

UNIVERZITET U BEOGRADU

BIOLOŠKI FAKULTET

Ivana S. Trbojević

**ANALIZA PERIFITONA SA VEŠTAČKIH
PODLOGA IZ SAVSKOG JEZERA I
JEZERA VRUTCI**

doktorska disertacija

Beograd, 2018

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF BIOLOGY

Ivana S. Trbojević

**ANALYSIS OF PERIPHYTON
DEVELOPED ON ARTIFICIAL
SUBSTRATES IN THE SAVA LAKE AND
THE VRUTCI LAKE**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2018

Mentor:

dr Gordana Subakov Simić, vanredni profesor,

Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet

Članovi komisije:

dr Jelena Krizmanić, docent,

Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet

dr Tanja Žuna Pfeiffer, docent,

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za
biologiju, Republika Hrvatska

Datum odbrane: _____

How many roads must a man walk down

Before you call him a man?

...

The answer, my friend, is blowin' in the wind

The answer is blowin' in the wind...

Bob Dylan, 1962.

Gordana Subakov Simić,

Vaša plemenita i srdačna ruka me je izvela ovim putem, nauke i života. Vi ste moj učitelj. Hvala Vam.

Jelena Krizmanić, Tanja Žuna Pfeiffer, Milica Petrović Đurić, Milica Ljaljević Grbić, Aneta Sabovljević, Snežana Zdravković-Korać, Suzana Erić, Zorana Naunović, Prvoslav Marjanović,

hvala vam na smernicama, podršci, prijateljstvu i svemu što ste me naučili. Ugledala sam se na sve vas.

Dragana Predojević, Slađana Popović, Ana Blagojević, Jelena Jovanović,

hvala vam drage Savete, ne bi uspelo da nije bilo vas.

Dušan Kostić, Miloš Stupar, Nikola Unković, Željko Savković, Olga Jakovljević, Danijela Vidaković, Aleksandar Knežević, Jasmina Čilerdžić,

hvala vam kolege i prijatelji, svi ste mi na sebi svojstven način pomogli da pređem ovaj put, divno je bilo. Idemo dalje.

Posvećujem mojim roditeljima, sestri i Vladi,

vi ste moje uporište i utočište. Volim vas.

Ivana

Analiza perifitona sa veštačkih podloga iz Savskog jezera i jezera Vrutci

Sažetak

Značaj perifitona ogleda se u velikom doprinosu primarnoj produkciji, protoku energije i kruženju nutrijenata u vodenim ekosistemima. U Srbiji su istraživanja perifitona u jezerima malobrojna, a veštačke podloge za razvoj perifitona do sada nisu bile upotrebljavane u metodologiji ekoloških studija ove zajednice.

Cilj studije na Savskom jezeru (leto 2014. godine) je bio procena uticaja različitih tipova veštačkih podloga (staklo, keramika, vrba i tisa) i dubine inkubacije na razvoj perifitona i njegovu potencijalnu primenu u biomonitoringu. Deo istraživanja koji je sproveden na jezeru Vrutci (leto 2015. godine) imao je za cilj ispitivanje uticaja cvetanja cijanobakterije *Planktothrix rubescens* na perifiton. U uzorcima perifitona mereni su netaksonomski, kao i kvalitativni i kvantitativni taksonomski parametri.

Rezultati su pokazali da je dubina inkubacije na 50 cm od površine vode, kao i staklena veštačka podloga najbolji izbor kod potencijalnog korišćenja netaksonomskih karakteristika perifitona u biomonitoringu. Struktura celokupne, kao i zajednice silikatnih algi, istakla je prioriternu upotrebu inertnih veštačkih podloga (stakla i keramike) u biomonitoringu.

Taloženje kalcita je prvi put detektovano kao posledica metalimnionskog cvetanja *P. rubescens*. Prisustvo ove cijanobakterije negativno se odrazilo na sve merene parametre perifitona. Fenomen zajednice silikatnih algi jezera Vrutci jeste veliki diverzitet i prisustvo 19 taksona koji se nalaze na Crvenoj listi slikatnih algi Nemačke, među kojima izdvajamo *Achnanthydium caledonicum*, koji je dominirao u većini uzoraka i *Aneumastus stroesei*, koji je prvi zabeležni predstavnik ovog roda u Srbiji. Naši rezultati potencijalno ukazuju i na viši stepen tolerancije silikatnih algi na prisustvo *P. rubescens*.

Ključne reči: perifiton, netaksonomski parametri, cijanobakterije i alge, veštačke podloge, dubina inkubacije, cvetanje cijanobakterije *Planktothrix rubescens*

Naučna oblast: Biologija

Uža naučna oblast: Algologija i mikologija

UDK broj: 574.57/.58:581.52:[582.26+582.232]627.81(497.11)(043.3)

Analysis of periphyton developed on artificial substrates in the Sava Lake and the Vrutci Lake

Abstract

The significance of periphyton in freshwater ecosystems is fundamentally reflected in processes of primary production, nutrient cycling and energy flow. In Serbia, periphyton surveys in lentic ecosystems are scarce, and artificial substrates as methodology for ecological studies of this complex community have not been applied yet.

The Sava Lake part of the study (summer 2014) aimed to determine effects of substrate types (glass, ceramic, willow and yew) and incubation depths on periphyton development and its potential application in biomonitoring studies. Part of research that was conducted at the Vrutci Lake (summer 2015) aimed to investigate effects of *Planktothrix rubescens* bloom on periphyton. In periphyton samples, non taxonomic and both qualitative and quantitative taxonomic parameters were measured.

Our results suggest that when non taxonomic parameters employment in biomonitoring purposes is assumed, periphyton should be developed on glass substrate incubated in water layer up to 50 cm. Cyanobacteria and algae community structure also pronounced preferable use of inert types of artificial substrates (glass and ceramic) in biomonitoring studies.

Our results represent the first report of calcite precipitation induced by *P. rubescens*. Presence of this cyanobacterium negatively affected all measured periphyton parameters. The other phenomenon in the Vrutci Lake was diverse diatom community in periphyton and 19 diatom taxa listed in German Red List of diatoms. Among Red List taxa, *Achnanthydium caledonicum*, that dominated the most of samples and *Aneumastus stroesei*, that is the first representative of entire genus *Aneumastus* in Serbia are accentuated. Our results suggest the potentially higher tolerance level of diatoms to the *P. rubescens* bloom.

Key words: periphyton, non taxonomic parameters, cyanobacteria and algae, artificial substrates, incubation depth, *Planktothrix rubescens* bloom

Scientific field: Biology

Scientific subfield: Algology and mycology

UDK number: 574.57/.58:581.52:[582.26+582.232]627.81(497.11)(043.3)

SADRŽAJ

I UVOD

1	Perifiton - pojam i značaj	1
1.1	Pojam	1
1.2	Značaj.....	2
2	Struktura perifitona	4
2.1	Morfološka struktura.....	4
2.2	Biohemijska i trofička struktura.....	4
2.3	Taksonomska struktura	5
2.4	Ekološka i morfološka funkcionalna klasifikacija	7
3	Kolonizacija supstrata i sukcesija zajednice	10
3.1	Kratkoročni i dugoročni model rasta biomase	12
3.2	Konceptualni model matrice staništa	14
4	Perifiton u stajaćim slatkovodnim ekosistemima.....	17
4.1	Nutrijenti	18
4.2	Svetlost i temperatura	20
4.3	Ispaša - <i>Grazing</i>	22
4.4	Podloga	23
4.4.1	Veštačke podloge.....	24
4.5	Cijanobakterijska cvetanja	27

II CILJEVI RADA

1	Predmet i ciljevi doktorske disertacije	29
---	---	----

III MATERIJAL I METODE

1	Opis lokaliteta	31
1.1	Savsko jezero	31
1.2	Jezero Vrutci	32
2	Izrada plutajućeg nosača veštačkih podloga, odabir lokaliteta i eksperimentalni dizajn	33
3	Uzorkovanje vode i perifitona - terenski protokol	37
4	Fizička i hemijska analiza vode - laboratorijski protokol	40
4.1	Karlsonov indeks trofičnosti	40

5	Priprema uzoraka perifitona za taksonomske i netaksonomske analize - laboratorijski protokol	43
6	Analiza netaksonomskih parametara perifitona	45
6.1	Hlorofil <i>a</i>	45
6.1.1	Stopa rasta Chl <i>a</i>	48
6.2	Suva masa i žarena masa.....	49
6.3	Autotrofni indeks i Lakatoš indeks	52
6.4	Analiza kristala kalcita.....	53
7	Analiza taksonomskih parametara perifitona	54
7.1	Kvalitativna i kvantitativna analiza kompletne zajednice cijanobakterija i algi u uzorcima perifitona.....	54
7.1.1	Kvalitativna analiza perifitona.....	54
7.1.2	Kvantitativna analiza perifitona.....	55
7.1.3	Izračunavanje biozapremine i biomase perifitona	57
7.1.4	Ekološka i morfološka funkcionalna klasifikacija - ekološke grupe i životne forme.....	58
7.1.5	Izračunavanje Šenonovog indeksa diverziteta i Pielou indeksa ujednačenosti (ekvitabilnosti).....	60
7.2	Kvalitativna i kvantitativna analiza silikatnih algi u uzorcima perifitona	61
7.2.1	Priprema uzoraka za izradu trajnih preparata silikatnih algi	61
7.2.2	Izrada trajnih preparata silikatnih algi	63
7.2.3	Kvalitativna i kvantitativna analiza silikatnih algi	65
7.2.4	Dijatomni indeksi	66
7.2.5	Skening elektronska mikroskopija silikatnih algi.....	68
8	Statistička obrada podataka	70

IV REZULTATI

1	Fizički i hemijski parametri vode i utvrđivanje statusa trofičnosti Savskog jezera i jezera Vrutci na osnovu Karslonovog indeksa trofičnosti.....	72
1.1	Savsko jezero	72
1.2	Jezero Vrutci	76
2	Netaksonomski parametri perifitonske zajednice	80
2.1	Savsko jezero	80

2.1.1	Chl <i>a</i> , AFDM i DM	80
2.1.2	Uticaj dubine inkubacije i tipa podloge na dinamiku Chl <i>a</i>	82
2.1.3	Stopa rasta Chl <i>a</i>	85
2.1.4	Autotrofni indeks.....	90
2.1.5	Lakatoš indeks	94
2.2	Jezero Vrutci	95
2.2.1	Uporedna dinamika Chl <i>a</i> , AFDM i DM u kontinuiranoj i mesečnoj seriji uzoraka	95
2.2.2	Analiza merenih netaksonomskih parametara perifitona i faktora sredine u jezeru Vrutci	99
2.2.3	Autotrofni indeks.....	101
2.2.4	Lakatoš indeks	102
3	Taksonomski sastav cijanobakterija i algi perifitonske zajednice	104
3.1	Savsko jezero	104
3.1.1	Kvalitativni sastav celokupne zajednice cijanobakterija i algi u perifitonu	104
3.1.2	Kvantitativna analiza celokupne zajednice cijanobakterija i algi u perifitonu	112
3.1.2.1	Kamen - epilitska zajednica.....	113
3.1.2.2	Veštačke podloge.....	116
3.1.2.2.1	Eko-morfološka funkcionalna klasifikacija taksona detektovanih u kvantitativnoj analizi	124
3.1.2.2.2	Šenonov indeks diverziteta i Pielou indeks ujednačenosti.....	128
3.1.3	Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi i diatomni indeksi.....	130
3.1.3.1	Kamen - epilitska zajednica.....	130
3.1.3.2	Veštačke podloge.....	134
3.2	Jezero Vrutci	140
3.2.1	Kvalitativni sastav celokupne zajednice cijanobakterija i algi u perifitonu	140
3.2.2	Kvantitativna analiza celokupne zajednice cijanobakterija i algi u perifitonu	148

3.2.2.1	Eko-morfološka funkcionalna klasifikacija taksona detektovanih u kvantitativnoj analizi	156
3.2.2.2	Šenonov indeks diverziteta i Pielou indeks ujednačenosti	160
3.2.3	Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi i diatomni indeksi	162

V DISKUSIJA

1	Savsko jezero.....	166
1.1	Fizički i hemijski parametri i status trofičnosti Savskog jezera	166
1.2	Netaksonomske karakteristike perifitona.....	168
1.2.1	Stopa rasta Chl <i>a</i> - proces kolonizacije i uticaj ekoloških faktora.....	170
1.2.2	Autotrofni indeks i Lakatoš indeks.....	171
1.3	Taksonomske karakteristike perifitona	173
1.3.1	Kvalitativna analiza celokupne zajednice cijanobakterija i algi.....	173
1.3.2	Kvantitativna analiza celokupne zajednice cijanobakterija i algi.....	177
1.3.2.1	Kamen	177
1.3.2.2	Veštačke podloge	178
1.3.2.2.1	Eko-morfološka funkcionalna klasifikacija taksona detektovanih u kvantitativnoj analizi	180
1.3.2.2.2	Uticaj ekoloških faktora na dinamiku eko-morfoloških grupa u perifitonu	181
1.3.2.2.3	Šenonov indeks diverziteta i Pielou indeks ujednačenosti.....	182
1.3.3	Zajednica silikatnih algi i diatomni indeksi.....	184
2	Jezero Vrutci	189
2.1	Fizički i hemijski parametri i status trofičnosti jezera Vrutci.....	189
2.2	Netaksonomske karakteristike perifitona.....	190
2.3	Taksonomske karakteristike perifitona	193
2.3.1	Kvalitativna analiza celokupne zajednice cijanobakterija i algi.....	193
2.3.2	Kvantitativna analiza celokupne zajednice cijanobakterija i algi.....	198
2.3.2.1	Eko-morfološka funkcionalna klasifikacija taksona detektovanih u kvantitativnoj analizi	200
2.3.2.2	Šenonov indeks diverziteta i Pielou indeks ujednačenosti	202
2.3.3	Zajednica silikatnih algi i diatomni indeksi.....	203

VI ZAKLJUČCI

1	Zaključci.....	207
---	----------------	-----

VII LITERATURA

1	Literatura.....	213
---	-----------------	-----

VIII PRILOZI

1	Prilog 1 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz Savskog jezera.....	240
2	Prilog 2 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi iz jezera Vrutci.....	258
3	Prilog 3 - Mikrografije odabranih predstavnika cijanobakterija i algi iz perifitona Savskog jezera i jezera Vrutci.....	265

BIOGRAFIJA AUTORA

1	Biografija autora.....	276
---	------------------------	-----

1 Perifiton - pojam i značaj

1.1 Pojam

Prema literaturnim podacima, pojam perifiton prvi put se uvodi od strane ruskih hidrobiologa početkom XX veka (1925. godine), i to kao definicija zajednice mikroorganizama, koja raste na površini veštačkih (introdukovanih) objekata potopljenih u vodi (Sladečkova 1962). Termin perifiton brzo je prihvaćen u naučnoj javnosti Evrope i Azije, a njegova se definicija ubrzo proširila na sve vodene organizme koji rastu na bilo kom tipu potopljene podloge (Weitzel 1979). Interesantno je da je ovaj termin, koji prema etimološkom značenju predstavlja one koji „rastu oko biljaka” (pritom se misli na akvatičnu makrofitsku vegetaciju), pretrpeo veliki broj različitih definisanja, gde su neki smatrali da se pojam odnosi samo na autotrofe, a drugi na sve tipove zajednica na potopljenim supstratima izuzev epifitske i epizoične (Weitzel 1979). Alena Sladečkova (1962) je smatrala da je nemački termin „Aufwuchs” koji se odnosi na zajednicu mikroorganizama koji rastu na površini supstrata potopljenih u vodi (u najširem mogućem smislu), ujedno i najprikladniji, a kako nije iznađeno bolje rešenje za prevod ovog termina, termin perifiton je najpribližniji, a time i najprihvatljiviji. Ipak, nisu svi njeni savremenici bili istog stava, pa su se kao sinonimi za „Aufwuchs” na engleskom jeziku često upotrebljavali i termini bentos, bentosna mikroflora ili bentosne alge, što je Sladečkova (1962) kritikovala, jer se svi ovi termini odnose na organizme koji nastanjuju dno vodenih ekosistema, što nije slučaj sa „Aufwuchs”, pa samim tim i terminologija nije adekvatna. Termin perifiton (engleski) ustalio se u naučnoj literaturi na engleskom jeziku XX veka kao sinonim za „Aufwuchs”, i to prvenstveno zahvaljujući naučnoj zajednici u SAD (Weitzel 1979).

U savremenoj limnologiji perifiton podrazumeva kompleksnu zajednicu mikroskopskih vodenih organizama koji žive pričvršćeni na prirodnim i veštačkim podlogama potopljenim u vodi, kao i prateće slobodno živeće forme organizama i detritus (Azim i sar. 2005a). U tom smislu, često se koriste termini euperifiton i pseudoperifiton, pri čemu euperifiton obuhvata organizme koji žive pričvršćeni za

podlogu pomoću različitih struktura i čine nepokretni deo perifitona, dok se pseudoperifitonom smatraju slobodno živeće, mobilne forme organizama koje se na različite načine kreću u ili na perifitonskom obrastu. U savremenoj literaturi, termin biofilm se često koristi kao sinonim za perifiton (Azim i sar. 2005a).

Perifiton je prepoznatljiv u praksi kao zelena ili braon sluzava prevlaka koja se razvija na površinama različitih podloga potopljenih u vodi. U formiranju perifitona učestvuju različite grupe organizama - bakterije, cijanobakterije, alge, gljive i mikrobescičmenjaci. Značajan deo perifitona čini sluz, tj. ekstracelularna polimerna supstanca (EPS) i organski detritus, kao i neorganska komponenta koju čine različite čestice poreklom iz okolne vode. Smatra se da organsku komponentu perifitona, i u smislu zastupljenosti i diverziteta, najvećim delom čine alge (Borduqui i Ferragut 2012). Dakle, možemo reći da perifiton čine organska i neorganska komponenta, pri čemu u okviru organske komponente razlikujemo autotrofnu i heterotrofnu frakciju.

U odnosu na tipove supstrata na kojima se razvija, razlikujemo nekoliko kategorija perifitona, pa se termin epifiton koristi za perifiton koji se razvija na akvatičnim biljkama, epipelon za zajednicu na sedimentu odnosno mulju, epiksilon za perifitonski obrast na drvetu, epiliton na kamenu i epipsamon na peskovitoj podlozi. Značajno je napomenuti da za perifiton razvijen na veštačkim - antropogeno introdukovanim podlogama, u savremenoj literaturi ne postoji univerzalno prihvaćen termin/kategorija, te se uglavnom koristi samo termin perifiton. Antropoperifiton bi mogao biti adekvatan termin, kada je reč o perifitonu razvijenom na veštačkim podlogama.

1.2 Značaj

Perifiton igra važnu ulogu u vodenim ekosistemima. Uz fitoplankton i makrofitsku vegetaciju doprinosi primarnoj produkciji, protoku energije i kruženju nutrijenata u ekosistemu (Azim i sar. 2005a). Perifiton je dobar bioindikator, jer vrlo brzo reaguje na promene u hidrološkom režimu i kvalitetu vode, koji su često posledice antropogenog pritiska (McCormick i Stevenson 1998, Gaiser 2008). Takođe, perifiton reaguje na različite poremećaje ravnotežnog stanja u ekosistemu. Fiksno stanište onemogućava perifitonskim organizmima da izbegnu bilo koji vid narušavanja

stabilnosti ekosistema, za razliku od fitoplanktona, pa perifiton reflektuje pravo stanje na mestu uzorkovanja. S obzirom na brzu reakciju u odnosu na promene ekoloških faktora, perifiton predstavlja precizan otisak stanja ekosistema u datom trenutku (Barbour i sar. 1999). Brza rekolonizacija omogućava brzo nastavljajanje monitoringa, a perifiton se i relativno jednostavno uzorkuje; perifiton je svuda prisutan, što omogućava poređenje među različitim geografskim regionima (Hill i sar. 2000).

Perifiton ima sposobnost apsorpcije nutrijenata, teških metala i različitih toksičnih supstanci iz vode, te na taj način ima značajan pozitivan uticaj na kvalitet vode, što otvara mogućnosti primene perifitona u bioremedijaciji i biomanipulaciji (Jobgen i sar. 2004, Szlauer-Lukaszewska 2007).

Intenzivna istraživanja novijeg datuma, prvenstveno u istočnim i jugoistočnim regionima Evroazije, ukazuju na veliki potencijal perifitona kao suplementa komercijalnoj hrani u organskom gajenju riba u akvakulturama (Azim i sar. 2005b). U ovim istraživanjima ispituju se različiti veštački, pa i otpadni materijali i njihove karakteristike u smislu podloga za razvoj perifitona. Upotreba perifitona razvijenog na veštačkim podlogama u gajenju riba može značajno redukovati troškove gajenja u akvakulturi, kao i doprineti razvoju novog vida reciklaže otpadnih materijala. (Azim i sar. 2005b). Značajno je spomenuti da se različiti tipovi veštačkih podloga koriste za razvijanje perifitona, u svrhe proučavanja ekologije zajednice, biomonitoringa i bioremedijacije. Wu i saradnici (2011) su ustanovili potencijal perifitona u kontroli cijanobakterijskih cvetanja, istraživanja su još uvek u začetku, ali se može naslutiti potencijal upotrebe perifitona kao ekološki nastrojenog rešenja za ponovno uspostavljanje ravnoteže u ekosistemima zahvaćenim cijanobakterijskim cvetanjem.

2 Struktura perifitona

2.1 Morfološka struktura

Perifiton je, kao i fitoplankton, zastupljen u gotovo svim tipovima vodnih tela, od jezera do okeana i u gotovo svim trofičkim uslovima od oligo do eutrofnih (Azim i Asaeda 2005). Kako jedna individua algi može postojati kao slobodno plivajući organizam ili u formi koja je pričvršćena za supstrat, zavisno od faze životnog ciklusa, godišnjeg doba ili tipa staništa, perifiton se može posmatrati i kao modifikovana forma fitoplanktona. Naime, fitoplankton i perifiton imaju vrlo sličnu morfologiju, s tim da predstavnici perifitona imaju dodatne adaptacije koje im omogućavaju da se pričvrste za supstrat. Postoji čitav niz morfoloških adaptacija uz pomoć kojih se alge prilagođavaju različitim tipovima staništa i supstrata. Te morfološke adaptacije razlikuju se kod različitih grupa algi i različiti taksoni imaju specifične mehanizme kojima se prilagođavaju sedentarnom načinu života. U tom smislu, najčešće zastupljene adaptacije su polisaharidne sluzave drške posredstvom kojih se alge pričvršćuju za supstrat, sluzavi omotači, jastučaste grupacije filamenata, kao i razne rizoidalne strukture (Azim i Asaeda 2005). Za nepokretne oblike karakteristično je da se za podlogu pričvršćuju posebno diferenciranim ćelijama, polisaharidnim drškama ili sluzavim/lepljivim omotačima. Pokretni oblici svoju pokretljivost zasnivaju na različitim strategijama, kao što su: prisustvo specifično diferenciranog sistema rafe kod silikatnih algi, prisustvo sluzavih omotača uz pomoć kojih vrše klizeće pokrete (filamentozne cijanobakterije), prisustvo bičeva (Chlorophyta, Chrysophyta, Dinophyta), rizodopodija (Chrysophyta - *Chrysamoeba radians*), raznih pektinskih supstanci u ćelijskom zidu (Chlorophyta - *Spirogyra* sp. i *Closterium* sp.) i slično (Azim i Asaeda 2005).

2.2 Biohemijska i trofička struktura

Perifitonski biofilm zapravo se sastoji od dve osnovne komponente, ćelijske biomase i ekstracelularne polimerne supstance (EPS) u čiji sastav najvećim procentom ulaze različiti tipovi polisaharida i varijabilne količine proteina, lipida, nukleinskih kiselina i drugih heteropolimera (Vermaat 2005). Sastav EPS visoko je varijabilan između različitih zajednica, ali i između vrsta kada se posmatraju u laboratorijskim

uslovima (Vermaat 2005). EPS je zapravo produkt sekrecije ćelija algi i bakterija koji daje strukturu perifitonskom obrastu. Razlikuje se u hemijskom sastavu što određuje njegovu funkcionalnu ulogu (Bellinger i sar. 2010). Organizmi koji luče EPS prvenstveno ga koriste u svrhu adhezije, kohezije i kretanja u biofilmu, ali EPS je i značajan izvor ugljenika za heterotrofnu komponentu perifitona (Bellinger i sar. 2010). Zahvaljujući procesima adsorpcije i absorpcije EPS (i samih ćelija) perifiton ima sposobnost da iz ekosistema uklanja kako nutrijente tako i zagađujuće materije, uključujući i teške metale, što čini ovu zajednicu primenljivom kako u biomonitoringu tako i u bioremedijaciji (Wu i sar. 2014). Utvrđeno je da perifiton ima sposobnost adsorpcije i biodegradacije mikrocistina RR, pa se otvaraju mogućnosti primene perifitona u procesu uklanjanja ovih cijanotoksina iz akumulacija za snabdevanje pijaćom vodom, a na sličan način perifiton se može koristiti i u tretmanu otpadnih voda (Wu i sar. 2010).

Za utvrđivanje trofičke prirode perifitona, tj. da li u perifitonu preovlađuje autotrofna ili heterotrofna komponenta koristi se Autotrofni indeks (AI) i Lakatoš indeks. AI predstavlja odnos između sadržaja organske (bezpepelna suva masa / žarena masa, AFDM) i autotrofne (hlorofil *a*) frakcije u perifitonu. Vrednosti AI od 100 do 200 ukazuju da u zajednici perifitona preovlađuje autotrofna komponenta, vrednosti veće od 400 ukazuju na veći udeo heterotrofne komponente u perifitonu, dok vrednosti od 600 do 1000 i veće nedvosmisleno ukazuju na dominantnost heterotrofne frakcije u perifitonu i potencijalnu organsku opterećenost ekosistema (Collins i Weber 1978). Lakatoš indeks se takođe može uspešno primeniti pri karakterizaciji perifitonske zajednice; ovaj indeks je, za razliku od AI opisni i svrstava perifiton prema suvoj masi, sadržaju pepela i koncentraciji hlorofila *a* u nekoliko kategorija, od visoke do niske suve biomase, od organskog do neogranskog sastava i od auto do heterotrofne prirode (Lakatos 1989).

2.3 Taksonomska struktura

Alge su veoma raznovrsna i kosmopolitska grupa organizama. Smatra se da postoji 26 000 vrsta algi opisanih u okviru 24 klase (Azim i Asaeda 2005), a mnoge od njih razvijaju se u perifitonu bilo da samo deo, ili ceo životni ciklus provode pričvršćene

za supstrat. Taksonomska raznovrsnost perifitona uslovljena je brojnim faktorima kao što su stanište, tip supstrata, intenzitet svetlosti, godišnje doba, dostupnost nutrijenata, kiselost, hidrološki režim i mnogi drugi. U autotrofnom delu zajednice perifitona najčešće dominiraju silikatne alge, dok se kao prateća komponenta javljaju pripadnici zelenih algi i cijanobakterija (Azim i Asaeda 2005). Međutim, nije redak slučaj da u perifitonu dominiraju zelene alge ili cijanobakterije, pogotovo u jezerima i akumulacijama, što se objašnjava činjenicom da je u lentičkim ekosistemima zastupljen stabilan hidrološki režim; naime, pojačano strujanje vode menja strukturu perifitona u smeru od lako pričvršćenih zelenih algi i cijanobakterija ka snažnije pričvršćenim silikatnim algama (Azim i Asaeda 2005). Povećana zastupljenost cijanobakterija i zelenih algi, tj. dominantnost ovih taksona u zajednici perifitona vezuje se i za povišenu temperaturu i pojačano organsko opterećenje vode (DeNicola i Kelly 2014), dok su za zajednice brzih, hladnih i čistih planinskih reka i potoka, pored silikatnih, karakteristične i crvene alge (Azim i Asaeda 2005).

Među samim istraživačima koji se bave perifitonom još uvek postoji nedoumica da li taksonomskim analizama perifitona pristupiti sa stanovišta čitave zajednice, što je složenije i komplikovanije (takođe i metodološki zahtevnije, a sam metodološki pristup nije standardizovan) ili izolovano posmatrati samo silikatne alge, što je generalno zastupljeniji izbor, prvenstveno kada su u pitanju studije biomonitoringa. Opravdanost ovakvog pristupa predmet je diskusije, jer se posmatranjem čitave zajednice algi dobija sveobuhvatnija slika diverziteta i preciznija veza sa biotičkim i abiotičkim sredinskim faktorima, pogotovo u jezerima u kojima je eutrofikacija u porastu i gde pripadnici cijanobakterija i algi preuzimaju dominaciju (DeNicola i Kelly 2014). Ovi autori ostaju pri stavu da je obrada samo zajednice silikatnih algi naspram kompletne zajednice perifitona i u stajaćim ekosistemima sasvim zadovoljavajuća matrica, s obzirom da su rezultati modelovanja odgovora na eutrofikaciju (ukupni fosfor) dobijeni na osnovu obrade uzoraka iz velikog broja jezera pokazali da su rezultati približno isti u oba slučaja. Ipak, naspram dovoljnosti obrade samo silikatnih algi u studijama monitoringa, značajan propust u pogledu sagledavanja diverziteta može biti učinjen zanemarivanjem ostatka zajednice perifitonskih algi. Stancheva i Sheath (2016) sumirali su literaturne podatke i istakli su značaj drugih bentosnih algi, izuzev silikatnih u bioindikaciji kvaliteta vode tekućih vodenih ekosistema. Takođe, studije koje za predmet imaju

ekološki pristup istraživanju perifitona, zahtevaju kompletno sagledavanje zajednice cijanobakterija i algi.

2.4 Ekološka i morfološka funkcionalna klasifikacija

U savremenim istraživanjima ističe se potreba za razvijanjem sistema funkcionalnih grupa na osnovu sličnih morfoloških karakteristika (forme rasta). Ovakve grupe formiraju se na osnovu ekoloških adaptacija perifitonskih algi na izmenjene uslove životne sredine, a postoje indicije da je korelacija ovako oformljenih grupa sa ekološkim faktorima čak i bolja od korelacije istih faktora sa finim taksonomskim nivoima (DeNicola i Kelly 2014).

Sofia Passy (2007) je bila prva koja je silikatne alge svrstala u 3 eko-morfološke funkcionalne grupe: nizak profil, visok profil i pokretne forme, na osnovu morfologije rasta, sposobnosti da izbegnu nepovoljne uslove i potencijala da koriste dostupne resurse, dakle na osnovu kompetitivnih osobina (Tabela 1.). Grupa niskog profila uključuje taksone takoreći „niskog rasta”, odnosno prevashodno sitne oblike koji su površinom jedne valve priljubljeni za podlogu, solitarne, centrične i vrste koje se sporo kreću. Pripadnici ove grupe su kompetitivni u uslovima učestalih poremećaja (hidrodinamičkih) i uglavnom se očekuje da budu pioniri u procesu kolonizacije. Međutim, ograničavajući faktori za njihov razvoj su zasenčavanje i nedostupnost resursa u osnovi višeslojnog trodimenzionalnog biofilma. Grupa visokog profila uključuje taksone „visokog rasta”, dakle krupnije, uspravne, na drškama, kolonijalne penatne (filamentozne, granate, lančane ili tubularne kolonije), ali i kolonijalne centrične silikatne alge. Ova grupa ispoljava kompetitivnu prednost u uslovima visoke koncentracije nutrijenata i niskog stepena hidrodinamičkih poremećaja. Dakle, ovi predstavnici se očekuju u kasnijim stadijumima kolonizacije i prvenstveno su osetljivi na poremećaje, tj. hidrodinamičke turbulencije i na ispašu od strane strugača, jer svojom uspravnom formom mogu da prevaziđu nedostatak nutrijenata u biofilmu. Pokretne forme su ekološka grupa u koju spadaju, kako samo ime kaže, pokretne silikatne alge, indikatori eutrofnih voda i tolerantne na eutrofikaciju. Predstavnici ove grupe očekuju se dakle u staništima gde su nutrijenti u porastu, a zahvaljujući pokretljivosti nisu osetljivi na stepen poremećaja (bilo hidrodinamičkih ili ispaše), kao ni na ograničenu

dostupnost resursa u biofilmu (Passy 2007). Eko-morfološka klasifikacija silikatnih algi koju je predložila Passy (2007), široko je prihvaćena i dopunjavana ili modificirana među istraživačima (Passy i Larson 2011, Rimet i Boushez 2011, Gottschalk i Kahlert 2012, Rimet 2012, Rimet i Boushez 2012, Tapolczai i sar. 2016, Trábert i sar. 2017). Rimet i Boushez (2012), su u odnosu na klasifikaciju koje je predložila Passy (2007) uveli još jednu novu grupu - planktonske forme, u koju su prerasporedili planktonske taksone, koji nemaju ekološke odlike tipičnih predstavnika grupa niskog i visokog profila, gde ih je Passy prvobitno rasporedila.

Tabela 1. Ekološke osobine eko-morfoloških funkcionalnih grupa - nizak profil, visok profil i pokretne forme, prema Passy (2007).

	Hidrodinamički poremećaji	Ispaša	Eutrofizacija
Nizak profil	+	+	-
Visok profil	-	-	+
Pokretne forme	+	+	+

+ otporni, - neotporni

Samo godinu dana pre Sofije Passy, DeNicola i saradnici predložili su sličnu klasifikaciju perifitona na osnovu forme rasta, ali su obuhvatili čitavu zajednicu algi i cijanobakterija i svrstali ih u 8 grupa izdvojivši *Achnantidium minutissimum* kompleks kao jedinstvenu formu i najbrojniji takson (ovaj takson je tipičan predstavnik grupe nizak profil po Passy 2007), zatim nepokretne jednoćelijske prostratne forme silikatnih algi (što bi odgovaralo grupi nizak profil kod Passy 2007), jednoćelijske ili kolonijalne nepokretne, ali uspravne silikatne alge (što bi odgovaralo grupi visok profil kod Passy 2007), pokretne jednoćelijske silikatne alge (što bi odgovaralo grupi pokretne forme kod Passy 2007), zatim jednoćelijske i kolonijalne (priljubljene za supstrat), nepokretne zelene alge i cijanobakterije, filamentozne zelene i na kraju cijanobakterije koje formiraju trihome (DeNicola i sar. 2006). U ovoj studiji pokazano je da se sa

povećanjem produktivnosti (stepena trofičnosti, odnosno koncentracije nutrijenata) u jezerima, u perifitonskoj zajednici povećava udeo filamentoznih cijanobakterija i zelenih algi, pokretnih i silikatnih algi na drškama (uspravne silikatne alge), dok se udeo *A. minutissimum*, jednoćelijskih i kolonijalnih zelenih algi i cijanobakterija duž istog gradijenta smanjuje. Bez obzira na potvrdu da je sastav kompletne perifitonske zajednice, posmatran kroz klasifikaciju perifitona na osnovu forme rasta, sa visokim stepenom značajnosti osjetljiv na promene koncentracije nutrijenata (DeNicola i sar. 2006), ovaj sistem je daleko slabije prihvaćen i primenjivan u savremenim studijama u odnosu na sistem koji je predložila Passy (2007).

3 Kolonizacija supstrata i sukcesija zajednice

Razvoj perifitona na sterilnom - introdukovanom supstratu iniciran je formiranjem prevlake od rastvorenih organskih supstanci, prvenstveno amino-kiselina i mukopolisaharida (Azim i Asaeda 2005). Po formiranju ovakve prevlake, u narednim satima formira se i bakterijska prevlaka na bazi hidrofobnih reakcija; bakterije aktivnim metabolizmom proizvode velike količine sluzi, koja služi kao vezivo za koloidne organske i neorganske partikule, kao i ekstracelularne enzime koji procesuiraju rastvorene organske supstance (Azim i Asaeda 2005). U kojoj mjeri i kako zapravo bakterijska kolonizacija stvara preduslov za vezivanje drugih organizama još uvek nije u potpunosti razjašnjeno, ali je činjenica da se po uspostavljanju zajednice bakterija na supstratu pojavljuju najpre sitne penatne silikatne alge, potom uspravni oblici i silikatne alge na kratkim drškama, pa silikatne alge na dugim drškama, rozetaste i jastučaste strukture, da bi se u stadijumu klimaksa razvili uspravni filamentozni oblici zelenih algi i cijanobakterija (Slika 1). Inicijalnu fazu formiranja perifitonskog biofilma mogu karakterisati i alge iz drugih razdela, npr. neke vrste roda *Merismopedia* (cijanobakterija) ili neki kokoidni ili kolonijalni predstavnici zelenih algi (Sekar i sar. 2004, Vermaat 2005). U kasnijoj fazi razvoja, nastaje bogata trodimenzionalna struktura perifitona, tzv. klimaks zajednice, gde preovladavaju krupni, uspravni filamentozni oblici pretežno zelenih algi (Biggs i sar. 1998).

Proces sukcesije (smene taksona u funkciji vremena) perifitonskih algi zavisi od kompleksnih interakcija između fizičkih i hemijskih karakteristika staništa, alogenih i autogenih faktora, kao i samog sastava zajednice. Među faktorima životne sredine, dostupnost resursa (svetlosti i hranljivih materija), dostupnost staništa, tip podloge, stabilnost hidrološkog režima i sezonska dinamika su izdvojeni kao glavni faktori koji određuju tok procesa kolonizacije i sukcesije vrsta u perifitonu (Szlauer-Łukaszewska 2007, Franča i sar. 2011, dos Santos i Ferragut 2013, Zębek 2014, Dunck i sar. 2015). Možemo reći da je sposobnost perifitonskih algi da uspešno kolonizuju supstrat i istraju u zajednici uslovljena brojnim faktorima, kao što su, između ostalog i adaptivne strategije i konkurentnost. Postoje indicije da se praćenjem puteva sukcesije perifitonskih algi mogu detektovati, čak predvideti značajne promene u životnoj sredini

(dos Santos i Ferragut 2013). Borduqui i Ferragut (2012) istakle su da je i intenzitet cijanobakterijskih cvetanja u hipereutrofnim tropskim akumulacijama značajan faktor koji utiče na sukcesiju perifitonskih algi. Takođe, u savremenim studijama, proučavanje procesa sukcesije algi u perifitonu, posmatrano kroz funkcionalnu klasifikaciju i diverzitet, dalo je povoda da se ovakav koncept detaljnije prouči u različitim geografskim regionima (Passy i Larson 2011).

a – bakterije

b – *Navicula* sp. – prostratna forma, sluzavi omotač

c – *Gomphonema* sp. – na kratkim drškama

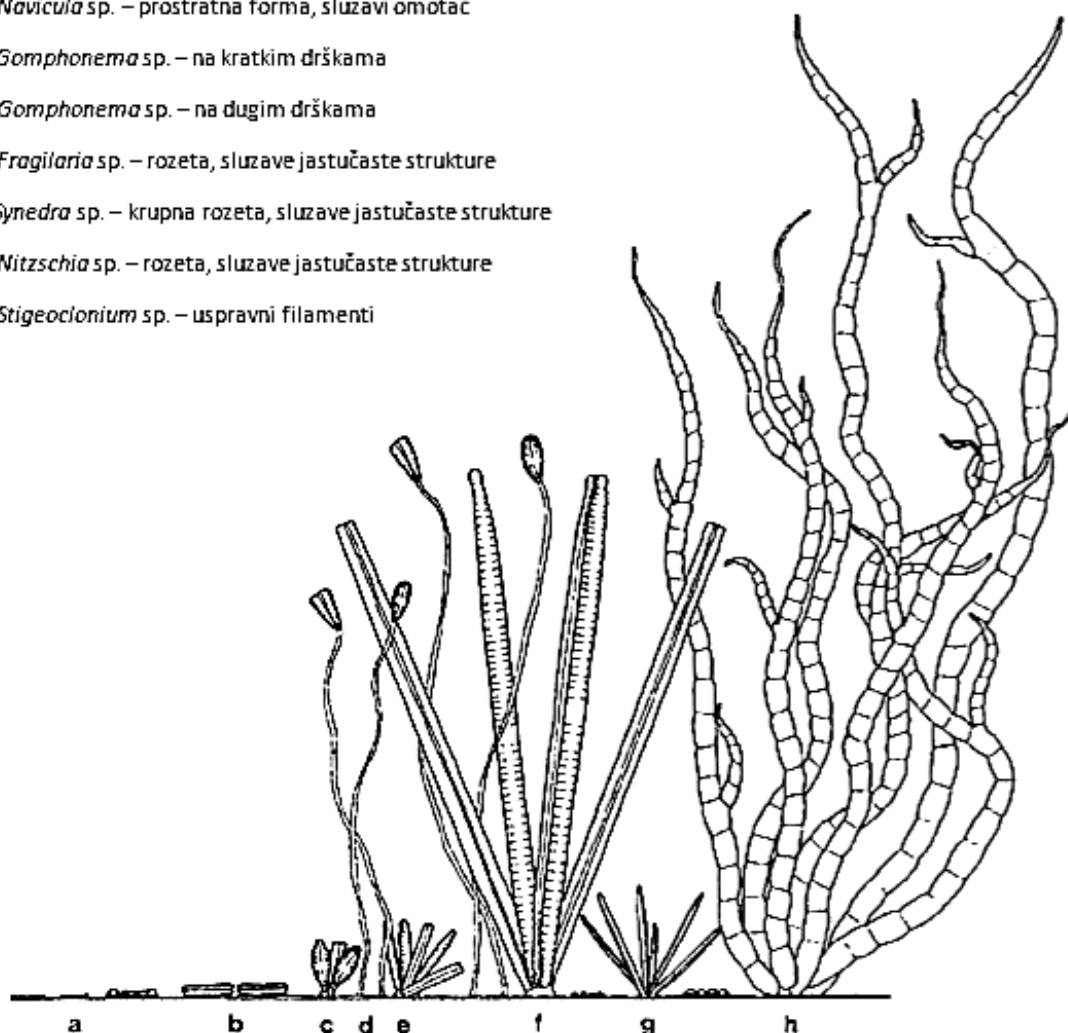
d – *Gomphonema* sp. – na dugim drškama

e – *Fragilaria* sp. – rozeta, sluzave jastučaste strukture

f – *Synedra* sp. – krupna rozeta, sluzave jastučaste strukture

g – *Nitzschia* sp. – rozeta, sluzave jastučaste strukture

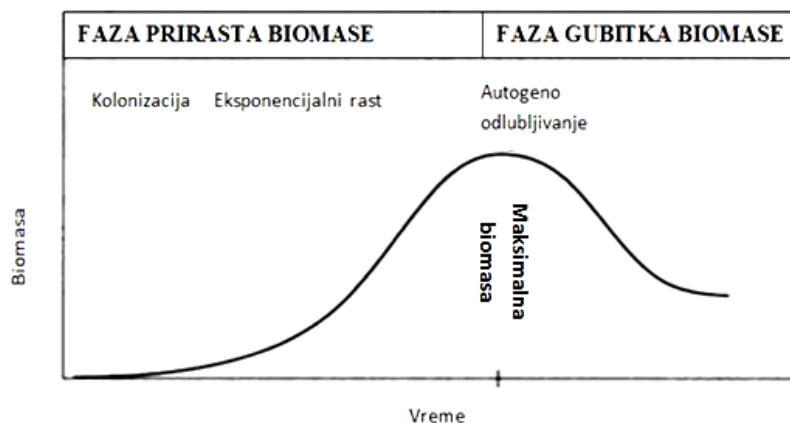
h – *Stigeoclonium* sp. – uspravni filamenti



Slika 1. Proces kolonizacije i sukcesija u perifitonskom obrastu (preuzeto iz Azim i Asaeda 2005).

