlike kod  $p < 0,05$  prema *post-hoc* Tukey HSD testu

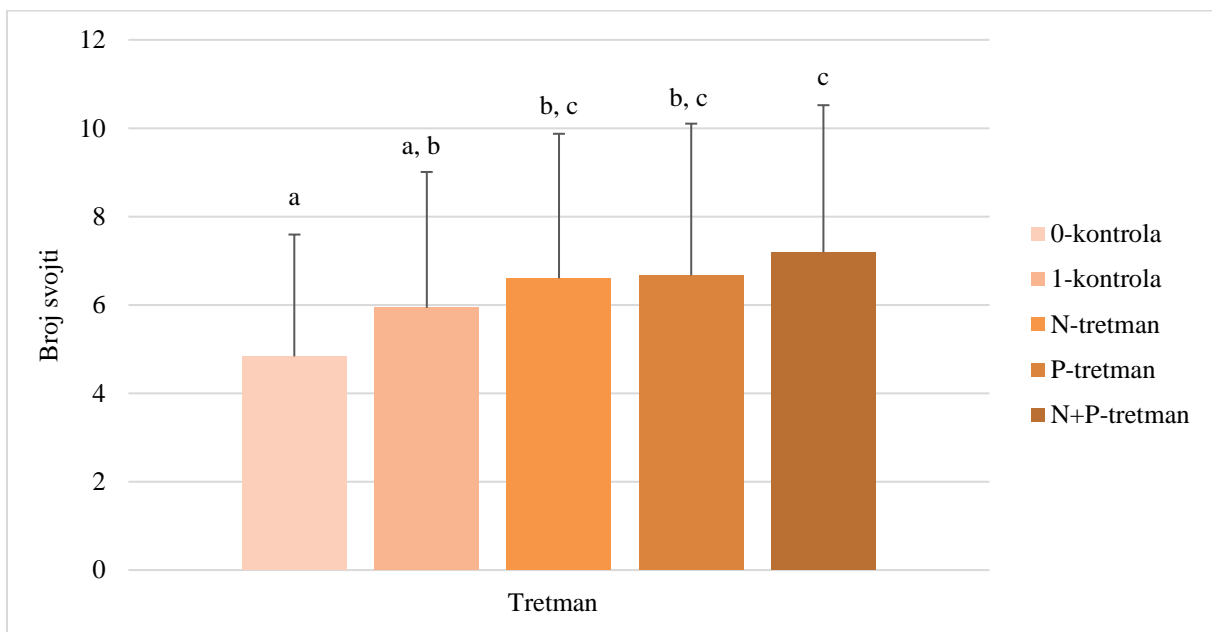
Srednja vrijednost broja svojti makrozoobentosa bila je najviša u proljeće (7,7) dok je najniža zabilježena u zimu (3,1) (slika 54).



Slika 54. Srednje vrijednosti broja svojti makrozoobentosa ( $\pm$  SD) po godišnjim dobima. Različita slova uz godišnja doba označavaju statistički značajne razlike kod  $p < 0,001$  prema *post-hoc* Tukey HSD testu

Analiza varijance ukazala je na značajne razlike broja svojti između godišnjih doba ( $F_{3,297}=60,7$ ,  $p<0,001$ ), a *post-hoc* Tukey HSD test ukazao je da se zima statistički značajno razlikuje od svih godišnjih doba ( $p<0,001$ ).

Broj svojti makrozoobentosa promatran je i s obzirom na tretmane (slika 55) pri čemu je srednja vrijednost broja svojti bila najviša za N+P-tretman (7, 2) u odnosu na 0 i 1 kontrolu, dok je za N i P-tretmane srednja vrijednost bila u rasponu od 6,6-6,7. Analiza varijance ukazala je na značajne razlike broja svojti između tretmana ( $F_{4,297}=8,9$ ,  $p<0,001$ ), a *post-hoc* Tukey HSD test ukazao je na statistički značajne razlike između samih tretmana pri čemu se 0-kontrola statistički značajno razlikuje od svih N, P i N+P-tretmana ( $p<0,001$ ), a 1-kontrola od N+P-tretmana ( $p<0,05$ ).



Slika 55. Srednje vrijednosti broja svojti makrozoobentosa ( $\pm$  SD) po tretmanima. Različita slova uz tretmane označavaju statistički značajne razlike kod  $p<0,001$  i  $p<0,05$  prema *post-hoc* Tukey HSD testu

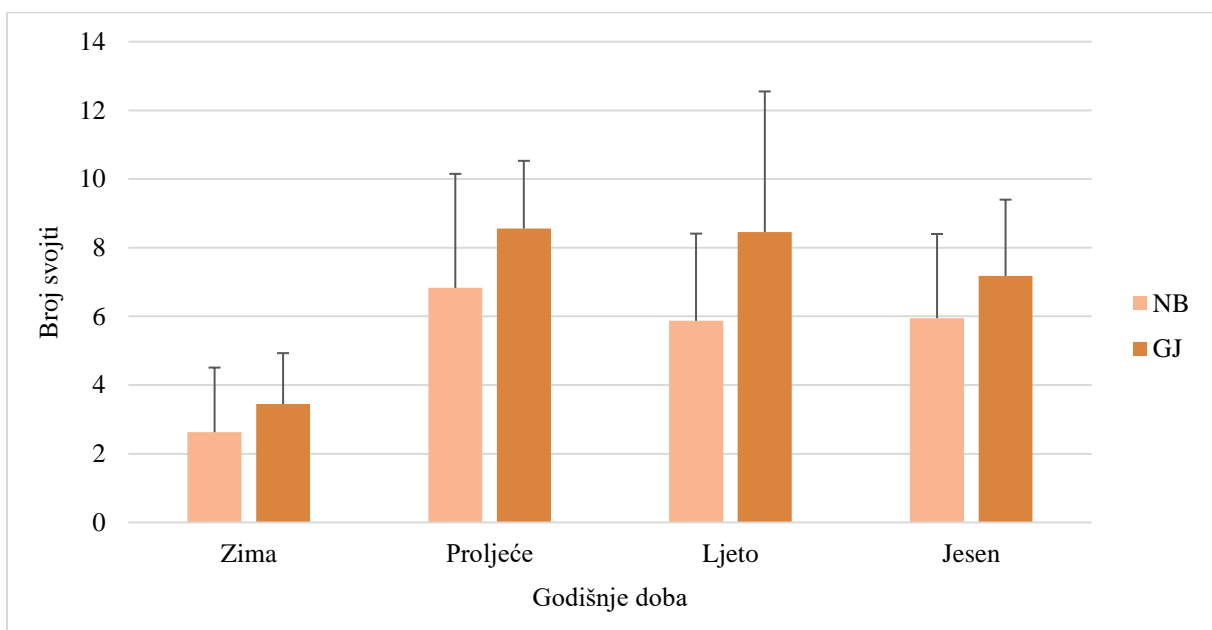
#### *Broj svojti makrozoobentosa unutar godišnjih doba*

Broj svojti makrozoobentosa unutar svakog godišnjeg doba testirao se trofaktorskom analizom varijance u odnosu na faktore (barijera, mikrolokacija i tretman) i kombinacije (barijera\*mikrolokacija i barijera\*tretman). Uočene su statistički značajne razlike broja svojti između:



- a) barijera: zima ( $F_{1,48}=7,7$ ,  $p<0,01$ ), proljeće ( $F_{1,60}=8,6$ ,  $p<0,01$ ), ljeto ( $F_{1,60}=11,1$ ,  $p<0,01$ ) i jesen ( $F_{1,60}=5,9$ ,  $p<0,05$ ),
- b) mikrolokacija: zima ( $F_{1,48}=5,2$ ,  $p<0,05$ ) i proljeće ( $F_{1,60}=5,2$ ,  $p<0,05$ ),
- c) tretmana: zima ( $F_{4,48}=3,6$ ,  $p<0,05$ ), ljeto ( $F_{4,60}=4,1$ ,  $p<0,01$ ) i jesen ( $F_{4,60}=2,6$ ,  $p<0,05$ ) i
- d) barijera\*mikrolokacija: proljeće ( $F_{1,60}=5,1$ ,  $p<0,05$ ) i ljeto ( $F_{1,60}=17,0$ ,  $p<0,001$ ).

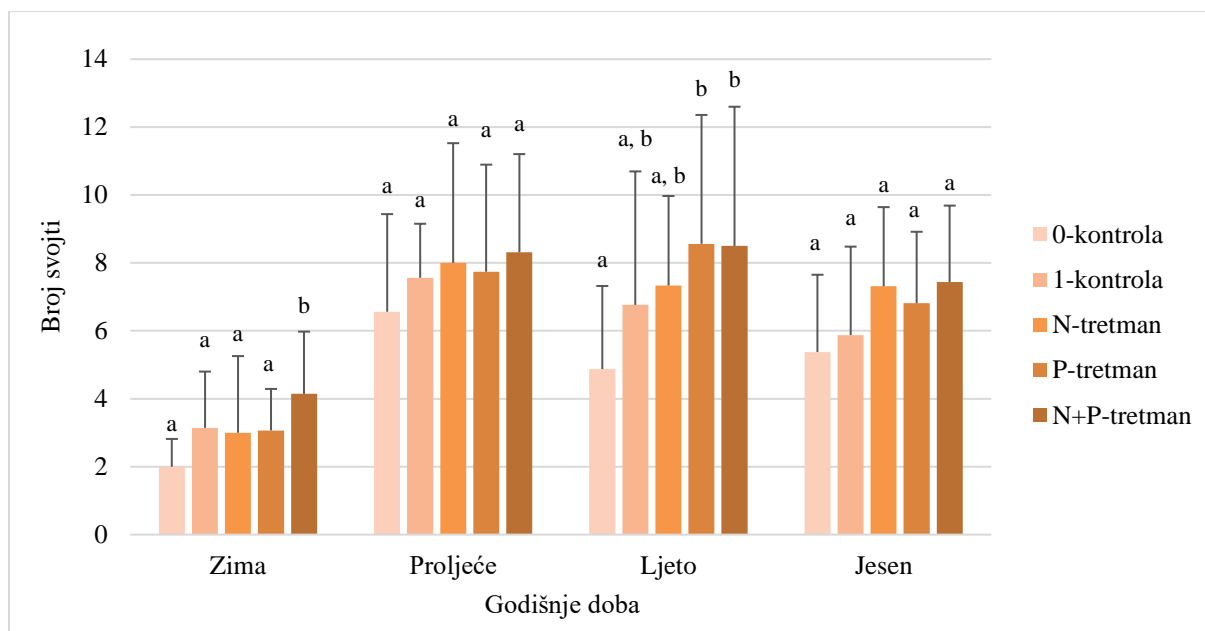
Najizraženije statistički značajne razlike broja svojti makrozoobentosa za svako godišnje doba bile su između barijera, pri čemu se može uočiti viša srednja vrijednost broja svojti na barijeri GJ u odnosu na barijeru NB u svakom godišnjem dobu (slika 56).



Slika 56. Srednje vrijednosti broja svojti makrozoobentosa ( $\pm$  SD) po barijerama za svako godišnje doba

Srednje vrijednosti broja svojti makrozoobentosa po tretmanima za svako godišnje doba ukazale su na viši broj svojti za N, P i N+P-tretmane u proljeće, ljeto i jesen, dok se zimi izdvaja samo N+P-tretman (slika 57). *Post-hoc* Tukey HSD testom testirale su se razlike pojedinih varijabli koje su se pokazale statistički značajne u analizi varijance. Nisu zabilježene statistički značajne razlike broja svojti makrozoobentosa između tretmana za godišnja doba proljeće i jesen u odnosu na zimu i ljeto (slika 57). Istim testom nisu zabilježene statistički značajne razlike između mikrolokacija za godišnje doba zimu, iako su se pokazale značajne u analizi varijance dok su za proljeće zabilježene statistički značajne

razlike broja svojiti između mikrolokacije NB-makrov u odnosu na NB-sedra ( $p < 0,05$ ) te GJ-sedra i GJ-makrov ( $p < 0,01$ ).



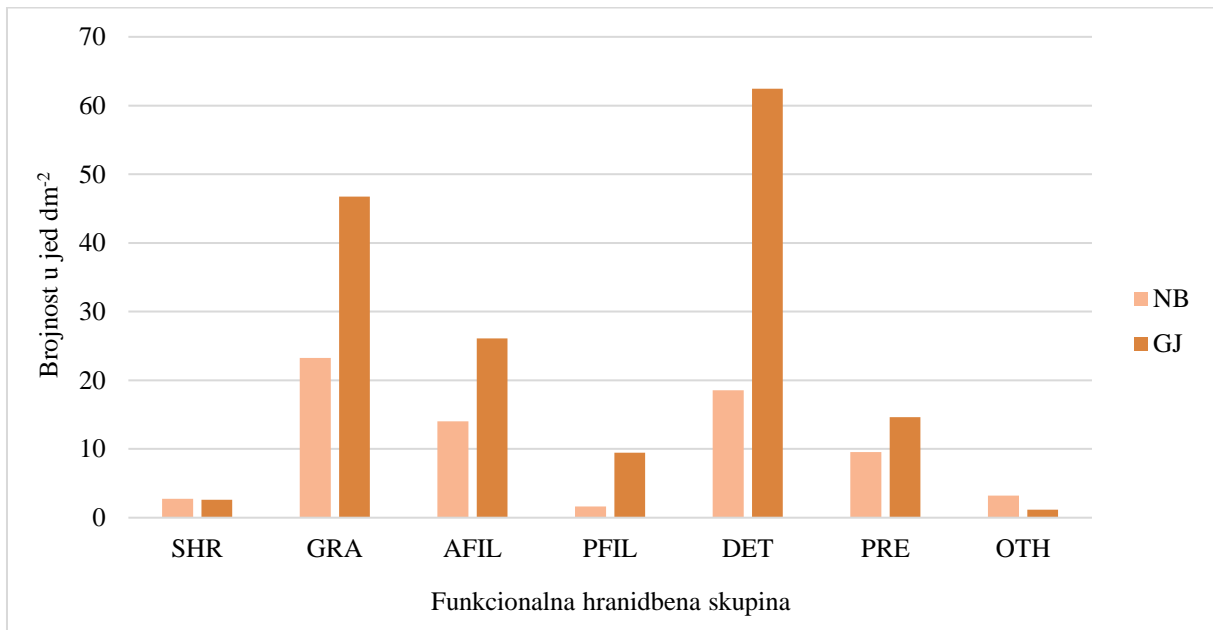
Slika 57. Srednje vrijednosti broja svojiti makrozoobentosa ( $\pm$  SD) po tretmanima za svako godišnje doba. Različita slova uz tretmane označavaju statistički značajne razlike kod  $p < 0,01$  i  $p < 0,05$  prema *post-hoc* Tukey HSD testu unutar pojedinog godišnjeg doba

### Funkcionalne hranidbene skupine

Brojnost funkcionalnih hranidbenih skupina (prema Moog, 2002) promatrala se na barijerama, mikrolokacijama, prema godišnjim dobima i tretmanima. Zabilježene su funkcionalne hranidbene skupine usitnjivača (SHR), strugača (GRA), aktivnih procjeđivača (AFIL), pasivnih procjeđivača (PFIL), detritivora – sakupljača (DER), grabežljivaca (PRE) i ostalih (OTH). Nisu zabilježeni bušaći (MIN), ksilofagi (XYL) i paraziti (PAR).

Povišene srednje vrijednosti brojnosti funkcionalnih hranidbenih skupina na barijerama bile su izražene između barijere GJ u odnosu na barijeru NB za svaku skupinu izuzev SHR i OTH. Najviše srednje vrijednosti brojnosti su za skupine GRA (46,7 jed.  $\text{dm}^{-2}$ ) i DET (62,5 jed.  $\text{dm}^{-2}$ ) na barijeri GJ (slika 58). Analiza varijance ukazala je na statistički značajne razlike brojnosti funkcionalnih hranidbenih skupina između barijera za skupine GRA ( $F_{1,297}=57,8$ ,  $p < 0,001$ ), AFIL ( $F_{1,297}=19,6$ ,  $p < 0,001$ ), DET ( $F_{1,286}=167,2$ ,  $p < 0,001$ ), PRE ( $F_{1,215}=6,0$ ,  $p < 0,05$ ). Jednosmjerna analiza varijance odnosno Kruskal-Wallis test za skupinu PFIL ukazao

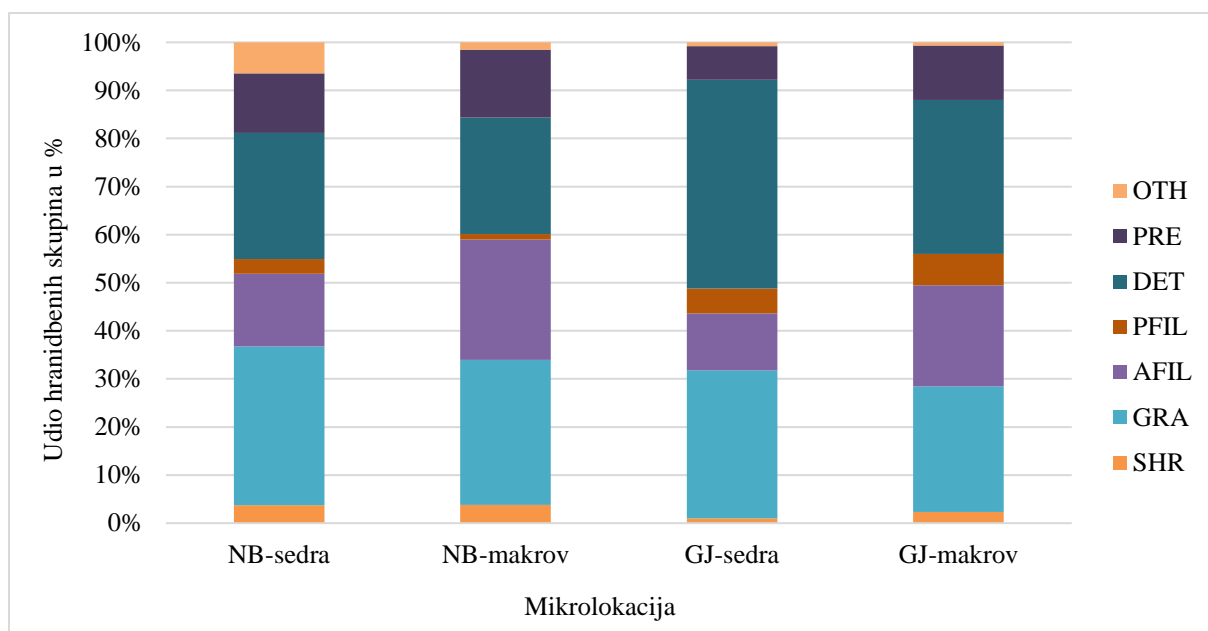
je na statistički značajne razlike između barijera ( $H=30,6$ ,  $p<0,001$ ). Za skupine SHR i OTH nisu zabilježene statistički značajne razlike između barijera.



Slika 58. Srednje vrijednosti brojnosti funkcionalnih hranidbenih skupina na barijerama

Funkcionalne hranidbene skupine po mikrolokacijama razlikovale su se s većim udjelom skupina SHR, GRA, AFIL, PRE i OTH na mikrolokaciji NB-sedra i NB-makrovegetacija u odnosu na GJ-sedra i GJ-makrovegetacija dok je udio skupina PFIL i DET bio veći na mikrolokacijama barijere GJ u odnosu na mikrolokacije barijere NB. Udio funkcionalnih skupina GRA, PFIL, DET i OTH bio je veći na barijeri NB-sedra nego na mikrolokaciji NB-makrovegetacija, dok je na mikrolokaciji GJ-sedra taj udio bio veći za GRA i DET u odnosu na mikrolokaciju GJ-makrovegetacija. Jednaki udio skupine SHR zabilježen je između mikrolokacija barijere NB, dok je jednaki udio skupine OTH zabilježen između mikrolokacija barijere GJ (slika 59).

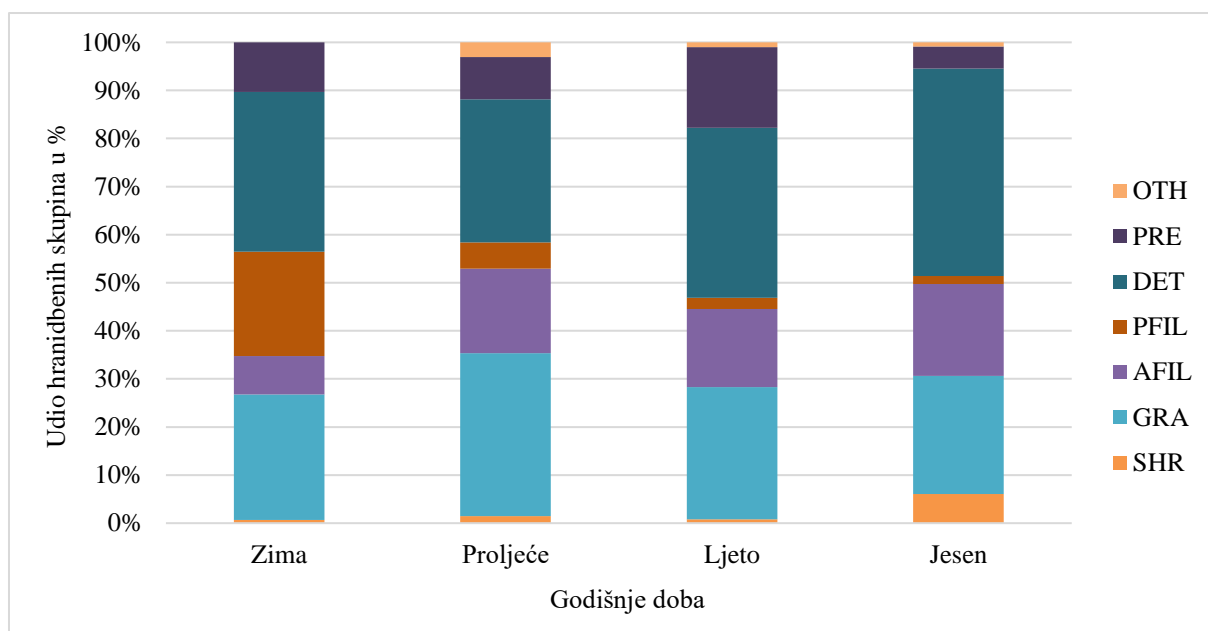
Analiza varijance ukazala je na statistički značajne razlike brojnosti funkcionalnih hranidbenih skupina između mikrolokacija za skupine GRA ( $F_{1,297}=18,0$ ,  $p<0,001$ ) i DET ( $F_{1,286}=18,1$ ,  $p<0,001$ ), dok je Kruskal-Wallis test ukazao na statistički značajne razlike između mikrolokacije za skupine PFIL ( $H=9,0$ ,  $p<0,01$ ) i OTH ( $H=7,0$ ,  $p<0,01$ ). Nisu zabilježene statistički značajne razlike između mikrolokacija za skupine SHR, AFIL i PRE.



Slika 59. Udio funkcionalnih hranidbenih skupina na mikrolokacijama

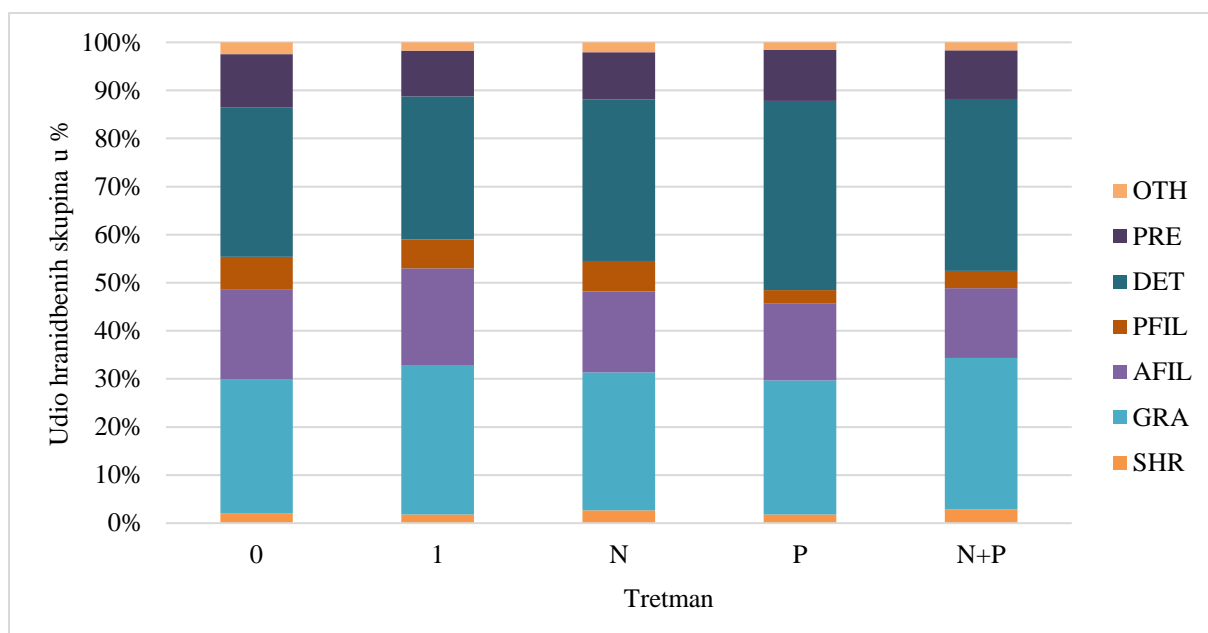
Udio funkcionalnih hranidbenih skupina po godišnjim dobima ukazao je na više udjele većine skupina u proljeće, ljeto i jesen u odnosu na zimu, dok je zimi povišeni udio skupine PFIL u odnosu na druga godišnja doba. Najviši udio skupine GRA zabilježen je u proljeće, dok je najviši udio skupine DET zabilježen u jesen. Iste skupine zastupljene su s najvišim udjelima kroz sva godišnja doba. Skupina SHR zabilježena je s istim udjelima u zimu, proljeće i ljeto (slika 60). Analiza varijance ukazala je na statistički značajne razlike brojnosti funkcionalnih hranidbenih skupina između godišnjih doba za sve skupine: SHR ( $F_{3,144}=6,6$ ,  $p<0,001$ ), GRA ( $F_{3,297}=76,1$ ,  $p<0,001$ ), AFIL ( $F_{3,297}=36,7$ ,  $p<0,001$ ), DET ( $F_{3,286}=46,4$ ,  $p<0,001$ ) i PRE ( $F_{3,215}=32,4$ ,  $p<0,001$ ). Kruskal-Wallis test ukazao je na statistički značajne razlike brojnosti skupina između godišnjih doba za skupine PFIL ( $H=18,9$ ,  $p<0,001$ ) i OTH ( $H=38,7$ ,  $p<0,001$ ).

*Post-hoc* Tukey HSD testom testirale su se razlike brojnosti funkcionalnih hranidbenih skupina između godišnjih doba koje su najizraženije za skupinu GRA između proljeća u odnosu na druga godišnja doba ( $p<0,001$ ) i za skupinu AFIL između zime u odnosu na druga godišnja doba ( $p<0,001$ ).



Slika 60. Udio funkcionalnih hranidbenih skupina po godišnjim dobima

S obzirom na kontrole (0 i 1) i tretmane (N, P, N+P) najviši udio skupine DET bio je za N, P i N+P-tretman u odnosu na ostale skupine. Na svim podlogama relativno visoke udjele imale su skupine GRA, AFIL i PRE, dok su najmanje udjele imale skupine SHR, PFIL i OTH. Skupina GRA imala je iste udjele između 0-kontrole i P-tretmana te 1-kontrole i N+P-tretmana (slika 61). Analiza varijance ukazala je na statistički značajne razlike brojnosti funkcionalnih hranidbenih skupina između tretmana za skupine GRA ( $F_{4,297}=8,6$ ,  $p<0,001$ ) i DET ( $F_{4,286}=11,3$ ,  $p<0,001$ ) dok za ostale skupine nisu zabilježene statistički značajne razlike između tretmana. *Post hoc* Tukey HSD test za skupinu GRA ukazao je kako se 0-kontrola statistički značajno razlikuje od 1-kontrole i N-tretmana kod  $p<0,05$ , dok je za P i N+P-tretman ta razlika izraženija ( $p<0,001$ ). Za skupinu DET isti test je ukazao kako se 0-kontrola statistički značajno razlikuje od N-tretmana kod  $p<0,01$ , dok su te razlike izraženije za P i N+P-tretman kod  $p<0,001$ .



Slika 61. Udio funkcionalnih hranidbenih skupina po tretmanima

#### *Korelacija makrozoobentosa s fizikalno-kemijskim i hidrološkim pokazateljima*

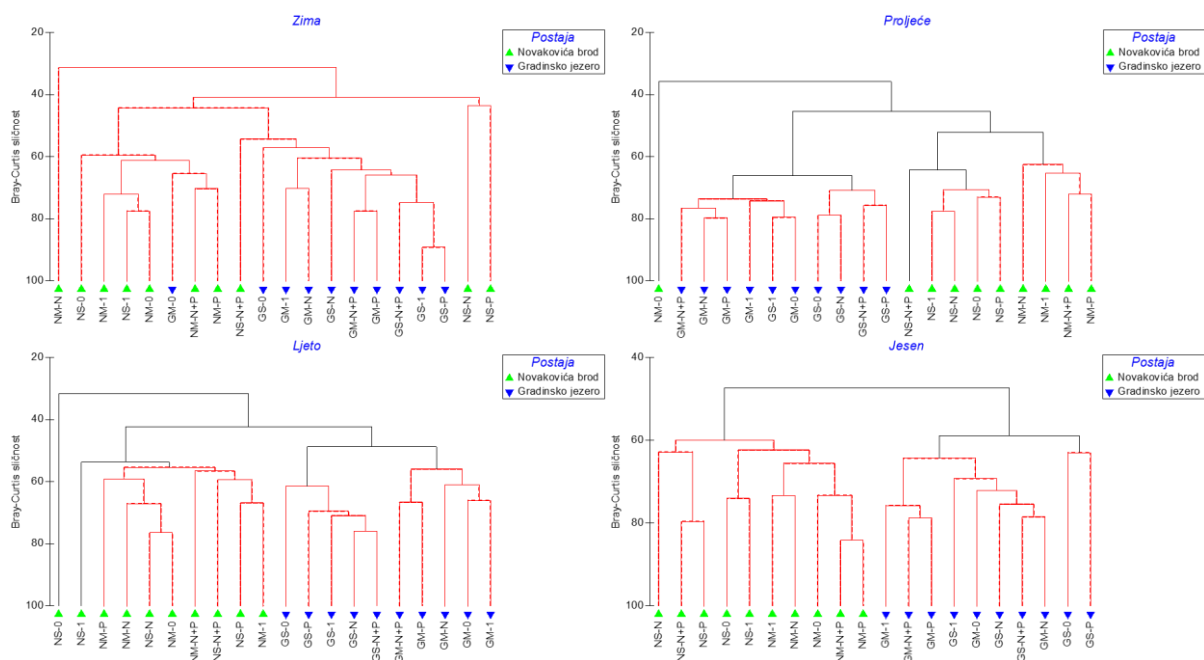
Nakon provedenog Spearmanovog testa korelacije između brojnosti makrozoobentosa (jed  $\text{dm}^{-2}$ ) i broja svojiti s fizikalno-kemijskim i hidrološkim pokazateljima te količinom istaloženog kalcijevog karbonata i klorofilom *a*, jedino se izdvojila pozitivna korelacija između brojnosti makrozoobentosa i temperature ( $R=0,5$ ,  $p<0,05$ ) te pozitivna korelacija između broja svojiti i temperature ( $R=0,5$ ,  $p<0,05$ ). Druge statistički značajne korelacije nisu zabilježene.

#### *Multivarijantne analize sličnosti*

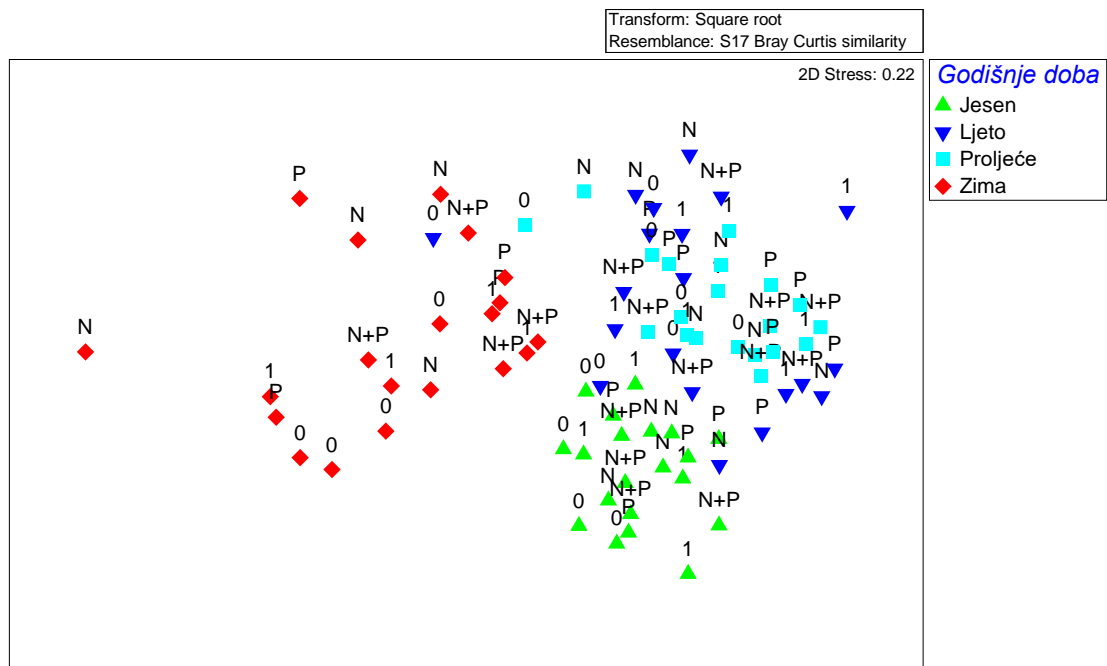
Provedene su multivarijantne analize (Cluster i MDS) međusobne sličnosti makrozoobentosa na mikrolokacijama i po tretmanima za svako godišnje doba. U Cluster analizi pokazalo se osnovno grupiranje na dva klastera između lokacija (Novakovića brod i Gradinsko jezero), uz manja odstupanja u pojedinim godišnjim dobima gdje se odvajaju pojedini uzorci (slika 62). Analiza ljetne serije ukazala je na jasno odvajanje makrozoobentosa između mikrolokacija makrovegetacije i sedre na barijeri Gradinsko jezero, dok na barijeri Novakovića brod nije zabilježeno takvo grupiranje. Tijekom proljeća, na obje barijere postojalo je dodatno grupiranje između tih mikrolokacija, iako ne za sve kombinacije. Odvajanje uzorka kontrole na barijeri Novakovića brod (makrovegetacija) bila je posljedica malog broja vrsta i jedinki

zabilježenih u tim uzorcima. Kao što je vidljivo iz dendrograma, uzorci su međusobno bili više slični na barijeri Gradinsko jezero, u odnosu na barijeru Novakovića brod.

MDS analiza sličnosti makrozoobentosa između tretmana provedena je za sva godišnja doba ukupno. Uočeno je grupiranje po sličnosti uzoraka makrozoobentosa između tretmana za proljeće i jesen, dok je slabije grupiranje uzoraka bilo za zimu i ljeto (slika 63).



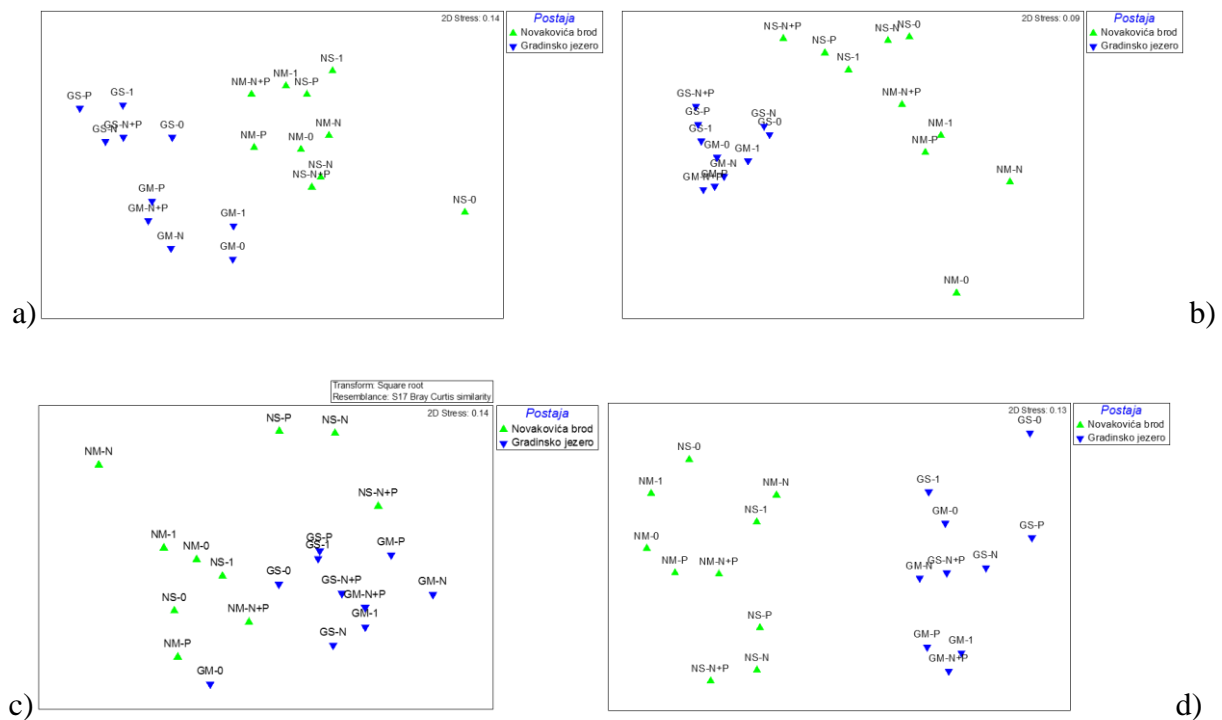
Slika 62. Analiza sličnosti (Cluster) makrozoobentosa po kombinacijama mikrolokacija i tretmana. Crvena boja označava statistički značajno klasteriranje u dendrogramu. Oznake mikrolokacija su NS-Novakovića brod sedra; NM-Novakovića brod makrovegetacija; GS-Gradinsko jezero sedra; GM-Gradinsko jezero makrovegetacija. Oznake kontrola i tretmana 0, 1, N, P i N+P



Slika 63. Analiza multidimenzionalnog skaliranja (MDS) makrozoobentosa ukupno po godišnjim dobima. Oznake kontrola i tretmana: 0, 1, N, P, N+P

Analiza sličnosti (MDS) makrozoobentosa po pojedinim godišnjim dobima potvrdila je veću sličnost uzoraka makrozoobentosa na barijeri Gradinskog jezera u odnosu na barijeru Novakovića brod, pri čemu su se uzorci jasno grupirali za godišnje doba proljeće i jesen. Ponovno su se na barijeri Gradinsko jezero, uglavnom za svako godišnje doba, jasnije odvojile mikrolokacije sedrene barijere bez makrovegetacije i s makrovegetacijom (slika 64).