3.1 Kratkoročni i dugoročni model rasta biomase

Prema Biggs-u (1996) postoji jasan i univerzalan kratkoročni model rasta biomase perifitona (u inicijalnoj fazi kolonizacije supstrata). Ovaj model je razvijen na osnovu rasta biomase perifitona na veštačkim podlogama u potocima (Slika 2).



Slika 2. Idealna kriva rasta biomase perifitona (preuzeto iz Biggs 1996).

Inicijalno, biomasa perifitona eksponencijalno raste i dostiže vrhunac tokom perioda koji se naziva faza prirasta biomase, nakon čega nastupa faza gubitka biomase, period u kome se biomasa smanjuje procesima odumiranja, emigracije, odlubljivanja i ispaše (*grazing*) (Azim i Asaeda 2005). Period potreban da perifiton dostigne vrhunac biomase je varijabilan (može trajati od nekoliko dana do nekoliko meseci) i zavisi od svetlosti, temperature, nutrijenata i pritiska ispaše. Na proces odlubljivanja značajno utiču razni vidovi poremećaja hidrološkog i hidrodinamičkog režima, kao što su talasi, bujične kiše, poplave i slično. Može se napraviti razlika između odlubljivanja uzrokovanog strujanjem, odnosno pokretima vode, od tzv. autogenog odlubljivanja. Autogeno odlubljivanje je specifičan proces koji karakteriše fazu gubitka biomase i dešava se kada alge u blizini samog supstrata odumiru zbog nedostatka svetlosti, kiseonika ili nutrijenata, pa se površinski živi sloj višeslojnog biofilma (trodimenzionalne strukture) prosto odlubljuje. Stepenn autogenog odlubljivanja zavisi i od taksonomske strukture zajednice (Azim i Asaeda 2005). Biofilm u kome dominiraju cijanobakterije opstaje duže i dostiže veću biomasu, dok su u smislu podložnosti

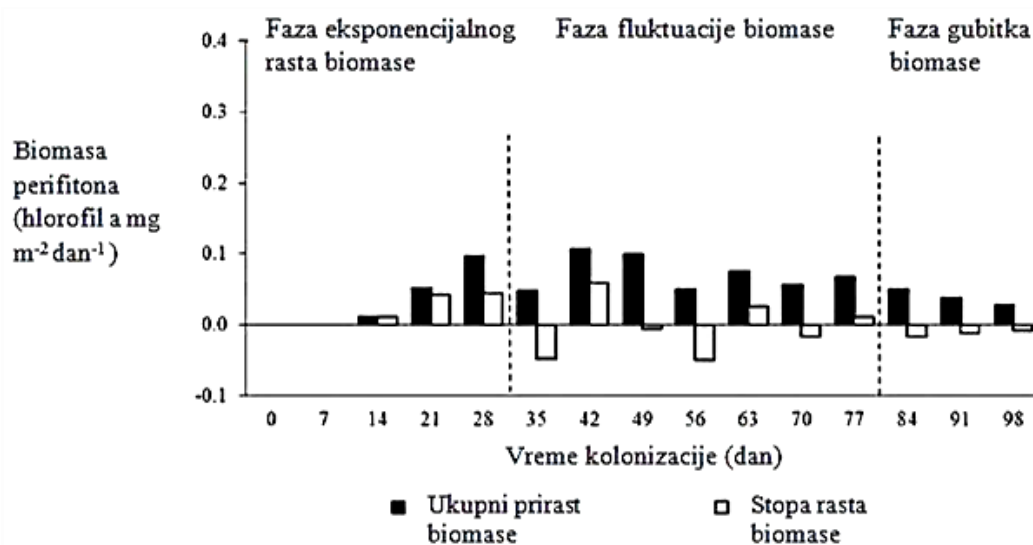
odumiranju donjih slojeva mnogo osjetljiviji obraštaji u kojima dominiraju silikatne alge (Azim i Asaeda 2005). Rekolonizacija je proces koji se odvija nakon odlublivanja i zavisi od preostale biomase i imigracionog kapaciteta organizama iz okolnog sloja vode - planktona (Azim i Asaeda 2005).

Dugoročno posmatrano, postoje tri modela dinamike biomase perifitona (sukcesije) u potocima:

- relativno konstantna, niska biomasa - učestali abiotički (npr. poplavni talas) i biotički (ispaša) pritisci i umerena do niska koncentracija nutrijenata, u taksonomskoj strukturi dominiraju silikatne alge
- ciklusi rasta i odlublivanja - umereno učestali abiotički (npr. poplavni talas) i biotički (ispaša) pritisci, u taksonomskoj strukturi se kroz sukcesiju silikatne alge smenjuju cijanobakterijama i zelenim algama
- sezonski ciklusi - određeni su dinamikom sezonske smene pritisaka i dostupnosti nutrijenata, u prolećnim zajednicama dominiraju silikatne alge, smenjuju ih cijanobakterije u toku leta, a krajem leta dominiraju krupne filamentozne zelene alge, pri čemu se maksimum biomase postiže u proleće ili krajem leta (ili oba).

U svim ovim ciklusima režim poremećaja (hidrodinamičkih i ispaše) određuje tačku balansa između rasta i gubitka biomase (Biggs 1996).

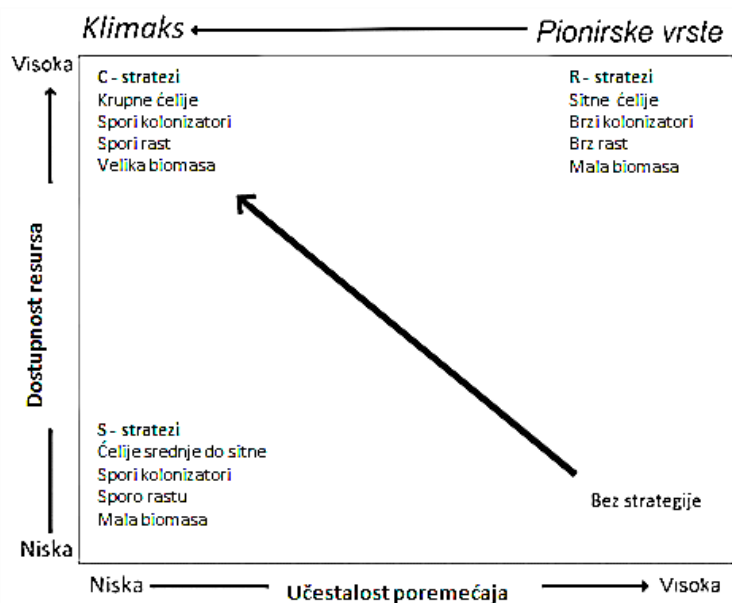
Prema Casartelli i saradnicima (2016), dinamika biomase perifitona u plitkom mezotrofnom jezeru, osim perioda eksponencijalnog rasta i gubitka biomase, uključuje i fazu fluktuacije, pri čemu je period trajanja i smena ovih faza uslovljena limnološkim i klimatskim faktorima (Slika 3). Faza fluktuacije bila je u najvećoj meri određena režimom poremećaja, u ovom slučaju umerenih i kratkoročnih, hidrodinamičke prirode (padavine), što je imalo čak pozitivan uticaj na biomasu. Casartelli i saradnici (2016) su ustanovili da sukcesivno uklanjanje površinskih slojeva biofilma (kao posledica umerenih hidrodinamičkih poremećaja) omogućava prodor svetlosti i nutrijenata do dubljih slojeva i omogućava brz dalji razvoj biomase, pa i postizanje maksimalne vrednosti biomase u fazi fluktuacije.



Slika 3. Dinamika biomase perifitona u plitkom mezotrofnom jezeru (preuzeto iz Casartelli i sar. 2016).

3.2 Konceptualni model matrice staništa

Biggs i saradnici (1998) su razvili „konceptualni model matrice staništa“, na osnovu koga alge koje se razvijaju u perifitonu dele u nekoliko grupa zavisno od prilagođenosti uslovima staništa, različitim poremećajima i perioda kada naseljavaju podlogu. U tom smislu oni izdvajaju ruderalne (pionirske) vrste - R stratege, kompetitivne vrste - C stratege i vrste otporne na stres - S stratege (Slika 4).



Slika 4. Šematski prikaz konceptualnog modela matrice staništa (preuzeto iz Biggs i sar. 1998).

Generalno posmatrano, R stratezi su pionirske vrste, koje podlogu naseljavaju brzo i pri niskim koncentracijama nutrijenata. U R stratege uglavnom spadaju silikatne alge (Slika 5), malih dimenzija i kratkog reproduktivnog ciklusa. C stratezi naseljavaju stabilne podloge, nakon primarne kolonizacije R stratega. One su karakteristične za staništa s visokim stepenom eutrofizacije i klimaks zajednice. U C stratege spadaju uglavnom krupni filamentozni oblici iz razdela zelenih algi, dobri kompetitori za svetlost i nutrijente u uslovima trodimenzionalne strukture perifitona (Slika 5). S stratezi su karakteristični za stabilnu perifitonsku zajednicu u oligotrofnim staništima, imaju sposobnost korišćenja alterantivnih izvora nutrijenata - fiksacija azota ili razlaganje krupnih organskih molekula (alkalne fosfataze). Kao S stratezi najčešće se susreću crvene alge i neke cijanobakterije (Slika 5).

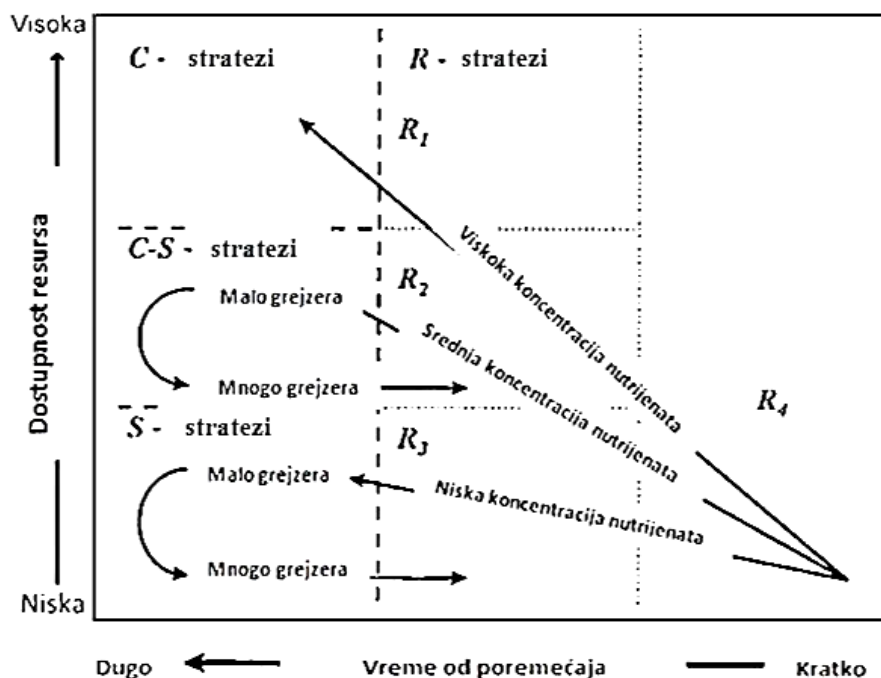
	← Klimaks	→ Pionirske vrste	
↑ Visoka ↓ Dostupnost resursa ↓ Niska	C stratezi <i>Cladophora glomerata</i> <i>Oedogonium</i> sp. <i>Rhizoclonium</i> sp. <i>Stigeoclonium tenue</i> <i>Melosira varians</i>	R stratezi R1 <i>Gomphonema parvulum</i> <i>Rhoicosphenia curvata</i>	
	C - S stratezi <i>Mougeotia</i> sp. <i>Stigeoclonium lubricum</i> <i>Spirogyra</i> sp. <i>Vaucheria</i> sp. <i>Navicula cryptocephala</i> <i>Schizothrix</i> sp. <i>Phormidium</i> sp.	R2 <i>Cymbella minuta</i> <i>Cymbella affinis kappii</i> <i>Gomphonema herculeana</i> <i>Synedra ulna</i> <i>Fragilaria construens</i> <i>Fragilaria vaucheriae</i>	
	S stratezi <i>Epithemia</i> sp. <i>Meridion circulare</i> <i>Rhopalodia</i> sp. <i>Audouinella hermanni</i> <i>Batrachispermum</i> sp. <i>Draparnaldia</i> sp. <i>Calothrix</i> <i>Tohyothrix</i> sp.	R3 <i>Ulothrix zonata</i> <i>Diatoma hiemale</i> <i>Navicula avenacea</i>	R4 <i>Cocconeis placentula</i> <i>Achnanthes minutissimum</i>
	← Niska	→ Učestalost poremećaja	→ Visoka

Slika 5. Hipotetički raspored 35 perifitonskih taksona u kategorije R, C i S stratega prema konceptualnom modelu matrice staništa (preuzeto iz Biggs i sar. 1998).

Prema Biggs-u i saradnicima (1998) perifitonska zajednica se menja u funkciji vremena, tj. podleže sukcesiji kao posledica hidroloških poremećaja, ispaše ili

autogenog odlublivanja (Slika 6). Prema šematskom prikazu na slici 6 i rasporedu taksona u R, C i S kategorije (Slika 5), očekuje se da taksoni silikatnih algi iz kategorije R4 započnu sukcesiju, a da ih potom smeni neka od kategorija R1, R2 ili R3, zavisno od koncentracije nutrijenata; klimaks zajednice, odnosno vrhunac biomase, karakterišu kategorije C, C-S ili S, takođe u zavisnosti od dugoročnog režima dostupnosti nutrijenata (Slika 6).

Važno je napomenuti i značaj uticaja ispaše na sukcesione puteve, pogotovo u staništima sa umerenom i umerenom do niskom koncentracijom nutrijenata, gde se usled pritiska ispaše zajednica može konstantno održavati u ranim sukcesionim stadijumima uz izraženo prisustvo taksona predstavnika C ili C-S grupe koji ne podležu ispaši (Biggs i sar. 1998). Zadržavanje perifitonske zajednice u ranim sukcesionim stadijumima karakteristika je i staništa izloženih učestalim poremećajima hidrološkog režima i u potpunom odsustvu ispaše. U staništima obogaćenim nutrijentima, očekuje se da produkcija biomase prevaziđe pritisak ispaše i da se sukcesija uspešno razvije do stadijuma klimaksa, gde se očekuje dominacija C stratega (Biggs i sar. 1998).



Slika 6. Hipotetički putevi sukcesije perifitonske zajednice, posle intenzivnih poplavnih talasa (preuzeto iz Biggs i sar. 1998).

4 Perifiton u stajaćim slatkovodnim ekosistemima

Značaj perifitona oduvek je bio prepoznat u tekućim slatkovodnim ekosistemima i detaljna istraživanja perifitonske zajednice sprovedena su u takvim modelima, bilo prirodnim ili laboratorijski simuliranim (Goldsborough i sar. 2005). Mađutim, u stajaćim slatkovodnim ekosistemima, najveći značaj, u smislu istraživanja u oblastima primarne produkcije, ekologije i bioindikacije pridavao se fitoplanktonskoj zajednici. Odnos publikacija koje se bave istraživanjima fitoplanktona i perifitona, u vodećim hidrobiološkim časopisima devedesetih godina bio je 20:1, što je bilo uslovljeno shvatanjem da u je u lentičkim ekosistemima fitoplankton dominantan primarni producent (Lowe 1996). Istraživanja novijeg datuma rasvetlila su značajnu, čak i vodeću ulogu perifitona u primarnoj produkciji, prvenstveno u plitkim providnim lentičkim ekosistemima sa niskom do umerenom koncentracijom nutrijenata, dok se tek sa eutrofikacijom taj balans pomera u korist fitoplanktona (Sand-Jensen i Borum 1991, Vadeboncoeur i Steinman 2002, Vadeboncoeur i sar. 2003,). Vadeboncoeur i Steinman (2003) su sumirajući dotadašnja istraživanja istakli značajnu funkcionalnu ulogu perifitona u kruženju nutrijenata i lancu ishrane u jezerskim ekosistemima.

U lentičkom perifitonu zastupljeni su gotovo svi razdeli algi, ali se svakako najčešće susreću predstavnici cijanobakterija, silikatnih i zelenih algi (Goldsborough i sar. 2005), s tim da su u gornjem eulitoralu najčešće dominantne zelene i silikatne alge, a u sublitoralu cijanobakterije i silikatne alge (Lowe 1996). Smatra se da lentički perifiton u gornjem eulitoralu, tj. zoni izloženoj delovanju talasa, sadrži veliki broj reofilnih vrsta i stoga u velikoj meri podseća na perifiton plitkih potoka, dok perifitonska zajednica, koja raste ispod granice maksimalne dubine na koju dospeva letnja termoklina, predstavlja originalnu lentičku zajednicu koja je pri tom i veoma raznovrsna (Lowe 1996).

Razvoj perifitona uslovljen je kompleksnom interakcijom različitih abiotičkih i biotičkih faktora (Albay i Akcaalan 2008). Faktori životne sredine koji najsnažnije utiču na razvoj perifitona u lentičkim ekosistema su svakako svetlost, nutrijenti, fizičke i hemijske karakteristike vode (trofički status), hidrodinamika - pokreti vode i pritisak

ispaše. Svakako se ne sme zanemariti uticaj morfometrije jezera, koja direktno uslovljava dostupnost staništa za rast perifitona (Vadeboncoeur i Steinman 2002), kao i geografsko klimatske karakteristike i sama podloga tj. supstrat na kome se perifiton razvija.

4.1 Nutrijenti

Rast perifitonskih algi uslovljen je neorganskim nutrijentima, pre svega u obliku jedinjenja azota i fosfora. Međutim, pojedine grupe kao što su silikatne i zlatne alge zahtevaju i prisustvo silicijuma, a neke druge pak i kalcijuma, kalijuma, gvožđa i sl. U izvesnim slučajevima, alge mogu koristiti i organske forme nutrijenata, fakultativno ili čak obligatno (u retkim slučajevima). Uz pomoć enzima alkalnih fosfataza mnoge alge uspešno mogu da metabolišu organske forme fosfora, dok cijanobakterije i silikatne alge sa endosimbiontima, produkuju nitrogenaze koje im omogućavaju fiksaciju azota do amonijaka (Goldsborough i sar. 2005). Dokazano je i da izvesni epifitski predstavnici silikatnih algi, zelenih algi i cijanobakterija u jezerima mogu da asimiluju proste ugljene hidrate; ipak, laboratorijski pokušaji gajenja algi u medijumu sa amino kiselinama, prostim šećerima i vitaminima navode na zaključak da je heterotrofija kod algi samo alternativni, a nikako primarni način ishrane (Goldsborough i sar. 2005).

Prisustvo nutrijenata, tačnije azota i fosfora u jezerima direktno i indirektno utiče na kvalitet, kvantitet i rasprostranjenje perifitona i na vremenskoj i na prostornoj skali, ali se pri tom mora voditi računa da je odgovor perifitona na prisustvo nutrijenata modifikovan i mnogim drugim faktorima koji deluju u ekosistemu. U studiji perifitona razvijenog u 13 danskih plitkih jezera u periodu jul-septembar autori su došli do zaključka da je prosečna biomasa perifitona unimodalno raspoređena u odnosu na koncentraciju ukupnog fosfora (TP), tj. da dostiže vrhunac pri koncentracijama fosfora između 60-120 $\mu\text{g/L}$ (Liboriussen i Jeppesen 2006). Takođe, utvrđeno je da se smena dominantnih taksona (prema biomasi) dešava u smeru od silikatnih algi i cijanobakterija pri niskim koncentracijama TP, ka zelenim algama pri umerenim koncentracijama TP i ponovo do silikatnih algi u jezerima sa najvišim koncentracijama TP (Liboriussen i Jeppesen 2006) (npr. rod *Epithemia* čije pojedine vrste imaju cijanobakterije kao endosimbionte i ranije su takođe bile detektovane kao dominantni taksoni u uslovima

niskog odnosa TN:TP, tj. u uslovima gde je azot limitirajući faktor). Libourissen je u svojoj disertaciji, komentarišući iste rezultate, iznela mišljenje da je produkcija perifitona najveća pri umerenim koncentracijama TP, dok su niže vrednosti produkcije u jezerima sa niskim TP posledica limitirajuće uloge fosfora (Libouriusen 2003). Vadeboncoeur i saradnici (2006) uradili su obimno istraživanje i zaključili da biomasa perifitona na čvrstim i stabilnim supstratima - drvo i kamen pozitivno koreliše sa TP u vodenom stubu kada se posmatraju jezera umerenog klimatskog regiona, dok se isto ne može reći za epipelon. Takođe, utvrdili su da je primarna produkcija u ovim ekosistemima najveća u zajednici fitoplanktona, najmanja u epipelonu, a da se stabilne srednje vrednosti beleže u perifitonu na čvrstim supstratima i u epifitonu (Vadeboncoeur i sar. 2006). U istom istraživanju istaknuta je pozitivna korelacija između hlorofila *a* iz fitoplanktona i perifitona sa čvrstog supstrata (Vadeboncoeur i sar. 2006). Godwin i saradnici (2014) su u studiji na primeru jezera u severnom umerenom regionu, zaključili da je primarni pokretač produkcije perifitona rastvoreni organski ugljenik (DOC), a ne TP. Ferragut i Bicudo (2012) su u istraživanju uticaja nutrijenata na kolonizaciju i sukcesiju perifitona u tropskom oligotrofnom jezeru postavile eksperiment u kome su koristile mezokozme i veštački supstrat za razvoj perifitona i došle do zaključka da je TP glavni faktor koji kontroliše strukturalne promene u perifitonu. One su zapravo eksperimentalne grupe tretirale izolovano: fosforom (P), kombinacijom azota i fosfora (NP) i samo azotom (N). Pokazalo se da biomasa kontinuirano i najintenzivnije raste u tretmanu P (Ferragut i Bicudo 2012). Brojne studije pokazale su da je fosfor glavni limitirajući faktor rasta perifitona u jezerima u tropskom regionu, a isto je utvrđeno i u subtropskom regionu pre svega na primeru močvarnog područja Everglejds (Ferragut i Bicudo 2012). Prisustvo nutrijenata ipak ne može se posmatrati izolovano od drugih faktora koji deluju u ekosistemu, pogotovo od svetlosti, koja je zapravo jednako značajan limitirajući faktor rasta i razvoja perifitona (Hansson 1992).

4.2 Svetlost i temperatura

Svetlost je važan limitirajući faktor u lentičkim ekosistemima, za koji u vodenom stubu blisko konkurišu fototrofne zajednice: fitoplankton, perifiton i makrofite, dok se drugi nivo kompeticije javlja u samom perifitonskom matriksu, a treći u smislu uticaja značajne redukcije svetlosti koja stiže do biljke domaćina od strane epifitona.

Posmatrajući prodor svetlosti kroz vodeni stub, kao činioci koji određuju stepen providnosti izdvajaju se apsorpciona sposobnost vode, fitoplankton, različite rastvorene organske i neorganske partikule (Hansson 1992). Intenzivan priliv nutrijenata u jezera spiranjem ili drenažom često rezultuje cvetanjem fitoplanktona usled čega se javlja inhibicija rasta perifitona u uslovima eutrofije (Vadeboncouer i sar. 2006). Kompetitivna prednost fitoplanktona u odnosu na perifiton, ali i makrofite, ogleda se i u mobilnosti ove zajednice u vodenom stubu (Vadeboncoueri sar. 2006). Ipak, u oligotrofnim uslovima, produkcija fitoplanktona je najčešće limitirana nutrijentima, pa su omogućeni dobri svetlosni uslovi za razvoj perifitona (Liboriussen i Jeppesen 2003). Činjenica je da alge i u fitoplanktonu i u perifitonu uvek dele zajednički izvor svetlosti, međutim isti izvor nutrijenata iz vodenog stuba dele samo u slučajevima kada se perifiton razvija na inertnim podlogama. Kada se perifiton razvija na samom sedimentu - epipelon, kao izvor nutrijenata mogu poslužiti i voda i sam sediment, zbog čega se u oligotrofnim (plitkim) jezerima favorizuje produkcija epipelona nad fitoplanktonom (Liboriussen i Jeppesen 2003). Inhibitorni efekat na rast perifitona ima i velika pokrivenost makrofitama u priobalnom regionu, koje za razliku od fitoplanktona koriste nutrijente kako iz vode tako i iz sedimenta (Sand-Jensen i Borum 1991). Ipak, same makrofite predstavljaju veliku dostupnu površinu za naseljavanje epifitona, koji pri tom ograničava dostupnu svetlost i dubinsku distribuciju samim makrofitama, naročito u uslovima povećane dostupnosti nutrijenata (Goldsborough i sar. 2005). Posmatrajući propustljivost matriksa perifitonskog obrasta za svetlost, činjenica je da alge raspoređene u osnovi biofilma dobijaju proporcionalno manje plave i crvene svetlosti u odnosu na one bliže površini (Goldsborough i sar. 2005). Neke studije su potvrdile da su alge u perifitonu sposobne da migriraju od površine ka dnu sopstvenog matriksa, i

obrnuto, kao i da se adaptiraju odnosno aklimatizuju na uslove smanjenog intenziteta svetlosti povećanim prisustvom pomoćnih pigmenata u odnosu na hlorofil *a* (Sanchez i sar. 2013). U istoj studiji Sanchez i saradnici istakli su i da se perifitonska zajednica menja od autotrofne ka heterotrofnoj sa povećanjem dubine, odnosno slabljenjem intenziteta svetlosti (Sanchez i sar. 2013). Propustljivost vodenog stuba za svetlost direktno određuje i ograničava rast autotrofne komponente perifitona, odnosno potopljeni supstrati su perifitonu dostupni za naseljavanje samo ako do njih dopire dovoljno svetlosti da omogući fotosintetski proces (Vadeboncoeur i Steinman 2002).

Temperatura je takođe značajan faktor koji utiče kako na biomasu i primarnu produkciju, tako i na strukturu zajednice perifitona. U jezerima umerenog klimatskog pojasa, sezonska dinamika utiče na biomasu perifitona tako da se maksimum postiže u proleće i kasno leto ili jesen. Međutim, značaj uticaja same temperature na sezonsku dinamiku biomase perifitona veoma varira među različitim studijama, što ukazuje da i drugi faktori, prvenstveno svetlost dele vodeću ulogu u ovom procesu (DeNicola 1996). Činjenica je da povećanje temperature od 25° C do 30° C utiče na povećanje diverziteta i brojnosti, dok povećanje iznad 30° C menja kompoziciju perifitona u suprotnom smeru, odnosno izaziva opšte smanjenje brojnosti i diverziteta i favorizuje nekoliko tolerantnih taksona, kao i smenu silikatnih algi (koje se bolje razvijaju u uslovima niže temperature) zelenim algama i cijanobakterijama (DeNicola 1996). Nekoliko studija potvrdilo je trend dominacije silikatnih algi u zajednici perifitona u rasponu temperature od 5° C do 20° C, zelenih algi od 15° C do 30° C i dominaciju cijanobakterija na temperaturama iznad 30° C. Među studijama, granične vrednosti temperaturnih raspona za svaku grupu variraju, ali trend je uvek isti (DeNicola 1996). Ovo je u potpunosti kompatibilno sa šablonom sezonske sukcesije perifitona u umerenoj zoni, gde silikatne alge dominiraju u proleće, dok u letnjim mesecima raste udeo zelenih algi i cijanobakterija koje postaju dominantne (Vermaat 2005). Uopšteno posmatrano, temperatura utiče na brzinu enzimski katalizovanih procesa u tamnoj fazi fotosinteze, odnosno povećava stopu respiracije (Vermaat 2005). Povećana stopa respiracije zahteva i veću količinu svetlosti za postizanje fotosintetske kompenzacije (svetla faza fotosinteze), te se u limitirajućim svetlosnim uslovima može javiti obrnut slučaj, tj. da sa porastom temperature opada aktivnost enzima uključenih u fotofosforilaciju i elektron transportni lanac (DeNicola 1996).

4.3 Ispaša - *Grazing*

Perifitonski kompleks nalazi se u osnovi lanca ishrane u vodenim ekosistemima, a sledeća karika koja se nadovezuje su najpre mikro i makrobeskičmenjaci, kao i neki kičmenjaci. U slatkovodnim ekosistemima najznačajniji strugači (*grazers*) su Gastropoda kao i malobrojniji predstavnici drugih grupa Crustacea, Insecta (larve) i dr., dok se iz grupe kičmenjaka mogu izdvojiti pojedine vrste riba i punoglavci (Vermaat 2005). Strugači mogu biti visoko selektivni u pogledu grupe algi kojima se hrane i stoga značajno mogu uticati na strukturu i arhitekturu perifitona (Vermaat 2005). Efekat ispaše ogleda se ne samo u direktnoj ispaši perifitona i uticaju na strukturu zajednice, već i na mobilizaciju nutrijenata u ekstracelularnoj polimernoj supstanci i fizičkom oštećenju perifitonskog obrasta, povećanju stope rasta i sl. (Jones i sar. 1998). Smatra se da ispaša može da favorizuje vrste karakteristične za rane stadijume kolonizacije, ili čak produktivnost čitave zajednice, ali ipak neoborivi dokazi postoje da strugači efektivno uklanjaju perifitonski obrast (Jones i sar. 1998).

Nije malo studija koje su uticaj ispaše pokušale da izvedu iz razlike u biomasi između grupe izložene uticaju strugača i kontrolne, bez strugača, a koje su ukazale na neznatan do vrlo mali uticaj strugača na biomasu perifitona. Ovakav pristup ipak je diskutabilan, s obzirom na mogućnost limitirajućeg dejstva drugih faktora na kontrolnu grupu, kao i zbog eksponencijalne prirode prirasta biomase (Jones i sar. 1998). Naspram svih poteškoća da se uticaj ispaše interpretira nezavisno od ostalih faktora koji utiču na razvoj perifitona, Cattaneo i Mousseau (1995) su sumirajući rezultate 27 prethodno objavljenih publikacija, došli do zaključka da je telesna masa strugača faktor koji najsnažnije određuje stopu uklanjanja perifitona. Takođe, uočili su da je veliki deo gubitka perifitonske biomase zapravo posledica samih aktivnosti strugača u toku hranjenja, a ne konkretno ingestije. U studiji paralelnog uticaja ispaše i nutrijenata na biomasu perifitona nađeno je da tretman nutrijentima povećava biomasu perifitona dok je prisustvo strugača smanjuje, kao i da su ovi efekti varijabilni. Uopšteno, oni su imali jači uticaj na biomasu i taksonomsku strukturu zajednice od nutrijenata, ali ni jedan od ova dva faktora nije imao izrazito primarnu ulogu, odnosno efekat ovih faktora bio je modifikovan drugim faktorima kakvi su dostupnost svetlosti i temperatura (Hillebrand i Kahlert 2001). Iako možemo reći da strugači igraju vrlo važnu ulogu u kontroli,

odnosno smanjenju perifitonske populacije u jezerima, moramo uzeti u obzir da postoje indicije da umerena konzumacija perifitona od strane strugača može čak i da stimuliše prirast, kao i da uticaj strugača može biti kontrolisan od strane prisustva njihovih predatora ili alternativnih izvora hrane (Jones i sar. 1998).

4.4 Podloga

Perifiton se razvija na najrazličitijim tipovima supstrata potopljenim u vodi. Kao što je pomenuto to mogu biti prirodno prisutni supstrati u vodenom ekosistemu kao što su mulj, pesak, kamen, vodene makrofite ili ostaci vaskularnih biljaka. Međutim, perifiton se razvija i na raznim antropogeno introdukovanim podlogama kakve su bove, trupovi čamaca, različite platforme i konstrukcije, pa i plutajući otpad.

Uticaj supstrata na kome se perifiton razvija na kvalitet i kvantitet zajednice je svakako određen prisustvom dovoljne količine svetlosti i nutrijenata u vodenom stubu, prvenstveno ukoliko govorimo o inertnim supstratima, npr. kamen se smatra inertnim supstratom, dok makrofite i sediment osim podloge, predstavljaju i izvor nutrijenata za perifitonske organizme (Vadeboncoeur i Steinman 2002). I sam položaj supstrata (makrofite, kamen, sediment) utiče na dostupnost svetlosti i nutrijenata perifitonu koji se na njima razvija (Vadeboncoeur i Steinman 2002). Heterogenost supstrata je izvor varijabilnosti perifitona i utvrđeno je da osim supstrat specifične produkcije biomase postoji i supstrat specifičan odgovor na fertilizaciju. Tačnije, kada se posmatraju epiksilon i epifiton, na fertilizaciju porastom produkcije reaguje samo epiksilonska zajednica (Vadeboncoeur i Lodge 2000). Neki autori su ukazali i na suštinsku razliku u sastavu perifitona na različitim vrstama makrofita u istom jezeru (Pip i Robinson 1984), dok su drugi u Everglejdsu ustanovili da te razlike nema (Vymazal i Richardson 1995). Naučna javnost dugo je bila pristalica stava da je uticaj određenog supstrata na perifiton određen niskom koncentracijom nutrijenata u vodi, odnosno da je supstrat specifičnost osobina perifitona koja se upadljivo ispoljava isključivo u oligotrofnim ekosistemima, dok sa porastom stepena trofije spoljašnji ekološki faktori preuzimaju ulogu glavnih pokretača (Eminson i Moss 1980, Vermaat 2005). Savremena istraživanja pak, ukazala su da je supstrat specifičnost osobina perifitona koja se uočava i u hipereutrofnim jezerima (Zhang i sar. 2013a). Mikrotopografija, odnosno oblik, veličina i stabilnost

podloge (u smislu rastresitosti, poroznosti) je takođe izdvojena kao potencijalni faktor koji utiče na razvoj zajednice perifitona. Iako se o ovoj temi u prošlom veku diskutovalo, pre svega zbog uticaja trofičnosti ekosistema na perifiton, što može da ublaži i modifikuje uticaj različitih osobina supstrata na razvoj perifitona (Cattaneo i sar. 1997), novija istraživanja ističu da fizičke i hemijske karakteristike podloge imaju značajan uticaj na različite aspekte perifitona: taksonomsku strukturu, biomasu, odnos nutrijenata i sl. (Zhang i sar. 2013a).

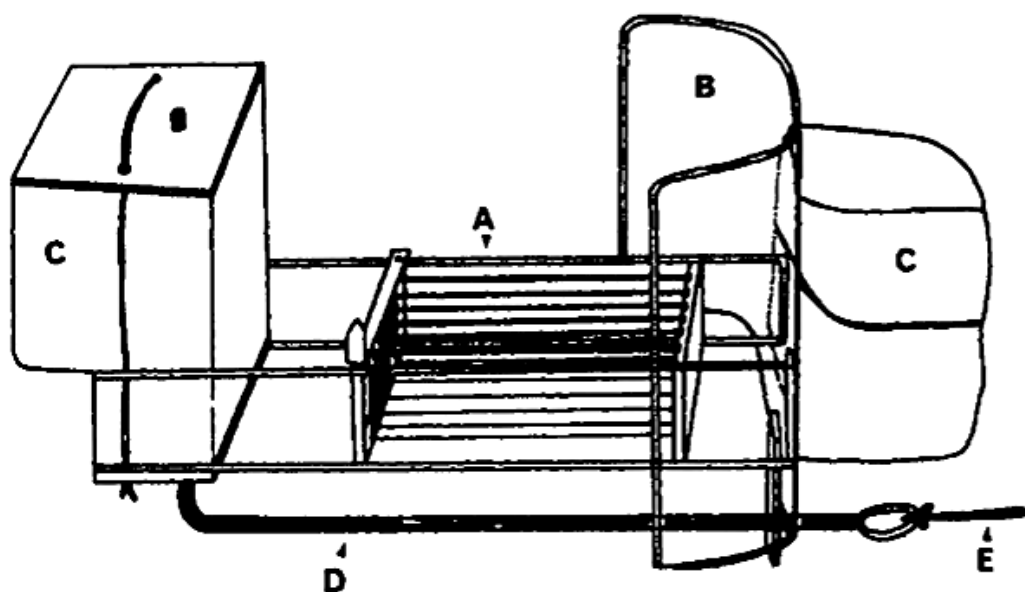
4.4.1 Veštačke podloge

Upotreba veštačkih podloga u istraživanjima perifitona uvedena je još početkom dvadestog veka, kada je Hentschel 1916. godine prvi put introdukovao staklene pločice u jezerski ekosistem (Cattaneo i Amireault 1992). Od tada se upotreba različitih materijala u smislu podloge za kolonizaciju intenzivirala u istraživanjima perifitona, pogotovo u drugoj polovini 20. veka. Kao podloga je najčešće korišćeno staklo, mada su uvedeni i brojni drugi materijali: plastika, pleksiglas, keramika, podloge od drveta, čak i plastične akvarijumske biljke (Cattaneo i Amireault 1992). Objavljeni su kontradiktorni rezultati i pretpostavlja se da izvor spomenute kontradiktornosti leži u interpretaciji rezultata shodno ciljevima različitih studija, kao i uticaju različitih uslova u staništima i upotrebljenim metodama. Devedesetih godina dosta kritike je upućeno na račun upotrebe veštačkih podloga. Istaknuto je da upotrebi veštačkih podloga treba pristupiti sa predostrožnošću, jer se tom prilikom zanemaruje interakcija supstrata i zajednice, te da se kada je god to moguća opcija, treba posmatrati zajednica sa prirodno prisutnih podloga (Aloi 1990, Cattaneo i Amireault 1992). Ipak, prednosti upotrebe veštačkih podloga su brojne, pogotovo u komparativnim studijama različitih vodenih ekosistema (Libbourisen 2003). Wiklund i saradnici (2010) su potvrdili da su razlike u sastavu zajednice silikatnih algi između veštačkih podloga i makrofita ne veće od razlika uočljivih između različitih vrsta makrofita koje se razvijaju u istim uslovima. Danilov i Ekelund (2001) su ustanovili da je perifiton razvijen na staklenoj i drvenoj veštačkoj podlozi dovoljno specifičan da omogući jasnu klasifikaciju ispitivanih ekosistema na oligo, mezo i eutrofne. U ovoj studiji, staklo je okarakterisano kao najpovoljniji supstrat za kolonizaciju, na drvenoj podlozi je zapažena manja brojnost i diverzitet algi, dok je na plastici uočen samo bakterijski biofilm (Danilov i Ekelund

2001). Interesanto je da su Cattaneo i Amireault plastiku izdvojili kao supstrat sa najpovoljnijim karakteristikama za razvoj perifitona (Cattaneo i Amireault 1992). Potvrđeno je i da staklena i glinena podloga zadovoljavajuće reprezentuju zajednicu sa prirodnog supstrata u pogledu zajednice silikatnih algi (Lane i sar. 2003). Ipak, rezultati brojnih studija ukazuju i na nedoslednost karakteristika perifitona sa veštačkih podloga u poređenju sa prirodno dostupnim podlogama, prvenstveno u smislu zajednice cijanobakterija i zelenih algi (Aloi 1990, Cattaneo i Amireault 1992). U svakom slučaju, u poslednjih 15 godina veštačke podloge se intenzivno koriste u studijama perifitona u različitim kontekstima, od uticaja ekoloških faktora do biomonitoringa, kako u *in situ* tako i u laboratorijskim uslovima (Kralj i sar. 2006, Debenest i sar. 2009, Žuna Pfeiffer i sar. 2015, B-Béres i sar. 2016), jer pružaju mogućnost isključivanja faktora podloge i izolovanog posmatranja faktora od interesa u studiji. Pri tom se koriste različiti tipovi veštačkih podloga, organskog i neorganskog sastava, pri čemu se u potpunosti zanemaruje uticaj porekla supstrata na razvoj perifitona (Cattaneo i Amireault 1992, Schevchenko 2011). U naučnoj literaturi najčešće se ističe razlika između zajednica razvijenih na prirodnim i veštačkim podlogama, dok se vrlo malo studija bavilo potencijalnim razlikama između zajednica razvijenih na različitim tipovima veštačkih podloga, pogotovo kada su u opticaju drvene podloge (organskog porekla) i različiti tipovi podloga (staklo, keramika, plastika i sl.) neorganskog porekla (Sabater i sar. 1998, Danilov i Ekelund 2001, Zhang i sar. 2013a). Samo jedna studija do sada bavila se uticajem tipa podloge na životne forme algi u perifitonu, i to sa aspekta hrapavosti podloge (Schneck i Melo 2012).

Usled očiglednih ograničenja upotrebe prirodnih supstrata kao što su sama dostupnost istih u jezerima, pogotovo istog tipa supstrata u različitim jezerima, zatim heterogenosti zajednica na prirodnim supstratima kada se porede staništa u jednom jezeru i takođe nemogućnosti kontrole vremena kolonizacije, upotreba veštačkih podloga u studijama biomonitoringa je i više nego opravdana jer omogućava uniformnost replika i standardizovanu površinu supstrata, kontrolisano vreme kolonizacije i eliminaciju uticaja mikrostaništa, kako bi se što pouzadanije i preciznije detektovali signali promene statusa životne sredine (MacDonald i sar. 2012). Upotreba veštačkih podloga posebno je popularizovana razvojem prvog flotantnog nosača tzv.

Catherwood-ovog dijatometra na Filadelfijskoj akademiji prirodnih nauka (Slika 7) (Lowe i Pan 1996).



Slika 7. Flotantni dijatometar modelovan prema Patrick i saradnici 1954 (preuzeto iz Lowe i Pan 1996). A - staklene pločice u nosaču od pleksiglasa, B - štit od pleksiglasa, C - nosači od stiropora za plutanje semplera, D - mesingana šipka koja obezbeđuje plovnost i balans i E - vrpca od najlona koja se vezuje za sidro.

Ova naprava od pleksiglasa predviđena je da pluta na površini vode i nosi staklene pločice kao veštački supstrat nekoliko centimetara ispod površine vode, tako da im je duža osa paralelna s tokom reke ili kanala. Štit od pleksiglasa na čelu dijatometra služi da zaštiti pločice od plutajućeg otpada i da orijentiše nosač. Danas postoji veliki broj komercijalno dostupnih usavršenih nosača podloga za perifiton tzv. perifitometara, ali vrlo sličnih ovom prvobitnom modelu, i to uglavnom na tržištu SAD, a namenjeni su za potrebe monitoring protokola za reke i potoke u kojima je upotreba veštačkih podloga već dugo standardizovana (Barbour i sar. 1999). Poslednjih godina nosači sa veštačkim podlogama se intenzivno ispituju u studijama razvoja biomonitoring protokola za jezera i nađeno je da su veoma primenljivi i relevantni (MacDonald i sar. 2012, Kanavillil i Kurissery 2013).

4.5 Cijanobakterijska cvetanja

Cijanobakterije, poznate još i kao modrozelenne alge su najstariji organizmi na Zemlji koji su razvili sposobnost fotoautotrofije i produkcije kiseonika, menjajući tako prethodno postojeću anoksičnu biosferu i omogućavajući evoluciju biljaka i životinja (Paerl i Otten 2013). Cijanobakterije imaju specifične sposobnosti da fiksiraju atmosferski azot, deponuju rezerve fosfora, kao i nekih esencijalnih mikroelemenata, što im je omogućilo naseljavanje najrazličitijih tipova staništa. Pored nabrojanih, cijanobakterije imaju i druge specifične ekofiziološke strategije uz pomoć kojih uspešno eksploatišu antropogeno modifikovana staništa (Paerl i Otten 2013). Cvetanja cijanobakterija su ozbiljan i globalno rasprostranjen problem, primarno uzrokovan intenzivnom eutrofikacijom svih vodenih ekosistema, ali i globalnim zagrevanjem. Ovakve pojave drastično ugrožavaju eksploataciju vodnih resursa, u smislu vodosnabdevanja i rekreacije. Najupadljivije promene koje cvetanja cijanobakterija izazivaju su smanjena providnost, potiskivanje makrofitske vegetacije i uopšte negativan uticaj na floru i faunu staništa. Kasnija bakterijska dekompozicija velike biomase cijanobakterija vodi ka ogromnom utrošku kiseonika, odnosno anoksiji ili hipoksiji, što za posledicu ima pomor riba. Na kraju i najvažnije, mnoge cijanobakterije proizvode toksične sekundarne metabolite koji izazivaju ozbiljne akutne intoksikacije sisara i čoveka, koje se manifestuju kroz poremećaje i oštećenja kože, jetre, pankreasa, digestivnog, endokrinog i nervnog sistema (Paerl i Otten 2013). Cijanobakterijska cvetanja najčešće uzrokuju toksične ili potencijalno toksične vrste, što ima brojne štetne posledice na zdravlje ljudi, ali i gajenih životinja, pa i sam ekosistem u kome se cvetanje javlja (Dokulil 2014, Bormans i sar. 2015, Gallina i sar. 2017). Činjenica je da cijanobakterijska cvetanja smanjuju prodor svetlosti kroz vodeni stub i tako redukuju rast drugih grupa primarnih producenata u ekosistemu koji ne mogu da održavaju položaj blizu same površine vode (perifiton i makrofite) (Havens 2008). Međutim, drugi aspekti uticaja cijanobakterijskog cvetanja na perifiton su veoma malo ispitivani. Malo studija, i sve iz oblasti Južne Amerike, dotaklo je ovu temu i potvrdilo da postoji evidentni uticaj intenziteta cvetanja cijanobakterija u tropskim hipereutrofnim akumulacijama na proces kolonizacije perifitona, kao i na biomasu i taksonomsku

strukturu zajednice (Borduqui i sar. 2008, Oliveira i sar. 2010, Borduqui i Ferragut 2012).

Jedna od zapaženijih studija pozabavila se ispitivanjem potencijalnog inhibitornog efekta perifitonskog biofilma (u kome dominiraju silikatne alge) na cvetanje cijanobakterija, pri čemu je utvrđeno da perifiton proizvodi alelohemikalije rastvorljive u vodi koje značajno inhibiraju rast cijanobakterija, odnosno oštećuju membrane tilakoida i ometaju transport elektrona u fotosistemu II (Wu i sar. 2011). Svakako, detektovani uzajamni odnos perifitonskog biofilma i cijanobakterijskog cvetanja (Borduqui i sar. 2008, Oliveira i sar. 2010, Borduqui i Ferragut 2012) je potpuno nova opcija za eventualnu primenu perifitona u praćenju ove savremene pojave. Potencijal perifitona u smislu supresije cijanobakterijskih cvetanja i njihovih posredica (Wu i sar. 2010, Wu i sar. 2011) otvara i mogućnost primene perifitona kao ekološki nastrojenog rešenja u kontroli ove nepoželjne, a sve učestalije pojave. Detaljnija istraživanja međusobnih odnosa perifitona i cijanobakterijskih cvetanja su neophodna.

1 Predmet i ciljevi doktorske disertacije

Predmet ove doktorske disertacije je istraživanje perifitona na veštačkim podlogama u slatkovodnim stajaćim ekosistemima (Savsko jezero i jezero Vrutci), sa akcentom na strukturi kompletne perifitonske zajednice (netaksonomske karakteristike), kao i diverzitetu i sukcesiji cijanobakterija i algi (taksonomske karakteristike) u perifitonu, u zavisnosti od tipa veštačke podloge, dubine, vremena inkubacije i cijanobakterijskog cvetanja tokom letnje stratifikacije jezera. U studiji na Savskom jezeru proučavane su karakteristike perifitona razvijenog na različitim tipovima veštačkih podloga (staklo, drvo, keramika) i različitim dubinama u eufotičnoj zoni, kako bi se uočio nivo i intenzitet uticaja ovih faktora (tip podloge, dubina inkubacije) na razvoj perifitona i njegovu potencijalnu primenu u biomonitoringu stajaćih slatkovodnih ekosistema. Uticaj cvetanja potencijalno toksične cijanobakterije *Planktothrix rubescens* (De Candolle ex Gomont) Anagnostidis & Komárek tokom letnje stratifikacije na različite aspekte perifitona razvijenog na staklenoj veštačkoj podlozi proučavan je u delu istraživanja sprovedenom na jezeru Vrutci.

Naučni ciljevi doktorske disertacije su:

1. Utvrđivanje statusa trofičnosti Savskog jezera i jezera Vrutci na osnovu Karlsonovog indeksa trofičnosti.
2. Utvrđivanje i analiza netaksonomskih parametara perifitonske zajednice: suva masa, žarena masa i hlorofil *a*.
3. Utvrđivanje i analiza taksonomskih parametara perifitonske zajednice: kvalitativna i kvantitativna analiza cijanobakterija i algi.
4. Utvrđivanje i analiza ekoloških parametara perifitonske zajednice: karakterizacija procesa kolonizacije i sukcesije perifitona posredstvom dinamike stope rasta hlorofila *a*,

II CILJEVI RADA

diverziteta, taksonomske strukture i ekoloških grupa (životnih formi) cijanobakterija i algi.

5. Određivanje Autotrofnog indeksa i Lakatoš indeksa sa ciljem utvrđivanja trofičke strukture perifitonske zajednice.

6. Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi i utvrđivanje diatomnih indeksa upotrebom programa OMNIDIA 6.2.

7. Statistička analiza odnosa odabranih parametara perifitona i sredinskih parametra Savskog jezera i jezera Vrutci primenom programa CANOCO 5.0.

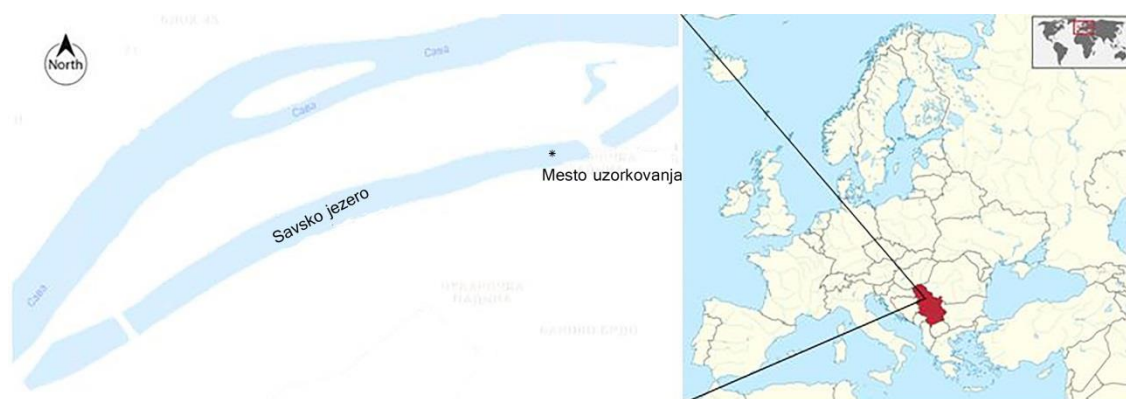
8. Procena uticaja različitih tipova veštačkih podloga i dubine inkubacije na različite aspekte perifitona, kako bi se utvrdio nivo i intenzitet uticaja ovih faktora na razvoj perifitona i njegovu potencijalnu primenu u biomonitoringu stajaćih slatkovodnih ekosistema (Savsko jezero).

9. Ispitivanje uticaja cvetanja potencijalno toksične cijanobakterije *Planktothrix rubescens* tokom letnje stratifikacije na različite parametre perifitona razvijenog na staklenoj veštačkoj podlozi (jezero Vrutci).

1 Opis lokaliteta

1.1 Savsko jezero

Savsko jezero (44°47'02,28" S, 20°23'25,64" I; 73 m n.v.) je akumulacija formirana 1967. godine, pregrađivanjem desnog rukavca reke Save, oko 4 km uzvodno od ušća Save u Dunav (Slika 8). Savsko jezero nalazi se u Beogradu, u blizini samog centra grada i ima značajnu ulogu u vodosnabdevanju. Ova urbana akumulacija intenzivno se koristi i u turističko rekreativne svrhe, pa je pod snažnim antropogenim uticajem, prvenstveno tokom letnjih meseci kada dnevna posećenost prevazilazi 100 000 ljudi (Mićković i sar. 2014). Akumulacija je 4,4 km duga i oko 250 m široka, prosečna dubina je 4,5 m, a maksimalna izmerena dubina je 12 m (Mićković i sar. 2014). Savsko jezero je protočna akumulacija, voda se u jezero uliva iz sedimentacione jedinice (Taložnik), a iz jezera ispušta sistemom pumpi u Čukarički rukavac. Možemo reći da je Savsko jezero plitka, urbana akumulacija, gde se u priobalnom pojasu razvija bogata makrofitska vegetacija (Janković i Janković 1987), dok su cvetanja algi česta pojava u slobodnoj vodi jezera (Blaženčić 1995).



Slika 8. Savsko jezero, položaj i mesto uzorkovanja.

Akumulacija je okružena fragmentima vaskularne flore, prvenstveno vrbe (*Salix alba* L.), bele topole (*Populus alba* L.) i hrasta (*Quercus robur* L.) (Blaženčić 1995), ali i razvijenom infrastrukturom, pešačkim i biciklističkim stazama, uređenim šljunkovitim

III MATERIJAL I METODE

plažama, barovima i restoranima i slično. U blizini samog jezera je i magistralni put. Potencijalnim izvorima zagađenja Savskog jezera mogu se smatrati kupači, odnosno turisti, okolni restorani i barovi, ali i spiranje okolnog zemljišta posle obilnih padavina.

1.2 Jezero Vrutci

Jezero Vrutci nalazi se u zapadnoj Srbiji u blizini grada Užice (43°50'34" S, 19°41'36" I) i zapravo je akumulacija formirana 1984. godine pregrađivanjem reke Đetinje, prvenstveno u svrhe vodosnabdevanja i zaštite od poplava grada Užica (Slika 9). Akumulacija Vrutci ima osobine hladnog, planinskog jezera umerenog kontinentalnog klimata. Jezero Vrutci se nalazi na 621 m n.v., basen jezera je izdužen i pruža se pravcem istok-zapad u dužini od 7 km, od ušća Đetinje do profila brane. Obale su nepristupačne i strme (Kostić i sar. 2016). Prosečan kapacitet akumulacije je 54×10^6 m³ vode, površina vodenog ogledala je 1,92 km², a maksimalna dubina meri se u blizini same brane i iznosi oko 50 m (Stanković 2005, Kostić i sar. 2016). U decembru 2013. godine na jezeru Vrutci zabeleženo je intenzivno površinsko cvetanje potencijalno toksične cijanobakterije *Planktothrix rubescens* (Kostić i sar. 2016). Od decembra 2013. do kraja 2015. godine prisustvo ove cijanobakterije u jezeru Vrutci je konstantno detektovano detaljnim mesečnim uzorkovanjima profila vodenog stuba na nekoliko lokaliteta, pri čemu je tokom letnjih meseci zabeleženo metalimnionsko cvetanje, a naredno površinsko cvetanje slabijeg intenziteta zabeleženo je u septembru 2015. godine (Blagojević i sar., *in press*).



Slika 9. Jezero Vrutci, položaj i mesto uzorkovanja.

2 Izrada plutajućeg nosača veštačkih podloga, odabir lokaliteta i eksperimentalni dizajn

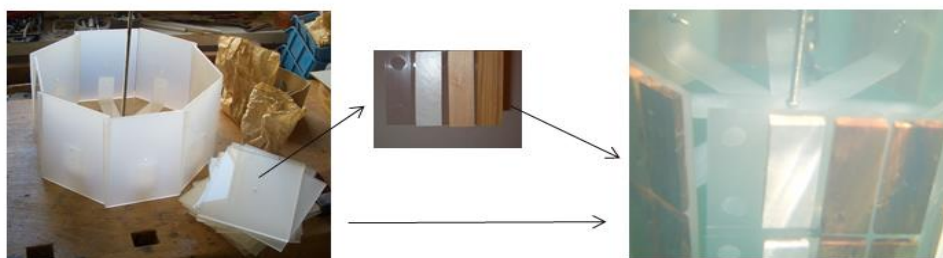
Plutajući nosači podloga kakvi su opisani u prethodnom poglavlju, komercijalno su dostupni i u širokoj su upotrebi prvenstveno u Severnoj Americi, a pogodni su za postavljanje u dubljim regionima jezera i reka, gde ne mogu biti u zoni rasta makrofita (Biggs i Kilroy 2000). Izrada ručno pravljenog nosača je svakako ekonomičniji pristup istraživanju, koji dodatno pruža mogućnosti podešavanja dubine na kojoj će se vršiti inkubacija podloga. Za potrebe studija na Savskom jezeru i jezeru Vrutci ručno su izrađeni nosači podloga.

Pri izradi ručno pravljenog nosača potrebno je pridržavati se odgovarajućih smernica:

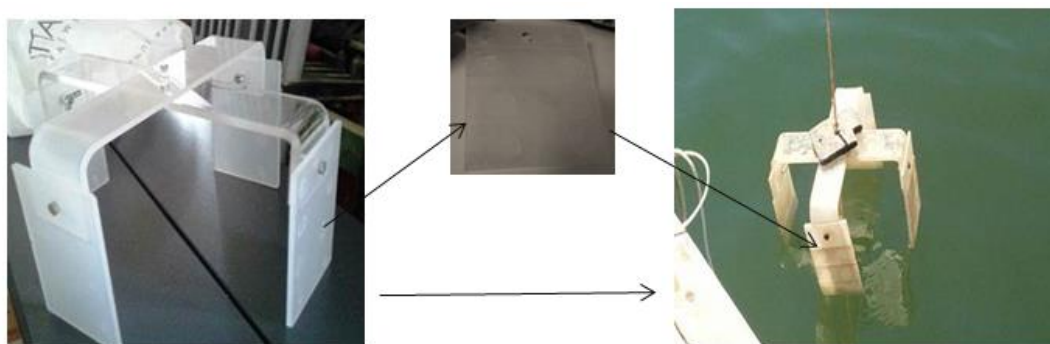
- okvir nosača treba da bude od providnog materijala, kakav je pleksiglas, kako bi se izbeglo zasenčavanje supstrata
- metalne komponente nosača moraju biti antikorozivne (npr. nerđajući čelik)
- plutajući objekti za koje je nosač pričvršćen ne smeju biti direktno iznad supstrata (zasenčavanje)
- supstrate bi trebalo pozicionirati vertikalno, kako bi se mimimalizovao proces taloženja, a poželjno je postaviti i štit protiv taloženja detritusa.
- poželjno je koristiti hrapave površine kao supstrat, kako bi se olakšao i ubrzao process kolonizacije (Biggs i Kilroy 2000).

Pri dizajnu nosača veštačkih podloga u eksperimentu na Savskom jezeru (Slika 10) i jezeru Vrutci (Slika 11), pridržavali smo se svih pomenutih smernica u granicama konstrukcionih mogućnosti. Nosači su u obe studije bili izrađeni od pleksiglasa, metalne komponente su bile od nekorodirajućih materijala, a sami supstrati su bili pozicionirani vertikalno u odnosu na vodeni stub.

III MATERIJAL I METODE



Slika 10. Nosač veštačkih podloga za eksperiment na Savskom jezeru.



Slika 11. Nosač veštačkih podloga za eksperiment na jezeru Vrutci.

Za istraživanje na Savskom jezeru nosači od pleksiglasa (3 nosača postavljena na 3 dubine - 50 cm (dubina 1), 80 cm (dubina 2) i 140 cm (dubina 3) od površine) potopljeni su u jezero tako što su bili pričvršćeni za plutajuću bovu (Slika 12), primarno postavljenu u Savsko jezero za potrebe kontinualnog merenja temperature vode u okviru projekta Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, TR 37009 „Merenje i modeliranje fizičkih, hemijskih, bioloških i morfodinamičkih parametara reka i vodnih akumulacija”. Kao veštačke podloge na Savskom jezeru su korišćene uniformne pločice od stakla, keramike, drveta vrbe i drveta tise. Površina pojedinačnih pločica bila je $19,76 \text{ cm}^2$. Za svaki termin uzorkovanja predviđeno je da se od svakog

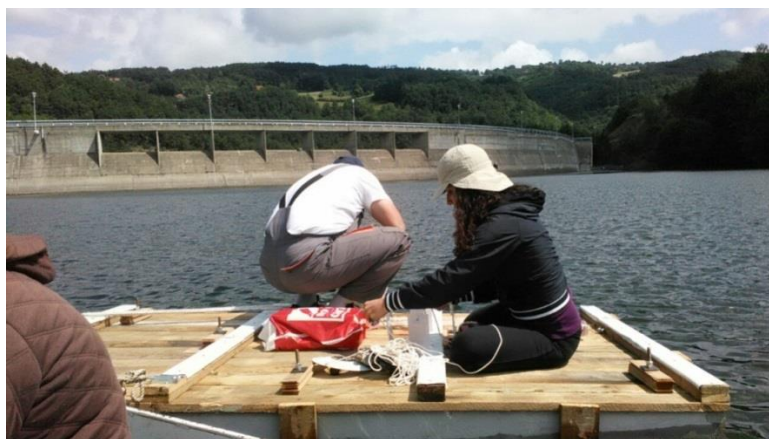
III MATERIJAL I METODE

tipa podloge skinu po 3 pločice sa svake dubine, te su ploče na nosačima bile organizovane tako da svaka ploča nosi po jedan triplikat pločica od svakog testiranog supstrata, koje su za ploču pričvršćene transparentnim silikonom za lepljenje akvarijuma. Uzorkovanje je vršeno jednom nedeljno.



Slika 12. Plutajuća bova u Savskom jezeru.

Na jezeru Vrutci, četiri nosača su postavljena u jezero na četiri dubine - 1 m (dubina 1), 5,5 m (dubina 2), 8 m (dubina 3) i 12 m (dubina 4) na lokalitetu Vodozahvat, gde je prethodno postavljena plutajuća platforma (Slika 13) na koju su nosači fiksirani. Plutajuća platforma je, kao i bova na Savskom jezeru bila usidrena, ali tako da može da prati varijacije nivoa vode. Kao veštačka podloga na jezeru Vrutci korišćeno je samo staklo. Pločice su bile istih dimenzijama kao na Savskom jezeru (površina 19,76 cm²), a ploče na nosačima organizovane su tako da nose po jedan triplikat pločica od stakla.



Slika 13. Plutajuća platforma na jezeru Vrutci.

III MATERIJAL I METODE

Pre postavljanja flotantnih nosača podloga, potrebno je pažljivo odabrati lokalitet, u skladu sa ciljevima eksperimenta i faktorima koji utiču na razvoj perifitona. Kako bi se eliminisao uticaj zasenčavanja, povišene temperature (plićak), opadanja nivoa vode i intenzivnog spiranja i nagomilavanja nutrijenata u priobalnom regionu, kao i intenzivne antropogene aktivnosti (kupači, ribolovci...) što često uzrokuje i vandalizam odnosno uništavanje nosača, konstrukcije sa nosačima veštačkih podloga u obe studije bile su postavljene u zoni otvorene vode (pelagijal). Kako su i Savsko jezero i jezero Vrutci protočne akumulacije, za postavljanje nosača odabrane su tačke u delu jezera gde su akumulirani uticaji faktora celom dužinom jezera - neposredno ispred brane u jezeru Vrutci i ispred sistema pumpi koje vodu Savskog jezera ispuštaju u Čukarički rukavac.

3 Uzorkovanje vode i perifitona - terenski protokol

Prikupljanje uzoraka na terenu podrazumevalo je praćenje terenskog protokola. Uzorkovanje je vršeno u prepodnevnom časovima, u periodu od 10h do 12h, a nosaču se uvek prilazilo iz nizvodnog smera. Najpre je vršeno uzorkovanje perifitona, a potom *in situ* merenja i uzorkovanje vode za analizu fizičkih i hemijskih parametara i fitoplanktona. Za potrebe merenja providnosti vode korišćen je Secchi disk, a za uzimanje uzoraka vode Ruttner-ova ili Van Dorn-ova boca (Slika 14). Za terenska merenja dubine, temperature vode, pH, koncentracije rastvorenog kiseonika i saturacije kiseonikom kao i provodljivosti, ukupne rastvorene supstance i koncentracije hlorofila *a* u vodi jezera Vrutci korišćena je multiparametarska sonda za određivanje kvaliteta vode YSI 6600 V2 (Slika 14). U studiji na Savskom jezeru korišćen je jednostavniji instrument kojim je merena temperatura vode, koncentracija rastvorenog kiseonika i saturacija kiseonikom, YSI ProODO *Optical Dissolved Oxygen Instrument* (Slika 14). Sva zapažanja sa terena beležena su terenskoj svesci - osunčanost, oblačnost, temperatura vazduha, intenzitet vetra i sl.

Uzorkovanje na Savskom jezeru vršeno je jednom nedeljno, u periodu kupališne sezone, od 11. jula 2014. do 9. septembra 2014. i obuhvatilo je ukupno osam termina uzorkovanja - dva u julu, četiri u avgustu i dva u septembru. Sve podloge u Savskom jezeru inkubirane su kontinuirano, od početka eksperimenta do datuma uzorkovanja. Na Savskom jezeru, paralelno sa uzorkovanjem veštačkih podloga, uzimani su i uzorci sa prirodne podloge - kamena iz priobalja, namenjeni samo za taksonomske analize i dijametne indekse.

Na jezeru Vrutci nosači sa veštačkim podlogama su postavljeni u jezero u junu 2015. na lokalitetu Vodozahvat, a sakupljani su mesečno, zaključno sa mesecom oktobrom. Dakle, uzorci su sakupljani u julu, avgustu, septembru i oktobru u periodu letnje stratifikacije jezera, koji karakteriše i metalimnionsko lokalizovanje i cvetanje *Planktothrix rubescens*. U eksperimentu na jezeru Vrutci su korišćena dva seta ploča za inkubaciju perifitona. Jedan set je postavljen na početku eksperimenta i ploče koje su kontinuirano inkubirane skidane su svakog meseca (kontinuirana serija, CiS), a drugi set ploča je uveden sukcesivno od jula do septembra i inkubiran samo do sledećeg

III MATERIJAL I METODE

uzorkovanja (mesečna serija, MiS), kako bismo napravili komparaciju između kontinuirano i mesečno inkubirane serije uzoraka.

Pri uzorkovanju podloga sa razvijenim perifitonom, nosač sa svake dubine je pažljivo izvучen na površinu i sa njega je skidana ploča sa 3 replike veštačkih podloga, predviđena za taj termin uzorkovanja. Ploče su pažljivo odlagane u prethodno pripremljene i obeležene plastične kontejnere u koje je dodavana česmenska voda kako se uzorak ne bi isušio. Kontejneri su odlagani u mobilni frižider u kome su u mraku i na temperaturi 4 ° C transportovani do laboratorije. Za slučaj otežanog skidanja ploča i za popravku nosača, nošen je osnovni alat (žica, šrafovi, klešta i slično), a popravke su rađene na licu mesta.

Potrebna oprema i materijal koji su nošeni na teren:

1. Secchi disk
2. Ruttner-ova ili Van-Dorn boca i litarske plastične boce za uzorke vode namenjene hemijskim i biološkim analizama vode
3. YSI 6600 V2 multiparameterska sonda ili YSI ProODO *Optical Dissolved Oxygen Instrument*
4. Mobilni frižider sa zamrznutim patronama
5. Set adekvatno obeleženih plastičnih kontejnera za odlaganje i transport ploča sa veštačkim supstratima
6. Balon sa česmenskom vodom
7. Terenska sveska, olovka i vodootporni flomaster
8. Osnovni alat za potrebe otežanog skidanja ploča i/ili opravku semplera - klešta, skalpel, kanap, šrafovi i sl.
9. U slučaju uzorkovanja i perifitona sa prirodnog supstrata, tj. kamena (studija na Savskom jezeru) nošeni su odgovarajući plastični flakoni zapremine 50 ili 100 ml, kadica, četkice, sterilne rukavice i 4% formalin ili Lugolov rastvor za konzerviranje uzorka.

III MATERIJAL I METODE

Uzorci se transportovani u laboratoriju u najkraćem mogućem roku.



Slika 14. Oprema za uzorkovanje i *in situ* merenje fizičkih i hemijskih parametara.

4 Fizička i hemijska analiza vode - laboratorijski protokol

Sva laboratorijska merenja fizičkih i hemijskih parametara vode u studiji na Savskom jezeru izvršena su u Institutu za javno zdravlje „Dr Milan Jovanović Batut”, dok su u studiji na jezeru Vrutci uzorci vode analizirani u laboratorijama Instituta za vodoprivredu „Jaroslav Černi”. U obe institucije, sve analize su urađene prema standardnim analitičkim protokolima (APHA 1995), u akreditovanim laboratorijama. Svi meteorološki podaci preuzeti su iz Sezonskih biltena i Meteoroloških godišnjaka Republičkog hidrometeorološkog zavoda (RHMZ 2015a, 2015b).

Koncentracija hlorofila *a* iz vode (fitoplankton) u studiji na Savskom jezeru određena je spektrofotometrijskom metodom prema ISO standard 10260 (1992), u laboratoriji Katedre za algologiju, mikologiju i lihenologiju, Instituta za botaniku i Botaničke bašte „Jeveremovac”, Biološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu.

4.1 Karlsonov indeks trofičnosti

Karlsonov indeks trofičnosti zapravo podrazumeva izračunavanje koje se bazira na tri osnovna indeksa koji se dobijaju na osnovu izmerenih vrednosti za providnost (TSI(SD)), koncentraciju hlorofila *a* u vodi (TSI(CHL)), i koncentraciju ukupnog fosfora (TSI(TP)) (Carlson 1977, Carlson i Simpson 1996). Izračunavanje se vrši na osnovu sledećih formula:

$$\text{TSI(SD)} = 60 - 14.41 \ln(\text{SD})$$

$$\text{TSI(CHL)} = 9.81 \ln(\text{CHL}) + 30.6$$

$$\text{TSI(TP)} = 14.42 \ln(\text{TP}) + 4.15$$

(U formulama, providnost (SD) mora biti izražena u metrima, koncentracija hlorofila *a* (CHL) u $\mu\text{g/l}$, a koncentraciju ukupnog fosfora (TP) u mg/m^3).

Na osnovu dobijenih vrednosti TSI indeksa uz pomoć tabele (Tabela 2), određuje se trofički status jezera.

III MATERIJAL I METODE

Tabela 2. Procena trofičkog statusa na osnovu Karsonovog trofičkog indeksa (preuzeto iz Carlson i Simpson 1996).

TSI	Chl ($\mu\text{g/L}$)	SD (m)	TP ($\mu\text{g/L}$)	Stanje	Vodosnabdevanje	Pecanje i rekreacija
< 30	< 0,95	> 8	< 6	Oligotrofno Bistra voda, kiseonik prisutan tokom cele godine u hipolimnionu	Voda je pogodna za vodosnabdevanje bez dodatnog filtriranja	Dominiraju salmonidne vrste riba
30-40	0,95-2,6	8-4	6-12	Hipolimnion u plićim jezerima može biti anoksičan		Salmonidne vrste samo u dubokim jezerima
40-50	2,6-7,3	4-2	12 -24	Mezotrofno Voda je umereno bistra, mogući nedostatak kiseonika u hipolimnionu tokom leta	Prisustvo gvožđa i mangana, miris i ukus se pogoršavaju; neophodna filtracija vode za potrebe vodosnabdevanja	Anoksija u hipolimnionu dovodi do nestanka salmonidnih vrsta
50-60	7,3-20	2-1	24-48	Eutrofno Anoksičan hipolimnion, moguć problematičan (masivan) razvoj makrofita		Grgeči mogu da dominiraju u zajednici riba
60-70	20-56	0,5-1	48-96	Cijanobakterije dominiraju, problemi sa makrofitama	Moguća pojava neprijatnog ukusa i mirisa	Velika biomasa makrofita i algi, kao i mala providnost vode izazivaju neprijatnosti; plivanje i veslanje onemogućeni
70-80	56-155	0,25-0,5	96-192	Hipereutrofno ograničena produktivnost, velika gustina algi i makrofita		
> 80	> 155	< 0,25	192-384	Masivno razviće algi, svega nekoliko makrofita		Izdržljive vrste riba dominiraju; moguće letnje uginuće riba

III MATERIJAL I METODE

Pored osnovna tri indeksa, konstruisani su i dodatni indeksi, kao što je TSI(TN) koji se određuje na osnovu koncentracije ukupnog azota (TN) na osnovu formule:

$$TSI(TN) = 54.45 + 14.43 \ln(TN)$$

(Vrednost za ukupan azot (TN) u formuli mora biti izražena u jedinicama mg/l.)

Drugi aspekt upotrebe Karlsonovog indeksa (osim procene trofičnosti) jesu i međusobni odnosi između varijabli (TSI), koji se mogu koristiti za identifikaciju određenih uslova u jezerima, odnosno akumulacijama (Tabela 3).

Tabela 3. Moguće interpretacije odnosa TSI indeksa (preuzeto iz Carlson i Simpson 1996).

Odnosi između varijabli (TSI)	Uslovi u jezeru/akumulaciji
$TSI(CHL) = TSI(TP) = TSI(SD)$	Algalna biomasa uzrokuje smanjenje providnosti; odnos TN/TP ~ 33:1
$TSI(CHL) > TSI(SD)$	Velike čestice, kao što su npr. ljustaste ili pahuljaste tvorevine kao što je <i>Aphanizomenon</i> spp., dominiraju u vodi
$TSI(TP) = TSI(SD) > TSI(CHL)$	Čestice ne-algalnog porekla ili obojene supstance u vodi smanjuju providnost
$TSI(SD) = TSI(CHL) > TSI(TP)$	Fosfor limitira razvoj algalne biomase (TN/TP > 33:1)
$TSI(TP) > TSI(CHL) = TSI(SD)$	Algalna biomasa je osnovni faktor koji određuje providnost, ali faktori kao što je ograničena dostupnost azota, ispaša zooplanktona ili toksičnost limitiraju razvoj algalne biomase.

5 Priprema uzoraka perifitona za taksonomske i netaksonomske analize - laboratorijski protokol

Po donošenju u laboratoriju, pristupili smo protokolu za pripremu uzoraka perifitona za taksonomske i netaksonomske analize. Kao netaksonomske karakteristike perifitona određivane su koncentracija hlorofila *a* (Chl *a*), suva masa (DM) i žarena masa (AFDM), a potom i Autotrofni i Lakatoš indeks. Kao taksonomske karakteristike analiziran je sastav cijanobakterija i algi u perifitonu, zatim brojnost (individua i ćelija po cm²) i biomasa, eko-morfološka funkcionalna klasifikacija detektovanih taksona, Šenonov indeks diverziteta i Pielou indeks ujednačenosti, kao i zajednica silikatnih algi u perifitonu, kroz diverzitet, brojnost i dijatome indekse.

Najpre su sa svake ploče, koja je nosila replike veštačkih podloga inkubiranih na jednoj od ispitivanih dubina, skalpelom pažljivo uklanjene pojedinačne pločice, tako da se biofilm na gornjoj površini pločica ne ošteti. Pločice su poređane na ravnoj površini i sa gornje površine svake pločice - veštačkog supstrata, razvijeni biofilm je sastrugan uz pomoć alata za struganje sa sečivom od nerđajućeg čelika i uzorak je suspendovan u 100 ml česmenske ili destilovane vode. Potom se pristupilo homogenizaciji suspenzije uz pomoć ručnog blendera, odnosno mešalice i homogenizovana suspenzija podeljena je na tri subuzorka (posle obrade svake pojedinačne replike, alat za struganje i blender su ispirani u 96% alkoholu i potom u destilovanoj vodi).

Subuzorci:

1. Subuzorak zapremine 40 ml bio je namenjen taksonomskoj analizi zajednice cijanobakterija i algi (kvalitativnoj i kvantitativnoj). Ovaj subuzorak je fiksiran u 4% formalinu (konačna koncentracija) i u prethodno obeleženom flakonu odložen do daljih analiza i pripreme trajnih preparata silikatnih algi. Ovaj subuzorak je i trajno skladišten u zbirci (mokra zbirka Katedre za algologiju, mikologiju i lihenologiju), pa mu je prema utvrđenom protokolu dodeljen broj i upisan je u svesku skladištenih uzoraka.
2. Subuzorak zapremine 30 ml korišćen je za analizu hlorofila *a* (Chl *a*)
3. Subuzorak zapremine 30 ml korišćen je za analizu suve mase (DM) i žarene mase (AFDM).

III MATERIJAL I METODE

Suspenzija i homogenizacija svakog uzorka vršena je u prethodno pripremljenim i obeleženim staklenim čašama zapremine 250 ml, a zapremina vode za suspenziju odmeravana je menzutom. Za odmeravanje subuzoraka korišćen je uvek drugi set menzura koje su ispirane alkoholom i destilovanom vodom između uzoraka. Za analizu Chl *a*, DM i AFDM subuzorci svih replika su obrađivani samostalno, dok su subuzorci replika namenjenih taksonomskim analizama spojeni (jedan subuzorak po tipu supstrata na jednoj dubini). Merenju koncentracije Chl *a* i proceduri za određivanje DM i AFDM pristupano je odmah po pripremi subuzoraka. Čitav protokol pripreme je obavljan u sterilnim rukavicama. Tokom pripreme uzoraka za dalju obradu sva zapažanja su upisivana u laboratorijsku svesku.

Laboratorijsko posuđe i materijal koji su potrebni za pripremu uzoraka perifitona za dalje analize:

1. Sterilne rukavice
2. Oštar skalpel
3. Plastični podmetači prethodno sterilisani alkoholom i isprani destilovanom vodom za odlaganje pločica po skidanju sa zajedničke ploče
4. Alat za struganje sa sečivom od nerđajućeg čelika i ručni blender, tj. mešalica
5. Staklene čaše zapremine 250 ml za suspendovanje i homogenizaciju svakog uzorka
6. Menzura za odmeravanje vode za suspendovanje i set menzura za odmeravanje subuzoraka
7. Plastični flakoni (prethodno adekvatno obeleženi) za odlaganje svakog odmerenog subuzorka
8. 35% formalin
9. Laboratorijska sveska, olovka i vodootporni flomaster.

6 Analiza netaksonomskih parametara perifitona

6.1 Hlorofil *a*

Analiza Chl *a* i feopigmenata u uzorcima perifitona urađena je prema modifikovanoj spektrofotometrijskoj metodi ISO 10260 (1992), a rezultati su obrađeni tako da je finalna koncentracija prikazana u miligramima po jedinici površine.