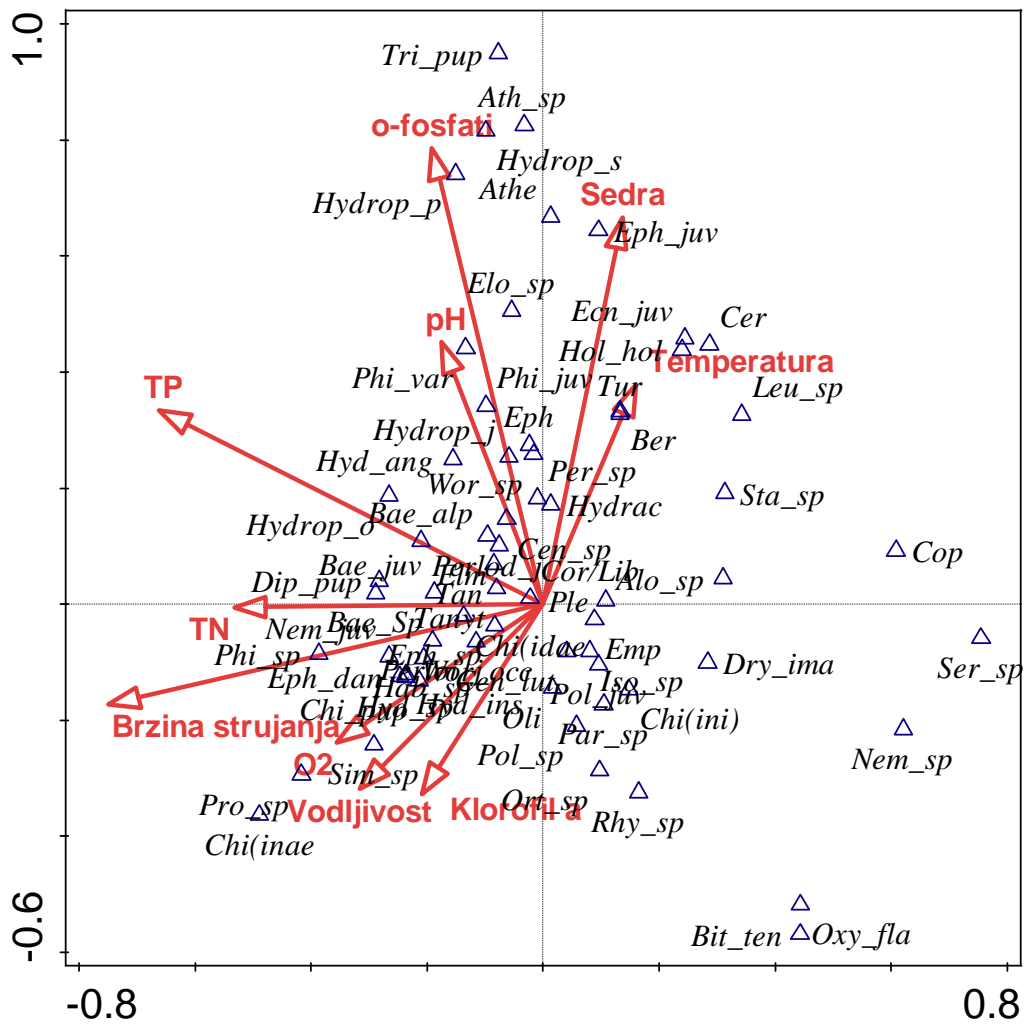


Slika 64. Analiza multidimenzionalnog skaliranja (MDS) makrozoobentosa po kombinacijama mikrolokacija i tretmana po godišnjim dobima a) zima, b) proljeće, c) ljetno i d) jesen. Oznake mikrolokacija su NS-Novakovića brod sedra; NM-Novakovića brod makrovegetacija; GS-Gradinsko jezero sedra; GM-Gradinsko jezero makrovegetacija. Oznake kontrola i tretmana 0, 1, N, P i N+P

Prve dvije osi generirane kombinacijom okolišnih varijabli u kanoničkoj analizi korespondencije (CCA) objasnile su 14,87% ukupne varijabilnosti makrozoobentosa, dok je kombinacija svih 10 varijabli objasnila 36,9% varijabilnosti. Jedinične vrijednosti prve dvije osi bile su 0,243 i 0,193. Biplot prikaz uzoraka i okolišnih varijabli ukazao je prvobitno na jasno odvajanje uzoraka po godišnjim dobima (slika 65). Za ljetnu i proljetnu seriju uzoraka barijere Novakovića brod značajno je bilo koreliranje s okolišnim čimbenicima koncentracija ortofosfata i količina sedre te nešto slabije s pH-vrijednosti i temperaturom. Proljetna i ljetna serija uzoraka za barijeru Gradinskog jezera ostala je odvojena u donjem dijelu ordinacijskog dijagrama. Za zimsku seriju uzoraka za NB i GJ te za proljetnu i ljetnu seriju barijere GJ, najznačajnija je bila korelacija s čimbenikom brzine strujanja i TN, a nešto slabija s koncentracijom otopljenog kisika, električnom vodljivosti i koncentracijom klorofila *a*. Odvajanje jesenskih uzoraka suprotno od smjera vektora ukupnog fosfora, moguća je posljedica ranije spomenute promjene metode i eventualne greške u mjerenju. S obzirom da je brzina strujanja kao okolišna varijabla prikazana u ordinacijskom dijagramu značajne dužine



Svojte koje su vjerojatno prisutne u jezerima, pozicionirane su u suprotnom smjeru od vektora brzine strujanja (npr. Copepoda, Alona sp.).



Slika 66. Kanonička analiza korespondencije (CCA) pojedinih svojti makrozoobentosa i okolišnih varijabli. Dužina strelica označava važnost pojedine okolišne varijable, a usmjerenje pozitivno ili negativno koreliranje. Položaj svake svojte u ordinacijskom dijagramu označen je skraćenim nazivom

## 5. RASPRAVA

Sedrene barijere Plitvičkih jezera kao i cjelokupni jezerski sustav, predstavljaju vrlo kompleksan i međusobno ovisan sustav fizikalnih, kemijskih, hidroloških i bioloških procesa. Kaskadni (baražni) tip jezera utječe na temperaturne promjene, promjene brzine strujanja, razlike u vertikalnoj i horizontalnoj raspodjeli anorganskih i organskih tvari te razlike između biljnih i životinjskih organizama bentosa i pelagijala. Sedrene barijere koje pregrađuju jezera i stvaraju posebna staništa za razne skupine organizama nastaju u specifičnom biodinamičkom procesu osedavanja za koji trebaju biti zadovoljeni određeni kemijski, ali i biološki uvjeti. Istraživanje utjecaja hranjivih soli na razvoj obraštaja i makrozoobentosa proveden u hidrosustavu Plitvičkih jezera, potvrdilo je primjenjivost metode postavljanja modificiranih podloga u sedrotvornim sustavima. Eksperiment je proveden tijekom svakog godišnjeg doba, zbog klimatskih karakteristika istraživanog područja. Rezultati fizikalno-kemijskih analiza potvrdili su očekivane razlike između godišnjih doba te ujedno i razlike s obzirom na longitudinalni položaj barijera u sustavu.

Temperatura kao fizikalni pokazatelj koji je praćen tijekom ovog istraživanja ukazuje na karakterističnu sezonsku dinamiku. Ona je izražena kroz niže temperaturne vrijednosti tijekom hladnijeg razdoblja godine (zima i jesen), dok se postepeno vrijednosti povećavaju prema proljeću te u ljeto imaju svoj maksimum. Razlike temperaturnih vrijednosti postoje između barijera Gornjih i Donjih jezera odnosno lokacija Gradinsko jezero (GJ) i Novakovića brod (NB) što je karakteristično i za druge lotičke biotope u jezerskom sustavu. Jedno od razloga ovoj pojavi je stratifikacija vode u većim i dubljim jezerima (jezera Prošćansko i Kozjak), gdje se voda od 4°C zadržava u hipolimniju, a zatim dolaskom proljeća promiješa s toplijim slojevima iznad hipolimnija te gornjim slojem (epilimnijem) dolazi nizvodno (Srdoč i sur., 1985). Vrijednost temperature u lotičkom biotopu na sedrenoj barijeri bez makrovegetacije i na dijelu barijere s makrovegetacijom ne mijenja se odnosno ne pokazuje promjene po mikrolokaciji, što je bilo i očekivano. Iako makrovegetacija koja obrasta barijere stvara određenu zasjenu koja bi mogla utjecati na temperaturu vode (sniziti ju zbog nedostatka insolacije), razlika u temperaturi vode nije uočena u ovom slučaju, što je vjerojatno posljedica jednokratnog mjerenja temperature pomoću sonde. Također, s obzirom da su barijere lotički biotopi te se radi o kaskadnom sustavu, može se pretpostaviti da se voda koja dotječe nizvodno miješa s eventualno manje zagrijanom vodom te se temperature izjednače. Obalna vegetacija kontrolira termalni karakter vodotoka zaustavljajući kratkovalno zračenje tijekom dana te djeluje „izolacijski“ na gubitak dugovalnog zračenja tijekom noći (LeBlanc i sur.,

1997). Dnevne promjene temperature mjerene primjerice digitalnim termografima (eng. *data loggers*) svakako bi u ovom slučaju bile značajni pokazatelj mogućih promjena jer temperaturna heterogenost kratkog dijela toka može se pojaviti u lateralnom, horizontalnom ili vertikalnom smjeru (Dunham i sur., 2005). Usporedbom podataka temperaturnih vrijednosti od 1981. godine do 2014. godine, zamijećen je trend porasta temperature od gotovo 1,5°C u jezerskom sustavu Plitvičkih jezera (Sironić i sur., 2017), što je zasigurno posljedica globalnih klimatskih promjena. Povišenje temperature slatkovodnih sustava uslijed globalnih klimatskih promjena može utjecati na brojne slatkovodne organizme, ali i na široki spektar ekoloških, kemijskih i fizikalnih procesa koji su kontrolirani temperaturom (Clarke, 2009).

Koncentracija otopljenog kisika koja je obrnuto proporcionalna temperaturnim vrijednostima ne ukazuje na značajne razlike između mikrolokacija, ali postoje razlike po mjesecima odnosno godišnjim dobima. U toplijem dijelu godine koncentracije otopljenog kisika su ujedno i najniže. Ove karakteristične promjene zabilježili su i autori Srdoč i sur. (1985), Belančić i sur. (2009) i Sironić i sur. (2017) u jezerskom sustavu. Otopljeni kisik kao važan kemijski pokazatelj ima svoje dnevne promjene koncentracije, s najvišim vrijednostima tijekom podneva uslijed procesa fotosinteze i najnižim koncentracijama tijekom noći, te su ove promjene biološki uvjetovane (Lampert i Sommer, 2007).

pH-vrijednost se značajno razlikovala između barijera, godišnjih doba i mjeseci, a razlike između barijera uočavaju se u nižim pH-vrijednostima na barijeri GJ u odnosu na barijeru NB, što je potvrđeno i u radu Belančić i sur. (2009). Promjena pH-vrijednosti od Gornjih jezera do Donjih jezera nastaje uslijed smanjenja koncentracije ugljikovog dioksida u vodi te se pH-vrijednost postepeno povećava nizvodno (Srdoč i sur., 1985, Barešić i sur., 2011). Prema toplijem dijelu godine pH-vrijednost je u padu da bi u hladnijem dijelu godine rasla. Promjena pH-vrijednosti svakako je povezana ne samo s biološkim aktivnostima poput fotosinteze i disanja, već i s procesima kao što su taloženje i otapanje kalcijevog karbonata i drugih minerala zbog njihove sposobnost smanjena ili povećanja koncentracije otopljenog ugljikovog dioksida (Stumm i Morgan, 1996).

Za pokazatelj električne vodljivosti, kao i za pH-vrijednost, zabilježene su statistički značajne razlike između barijera, mjeseci i godišnjih doba. Na barijeri Gornjih jezera GJ više su vrijednosti električne vodljivosti nego na barijeri Donjih jezera NB. Iste razlike zabilježene su u radu Belančić i sur. (2009), a autori Biondić i sur. (2010) postepeno smanjenje vrijednosti

električne vodljivosti nizvodno u sustavu smatraju posljedicom taloženja kalcijevog karbonata odnosno sedre. Prema toplijem dijelu godine vrijednosti električne vodljivosti su u padu, a u hladnijem dijelu u porastu. Električna vodljivost je pokazatelj ukupne koncentracije otopljenih anorganskih tvari u obliku iona i ovisna je o temperaturi. Na vrijednosti električne vodljivosti između ostalog utječe izmjena plinova u kontaktu voda-atmosfera, te metabolizam i raspadanje vegetacije (Talling, 2009).

Ukupna tvrdoća se statistički značajno razlikuje između godišnjih doba i mjeseci uz karakteristične sezonske promjene pri kojima su u toplijem dijelu godine niže koncentracije ukupne tvrdoće dok su u hladnijem dijelu godine povišene. Sezonske promjene temperature vode utječu na topljivost kalcijevog karbonata, na brzinu kemijskih procesa i brzinu difuzije ugljikovog dioksida iz vode (Srdoč i sur., 1985). Smanjenje koncentracije kalcijevog karbonata na barijeri NB u odnosu na GJ (posebno izraženo u ljeto i jesen) iako nije statistički značajno, posljedica je taloženja sedre odnosno kalcita u sustavu što se kasnije i potvrdilo izmjerenom količinom istaloženog kalcijevog karbonata odnosno sedre. Autori Srdoč i sur. (1985) ove razlike u padu koncentracije hidrogenkarbonata i kalcija tumače utjecajem biogenog čimbenika u kemijskim procesima odnosno preuzimanju hidrogenkarbonata od strane fotosintetskih organizama kao što su slatkovodne alge, bakterije i vodno bilje (Barešić i sur., 2011). Autori Kempe i sur. (1985) izračunali su kako se koncentracija kalcijevog karbonata od Proščanskog jezera preko sustava Gornjih jezera pa do jezera Kozjak smanji za 27,5 mg CaCO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>.

Nizvodni porast temperature i pH-vrijednosti koji je zabilježen i ovim istraživanjem te smanjenje koncentracija Ca<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> i CO<sub>2</sub> pod utjecajem su procesa koji se odvijaju u vodi: otplinjavanje CO<sub>2</sub>, evaporacija i taloženje kalcita koje je potaknuto otplinjavanjem i biološkom aktivnošću (Sironić i sur., 2017, Barešić i sur., 2011). U svom istraživanju na pojedinim rijekama u Australiji, autori Drysdale i sur. (2002) povezuju otplinjavanje CO<sub>2</sub> s porastom pH-vrijednosti i indeksa zasićenja nizvodno u sustavima koje su analizirali. Opisane nizvodne hidrokemijske promjene sukladne su s rezultatima ovog istraživanja, odnosno potvrđuju postojanje ograničenog područja intenzivnog osedranja s obzirom na specifičnost pojedinog sedrotvornog sustava. U razdoblju od 1981. godine do 2014. godine usporedbom podataka zamijećen je porast koncentracije Ca<sup>2+</sup> i HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> iona u sustavu jezera (Sironić i sur., 2017). Dnevne promjene temperature mogu također utjecati na procese taloženja na način da će taloženje sedre biti veće u onom dijelu dana kada je temperatura povišena dok će niže vrijednosti biti karakteristične za niže temperature (Drysdale i sur., 2003).

Koncentracije hranjivih soli nitrata i ortofosfata statistički su se značajno razlikovale između mjeseci odnosno godišnjih doba. Koncentracije nitrata blago se smanjuju prema toplijem dijelu godine, a u jesen su u blagom porastu, dok su koncentracije ortofosfata bile povišene u lipnju i rujnu. Autori Habdija i sur. (1987) niže vrijednosti nitrata u ljetnom razdoblju tumače posljedicom asimilacijske aktivnosti planktonske zajednice što dovodi do osiromašenja hranjivim solima, dok u jesen i proljeće nastupa regeneracija hranjivih soli u jezerima (uslijed miješanja vode većih jezera), te tako u protočnim biotopima dolazi do obogaćivanja hranjivim solima. Statistički značajne razlike ovih hranjivih soli nisu zabilježene između barijera odnosno mikrolokacija, što su zaključili i autori Belančić i sur. (2009). Sustav Plitvičkih jezera ima karakteristično niske koncentracije hranjivih soli (Habdija i sur., 2011, Brozinčević i sur., 2013), što je potvrđeno i ovim istraživanjem. Od drugih oblika hranjivih soli praćena je koncentracija ukupnog dušika za koji nakon provedene statističke analize nisu zamijećene značajne razlike između mjeseci, godišnjih doba ili barijera, a vrijednosti koncentracije ukupnog fosfora upitno je tumačiti jer su se značajno razlikovale između zimskog i proljetnog razdoblja kada su bile znatno povišene, dok su u ljeto i jesen vrlo niske. Razlog tome je vjerojatno greška uslijed promjene metodologije određivanja koncentracije ukupnog fosfora koje posljedično nisu usporedive.

Prema autorima Wiik i sur. (2014; 2015) jezera koja sadrže visoke koncentracije karbonata karakterizira niska koncentracija fosfora što je posljedica imobilizacije fosfora putem koprecipitacije s kalcitom. Ovakva imobilizacija fosfora ograničena je vremenski i prostorno te se fosfor može reciklirati u sedimentu uslijed preuzimanja od strane makrofita što će uvjetovati određene razlike između fosfora u bentosu i onoga u stupcu vode. Noviji rad autora Pentecost (2017) ne potvrđuje hipotezu kako preuzimanje fosfora od strane cijanobakterija može ublažiti učinak inhibicije kroz lokalno smanjenje koncentracija fosfora.

Hidrološki pokazatelj brzina strujanja koja je praćena tijekom istraživanja na 12 mikrostaništa na barijerama (označenima slovima od A do L) statistički se razlikovala po mjesecima, godišnjim dobima i mikrostaništima. Niža brzina strujanja zabilježena je na gotovo svim mikrostaništima u ljeto i jesen, izuzev mikrostaništa G (GJ-sedra). Razlog povišenoj brzini strujanja gotovo tijekom cijelog razdoblja istraživanja na ovom mikrostaništu vjerojatno je posljedica male dubine same lokacije sedrene barijere GJ što uzrokuje turbulentniji tok vode, a time i veću brzinu strujanja gotovo površinskog toka. Općenito je zabilježena veća brzina strujanja na lokaciji GJ u odnosu na lokaciju NB. Brzina strujanja značajno je promjenjiva unutar poprečnog presjeka toka. Najviša brzina strujanja karakteristična je blizu površine ili

na površini vode i u sredini kanala. U plitkim vodotocima, brzina strujanja je najviša na površini zbog blizine dna, dok je u dubokim vodotocima najviša neposredno ispod površine zbog kontakta s atmosferom (Allan i Castillo, 2007). Brzine strujanja vode čak i na manjim udaljenostima između lotičkih i lentičkih dijelova barijera očituju se s karakterističnim sezonskim promjenama (Sertić Perić i sur., 2010).

Autori Merz-Preiß i Riding (1999) uočili su kako je otplinjavanje anorganskog ugljikovog dioksida osnovni uzrok prezasićenosti vode kalcijevim karbonatom u vodotocima s većom brzinom strujanja. Iako prezasićenost vode kalcijevim karbonatom te koncentracija ugljikovog dioksida nisu praćeni u ovom istraživanju, u radu autora Barešić i sur. (2011) zabilježena je razlika indeksa zasićenja kalcijevim karbonatom između lokacije GJ (indeks zasićenja u rasponu 2,74-7,74) i NB (indeks zasićenja u rasponu od 4,90-11,04) te snižavanje koncentracije ugljikovog dioksida nizvodno.