Postupak:

Subuzorak od 30 ml namenjen za analizu Chl *a* je najpre filtracijom koncentrisan na staklenim filterima marke Sartorius MGC tipa, veličine pora 1,2 μm uz pomoć Guč boce i odgovarajuće vakuum pumpe pod pritiskom <10 mm Hg kako bi se sprečilo razaranje ćelija i oslobađanje hloroplasta. Sa filtera su nakon koncentracije uzorka pažljivo sterilnom pincetom uklonjeni ostaci podloge ili larve beskičmenjaka, ukoliko ih je bilo. Sledeći korak bila je ekstrakcija pigmenata iz materijala sakupljenog na filterima, a koja se vrši u 25 ml 90% (v/v) etanola zagrejanog u vodenom kupatilu do tačke ključanja (78°C) u obeleženim staklenim sudovima sa šlifovanim zatvaračima. Filteri sa koncentrisanim uzorkom su uneti u odgovarajuće obeležen sud sa zagrejanim etanolom (transport se vrši sterilnom pincetom i izbegava se kontakt sa rukama, a obavezno se koriste sterilne rukavice) i filter je blago pritiskan sterilnim staklenim štapićem kako bi se povećala efikasnost procesa. Ekstrakcija je vršena u vodenom kupatilu u trajanju od oko 5 minuta, sa povremenim blagim mešanjem. Postupak ekstrakcije se vrši u staklenim sudovima sa šlifovanim zatvaračem, kako bi se sprečilo isparavanje etanola. Kada su se ekstrakti ohladili (oko 15 minuta), sledila je filtracija ekstrakta na čistim staklenim filterima marke Sartorius MGC tipa i isfiltriran ekstrakt je sakupljan u čiste, a prethodno obeležene staklene sudove sa šlifovanim zatvaračima. Između filtracija uzoraka u drugoj seriji filtriranja, svi elementi Guč boce ispirani su etanolom i osušeni pre naredne filtracije. Paralelno sa uzorcima pripremana je i slepa proba tj. blank, pri čemu je primenjivan isti postupak i korišćene su iste zapremine svih reagensa, ali bez uzorka.

III MATERIJAL I METODE

Apsorbanca ekstrakata je određivana spektrofotometrijski na talasnim dužinama 665 nm i 750 nm (A); za te potrebe korišćen je spektrofotometar Agilent Technologies Cary 60 UV-Vis i kvarcne kivete sa dužinom puta svetlosti od 1 cm i zapreminom 3 ml. Nakon prvog merenja apsorbance, svaki uzorak je zakišeljjen sa 3M HCl tako da na svakih 10 ml ekstrakta bude dodato 0,01 ml HCl. Dakle u 25 ml ekstrakta dodavano je 0,025 ml 3M HCl. Inkubacija je trajala 15-30 minuta i ponovo je merena apsorbanca na 665 nm i 750 nm (A_a). Kiveta je između uzoraka ispirana sa 90% etanolom. Blank je korišćen za kalibraciju aparata pre prve serije merenja, a potom je istovremeno sa uzorcima zakišeljjen i nakon perioda inkubacije, kao takav je korišćen za ponovnu kalibraciju aparata, prethodno drugoj seriji merenja. Dobijeni rezultati su beleženi u unapred pripremljenu tabelu (Tabela 4):

Tabela 4. Primer tabele za beleženje izmerenih apsorbanci.

Datum	Uzorak br.	A 665	A 750	A_a 665	A_a 750
20.07.2014.	S1-50				
20.07.2014.	S2-50				
20.07.2014.	S3-50				

Dobijeni rezultati spektrofotometrijskog očitavanja su potom uvedeni u formulu:

$$Chl a = \frac{(A - A_a)}{K_c} \times \frac{R}{R-1} \times \frac{10^3 \cdot V_e}{V_s \cdot d},$$

gde je:

$A = A_{665} - A_{750}$ - apsorbanca ekstrakta pre zakišeljavanja

$A_a = A_{665} - A_{750}$ - apsorbanca ekstrakta posle zakišeljavanja

V_e - zapremina ekstrakta u mililitrima (ml)

V_s - zapremina uzorka koji se filtrira u litrima (l)

III MATERIJAL I METODE

- $K_c = 82 \text{ l}/\mu\text{g cm}$ - specifični operacioni spektralni apsorpcioni koeficijent za hlorofil *a* (vrednost prema ISO 10260)
- $R = 1.7$ - odnos A/A_a za rastvor čistog hlorofila *a*, koji je transformisan u feofitin acidifikacijom (vrednost prema ISO 10260)
- d - dužina putanje optičke ćelije (u cm)
- 10^3 - dimenzioni faktor koji odgovara V_e .

Rezultati dobijeni ovom formulom predstavljaju koncentraciju Chl *a* u $\mu\text{g/l}$ korigovanu za feofitin - degradacioni produkt hlorofila, pa je bilo potrebno rezultate preračunati po jedinici površine na sledeći način:

$$\text{Chl } a \text{ (mg/uzorku tj. u 100ml)} = (\text{Chl } a \text{ (}\mu\text{g/l)/ 1000}) * (100/ 1000)$$

$$\text{Chl } a \text{ mg/m}^2 = \text{Chl } a \text{ (mg/uzorku tj. u 100ml) / 19,76 cm}^2 \text{ (površina pločice sa koje je skinut perifiton suspendovan u 100 ml vode) * 10 000.}$$

Skraćivanjem ovih formula dobija se pojednostavljena formula:

$$\text{Chl } a \text{ mg/m}^2 = \text{Chl } a \text{ (}\mu\text{g/l) / 19,76.}$$

Laboratorijsko posuđe, aparati i materijal potrebni za određivanje koncentracije Chl *a* u uzorcima perifitona:

1. Guč boca i Sartotius vakuum pumpa sa crevom za povezivanje

III MATERIJAL I METODE

2. Stakleni filteri Sartorius MGC tipa, veličine pora 1,2 μm
3. Vodeno kupatilo
4. Sterilni pribor - pincete, stakleni štapići, makaze, sterilne rukavice
5. Menzura za odmeravanje etanola
5. Stakleni sudovi odgovarajuće zapremine (50 ml) sa šlifovanim zatvaračima u dovoljnom broju i adekvatno obeleženi
6. Etanol 90% (v/v)
7. 3M HCl i pipeta
8. Spektrofotometar Agilent Technologies Cary 60 UV-Vis
9. Kvarcne kivete sa dužinom stranice od 1 cm
8. Tabela za unos očitavanja apsorbanci.

6.1.1 Stopa rasta Chl *a*

Stopa rasta Chl *a* u uzorcima perifitona inkubiranim u Savskom jezeru izračunata je prema formuli Ahn i saradnika (2013):

$$\mu \text{ (mg/m}^2\text{/dan)} = \ln (\text{X}_2/\text{X}_1) / (\text{T}_2 - \text{T}_1),$$

gde je:

μ - stopa rasta Chl *a* (mg/m²/dan),

X_2 - koncentracija Chl *a* (mg m⁻²) u uzorku perifitona u trenutku T_2 (na kraju vremenskog intervala inkubacije),

X_1 - početna koncentracija Chl *a* (mg m⁻²) u uzorku perifitona u trenutku T_1 (na početku vremenskog intervala inkubacije).

III MATERIJAL I METODE

Na osnovu ove formule, može se odrediti stopa rasta biomase (posredstvom Chl *a*) perifitona u svakom periodu između dva uzorkovanja, bez obzira što su uzorci kontinuirano inkubirani tokom osam nedelja (u Savskom jezeru).

6.2 Suva masa i žarena masa

Suva (DM) i žarena masa (AFDM) u uzorcima perifitona određivane su prema standardnim metodama za analizu voda i otpadnih voda (APHA 1995).

Postupak:

Subuzorak od 30 ml namenjen za analizu DM i AFDM je najpre koncentrisan na filterima marke Sartorius MGC tipa, veličine pora 1,2 μm (koji su prethodno bili izloženi procesu spaljivanja na 500° C u trajanju od sat vremena kako bi se sa filtera uklonila sva organska supstanca) uz pomoć Guč boce i odgovarajuće vakuum pumpe pod pritiskom. Zajedno sa uzorcima kroz čitavu proceduru prolazile su i 3 blank replike. Sledeći korak bio je sušenje filtera sa koncentrisanim uzorkom u sušnici na 105° C u trajanju od 24 sata, odnosno do konstantne težine. Za te potrebe napravljene su posudice od aluminijumske folije koje su adekvatno obeležene, da ne bismo izgubili trag uzorcima. Po otvaranju sušnice filteri su u svojim posudicama prebačeni u desikator, gde su se ohladili, a potom je pristupljeno merenju svakog filtera na analitičkoj vagi. Zajedno sa uzorcima kroz čitavu proceduru prolazile su i 3 blank replike. Rezultati merenja se upisivani u prethodno pripremljenu tabelu (Tabela 5). Posle prvog merenja, izmereni filteri su savijani tako da sadržaj ostane u unutrašnjosti i pakovani u omote od aluminijumske folije (adekvatno obeležene) i tako transportovani do peći za žarenje gde su postavljeni u keramičke posudice i izloženi temperaturi od 500° C u trajanju od sat vremena (žarenje). Posle žarenja, filteri su se ponovo hladili u desikatoru, nakon čega su mereni na analitičkoj vagi, a dobijeni rezultati se upisivani u unapred pripremljenu tabelu (Tabela 5). Čitava procedura se sprovodi u sterilnim rukavicama i uz pomoć sterilnih pinceta za transport i pakovanje filtera (ne diraju se rukama).

III MATERIJAL I METODE

Tabela 5. Primer tabele za beleženje izmerenih masa.

Datum	Uzorak br.	A 105° C/24h(g)	B - blank	C 500° C/1h (g)
20.07.2014.	S1-50			
20.07.2014.	S2-50			

Rezultati dobijeni merenjem su zatim uvedeni u sledeće formule, kako bi se izračunali DM i AFDM:

$$\text{DM g/l} = (A - B) * 1000 / \text{filtrirana zapremina uzorka, ml}$$

$$\text{AFDM, g/l} = (A - C) * 1000 / \text{filtrirana zapremina uzorka, ml,}$$

gde je:

A = težina filtera + uzorak posle sušenja na 105⁰C / 24h, g

B = težina filtera bez uzorka- blank, g

C = težina filtera + uzorak posle spaljivanja na 500⁰C / 1h, g

Filtrirana zapremina uzorka, ml = 30.

Rezultati dobijeni ovom formulom predstavljaju koncentraciju DM i AFDM u g/L, pa je bilo potrebno rezultate preračunati po jedinici površine na sledeći način:

$$\text{DM g/po uzorku tj. u 100ml} = \text{DM g/l} * 100/1000$$

$$\text{DM g/m}^2 = \text{DM g/100 ml} / 19,76 * 10000,$$

III MATERIJAL I METODE

$$\text{AFDM g/po uzorku tj. u 100ml} = \text{AFDM g/l} * 100/1000$$

$$\text{AFDM g/m}^2 = \text{AFDM g/100 ml} / 19,76 * 10000,$$

A skraćivanjem ovih formula dobijaju se pojednostavljene formule za izračunavanje DM i AFDM u g/m²:

$$\text{DM g/m}^2 = \text{DM g/l} * 1000 / 19,76$$

$$\text{AFDM g/m}^2 = \text{AFDM g/l} * 1000 / 19,76.$$

Posredstvom DM određujemo ukupnu biomasu perifitonske zajednice - i organsku i neorgansku, dok je AFDM mera za organsku komponentu, s obzirom da predstavlja deo biomase izgubljene oksidacijom tj. spaljivanjem DM u pećnici na temperaturi od 500° C.

Posredstvom iste formule kao za stopu rasta Chl *a*, samo unosom odgovarajućih vrednosti za DM i AFDM, mogu se izračunati i stope rasta za ova dva parametra biomase perifitona.

Laboratorijsko posuđe, aparati i materijal koji su potrebni za određivanje DM i AFDM u uzorcima perifitona:

1. Filteri Sartorius MGC tipa, veličine pora 1.2 µm koji su prethodno bili izloženi procesu spaljivanja na 500° C u trajanju od sat vremena kako bi se sa filtera uklonila sva organska supstanca
2. Sterilne rukavice i sterilne pincete
3. Aluminijska folija od koje se prave omoti za odlaganje i posudice za sušenje koji se adekvatno obeležavaju
4. Sušnica BINDER EC 53
5. Desikator sa desikantom
6. Peć za žarenje sa temperaturnim rasponom do 1000° C
7. Keramičke posudice za žarenje

8. Analitička vaga CHYO JK-200 (0,0001 g)

9. Tabela za unos izmerenih vrednosti masa na analitičkoj vagi.

6.3 Autotrofni indeks i Lakatoš indeks

Autotrofni indeks (AI) je određen prema standardnim metodama za analizu voda i otpadnih voda (APHA 1995). AI predstavlja odnos između organske i autotrofne komponente biomase perifitona, tačnije odnos između izmerenih vrednosti AFDM i Chl *a* u uzorcima perifitona. Vrednosti AI od 50-100 karakterišu dominantnost autotrofne komponente u zajednici perifitona, dok vrednosti veće od 400 ukazuju na preovlađivanje heterotrofne komponente u perifitonu (vrednosti 600-1000 i veće nedvosmisleno ukazuju na dominantnost heterotrofne komponente u perifitonu), što potencijalno ukazuje i na organsku opterećenost ekosistema (Collins i Weber 1978, Kilroy i sar. 2008). Formula za izračunavanje AI je sledeća:

$$AI = AFDM/Chl a,$$

i podrazumeva da AFDM i Chl *a* budu izraženi u istim jedinicama. Preporučuje se (Kilroy i sar. 2008) da se AI računa i smatra reprezentativnim isključivo ukoliko je izmerena vrednost AFDM > 2 g/m² (jer se u suprotnom dobijaju nerealno visoke vrednosti), kao i da se uvek razmotri sastav zajednice, jer ukoliko u zajednici preovlađuju silikatne alge i cijanobakterije koje proizvode velike količine sluzi dobijaju se nerealno visoke vrednosti AI i u uslovima bez organskog opterećenja ekosistema.

Lakatoš indeks (Lakatos 1989) je, za razliku od AI, opisnog karaktera i svrstava perifiton u nekoliko grupa, odnosno tipova na osnovu vrednosti za DM, % sadržaja pepela u DM (koji se određuje kao razlika između DM i AFDM ili oduzimanjem mase blank filtera od mase filtera sa uzorkom posle žarenja) i % Chl *a* u AFDM (Tabela 6).

Oba indeksa opisuju odnos autotrofne i heterotrofne komponente u perifitonu, posredno ukazujući na stepen organske opterećenosti ekosistema koji je direktno proporcionalan sa udelom heterotrofne komponente u perifitonskom obrastu.

III MATERIJAL I METODE

Tabela 6. Klasifikacija perifitona (preuzeto iz Lakatos 1989).

Tip	Suva masa (DM)	(g/m ²)
I	visok	>40
II	srednji	40-20
III	nizak	<20
Sadržaj pepela (AC)		(%)
I	neorganski	>75
II	neorgansko-organski	75-50
III	organsko-neorganski	50-25
IV	organski	<25
Sadržaj hlorofila- <i>a</i> (Chl <i>a</i>)		(%)
I	autotrofni	>0,60
II	auto-heterotrofni	0,25-0,60
III	hetero-autotrofni	0,10-0,25
IV	heterotrofni	<0,10

6.4 Analiza kristala kalcita

Kristali istaloženi na podlogama inkubiranim u jezeru Vrutci posmatrani su pod svetlosnim skening elektronskim mikroskopom. Njihova morfologija i hemijski sastav kristala su određeni SEM-EDS analizom korišćenjem JSM-6610LV SEM vezanog za X-Max energetska disperzivni spektrometar. Uzorci su prekriveni zlatom, uz pomoć uređaja BALTEC-SCD-005 i snimani u uslovima visokog vakuuma.

Za rendgensku difrakciju uzorka u prahu (X-ray powder diffraction - XRPD) korišćen je Rigaku SmartLab automatski X-ray difraktometar u rasponu od 3-70°2θ, sa brzinom skeniranja 5 °/min, korišćenjem X-ray CuKα zračenja (40 kV, 30 mA) i D/teX Ultra 250 strip detektora (1D mod). Rezultati su procesuirani u PDXL 2.0 softveru sa ICDDPDF 2016 bazom podataka.

Sve analize su izvršene u laboratoriji za skenirajuću elektronsku mikroskopiju Rudarsko geološkog fakulteta (SEMLAB), Univerziteta u Beogradu.

7 Analiza taksonomskih parametara perifitona

U okviru taksonomskih parametara analizirani su kvalitativni i kvantitativni sastav cijanobakterija i algi u perifitonu, kao i samo silikatnih algi sa ciljem određivanja dijatomnih indeksa. Rezultati kvantitativne analize cijanobakterija i algi su upotrebljeni za određivanje biozapremine na osnovu geometrijskih aproksimacija, a kasnije i biomase. Na osnovu rezultata kvantitativne analize cijanobakterija i algi izvršena je eko-morfološka funkcionalna klasifikacija detektovanih taksona. Na osnovu kvantitativne analize cele zajednice određeni su i Šenonov indeks diverziteta i Pielou indeks ujednačenosti (ekvitabilnost).

7.1 Kvalitativna i kvantitativna analiza kompletne zajednice cijanobakterija i algi u uzorcima perifitona

7.1.1 Kvalitativna analiza perifitona

Za potrebe kvalitativne analize perifitona pravljani su privremeni preparati, sa kojih su dobijene mikrografije cijanobakterija i algi uz pomoć Carl Zeiss AxioImager.M1 mikroskopa sa digitalnom kamerom AxioCam MRc5 i softverom AxioVision 4.8 (Slika 15). Postupak je ponavljan najmanje tri puta sa jednim uzorkom kako bi se identifikovali svi prisutni taksoni. Za identifikaciju taksona cijanobakterija i algi, korišćene su mikrografije taksona sa kojih su uz pomoć softvera AxioVision 4.8 precizno određene dimenzije jedinki i pojedinačnih ćelija. Identifikacija taksona cijanobakterija i algi izvršena je prema standardnoj literaturi (Starmach 1974, 1983, 1985, Ettl 1978, 1983, Ružička 1981, Huber-Pestalozzi i sar. 1983, Kadlubowska 1984, Mrozińska 1985, Ettl i Gärtner 1988, Popovský i Pfiester 1990, Lenzenweger 1996, 1997, 1999, Komárek i Anagnostidis 1998, 2005, John i sar. 2002, Wolowski i Hindak 2005, Coesel i Meesters 2007, Komárek 2013). Po izvršenoj identifikaciji, taksoni su razvrstavani u razdele prema Reynolds-u (2006), a spiskovi identifikovanih taksona su oformljeni prema ažuriranim informacijama u bazi podataka AlgaeBase (Guiry i Guiry 2018). Sve mikrografije identifikovanih taksona cijanobakterija i algi čuvaju se u

III MATERIJAL I METODE

fototeci Katedre za algologiju, mikologiju i lihenologiju, Biološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, pod brojevima od 50 001 do 54 000.



Slika 15. Carl Zeiss AxioImager.M1 mikroskop sa digitalnom kamerom AxioCam MRc5.

Laboratorijska oprema i materijal potreban za kvalitativnu analizu perifitona:

1. Carl Zeiss AxioImager.M1 mikroskop sa digitalnom kamerom AxioCam MRc5 i softverom AxioVision 4.8
2. Standardna literatura za identifikaciju algi.

7.1.2 Kvantitativna analiza perifitona

Kvantitativna analiza perifitona izvršena je sedimentacionom tehnikom prema metodi po Utermöhl-u (Utermöhl 1958), odnosno prema standardu EN 15204 (2006). Sedimentacija uzoraka vršena je uz pomoć sedimentacionih komorica Hydrobios[®], a zapremina za taloženje je procenjivana prema vrednostima prethodno izmerenog Chl *a* i uglavnom je varirala od 0,3 do 2 ml. Prethodno nalivanju u komoricu, uzorak je homogenizovan blagim pokretima ruke, a zapremina je odmeravana automatskom pipetom. Period za taloženje uzorka bio je u proseku 2-12h (zavisno od zapremine), nakon čega je pristupano prebrojavanju taksona cijanobakterija i algi u ¼ komorice, praćenjem uzdužnih transekata, uz pomoć invertnog mikroskopa Leica DMIL. U

III MATERIJAL I METODE

laboratorijskoj svesci uvek je beležen radni naziv i broj uzorka, zapremina koju smo taložili, površina na kojoj brojimo, kao i sami rezultati brojanja. Brojanjem ¼ komorice uglavnom se ispunjava uslov da se izbroji najmanje 100 jedinki najzastupljenije vrste, odnosno minimum 500 jedinki svih zastupljenih taksona, kako bi se postigla statistički prihvatljiva procena; ukoliko to nije bio slučaj, taksoni su brojani u 2 ili 3 četvrtine ili čak na celoj površini dna komorice kako bi se ovaj ispunio uslov. Ukoliko je brojanje na površini ¼ komorice zadovoljilo sve uslove, uvek je svakako pregledavana cela komorica, u slučaju da se u četvrtini koju smo izbrojali nisu pojavili svi istaloženi taksoni, što se takođe beležilo u laboratorijsku svesku uz napomenu se da su (ukoliko ih ima) ti taksoni izbrojani na celoj površini dna komorice.

Po završenom brojanju, u laboratorijskoj svesci je preračunat broj jedinki i broj ćelija svakog izbrojanog taksona u istaloženom delu uzorka i na obrađenoj površini dna komorice, a potom su dobijene vrednosti unete u sledeću formulu kako bi se dobio broj jedinki i ćelija po jedinici površine supstrata:

$$\text{broj jedinki / cm}^2 = (A*4*100/B)/19.76$$

$$\text{broj ćelija / cm}^2 = (A*4*100/B)/19.76,$$

gde je:

A - broj jedinki/ćelija u istaloženom delu uzorka

Sa 4 množimo u idealnom slučaju, kada smo taksone brojali u ¼ komorice i ovaj broj je promenljiv u zavisnosti od površine dna komorice na kojoj su brojani taksoni

Sa 100 množimo da bismo dobili brojnost u osnovnom uzorku od 100 ml

B - zapremina subuzorka koja je taložena u ml

Sa 19,76 delimo da bismo dobili brojnost po cm², jer je to površina pločice sa koje je perifitonski biofilm sastrugan i suspendovan u 100 ml vode u osnovnom uzorku.

Potrebno je voditi računa o prilagođavanju ovih formula za svaki uzorak, pa i u okviru istog uzorka ukoliko su neki taksoni brojani na čitavoj površini dna komorice. Rezultati dobijeni preračunavanjem uneti su u finalnu tabelu (Microsoft Excel 2010) koja se pravi po šablonu i predviđa kasniji račun biozapremine (Tabela 7).

III MATERIJAL I METODE

Tabela 7. Primer finalne tabele.

H6		f _x		=0.381*G6				
	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2								
3						Cyanobacteria		
4						Aphanocapsa delicatissima		
5	Broj uzorka	Radni naziv	profil	datum	dubina	ind cm2	cell cm2	biomasa $\mu\text{m}^3/\text{cm}^2$
6	5425	Jul-15	Vodozahvat	22-Jul-15	1	40.48582996	961.5385	366.3461538
7	5426		Vodozahvat	22-Jul-15	5.5	10.12145749	102.4439	39.03112656
8	5427		Vodozahvat	22-Jul-15	8	0	0	0
9	5428		Vodozahvat	22-Jul-15	12	0	0	0

U finalnoj tabeli prvih pet kolona bile su namenjene unosu broja uzorka, radnog naziva, profila/tipa podloge (ukoliko se koristi više podloga), datuma i dubine uzorkovanja, a kasnije su kolone popunjavane brojem jedinki i ćelija po cm^2 za svaki uzorak i za svaki takson. Svi taksoni su popisani u okviru razdela u četvrtom redu tabele, u trećem redu su popisani razdeli, a svakom taksonu dodeljene su tri podkolone u petom redu - broj jedinki/ cm^2 , broj ćelija/ cm^2 i biozapremina u $\mu\text{m}^3/\text{cm}^2$ koja se naknadno popunjava.

Laboratorijska oprema i material potreban za kvantitativnu analizu perifitona

1. Hydrobios[®] sedimentacione komorice i automatska pipeta
2. Invertni mikroskop Leica DMIL
3. Laboratorijska sveska.

7.1.3 Izračunavanje biozapremine i biomase perifitona

Biozapreminu cijanobakterija i algi u perifitonu izračunavamo na osnovu geometrijskih aproksimacija prema Hillebrand-u i saradnicima (1999), pri čemu oblik ćelije svakog taksona algi aproksimiramo sa geometrijskim telom, a potom koristimo formule za izračunavanje zapremine geometrijskih tela u funkciji izračunavanja biozapremine ćelija algi. Da bi dobijeni rezultati bili reprezentativni, merene su dimenzije (dužina, širina, visina, prečnik u μm) najmanje 25 individua svakog taksona da bismo dobili medijalnu vrednost svake dimenzije koju smo potom koristili u

III MATERIJAL I METODE

jednačini za izračunavanje biozapremine jedne ćelije datog taksona (Hillebrand i sar. 1999). Imena svih taksona, oblik i dimenzije kao i odgovarajuće jednačine uneli smo u Microsoft Excel 2010 tabelu, tako da automatski dobijamo vrednosti biozapremine pojedinačnih ćelija svakog taksona. Kada smo dobili vrednosti za biozapreminu jedne ćelije taksona u μm^3 , uneli smo ih u odgovarajuću kolonu integralne tabele (Tabela 5) za svaki takson u podkolonu biozapremina $\mu\text{m}^3/\text{cm}^2$ i uveli u formulu:

$$\text{biozapremina } \mu\text{m}^3/\text{cm}^2 = \text{biozapreminu jedne ćelije taksona u } \mu\text{m}^3 * \text{ broj ćelija}/\text{cm}^2$$

i na taj način smo u podkoloni biozapremina $\mu\text{m}^3/\text{cm}^2$ dobili konačne vrednosti za biozapreminu svakog pojedinačnog taksona u uzorku. Dobijene vrednosti za biozapreminu u $\mu\text{m}^3/\text{cm}^2$ prostim pretvaranjem jedinica pretvorili smo u biomasu (mg ili μg) po jedinici površine, podrazumevajući da je gustina ćelijskog sadržaja jednaka gustini vode, tj. da je $\mu\text{m}^3 = 10^{-12}$ grama.

7.1.4 Ekološka i morfološka funkcionalna klasifikacija - ekološke grupe i životne forme

Ekološka i morfološka funkcionalna klasifikacija taksona detektovanih u kvantitativnoj analizi celokupne zajednice izvršena je na osnovu broja individua po jedinici površine, pri čemu su kolonijalni i filametnozni predstavnici smatrani jednom individuum (DeNicola i sar. 2006). Ukupno sedam eko-morfoloških funkcionalnih grupa je definisano na osnovu životnih formi iz literarnih podataka i tipični predstavnici cijanobakterija i algi za svaku grupu predstavljani su u Tabeli 8.

Predstavnici silikatnih algi raspoređeni su u 3 ekološke grupe: planktonske, nizak profil, visok profil i pokretne, a prema Passy (2007), Passy i Larson (2011), Rimet i Bouchez (2011), Rimet i Bouchez (2012) i Gottschalk i Kahlert (2012).

Pripadnici ostalih (svih osim silikatnih algi) raspoređeni su grupe prema životnim formama: jednoćelijski i kolonijalni predstavnici, filamentozne zelene alge i filamentozne cijanobakterije, prema DeNicola i saradnicima (2006).

III MATERIJAL I METODE

Tabela 8. Ekološka i morfološka funkcionalna klasifikacija taksona cijanobakterija i algi - životne forme i ekološke grupe.

Ekološka i morfološka funkcionalna klasifikacija (7 grupa)	Tipični predstavnici (rodovi)
Životne forme taksona cijanobakterija i algi, izuzev silikatnih algi (DeNicola i sar. 2006)	Jednoćelijski i kolonijalni predstavnici <i>Aphanocapsa, Merismopedia, Snowella, Woronichinia, Phacotus, Scenedesmus, Pediastrum, Eutetramorus, Sphaerocystis, Cosmarium, Closterium</i> i sl. Ovoj grupi su priključeni i odgovarajući pripadnici razdela Chrysophyta i Dinophyta.
	Filamentozne zelene alge <i>Mougeotia, Oedogonium, Spirogyra, Zygnema, Cladophora</i> i sl.
	Filamentozne cijanobakterije <i>Pseudanabaena, Geitlerinema, Leptolyngbia, Oscillatoria, Phormidium</i> i sl.
Ekološke grupe silikatnih algi (Passy 2007, Passy i Larson 2011, Rimet & Bouchez 2012 i Gottschalk i Kahlert 2012)	Planktonske <i>Cyclotella, Pantocsekiella, Discostella, Aulacoseira, Asterionella, Lindavia, Stephanodiscus</i> i sl.
	Nizak profil <i>Achnanthidium, Encyonopsis, Cymbella, Amphora, Cocconeis, Encyonema</i> i sl.
	Visok profil <i>Fragilaria, Gomphonema, Diatoma, Melosira, Staurosira</i> i sl.
	Pokretne <i>Navicula, Nitzschia, Brachysira, Craticula, Denticula, Eolimna, Fallacia, Fistulifera, Gyrosigma, Mayamaea, Sellaphora, Surirella</i> i sl.

7.1.5 Izračunavanje Šenonovog indeksa diverziteta i Pielou indeksa ujednačenosti (ekvitabilnosti)

Šenonov indeks diverziteta (H) i Pielou indeks ujednačenosti izračunati su prema standardnim formulama (Shannon i Weaver 1949 i Pielou 1969, citirano u Magurran 1988).

Šenonov indeks diverziteta izračunat je na osnovu brojnosti i ujednačenosti prisutnih vrsta. U jednačini za izračunavanje Šenonovog indeksa računa se udeo jedinki vrste i u odnosu na ukupan broj jedinki svih vrsta (p_i) koji se potom množi sa prirodnim logaritmom ovog udela ($\ln p_i$), a konačan rezultat je suma ovih proizvoda svih vrsta, koja se množi sa -1:

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

gde je:

H - Šenonov indeks diverziteta

p_i - odnos (n/N) jedinki jedne vrste i -te i ukupnog broja jedinki (svih vrsta)

S - ukupan broj detektovanih vrsta.

Vrednosti Šenonovog indeksa uglavnom variraju između 1,5 i 3,5, a samo retko prevazilaze vrednost od 4,5 (Margalef 1972, citirano u Magurran 1988). Vrednosti Šenonovog indeksa rastu prvenstveno sa porastom raznovrsnosti, ali na vrednost indeksa utiče i ujednačenost. S obzirom da se ovaj indeks zasniva na obe pomenute komponente (raznovrsnost i ujednačenost), to se može posmatrati kao njegova prednost ili nedostatak. Prednost je u tome što ovakav indeks pruža jednostavan pregled diverziteta zajednice, a nedostatak da je na osnovu njega teško porediti zajednice koje se značajno razlikuju u samo jednom od parametara na kojima se indeks zasniva (raznovrsnosti ili ujednačenosti). Zbog objedinjenih informacija o raznovrsnosti i ujednačenosti u Šenonovom indeksu i potrebe da se ove dve matrice razvoje, pristupa se izračunavanju Pielou indeksa ujednačenosti.

Pielou indeks ujednačenosti (E_n) predstavlja odnos H i H_{\max} (gde je $H_{\max} = \ln S$). Jednakost obuhvata vrednosti između 0 i 1, gde 1 označava potpunu ujednačenost vrsta,

III MATERIJAL I METODE

odnosno ukazuje da su sve vrste podjednako zastupljene, dok bi vrednosti bliske nuli ukazivale na neujednačen raspored jedinki u okviru detektovanih taksona i na dominantnu poziciju jedne ili nekoliko vrsta u zajednici (Pielou 1969, citirano u Magurran 1988). Pielou indeks ujednačenosti računa se posredstvom sledeće formule:

$$E_h = H/H_{\max} (H_{\max} = \ln S),$$

gde je:

E_h - Pielou indeks jednakosti

H- Šenonov indeks diverziteta

S- ukupan broj detektovanih vrsta (raznovrsnost - *richness*)

H_{\max} -hipotetički maksimalna vrednost Šenonovog indeksa (prirodni logaritam od S).

7.2 Kvalitativna i kvantitativna analiza silikatnih algi u uzorcima perifitona

Da bi se u uzorcima perifitona taksonomski analizirale silikatne alge, bilo je potrebno najpre adekvatno pripremiti uzorke i napraviti trajne preparate. Potom je svaki uzorak (trajni preparat) kvantitativno obrađen tako što je brojano najmanje 400 valvi na trajnom preparatu. Dobijeni rezultati kvantitativne analize silikatnih algi uneti su u softver OMNIDIA, a kao rezultat dobijene su vrednosti za 17 dijatomnih indeksa na osnovu kojih se može doneti zaključak o kvalitetu vode.

7.2.1 Priprema uzoraka za izradu trajnih preparata silikatnih algi

Priprema uzoraka perifitona za izradu trajnih preparata podrazumeva primenu jakog oksidativnog sredstva kako bi se iz uzorka uklonio sav organski materijal (tzv. spaljivanje) i obavljena je uz pomoć vrele hlorovodonične kiseline (HCl) i prezasićenog

III MATERIJAL I METODE

rastvora kalijum permanganata (KMnO_4) po metodi koju su opisali Taylor i saradnici (2005).

Postupak:

U obeležene epruvete najpre je odmeravano po 1 ml istaloženog subuzorka od 40 ml koji je namenjen za taksonomsku analizu. U epruvetu je dodavan 1 ml prezasićenog rastvora KMnO_4 i uzorci su inkubirani na sobnoj temperaturi narednih 24h. Sledeći korak bilo je dodavanje 2 ml 37% HCl (najpre se doda par kapi, a potom ukupna zapremina jer reakcija može biti burna). Po dodavanju HCl uzorci su unošeni u vodeno kupatilo i zagrevani na srednjoj temperaturi 45 min ili duže, do postizanja bistrog sadržaja žućkaste boje u epruvetama. Čitav proces je obavljan u digestoru, zbog isparavanja HCl. Kada je željena boja sadržaja bila postignuta, epruvete su iznošene iz vodenog kupatila. Kada su se ohladile u svaku epruvetu je dodavano po 1 ml vodonik peroksida kako bismo bili sigurni da je proces oksidacije bio uspešan i potpun. Zatim je deo sadržaja iz epruveta pažljivo odlivan (da se talog ne poremeti) tako da u epruvetama ostane oko 1 cm materijala (kada se posmatra visina tečnosti u epruveti). Potom je u adekvatno obeležene kivete za centrifugiranje (sa zatvaračem) prebacivan sadržaj epruveta tako da se i talog prelije (uz pomoć Pasterovih pipeta), kivete su dopunjene destilovanom vodom do maksimalne zapremine i centrifugirane 7 min na 2500 rpm. U sledećem koraku je najpre pažljivo odstranjivan supernatant (uz pomoć Pasterovih pipeta) kako se talog ne bi poremetio, a kivete su ponovo dopunjavane destilovanom vodom do maksimalne zapremine i ponavljao se postupak centrifugiranja. Postupak naizmeničnog odlivanja supernatanta, ispiranja vodom i centrifugiranja je ponavljan najmanje 4 puta, odnosno do postizanja pH vrednost oko 6 u supernatantu. Kada je željena pH vrednost postignuta, supernatant je odliven, a talog sa zaostalim supernatantom je prebačen u prethodno adekvatno obeležene ependorf tubice. Time je materijal za izradu trajnih preparata silikatnih algi pripremljen. Pošto su preparati uspešno napravljeni, u ependorf tubice je dodato kap-dve glicerina kako bi se uzorci konzervirali i takvi uzorci odloženi su u zbirci uzoraka (mokra zbirka uzoraka Katedre za algologiju, mikologiju i lihenologiju). U slučaju potrebe za ponovnim pravljenjem trajnih preparata, potrebno je odstraniti glicerol tako što se sadržaj ependorf tubica prebacuje uz pomoć Pasterove pipete u kivete za centrifugiranje koje se dopunjuju

III MATERIJAL I METODE

vodom i centrifugiraju 7 min na 2500rpm; postupak se ponavlja dva puta kako bi se glicerin potpuno odstranio i dobio vodeni rastvor sa ćelijskim zidovima silikatnih algi pogodan za pravljenje preparata.

Potrebno laboratorijsko posuđe, reagensi i aparati:

1. Prezasićen rastvor kalijum permaganata KMnO_4
2. Hlorovodonična kiselina (37%)
3. Vodonik peroksid
4. Lakmus papir
5. Glicerin
6. Destilovana voda
7. Automatska pipeta i nastavci
8. Epruvete (staklene ili plastične, zapremine 10 ml) i stalak za epruvete
9. Kivete sa zatvaračem za centrifugiranje
10. Vodeno kupatilo
11. Centrifuga Hettich zentrifugen Universal 32 R
12. Pasterove pipete
13. Ependorf tubice
14. Osnovna laboratorijska sigurnosna oprema (rukavice, laboratorijski mantil, zaštitne naočare, digestor).

7.2.2 Izrada trajnih preparata silikatnih algi

Pošto su uzorci adekvatno pripremljeni, pristupljeno je izradi trajnih preparata silikatnih algi.

Postupak je sledeći:

Najpre se predmetno staklo obeležava brojem uzorka čiji preparat pravimo, a potom se dva pokrovna stakalca polože na metalnu ploču na stalku; otvorimo odgovarajuću ependorf tubicu i Pasterovom pipetom uzimamo mali deo sadržaja i nanosimo po jednu kap na oba pokrovna stakalca. Na pokrovna stakalca potom dodamo još kap-dve destilovane vode kako bi se sadržaj ravnomerno rasporedio po stakalcima i

III MATERIJAL I METODE

potom ispod metalne ploče na stalku pozicioniramo upaljenu špiritusnu lampu (vodi se računa da temperature bude umerena, tj. da voda na stakalcima ne ključa). Sačekamo da voda ispari, potom uklanjamo špiritusnu lampu i pažljivo prenosimo pokrovno stakalce sa osušenim sadržajem naličjem na predmetno staklo i stavljamo pod svetlosni mikroskop na uveličanje 400x, gde je očekivano da u jednom vidnom polju izbrojimo oko 30 valvi (kako bismo kasnije na uveličanju 1000x mogli da računamo na oko 15 valvi po vidnom polju). Ovo je korak optimizacije količine uzorka koji nanosimo na pokrovno stakalce (da li treba povećati ili smanjiti količinu kako bi uzorak bio pregledan i reprezentativan). Ukoliko je uslov zapažanjem pod svetlosnim mikroskopom ispunjen, nanosimo na toplo predmetno staklo (prethodno zagrejano na metalnom stočiću uz pomoć špiritusne lampe) staklenim štapićem tanak sloj refraktivne smole Naphrax[®] i pažljivo uz pomoć pincete licem nanosimo pokrovno stakalce na smolu (ukoliko se slučajno desi da prilikom transporta pokrovno stakalce ispadne postupak se mora ponoviti ispočetka) i uz pomoć špiritusne lampe lagano zagrevamo predmetno staklo dok se Naphrax[®] ne raširi i počne da stvara mehuriće (čitav postupak se obavlja na metalnoj ploči na stalku). Potom je potrebno predmetno staklo skinuti sa metalne ploče i blagim ravnomernim pritiskanjem (pomoću tupog i na toplotu otpornog oruđa, kakve su gumice za brisanje na distalnom kraju grafitnih olovaka) površine pokrovnog stakalca izbaciti mehuriće vazduha i višak smole kako bi preparat bio tanak i ujednačen; na svakom predmetnom stakalcu postupak se ponavlja za dva pokrovnostakalca, odnosno preparat se pravi u duplikatu. Pošto je preparat napravljen, ponovo se proverava gustina valvi pod svetlosnim mikroskopom na uveličanju 400x i pošto se ustanovi da je uspešno napravljan, preparat se odlaže u mapu gde se suši narednih desetak dana do 2 nedelje. Kada je smola potpuno suva, preparati se očiste, odnosno skalpelom se odstranjuje višak smole oko preparata kako se ne bi oštetilo sočivo pri mikroskopiranju i preparati se odlažu u obeležene kutije, spremni za mikroskopiranje.

Gotovi i adekvatno obeleženi trajni preparati silikatnih algi odloženi su u zbirci preparata Katedre za algologiju, mikologiju i lihenologiju Biološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu.

III MATERIJAL I METODE

Materijal potreban za izradu trajnih preparata silikatnih algi:

1. Metalna ploča na stalku, špiriturna lampa, pinceta, olovka sa tupom gumicom otpornom na toplotu
2. Predmetna i pokrovna stakalca, stakleni štapić, pasterove pipete
3. Visoko refraktivna smola za pravljenje preparata silikatnih algi Naphrax[®]
4. Staklena čaša sa destilovanom vodom
5. Svetlosni mikroskop
6. Mape za sušenje preparata
7. Skalpel
8. Kutije za odlaganje očišćenih preparata
9. Osnovna laboratorijska sigurnosna oprema (rukavice, laboratorijski mantil, obavezno pokupiti kosu i zavrnuti rukave jer se radi sa otvorenim plamenom).

7.2.3 Kvalitativna i kvantitativna analiza silikatnih algi

Pripremljeni trajni preparati silikatnih algi dalje su analizirani uz pomoć Carl Zeiss AxioImager.M1 mikroskopa sa digitalnom kamerom AxioCam MRc5 i softverom AxioVision 4.8. Trajni preparati su posmatrani uz pomoć imerzionog ulja na uveličanju od najmanje 1000x. Da bi se obuhvatio kompletan diverzitet, preparati su kompletno pregledani duž uzdužnih transekata. Pri tom je odabiran bolji od dva napravljena preparata na jednom predmetnom stakalcu i odabir je beležen u laboratorijsku svesku. Napravljene mikrografije služile su za postupak identifikacije silikatnih algi. Pažljivim merenjem i posmatranjem odabranih mikrografija, uz pomoć standardne literature i naučnih publikacija (Krammer i Lange-Bertalot 1986, 1988, 1991, 2004, Lange-Bertalot i Metzeltin 1996, Krammer 1997a, 1997b, 2000, 2002, 2003, Reichardt 1997, 1999, 2001, Lange-Bertalot 2001, Wojtal 2001, 2004, Cox 2003, Werum, i Lange-Bertalot 2004, Van de Vijver i sar. 2004, Metzeltin i sar. 2005, Taylor i sar. 2007, Levkov 2009, Spaulding i sar. 2010, Kociolek 2012, Hofmann i sar. 2013, Levkov i sar. 2013, 2016a, 2016b, Lowe i sar. 2014) izvršena je identifikacija silikatnih algi.

Po izvršenoj identifikaciji, pristupljeno je kvantitativnoj proceni zastupljenosti identifikovanih taksona na trajnim prepratima svih uzoraka, tako što je na svakom

preparatu prebrojano najmanje 400 valvi duž transekata, a rezultati brojanja zabeleženi su u laboratorijsku svesku.

7.2.4 Dijatomni indeksi

Rezultati dobijeni kvantitativnom obradom preparata silikatnih algi uneti su u softverski paket OMNIDIA 6.2 (Lecoite i sar. 1993), gde je svakom identifikovanom taksonu dodeljena odgovarajuća indikatorska vrednost i izračunato je 18 dijatomnih indeksa (Tabela 9) na osnovu kojih se može proceniti kvalitet vode.

Većina dijatomnih indeksa koje OMNIDIA računa u osnovi ima formulu Zelinka, Marvan i Kubiček-a (1959):

$$X_i = \frac{\sum_{i=1}^n h_i \cdot G_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n h_i \cdot G_i}$$

X_i - vrednost saprobne valence za dati saprobni stupanj

h - relativna brojnost taksona;

G_i - indikatorska težina taksona (1-5)

x_i - deo saprobne valence za dati saprobni stupanj.

Tabela 9. Dijatomni indeksi (preuzeto sa OMNIDIA oficijalnog sajta, <http://omnidia.fr/en/features/>).

Skraćenica	Pun naziv indeksa
IBD	Biological Diatom Index (BDI)
IPS	Pollution Sensitivity Index, Cemagref and Omnidia (1982-91)
IDG	Generic Diatom Index, Coste in Rumeau & Coste (1982-88)
Descy	Descy index (1979)

III MATERIJAL I METODE

Sla.	Sladeczek Saprobic Index (1986)
IDSE	IDSE Leclercq (2008)
IDAP	Indice Diatomique Artois Picardie, Prygiel i sar. (1996)
EPI-D	Indice diatomico di eutrofizzazione/polluzione, Dell'Uomo (2004)
Lobo	Trophic-Saprobic index, Lobo i sar. (2004)
Rott TI	Rott i sar. Trophic index (1999)
Rott SI	Rott i sar. Saprobic index (1997)
TDIL	Stenger-Kovács & Padisák Trophic Diatom Index for Lakes (2007)
CEE	Groupes Indice CEE, Descy & Coste (1991)
WAT	Watanabe (1982-1990)
TDI	Trophic Diatom Index, Kelly (2009)
PDI	Pampean Diatom Index, Gomez & Licursi (2001/2014)
SHE	Steinberg & Schiefele (1988)
Hurl. DI-CH	Hurlimann trophic index (2002)

Posredstvom dijatomnih indeksa, tj. granica klasa utvrđenih za svaki dijatomni indeks, može se utvrditi kvalitet vode. Kako bi postupak poređenja između dijatomnih indeksa bio efikasniji, u OMNIDIA-i su vrednosti svih indeksa aproksimirane tako da se kreću od 1-20. Granične vrednosti koje određuju različite klase kvaliteta vode za sve indekse posmatrane su tako da odgovaraju klasifikaciji vode određenoj na osnovu IBD indeksa (Prygiel i Coste 2000), a na sledeći način:

<5	veoma loš kvalitet vode
≥5 - <9	loš kvalitet vode
≥9 - <13	srednji kvalitet vode
≥13 - <17	dobar kvalitet vode
≥17 - 20	veoma dobar kvalitet vode

Izuzetak od ovog pravila je jedino TDI - Trofički dijatomni indeks, koji ukazuje na opterećenost ekosistema nutrijentima (azot i fosfor). Klasifikacija kvaliteta vode (tj.

III MATERIJAL I METODE

opterećenosti vodnog tela nutrijentima) na osnovu ovog indeksa vrši se po jedinstvenoj skali (granicama klasa):

0 - 19,99	veoma niska koncentracija nutrijenata	veoma dobar kvalitet vode
20 - 39,99	niska koncentracija nutrijenata	dobar kvalitet vode
40 - 59,99	umerena koncentracija nutrijenata	srednji kvalitet vode
60 - 79,99	povišena koncentracija nutrijenata	loš kvalitet vode
80 - 100	veoma visoka koncentracija nutrijenata.	veoma loš kvalitet vode

Ipak, u OMNIDIA 6.2 softveru, vrednosti i ovog indeksa adaptirane su na skalu od 1-20, pa se i granice klasa interpretiraju kao i za ostale indekse.

Prema klasifikaciji vodenih ekosistema u Srbiji (Sl. glasnik RS 96/10), Savsko jezero pripada akumulacijama formiranim na vodnim telima tipa 2, dok jezero Vrutci pripada akumulacijama formiranim na vodnim telima tipa 4. Za procenu ekološkog potencijala ovih ekosistema na osnovu fitobentosa, prema Pravilniku o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda (Sl. glasnik RS 74/11) koristi se samo IPS dijatomni indeks. IPS (originalni naziv na francuskom *Indice de Polluo-Sensibilité Spécifique*) je jedan od najčešće korišćenih dijatomnih indeksa (Trábert i sar. 2017). Vrednosti IPS dijatomnog indeksa za akumulacije formirane na vodnim telima tipa 2 i tipa 4, prema gore pomenutom Pravilniku, na osnovu kojih se ispitivane akumulacije svrstavaju u odgovarajuću klasu ekološkog potencijala, prikazani su u Tabeli 10.

7.2.5 Skening elektronska mikroskopija silikatnih algi

Uzorci silikatnih algi (spaljen materijal) iz jezera Vrutci posmatrani su i pod skening elektronskim mikroskopom, korišćenjem JSM-6610LV SEM. Uzorci su prekriveni zlatom, uz pomoć uređaja BALTEC-SCD-005, i snimani u uslovima visokog vakuuma.

III MATERIJAL I METODE

Sve analize su izvršene u laboratoriji za skenirajuću elektronsku mikroskopiju Rudarsko geološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu.

Tabela 10. Granične vrednosti IPS dijatognog indeksa između klasa ekološkog potencijala za akumulacije formirane na vodnim telima tipa 2 i tipa 4 (preuzeto iz Pravilnika (Sl. glasnik RS 74/11)).

Parametar	Vodeni ekosistem	Granice između klasa ekološkog potencijala		
		II-III	III-IV	IV
IPS indeks	Akumulacije formirane na vodnim telima tipa 2 - Savsko jezero	10	8	6
	Akumulacije formirane na vodnim telima tipa 4 - jezero Vrutci	14	12	9

8 Statistička obrada podataka

Dobijeni podaci za merene parametre perifitona najpre su analizirani kako bi se utvrdila normalnost raspodele (Shapiro Wilks test) i homogenost varijanse (Levenov test), i kako bismo se opredelili za parametrske ili neparametarske testove u kasnijim koracima statističke obrade. Ukoliko je postojala mogućnost, podaci su transformisani kako bi se postigla normalna raspodela i homogenost varijansi. Statistička analiza hipoteze o jednakosti prosečnih vrednosti ispitivanih parametara perifitona (više od dve grupe) razvijenog na različitim tipovima podloge ili na različitim dubinama, kao i jednakosti ovih prosečnih vrednosti u uzorcima uzimanim sukcesivno tokom ekperimentalnog perioda, izvršeno je primenom analize varijansi (ANOVA) i Tukey's HSD *post hoc* testa, u slučaju da su uslovi za primenu ovog testa bili ispunjeni (homogenost i normalna raspodela). U suprotnom, ako se ustanovilo da uslovi normalna raspodela i homogenost varijansi ne mogu biti postignuti čak ni posle transformacije podataka, ista hipoteza je analizirana Kruskal Wallis-ovim testom (neparametarska ANOVA), kako bi se utvrdilo da li razlike među grupama postoje, a zatim je primenjivan Mann Whitney U-test kako bi se utvrdilo između kojih grupa su razlike statistički značajne. Rezultati Mann Whitney U-testa prikazani su bez Bonfferoni korekcije za vrednost p, jer je ova korekcija vrlo konzervativna i povećava rizik od greške tipa II, kao i zbog toga što je priroda terenskih eksperimenata takva da analize generalno imaju malu snagu da odbiju nultu hipotezu (Dahl i Greenberg 1999). U slučaju testiranja hipoteze o jednakosti srednjih vrednosti između dve nezavisne grupe podataka (merenih parametara perifitona), primenjivan je t-test, u slučaju da su uslovi za primenu parametarskog testa bili ispunjeni, odnosno kao alternativa korišćen je neparametarski Mann Whitney U-test. Korelacija između merenih parametara utvrđivana je posredstvom Pearson-ovog koeficijenta korelacije (r). Hijerarhijska klaster analiza korišćena je za utvrđivanje sličnosti, odnosno udaljenosti (*Jaccard distance measure*) između grupa podataka (prisustvo/odsustvo taksona cijanobakterija i algi na različitim podlogama).

Sve gore pomenute statističke analize eksperimentalnih rezultata sprovedene su u okviru paketa STATISTICA v. 6.0 (Statsoft, Inc., Tulsa, USA) i IBM SPSS Statistics v. 22 (IBM Corp. in Armonk, NY, USA), sa pragom značajnosti za sve testove $p < 0,05$.

III MATERIJAL I METODE

Za analizu odnosa parametara perifitona i ekoloških faktora korišćene su multivarijantne analize. Analiza redundantnosti, RDA (eng. Redundancy Analysis), korišćena je da bi se procenilo kako i koliko se varijabilnost merenih parametara perifitona može objasniti različitim ekološkim faktorima. Pri tom je vrednost parametara transformisana, a korišćena je i opcija centriranja i standardizacije podataka. Vrednost i značajnost svakog ekološkog parametra proverena je opcijom „*interactive forward selection*”. Ova opcija pruža mogućnost određivanja najmanje grupe ekoloških faktora koja objašnjava varijabilnost merenih parametara perifitona, tj. izdvaja najzaslužnije parametre sredine koji utiču na varijabilnost merenih parametara perifitona (Šmilauer i Lepš 2014). Statistička značajnost prve ose i svih ostalih osa grafika testirana je Monte Carlo permutacionim testom sa 499 permutacija i nivoom značajnosti od $\alpha = 0,05$. Analiza glavnih komponenti, PCA (eng. Principal Component Analysis), sumira variranje ispitivanih parametara koristeći prvenstveno podatke o samim parametrima, a interpretira ih i dodatno pomoću ekoloških faktora. Za razliku od analize redundantnosti, ova analiza ne pokazuje statističku značajnost.

Multivarijantne analize rezultata urađene su u statističkom softveru za analizu ekoloških podataka CANOCO za Windows, v. 5.0 (Ter Braak i Šmilauer 2012).

1 Fizički i hemijski parametri vode i utvrđivanje statusa trofičnosti Savskog jezera i jezera Vrutci na osnovu Karštonovog indeksa trofičnosti

1.1 Savsko jezero

Prosečne, minimalne i maksimalne vrednosti fizičkih i hemijskih parametara, meteoroloških podataka i prosečne posećenosti Savskog jezera u toku leta 2014. godine, prikazane su u Tabeli 11. Leto 2014. godine, usledilo je nakon obilnih padavina i poplavnog talasa u maju iste godine, pa je ovo leto na teritoriji Beograda proglašeno ekstremno kišovitim (RHMZ 2015b), a čitava godina 2014. proglašena je godinom sa najvećom količinom padavina i drugom po redu najtoplijom u Srbiji od 1951. godine (RHMZ 2015a).

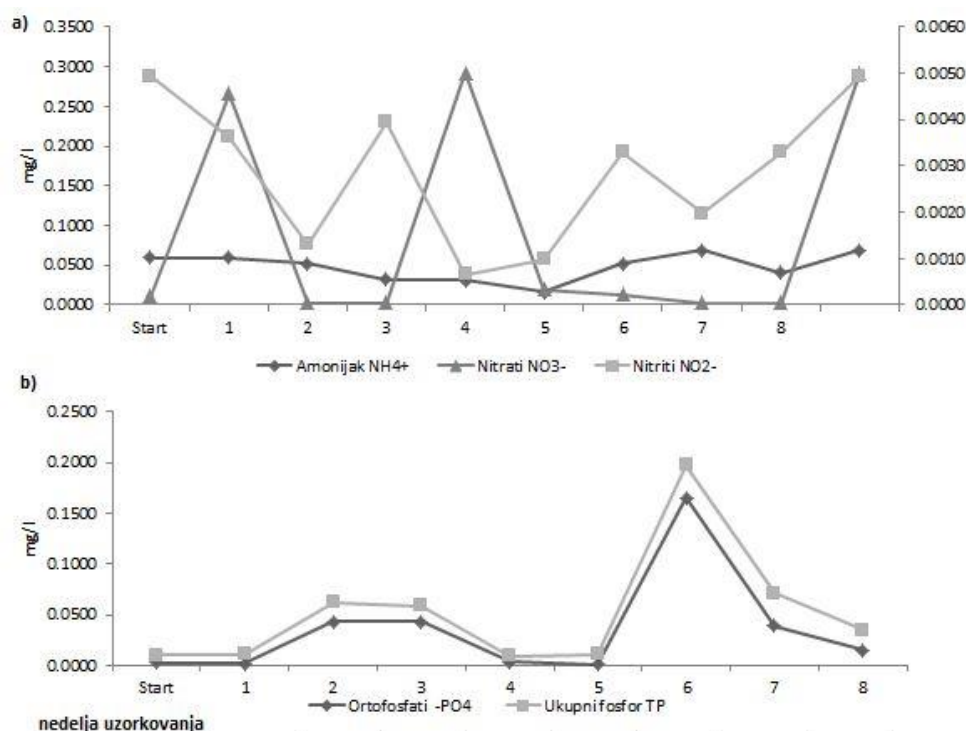
Tabela 11. Fizički i hemijski parametri vode Savskog jezera, meteorološki podaci i posećenost u toku perioda istraživanja.

Parametar	Jedinica	min.	prosek	maks.
Temperatura vode	°C	24,2	26,3	27,2
Temperatura vazduha	°C	21,8	26,4	30,2
Prosečna dnevna količina padavina	mm	0,75	5,04	13,9
Providnost	m	2,6	3,0	3,5
Mutnoća	NTU	0,96	1,34	3,17
pH		7,3	7,7	8,2
Rastvoreni kiseonik	mg/l	9,1	10,3	12,8
Saturacija kiseonikom	%	82	89	97
Provodljivost	μS/cm	214	222	229
Silicijum-dioksid	mg/l	0,090	0,51	0,70
Biološka potrošnja kiseonika (BPK ₅)	mgO ₂ /l	1,8	3,1	6,1
Permanganatni indeks	mg/l	5,4	8,7	11,7
Prosečna dnevna posećenost	br.posetilaca	7500	22172	36142

IV REZULTATI

Tokom perioda istraživanja ekološki parametri: temperatura vode, pH, saturacija kiseonikom, provodljivost i koncentracija silicijum-dioksida bili su stabilni, dok su mutnoća, BPK₅ i permanganatni indeks značajnije varirali (Tabela 11).

Dinamika nutrijenata u vodi Savskog jezera prikazana je na Grafiku 1. U toku leta 2014. godine mogu se primetiti samo blage varijacije u koncentraciji amonijaka, sa maksimalnom vrednošću koja je detektovana u sedmoj nedelji uzorkovanja (Grafik 1a). Koncentracija nitrata je takođe blago varirala, maksimalna vrednost ovog parametra zabeležena je na startu eksperimenta, ali generalno niske vrednosti nitrata su se zadržale tokom čitavog perioda merenja (prikazane na sekundarnoj osi Grafika 1a). Zabeležena su dva izrazita skoka koncentracije nitrata u vodi Savskog jezera (u 1. i 4. nedelji), inače vrednosti i ovog parametra su bile niske (Grafik 1a). Koncentracije ortofosfata i ukupnog fosfora, sa druge strane, varirale su u širokom opsegu (0,001-0,165 mg/l ortofosfati, i 0,009-0,198 mg/l ukupni fosfor). Maksimalne vrednosti su detektovane u šestoj nedelji uzorkovanja, a visoke vrednosti su zabeležene i na samom početku (2. i 3. nedelja) i na kraju eksperimentalnog perioda (7. nedelja) (Grafik 1b).



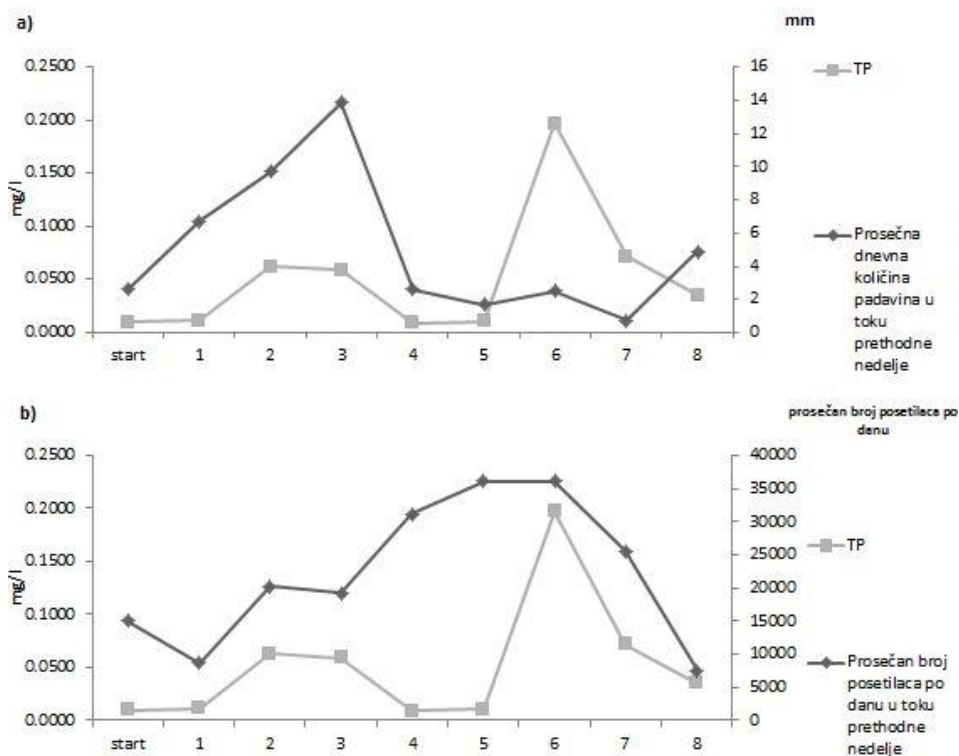
Grafik 1. Dinamika nutrijenata u vodi Savskog jezera tokom leta 2014. godine. Na sekundarnoj osi prikazane su samo vrednosti za nitrite.

IV REZULTATI

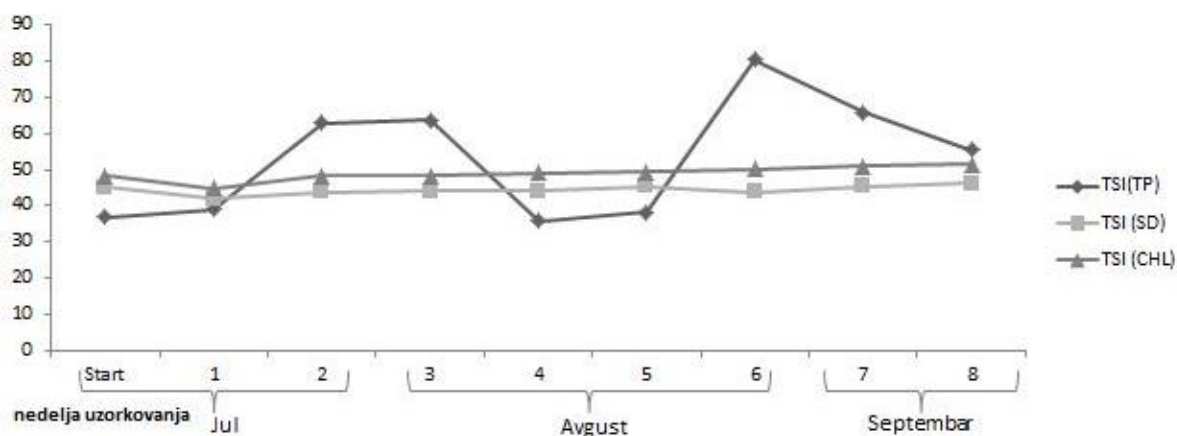
Na Grafiku 2 uporedno su prikazani koncentracija ukupnog fosfora (TP) izmerena iz uzoraka vode uzetih prilikom svakog uzorkovanja (jednom nedeljno), prosečne dnevne količine padavina (Grafik 2a) i prosečnog broja posetilaca na Savskom jezeru tokom nedelje koja je prethodila uzorkovanju (Grafik 2b). Sa grafika se može uočiti da se prve 4 nedelje razlikuju u odnosu na drugu polovinu eksperimentalnog perioda, naime u prve 4 nedelje kiša je padala gotovo svakodnevno i količina padavina (prosečna dnevna) kontinuirano se povećevala u ovom periodu, dok je broj posetilaca bio nizak. U drugoj polovini eksperimentalnog perioda količina padavina se smanjila, a broj posetilaca značajno povećao. U prve 4 nedelje količina padavina i TP bili su značajno pozitivno korelisani ($r = 0,882$, $p < 0,05$), dok je kasnije koeficijent korelacije između ovih parametara bio zanemarljiv ($r = -0,085$). Kada su broj posetilaca i TP testirani u istom konceptu, dobija se obrnuta slika, odnosno u prve 4 nedelje korelacija između ovih parametara je bila vrlo slaba ($r = 0,075$), ali u drugoj polovini eksperimentalnog perioda (od 4. nedelje na dalje) korelacija je bila umerena i pozitivna ($r = 0,4$), ali ne i značajna. Prema rezultatima Pirsonovog koeficijenta korelacije i Grafika 2, može se pretpostaviti da je spiranje okolnog zemljišta (puta i okolnih objekata) posle dužih perioda padavina među najznačajnijim faktorima koji doprinose povećanju koncentracije fosfora u Savskom jezeru, dok pritisak posetilaca ima blaži efekat. Ipak, moramo ponovo istaći da je leto 2014. godine bilo veoma kišovito, pa je i broj posetilaca na Savskom jezeru bio prilično umeren za ovaj rekreativni centar.

Rezultati dobijeni izračunavanjem Karlsonovog indeksa trofičnosti za Savsko jezero tokom leta 2014. prikazani su na Grafiku 3. Vrednosti za TSI (SD) i TSI (CHL) bile su relativno ujednačene, ukazujući da je jezero pretežno u mezotrofnom stanju, i samo blago naginje ka eutrofiji tokom 7. i 8. nedelje, prema TSI (CHL). S druge strane, TSI (TP) bio je veoma varijabilan i značajno viši u odnosu na druga dva indeksa, karakterišući Savsko jezero kao eutrofno u 2., 3., 7. i 8. nedelji, pa čak i hipereutrofno u šestoj nedelji uzorkovanja (Grafik 3).

IV REZULTATI



Grafik 2. Upporedni odnos TP i a) količine padavina i b) broja posetilaca na Savskom jezeru tokom leta 2014. godine. Prosečne dnevne količine padavina i prosečan dnevni broj posetilaca prikazani su na sekundarnim osama, dok je TP prikazan na primarnim osama grafika.



Grafik 3. Karlsonov indeks trofičnosti za Savsko jezero tokom perioda istraživanja.

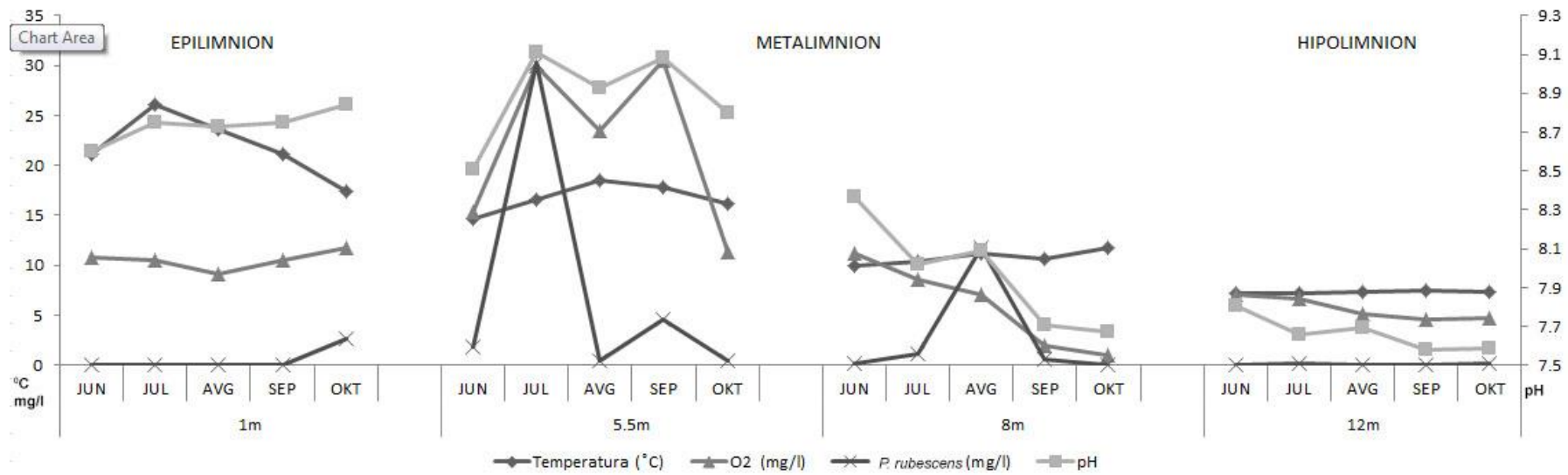
1.2 Jezero Vrutci

Dinamika merenja odabranih parametara na jezeru Vrutci - temperature, koncentracije kiseonika i pH vrednosti predstavljena je na Grafiku 4 paralelno sa dinamikom biomase *P. rubescens* u vodenom stubu.

Na Grafiku 4 može se primetiti da u epilimnionu nije bilo upadljivih odstupanja u merenim parametrima, osim što je temperatura od jula do oktobra imala trend opadanja. Zapažen je i porast biomase *P. rubescens* u epilimnionu, ali tek u oktobarskim uzorcima, jer je pojava površinskog cvetanja bila zabeležena nekoliko dana nakon našeg septembarskog uzorkovanja. U gornjem metalimnionskom sloju, na dubini od 5,5 m (Grafik 4), biomasa *P. rubescens* drastično je porasla u julu u odnosu na jun i dostigla maksimalnu vrednost od čak 30 mg/l, što je bilo praćeno i značajnim porastom koncentracije kiseonika i pH vrednosti. Generalno, u gornjem metalimnionskom sloju temperatura je bila stabilna, dok je pH vrednost i koncentracija kiseonika varirala paralelno sa biomasom *P. rubescens*, sa maksimalnim vrednostima zabeleženim u julu i septembru. U donjem metalimnionskom sloju (Grafik 4) na dubini od 8 m, biomasa *P. rubescens* bila je najviša u avgustu (takođe, to je bila najveća vrednost za biomasu *P. rubescens* u svim uzorcima u avgustu), u ostalim mesecima biomasa na ovoj dubini bila je niska. Temperatura je u donjem metalimnionu bila stabilna, dok su koncentracija kiseonika i pH vrednost imali trend opadanja od juna do oktobra. U hipolimnionu (Grafik 4) na dubini od 12 m, vrednosti prikazanih parametara bile su najstabilnije u poređenju sa gornjim slojevima, može se uočiti samo blagi pad pH i koncentracije kiseonika. Kada su svi uzorci uzeti u obzir, promena koncentracije kiseonika je bila je značajno pozitivno korelisana sa promenama pH vrednosti ($r = 0,801$, $p \leq 0,001$) i promenama biomase *P. rubescens* ($r = 0,567$, $p \leq 0,001$), što ukazuje na značajni uticaj primarne produkcije poreklom od populacije *P. rubescens* na ove parametre.

U Tabeli 11 predstavljene su izmerene vrednosti ostalih fizičkih i hemijskih parametara u vodi jezera Vrutci tokom eksperimentalnog perioda. Interesantno je primetiti da je ukupan azot (TN) imao konstantan rastući trend duž gradijenta stratifikacije (epilimnion, metalimnion, hipolimnion) i uvek dostizao maksimalne vrednosti u hipolimnionu.

IV REZULTATI



Grafik 4. Dinamika temperature vode, rastvorenog kiseonika i pH vrednosti na ispitivanim dubinama i u okviru stratifikovanih slojeva (epilimnion, metalimnion i hipolimnion), paralelno sa dinamikom biomase *P. rubescens* u vodenom stubu. pH vrednosti su prikazane na sekundarnoj osi, a vrednosti svih ostalih parametara na primarnoj osi.

IV REZULTATI

Vrednosti ukupnog fosfora (TP) su bile uniformne u stratifikovanim slojevima u julu, dok se u avgustu i oktobru mogao primetiti trend rasta koncentracije TP niz gradijent stratifikacije, sa maksimumom u hipolimnionu, dok je u septembru zapažen trend suprotnog smera - minimalna koncentracija u hipolimnionu, a maksimalna u epilimnionu. Vrednosti ortofosfata (PO_4^-) bile su skoro ujednačene duž vodenog stuba, izuzev vrednosti zabeleženih u avgustu, kada je izmerena maksimalna koncentracija PO_4^- u metalimnionu, i to oko deset puta veća u odnosu na sve ostale zabeležene vrednosti za ovaj parametar. Odnos TN:TP bio je znatno veći u julu i avgustu u odnosu na septembar i oktobar. Ukupan organski ugljenik (TOC) i provodljivost su imali trend opadanja u stratifikovanoj vodenoj koloni (epilimnion, metalimnion, hipolimnion), dostižući minimalne vrednosti u hipolimnionu (jedino u junu je TOC imao maksimum u hipolimnionu a minimum u metalimnionu). Maksimalna providnost je izmerena u avgustu (kada je i *P. rubescens* bio koncentrisan u najdubljoj tački - 8 m, Grafik 4), a minimalna u oktobru - kada je biomasa *P. rubescens* u površinskom sloju (dubina 1 m) dostigla maksimum, što je bila posledica već pomenutog površinskog cvetanja zabeleženog ranije u septembru.

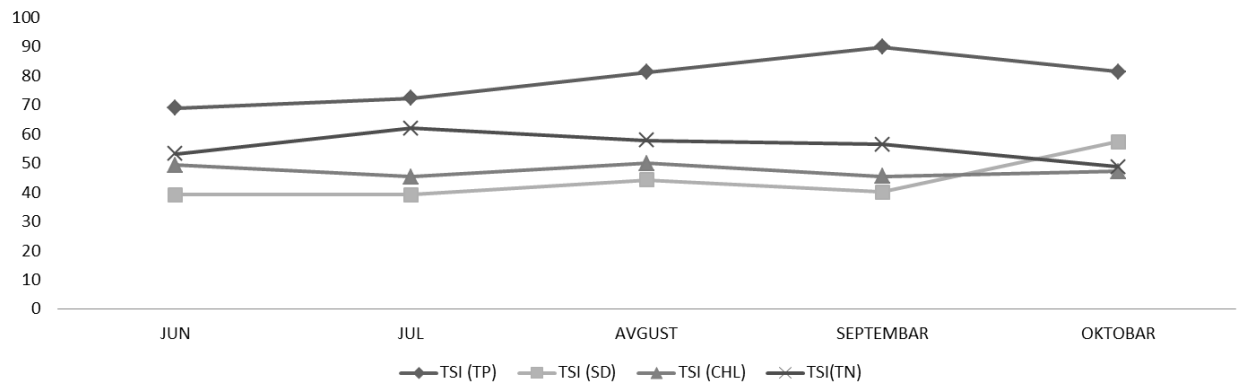
Tabela 11. Dinamika fizičkih i hemijskih parametara u vodi jezera Vrutci tokom letnje stratifikacije 2015. godine.

		TN mg/l	TP mg/l	PO_4^- mg/l	TN:TP molarni odnos	TOC mg/l	Provodljivost $\mu\text{S/cm}$	Providnost m
JUL	EPI	1,26	0,12	0,03	23	6,49	322	
	META	1,60	0,11	0,03	33	6,06	252	2,95
	HIPO	2,20	0,11	0,01	44	6,79	226	
AVGUST	EPI	1,08	0,08	0,03	28	5,36	316	
	META	1,20	0,16	0,27	17	5,20	270,5	3,95
	HIPO	1,52	0,32	0,01	11	4,96	230	
SEPTEMBAR	EPI	0,73	0,47	0,05	3	5,55	302	
	META	1,26	0,42	0,03	7	5,14	259,5	3,45
	HIPO	1,47	0,26	0,01	13	4,77	232	
OKTOBAR	EPI	0,45	0,14	0,01	7	4,69	280	
	META	0,78	0,17	0,01	10	4,45	274	1,2
	HIPO	0,79	0,32	0,01	5	4,06	240	

Rezultati Karlsonovog indeksa trofičnosti za jezero Vrutci predstavljeni su na Grafiku 5. Uočljivo je da su vrednosti TSI (SD) i TSI (CHL) ujednačene, kao i da oba

IV REZULTATI

indikatora konstantno ukazuju na mezotrofni status jezera Vrutci. Vrednosti TSI (TN) imale su tendenciju opadanja tokom perioda trajanja eksperimenta na jezeru Vrutci, ali ipak u rasponu vrednosti koje karakterišu eutrofiju. TSI (TP) imao je veće vrednosti u odnosu na druge indekse, dostizao je čak i granicu hipereutrofije (u septembru), a može se zapaziti i pozitivan trend rasta vrednosti ovog indeksa u periodu od juna do septembra.



Grafik 5. Karlsonov indeks trofičnosti za jezero Vrutci tokom perioda istraživanja.

2 Netaksonomski parametri perifitonske zajednice

2.1 Savsko jezero

2.1.1 Chl *a*, AFDM i DM

Kao netaksonomski parametri perifitonske zajednice razvijene na različitim tipovima veštačkih podloga (staklo, keramika i dve vrste drveta - vrba i tisa) i tri dubine (dubina 1 - 50 cm, dubina 2 - 80 cm i dubina 3 - 140 cm) mereni su: koncentracija Chl *a*, DM i AFDM (Tabela 12). Ovi netaksonomski parametri predstavljaju približne mere: ukupne biomase perifitona (organska+neorganska komponenta - DM), biomase organske komponente (AFDM) i biomase autotrofnog dela zajednice (Chl *a*).

Ukoliko obratimo pažnju na prosečne vrednosti parametara (Tabela 12), primećujemo da su maksimalne vrednosti u proseku postignute na staklenoj podlozi za sve netaksonomske parametre na dubini 1, za Chl *a* i DM na dubini 2 takođe na staklu, dok se sa povećanjem dubine ove vrednosti za AFDM vezuju za drvenu podlogu - vrba (na dubini 2 i 3). Na podlozi vrba na dubini 3 maksimalna prosečna vrednost zabeležena je i za Chl *a*, dok je ta vrednost za DM detektovana na keramičkoj podlozi.

Tabela 12. Netaksonomski parametri perifitona razvijenog na različitim tipovima veštačkih podloga (staklo, keramika (ker.) i dve vrste drveta - vrba i tisa) i tri dubine (dubina 1 - 50 cm, dubina 2 - 80 cm i dubina 3 - 140 cm). Maksimalne prosečne vrednosti označene su **bold**, a maksimalne medijalne vrednosti označene su **bold-italic**.

		Hlorofil <i>a</i> (mg/m ²)				DM (g/m ²)				AFDM (g/m ²)			
		Staklo	Ker.	Vrba	Tisa	Staklo	Ker.	Vrba	Tisa	Staklo	Ker.	Vrba	Tisa
DUBINA 1	1. nedelja	0,9	0,3	0,3	0,3	3,4	1,7	3,4	3,4	0,8	1,6	2,1	0,9
	2. nedelja	2,6	1,5	1,0	1,5	4,2	1,7	5,1	2,5	3,8	0,8	1,7	1,1
	3. nedelja	8,6	4,6	7,7	4,5	6,7	5,9	4,2	5,9	2,3	1,3	4,1	1,7
	4. nedelja	6,2	4,8	5,3	4,3	5,9	9,3	5,9	5,1	3,0	4,2	2,7	3,4
	5. nedelja	5,5	4,1	5,1	5,5	7,6	9,3	5,9	6,7	3,3	2,4	1,5	4,6
	6. nedelja	9,1	5,7	5,1	6,2	14,3	16,0	15,2	18,6	5,6	5,1	6,2	6,5

IV REZULTATI

	7. nedelja	8,4	9,1	10,3	4,6	21,9	21,9	16,9	15,2	9,5	10,0	7,9	6,2
	8. nedelja	7,7	7,9	7,4	6,9	27,8	22,8	12,7	11,0	7,0	6,7	4,7	4,2
	<i>maks.</i>	9,1	9,1	10,3	6,9	27,8	22,8	16,9	18,6	9,5	10,0	7,9	6,5
	<i>min.</i>	0,9	0,3	0,3	0,3	3,4	1,7	3,4	2,5	0,8	0,8	1,5	0,9
	<i>prosek</i>	6,1	4,8	5,3	4,2	11,5	11,1	8,6	8,5	4,4	4,0	3,9	3,6
	<i>medijana</i>	6,9	4,7	5,2	4,5	7,2	9,3	5,9	6,3	3,5	3,3	3,4	3,8
DUBINA 2	1. nedelja	1,0	0,5	0,3	0,0	1,7	3,4	4,2	2,5	1,1	1,3	1,1	2,2
	2. nedelja	2,2	1,9	1,0	1,4	3,4	2,5	3,4	2,5	1,6	2,0	2,6	2,5
	3. nedelja	5,7	3,8	4,8	5,1	7,6	5,1	3,4	6,7	1,9	1,1	3,2	2,4
	4. nedelja	3,9	2,2	3,5	2,3	10,1	10,1	9,3	6,7	4,4	2,8	3,2	3,0
	5. nedelja	4,5	4,6	5,1	4,1	8,4	3,4	5,9	3,4	4,9	3,3	5,1	4,9
	6. nedelja	6,9	5,3	4,1	5,5	21,9	11,8	11,8	13,5	5,6	6,3	5,1	6,0
	7. nedelja	7,7	9,3	9,1	6,3	16,1	16,9	23,6	6,7	5,6	6,0	7,5	5,4
	8. nedelja	7,7	5,8	5,8	12,3	21,9	13,5	19,4	21,1	6,9	5,2	8,5	8,8
	<i>maks.</i>	7,7	9,3	9,1	12,3	21,9	16,9	23,6	21,1	6,9	6,3	8,5	8,8
	<i>min.</i>	1,0	0,5	0,3	0,0	1,7	2,5	3,4	2,5	1,1	1,1	1,1	2,2
	<i>prosek</i>	4,9	4,2	4,2	4,6	11,4	8,3	10,1	7,9	4,0	3,5	4,5	4,4
<i>medijana</i>	5,1	4,2	4,5	4,6	9,3	7,6	7,6	6,7	4,6	3,0	4,1	4,0	
DUBINA 3	1. nedelja	0	0	0	0	3,4	1,7	2,5	3,4	1,6	1,6	1,1	1,1
	2. nedelja	2,6	1,5	1,4	1,2	2,5	2,5	2,5	1,7	0,8	1,5	2,0	0,8
	3. nedelja	5,5	4,1	4,6	3,6	6,7	9,3	8,4	9,3	2,2	1,9	2,7	3,4
	4. nedelja	3,8	1,7	2,2	3,9	8,4	9,3	8,4	7,6	3,5	2,8	3,7	3,5
	5. nedelja	6,0	7,2	8,4	6,5	4,2	7,6	3,4	3,4	3,8	5,2	3,2	3,2
	6. nedelja	4,8	4,6	5,1	3,9	10,4	11,0	12,7	10,1	3,5	4,4	5,6	5,1
	7. nedelja	4,8	7,4	6,5	8,2	12,7	17,7	17,7	15,2	4,6	7,6	5,7	6,7
	8. nedelja	8,7	10,3	9,1	9,1	25,3	20,2	20,2	17,7	10,0	6,9	6,6	7,8
	<i>maks.</i>	8,7	10,3	9,1	9,1	25,3	20,2	20,2	17,7	10,0	7,6	6,6	7,8
	<i>min.</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	1,7	2,5	1,7	0,8	1,5	1,1	0,8
	<i>prosek</i>	4,5	4,6	4,7	4,6	9,2	9,9	9,5	8,5	3,8	4,0	3,8	4,0
<i>medijana</i>	4,8	4,4	4,9	3,9	7,6	9,3	8,4	8,4	3,5	3,6	3,4	3,5	

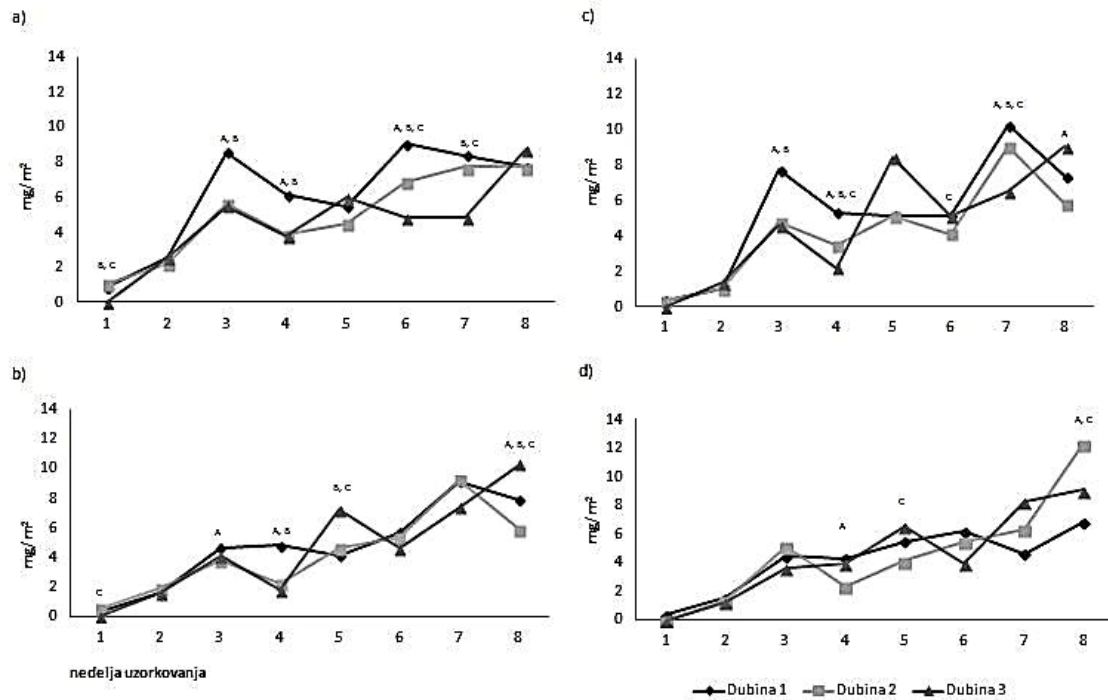
Prema vrednostima medijana (Tabela 12), slika je ipak drugačija. U tom smislu postoje odstupanja na dubini 1 gde se maksimumi medijane i prosečne vrednosti poklapaju samo za Chl *a*, dok je maksimalna medijana za DM karakteristična za keramičku podlogu, a za AFDM za tisu. Na dubini 2 odstupanje se uočava samo za parametar AFDM, i pri tom se maksimum medijane javlja na staklu, a ne na vrbi, te se prema medijalnim vrednostima na ovoj dubini maksimumi za sve parametre detektuju na staklenoj podlozi. Na dubini 3 odstupanje, kao i na dubini 2, postoji samo za AFDM, gde je maksimalna medijalna vrednost zabeležena na keramičkoj pločici.