Na izoliranim mrežicama nakon podizanja podloga, pratila se količina istaloženog kalcijevog karbonata odnosno sedre. Zabilježena je razlika u količini sedre između mikrolokacija na obje barijere, s većim osedranjem na sedrenoj barijeri bez makrovegetacije nego u makrovegetaciji. S obzirom da na ovim mikrolokacijama (NB-sedra, NB-makrov, GJ-sedra i GJ-makrov) postoje razlike u srednjim vrijednostima brzine strujanja vode koje su više na lokacijama sedrene barijere bez makrovegetacije, dio objašnjenja za razlike u količini sedre moguće je povezati upravo s brzinom strujanja. Autori Chen i sur. (2004) u svom radu zaključuju kako je stopa taloženja kalcita gotovo četiri puta povećana u tekućici nego u stajaćoj vodi. Prema autorima Schulz i sur. (2003) makrovegetacija značajno smanjuje brzinu strujanja vode što doprinosi taloženju organskog sestona. Smanjena brzina strujanja koja je zabilježena na mikrolokacijama NB-makrov i GJ-makrov moguće je u ovom slučaju utjecala na količinu istaloženog kalcijevog karbonata. Na barijeri NB u svibnju 2002. godine uklonjena je makrovegetacija površine 1000 m<sup>2</sup> s vrbom (*Salix* sp.) i 150 m<sup>2</sup> s močvarnim ljutkom (*Cladium mariscus* (L.) Pohl.) (Pavlus i Novosel, 2004). Uklanjanje makrovegetacije prouzročilo je značajno smanjenje protoka dok je utjecaj na taloženje sedre izostao (Miliša i sur., 2006b). Autori ovaj rezultat tumače prevladavanjem dvaju već opisanih utjecaja: rasprskavanje vode što dovodi do bržeg otplinjavanja CO<sub>2</sub> i time bržeg taloženja kalcijevog karbonata i utjecajem temperature dok smanjeni protok nema značajan utjecaj na taloženje. U površinskim vodama tijekom procesa fotosinteze dolazi do pomanjkanja CO<sub>2</sub> i vode postaju prezasićene kalcitom što bi značilo da makrofiti i mikrofiti mogu pojačati taloženje karbonata (Kelts i Hsü, 1978). Takav slučaj zabilježili su i autori Liu i sur. (2006), no samo u bazenima



s bogatom submerznom vegetacijom makrofita (biljke koje su potpuno pod vodom i pričvršćene za dno). Ipak, u slučaju bazena u kojima je vegetacija makrofita bila emerzna, disanje korijena biljaka imalo je veliki utjecaj na snižavanje pH-vrijednosti, povećanje parcijalnog tlaka ugljikovog dioksida te naglašeno otapanje kalcita za vrijeme trajanja insolacije. Na dijelovima sedrene barijere koje su prekrivene makrovegetacijom, a koja je uglavnom u ovom istraživanju emerzna, upravo je disanje korijena biljaka moglo utjecati na pojačano otapanje kalcita što je u konačnici moglo dovesti do nižih količina istaloženog kalcijevog karbonata na ovim mikrolokacijama. Također, ne treba zanemariti niti činjenicu kako na sedrenim barijerama Plitvičkih jezera u velikoj mjeri dolaze razne vrste mahovina među kojima neke vrlo aktivno sudjeluju u taloženju sedre i to na način da iz hidrogenkarbonata uzimaju CO<sub>2</sub> za proces fotosinteze te se na površini biljke izlučuju kristali kalcijevog karbonata (Alegro i Šegota, 2016). Uslijed procesa fotosinteze makrovegetacije i posljedično već spomenutog povećanja istaloženog kalcijevog karbonata, potrebno je uzeti u obzir i mogućnost povećanog taloženja kalcijevog karbonata na okolnoj makrovegetaciji u odnosu na umjetne podloge postavljene u svrhu ovog istraživanja. Zabilježene su i razlike između barijere GJ sa slabijim osedranjem u odnosu na barijeru NB s intenzivnijim osedranjem. Ovakav nalaz razlika između barijera zabilježen je već za Plitvička jezera (Belančić i sur., 2009; Matoničkin Kepčija i sur., 2005; 2011). Stopa osedranja je u prosjeku 4,4 puta viša na barijerama Donjih jezera u odnosu na barijere Gornja jezera, no mehanizmi koji do tog dovode nisu još razjašnjeni (Matoničkin Kepčija i sur., 2005). U području jezerskog sustava u odnosu na izvorišno područje i pojedine vodotoke, taloženje kalcita vrlo je intenzivno pri čemu se najviše sedre taloži na barijerama te su vode prezasićene kalcijevim karbonatom (Barešić i sur., 2011).

Statistički značajne razlike u količini istaloženog kalcijevog karbonata između godišnjih doba zabilježene su samo za proljeće sa višim vrijednostima (prosječno 0,050 g cm<sup>-2</sup>) u odnosu na druga godišnja doba (zima – 0,010 g cm<sup>-2</sup>, ljeto – 0,022 g cm<sup>-2</sup> i jesen – 0,027 g cm<sup>-2</sup>). Razlike između godišnjih doba bilježe Matoničkin Kepčija i sur. (2005), navodeći najniže vrijednosti stope osedranja zimi (0,13 mg dm<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), a najviše u ljeto (prosječno 8,91 mg dm<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) dok proljeće i jesen imaju slične vrijednosti (1,75 mg dm<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> i 1,25 mg dm<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>). U ovom istraživanju nije zabilježena toliko izražena razlika između godišnjih doba, ali je neočekivano da je najintenzivnije osedranje bilo u proljeće. Dodatno, ostali pokazatelji (pH-vrijednost, električna vodljivost, ukupna tvrdoća) ukazuju na najintenzivnije osedranje tijekom ljeta na sedrenim barijerama koje su istraživane. Stoga je moguće da su neki drugi čimbenici utjecali

na intenzivnije osedranje zabilježeno u proljeće. Obogaćene podloge su nakon ekspozicije u proljeće bile relativno osiromašene nitratima u odnosu na ostala godišnja doba. Moguće da je došlo do pojačanog razvoja bakterija na tim podlogama, koje su također mogle poslužiti kao centri nukleacije za kalcit. Prema radu autora Turner i Jones (2005) do nukleacije kalcita dolazi na ili u mikrobnom izvanstaničnom polimernom matriksu uslijed povezivanja  $\text{Ca}^{2+}$  kationa s negativno nabijenim matriksom. U obzir treba uzeti i višu brzinu strujanja vode u proljeće u odnosu na ljeto, koja je mogla pojačati taloženje kalcijevog karbonata. U istraživanju autora Horvatinčić i sur. (2014) zabilježene su razlike prirasta sedimenta (sedre) praćene na umjetnim poliamidnim podlošcima između pojedinih lokacija Gornjih jezera pri čemu je zabilježen veći prirast sedimenta u ljetnim mjesecima ( $30\text{-}50 \text{ g mjesec}^{-1}$ ) dok je niži prirast zabilježen u zimskim mjesecima ( $5\text{-}20 \text{ g mjesec}^{-1}$ ). Pored utjecaja temperature na razlike u prirastu sedre, isti autori navode protok vode kao drugi čimbenik pri čemu je kod manjih protoka prirast veći dok je kod većih protoka manji prirast, vjerojatno uslijed djelovanja erozije.

Zanimljiva je usporedba stope osedranja između različitih podloga, plastične mrežice na umjetnim podlogama korištene u ovom istraživanju i stakalaca korištenih u radu Matoničkin Kepčija (2006). Ovisno o godišnjem dobu, količine kalcijevog karbonata istaloženog na mrežicama bile su 1,5 do 70 puta više u odnosu na količine istaložene na stakalcima. Može se zaključiti kako plastična mrežica predstavlja pogodan supstrat na taloženje kalcijevog karbonata. Kod osedranja na stakalcima lako može doći do otplavlivanja, dok mrežice pružaju hrapav supstrat na kojem se kristalići kalcita zadržavaju.

Pratio se i učinak dodatka hranjivih soli na osedranje. Nije, međutim, utvrđena jasna i značajna veza utjecaja dodatka hranjivih soli na osedranje, već samo prethodno opisani odnosi i međuovisnosti. U radu Matoničkin Kepčija i sur. (2011) utvrđeno je kako dodatak hranjivih soli ne ometa taloženje kalcita već je primjerice kod P-tretmana taloženje kalcita pojačano. Autori Plant i House (2002) zaključuju kako je koncentracija otopljenog fosfora manja od  $20 \mu\text{mol dm}^{-3}$  ona koncentracija pri kojoj dolazi do taloženja kalcita, dok će viša koncentracije inhibirati taloženje te će nastati kalcijev fosfat faza. S obzirom na izmjerene vrijednosti koncentracije ortofosfata, može se pretpostaviti da na Plitvičkim jezerima ne dolazi do inhibicije taloženja kalcita. Ortofosfati koji difundiraju iz obogaćenih podloga vjerojatno samo lokalno povećavaju koncentraciju ortofosfata odnosno nitrata, no na vrlo maloj prostornoj skali. Kako ovi gradijenti koncentracija hranjivih soli koje se otpuštaju iz

obogaćenih podloga nisu mjereni *in situ*, ne može se sa sigurnošću raspravljati o eventualnom učinku na količine istaloženog kalcijevog karbonata.

Koncentracije klorofila *a* značajno su se razlikovale između barijera (NB i GJ), mikrolokacija (NB-sedra, NB-makrov, GJ-sedra i GJ-makrov), godišnjih doba i dodatka hranjivih soli odnosno N, P i N+P-tretmana. Uočene su povišene koncentracije klorofila *a* zimi u odnosu na ljeto i jesen, dok su za proljeće zabilježene najniže koncentracije klorofila *a*. U stabilnim sustavima (za razliku od sustava u mediteranskoj i tropskoj klimatskoj zoni), postoji sezonski maksimum biomase perifitona u proljeće, kasno ljeto ili oboje. Snažni sezonski obrasci razvoja zajednice perifitona najčešće su pod utjecajem sezonalnosti koncentracija hranjivih soli, aktivnosti strugača i svjetlosti (Stevenson i sur., 1996). Autor DeNicola (1996) zaključuje kako temperatura ima sekundarnu ulogu u primarnoj proizvodnji perifitona u sustavima s niskom koncentracijom hranjivih soli, a takva su upravo Plitvička jezera.

Statistički značajne razlike koncentracije klorofila *a* zabilježene između barijera NB i GJ moguće su zbog utjecaja povišenog taloženja kalcita koje je zabilježeno na barijeri NB. Jači odgovor algi zabilježen je na barijeri GJ gdje je količina sedre bila niska, kao i u radu Matoničkin Kepčija i sur. (2011). Također, isti autori zaključuju kako zbog taloženja kalcita dolazi do smanjenja odgovora autotrofa na N i P obogaćivanje. Autori Rinke i sur. (2001) u svom istraživanju nalaze kako opskrba dušikom, fosforom ili s obje hranjive soli ne uzrokuje značajno povećanje biomase perifitona. Razlike u koncentraciji klorofila *a* zabilježene su i na mikrolokacijama, s nižim koncentracijama klorofila *a* na dijelu sedrene barijere s makrovegetacijom u odnosu na dijelove barijere bez makrovegetacije. Uzrok takvih razlika moguć je zbog zasjenjenosti samih mikrolokacija. Autori Davies-Colley i Quinn (1998) te Schiller i sur. (2007) uočili su kako u kanalima gdje je zasjena obalnom vegetacijom izražena, ujedno je i značajno smanjena biomasa bentičkih algi u usporedbi s nezasjenjenim mjestima.

Razlike koncentracije klorofila *a* između 0 i 1 kontrole te N, P i N+P-tretmana ukazuju na gotovo 1,5-2 puta više koncentracije klorofila *a* na podlogama obogaćenima s P i N+P-tretmanom nego kod ostalih tretmana odnosno kontrola. Limitirajuća hranjiva sol u ovom istraživanju bila je fosfor. Iako se ovim istraživanjem promatra cjelokupna autotrofna proizvodnja kroz klorofil *a*, a ne pojedinačne vrste, autori poput Tilman i sur. (1982) osporavaju ovaj način korištenja zakona minimuma jer pojedinačne vrste algi mogu biti limitirane različitim hranjivim solima. Dodds i sur. (2002) zaključuju kako raspoloživost hranjivih soli može objasniti oko 40% varijacija autotrofne biomase u različitim vodotocima

umjerenog pojasa te da se zajedno soli N i P mogu smatrati potencijalnim limitirajućim hranjivim solima. U sustavu u kojem je prisutna prezasićenost kalcijevim karbonatom kakva su upravo Plitvička jezera, moguće je vezanje fosfora s kalcitom i koprecipitacija što će ipak ovisiti o koncentraciji fosfata (Plant i House, 2002). Koncentracije ortofosfata vrlo su niske (prosječna vrijednost kroz istraživanje bila je  $0,012 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{ dm}^{-3}$ ) što također potvrđuje činjenicu kako je fosfor kao hranjiva sol limitirajući čimbenik. Uz procese poput taloženja hranjivih soli, njihovog raspadanja ili pronosa, ovakvi protočni jezerski sustavi, kao što su Plitvička jezera, određuju jezera kao izvor ili mjesto izlaska spojeva iz sustava (Hillbricht-Ilkowska, 1999). Stoga je dodatan izvor fosfora kakav je bio onaj otpušten iz umjetnih podloga zasigurno doprinijeo pozitivnom odgovoru fitobentosa praćenom kroz koncentraciju klorofila *a*.

Tijekom cijelog razdoblja istraživanja pratila se *in vitro* difuzija nitrata i ortofosfata iz N, P i N+P-tretmana nakon podizanja podloga iz vode. Uočene su značajno niže koncentracije nitrata u proljeće u odnosu na druga godišnja doba, dok su koncentracije ortofosfata bile snižene u ljeto i jesen u odnosu na druga godišnja doba. Koncentracije ortofosfata bile su povišene u zimu i proljeće. Na osnovu osobnog opažanja prilikom provođenja istraživanja i pripreme agara za provedbu *in vitro* difuzije, uočeno je kako je agar bio puno više cjelovit u podlogama u zimskom razdoblju nego što je bio u ljetnom. To bi moglo značiti da je u raspadnutom agaru, određena koncentracija ortofosfata mogla lakše procesom difuzije difundirati u stupac vode, nego dok je agar bio cjelovit pri čemu je vrlo vjerojatno taj proces difuzije bio kontinuiran, što bi objasnilo opažene razlike. S obzirom da je ovim istraživanjem utvrđeno kako je primarna proizvodnja obraštaja na sedrenim barijerama limitirana fosforom, postoji mogućnost kako je upravo viša koncentracija ortofosfata iz podloga s P i N+P-tretmanima u zimskom razdoblju ujedno uvjetovalo višu koncentraciju klorofila *a* izmjerenu u zimu. Autori Stevenson i sur. (1996) navode kako je veza između hranjivih soli prisutnih u stupcu vode ipak jača za fitoplankton nego za perifiton, a uzrok tome može biti kompaktnosti perifitonske zajednice i gradijent dostupnih resursa unutar zajednice.

Dobiveni rezultati brojnosti makrozoobentosa ukazali su na postojanje razlika kako između barijera (NB i GJ) tako i između mikrolokacija (sedrena barijera bez makrovegetacije i sedrena barijera s makrovegetacijom). Brojnost makrozoobentosa viša je na barijeri Gradinskog jezera (GJ) nego na barijeri Novakovića brod (NB) i taj obrazac razlika značajan je za svako godišnje doba. Također, viša je brojnost na sedrenoj barijeri bez makrovegetacije u odnosu na barijeru s makrovegetacijom, što je karakteristično za obje barijere. Identičan

rezultat razlika po barijerama i mikrolokacijama dobiven je i za broj svojti kojih je ukupno determinirano 83 (13 skupina). Dobiveni rezultati djelomično se poklapaju s prethodnim istraživanjima, a mogu se tumačiti utjecajem baražnog sustava jezera koji djeluje na zadržavanje organske tvari. Kerovec i sur. (2007) su u jezerima Gradinsko i Novakovića brod utvrdili najveću prosječnu gustoća makrozoobentosa na rubu priobalne makrovegetacije i bila je viša u jezeru Novakovića brod nego u Gradinskom jezeru, dok je raznolikost faune veća u Gornjim jezerima nego u Donjim jezerima. Ipak, barijere nisu posebno istraživane tom prilikom. Autori Vilenica i sur. (2014) u istraživanju vodencvjetova (Ephemeroptera) zaključuju kako lotička staništa podržavaju više vrsta nego lentička staništa te kako je prisutno smanjenje količine organske tvari nizvodno duž jezerskog sustava zbog akumulacije čestica na barijerama, što ujedno može biti razlog razlike u brojnosti makrozoobentosa u ovom istraživanju. Brzina strujanja pokazala se kao značajan čimbenik koji utječe na makrozoobentos, a ujedno se povezuje sa zadržavanjem usitnjene organske tvari (POM) različitih veličinskih frakcija koja je viša gdje je brzina strujanja niža i obrnuto (Habdija i sur., 2000). Povišena brzina strujanja utječe također na brojnost makrozoobentosa u driftu koji se u tom slučaju povećava (Ciborowski i sur., 1977). S obzirom da je brzina strujanja u ovom istraživanju povišena na barijeri GJ u odnosu na NB, postoji mogućnost kako je viša brzina strujanja utjecala i na povišenu brojnost makrozoobentosa. Sedrene barijere imaju vrlo povoljne uvjete za naseljavanje reikofilnih organizama i optimalna brzina strujanja za naseljavanje zajednica u biotopima sedrenih barijera je  $1-2,5 \text{ m s}^{-1}$  (Matoničkin i sur., 1971). Autori Habdija i sur. (2004) zaključuju u svom istraživanju kako je gustoća makrozoobentosa porasla s porastom brzine strujanja kao i ultra usitnjena organska tvar (eng. *ultra particulate organic matter* - UPOM), no smanjila se raznolikost vrsta. Razlike brojnosti i broja svojti makrozoobentosa koja je prisutna između mikrolokacija odnosno povišena na mikrolokacijama bez makrovegetacije u odnosu na mikrolokacije s makrovegetacijom, moguće je opet povezati s brzinom strujanja. Kako je prethodno opisano, zabilježena je viša brzina strujanja na mikrolokacijama obje barijere bez makrovegetacije u odnosu na one s makrovegetacijom. Autori Miliša i sur. (2006b) koji su promatrali učinak uklanjanja makrovegetacije na makrozoobentos na barijeri Novakovića brod, zaključili su kako je nakon uklanjanja makrovegetacije došlo do smanjenja brzine strujanja, a s time posljedično do smanjenja gustoće makrozoobentosa.

Promatrajući brojnost makrozoobentosa i broj svojti po godišnjim dobima, uočeno je kako su brojnost i broj svojti najviši u proljeće, a najniži zimi. Prethodna istraživanja u istom

akvatoriju bilježe najvišu gustoću makrozoobentosa u jesen (Habdija i sur., 2004) te najvišu gustoću drifta u proljeće i ljeto (Sertić Perić i sur., 2010). Također, isti autori navode najniže gustoće promatranih skupina u zimu. Makrobeskralješnjaci koji su u driftu slijede sezonski obrazac organskih i anorganskih tvari (Sertić Perić i sur., 2010) i proizvodnja i dostupnost navedenih tvari zasigurno je niža u zimskom razdoblju što s jedne strane objašnjava nižu brojnost makrozoobentosa i u ovom istraživanju. Pretpostavka je kako je promjena sastava makrozoobentosa u mahovinama sedrenih barijera više pod utjecajem brzine strujanja nego pod utjecajem godišnjih doba (Habdija i sur., 2004), te se i ovim istraživanjem brzina strujanja pokazala kao važan čimbenik koji korelira s višom brojnosti makrozoobentosa.