2.1.2 Uticaj dubine inkubacije i tipa podloge na dinamiku Chl *a*

S obzirom da je akcenat analize perifitona u ovoj doktorskoj disertaciji na fotoautotrofnoj komponenti (cijanobakterije i alge), testirali smo uticaj dubine inkubacije (Grafik 6) i tipa podloge (Grafik 7) na koncentraciju Chl *a* u uzorcima perifitona razvijenog u Savskom jezeru. U oba slučaja, primenjen je najpre Kruskal Wallis-ov test (neparametarska ANOVA). Pošto je uočeno da razlike među grupama postoje, primenjen je Mann Whitney-jev U-test, kako bi se razotkrilo među kojim grupama su razlike statistički značajne.

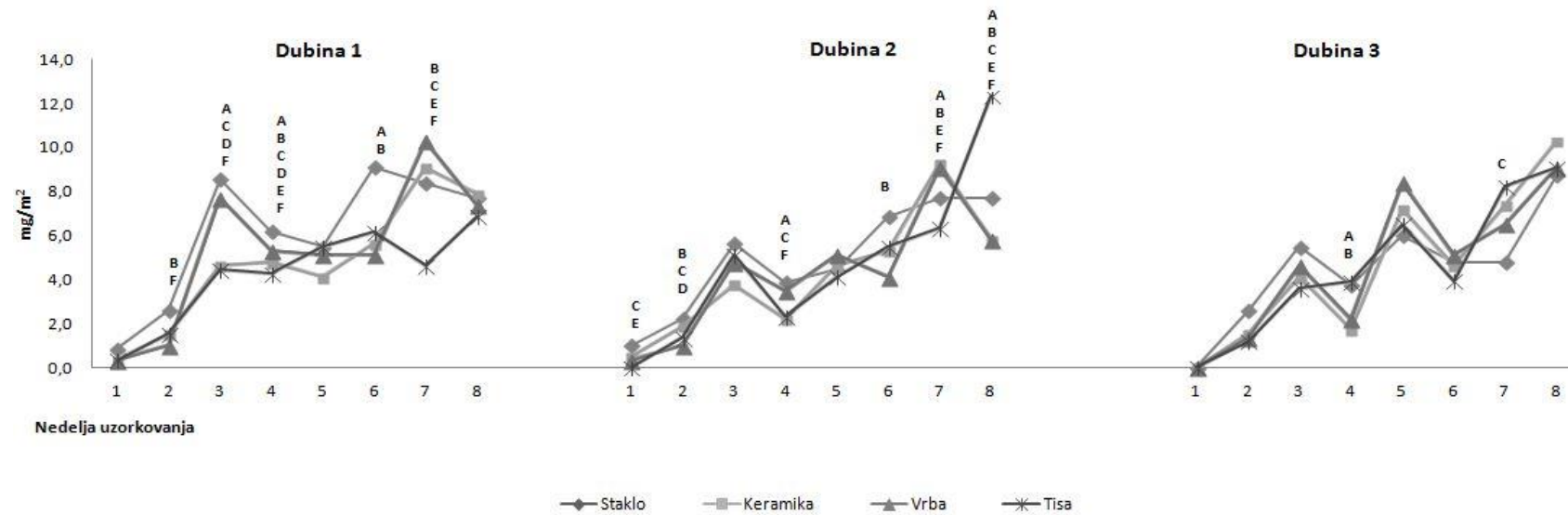
Na Grafiku 6 možemo uočiti da je najmanje statistički značajnih razlika među uzorcima sa različitih dubina bilo na podlozi tisa (Grafik 6d), dakle na ovoj podlozi efekat dubine na razvoj fototrofne komponente perifitona je bio najmanji. Na staklu (Grafik 6a) i vrbi (Grafik 6c) koncentracija Chl *a* je gotovo konstantno bila najveća na dubini 1, što ukazuje da je na ovim podlogama dubina 1 favorizovana za kolonizaciju autotrofne komponente. Na keramici (Grafik 6b) vrednosti Chl *a* su uglavnom bile najviše na dubini 3.

IV REZULTATI



Grafik 6. Uticaj dubine na biomasu fotoautotrofnog dela zajednice perifitona (Chl *a*), na a) staklu, b) keramici c) vrbi i d) tisi. U svakoj grupi (nedelja uzorkovanja), kada je detektovana statistički značajna razlika među dubinama inkubacije (Mann Whitney-jev U-test, $p \leq 0,05$) dodata je oznaka A kada je razlika postojala između dubina 1 i 2, B kada je razlika postojala između dubina 1 i 3, and C kada je razlika postojala između dubina 2 i 3.

Kada uzmemo u obzir uticaj tipa veštačke podloge na Chl *a* (Grafik 7), uočavamo da se na dubini 1 najveća biomasa razvija na staklenim pločicama, dok je vrba druga podloga po preferenciji fotoautotrofne komponente perifitona. Na dubini 1, biomasa razvijena na tisi i keramici vrlo je slična, iako su vrednosti na tisi ipak bile veće u ranijim, a na keramici u kasnijim fazama kolonizacije. Na dubini 2 zapaža se vrlo slična situacija onoj na dubini 1. Staklo je i ovde najpoželjnija podloga za kolonizaciju, dok su na dubini 3 vrednosti biomase gotovo unifomne na svim tipovima podloga, još jednom potvrđujući da efekat dubine inkubacije umanjuje efekat tipa podloge na razvoj biomase fotoautotrofne komponente perifitona.



Grafik 7. Uticaj tipa podloge na biomasu fotoautotrofnog dela zajednice perifitona (Chl a). U svakoj grupi (nedelja uzorkovanja), kada je detektovana statistički značajna razlika (Mann Whitney-jev U-test, $p \leq 0,05$) među tipovima podloga (staklo (s), keramika (k), vrba (v) i tisa (t)), dodata je oznaka A kada je razlika postojala između podloga s i k, B (s i v), C (s i t), D (k i v) E (k and t) and F (v and t).

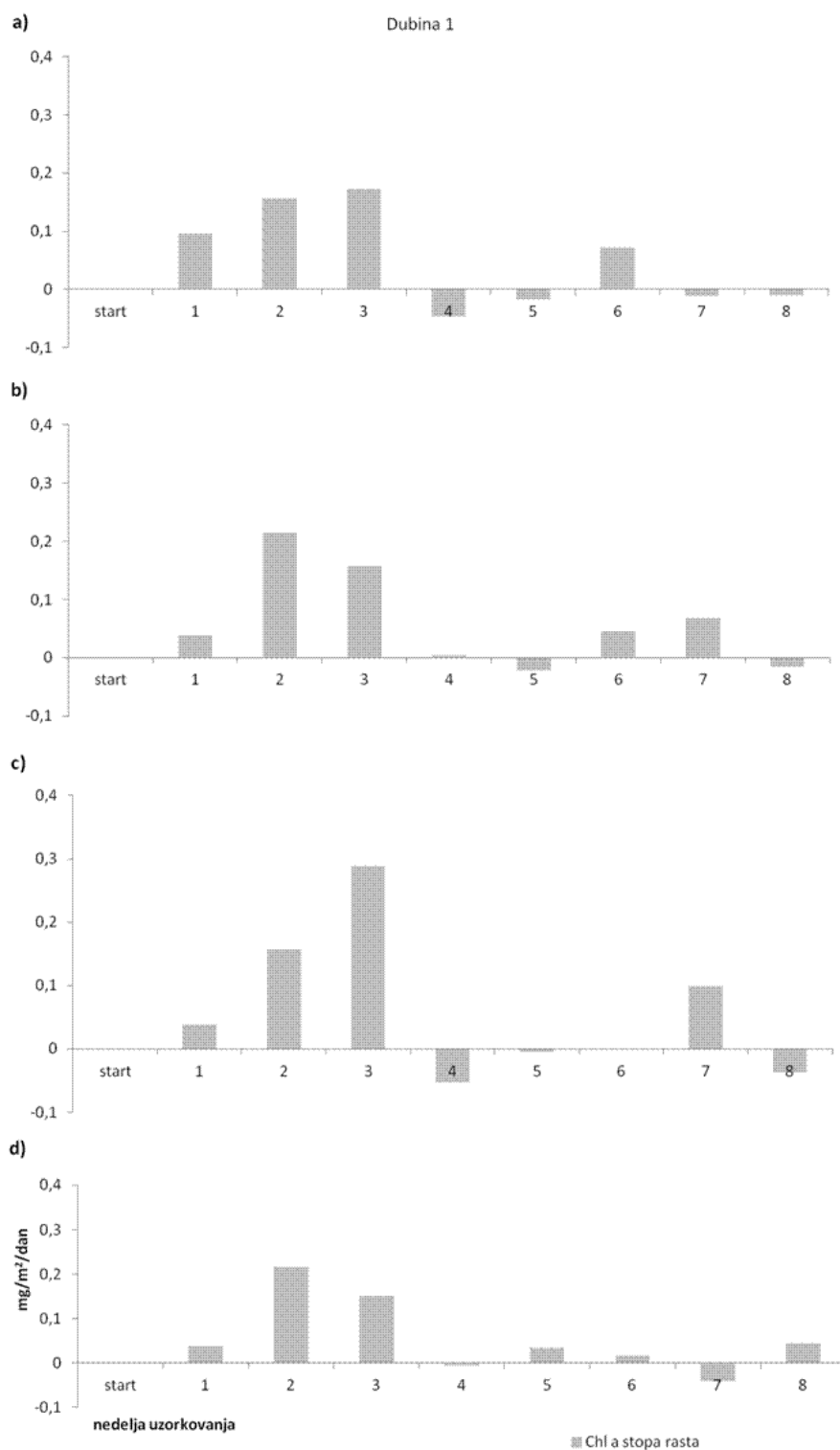
2.1.3 Stopa rasta Chl *a*

Dinamika stope rasta Chl *a* je predstavljena na Grafcima 8, 9 i 10, sa ciljem karakterizacije procesa kolonizacije fotoautotrofne komponente perifitona na različitim tipovima podloga inkubiranim na tri različite dubine.

Na osnovu dobijenih rezultata za stopu rasta Chl *a* (Grafcima 8, 9 i 10) može se zaključiti da je inicijalna - eksponencijalna faza rasta na svim podlogama trajala tokom prve tri nedelje inkubacije, na svim dubinama, a zatim je usledila faza fluktuacije biomase. Izuzetak je dubina 3, na kojoj je početak inicijalne faze bio odložen, tačnije prirast biomase je počeo da se beleži tek od 2. nedelje uzorkovanja (Grafcim 10). U toku faze fluktuacije, na dubini 1 (Grafcim 8), u 4. i 5. nedelji zabeležen je gubitak biomase, dok je na druge dve dubine gubitkom biomase bila obeležena samo 4. nedelja, a već u 5. nedelji beležio se novi prirast (grafici 9 i 10). Kasnija dinamika stope rasta biomase razlikovala se na različitim dubinama inkubacije, ali je na istoj dubini inkubacije uglavnom bila slična na svim podlogama. Maksimalna stopa rasta Chl *a* na dubinama 1 i 2 utvrđena je u 3. nedelji na podlozi vrba, dok je maksimalna vrednost na dubini 3 postignuta na staklenoj podlozi u drugoj nedelji uzorkovanja. Dakle, možemo reći da je eksponencijalna faza fotosintetičke komponente perifitona u procesu kolonizacije trajala tri nedelje na svim podlogama i svim dubinama, dok je faza fluktuacije bila varijabilna među dubinama, ali ipak slična među podlogama inkubiranim na istoj dubini.

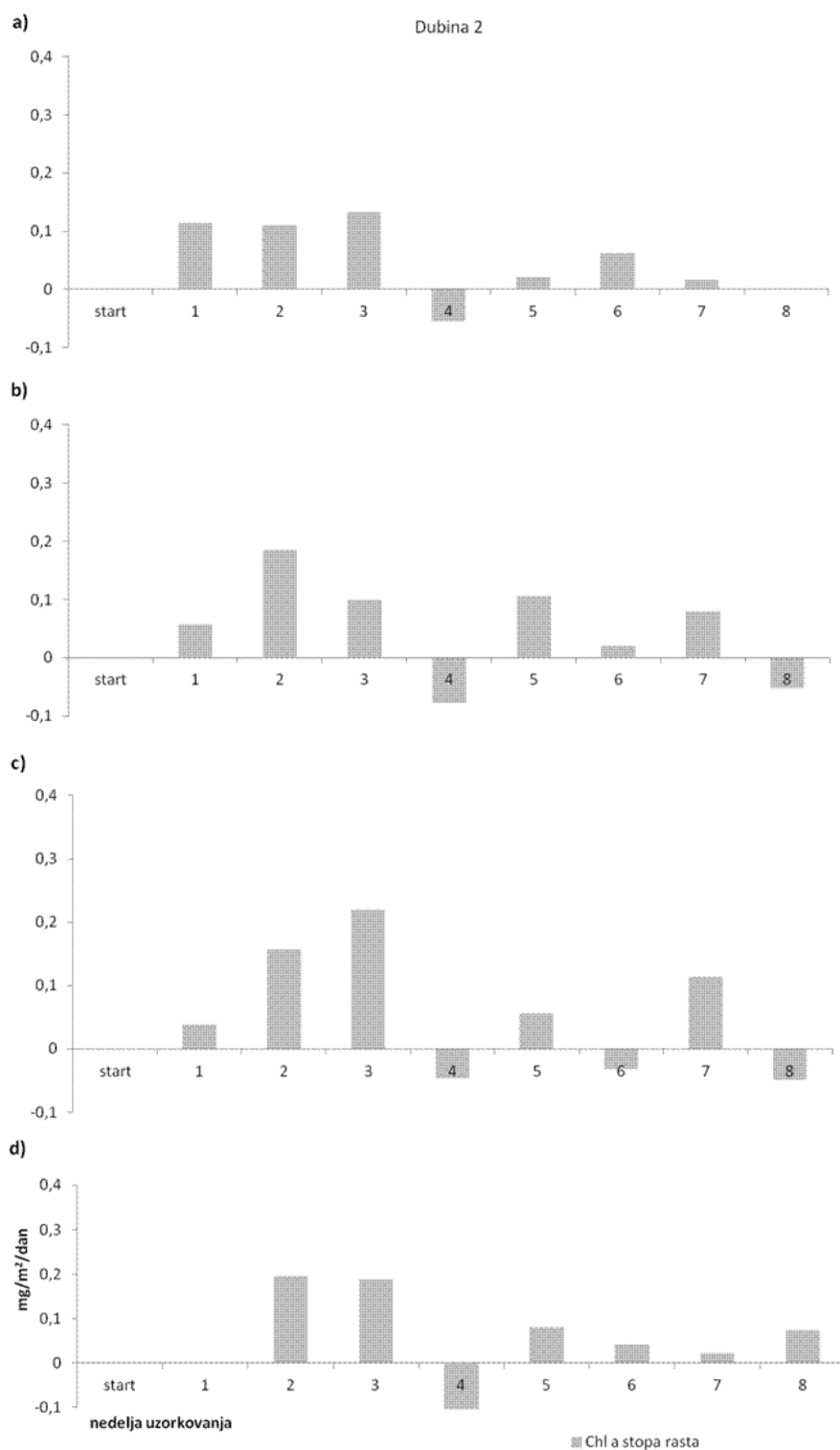
Na Grafcimu 11 predstavljen je odnos stope rasta Chl *a* i merenih fizičkih i hemijskih parametara kvaliteta vode Savskog jezera, pomoću PCA analize. Najveći stepen korelacije sa prvom PCA osom (negativan) pokazali su pH (-0,6346) i nitrati (NO_3^- , -0,5083). Korelaciju sa drugom PCA osom pokazali su sledeći parametri: mutnoća (0,7225, pozitivna korelacija), provodljivost (-0,7102), nitriti (NO_2^- , -0,6393), ukupni fosfor (TP, -0,4857) i rastvoreni kiseonik (O_2 , -0,6097).

IV REZULTATI



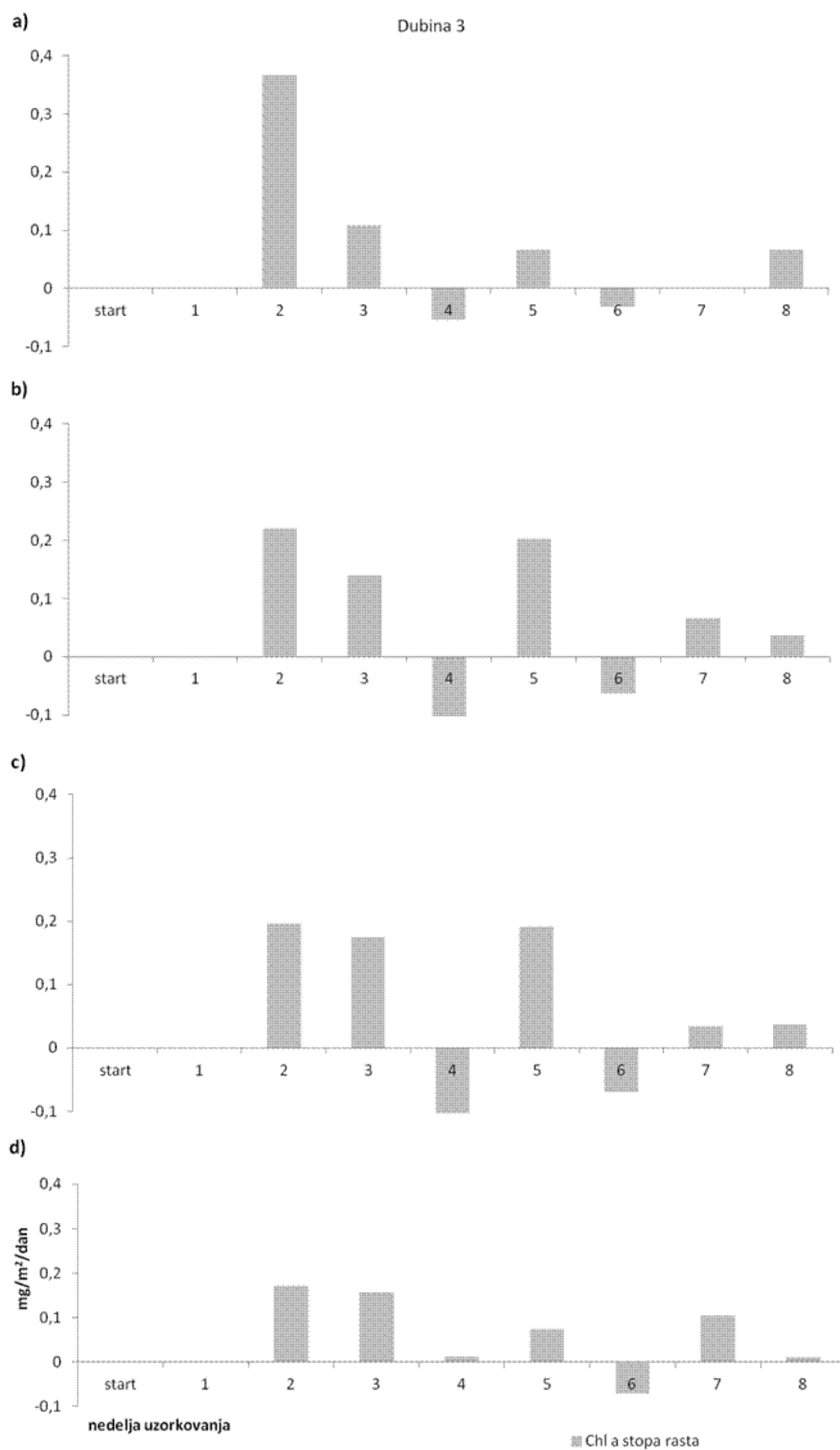
Grafik 8. Dinamika stope rasta Chl *a* u perifitonu razvijenom na a) staklenoj podlozi, b) keramici, c) drvenoj podlozi - vrba i d) drvenoj podlozi - tisa, na dubini 1.

IV REZULTATI



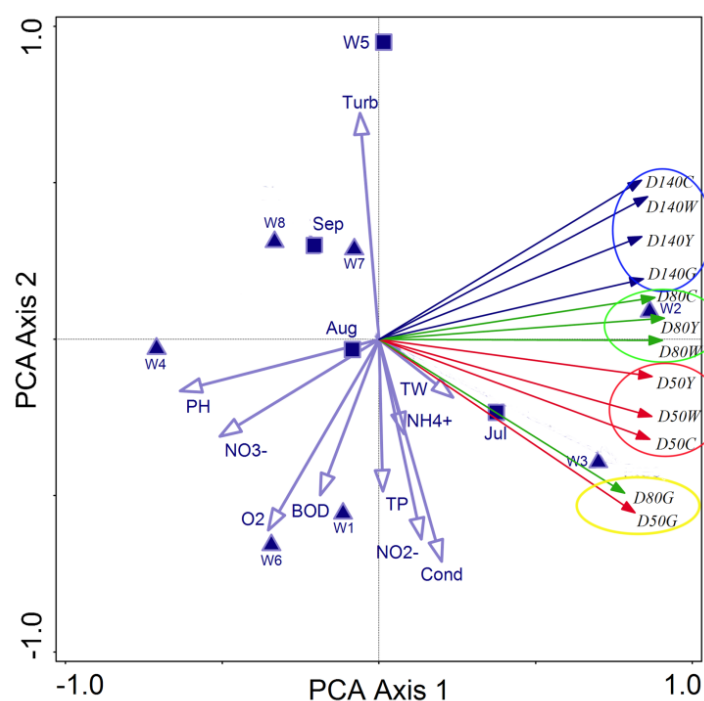
Grafik 9. Dinamika stope rasta Chl *a* u perifitonu razvijenom na a) staklenoj podlozi, b) keramici, c) drvenoj podlozi - vrba i d) drvenoj podlozi - tisa, na dubini 2.

IV REZULTATI



Grafik 10. Dinamika stope rasta Chl *a* u perifitonu razvijenom na a) staklenoj podlozi, b) keramici, c) drvenoj podlozi - vrba i d) drvenoj podlozi - tisa, na dubini 3.

Sveukupno posmatrano, prve dve ose PCA objašnjavaju relativno veliki deo varijacije seta podataka (84,21 %). Dakle, prvu PCA osu definiše gradijent pH i NO_3^- , a drugu gradijent TP, NO_2^- , provodljivost, O_2 i mutnoća. Stopa rasta biomase (Chl *a*) perifitona sa svih tipova podloga inkubiranih na dubini 1 i samo sa staklene podloge inkubirane na dubini 2 pokazale su pozitivnu korelaciju sa negativnim delom druge PCA ose, duž koje je uočljiv gradijent nutrijenta (TP, amonijak i nitriti). Na osnovu predstavljenih rezultata možemo reći da je stopa rasta biomase primarno određena koncentracijom nutrijenata u vodi, kada je svetlosni režim povoljan (dubina 1). Dakle, dubina inkubacije 1 testirana u našoj studiji (50 cm od površine vode), kao i staklena veštačka podloga, bili bi najbolji izbor kod potencijalnog korišćenja perifitona u biomonitoringu.



Grafik 11. PCA biplot na osnovu stope rasta Chl *a* (biomase). Stopa rasta Chl *a* na staklenoj podlozi (D50G - dubina 1, D80G - dubina 2, D140G - dubina 3), keramici (D50C, D80C, D140C), vrbi (D50W, D80W, D140W) i tisi (D50Y, D80Y, D140Y). Kao dodatne varijable uključeni su: BOD - Biološka potražnja kiseonika, pH - pH vrednost, NH_4^+ - amonijum jon, O_2 - kiseonik, Cond - provodljivost, TP - ukupni fosfor, Turb - mutnoća, TV - Temperatura vode, NO_3^- - nitrati i NO_2^- - nitriti, nedelje uzorkovanja (W1-W8) i meseci uzorkovanja (jul-septembar).

2.1.4 Autotrofni indeks

Autotrofni indeks izračunava se iz odnosa organske i autotrofne komponente biofilma i njegova vrednost ukazuje na trofički sastav perifitonske zajednice. Vrednosti AI izračunatog iz odgovarajućih parametara perifitona razvijenog u Savskom jezeru, predstavljeni su u Tabeli 13. Iz nje uočavamo da su maksimalne vrednosti AI (veće od 1000) na dubini 1 i 2 postignute na samom početku inkubacionog perioda, dok su na dubini 3 ove vrednosti dostignute u kasnijim stadijumima razvoja perifitona. Ove izuzetno visoke vrednosti AI ukazuju na preovlađivanje heterotrofne komponente u ranim stadijumima razvoja biofilma na dubinama 1 i 2 i kasnijim stadijumima razvoja na dubini 3. Minimalne vrednosti uglavnom su postignute u 3. nedelji, sa malim odstupanjima na drvenim podlogama, što se može protumačiti kao maksimalni udeo fotoautotrofa u zajednici posle 3 nedelje inkubacije. Generalno, može se uočiti trend rasta vrednosti AI duž dubinskog gradijenta.

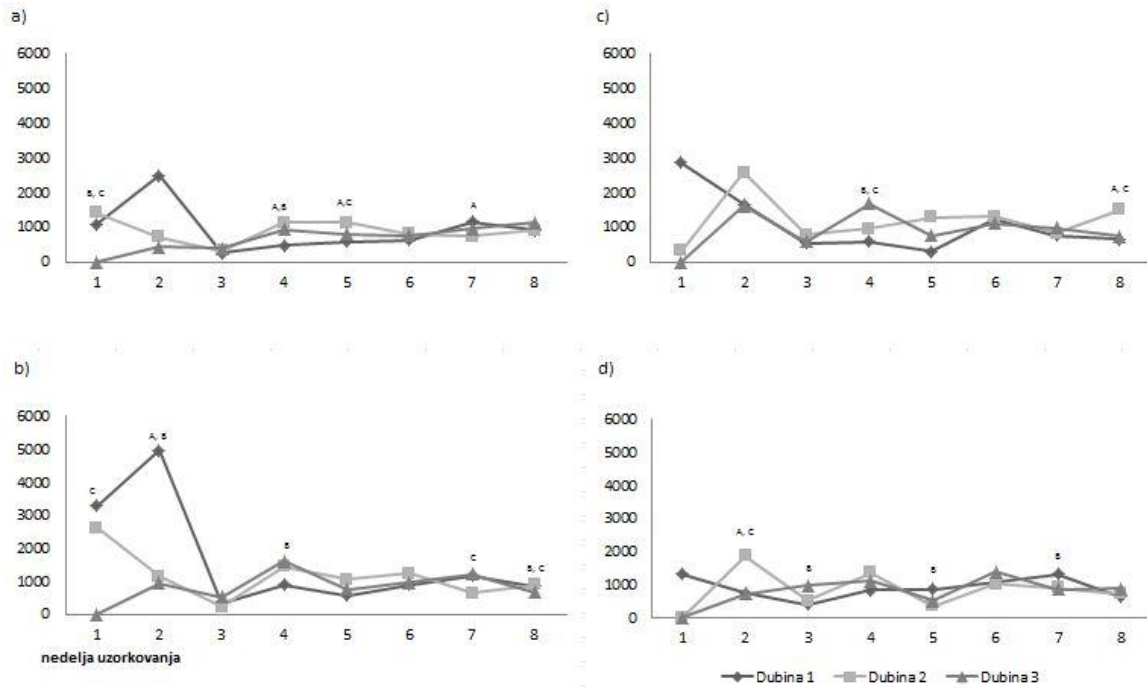
Na Grafiku 12 vidimo da je u periodu od 3. nedelje inkubacije na dalje, autotrofna komponenta imala veći udeo u perifitonu razvijenom na staklenim podlogama bliže površini nego u dubljim slojevima (Grafik 12a), što ukazuje na to da je čak i mala razlika u dubini inkubacije važan faktor za strukturiranje perifitona na ovoj podlozi. Na ostalim podlogama, vrednosti AI su bile manje ili više uniformne među dubinama (Grafik 12 b, c i d). Uopšteno posmatrano, na svim tipovima podloga autotrofna komponenta je bila zastupljenija u ranijim fazama razvoja perifitona (do 6. nedelje) na dubinama 1 i 2. Na dubini 3 razvoj autotrofne komponente bio je sporiji i nešto veće učešće u zajednici beleži se tek u kasnijem periodu razvoja biofilma (7. i 8. nedelja). Na osnovu izloženih rezultata, perifiton razvijen na staklenoj podlzi se izdvaja kao najosetljiviji na dubinski gradijent, kada govorimo o trofičkom sastavu zajednice (AI). Prema AI, zajednica perifitona razvijenog u Savskom jezeru na svim tipovima podloga i na svim dubinama bila je generalno heterotrofna ($AI > 400$).

IV REZULTATI

Tabela 13. Autotrofni indeks perifitona razvijenog u Savskom jezeru. * su obeležene minimalne vrednosti, a sa ** maksimalne postignute vrednosti.

		PODLOGA			
Nedelja uzorkovanja		Staklo	Keramika	Vrba	Tisa
Dubina 1	1	1093	3280	2843**	1312
	2	2478**	4956**	1640	729
	3	260*	348*	336	378*
	4	482	884	587	820
	5	585	581	307*	840
	6	622	891	1241	1081
	7	1157	1166	764	1317**
	8	917	846	639	625
Dubina 2	1	1403**	2624**	328*	0
	2	705	1148	2569**	1859**
	3	317*	230*	784	499
	4	1132	1439	956	1345
	5	1127	1053	1271	352*
	6	809	1229	1296	1013
	7	733	644	829	884
	8	905	882	1503	718
Dubina 3	1	0	0	0	0
	2	437	948	1604	711
	3	395*	527*	576*	966
	4	934	1601**	1666**	1099
	5	801	745	753	495*
	6	749	960	1108	1375**
	7	955	1208	984	856
	8	1116**	670	745	862

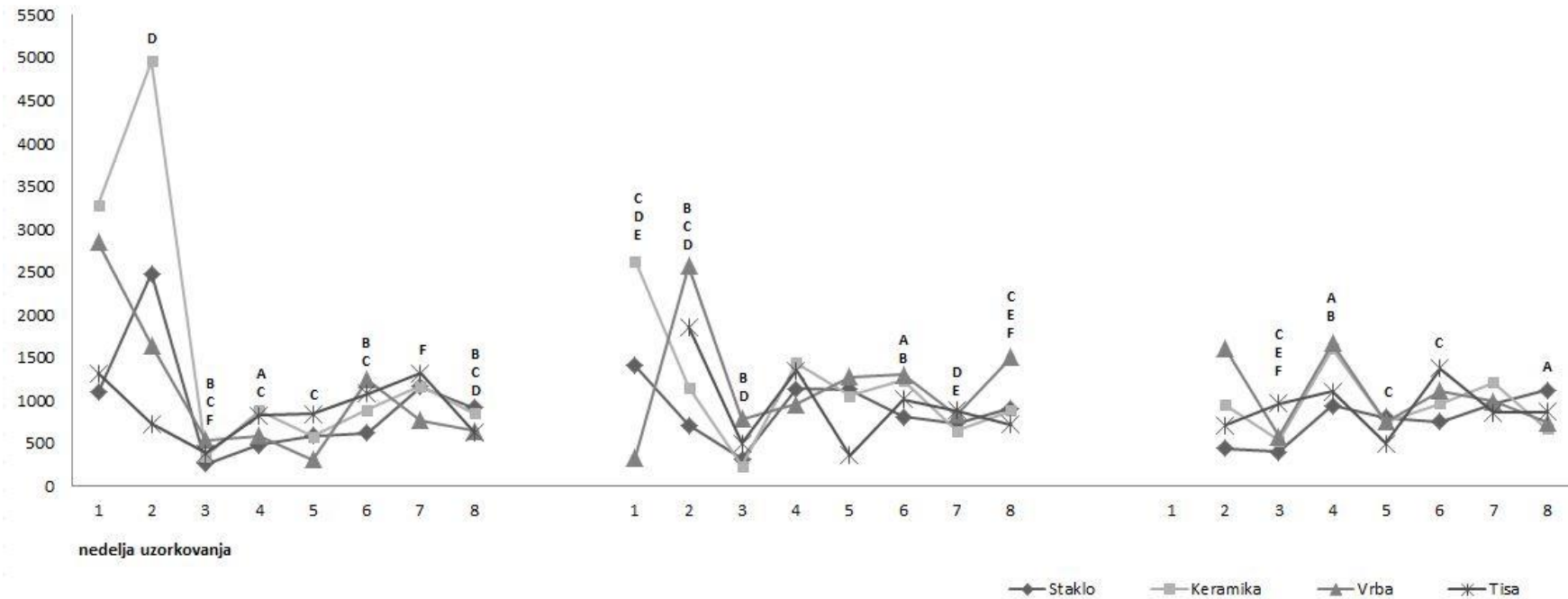
IV REZULTATI



Grafik 12. Uticaj dubine na Autotrofni indeks perifitona (AI), na a) staklu, b) keramici c) vrbi i d) tisi. U svakoj grupi (nedelja uzorkovanja), kada je detektovana statistički značajna razlika među dubinama inkubacije (Mann Whitney-jev U-test, $p \leq 0,05$) dodata je oznaka A kada je razlika postojala između dubina 1 i 2, B kada je razlika postojala između dubina 1 i 3, and C kada je razlika postojala između dubina 2 i 3.

Testiranje uticaja tipa podloge na trofički sastav zajednice perifitona (Kruskal Wallis ANOVA, Mann Whitney U-test) ukazalo je da su na svim dubinama inkubacije najniže vrednosti AI beležene na staklenoj podlozi (Grafik 13). Interesantno je pak istaći da je heterotrofna komponenta perifitona preferirala drvene podloge (vrba i tisa) (u većini grupa AI je značajno veći na drvenim podlogama u odnosu na staklo i keramiku). Biofilm razvijen na keramici pokazao je veće vrednosti AI u odnosu na drvene podloge na samom početku procesa kolonizacije i na kraju eksperimenta, dok je između AI obično bio veći u odnosu na staklo i manju u odnosu na drvene podloge. Najmanje razlike između AI na testiranim podlogama zabeležene su na dubini 3, što potvrđuje da dubina utiče i na celokupnu strukturu zajednice perifitona.

IV REZULTATI



Grafik 13. Uticaj tipa podloge na na Autotrofni indeks perifitona (AI). U svakoj grupi (nedelja uzorkovanja), kada je detektovana statistički značajna razlika (Mann Whitney-jev U-test, $p \leq 0,05$) među tipovima podloga (staklo (s), keramika (k), vrba (v) i tisa (t)), dodata je oznaka A kada je razlika postojala između podloga s i k, B (s i v), C (s i t), D (k i v) E (k and t) i F (v i t).

2.1.5 Lakatoš indeks

Rezultati Lakatoš indeksa predstavljeni su u Tabeli 14. Prema Lakatoš indeksu ukupna biomasa perifitona razvijenog na svim podlogama u Savskom jezeru je uglavnom bila niska (DM tip III), izuzev poslednje 3 nedelje na staklu i poslednje 2 nedelje na keramici na dubini 1 (DM tip II). Na većim dubinama inkubacije DM tip II zabeležen je uglavnom u poslednjoj eksperimentalnoj nedelji. Sadržaj pepela (AC) na svim podlogama pokazao je da je struktura perifitona bila pretežno neorgansko - organska (tip II), a samo povremeno potpuno neorganska (tip I) i čisto organska (tip IV). Prema Chl tipu u okviru Lakatoš indeksa, perifiton na Savskom jezeru je balansirao između hetero-autotofnog (Chl tip III) i potpuno heterotrofnog (Chl tip IV) sastava, dok je auto-heterotrofno struktura (Chl tip II) zabeležena u vrlo malom broju slučajeva, i uglavnom posle 3 nedelje inkubacije, kada se takođe stabilizovao i AI. Lakatoš indeks pokazao je suštinski isti odnos između auto i heterotrofne komponente u perifitonu kao AI, samo na detaljniji i slikovitiji način.

Tabela 14. Lakatoš indeks za perifiton razvijen u Savskom jezeru.

NEDELJA UZORKOVANJA		PODLOGA											
		Staklo			Keramika			Vrba			Tisa		
		DM tip	AC tip	Chl tip	DM tip	AC tip	Chl tip	DM tip	AC tip	Chl tip	DM tip	AC tip	Chl tip
DUBINA 1	1	III	II	III	III	II	III	II	III	III	II	III	
	2	III	II	III	III	II	III	II	III	III	II	III	
	3	III	II	III	III	I	III	II	III	III	II	III	
	4	III	II	III	III	II	III	II	III	III	II	III	
	5	III	II	III	III	II	III	II	III	III	II	III	
	6	II	II	III	II	II	III	II	II	III	II	III	
	7	II	II	III	II	II	III	II	II	III	II	III	
	8	II	II	III	II	II	III	II	II	III	II	III	
DUBINA 2	1	III	II	III	III	II	III	II	III	III	II	III	
	2	III	II	III	III	II	III	II	III	III	II	III	
	3	III	I	III	III	I	III	II	III	III	II	III	
	4	III	II	III	III	II	III	II	III	III	II	III	
	5	III	II	III	III	II	III	II	III	III	I	III	
	6	III	II	III	III	II	III	II	III	III	II	III	
	7	III	II	III	III	II	III	II	III	III	II	III	
	8	II	II	III	III	II	III	II	II	III	II	III	
DUBINA 3	1	III	II	III	III	II	III	II	III	III	II	III	
	2	III	II	III	III	II	III	II	III	III	II	III	
	3	III	II	III	III	I	III	II	III	III	II	III	
	4	III	II	III	III	II	III	II	III	III	II	III	
	5	III	II	III	III	II	III	II	III	III	II	III	
	6	III	II	III	III	II	III	II	III	III	II	III	
	7	III	II	III	III	II	III	II	III	III	II	III	
	8	II	II	III	III	II	III	II	II	III	II	III	

LEGENDA

I	II	III	IV
---	----	-----	----

2.2 Jezero Vrutci

S obzirom na drugačiju prirodu eksperimenta i samog ekosistema jezera Vrutci u odnosu na Savsko jezero, i rezultati su drugačije predstavljeni i biće tumačeni kroz drugačije analize.

2.2.1 Usporedna dinamika Chl *a*, AFDM i DM u kontinuiranoj i mesečnoj seriji uzoraka

Na Grafiku 14 prikazana je dinamika netaksonomskih karakteristika perifitona u eksperimentu na jezeru Vrutci, po dubinama inkubacije i slojevima stratifikovanog vodenog stuba. Uopšteno, na Grafiku 14 može se uočiti da su najveće vrednosti za sve parametre (u obe serije) zabeležene u epilimnionu (dubina 1 m) i gornjem metalimnionu (dubina 5,5 m), dok su najniže vrednosti zabeležene za uzorke inkubirane u hipolimnionu (dubina 12 m).

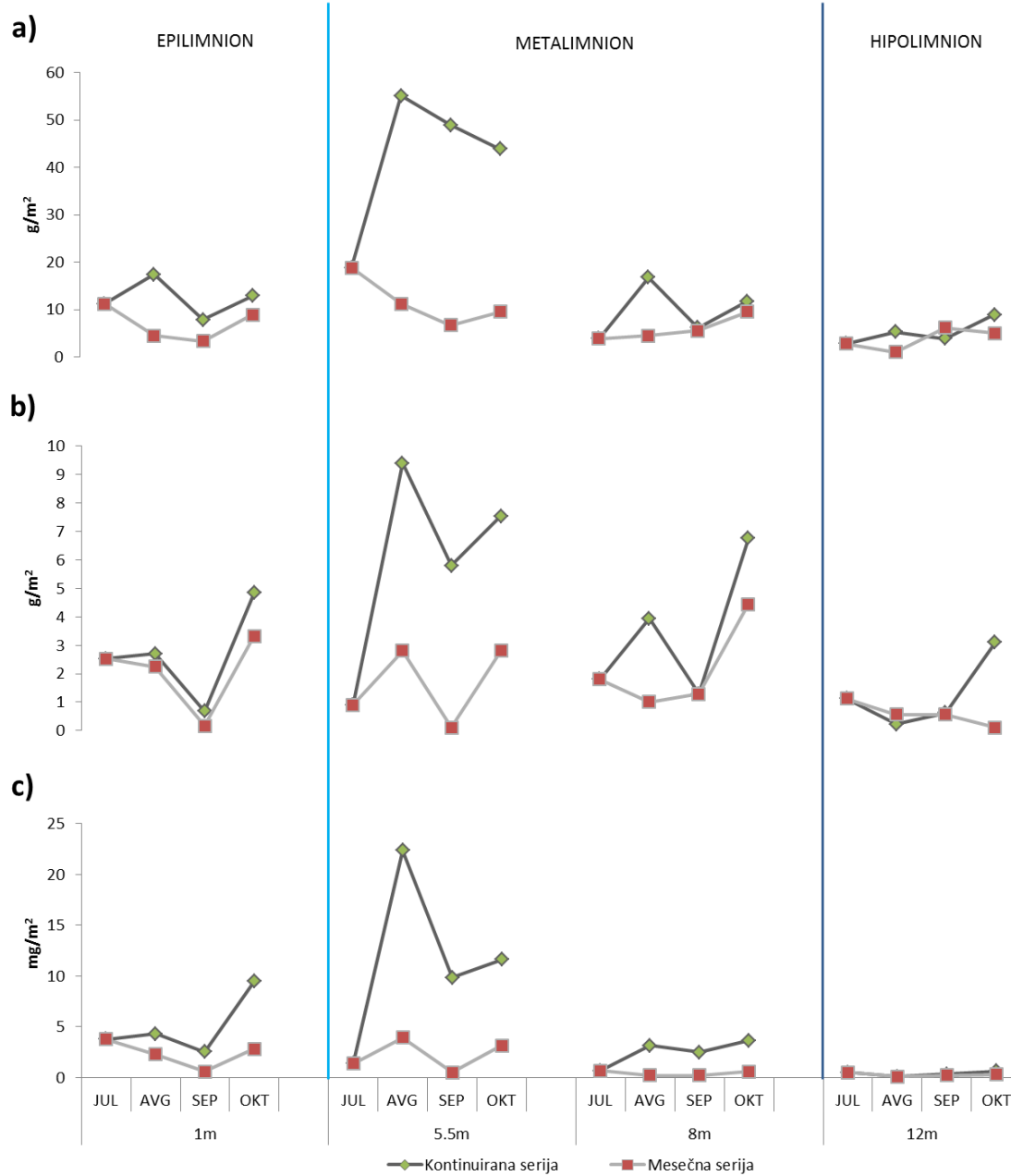
Kada uzmemo u obzir sve dubine i sve datume uzorkovanja, rezultati dobijeni u MiS (mesečno inkubirana serija) i CiS (kontinuirano inkubirana serija) seriji uzoraka su statistički značajno pozitivno korelisani za parametre Chl *a* (Grafik 14c, $r = 0,708$, $p < 0,01$) i AFDM (Grafik 14b, $r = 0,606$, $p < 0,05$), ali ne i za DM (Grafik 14a, $r = 0,400$, $p = 0,125$). Naši rezultati ukazuju na to da je dužina inkubacije značajnije uticala na dinamiku ukupne biomase (DM), nego na dinamiku organske (AFDM) i fotosintetske (Chl *a*) komponente perifitona. Dinamika ukupne biomase (DM) nije sinhronizovana ako poredimo CiS i MiS, odnosno u prva dva meseca, julu i avgustu, ukupna biomasa značajno raste u CiS, dok u MiS, pokazuje izvestan pad u biomasi (Grafik 14a). Maksimalna vrednost za DM u CiS (i uopšte) zabeležena je u avgustu na 5,5 m dubine (čak $55,1 \text{ g/m}^2$). U MiS vrednosti DM imale su trend opadanja od jula prema oktobru, izuzev na dubini 8 m, gde je situacija bila obrnuta, ali su vrednosti detektovane na ovoj dubini bile generalno niske (Grafik 14a). Važno je uočiti na Grafiku 14a da je maksimalna vrednost DM u MiS postignuta u julu na dubini od 5,5 m, što se poklapa sa maksimalnom vrednošću biomase *P. rubescens* u fitoplanktonu (Grafik 4). Maksimalne vrednosti za Chl *a* (Grafik 14c) i AFDM (Grafik 14b) u CiS takođe su zabeležene u avgustu u gornjem metalimnionu, na dubini od 5,5 m, a isto se odnosi i na Chl *a* u

IV REZULTATI

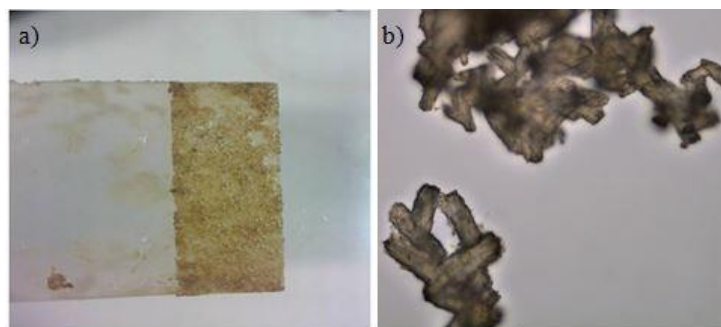
mesečnoj seriji uzoraka, dok u je u toj seriji AFDM dostigla maksimum u oktobru na dubini od 8 m (donji metalimnion).

Razlike između MiS i CiS bile su najizraženije na dubini od 5,5 m (Grafik 14), odnosno izmerene vrednosti svih netaksonomskih parametara na ovoj dubini bile su znatno veće u CiS (t test, Chl *a* $p = 0,001$, AFDM $p = 0,015$, DM $p < 0,001$). Na dubinama 1 m i 8 m, isto važi za Chl *a* i DM (t test, dubina 1 m, Chl *a* $p = 0,009$, DM $p < 0,001$, dubina 8 m Chl *a* $p < 0,001$, DM $p < 0,001$), a na dubini 12 m samo za DM (t test, $p < 0,001$). Ovi rezultati još jednom ukazuju na to da se dužina inkubacije kao faktor uglavnom odražava na akumulaciju DM na svim dubinama inkubacije.

Već je spomenuto da je najveća stopa rasta DM zabeležena u julu na 5,5 m dubine (MiS). Međutim, isto se ne može reći za AFDM i Chl *a* (Grafik 14.), te se nameće pretpostavka da je precipitacija neorganske komponente tokom prvog meseca inkubacije prevladala u formiranju biofilma i verovatno sprečila intenzivniju paralelnu kolonizaciju organske komponente. Potvrda ove pretpostavke je i pojava specifičnog taloga, vidljivog golim okom na pločicama inkubiranim na dubini od 5,5 m u periodu od juna do jula (Slika 16 a i b). Formiranje ovog taloga poklopilo se sa detekcijom najveće biomase *P. rubescens* i takođe maksimalnim vrednostima koncentracije kiseonika i pH u tom sloju vode (Grafik 4). Na samom početku eksperimentalnog perioda formiranje taloga promenilo je osobine podloge i povećalo površinu dostupnu za kolonizaciju u kontinuiranoj seriji uzoraka, čime se može objasniti nepoklapanje između vrednosti DM u MiS i CiS u avgustu na dubini 5,5 m (Grafik 14a). Detektovani talog identifikovan je kao kalcijum-karbonat u obliku kalcita metodom SEM-EDS i XRPD (Slika 17 a i b). Kalcit se u talogu javlja u obliku delimično pravilnih, gustih romboedralnih kristala veličine od nekoliko mikrona i njihovih agregata veličine do 200 μm (Slika 17). Taloženje kalcita je primećeno samo u uzorcima inkubiranim u sloju gornjeg metalimniona (5,5 m) u periodu od juna do jula. Kao posledica taloženja kalcita, u meatlimnionu je primećeno smanjenje koncentracije kalcijuma za 18% u julu u odnosu na jun (Tabela 15).



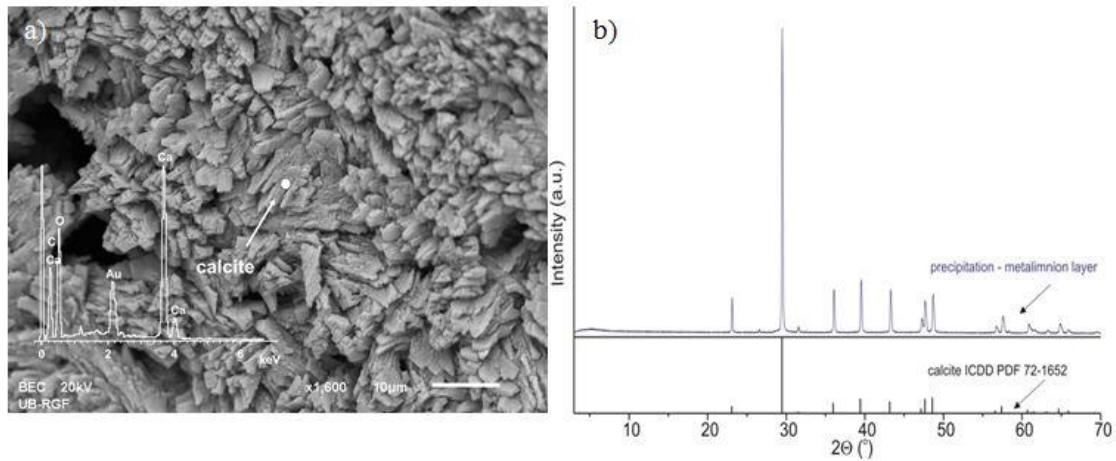
Grafik 14. Dinamika netaksonomskih karakteristika perifitona, a) DM, b) AFDM i c) Chl *a*.



Slika 16. Kristali kalcita a) fotografija staklene podloge inkubirane na dubini od 5,5 m i uzorkovane u julu, sa istaloženim kristalima vidljivim golim okom, b) mikrografija precipitiranih kristala (LM).

Na Grafiku 14, primetno je opadanje vrednosti svih parametara u epilimnionu i metilimnionu u septembrskom uzorkovanju, pri tom su dostignute minimalne vrednosti u MiS - dakle minimalne stope rasta, što se podudara sa već pomenutim površinskim cvetanjem *P. rubescens* nešto kasnije u septembru. U MiS, vrednosti izmerene za Chl *a* i DM u septembru su značajno niže u odnosu na sve druge datume uzorkovanja (ANOVA, Chl *a* $p \leq 0,05$, DM $p \leq 0,05$), dok su vrednosti AFDM znatno niže u odnosu na sve ostale, osim datuma uzorkovanja u avgustu (ANOVA, $p \leq 0,001$). U CiS, samo AFDM je pratio obrazac opisan za mesečnu seriju, dok su vrednosti Chl *a* i DM bile niže u septembru, u odnosu na avgust posebno, ali ipak ne i značajno. Prema tome, opšti gubitak biomase u CiS ne može se pripisati jednostavnom odlublivanju biofilma, pošto je i u MiS u ovom specifičnom periodu zabeležena najniža stopa rasta, već se pretpostavlja da je neki drugi događaj značajno uticao (usporio) na proces kolonizacije u MiS, odnosno na otpornost i opstanak organizama u već razvijenom biofilmu u CiS. Iz naših rezultata (Grafik 4) primetno je premeštanje populacije *P. rubescens* sa dubine od 8 m ka površini od avgusta do kraja uzorkovanja.

U hipolimnionu, dubina 12 m, svi mereni netaksonomski parametri bili su uglavnom niski i nisu se mnogo razlikovali, što je bilo i očekivano s obzirom na to da su na ovoj dubini svetlosni i temperaturni uslovi nepovoljni (Grafik 14), što je dovelo do usporenog razvoja biofilma.



Slika 17. Kalcijum karbonat u obliku kalcita. A) delimično pravilni, gusti romboedralni kristal od nekoliko mikrona koji stvaraju agregate veličine do 200 μm, sa EDS spektrom, i b) XRPD obrazac precipitiranih kristala kalcita.

Tabela 15. Dinamika kalcijuma i karbonata u jezeru Vrutci u junu i julu 2015. godine.

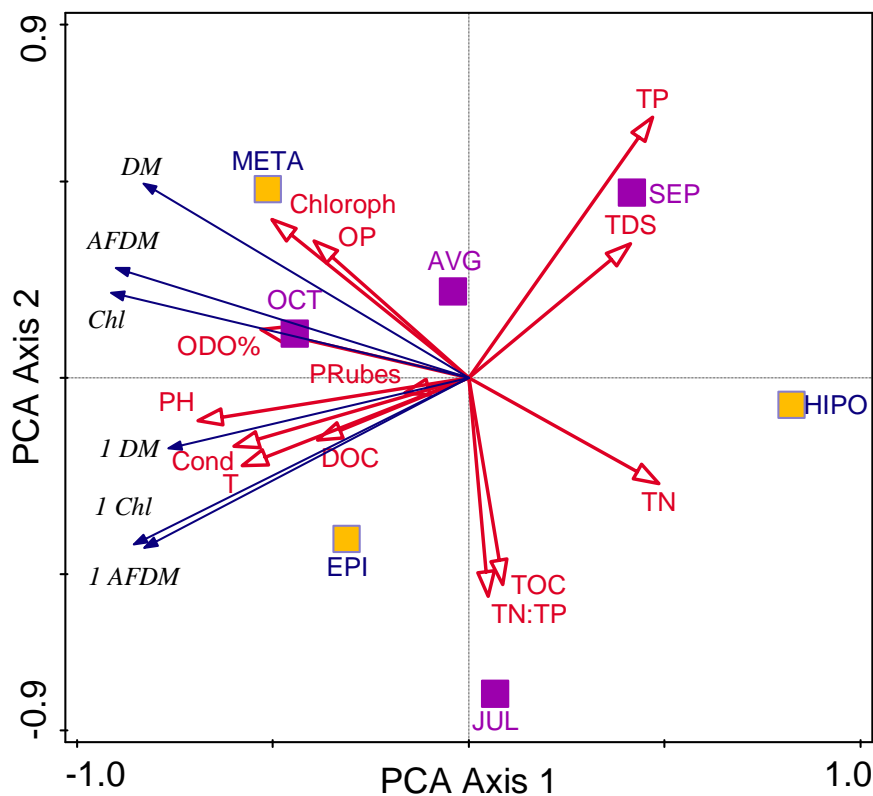
		HCO_3^-	CO_3^{2-}	Ca^{2+}
		mg/l	mg/l	mg/l
JUN	EPI	182,8	27	38,1
	META	174,3	27	42,1
	HIPO	230,6	0	40,5
JUL	EPI	185,8	21,6	32,6
	META	179,5	43,2	34,9
	HIPO	222	0	39,6

2.2.2 Analiza merenih netaksonomskih parametara perifitona i faktora sredine u jezeru Vrutci

Na Grafiku 15 predstavljena je PCA analiza, kako bi se sagledao odnos merenih netaksonomskih parametara perifitona i faktora sredine u jezeru Vrutci. Prva ordinaciona osa ove analize pokazuje pozitivnu korelaciju sa ukupnim fosforom

IV REZULTATI

(0,4694), ukupnim azotom (0,4849), suspendovanim česticama (0,4123), a negativnu sa pH (-0,6915), kiseonikom (-0,5295) i provodljivošću (-0,5985) (koeficijenti korelacije predstavljeni su samo za najznačajnije parametre). Duž prve ose ordinacionog dijagrama zapaža se gradijent slojeva vode, pa su epilimnion i metalimnion pozicionirani sa negativne strane prve ose, a hipolimnion sa pozitivne strane dijagrama ordinacije. Svi mereni netaksonomski parametri perifitona pozicionirani su na negativnoj strani prve ordinacione ose i pokazuju pozitivnu korelaciju sa kiseonikom, pH, temperaturom vode i provodljivošću, što ukazuje da su ovi sredinski faktori najznačajnije uticali na razvoj biomase perifitona. Najveće vrednosti merenih netaksonomskih parametara perifitona su i prema Grafiku 15 zabeležene u metalimnionu i epilimnionu.



Grafik 15. PCA analiza netaksonomskih parametara perifitona CiS (DM, AFDM i Chl *a*) i MiS (1DM, 1AFDM i 1Chl *a*) i sredinskih parametara koji su u analizu uključeni kao dodatne varijable TP - ukupni fosfor, TDS - suspendovane čestice, TN - ukupni azot, TOC - ukupni organski ugljenik, TN:TP, DOC - rastvoreni organski ugljenik, T - temperatura vode, Cond - provodljivost, pH, ODO% - zasićenost kiseonikom, OP - ortofosfati i Chloroph - hlorofil *a* u vodi (fitoplankton).

IV REZULTATI

Druga ordinaciona osa pokazuje pozitivnu korelaciju sa TP (0,6649), a negativnu sa TN:TP (-0,5569) i TOC (-0,5270). Takođe, ova osa razdvaja mesece uzorkovanja. Septembar se nalazi u pozitivnom delu druge ose, gde je pozicionirana i maksimalna koncentracija TP, a jul u negativnom delu druge ose, gde su izmereni najviši TN:TP i TOC. I po ovoj osi, razdvajaju se epilimnion (sa negativne strane) i metalimnion (sa pozitivne strane), a na isti način razdvojene su i MiS (maksimalne vrednosti u epilimnionu) i CiS (maksimalne vrednosti u metalimnionu). Prema Grafiku 15 i iz Tabele 11, uočljivo je da se maksimalne vrednosti ukupnog azota beleže u hipolimnionu.

2.2.3 Autotrofni indeks

Vrednosti AI za uzorke perifitona razvijenog u jezeru Vrutci bile su generalno visoke (Tabela 16) i ukazivale na heterotrofnu prirodu biofilma. AI ispod 400 zabeležen je u obe serije uzoraka samo u septembru mesecu na dubini 1, i tada je u razvijenom perifitonu autotrofna komponenta imala značajan udeo.

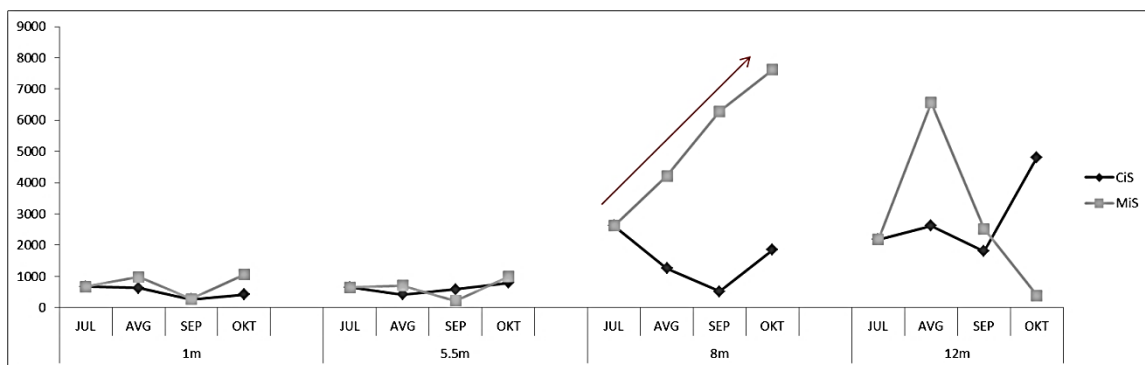
Ovi rezultati predstavljeni su i grafički (Grafik 16) sa namerom da se jasno uoči da su vrednosti AI bile mnogo puta veće na dubinama 8 m i 12 m u odnosu na 1 m i 5,5 m. Takođe, na ovim većim dubinama inkubacije (8 m i 12 m) razlike u vrednostima AI između MiS i CiS su daleko upadljivije, a značajno je primetiti i konstantan rastući trend AI u MiS na dubini 8 m.

Tabela 16. Autotrofni indeks perifitona razvijenog u jezeru Vrutci. * su obeležene minimalne vrednosti.

dubina/mesec		CiS	MiS
1 m	Jul	671	671
	Avgust	625	979
	Septembar	266*	273*
	Oktobar	417	1057
5,5 m	Jul	656	656
	Avgust	420	710
	Septembar	590	219
	Oktobar	796	994

8 m	Jul	2624	2624
	Avgust	1255	4217
	Septembar	517	6287
	Oktobar	1848	7621

12 m	Jul	2187	2187
	Avgust	2624	6560
	Septembar	1804	2523
	Oktobar	4811	386



Grafik 16. Dinamika Autotrofnog indeksa perifitona razvijenog u jezeru Vrutci.

2.2.4 Lakatoš indeks

Na osnovu rezultata Lakatoš indeksa za perifiton razvijen u jezeru Vrutci, opšti utisak je da su osobine perifitona u obe serije uzoraka (CiS i MiS) vrlo slične, odnosno ukupna biomasa je niska (DM tip III preovlađuje gotovo isključivo), struktura varira od potpuno neorganske do neorgansko-organske (AC tip I i II), a u sastavu zajednice vrlo retko značajno učestvuje i autotrofna (Chl tip II), a uglavnom preovladava heterotrofna komponenta (Chl tip III i IV) (Tabela 17). Upadljiva razlika između serija na koju Lakatoš indeks ukazuje je ukupna biomasa perifitona na dubini 5,5 m, gde DM tip otkriva da je od avgusta do oktobra biomasa u CiS visoka (tip I), dok u MiS ostaje niska do kraja ekperimenta (tip III). Lakatoš indeks je i ovde pokazao konzistentnost sa rezultatima AI, kao i osetljivost na značajne razlike u DM između MiS i CiS koje su već prethodno potvrđene.

IV REZULTATI

Tabela 17. Lakatoš indeks za perifiton razvijen u jezeru Vrutci.

		CiS			MiS		
		DM tip	AC tip	Chl tip	DM tip	AC tip	Chl tip
dubina 1m	Jul	III	I	III	III	I	III
	Avgust	III	I	III	III	II	III
	Septembar	III	I	II	III	I	II
	Oktoabar	III	II	III	III	II	IV
dubina 5,5m	Jul	III	I	IV	III	I	IV
	Avgust	I	I	III	III	I	III
	Septembar	I	I	III	III	I	II
	Oktoabar	I	I	IV	III	I	IV
dubina 8m	Jul	III	II	IV	III	II	IV
	Avgust	III	I	IV	III	I	IV
	Septembar	III	I	III	III	I	IV
	Oktoabar	III	II	IV	III	III	IV
dubina 12m	Jul	III	II	IV	III	II	IV
	Avgust	III	I	IV	III	II	IV
	Septembar	III	I	IV	III	I	IV
	Oktoabar	III	II	IV	III	I	II

3 Taksonomski sastav cijanobakterija i algi perifitonske zajednice

3.1 Savsko jezero

3.1.1 Kvalitativni sastav celokupne zajednice cijanobakterija i algi u perifitonu

U Tabeli 18 predstavljen je celokupni spisak identifikovanih taksona cijanobakterija i algi u perifitonu sa veštačkih podloga i kamena iz Savskog jezera. Detektovano je ukupno 203 taksona (rod, vrsta ili varijetet) cijanobakterija i algi iz 6 razdela: Cyanobacteria, Bacillariophyta, Chlorophyta, Chrysophyta, Dinophyta i Euglenophyta. Najveći broj predstavnika zabeležen je u okviru silikatnih algi (Bacillariophyta 98 taksona), zatim su sledili pripadnici zelenih algi (Chlorophyta 53 taksona) i cijanobakterija (Cyanobacteria 48), dok je u okviru ostalih grupa zabeležen veoma mali broj pripadnika (Chrysophyta 1 takson, Dinophyta 4 taksona i Euglenophyta 1 takson).

Posmatrano u procentima, skoro polovinu svih identifikovanih taksona cijanobakterija i algi u perifitonu Savskog jezera činile su silikatne alge (49%), pratile su ih zelene alge (26%) i cijanobakterije (23%), veoma mali procenat udela u zajednici pripao je pripadnicima razdela Dinophyta, dok su Chrysophyta i Euglenophyta bile zastupljene sa manje od 1% (Grafik 17).

U Tabeli 18 zvezdicom je obeležen takson *Stauroneis balatonis* Pantocsek (Slika 18), jer predstavlja prvi nalaz ove vrste za Srbiju (na osnovu neobjavljene baze podataka Flora silikatnih algi Srbije, Krizmanić). Zabeležena populacija *Stauroneis balatonis* bila je malobrojna, a identifikacija ovog taksona je izvršena zahvaljujući savremenoj reviziji kompleksa *Stauroneis smithii* Grunow iz Ohridskog i Prespanskog jezera (Levkov i sar. 2016b).

Opis *Stauroneis balatonis* Pantocsek iz Savskog jezera (Slika 18): valve su lanceolatne, rombično do eliptično lanceolatne, sa kratkim do nešto izduženim subrostratnim vrhovima. Suženje u centralnom delu valve je blago, ali uočljivo. Dužina valvi 20,5-32,5 µm, širina valvi 6,4-7,5 µm. Pseudosepta je prisutna na oba pola, uočljiva u osnovi sužavanja valve na vrhovima. Centralna zona se nastavlja na usko

IV REZULTATI

pravougaono hijalinsko polje, koje se ne proširuje prema ivicama valve. Rafa je filiformna, ravna. Poprečne pruge su teško vidljive pod svetlosnim mikroskopom (LM), paralelne do veoma blago radijalne, 24-25 u 10 µm. Punte su nejasne, neuočljive pod LM.

Tabela 18. Spisak svih identifikovanih taksona cijanobakterija i algi u perifitonu Savskog jezera.

CYANOBACTERIA	
	46 taksona
<i>Aphanocapsa</i> C. Nägeli sp.	
<i>Aphanocapsa holsatica</i> (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek	
<i>Aphanocapsa incerta</i> (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek	
<i>Aphanothece bullosa</i> (Meneghini) Rabenhorst	
<i>Aphanothece stagnina</i> (Sprengel) A.Braun	
<i>Bacularia</i> cf. <i>vermicularis</i> (Fedorov) Komárek & Anagnostidis	
<i>Calothrix</i> C.Agardh ex Bornet & Flahault sp.	
<i>Calothrix castellii</i> Bornet & Flahault	
<i>Calothrix</i> cf. <i>kossinskajae</i> Elenkin	
<i>Chroococcus dispersus</i> (Keissler) Lemmermann	
<i>Chroococcus minimus</i> (Keissler) Lemmermann	
<i>Chroococcus minor</i> (Kützing) Nägeli	
<i>Chroococcus minutus</i> (Kützing) Nägeli	
<i>Chroococcus obliteratedus</i> Richter	
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli	
<i>Coelosphaerium</i> Nägeli sp.	
<i>Coelosphaerium aerugineum</i> Lemmermann	
<i>Geitlerinema</i> (Anagnostidis & Komárek) Anagnostidis sp.	
<i>Glaucospira</i> G.Lagerheim sp.	
<i>Komvophoron minutum</i> (Skuja) Anagnostidis & Komárek	
<i>Leptolyngbia</i> Anagnostidis & Komárek sp.	
<i>Leptolyngbya foveolara</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek	
<i>Leptolyngbya ochracea</i> (Thuret ex Gomont) Anagnostidis & Komárek	
<i>Limnococcus limneticus</i> (Lemmermann) Komárková, Jezberová, O.Komárek & Zapomelová	
<i>Lyngbya calcarea</i> (Tilden) Symoens	
<i>Merismopedia glauca</i> (Ehrenberg) Kützing	
<i>Merismopedia punctata</i> Meyen	
<i>Microcrocis</i> cf. <i>bella</i> (Beck-Mannagetta) Komárek & Anagnostidis	

Microcystis aeruginosa (Kützing) Kützing
Oscillatoria cf. *princeps* Vaucher ex Gomont
Oscillatoria limosa C.Agardh ex Gomont
Oscillatoria Vaucher ex Gomont sp.
Phormidesmis molle (Gomont) Turicchia, Ventura, Komárková & Komárek
Phormidium ambiguum Gomont
Phormidium Kützing ex Gomontsp.1
Phormidium Kützing ex Gomontsp.2
Phormidium Kützing ex Gomontsp.3
Phormidium puteale (Montagne ex Gomont) Anagnostidis & Komárek
Phormidium breve (Kützing ex Gomont) Anagnostidis & Komárek
Phormidium tergestinum (Rabenhorst ex Gomont) Anagnostidis & Komárek
Pseudanabaena catenata Lauterborn
Pseudanabaena limnetica (Lemmermann) Komárek
Pseudanabaena papillaterminata (Kiselev) Kukk
Snowella lacustris (Chodat) Komárek & Hindák
Tolypothrix tenuis Kützing ex Bornet & Flahault
Xenococcus Thuret sp.

BACILLARIOPHYTA

98 taksona

Achnantheidium minutissimum (Kützing) Czarnecki
Achnantheidium minutissimum var. *jackii* (Rabenhorst) Lange-Bertalot
Achnantheidium straubianum (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot
Amphora cf. *ovalis* (Kützing) Kützing
Amphora copulata (Kützing) Schoeman & Archibald
Amphora Ehrenberg ex Kützing sp.
Amphora pediculus (Kützing) Grunow
Brachysira neoexilis Lange-Bertalot
Brachysira vitrea (Grunow) Ross in Hartley
Caloneis cf. *lancettula* (Schulz) Lange-Bertalot & Witkowski
Caloneis cf. *silicula* (Ehrenberg) Cleve
Caloneis Cleve sp.
Caloneis schumanniana (Grunow in Van Heurck) Cleve
Cocconeis cf. *pseudolineata* (Geitler) Lange-Bertalot
Cocconeis placentula var. *lineata* (Ehrenberg) Van Heurck
Cocconeis placentula var. *placentula* Ehrenberg
Cocconeis placentula var. *euglypta* (Ehrenberg) Grunow
Cyclotella cretica var. *cyclopuncta* (H. Hakansson & J.R.Carter) R.Schmidt
Cyclotella pseudostelligera Hustedt

Cymatopleura solea (Brébisson in Breb. & Godey) W.Smith
Cymatopleura elliptica (Brébisson) W.Smith
Cymbella affiniformis Krammer
Cymbella C.Agardh sp.
Cymbopleura diminuta (Grunow) Krammer
Cymbopleura rupicola var. *minor* Krammer
Diatoma moniliformis (Kützing) D.M.Williams
Discostella stelligera (Cleve et Grun.) Houk & Klee
Encyonema Kützing sp.
Encyonema auerswaldii Rabenhorst
Encyonema cespitosum Kützing
Encyonema silesiacum (Bleisch in Rabh.) D.G. Mann
Encyonema ventricosum (Kützing) Grunow in Schmidt & al.
Encyonopsis microcephala (Grunow) Krammer
Encyonopsis minuta Krammer & Reichardt
Encyonopsis subminuta Krammer & Reichardt
Eolimna minima (Grunow) Lange-Bertalot
Fragilaria acus (Kützing) Lange-Bertalot
Fragilaria Lyngbye sp.
Fragilaria vaucheriae (Kützing) Petersen
Geissleria decussis (Østrup) Lange-Bertalot & Metzeltin
Gomphonema cf. *pumilum* (Grunow) E.Reichardt & Lange-Bertalot
Gomphonema tergestinum (Grunow in Van Heurck) Schmidt in Schmidt & al.
Gomphonema varioireduncum Jüttner, Ector, Reichardt, Van de Vijver & Cox
Gomphonema aff. *innocens* E.Reichardt
Gyrosigma Hassall sp.
Gyrosigma kuetzingii (Grunow) Cleve
Halamphora montana (Krasske) Levkov
Hantzschia amphioxys (Ehrenberg) Grunow
Hippodonta capitata (Ehrenberg) Lange-Bert.Metzeltin & Witkowski
Humidophila contenta (Grunow) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová
Lindavia radiosa (Grunow) De Toni & Forti
Luticola mutica (Kützing) D.G.Mann
Melosira varians Agardh
Navicula antonii Lange-Bertalot
Navicula Bory sp.2
Navicula Bory sp.1

Navicula caterva Hohn & Hellerman
Navicula cf. *antonii* Lange-Bertalot
Navicula cf. *cryptotenella* Lange-Bertalot
Navicula cryptotenella Lange-Bertalot
Navicula cryptotenelloides Lange-Bertalot
Navicula radiosa Kützing
Navicula rostellata Kützing
Navicula subalpina Reichardt
Navicula trivialis Lange-Bertalot
Navicula trophicatrix Lange-Bertalot
Navicula veneta Kützing
Neidiomorpha binodis (Ehrenberg) M.Cantonati, Lange-Bertalot & N.Angeli
Neidium dubium (Ehrenberg) Cleve
Nitzschia angustata (W.Smith) Grunow
Nitzschia cf. *angustata* (W.Smith) Grunow
Nitzschia dissipata (Kützing) Rabenhorst
Nitzschia lacuum Lange-Bertalot
Nitzschia oligotrappenta (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot
Nitzschia palea (Kützing) W.Smith
Nitzschia recta Hantzsch ex Rabenhorst
Nitzschia vermicularis (Kützing) Hantzsch
Orthoseira rooseana (Rabenhorst) Pfitzer
Orthoseira dendroteres (Ehrenberg) Genkal & Kulikovskiy
Pantocsekiella ocellata (Pantocsek) K.T. Kiss et Ács
Pinnularia borealis Ehrenberg
Placoneis clementioides (Hustedt) Cox
Placoneis Mereschowsky sp.1
Placoneis Mereschowsky sp.2
Placoneis minor (Grunow) Lange-Bertalot
Placoneis pseudanglica (Lange-Bertalot) Cox
Planothidium frequentissimum (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot
Psammothidium L.Buhtkiyarova & Round sp.
Sellaphora bacillum (Ehrenberg) D.G.Mann
Sellaphora Mereschowsky sp.1
Sellaphora Mereschowsky sp.2
Sellaphora pupula (Kützing) Mereschowsky
 **Stauroneis balatonis* Pantocsek
Staurosira brevistriata (Grunow) Grunow

Staurosira mutabilis (Wm Smith) Grunow

Surirella angusta Kützing

Surirella Turpin sp.

Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère

CHLOROPHYTA

53 taksona

Chlorococcum Meneghini sp.

Cladophora Kützing sp.

Closterium Nitzsch ex Ralfs sp.

Coelastrum astroideum De Notaris

Coelastrum microporum Nägeli

Coelastrum sphaericum Nägeli

Coenochloris Korshikov sp.

Cosmarium botrytis var. *tumidum* Wolle

Cosmarium cf. *pseudobirenum* Boldt

Cosmarium granatum West

Cosmarium jaoi Kouwets

Cosmarium laeve Rabenhorst

Cosmarium punctulatum Brébisson

Cosmarium reniforme (Ralfs)W.Archer

Cosmarium tetraophthalmum Brebisson

Cosmarium variolatum var. *cataractarum* Raciborski

Eutetramorus fottii (Hindák) Komárek

Gloeocystis Nägeli sp.

Golenkinia Chodat sp.

Gonatozygon brebissonii De Bary

Kirchneriella Schmidle sp.