Razlike srednjih vrijednosti brojnosti i broja svojti makrozoobentosa zabilježene su između tretmana pri čemu su ove vrijednosti više za P i N+P-tretman u odnosu na kontrole (0 i 1) i N-tretman. Najniža brojnost makrozoobentosa zabilježena je za 0-kontrolu u odnosu na tretmane, dok su niže srednje vrijednosti broja svojti zabilježene za 0 i 1-kontrolu. Odgovor makrozoobentosa na dodatak hranjivih soli nije reda veličine kao što je zabilježeno za primarne proizvođače, što ukazuje na slabljenje tog utjecaja kroz više trofičke razine. Slično, u istraživanju Matoničkin Kepčija i sur. (2011), dodatak hranjivih soli putem modificiranih podloga doveo je do pada raznolikosti svojti praživotinja i mikrometazoa, no taj utjecaj je ipak slabiji u odnosu na jasniji odgovor primarnih proizvođača i ujedno pod utjecajem drugih pokazatelja kao što su brzina strujanja i količina sedre. Autori Tokinova i sur. (2012) promatrali su učinak dodatka hranjivih soli dušika i fosfora na zoobentos uglavnom sastavljen od skupina Oligochaeta i Diptera te zaključuju kako različite koncentracije dušika i fosfora uzrokuju promjene u brojnosti organizama dok u sustavu s makrovegetacijom pri istim uvjetima dolazi do povećanja broja i biomase skupine Oligochaeta. Prethodno navedeni rad nije usporediv s ovim istraživanjem zbog izrazito visokih koncentracija hranjivih soli koje se znatno razlikuju od onih korištenih u ovom istraživanju. Ujedno, negativan učinak dodatka hranjivih soli nije zamijećen u ovom istraživanju, već su brojnost i broj svojti makrozoobentosa povišeni za P i N+P-tretmane. Povišene vrijednosti brojnosti i broja svojti makrozoobentosa zabilježene su na mikrolokacijama bez makrovegetacije u odnosu na mikrolokacije s makrovegetacijom. S obzirom da je klorofil *a* imao istu dinamiku na mikrolokacijama i na istim tretmanima, odgovor makrozoobentosa na P i N+P-tretmane moguće je povezati s klorofilom *a* što će jasnije potvrditi funkcionalne hranidbene skupine. Na primjeru jezera Thingvallavatn (Island) sekundarna proizvodnja zoobentosa u oligotrofnom jezeru direktno je ovisna o biomasi fitobentosa (Jónasson, 2004).

Svrstavanjem determiniranih jedinki u funkcionalne hranidbene skupine prema Moog (2002) analizirane su hranidbene skupine po barijerama, mikrolokacijama, godišnjim dobima i tretmanima. Prema autoru Cummins (1973) generalni obrazac trofičke ili hranidbene organizacije u slatkovodnim ekosustavima baziran je na mehanizmima prehrane, a ključ trofičkih odnosa ovisi o dostupnosti hrane. Brojnost hranidbenih skupina u ovom radu prati brojnost i broj svojiti makrozoobentosa koja je povišena na barijeri GJ u odnosu na barijeru NB izuzev skupina usitnjivača (SHR) i ostalih (OTH). Povišena brojnost strugača (GRA) i detritivora-sakupljača (DET) izražena je na barijeri GJ u odnosu na barijeru NB, dok je udio funkcionalnih hranidbenih skupina GRA i DET veći na dijelovima barijera bez makrovegetacije nego na dijelovima barijera s makrovegetacijom. U skupinu strugača (GRA) prema Williams i Feltmate (1994) ulaze predstavnici makrozoobentosa kojima je dominantni tip prehrane herbivorni odnosno hrane se algama i pričvršćenom mikroflorom dok su detritivorima-sakupljačima (DET) dominantni tip prehrane stanice algi ili raspadajuća organska tvar. S obzirom da je koncentracija klorofila *a* na umjetnim podlogama bila povišena na barijeri GJ u odnosu na barijeru NB, vjerojatno su funkcionalna hranidbena skupina GRA i DET pronašle svoj izvor hrane i posljedično im se povećala brojnost u odnosu na ostale hranidbene skupine. U radu autora Habdija i sur. (2000) predstavnici tipične hranidbene skupine sedrenih barijera Plitvičkih jezera na istraživanim lokacijama mahovinskog supstrata i filamentoznih algi su nepredatorski makrobekralješnjaci iz skupine usitnjivača i sakupljača. Upravo u skupini sakupljača, autori navode kako su dominirale ličinke Oligochaeta i Chironomidae i to na supstratu prekrivenom filamentoznim algama. Autori Čmrlec i sur. (2013) ističu porodice Simuliidae i Chironomidae kao najbrojnije od istraživanih porodica u skupini Diptera koje preferiraju sedrene barijere s mikrostaništem mahovine i s višom brzinom strujanja, a razlike između brojnosti jedinki bile su zamijećene između Gornjih i Donjih jezera s nižom brojnosti na Donjim jezerima (NB) zbog niskih razina sestona i visoke stope osedranja. Podloge u ovom radu ne odgovaraju mahovinskom supstratu, odnosno ne omogućuju retenciju organske tvari u tako velikoj mjeri, što ograničava usporedbu s prethodnim istraživanjem u istom akvatoriju te su razlike u gustoći makrozoobentosa očite. Tako primjerice autori Habdija i sur. (2004) navode kako se gustoća makrozoobentosa u mahovinskom supstratu tijekom njihovog istraživanja kretala od 69 900 jed m<sup>-2</sup> do 706 260 jed m<sup>-2</sup> dok je ovim istraživanjem prosječna brojnost makrozoobentosa bila oko 280 000 jed m<sup>-2</sup> što upućuje na činjenicu kako umjetne podloge postavljene u sustav ne mogu tako lako nadomjestiti prirodni supstrat poput mahovina i sve one karakteristike i

posebnosti koje takvo specifično stanište donosi (dostupnost hrane, mogućnost zaklona od predatora i slično).

U ovom istraživanju, najbrojnije skupine bile su Oligochaeta i Diptera (Chironomidae, Tanypodinae i Tanytarsini). S obzirom na funkcionalne hranidbene skupine, ove svojite su detritivori-sakupljači (Oligochaeta i Tanypodinae) i strugači (Chironomidae i Tanytarsini) (Moog, 2002). Autori Matoničkin i sur. (1971) navode kako je unutar biocenoza sedrenih barijera značajno prisustvo većeg broja ličinaka porodice Chironomidae koje prema mišljenju autora svojim tuljcima sudjeluju u procesu osedranju.

Brojnost funkcionalnih hranidbenih skupina odnosno njihov udio razlikovao se statistički značajno za svaku skupinu između godišnjih doba. Povećani udio pojedinih hranidbenih skupina bio je u proljeće, ljeto i jesen, dok je niži udio zabilježen u zimu. Kretanje brojnosti funkcionalnih hranidbenih skupina po godišnjim dobima podudara se s kretanjem brojnosti makrozoobentosa. Smanjene gustoće makrozoobentosa zimi bilježe i autori Habdija i sur. (2004) za razne skupine makrozoobentosa u staništima mahovina, Sertić Perić i sur. (2010) za organizme u driftu te Matoničkin Kepčija i sur. (2005) za predstavnike skupine tulara porodice Hydropsychidae. Najviši udio skupina u zimskom razdoblju pripada GRA, PFIL i DET. U skupinu PFIL pripada porodica Simuliidae (Moog, 2002) koja je u radu autora Matoničkin Kepčija i sur. (2005) uz Hydropsychidae prepoznata kao važan biološki posrednik u stvaranju sedrenih barijera zbog svilenih struktura koje stvaraju ličinke, a za koje se posljedično „hvataju“ kristali kalcijevog karbonata. Prema autorima Ivković i sur. (2012), brojnost Simuliidae bila je povišena na sedrenim barijerama i upravo su barijere pogodno stanište za ove organizme zbog načina ishrane i visokog dotoka sestona kao izvora hrane.

Prema autorima Covich i sur. (1999) funkcionalne klasifikacije mogu biti korisne u nekim istraživanjima, ali one mogu skrenuti pozornost s dinamike hranidbene mreže koja je rezultat razlika između individualnih vrsta i promjena hranidbenog ponašanja uslijed određenih uvjeta. Isti autori smatraju kako je nedovoljno podataka o tome na koji način su pojedine vrste zoobentosa u interakciji uslijed dinamičnog raspona prirodnih uvjeta u sedimentu slatkih voda, te kako prostorna i vremenska raspodjela vrsta bentosa upućuje na različite preferencije prema određenom rasponu temperature, pH-vrijednosti, brzine strujanja i vrste substrata.

Rezultati odnosa funkcionalnih hranidbenih skupina s obzirom na različite kontrole odnosno tretmane, ukazali su na statistički značajne razlike skupina GRA i DET između tretmana. Funkcionalna hranidbena skupina DET s izraženim najvišim udjelima na podlogama s P i



N+P-tretmanom podudara se s višom koncentracijom klorofila *a* na hranjivim podlogama s P i N+P-tretmanom, što je ujedno još jedna potvrda povezanosti herbivornog načina ishrane skupine. Za ostale skupine nisu zabilježeni tako jasni odgovori između kontrola i tretmana. U radu autora Blumenshine i sur. (1997) opisuje se utjecaj svakodnevnog dodavanja različitih koncentracija dinatrijevog fosfata ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) u plastične cilindre postavljene u oligomezotrofno jezero, a koji su bili u kontaktu sa sedimentom. Uz praćenje odgovora fitoplanktona na dodatak hranjivih soli, važan dio istraživanja bilo je praćenje odgovora bentičkih autotrofa i bentičkih beskralješnjaka. Autori su utvrdili povišene koncentracije klorofila *a* s površine cilindra (epiplastični klorofil *a*) koja je pozitivno korelirala s porastom koncentracija fosfora i 5,6 puta višu srednju vrijednost biomase bentičkih beskralješnjaka te udvostručeni broj svlakova Chironomidae u odnosu na kontrolu. Zabilježeno je također kako su Chironomini (Diptera) imali udio od 43% od ukupnog udjela beskralješnjaka u cilindrima s tretmanom dok je taj udio u neobogaćenim cilindrima bio samo 7%. Ipak, autori povećanje biomase beskralješnjaka ne povezuju s porastom klorofila *a* na površini cilindra, već s povećanjem biomase fitoplanktona i s tim u vezi povećanjem biomase bentičkih beskralješnjaka koji su predstavljeni kroz hranidbenu skupinu filtratora. Istraživanje odnosa fitoplankton-fitobentos-zoobentos u prirodnim jezerima Grenlanda i Amerike, ukazalo je na povišenu gustoću većih bentičkih strugača upravo u oligotrofnim sustavima, a u kojim je ujedno zabilježena visoka primarna proizvodnja perifitona (Vadeboncoeur i sur., 2003). U radu autora Widbom i Elmgren (1988) istraživao se utjecaj dodataka hranjivih soli N i P u cilindrima koji su imali kontakt sa sedimentom i u kojima se pratio odgovor meiofaune, ali u morskom ekosustavu. Autori zaključuju kako biomasa i ukupna abundancija meiofaune nije pokazala značajan odgovor na povišene koncentracije hranjivih soli. Pozitivan odgovor na obogaćivanje fosforom koji je postepeno otpuštan u kanalima opisali su autori Hart i Robinson (1990). Odgovor ličinaka tulara (strugača) dokazan je kroz njihovu povećanu gustoću u kanalima koji su imali određene koncentracije fosfora dok u kontrolnim kanalima to nije zamijećeno. Ujedno je potvrđeno kako se u istim kanalima povećala i biomasa perifitona. Još jedno istraživanje (Kiffney i Richardson, 2001) dodatka hranjivih soli, potvrdilo je pozitivan odgovor kroz porast biomase perifitona nakon dodatka fosforom bogatih peleta. Ponovno je uslijedio i odgovor strugača pri čemu je abundancija ličinaka vodencvjetova bila 80 puta viša u odnosu na kontrolu, a porasla je i brojnost ličinaka Chironimidae.

Multivarijantne analize Cluster i MDS potvrdile su već prethodno opisane razlike makrozoobentosa kroz odvajanje uzoraka barijere Gradinskog jezera od barijere Novakovića

brod. Kroz obje analize također je potvrđeno i odvajanje uzoraka po mikrolokacijama iako ono nije u svakom godišnjem dobu bilo potpuno, već se posebno istaknulo za proljetnu i ljetnu seriju što je vjerojatno razlog povećane brojnosti makrozoobentosa sveukupno.

U prikazanom odnosu makrozoobentosa s okolišnim varijablama nakon provedene CCA analize, pojedine okolišne varijable ukazale su na značajan utjecaj na strukturu makrozoobentosa, kao što je koncentracija ortofosfata i količina sedre. Očekivano je bilo da varijabla količine sedre za uzorke makrozoobentosa s barijere Novakovića brod za proljetnu i ljetnu seriju bude pozitivno i značajno korelirana jer je upravo na toj barijeri osedranje bilo povišeno kao i u tim godišnjim dobima (Belančić i sur., 2009, Matonićkin Kepčija i sur., 2005; 2011). Pozitivna korelacija koncentracije ortofosfata također je potvrdila prethodne analize koje su ukazale na povišene vrijednosti ove hranjive soli u lipnju i rujnu. Drugi okolišni čimbenici iz ordinacijskog dijagrama poput temperature i pH-vrijednosti koje su pozitivno korelirane s proljetnim i ljetnim serijama barijere Novakovića brod također potvrđuju sezonski porast temperature i snižavanje pH-vrijednosti koje se razlikuju između obje barijere. Brzina strujanja se ponovno pokazala kao važna okolišna varijabla za makrozoobentos između barijera te po godišnjim dobima.

Postavljena hipoteza kako se učinak eksperimentalne eutrofikacije kroz hranidbenu mrežu može prikazati modelom, u ovom istraživanju nije potvrđena. Učinak eksperimentalne eutrofikacije vrlo je jasan na primarne proizvođače što je potvrđeno ovdje iznešenim rezultatima. Iako je odgovor primarnih proizvođača na povišenje koncentracija hranjivih soli u vodnom ekosustavu obično brz, taj odgovor nije tako jasan na višim trofičkim razinama odnosno na makrozoobentos. S obzirom da je u ovako kompleksnom vodnom sustavu puno okolišnih čimbenika koji utječu na makrozoobentos, učinak eksperimentalne eutrofikacije nije u ovom slučaju bilo moguće predstaviti modelom.

## 6. ZAKLJUČAK

Svaki vodni ekosustav pa tako i Plitvička jezera, potrebno je promatrati kroz mogući utjecaj eutrofikacije koja je u današnje doba Antropocena izrazito ubrzana uslijed utjecaja čovjeka (kulturalna eutrofikacija). Povišenje koncentracije dušika i fosfora u vodnom tijelu uzrokuje razne promjene svih biocenotičkih sastavnica i te promjene općenito su češće praćene u pelagijalu jezerskog sustava nego u litoralu odnosno kroz utjecaj na bentičke organizme fitobentos i zoobentos. Upotreba modificiranih hranjivih podloga u raznim istraživanjima omogućila je jednostavnije praćenje mogućih učinaka povišenih koncentracija hranjivih soli primarno na fitobentos, a tek u pojedinim istraživanjima i na makrozoobentos. Zbog slabije istraženosti promjena makrozoobentosa kroz utjecaj hranjivih podloga, ovaj rad svakako ima značajan znanstveni doprinos u tom smislu te zaključujem slijedeće:

- Na barijeri Gradinskog jezera (GJ) vrijednosti temperature, pH-vrijednost i količine sedre su niže u odnosu na barijeru Novakovića brod (NB), dok su više vrijednosti električne vodljivosti, koncentracije kalcijevog karbonata te srednja vrijednost brzine strujanja.
- Razlike između koncentracije otopljenog kisika i hranjivih soli ortofosfata i nitrata te ukupnog dušika i fosfora nisu značajne između barijera. Koncentracije hranjivih soli u vodi Plitvičkih jezera vrlo su niske i često ispod granica detekcije same metode.
- Svi pokazatelji slijede karakteristične sezonske promjene uslijed kojih su u toplijem dijelu godine bile povišene vrijednosti temperature, dok su pH-vrijednost, električna vodljivost, koncentracija kalcijevog karbonata, koncentracija otopljenog kisika te nitrati u istom razdoblju bili sniženi. Koncentracija ortofosfata bila je blago povišena u lipnju i rujnu.
- Razlike fizikalno-kemijskih pokazatelja između mikrolokacija (sedrena barijera bez makrovegetacije i s makrovegetacijom) na obje barijere nisu značajne, dok su razlike hidrološkog pokazatelja brzine strujanja između mikrostaništa uočene.
- Količina istaloženog kalcijevog karbonata i koncentracija klorofila *a*, razlikovali su se s obzirom na mikrolokacije s višim vrijednostima na sedrenoj barijeri bez makrovegetacije nego na barijeri s makrovegetacijom. Navedene razlike uvjetovane su razlikama u brzinama strujanja između mikrolokacija, ali i većom zasjenom mikrolokacije koja je zasigurno utjecala na razvoj fitobentosa kroz praćeni klorofil *a*.

- Fosfor je limitirajući čimbenik za razvijeni fitobentos s obzirom na povišene koncentracije klorofila *a* na podlogama s P i N+P-tretmanom. Sezonska dinamika ovih vrijednosti ipak se neuobičajeno razlikovala, pri čemu su znatno više vrijednosti zabilježene u zimsko razdoblje. S obzirom da se kontinuirano prilikom podizanja podloga pratila *in vitro* stopa difuzije dušika i fosfora iz podloga, upravo je u zimu zamijećena viša koncentracija ortofosfata u agaru što je moglo utjecati na povećanje primarne proizvodnje.
- Brojnost i broj svojti makrozoobentosa razlikovao se između barijera, pri čemu su više vrijednosti zabilježene na barijeri GJ u odnosu na barijeru NB, i na obje barijere s višim vrijednostima na mikrolokaciji sedre u odnosu na mikrolokaciju makrovegetacije.
- Sezonske izmjene brojnost i broja svojti makrozoobentosa ukazale su na niske vrijednosti u zimu i povišene vrijednosti kroz proljeće i ljeto. Odgovor makrozoobentosa kroz brojnost, broj svojti i brojnost funkcionalnih hranidbenih skupina zabilježen je i za podloge s P i N+P-tretmanom.
- Pozitivan odgovor fitobentosa na dodatak hranjivih soli popraćen je pozitivnim odgovorom funkcionalne hranidbene skupine strugači i detritivori-sakuljači.
- Dodatak hranjivih soli dušika i fosfora odnosno prije svega fosfor, uzrokovao je odgovor fitobentosa i nešto slabiji odgovor zoobentosa što ukazuje na slabljenje tog utjecaja kroz više trofičke razine.
- Svoje makrozoobentosa koje su u ovom istraživanju bile najbrojnije pripadaju skupini Diptera, što je u skladu s prethodnim istraživanjima na sedrenim barijerama.
- Makrovegetacija koja značajno obrašta barijere i rubove jezera, u ovom istraživanju utjecala je na zasjenjenost koja smanjuje razvoj fitobentosa, razlike u brzini strujanja koje su bile niže na mikrolokacijama u makrovegetaciji, na stopu osedranja koja je bila niža te na nižu brojnost jedinki makrozoobentosa.

Plitvička jezera uvijek će biti nepresušan izvor znanstvenih spoznaja i intrigirat će znanstvenike kojima je cilj objasniti posebnosti ovog vrlo specifičnog slatkovodnog sustava. S obzirom na potencijalne prijetnje koje dolaze uslijed djelovanja čovjeka na prirodu kroz razna moguća onečišćenja od kojih je posebno opasan unos prekomjernih hranjivih soli, važno je kontinuirano pratiti promjene abiotičkih i biotičkih čimbenika u sustavu. Unos hranjivih soli mijenja trofičke odnose, utječe na biocenoze te u jednom prirodnom sustavu kakva su Plitvička jezera može imati negativan učinak. Pojačana zaštita ostvarena kroz

aktivne mjere upravljanja i kroz prije svega dobro i kvalitetno upravljanje ovim zaštićenim područjem, a uz uvažavanje mišljenja znanstvenih istraživanja, omogućit će očuvanje cjelokupnog vodnog ekosustava nacionalnog parka Plitvička jezera. Ovim istraživanjem ostvaren je određeni doprinos znanstvenim spoznajama o utjecaju hranjivih soli u prirodnom sustavu te može doprinijeti prilikom razrade pojedinih aktivnosti vezanih uz planiranje upravljanja vodnim ekosustavom Nacionalnog parka Plitvička jezera.

## 7. POPIS LITERATURE

1. Allan JD, Castillo MM (2007) *Stream Ecology: Structure and function of running waters*, Second Edition. Springer, The Netherlands
2. Alegro A, Papp B, Szurdoki E, Šegota V, Šapić I, Vukelić J (2014) Contributions to the Bryophyte flora of Croatia III. Plitvička Jezera National Park and adjacent areas. *Studia botanica hungarica* 45: 49-65.
3. Alegro A, Šegota V (2016) Flora i vegetacija mahovina i vaskularnih biljaka sedrenih barijera Plitvičkih jezera. Izvješće za 2016. , Hrvatsko Botaničko društvo, Zagreb
4. Ansari AA, Gill SS, Khan FA (2011) *Eutrophication: Threat to Aquatic Ecosystems*. U: Ansari AA, Gill SS, Lanza GR, Rast W (ed.) *Eutrophication: causes, consequences and control*. Springer Science+Business Media B.V., 143-170.
5. APHA, AWWA i WEF (2005) *Standard Methods for the examination of water & wastewater*. 21st American Public Health Association (21st ed), Washington
6. Babinka S (2007) *Multi-Tracer Study of Karst Waters and Lake Sediments in Croatia and Bosnia Herzegovina: Plitvice Lakes National Park and Bihać Area*. Dissertation. Universität Bonn
7. Babinka S, Obelić B, Krajcar Bronić I, Horvatinčić N, Barešić J, Kapelj A, Suckow A, (2007) Mean residence time of water from springs of the Plitvice Lakes and Una River area. *Advances in Isotope Hydrology and its Role in Sustainable Water Resources Management, Proceedings of a Symposium, Vienna, Vol. 1, 327-337*.
8. Barešić J, Horvatinčić N, Roller-Lutz Z (2011) Spatial and seasonal variations in the stable isotope composition of dissolved inorganic carbon and in physic-chemical water parameters in the Plitvice lakes system. *Isotopes in environmental and health studies* 47, 3: 316-329.

9. Bauernfeind E, Humpesch UH (2001) Die Eintagsfliegen Zentraleuropas (Insecta: Ephemeroptera): Bestimmung und Ökologie. Verlag des Naturhistorischen Museums, Wien
10. Belančić A, Matoničkin Kepčija R, Miliša M, Plenković Moraj A, Habdija I (2009) Flow Velocity Effect on Leaf Litter Breakdown in Tufa Depositing System (Plitvice Lakes, Croatia). *International Review of Hydrobiology* 94, 4: 391-398.
11. Bernhardt ES, Likens GE (2004) Controls on periphyton biomass in heterotrophic streams. *Freshwater Biology* 49: 14-27.
12. Biggs BJB, Kilroy C (2000) Stream periphyton monitoring manual. The New Zealand Ministry for the Environment. NIWA, Christchurch
13. Biondić B, Biondić R, Meaški H (2010) The conceptual hydrogeological model of the Plitvice Lakes. *Geologia Croatica* 63, 2: 195-206.
14. Birmingham M, Heimdal D, Hubbard T, Krier K, Leopold R, Luzier J, Neely J, Soenen B, Wilton T (2005) Benthic Macroinvertebrate Key. IOWATER Volunteer Water Quality Monitoring
15. Blaženčić J, Blaženčić Ž (1990-91) Makrofite u Plitvičkim jezerima Prošće i Ciginovac. *Plitvički bilten* 3-4: 41-51.
16. Blaženčić J, Blaženčić Ž (1992) Makrofite Kozjaka i srednjih Plitvičkih Jezera. *Plitvički bilten* 5: 7-26.
17. Blumenshine SC, Vadeboncoeur Y, Lodge DM, Cottingham KL, Knight SE (1997) Benthic-pelagic links: responses of benthos to water-column nutrient enrichment. *Journal of the North American Benthological Society* 16, 3: 466-479.
18. Brnek Kostić A, Krga M (1978) Istraživački sektor Nacionalnog parka Plitvička jezera. *Plitvički vjesnik* 44, lipanj: 4-5.

19. Brozinčević A, Vurnek M, Zwicker Kompar G, Bušelić G, Rubinić J (2013) Changes in dynamic of fluctuation in water level of Kozjak and Prošćansko lakes and possible influences. U: Nakić Z, Rubinić J (ur.) 3rd International Conference: Waters in Sensitive & Protected Areas. Zagreb, 136-141.
20. Brown GG, Maher WA, Norris RH, Mathieu J (2001) Problems with the use of terracotta clay saucers as phosphorus-diffusing substrata to assess nutrient limitation of epilithic algae. *Freshwater Biology* 46: 623-632.
21. Carlson RE (1977) A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography* 22 (2): 361-369.
22. Chafetz HS, Srdoč D, Horvatinčić N (1994) Early diagenesis of Plitvice Lakes waterfall and barrier travertine deposits. *Geographie physique et Quaternaire* 48, 3: 247-255.
23. Chen J, Zhang DD, Wang S, Xiao T, Huang R (2004) Factors controlling tufa deposition in natural waters at waterfall sites. *Sedimentary Geology* 166: 353-366.
24. Ciborowski JJH, Pointing PJ, Corkum LD (1997) The effect of current velocity and sediment on the drift of the mayfly *Ephemerella subvaria* McDunnough. *Freshwater Biology* 7: 567-572.
25. Clarke SJ (2009) Adapting to climate change: implications for freshwater biodiversity and management in the UK. *Freshwater Reviews* 2: 51-64.
26. Clarke KR, Gorley RN (2006) PRIMER v6: User manual/tutorial. PRIMER-E, Plymouth, UK



27. Covich AP, Palmer MA, Crowl TA (1999) The Role of Benthic Invertebrate Species in Freshwater Ecosystems – Zoobenthos species influence energy flows and nutrient cycling. *BioScience* 49, 2: 119-127.
28. Cummins KW (1973) Trophic relations of aquatic insects. *Annual Review of Entomology* 18: 183-206.
29. Čmrlec K, Ivković M, Šemnički P, Mihaljević Z (2013) Emergence phenology and microhabitat distribution of aquatic diptera community at the outlets of barrage lakes: effect of temperature, substrate and current velocity. *Polish Journal of Ecology* 61, 1: 135-144.
30. Davies-Colley RJ, Quinn JM (1998) Stream lighting in five regions of North Island New Zealand: control by channel size and riparian vegetation. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 32: 391-605.
31. DeNicola DM (1996) Periphyton Responses to Temperature at Different Ecological Levels. U: Stevenson RJ, Bothwell ML, Lowe RL (ed.) *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*. Academic Press, USA, 149-183.
32. Dešković I, Milenković V, Marušić R (1981) Značaj, svrha i neki rezultati hidrokemijskih, hidroloških i sanitarnih istraživanja površinskih i podzemnih voda Nacionalnog parka Plitvička Jezera. *Vodoprivreda* 13, 69-71: 7-19.
33. Dokulil MT, Teubner K (2011) Eutrophication and Climate Change: Present Situation and Future Scenarios. U: Ansari AA, Gill SS, Lanza GR, Rast W (ed.) *Eutrophication: causes, consequences and control*. Springer Science+Business Media B.V., 1-16.
34. Dodds WK, Smith VH, Lohman K (2002) Nitrogen and phosphorus relationships to benthic algal biomass in temperate streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59: 865-874.

35. Drysdale R, Taylor MP, Ihlenfeld C (2002) Factors controlling the chemical evolution of travertine-depositing rivers of the Barkly karst, northern Australia. *Hydrological Processes* 16: 2941-2962.
36. Drysdale R, Lucas S, Carthew K (2003) The influence of diurnal temperatures on the hydrochemistry of a tufa-depositing stream. *Hydrological Processes* 17: 3421-3441.
37. Dunham J, Chandler G, Rieman B, Martin D (2005) *Measuring Stream Temperature with Digital Data Loggers: A User`s Guide*. USDA Forest Service General Technical Report, Rocky Mountain Research Station
38. Emeis K-C, Richnow HH, Kempe S (1987) Travertine formation in Plitvice Lakes National Park, Yugoslavia: chemical versus biological control. *Sedimentology* 34: 595-609.
39. Emili H (1958) Hidrobiološka istraživanja na Plitvičkim jezerima. U: Šafar J (ur.) Nacionalni park Plitvička jezera. Tisak Grafičkog zavoda Hrvatske u Zagrebu, 173-227.
40. Emili H (1965) Prilog upoznavanju sanitarne vrijednosti izvora i vodotoka u Nacionalnom parku Plitvička Jezera. *Plitvički bilten* 1, 1: 39-51.
41. Ford TD, Pedley HM (1996) A review of tufa and travertine deposits of the world. *Earth-Science Reviews* 41: 117-175.
42. Ford D, Williams P (2007) *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. John Wiley & Sons, Ltd, England
43. Francoeur SN (2001) Meta-analysis of lotic nutrient amendment experiments: detecting and quantifying subtle responses. *Journal of the North American Benthological Society* 20, 3: 358-368.

44. Frančišković-Bilinski S, Barišić D, Vertačnik A, Bilinski H, Prohić E (2004) Characterization of tufa from the Dinaric Karst of Croatia: mineralogy, geochemistry and discussion of climate conditions. *Facies* 50: 183-193.
45. Franić D (1910) *Plitvička Jezera i njihova okolica*. Tisak kraljevske zemaljske tiskare, Zagreb
46. Galland P, Lisitzin K, Oudaille-Diethardt A, Young C (2016) *World Heritage in Europe Today*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, France
47. Gibeau GG, Miller MC (1989) A Micro-Bioassay for Epilithon using Nutrient-Diffusing Artificial Substrata. *Journal of Freshwater Ecology* 5, 2: 171-176.
48. Golubić S, Violante C, Plenković-Moraj A, Grgasović T (2008) Travertines and calcareous tufa deposits: an insight into diagenesis. *Geologia Croatica* 61, 2-3: 363-378.
49. Gray SM, Miller TE, Mouquet N, Daufresne T (2006) Nutrient limitation in detritus-based microcosms in *Sarracenia purpurea*. *Hydrobiologia* 573: 173-181.
50. Habdija I (1988) Trophic importance of trichopterous larvae in benthos of the lakes of Plitvice. *Periodicum biologorum* 90, 3: 355-361.
51. Habdija I, Primc-Habdija B, Belinić I (1990-91) Procjena stupnja trofije u jezeru Kozjak (Plitvička jezera). *Plitvički bilten* 3-4: 31-41.
52. Habdija I, Primc B, Plenković-Moraj A, Ternjej I, Matonićkin Kepčija R, Gligora Udovič M, Sertić Perić M, Kralj Borojević K, Dujmović A, Brozinčević A, Dražina T, Žutinić P, Vurnek M, Stilinović B (2011) Funkcionalna organizacija planktonske zajednice u jezeru Kozjak i jezeru Prošće kao indikator ekološkog stanja hidrosustava Plitvičkih jezera (Nacionalni park Plitvičkih jezera): studija. Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb

53. Habdija I, Primc-Habdija B, Matoničkin R, Kučinić M, Radanović I, Miliša M, Mihaljević Z (2004) Current velocity and food supply as factors affecting the composition of macroinvertebrates in bryophyte habitats in karst running water. *Biologia* 59/5: 577-593.
54. Habdija I, Radanović I, Matoničkin R (2000) Functional feeding structure of benthic macroinvertebrates in travertine barrier biotopes. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 27: 2594-2599.
55. Habdija I, Stilinović B, Erben R, Maloseja Ž, Primc B, Plenković A, Krga M, Futač N. (1986) Ekološka istraživanja na trajnim plohama u akvatičkom dijelu ekosistema nacionalnog parka Plitvička jezera: studija. Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb
56. Habdija I, Stilinović B, Maloseja Ž, Primc B, Futač N (1987) Ekološka istraživanja na trajnim plohama u akvatičkom dijelu ekosistema nacionalnog parka Plitvička jezera: studija. Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb
57. Habdija I, Stilinović B, Primc-Habdija B, Maloseja Ž, Futač N, Belinić I (1989) Ekološka istraživanja na trajnim plohama u akvatičkom dijelu ekosistema nacionalnog parka Plitvička jezera: studija. Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb
58. Habdija I, Stilinović B, Primc Habdija B, Plenković-Moraj A, Špoljar M, Kučinić M, Hrenović J, Matoničkin Kepčija R, Miliša M, Gligora M, Ostojić A, Kralj K (2005) Procjena ekološkog stanja u akvatoriju NP Plitvička jezera, b) Istraživanje stope osedranja i brzina travertinizacije sedrenih barijera na području NP Plitvička jezera: studija. Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb
59. Hansson L-A (1992) Factors regulating periphytic algal biomass. *Limnology and Oceanography* 37, 2: 322-328.
60. Hart DD, Robinson CT (1990) Resource Limitation in a Stream Community: Phosphorus Enrichment Effects on Periphyton and Grazers. *Ecology* 71 (4): 1494-1502.

61. Hynes HBN (1970) *The Ecology of Running Waters*. Liverpool University Press, Liverpool
62. Heathwaite AL (1993) Nitrogen Cycling in Surface Waters and Lakes. U: Burt TP, Heathwaite AL, Trudgill ST (ed.) *Nitrate: Processes and Management*. John Wiley & Sons, 99-140.
63. Higley B, Carrick HJ, Brett MT, Luecke C, Goldman CR (2001) The effects of Ultraviolet Radiation and Nutrient Additions on Periphyton Biomass and Composition in a Sub-Alpine lake (Castle Lake, USA). *International Review of Hydrobiology* 86, 2: 147-163.
64. Hillbricht-Ilkowska A (1999) Shallow lakes in lowland river systems: Role in transport and transformations of nutrients and in biological diversity. *Hydrobiologia*, 408/409: 349-358.
65. Horvatinčić N, Čalić R (2000) Interglacial Growth of Tufa in Croatia. *Quaternary Research* 53: 185-195.
66. Horvatinčić N, Srdoč D (1990-91) Kemijske i izotopne karakteristike krških voda s posebnim osvrtom na Plitvička jezera. *Plitvički bilten*, 3-4: 7-19.
67. Horvatinčić N, Barešić J, Krajcar Bronić I, Obelić B, Rajtarić A, Sironić A, Vdović N, Karašić S, Milunović M, Ivanić M, Sondi I (2014) Utjecaj klimatskih promjena i stanja u okolišu na biološki inducirano taloženje sedre i sedimentacijske procese u Plitvičkim jezerima. Završno izvješće. Institut „Ruđer Bošković“, Zagreb
68. Hutchinson GE, Löffler H (1956) The thermal classification of lakes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 42 (2): 84-86.
69. Huntsman AG (1948) Fertility and Fertilization of Streams. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 7b, 5: 248-253.

70. Illyová M, Pastuchová Z (2012) The zooplankton communities of small water reservoirs with different trophic conditions in two catchments in western Slovakia. *Limnologica* 42: 271-281.
71. Iveković H (1958) Mijenjanje kemijskog sastava vode Plitvičkih jezera. U: Šafar J (ur.) Nacionalni park Plitvička jezera. Tisak Grafičkog zavoda Hrvatske u Zagrebu, 227-275.
72. Ivković M, Kesić M, Stloukalova V (2012) Contribution to the knowledge of black fly (Diptera, Simuliidae) fauna at Plitvice Lakes National Park. *Natura Croatica* 21, 1: 263-268.
73. Ivković M, Mičetić Stanković V, Mihaljević Z (2012) Emergence patterns and microhabitat preference of aquatic dance flies (Empididae; Clinocerinae and Hemerodromiinae) on a longitudinal gradient of barrage lake system. *Limnologica* 42: 43-49.
74. Jónasson PM (2004) Benthic Invertebrates. U: O`Sullivan PE, Reynolds CS (ed.) *The Lakes Handbook - Limnology and Limnetic Ecology (Volume 1)*. Blackwell Publishing, Oxford, 341-416.
75. Kano A, Matsuoka J, Kojo T, Fujii H (2003) Origin of annual laminations in tufa deposits, southwest Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 191: 243-262.
76. Katalinić A, Zwicker G, Brozinčević A, Peroš-Pucar D, Rubinić J (2008) Relation between hydrological characteristics and anthropogenic influence in the context of lake protection – case studies of Plitvice Lakes and Vrana lake in Dalmatia (Croatia). *Balwois, Ohrid*, 1-14.
77. Kelts K, Hsü KJ (1978) *Freshwater Carbonate Sedimentation*. U: Lerman A (ed.) *Lakes: Chemistry, Geology, Physics*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 295-323.
78. Kempe S, Emeis K, Pegler K, Reimer A, Richnow HH, Salge U (1985) Carbonate

Chemistry and the Formation of Plitvice Lakes. Mitteilungen aus dem Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Hamburg, 58: 351-383.

79. Kerovec M, Žganec K, Gottstein S, Previšić A (2007) Procjena ekološkog stanja u akvatoriju NP Plitvička jezera, a) Biološko-ekološka istraživanja. Znanstveno-stručni elaborat. Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb
80. Kiffney PM, Richardson JS (2001) Interactions among Nutrients, Periphyton, and Invertebrate and Vertebrate (*Ascapthus truei*) Grazers in Experimental Channels. Copeia 2001, 2: 422-429.
81. Knoz J (1965) To identification of Czechoslovakian Black-flies (Diptera, Simuliidae). Folia Přírodovědecké Fakluty University J. E. Purkyně v Brně. Biologia b, 1-54.
82. Kostić-Brnek Lj, Brnek-Kostić A (1965) Prvi rezultati saprobioloških istraživanja na Plitvičkim jezerima i okolnim vodama. Plitvički bilten 1, 1: 7-19.
83. Kostić-Brnek Lj, Brnek-Kostić A (1971) Nekoliko značajnih vrsta u hironomidnoj fauni Plitvičkih jezera (Diptera, Chironomidae). Zbornik referata sa I Simpozijuma sistematičara Jugoslavije. 175-185.
84. Kufel L, Kufel I (2002) Chara beds acting as nutrient sinks in shallow lakes – a review. Aquatic Botany, 72, 3-4: 249-260.
85. Lampert W, Sommer U (2007) Limnoecology. Second Edition, Oxford University Press, UK
86. LeBlanc RT, Brown RD, FitzGibbon JE (1997) Modeling the Effects of Land Use Change on the Water Temperature in Unregulated Urban Streams. Journal of Environmental Management 49: 445-469.
87. Leggitt VL, Loewen MA (2002) Eocene Green River Formation „*Oocardium* tufa“ reinterpreted as complex arrays of calcified caddisfly (Insect: Trichoptera) larval cases. Sedimentary Geology 148: 139-146.

88. Lewis WM (1983) A Revised Classification of Lakes Based on Mixing. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40: 1779-1787.
89. Lindeman RL (1942) The Trophic-Dynamic Aspect of Ecology. *Ecology*, 23, 4: 399-417.
90. Liu Z, Li Q, Sun H, Liao C, Li H, Wang J, Wu K (2006) Diurnal Variations of Hydrochemistry in a Travertine-depositing Stream at Baishuitai, Yunnan, SW China. *Aquatic Geochemistry* 12: 103-121.
91. Löffler H (2004) The Origin of Lake Basins. U: O`Sullivan PE, Reynolds CS (ed.) *The Lakes Handbook - Limnology and Limnetic Ecology (Volume 1)*. Blackwell Publishing, Oxford, 8-61.
92. Lu G, Zheng C, Donahoe RJ, Berry Lyons W (2000) Controlling processes in a CaCO<sub>3</sub> precipitating stream in Huanglong Natural Scenic District, Sichuan, China. *Journal of Hydrology* 230: 34-54.
93. Maloseja Ž (1985) Vertikalni raspored fitoplanktona u jezeru Kozjak (Nacionalni park Plitvice). *Ekologija* 20 (2): 67-74.
94. Marčenko E (1960) Prilozi poznavanju vegetacije alga na području slapova Plitvičkih jezera. U: Vouk V (ur.) *Rad Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, Odjel za prirodne nauke*. Knjiga 10: 106-152.
95. Mason CF (2002) *Biology of Freshwater Pollution*. 4th Edition, Pearson Education Limited, Edinburgh Gate, Harlow, England
96. Matoničkin I, Pavletić Z (1965) Opće karakteristike biocenoza opskrbnih voda Plitvičkih jezera. *Plitvički bilten* 1, 1: 33-39.
97. Matoničkin I, Pavletić Z, Tavčar V, Krkač N (1971) Limnološka istraživanja reikotopa i fenomena protočne travertinizacije u Plitvičkim jezerima. *Acta Biologica VII/1, Prirodoslovna istraživanja*, knjiga 40.



98. Matoničkin Kepčija R, Habdija I, Primc-Habdija B, Miliša M (2005) The role of simuliid and trichopteran silk structures in tufa formation during the Holocene of the Plitvice Lakes (Croatia). Proceedings of 1st International Symposium on Travertine, Denizli, Turkey, 96-101.
99. Matoničkin Kepčija R, Miliša M, Sertić Perić M, Matijić Cvjetović M, Primc-Habdija B (2011) Response of periphyton to nutrient addition in a tufa depositing environment. *Aquatic Microbial Ecology* 65: 183-195.
100. Matoničkin Kepčija R (2006) Utjecaj brzine strujanja vode na naseljavanje perifitonskih zajednica sedrenih barijera. Doktorska disertacija. Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
101. Merz-Preiß M, Riding R (1999) Cyanobacterial tufa calcification in two freshwater streams: ambient environment, chemical thresholds and biological processes. *Sedimentary Geology* 126: 103-124.
102. Meštrov M, Božičević S, Penzar I, Zaninović K, Stilinović B, Šegulja N, Prpić B, Kučinić M, Mrakovčić M, Huber Đ (1998) The Plitvice Lakes. Turistička naklada d.o.o., Zagreb, Nacionalni park Plitvička Jezera
103. Mikac I, Fiket Ž, Terzić S, Barešić J, Mikac N, Ahel M (2011) Chemical indicators of anthropogenic impacts in sediments of the pristine karst lakes. *Chemosphere* 84, 8: 1140-1149.
104. Miliša M, Habdija I, Primc-Habdija B, Radanović I, Matoničkin Kepčija R (2006a) The role of flow velocity in the vertical distribution of particulate organic matter on moss - covered travertine barriers of the Plitvice Lakes (Croatia). *Hydrobiologia* 553: 231–243.
105. Miliša M, Matoničkin Kepčija R, Radanović I, Ostojić A, Habdija I (2006b) The impact of aquatic macrophyte (*Salix* sp. and *Cladium mariscus* (L.) Pohl.) removal on habitat conditions and macroinvertebrates of tufa barriers (Plitvice Lakes, Croatia). *Hydrobiologia* 573: 183-197.

106. Moog O (2002) Prefaces, Directory of authors and Introductions, Part I. U: Moog O (ur.) Fauna Aquatica Austriaca (2<sup>nd</sup> edition), Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Vienna, Austria.
107. Moss B (1998) Ecology of fresh waters: man and medium, past to future. 3rd Edition, Blackwell Publishing, Oxford
108. Naumann E (1919) Nagra synpunkter angående limnoplanktons ökologi med särskild hänsyn till fytoplankton. Svensk Bot Tidskrift 13: 129-163.
109. Narodne novine 13/97 Zakon o izmjenama zakona o proglašenju Plitvičkih jezera nacionalnim parkom
110. Nilsson A (1996) Aquatic Insects of North Europe, A Taxonomic Handbook. Vol. 1, Apollo Books, Steenstrup
111. Nilsson A (1997) Aquatic Insects of North Europe, A Taxonomic Handbook. Vol. 2, Apollo Books, Steenstrup
112. Nusch EA (1980) Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. Archiv für Hydrobiologie 14: 14-36.
113. Pace M-L, Cole JJ, Carpenter SR, Kitchell JK (1999) Trophic cascades revealed in diverse ecosystems. Tree 14, 12: 483-488.
114. Padišák J (2004) Phytoplankton. U: O'Sullivan PE, Reynolds CS (ed.) The Lakes Handbook - Limnology and Limnetic Ecology (Volume 1). Blackwell Publishing, Oxford, 251-308.
115. Pavlus N, Novosel A (2004) Eksperimentalno uklanjanje makrovegetacije na pokusnih plohama Plitvičkih jezera. Plitvički bilten 6: 93-115.
116. Paytan A, McLaughlin K (2011) Tracing the Sources and Biogeochemical Cycling of Phosphorus in Aquatic Systems Using Isotopes of Oxygen in Phosphate. U:

- Baskaran M (ed.) Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 419-436.
117. Pedley M, Andrews J, Ordonez S, del Cura MAG, Martin J-A G, Taylor D (1996) Does climate control the morphological fabric of freshwater carbonates? A comparative study of Holocene barrage tufas from Spain and Britain. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 121: 236-257.
118. Pentecost A (2005) *Travertine*. Springer, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Nizozemska
119. Pentecost A (2017) Cyanobacteria-phosphate-calcite interactions in limestone (hardwater) streams in England. *Hydrobiologia* 2017: 1-12.
120. Petrik M (1958) Prinosi hidrologiji Plitvica. U: Šafar J (ur.) Nacionalni park Plitvička jezera. Tisak Grafičkog zavoda Hrvatske u Zagrebu, 49-173.
121. Pevalek I (1958) Biodinamika Plitvičkih jezera i njena zaštita. U: Šafar J (ur.) Nacionalni park Plitvička jezera. Tisak Grafičkog zavoda Hrvatske u Zagrebu, 275-293.
122. Pevalek-Kozlina B (2011) Akademik Ivo Pevalek 1893.-1967. U: Šutić B, Mataija I, Šikić Z, Dujmović A, Ružić V, Brozinčević A (ur.) Zbornik radova Znanstvenostručni skup Nacionalnog parka Plitvička jezera. Javna ustanova Nacionalni park Plitvička jezera, 14-23.
123. Plant LJ, House WA (2002) Precipitation of calcite in the presence of inorganic phosphate. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 203: 143-153.
124. Plenković-Moraj A, Stilinović B (1998) Periphyton and their role in tufa formation in Plitvice lakes. Međunarodna konferencija o zaštiti voda u Nacionalnim parkovima i drugim zaštićenim područjima

125. Pokorný J, Květ J (2004) Aquatic plants and lake ecosystems. U: O`Sullivan PE, Reynolds CS (ed.) The Lakes Handbook - Limnology and Limnetic Ecology (Volume 1). Blackwell Publishing, Oxford, 309-340.
126. Polšak A (1974) Geološki aspekti zaštite Plitvičkih Jezera. U: Gušić B, Marković M (ur.) Plitvička Jezera – čovjek i priroda. Nacionalni park Plitvička Jezera, Zagreb, 23-32.
127. Popijač A, Sivec I (2009) Diversity and distribution of stoneflies in the area of Plitvice Lakes National Park and along the Mediterranean river Cetina (Croatia). Aquatic Insects: International Journal of Freshwater Entomology 31:sup1, 731-742.
128. Previšić A, Graf W, Kučinić M (2010) Caddisfly (Trichoptera) fauna of the Plitvice Lakes National Park, Croatia. Denisia 29: 287-294.
129. Primc B, Erben R, Habdija I (1984) Vertikalna distribucija mikrozooplanktona i njegove sezonske promjene u jezeru Kozjak (Plitvička Jezera). Bilten Društva ekologa Bosne i Hercegovine, Broj 2 – III Kongres ekologa Jugoslavije, Sarajevo, 123-126.
130. Primc-Habdija B, Matoničkin R (2005) A new freshwater folliculinid (Ciliophora) from the karstic region of Croatia. European Journal of Protistology 41: 37-43.
131. Rinke K, Robinson CT, Uehlinger U (2001) A Note on Abiotic Factors that Constrain Periphyton Growth in Alpine Glacier Streams. International Review of Hydrobiology 86, 3: 361-366.
132. Roglić J (2000) Morfološke posebnosti Nacionalnog parka Plitvička jezera. U: Vidaković P, Meštrov M (ed.) Zbornik znanstvenog simpozija o zaštiti Plitvičkih jezera: 50 godina Nacionalnog parka Plitvička jezera: 1949.-1999. Društvo za zaštitu Plitvičkih jezera, Zagreb, 207-224.

133. Rogerson M, Pedley HM, Wadhawn JD, Middleton R (2008) New insights into biological influence on the geochemistry of freshwater carbonate deposits. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72: 4976-4987.
134. Rubinić J, Zwicker G, Dragičević N (2008) Doprinos poznavanju hidrologije Plitvičkih Jezera – dinamika kolebanja razine jezera i značajne promjene. U: Ožanic N (ur.) Zbornik radova, Savjetovanje: Hidrološka mjerenja i obrada podataka, Nacionalni park Plitvička Jezera, 207-230.
135. Rubinić J, Zwicker G (2011) Hidrologija sustava Plitvičkih Jezera i gornjeg toka Korane – praćenja, spoznaje i izazovi. U: Šutić B, Mataija I, Šikić Z, Dujmović A, Ružić V, Brozinčević A (ur.) Zbornik radova Znanstveno-stručni skup Nacionalnog parka Plitvička jezera. Javna ustanova Nacionalni park Plitvička jezera, 46-60.
136. Rugenski AT, Marcarelli AM, Bechtold HA, Inouye RS (2008) Effects of temperature and concentration on nutrient release from nutrient diffusing substrates. *Journal of the North American Benthological Society* 27, 1: 52-57.
137. Sanderson BL, Coe HJ, Chaua DT, Macneale KH, Harstad DL, Goodwin AB (2009) Nutrient limitation of periphyton in Idaho streams: results from nutrient diffusing substrate experiments. *Journal of the North American Benthological Society* 28, 4: 832-845.
138. Schiller Von D, Marti E, Riera JL, Sabater F (2007) Effects of nutrients and light on periphyton biomass and nitrogen uptake in Mediterranean streams with contrasting land uses. *Freshwater Biology* 52: 891-906.
139. Schindler DW (1974) Eutrophication and Recovery in Experimental Lakes: Implications for Lake Management. *Science, New Series*, 184 (4139): 897-899.
140. Scholten MCTh, Foekema, EM, Van Dokkum HP, Kaag NHBM, Jak, RG (2005) *Eutrophication Management and Ecotoxicology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg

141. Schulz M, Kozerski H-P, Pluntke T, Rinke K (2003) The influence of macrophytes on sedimentation and nutrient retention in the lower River Spree (Germany). *Water Research* 37: 569-578.
142. Sertić Perić M, Miliša M, Matoničkin Kepčija R, Primc-Habdija I, Habdija I (2010) Seasonal and fine-scale spatial drift patterns in a tufa-depositing barrage hydrosystem. *Fundamental and Applied Limnology, Archiv für Hydrobiologie* 178, 2: 131-145.
143. Setaro FV, Melack JM (1984) Responses of phytoplankton to experimental nutrient enrichment in an Amazon floodplain lake. *Limnology and Oceanography* 29 (5): 972-984.
144. Sigeo DC (2005) *Freshwater microbiology: Biodiversity and Dynamic Interactions of Microorganisms in the Aquatic Environment*. John Wiley and Sons Ltd, England
145. Sironić A, Barešić J, Horvatinčić N, Brozinčević A, Vurnek M, Kapelj S (2017) Changes in the geochemical parameters of karst lakes over the past three decades – The case of Plitvice Lakes, Croatia. *Applied Geochemistry* 78: 12-22.
146. Srdoč D, Horvatinčić N, Obelić B, Krajcar I, Sliepčević A (1985) Proces i taloženja kalcita u krškim vodama s posebnim osvrtom na Plitvička jezera. *Krš Jugoslavije* 11, 4-6: 1-104.
147. Stanković I, Szabó B, Mičetić Stanković V (2017) *Sastav i značaj bentičkih algi na sedrenim barijerama Plitvičkih jezera. Završno izvješće*. Hrvatsko botaničko društvo, Zagreb
148. Stevenson RJ, Bothwell ML, Lowe RL (1996) *Algal Ecology Freshwater Benthic Ecosystems*. Academic Press. Elsevier (USA)
149. Stilnović B, Futač N (1985) Prilog poznavanju sanitarne vrijednosti vodenih ekosistema Plitvičkih jezera. *Ekologija* 20, 1: 47-54.

150. Stilinović B, Futač N (1989) Prilog poznavanju sanitarne vrijednosti nekih opskrbnih voda i jezera na području Nacionalnog parka Plitvice od 1977. do 1986. godine. Plitvički bilten 2: 7-17.
151. Stilinović B, Habdija I, Dujmović A (2004) kakvoća vode ekosustava Plitvičkih jezera od godine 1977 do 2003. godine na temelju bakterioloških analiza. Plitvički bilten 6: 83-93.
152. Stoffers P (1975) Recent carbonate sedimentation in the lakes of Plitvice (Yug.). Journal of Mineralogy and Geochemistry 9: 412-418.
153. Stumm W, Morgan JJ (1996) Aquatic chemistry: Chemical Equilibria and Rate sin Natural Waters, Third Edition. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc., USA
154. Sundermann A, Lohse S, Beck LA, Haase P (2007) Key to larval stages of aquatic true flies (Diptera), based on the operational taxa list for running water in Germany. Annales de Limnologie – International Journal of Limnology 43 (1): 61-74.
155. Šemnički P, Previšić A, Ivković M, Čmrlec K, Mihaljević Z (2012) Tufa barriers from a Caddisfly`s Point of View: Streams or Lake Outlets?. International Review of Hydrobiology 97, 6: 465-484.
156. Špoljar M (2013) Microaquatic communities as indicators of environmental changes in lake ecosystems. Journal of Engineering Research 1 (1): 29-42.
157. Talling JF (2009) Electrical conductance – a versatile guide in freshwater science. Freshwater Reviews 2: 65-78.
158. Tank JL, Bernot MJ, Rosi-Marshall EJ (2006) Nitrogen limitation and uptake. U: Hauer FR, Lamberti GA (ed.) Methods in stream ecology. 2nd Edition Academic Press, San Diego, CA, 213-238.

159. Tank JL, Dodds WK (2003) Nutrient limitation of epilithic and epixylic biofilms in ten North American streams. *Freshwater Biology* 43: 1031-1049.
160. Tasevska O, Jarsabek CD, Kostoski G, Gušeska D (2012) Differences in rotifer communities in two freshwater bodies of different trophic degree (Lake Ohrid and Lake Dorjan, Macedonia). *Biologia*. 67 (3): 565-575.
161. ter Braak CJF, Šmilauer P (2012) Canoco 5, Windows release (5.04). Software for multivariate data exploration, testing and summarization. Biometris, Plant Research International and Petr Šmilauer (the Netherlands and Czech Republic)
162. Thakur RK, Jindal R, Singh UB, Ahluwalia AS (2013) Plankton diversity and water quality assessment of three freshwater lakes of Mandi (Himachal Pradesh, India) with special reference to planktonic indicators. *Environmental Monitoring and Assessment* 185: 8355-8373.
163. Thorp JH, Covich AP (2010) *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*, 3rd Edition, Elsevier Press.
164. Tilman D, Kilham SS, Kilham P (1982) Phytoplankton community ecology: the role of limiting nutrients. *Annual Review of Ecology and Systematics* 13: 349-372.
165. Tokinova R, Ratushyak AA, Tarasov OY (2012) Influence of nitrate-phosphate overload on macrozoobenthos communities in thickets of aquatic macrophytes. *World Applied Sciences Journal* 20 (4): 615-619.
166. Turner EC, Jones B (2005) Microscopic calcite dendrites in cold-water tufa: implications for nucleation of micrite and cement. *Sedimentology* 52, 5: 1043-1066.
167. Vadeboncoeur Y, Vander Zanden MJ, Lodge DM (2002) Putting the Lake Back Together: Reintegrating Benthic Pathways into Lake Food Web Models. *Bioscience* 52, 1: 44-54.



168. Vadeboncoeur Y, Jeppesen E, Vander Zanden MJ, Schierup H-H, Christoffersen K, Lodge DM (2003) From Greenland to green lakes: Cultural eutrophication and the loss of benthic pathways in lakes. *Limnological Oceanography* 48, 4: 1408-1418.
169. Viayeh RM, Špoljar M (2012) Structure of rotifer assemblages in shallow waterbodies of semi-arid northwest Iran differing in salinity and vegetation cover. *Hydrobiologia* 686: 73-89.
170. Vilenica M, Gattolliat J-L, Ivković M, Kučinić M, Mičetić Stanković V, Mihaljević Z, Sartori M (2014) The mayfly fauna (Insecta, Ephemeroptera) of the Plitvice Lakes National Park. *Natura Croatica* 23, 2: 349-363.
171. Vukosav P, Mlakar M, Cukrov N, Kwokal Ž, Pižeta I, Pavlus N, Špoljarić I, Vurnek M, Brozinčević A, Omanović D (2013) Heavy metal contents in water, sediment and fish in a karst aquatic ecosystem of the Plitvice Lakes National Park (Croatia). *Environmental Science and Pollution Research* 21, 5: 3826-3839.
172. Vurnek M, Brozinčević A, Bušelić G, Zwicker Kompar G, Rubinić J (2010) Intra-annual dynamics of water quality changes in Plitvice Lakes spring zone. *Balwois, Ohrid*, 1-14.
173. Vurnek M, Brozinčević A, Briški F, Matoničkin Kepčija R (2016) Distributional patterns of fecal indicator bacteria in spring area of Plitvice Lakes National Park. *Periodicum biologorum* Vol 118, No 1, 37-44.
174. Waringer J, Graf W (1997) *Atlas der Österreichischen Köcherfliegenlarven*. Facultas Universitätsverlag, Wien
175. Weber CA (1907) *Aufbau und Vegetation der Moore Norddeutschlands*. *Bot Jahrb* 40 (Beibl 90): 19-34.
176. Widbom B, Elmgren R (1988) Response of benthic meiofauna to nutrient enrichment of experimental marine ecosystems. *Marine Ecology – Progress Series* 42: 257-268.

177. Wiik E, Bennion H, Sayer CD, Clarke SJ (2014) Assessing the status of marl lakes under the European Union Water Framework Directive – insights from contemporary and paleolimnological studies of three English lakes. *Fundamental and Applied Limnology* 185, 2: 121-138.
178. Wiik E, Bennion H, Sayer CD, Davidson TA, Clarke SJ, McGowan S, Prentice S, Simpson GL, Stone L (2015) The coming and going of a marl lake: multi-indicator paleolimnology reveals abrupt ecological change and alternative views of reference conditions. *Frontiers in Ecology and Evolution* 3, 82: 1-20.
179. Williams DD, Feltmate BW (1994) *Aquatic insects*. CAB International, Wallingford, Oxon, UK
180. Winter TC (2004) *The Hydrology of Lakes*. U: O`Sullivan PE, Reynolds CS (ed.) *The Lakes Handbook - Limnology and Limnetic Ecology (Volume 1)*. Blackwell Publishing, Oxford, 61-78.
181. Winter TC (1995) *Hydrological Processes and the Water Budget of Lakes*. U: Lerman A, Imboden DM, Gat JR (ed.) *Physics and Chemistry of Lakes*. 2nd Edition Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 36-62.
182. Yoshimura K, Liu Z, Cao J, Yuan D, Inokura D, Noto M (2004) Deep source CO<sub>2</sub> in natural waters and its role in extensive tufa deposition in the Huanglong Ravines, Sichuan, China. *Chemical geology* 205: 141-153.
183. Zwick P (2004) Key to the West Palaearctic genera of stoneflies (Plecoptera) in the larval stage. *Limnologica* 34: 315-348.
184. <https://www.minnpost.com/earth-journal/2013/11/leading-canadian-ecologist-calls-scientists-recover-policy-influence> (preuzeto 16.11.2016.)

## 8. PRILOZI

Prilog 1. Brzina strujanja u  $\text{cm s}^{-1}$  po mjesecima i mikrostaništima (za oznake mikrostaništa vidi tablicu 2., poglavlje 3.)

Mikrostaništa	Mjeseci											
	siječanj	veljača	ožujak	travanj	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan	listopad	studeni	prosinac
A	15,4	14,5	10,2	11,4	17,5	8,6	7,0	15,6	17,6	6,9	8,9	9,2
B	20,2	15,0	9,6	13,8	13,8	10,0	2,6	5,1	3,5	5,6	4,4	5,1
C	17,7	16,4	4,5	7,2	1,3	3,4	0,5	0,5	1,7	2,2	5,6	15,9
D	15,3	1,9	12,3	3,7	4,8	1,4	0,7	0,2	0,0	3,6	2,5	4,1
E	13,1	1,8	3,0	9,3	15,3	10,4	1,6	0,8	0,3	2,1	10,9	4,9
F	16,6	17,1	12,4	17,8	14,6	15,7	0,4	1,5	0,3	0,4	1,8	2,1
G	20,5	16,3	30,4	24,2	30,5	15,8	26,7	15,9	46,7	13,9	23,9	3,9
H	16,8	11,3	7,6	21,1	20,0	11,7	4,1	3,0	1,3	10,9	4,1	2,9
I	11,6	9,2	21,6	13,2	11,7	6,5	5,6	2,1	1,0	2,8	1,4	1,7
J	12,9	7,8	32,6	16,4	28,2	25,7	12,7	17,6	13,0	1,3	2,2	5,9
K	12,3	13,9	6,5	21,2	5,9	6,7	5,8	2,4	0,5	3,6	1,1	5,3
L	13,3	3,4	8,5	20,4	3,6	9,1	1,3	1,8	3,0	5,3	5,8	1,0

Prilog 2. Vrijednosti fizikalno-kemijskih pokazatelja po danima uzorkovanja. TN označava ukupni dušik (eng. *Total Nitrogen*), a TP označava ukupni fosfor (eng. *Total Phosphorus*)

Mikrolokacija	Dan uzorkovanja	Temperatura/ °C	Koncentracija kisika/ mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	Vodljivost / μS cm <sup>-1</sup>	pH	Ukupna tvrdoća/ mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	Nitrati/ mg N L <sup>-1</sup>	Ortofosfati/ mg P L <sup>-1</sup>	TN/ mg TN L <sup>-1</sup>	TP/ mg PO <sub>4</sub> -P L <sup>-1</sup>
NB-sedra	03.02.	3,2	12,36	370	8,41	238,59	0,69	0,000	1,000	0,200
	17.03.	3,9	13,15	370	8,46	236,81	0,75	0,003	0,100	0,080
	21.04.	9,3	11,34	359	8,43	233,72	0,72	0,016	1,300	0,230
	14.05.	16,0	9,53	344	8,36					
	02.06.	15,4	11,32	347	8,39	223,26	0,61	0,048	0,600	0,070
	28.07.	22,9	9,54	318	8,23	209,26	0,55	0,005	0,723	0,001
	20.08.	22,3	9,45	321	8,27					
	09.09.	19,2	8,91	317	8,18	219,53	0,51	0,030	0,754	0,002
	6.10.	15,5	9,64	331	8,26					
	29.10.	11,3	10,62	350	8,32	212,42	0,45	0,004	0,815	0,004
	17.11.	9,8	11,26	354	8,34	237,62	0,59	0,015	0,497	0,002
	10.12.	6,2	11,48	359	8,35					
NB-makrovegetacija	03.02.	3,2	12,69	369	8,44	235,22	0,70	0,000	1,200	0,220
	17.03.	3,9	12,93	370	8,45	237,60	0,75	0,004	0,900	0,080
	21.04.	9,1	10,65	357	8,39	234,71	0,68	0,004	1,300	0,210
	14.05.	16,0	9,41	345	8,39					
	02.06.	15,6	11,11	348	8,40	221,88	0,57	0,061	1,200	0,130
	28.07.	22,9	10,02	318	8,20	201,35	0,54	0,012	0,608	0,001
	20.08.	21,6	9,19	325	8,23					
	09.09.	19,1	9,00	317	8,16	208,67	0,41	0,011	0,680	0,000
	6.10.	15,5	9,83	331	8,25					
	29.10.	11,3	10,90	347	8,32	214,00	0,46	0,004	0,549	0,003
	17.11.	9,8	10,92	355	8,36	238,44	0,60	0,005	0,679	0,014
	10.12.	6,3	11,78	359	8,30					

<b>Mikrolokacija</b>	<b>Dan uzorkovanja</b>	<b>Temperatura/ °C</b>	<b>Koncentracija kisika/ mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup></b>	<b>Vodljivost / μS cm<sup>-1</sup></b>	<b>pH</b>	<b>Ukupna tvrdoća/ mg CaCO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup></b>	<b>Nitrati/ mg N L<sup>-1</sup></b>	<b>Ortofosfati/ mg P L<sup>-1</sup></b>	<b>TN/ mg TN L<sup>-1</sup></b>	<b>TP/ mg PO<sub>4</sub>-P L<sup>-1</sup></b>
<b>GJ-sedra</b>	03.02.	3,1	12,37	374	8,36	236,21	0,75	0,002	0,900	0,180
	17.03.	4,3	12,50	367	8,41	234,43	0,73	0,007	1,700	0,080
	21.04.	8,9	11,24	360	8,38	226,42	0,72	0,005	0,600	0,180
	14.05.	15,2	9,96	353	8,31					
	02.06.	14,5	11,77	352	8,27	230,56	0,58	0,014	3,700	0,100
	28.07.	20,6	9,82	332	8,11	216,77	0,48	0,010	1,660	0,007
	20.08.	20,1	9,04	336	8,13					
	09.09.	17,2	9,68	326	8,15	213,61	0,39	0,036	0,600	0,001
	6.10.	14,2	9,82	343	8,19					
	29.10.	10,1	10,91	357	8,23	222,89	0,49	0,002	0,933	0,000
	17.11.	9,5	10,79	356	8,19	238,44	0,65	0,001	0,804	0,003
	10.12.	5,3	11,70	363	8,13					
<b>GJ-makrovegetacija</b>	03.02.	3,1	12,28	374	8,40	235,03	0,72	0,004	0,700	0,150
	17.03.	4,3	12,48	367	8,41	234,23	0,73	0,009	0,600	0,090
	21.04.	8,9	10,83	360	8,36	231,55	0,72	0,006	1,200	0,200
	14.05.	15,2	9,78	353	8,30					
	02.06.	14,5	11,32	351	8,24	222,67	0,60	0,017	0,900	0,080
	28.07.	20,6	10,18	332	8,14	213,21	0,48	0,006	0,560	0,008
	20.08.	19,2	8,89	337	8,11					
	09.09.	17,2	9,29	326	8,17	212,82	0,38	0,015	0,584	0,000
	6.10.	14,2	9,69	343	8,16	223,88	0,51	0,007	0,673	0,002
	29.10.	10,1	10,73	357	8,23					
	17.11.	9,6	10,79	357	8,20	235,57	0,65	0,011	0,673	0,006
	10.12.	5,3	11,52	363	8,12					

Prilog 3. Ukupan broj jedinki (kumulativno za 4 replikata) makrozoobentosa po tretmanima, godišnjim dobima i mikrolokacijama. Godišnja doba označena: Z-zima, P-proljeće, Lj-ljeto, J-jesen. Mikrolokacije: NB-s i GJ-s (dio sedrene barijere bez makrovegetacije) te NB-m i GJ-m (dio sedrene barijere s makrovegetacijom)

Godišnje doba		Z	P	Lj	J	Z	P	Lj	J	Z	P	Lj	J	Z	P	Lj	J	Z	P	Lj	J	Ukupno po mikrolokaciji																
		0				1				N				P				N+P				NB-s	NB-m	GJ-s	GJ-m													
Svojta	Tretman																																					
<b>Turbellaria</b>																																						
Turbellaria non det.																							2															
<b>Gastropoda</b>																																						
<i>Bithynia tentaculata</i> (Linnaeus, 1758)																							1		1													
<i>Holandriana holandrii</i> (C. Pfeiffer, 1828)																								1														
<b>Oligochaeta</b>																																						
Oligochaeta non det.		11	39	32	32	9	68	32	39	1	30	62	69	2	67	129	108	4	83	62	57	<b>45</b>	<b>63</b>	<b>524</b>	<b>304</b>													
<b>Hydrachnidia</b>																																						
Hydrachnidia non det.			2	1	1		1	3					1		2	5			3	4		<b>10</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>5</b>													
<b>Ostracoda</b>																																						
Ostracoda non det.																							1															
<b>Cladocera</b>																																						
<i>Alona</i> sp.			1	16	13		1	31	49		1	38	21		1	15	6			13	4	<b>50</b>	<b>83</b>	<b>22</b>	<b>45</b>													
<b>Copepoda</b>																																						
Copepoda non det.																								1	1	1		1	1	2				10			10	
<b>Ephemeroptera</b>																																						
Baetidae juv.																							2	5														
<i>Baetis alpinus</i> (Pictet, 1843)																							1															
<i>Baetis</i> sp.																							1															
<i>Centroptilum luteolum</i> (Muller, 1776)																							3	22	6													
<i>Centroptilum</i> sp.																									5													
<i>Ephemera danica</i> Muller, 1764																							1															

Godišnje doba		Z	P	Lj	J	Z	P	Lj	J	Z	P	Lj	J	Z	P	Lj	J	Z	P	Lj	J	Ukupno po mikrolokaciji							
		0				1				N				P				N+P				NB-s	NB-m	GJ-s	GJ-m				
Svojta	Tretman																												
Ephemeridae juv.						2	1																			1	2		
<i>Ephemerella</i> sp.					1		5			1	7				7						5	1	1	19	5				
Ephemeroptera non det.		6				16	2	2		12		3		8	2	1			7	4	1	25	15	12	12				
<i>Habroleptoides</i> sp.											4													4					
Leptophlebiidae juv.															1										1				
<i>Paraleptophlebia</i> sp.				3	1		5	1			7	2			8	5	1			9	2	3	3	28	10				
<b>Plecoptera</b>																													
<i>Amphinemura</i> sp.												1													1				
<i>Isoperla</i> sp.		1	1		1		1	5		1	2	2	2		2	1	4	2	5		4	12	1	9	12				
<i>Leuctra</i> sp.				1								1								2	1	4	1						
Nemouridae juv.							2												1						3				
<i>Nemurella</i> sp.				1	8				18				11				44				71	80	16	4	53				
<i>Perlodes</i> sp.										1						1				1		2	1						
Perlodidae juv.		4				1	3	3	2	2	6				8	3	1	1	1		2	12	7	6	12				
Perloidea juv.		1						3				1			1	1			1				1	5	3				
Plecoptera non det.		22	4	8			35	4	5		25		28		14	5	24	1	35	6	36	67	21	48	116				
<i>Protonemura</i> sp.				1		1								2		5		1		2		1		11					
<b>Odonata</b>																													
Corduliidae ili Libellulidae								2								3				1			2	2	2				
<b>Coleoptera</b>																													
Coleoptera non det.																				1					1				
Coleoptera pupae														1								1							
Dryopidae					1																			1					
Dryopidae imago									2										1				1	1	1				
Elmidae		3	5	1		2	15			5	16			10	12	3		3	17			6	16	67	3				
Elmidae imago																			1						1				

																				Ukupno po mikrolokaciji					
Godišnje doba		Z	P	Lj	J	Z	P	Lj	J	Z	P	Lj	J	Z	P	Lj	J	Z	P	Lj	J				
Svojt	Tretman	0				1				N				P				N+P				NB-s	NB-m	GJ-s	GJ-m
<i>Elodes</i> sp.		2								1				8 2				1 1				13			2
<b>Trichoptera</b>																									
<i>Agraylea multipunctata</i> Curtis, 1834														1											1
<i>Apatania</i> sp.																		1						1	
<i>Athripsodes</i> sp.										1								2				1	2		
Beraeidae		2								3								4					9		
Ecnomidae juv.						2												2				4			
<i>Hydropsyche angustipennis</i> (Curtis, 1834)		3	1			1				2				2				1			1	6	1	4	
<i>Hydropsyche incognita</i> T Pitsch, 1993										1															1
<i>Hydropsyche instabilis</i> (Curtis, 1834)						1	3				1				2				2					9	
<i>Hydropsyche</i> sp.		3												1				5				3			11
Hydropsychidae juv.														1								1			
<i>Hydroptila occulta</i> (Eaton, 1873)		1				1				1				1									1	2	
<i>Hydroptila</i> sp.		14				17				12				17				18				69			
Hydroptilidae juv.		1				1				1				1				2				2	1	1	2
Hydroptilidae pupae														2								2			
Limnephilidae non det.						1																			1
<i>Limnephilus</i> sp.										1													1		
<i>Orthotrichia</i> sp.						1				4				2				1				2		8	3
<i>Oxyethira flavicornis</i> (F.J. Pictet, 1834)						1												1				3		5	3
Philopotamidae juv.		1				1				1				1	3					2	3	1	3	1	
<i>Philopotamus</i> sp.										1												1			2
<i>Philopotamus variegatus</i> (Scopoli, 1763)						1																1	1		



Godišnje doba		Z	P	Lj	J	Z	P	Lj	J	Z	P	Lj	J	Z	P	Lj	J	Z	P	Lj	J	Ukupno po mikrolokaciji																	
		0				1				N				P				N+P				NB-s	NB-m	GJ-s	GJ-m														
Svojta	Tretman																																						
<i>Plectrocnemia conspersa</i> (Curtis, 1834)																						1																	
Polycentropodidae juv.																						1	1	1															
<i>Polycentropus flavomaculatus</i> (Pictet, 1834)																						1																	
<i>Polycentropus</i> sp.																						1		1	1														
<i>Rhyacophila</i> sp.																							1		2														
<i>Sericostoma</i> sp.																								5	9														
<i>Stactobia</i> sp.		4	9	14	11	17	28	7	5	26	12	5	12	11	4	20	102																						
Trichoptera non det.																						1																	
Trichoptera pupae																						1																	
<i>Wormaldia occipitalis</i> (Pictet, 1834)		2																					1	1	1														
<i>Wormaldia</i> sp.		1																					1	2	1	2													
<b>Diptera</b>																																							
Athericidae																						1	1		1														
Ceratopogonidae		1																					6		1														
Chironimidae pupae																						1																	
Chironomidae		11	68	31	10	24	133	54	12	16	89	47	20	46	147	46	26	42	248	46	21	196	82	652	207														
Chironomidae pupae																						1	2		4														
Chironominae		2																					2		3														
Chironomini		3	5	27	4	9	6	35	3	20	5	49	3	16	16	67	5	20	11	49	43	21	94	195															
Diptera pupae		4	1																					8		11	6	31	2	25	2	3	4	26	57				
Empididae		1	19	1																					12	3	1	26	1	1	19	3	1	36	3	16	13	15	83
Limoniidae																							1																
<i>Simulium</i> sp.		3	35	2	6	29	39	2	1	21	32	2	8	11	13	2	3	17	20	7	3	127	4		125														
Tanypodinae		4	41	34	5	12	49	32	10	6	41	35	4	10	68	58	12	12	82	31	6	108	99	179	156														

																				Ukupno po mikrolokaciji					
Godišnje doba		Z	P	Lj	J	Z	P	Lj	J	Z	P	Lj	J	Z	P	Lj	J	Z	P	Lj	J				
Svojta	Tretman	0				1				N				P				N+P				NB-s	NB-m	GJ-s	GJ-m
Tanytarsini		5	116	43	23	8		66	21	4	125	49	29	8	229	91	23	12	260	56	15	186	155	451	596
<b>Ukupno</b>		<b>38</b>	<b>375</b>	<b>208</b>	<b>166</b>	<b>91</b>	<b>592</b>	<b>365</b>	<b>248</b>	<b>61</b>	<b>436</b>	<b>354</b>	<b>295</b>	<b>90</b>	<b>672</b>	<b>482</b>	<b>362</b>	<b>108</b>	<b>840</b>	<b>379</b>	<b>320</b>	<b>1252</b>	<b>726</b>	<b>2365</b>	<b>2139</b>

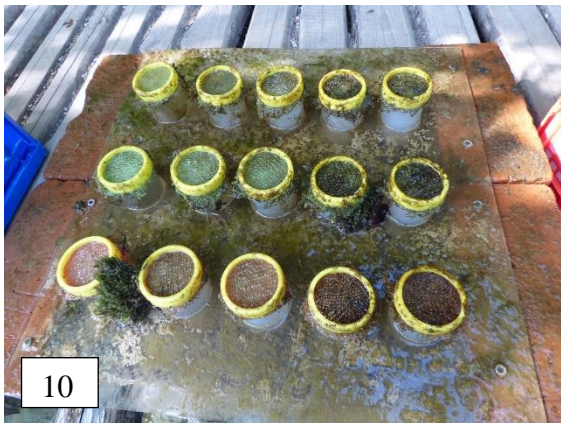
## Prilog 4. Fotodokumentacija



Slike od 1.-5.:

1. Postavljanje ploča na lokaciji Novakovića brod, 03.02.2015. (zima)
2. Pripremljene ploče na lokaciji Gradinsko jezero, 03.02.2015. (zima)
3. Ploče postavljene u vodu na lokaciji Gradinsko jezero, 03.02.2015. (zima)
4. Ploča s mikrostaništa J (Gradinsko jezero) nakon podizanja, 17.03.2015. (zima)
5. Postavljanje ploča na lokaciji Novakovića brod, 21.04.2015. (proljeće)





Slike od 6.-10.:

6. Podizanje ploča na lokaciji Gradinsko jezero, 02.06.2015. ( proljeće)
7. Podizanje ploča na lokaciji Novakovića brod, 02.06.2015. ( proljeće)
8. Ploče postavljane u vodu na lokaciji Gradinsko jezero, 28.07.2015. (ljetno)
9. Prije podizanja ploča na lokaciji Novakovića brod, 09.09.2015. (ljetno)
10. Ploča s mikrostaništa G (Gradinsko jezero), 09.09.2015. (ljetno)



Slike od 11.-13.:

11. Ploče postavljene u vodu na lokaciji Gradinsko jezero, 06.10.2015. (jesen)

12. Ploča s mikrostaništa A (Novakovića brod), 17.11.2015. (jesen)

13. Neizmijerna pomoć u cjelokupnom terenskom istraživanju, kolega Petar Hodak, 17.11.2015. (jesen)



## 9. ŽIVOTOPIS

Maja Vurnek rođena je u Zagrebu 31. siječnja 1980. godine gdje nakon završetka osnovne upisuje srednju školu (IV. gimnaziju) 1994. godine. Po završetku srednje škole, 1998. godine upisuje Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilište u Zagrebu, smjer diplomirani inženjer biologije – ekologija. Fakultet završava 2004. godine nakon uspješno obranjenog diplomskog rada pod naslovom „Inhibitorski učinak kvercetina na virus mozaika krastavca“ pod mentorstvom prof. dr. sc. Mladena Krajačića.

Zapošljava se iste godine u privatnoj tvrtki „Ekostandard“ u Zagrebu na poslu Voditelja službe, a 2006. godine mijenja zanimanje i postaje stalni zaposlenik Javne ustanove Nacionalni park Plitvička jezera. Od te godine pa do danas zaposlena je kao stručna suradnica biolog/ekolog u Odsjeku za ekologiju voda.

Uz primarno obavljanje poslova stručnog suradnika kao što su stručna vođenja, edukacije, sudjelovanje u izradi planova upravljanja i slično, sustavno i kontinuirano radi na praćenju stanja kakvoće voda u laboratoriju ZSC-a dr. Ivo Pevalek što i određuje daljnji tijek usavršavanja i usmjeravanja u područje slatkovodne hidrobiologije.

Sveučilišni specijalistički studij ekoinženjerstva pri Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, završava 2013. godine uspješnom obranom završnog rada pod naslovom „Brojnost bakterija indikatora fekalnog onečišćenja u izvorišnom području Nacionalnog parka Plitvička jezera“ pod mentorstvom prof. dr. sc. Felicite Briški.

Poslijediplomski doktorski studij biologije upisuje uz financiranje Nacionalnog parka Plitvička jezera 2012. godine, a tema izrade doktorske disertacije pod naslovom „Utjecaj eksperimentalne eutrofikacije na makrozoobentos u sedrotvornom sustavu Plitvičkih jezera“ prihvaćena je od strane Senata Sveučilišta u Zagrebu 2014. godine.

Tijekom svog profesionalnog razvoja, Maja Vurnek bila je koautor dva (2) znanstvena rada u CC časopisima, jednog (1) znanstvenog rada u drugim časopisima te jedanaest (11) stručnih i znanstvenih radova u raznim zbornicima s domaćom i međunarodnom recenzijom.