Microspora stagnorum (Kützing) Lagerheim

Mougeotia C.Agardh sp.2

Mougeotia C.Agardh sp.1

Oedogonium Link ex Hirn sp.1

Oedogonium Link ex Hirn sp.2

Oocystis borgei J.W.Snow

Oocystis marssonii Lemmermann

Oocystis solitaria Wittrock

Oocystis lacustris Chodat

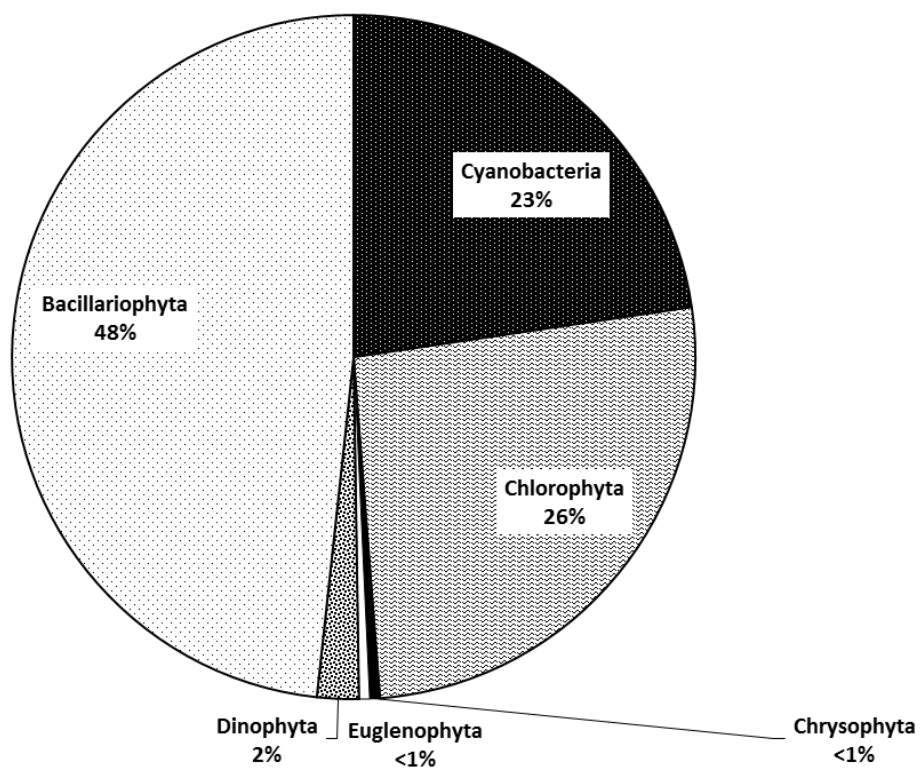
Oonephris obesa (West & G.S.West) Fott

Pandorina morum (O.F.Müller) Bory

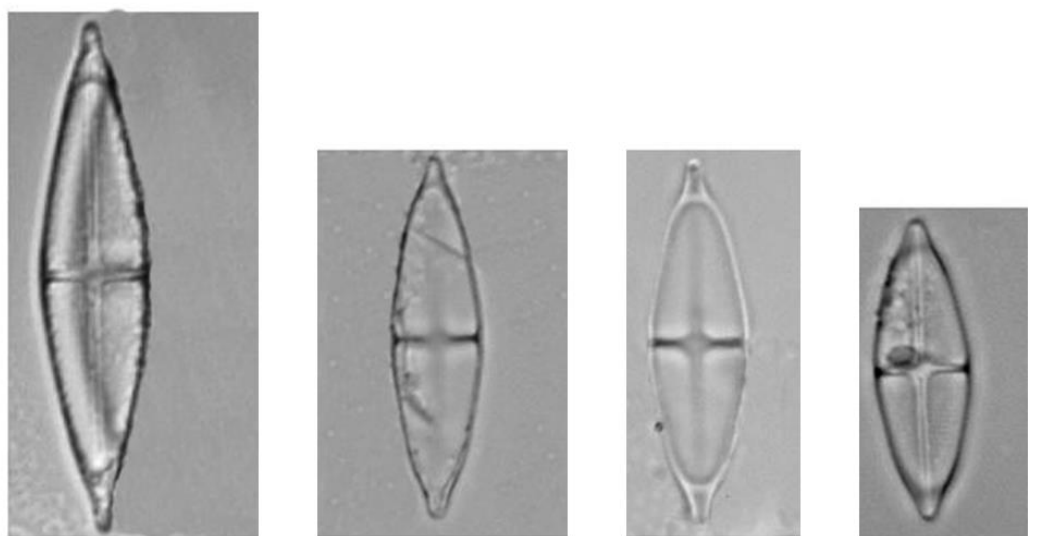
Pediastrum integrum Nägeli

IV REZULTATI

<i>Pediastrum simplex</i> var. <i>biwaense</i> Fukushima	
<i>Pediastrum simplex</i> var. <i>echinulatum</i> Wittrock	
<i>Pediastrum simplex</i> var. <i>simplex</i> Meyen	
<i>Pediastrum tetras</i> (Ehrenberg) Ralfs	
<i>Phacotus lenticularis</i> (Ehrenberg) Deising	
<i>Pseudopediastrum boryanum</i> (Turpin) E.Hegewald	
<i>Scenedesmus abundans</i> (O.Kirchner) Chodat	
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerheim) Chodat	
<i>Scenedesmus bicaudatus</i> Dedusenko	
<i>Scenedesmus elipticus</i> Corda	
<i>Scenedesmus magnus</i> Meyen	
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébisson	
<i>Scenedesmus velitaris</i> Komárek	
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat	
<i>Spirogira</i> Link sp.	
<i>Staurastrum alternans</i> Brébisson	
<i>Staurastrum chaetoceras</i> (Schröder) G.M.Smith	
<i>Tetraedron caudatum</i> (Corda) Hansgirg	
<i>Tetraedron minimum</i> (A.Braun) Hansgirg	
<i>Zygnema</i> C.Agardh sp.	
CHRYSOPHYTA	1 takson
<i>Kephyrion</i> Pascher sp.	
DINOPHYTA	4 taksona
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin	
<i>Parvodinium umbonatum</i> (Stein) S.Carty	
<i>Peridiniopsis cunningtoni</i> Lemmermann	
<i>Peridinium</i> Ehrenberg sp.	
EUGLENOPHYTA	1 takson
<i>Trachelomonas globularis</i> (Averintsev) Lemmermann	
UKUPNO	203 taksona



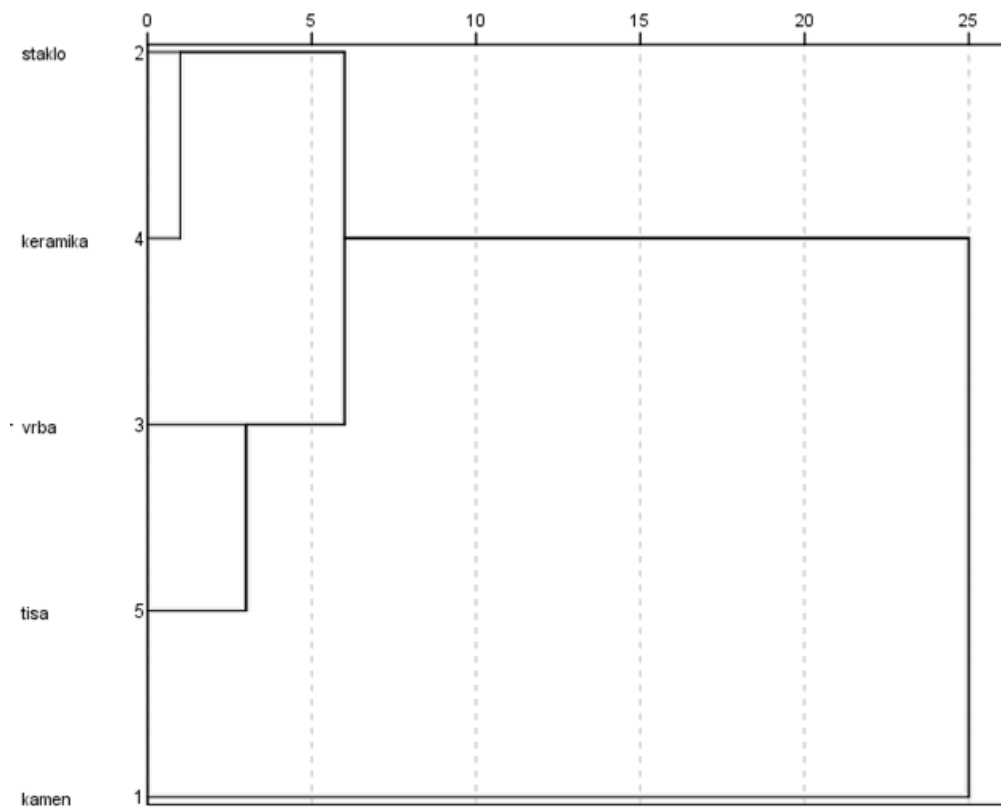
Grafik 17. Procentualni udeo razdela u ukupnom diverzitetu cijanobakterija i algi u perifitonu Savskog jezera.



Slika 18. *Stauroneis balatonis* iz Savskog jezera. Metrić 10 μm .

3.1.2 Kvantitativna analiza celokupne zajednice cijanobakterija i algi u perifitonu

Grupisanje podloga (hijerarhijska klaster analiza, *Jaccard distance measure*) izvršeno na osnovu prisustva ili odsustva taksona cijanobakterija i algi u kvantitativnoj analizi (Grafik 18). Na osnovu rezultata predstavljenih na Grafiku 18, vidimo da zajednice perifitona razvijene na staklu i keramici formiraju prvi klaster, sledeći klaster se formira između stakla i keramike kao jednog i vrbe i tise kao druge grupe, a treći između kamena sa jedne i svih ostalih podloga sa druge strane.



Grafik 18. Dendrogram - hijerarhijska klaster analiza prisustva/odsustva taksona cijanobakterija i algi na kamenu i veštačkim podlogama (kada su uzete u obzir sve tri dubine inkubacije i svi datumi uzorkovanja) iz Savskog jezera.

U Tabeli 19 je predstavljena udaljenost (*Jaccard distance measure*) između varijabli (tipova podloga) u matriksu. Na osnovu obeleženih vrednosti možemo

IV REZULTATI

zaključiti da su sve veštačke podloge sličnije među sobom u odnosu na kamen, što je i očekivano s obzirom na prostornu udaljenost tački inkubacije kamena i veštačkih podloga. Zajednica na kamenu svakako je sličnija zajednicama na staklu i keramici nego na drvenim podlogama, a same zajednice na drvenim podlogama sličnije su jedna drugoj nego zajednicama razvijenim na staklu i keramici, koje su s druge strane najbližije jedna drugoj. Među zajednicama na staklu i keramici zabeležena je i najmanja udaljenost uopšteno posmatrano, dakle među ovim zajednicama razlike su najmanje u pogledu taksona cijanobakterija i algi koji su se javljali u perifitonu.

Tabela 19. Udaljenost (*Jaccard distance measure*) između podloga inkubiranih u Savskom jezeru, a na osnovu prisustva/odsustva taksona cijanobakterija i algi u zajednicama perifitona. * su obeležene najmanje udaljenosti (najbližije podloge), a sa ** najveće udaljenosti (najrazličitije podloge).

	Kamen	Staklo	Keramika	Vrba	Tisa
Kamen	1,000	0,608*	0,608*	0,481**	0,520
Staklo	0,608**	1,000	0,767*	0,683	0,712
Keramika	0,608**	0,767*	1,000	0,712	0,683
Vrba	0,481**	0,683	0,712	1,000	0,714*
Tisa	0,520**	0,712	0,683	0,714*	1,000

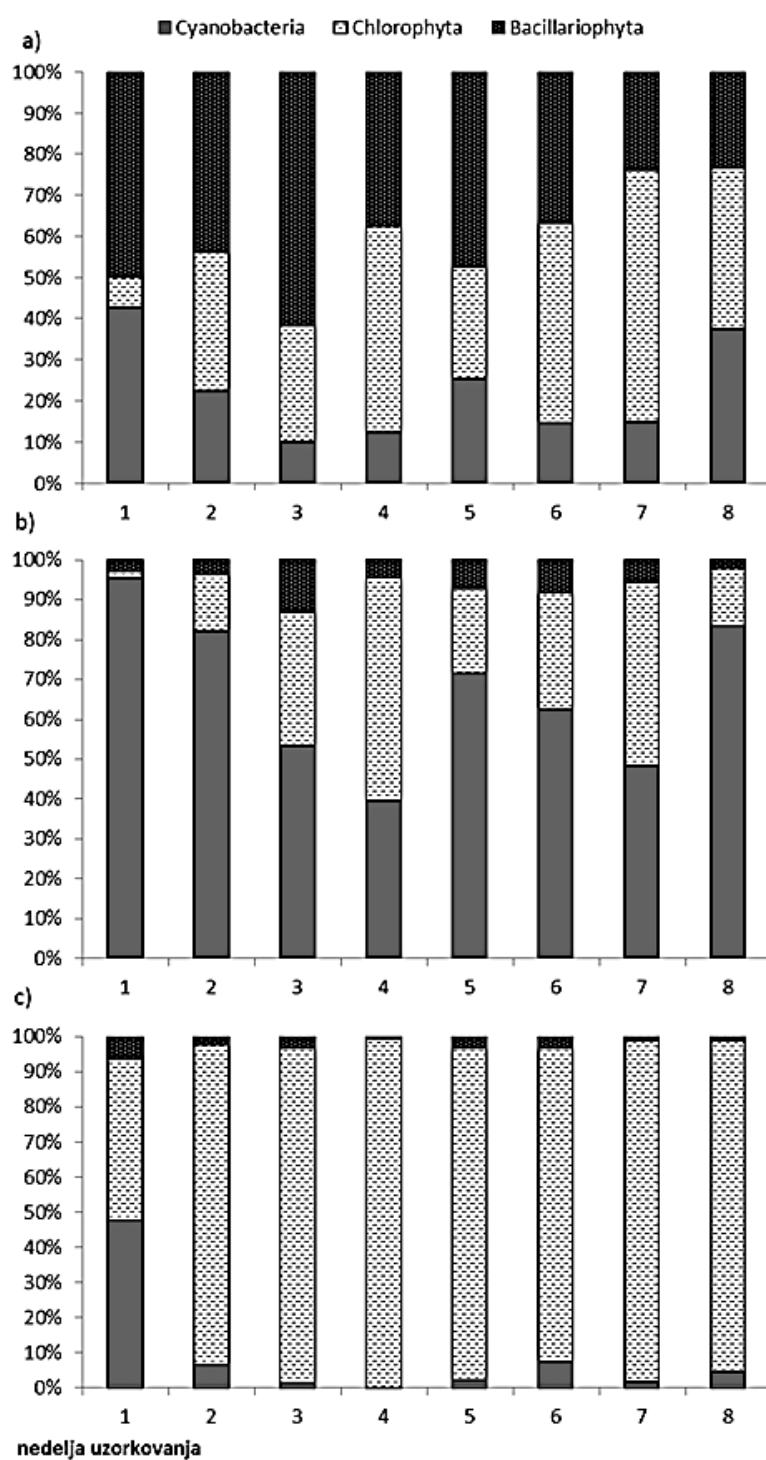
3.1.2.1 Kamen - epilitska zajednica

Zanimljivo je istaći da su heterocitni taksoni cijanobakterija (predstavnicu roda *Calothrix*) zabeleženi isključivo u kvantitativnoj analizi perifitona sa kamena, dok se u zajednicama sa veštačkih podloga nisu pojavljivali. Takođe, uopšteno posmatrano i veći diverzitet i brojnost filamentoznih cijanobakterija (predstavnicu rodova *Oscillatoria*, *Phormidium* i *Leptolyngbya*) detektovan je na kamenu, dok su kokoidni predstavnici (red Chroococcales) u ovoj zajednici bili retki (samo *Aphanocapsa holsatica* i *Snowella lacustris* su bile zastupljene u više od 50% uzoraka). Predstavnicu Chrysophyta i Dinophyta nisu nađeni u zajednicama na kamenu.

IV REZULTATI

Dinamika udela cijanobakterija, silikatnih i zelenih algi (prema broju jedinki, ćelija i preračunatoj biomasi) u zajednici perifitona sa kamena iz Savskog jezera predstavljena je na Grafiku 19. Sa Grafika 19 možemo zaključiti da se dinamika grupa u perifitonu sa kamena razlikuje u zavisnosti od posmatranog parametra. Prema broju jedinki zastupljenost silikatnih i zelenih algi je manje ili više ujednačena (u proseku silikatne alge dominiraju sa 46%, dok su zelene zastupljene sa 33%), pri čemu se udeo zelenih algi povećava krajem avgusta i početkom septembra (6. i 7. nedelja uzorkovanja), dok je udeo cijanobakterija najveći na početku i na kraju eksperimentalnog perioda. Na osnovu brojnosti ćelija upadljivo dominiraju cijanobakterije (56% od ukupnog broja ćelija), dok prema biomasi bez dileme mesto dominantne grupe pripada zelenim algama (91%). Ovakava raspodela nastala je usled činjenice da su većina predstavnika Bacillariophyta jednoćelijske alge, od kojih su najzastupljeniji bili sitni taksoni (*Achnantheidium* spp. i *Encyonopsis* spp.), dok kod cijanobakterija i zelenih algi preovlađuju višćelijski trihalni taksoni (*Phormidium* spp., *Pseudanabaena* spp. i *Oedogonium* spp.).

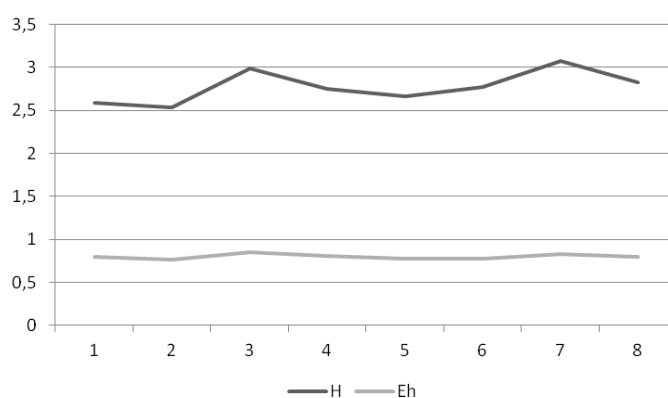
Ukupna biomasa perifitona na kamenu varirala je između 112 mg/m² (minimalna vrednost zabeležena u 1. nedelji uzorkovanja) i 1,5 g/m² (maksimalna vrednost zabeležena u 4. nedelji uzorkovanja), a procenjena medijalna vrednost bila je 390 mg/m².



Grafik 19. Procentualni udeo broja jedinki po cm²(a), ćelija po cm²(b) i biomase u mg/m²(c) razdela u zajednici perifitona na kamenu tokom leta 2014. godine.

IV REZULTATI

Na Grafiku 20 predstavljena je dinamika Šenonovog indeksa diverziteta i Pielou indeksa ujednačenosti izračunatih na osnovu kvantitativne analize kompletne zajednice cijanobakterija i algi sa kamena. Sa grafika možemo videti da je indeks diverziteta varirao između 2,5 i nešto malo više od 3, što je relativno visoka vrednost za diverzitet. Ujednačenost prema Pielou indeksu kretala se između vrednosti 0,75 i 0,85, što je takođe visoka vrednost i odraz stabilnosti zajednice, odnosno ujednačenog rasporeda brojnosti taksona u perifitonu.



Grafik 20. Dinamika Šenonovog indeksa diverziteta (H) i Pielou indeksa ujednačenosti (Eh) perifitona sa kamena.

3.1.2.2 Veštačke podloge

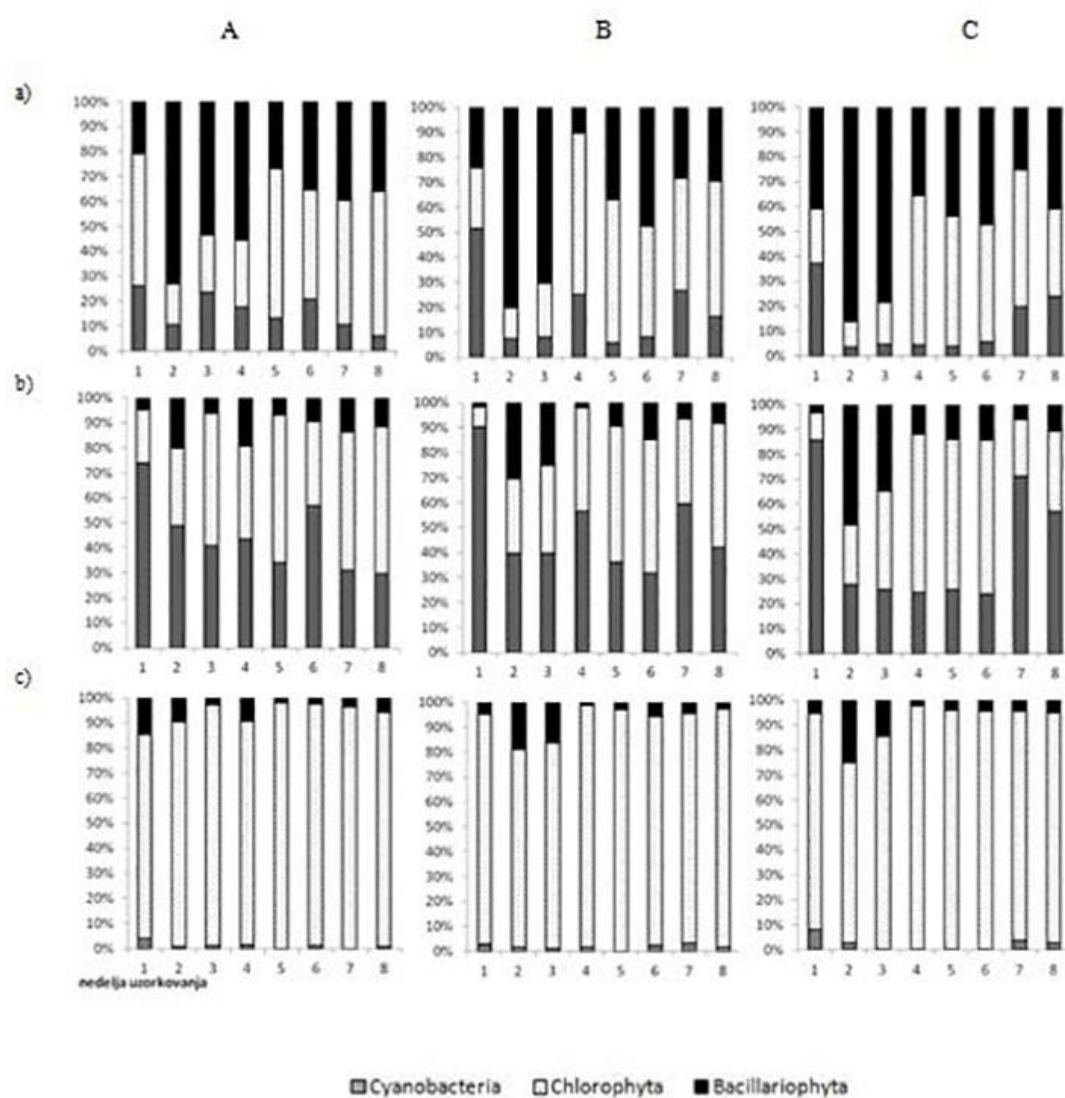
Predstavnici razdela Chrysophyta i Dinophyta, kao tipični planktonski organizmi, bili su zastupljeni u perifitonskim zajednicama na veštačkim podlogama (za razliku od kamena), ali ipak u veoma malom procentu (< 5%), te je stoga kvantitativna analiza i ovde predstavljena kroz odnos cijanobakterija, zelenih i silikatnih algi u zajednici.

Promena procentualnog odnosa tri najveće grupe (cijanobakterija, zelenih i silikatnih algi) u funkciji vremena, predstavljena je kroz broj jedinki po cm^2 , broj ćelija po cm^2 i biomasu (mg/m^2), uporedno na svim dubinama inkubacije, na Grafcima 21, 22, 23 i 24. Generalno posmatrano, na svim podlogama uočljivo je da na različitim dubinama inkubacije nema upadljivih razlika, dok kao i na kamenu, u zavisnosti od posmatranog parametra postoje značajne razlike u sastavu i dinamici zajednice. Iako razlike u dinamici postoje u zavisnosti od tipa podloge, kada u proseku posmatramo

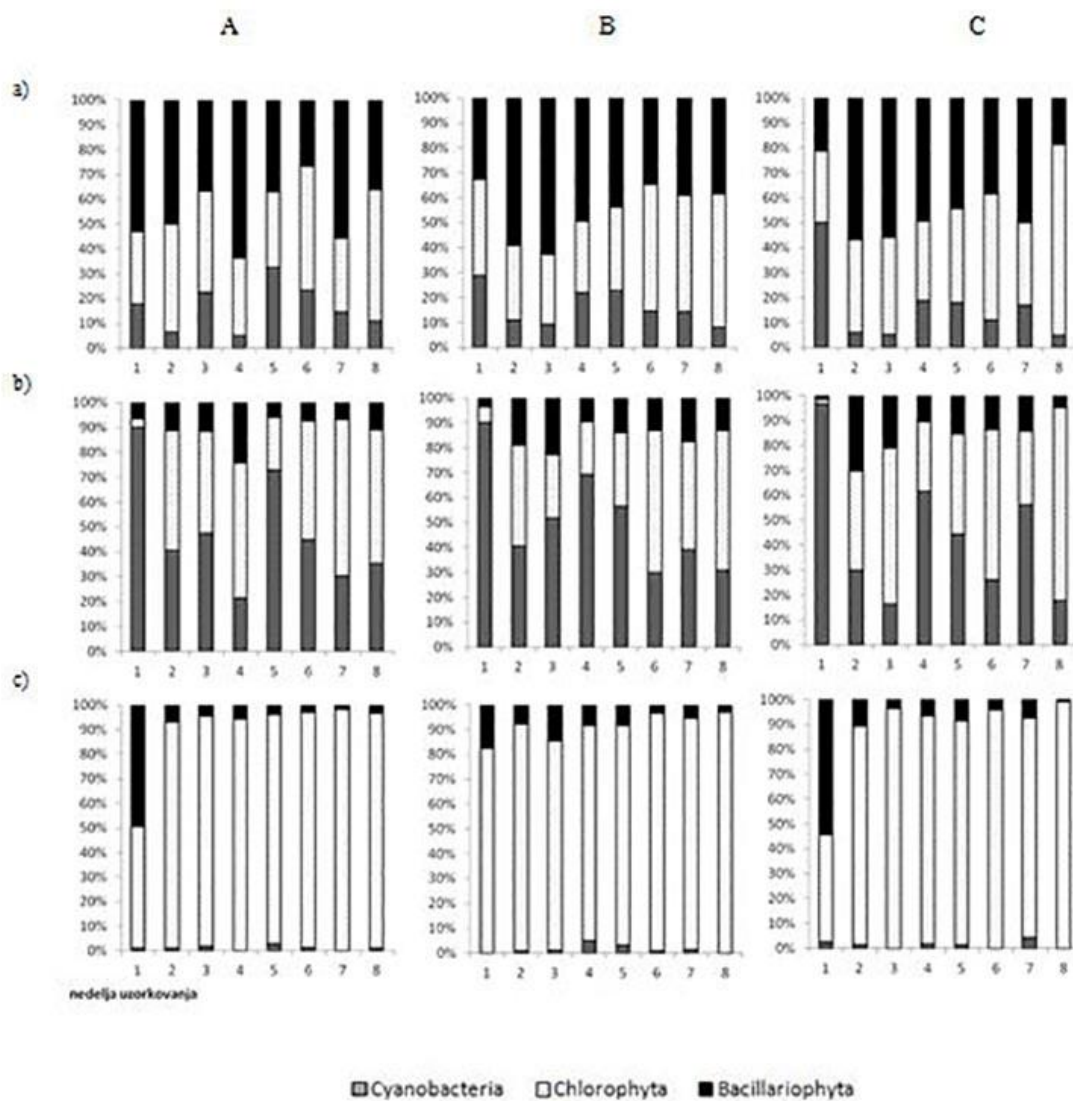
IV REZULTATI

sastav zajednice, za sve podloge je zajedničko da po broju jedinki dominiraju silikatne alge (na staklu 50%, na keramici 44%, na vrbi 42% i na tisi 43%), a subdominantne su zelene alge (na staklu 36%, na keramici 39%, na vrbi 38% i na tisi 40%). I na veštačkim podlogama, kao i na kamenu, među samim silikatnim algama dominiraju sitni taksoni *Achnanthidium* spp. i *Encyonopsis* spp., te je zbog toga zastupljenost cele grupe vidljiva samo na nivou broja jedinki.

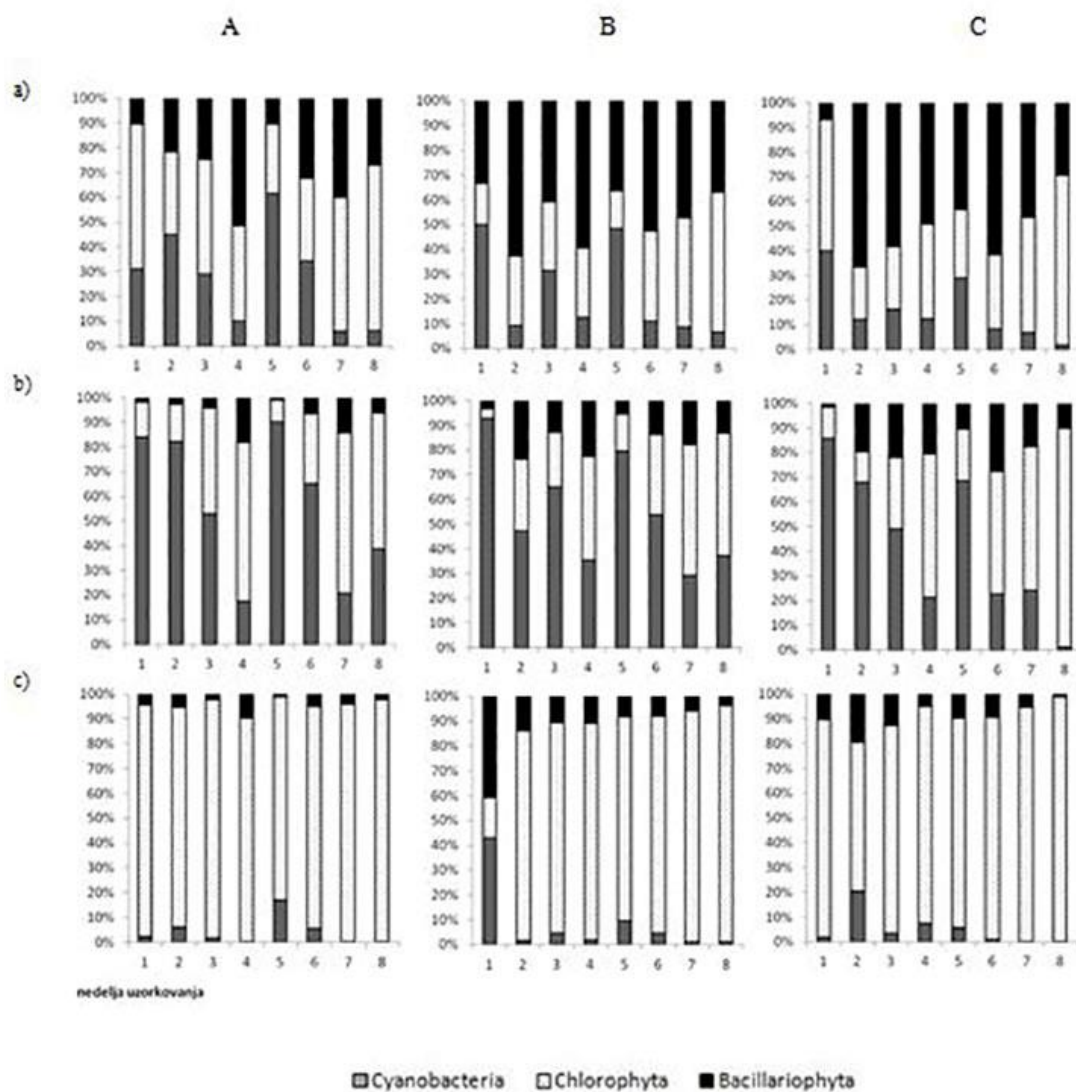
Prema broju ćelija dominiraju cijanobakterije (na staklu 43%, na keramici 44%, na vrbi 55%), a subdominantne su ponovo zelene alge (na staklu 42%, na keramici 43%, na vrbi 35%), dok je ovaj odnos na tisi gotovo potpuno izjednačen (cijanobakterije 44% i zelene 44,2%). Zastupljenost cijanobakterija i zelenih algi prema broju ćelija zapravo je veoma ujednačena, varijacije u samo 1% određuju dominantnu i subdominantnu grupu na svim podlogama izuzev vrbe, gde je razlika značajnija u korist cijanobakterija. Na staklu, keramici i tisi, prema broju ćelija dominantan takson je ipak trihalna zelena alga *Mougeotia* sp., a kao subdominantan takson javlja se trihalna cijanobakterija *Pseudanabaena papillaterminata*. Na vrbi ovaj odnos je obrnut, u korist taksona *Pseudanabaena papillaterminata*.



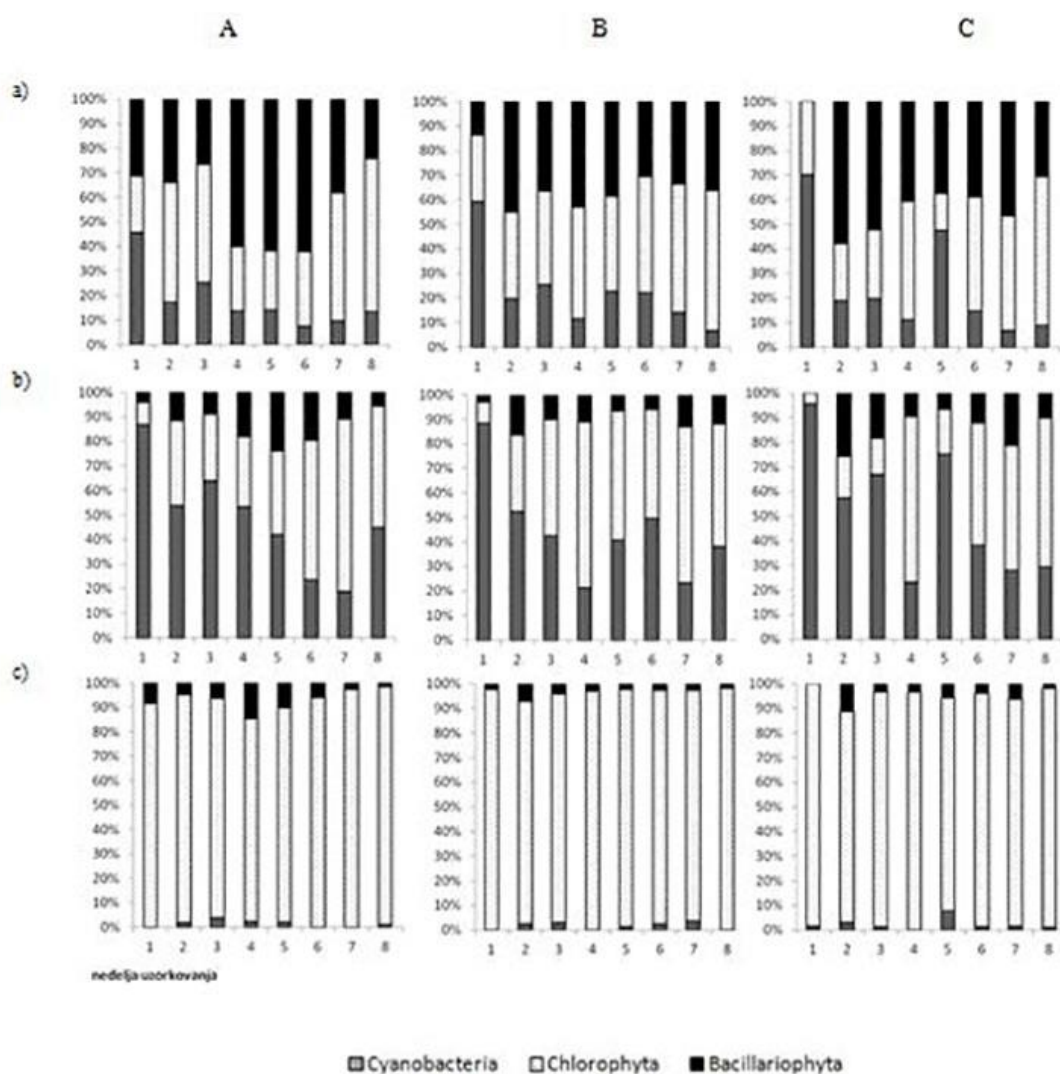
Grafik 21. Dinamika procentualnog odnosa tri najveće grupe (cijanobakterija, zelenih i silikatnih algi) na staklenoj podlozi, predstavljena je kroz a) broj jedinki po cm^2 , b) broj ćelija po cm^2 i c) biomasu (mg/m^2), na dubini 1 (kolona A), dubini 2 (kolona B) i dubini 3 (kolona C).



Grafik 22. Dinamika procentualnog odnosa tri najveće grupe (cijanobakterija, zelenih i silikatnih algi) na keramici, predstavljena je kroz a) broj jedinki po cm^2 , b) broj ćelija po cm^2 i c) biomasu (mg/m^2), na dubini 1 (kolona A), dubini 2 (kolona B) i dubini 3 (kolona C).



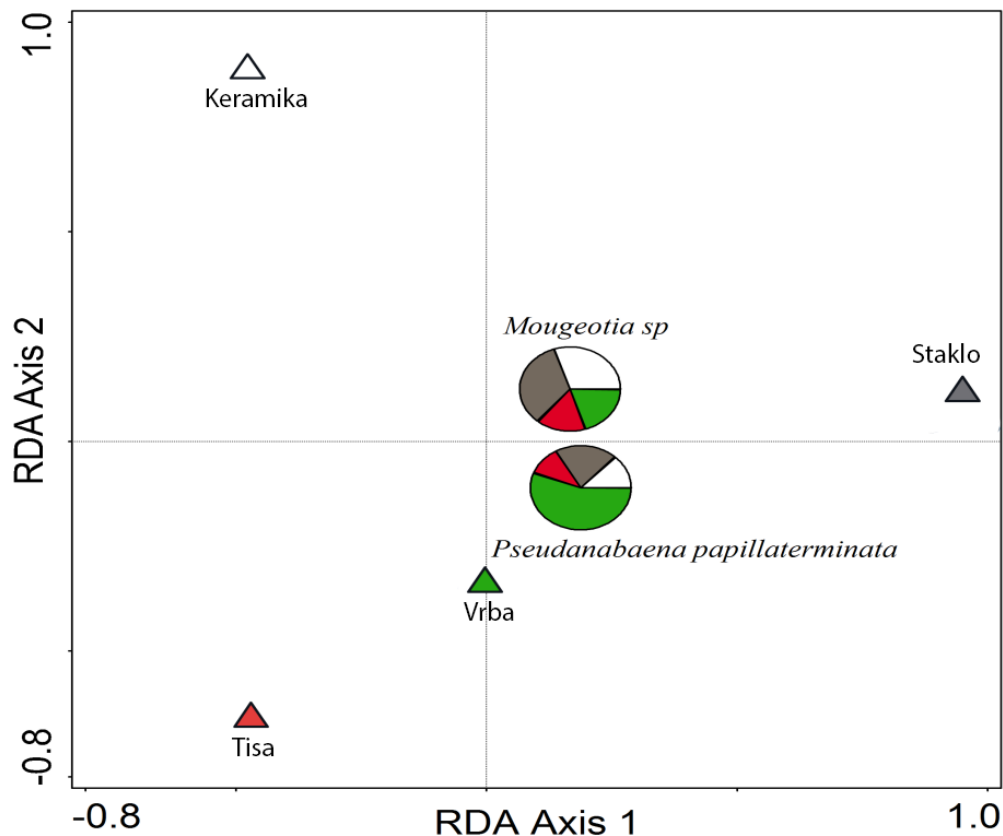
Grafik 23. Dinamika procentualnog odnosa tri najveće grupe (cijanobakterija, zelenih i silikatnih algi) na drvenoj podlozi - vrba, predstavljena je kroz a) broj jedinki po cm², b) broj ćelija po cm² i c) biomasu (mg/m²), na dubini 1 (kolona A), dubini 2 (kolona B) i dubini 3 (kolona C).



Grafik 24. Dinamika procentualnog odnosa tri najveće grupe (cijanobakterija, zelenih i silikatnih algi) na drvenoj podlozi - tisa, predstavljena je kroz a) broj jedinki po cm², b) broj ćelija po cm² i c) biomasa (mg/m²), na dubini 1 (kolona A), dubini 2 (kolona B) i dubini 3 (kolona C).

IV REZULTATI

Na Grafiku 25 predstavljena je abundanca dominantnih taksona (*Mougeotia* sp. i *Pseudanabaena papillaterminata*) u odnosu na tipove podloge. Vidljivo je da je *Mougeotia* sp. uglavnom ujednačeno zastupljena na svim podlogama (ipak više na staklu i keramici), dok je *P. papillaterminata* daleko više zastupljena na vrbi u odnosu na sve ostale podloge. Naši rezultati sugeriraju da *P. papillaterminata* preferira vrbu u odnosu na druge podloge koje su korišćene u ovoj studiji. Mogući razlozi mogu biti neki produkti biodegradacije podloge od vrbovog drveta koji mogu inicirati i unaprediti proliferaciju ove cijanobakterije, ili pak sa druge strane inhibirati sposobnost zelene alge *Mougeotia* sp. da kolonizuje ovu podlogu.



Grafik 25. RDA analiza. Abundanca dominantnih taksona - *Mougeotia* sp. i *Pseudanabaena papillaterminata* u odnosu na tipove podloge.

IV REZULTATI

Posmatranjem biomase (grafici 21c, 22c, 23c i 24c), nema dileme da su zelene alge eksplicitno dominantne (na staklu 91,5%, na keramici 90,5%, na vrbi 89% i na tisi 92%), a sve zahvaljujući već spomenutom dominantnom višecelijskom trihalnom taksonu *Mougeotia* sp.. U poređenju sa kamenom, biomasa na veštačkim podlogama svakako je bila niža, i sve do kraja eksperimentalnog perioda nije dostigla maksimalne vrednosti sa kamena (Tabela 20). Maksimalne vrednosti generalno zabeležene su u 7. i 8. nedelji uzorkovanja (samo ponegde i u 6), a minimalne na samom startu, tj. posle samo nedelju dana inkubacije. Prema medijalnim vrednostima, biomasa postignuta na staklu je bila najbliža vrednosti zabeleženoj na kamenu (390 mg/m²), a na staklu je zabeležena i najveća minimalna vrednost biomase, što ukazuje na bržu kolonizaciju cijanobakterija i algi na ovoj podlozi u odnosu na ostale.

Tabela 20. Maksimalne, minimalne i medijalne vrednosti (kada su uzeti u obzir svi datumi uzorkovanja i sve dubine inkubacije) biomase (mg/m²) na veštačkim podlogama.

	Biomasa mg/m ²		
	maks.	min.	mediana
Staklo	920,52	8,88	360,6244
Keramika	1239,66	0,58	272,0872
Vrba	931,5	0,51	261,6024
Tisa	783,74	0,83	296,1562

3.1.2.2.1 Eko-morfološka funkcionalna klasifikacija taksona detektovanih u kvantitativnoj analizi

Kako bismo posmatrali proces kolonizacije i sagledali sukcesivne puteve na različitim tipovima veštačkih podloga u većoj rezoluciji, rasporedili smo taksone detektovane u kvantitativnoj analizi perifitona u eko-morfološke grupe, uzevši u obzir broj jedinki po cm^2 i dubinu inkubacije 1. Procentualni udeo eko-morfoloških grupa u zajednici perifitona na različitim podlogama prikazan je na Grafiku 26. Rezultati distribucije i dinamike eko-morfoloških funkcionalnih grupa biće posmatrani u kontekstu prethodno utvrđenih faza kolonizacije (Grafik 8).

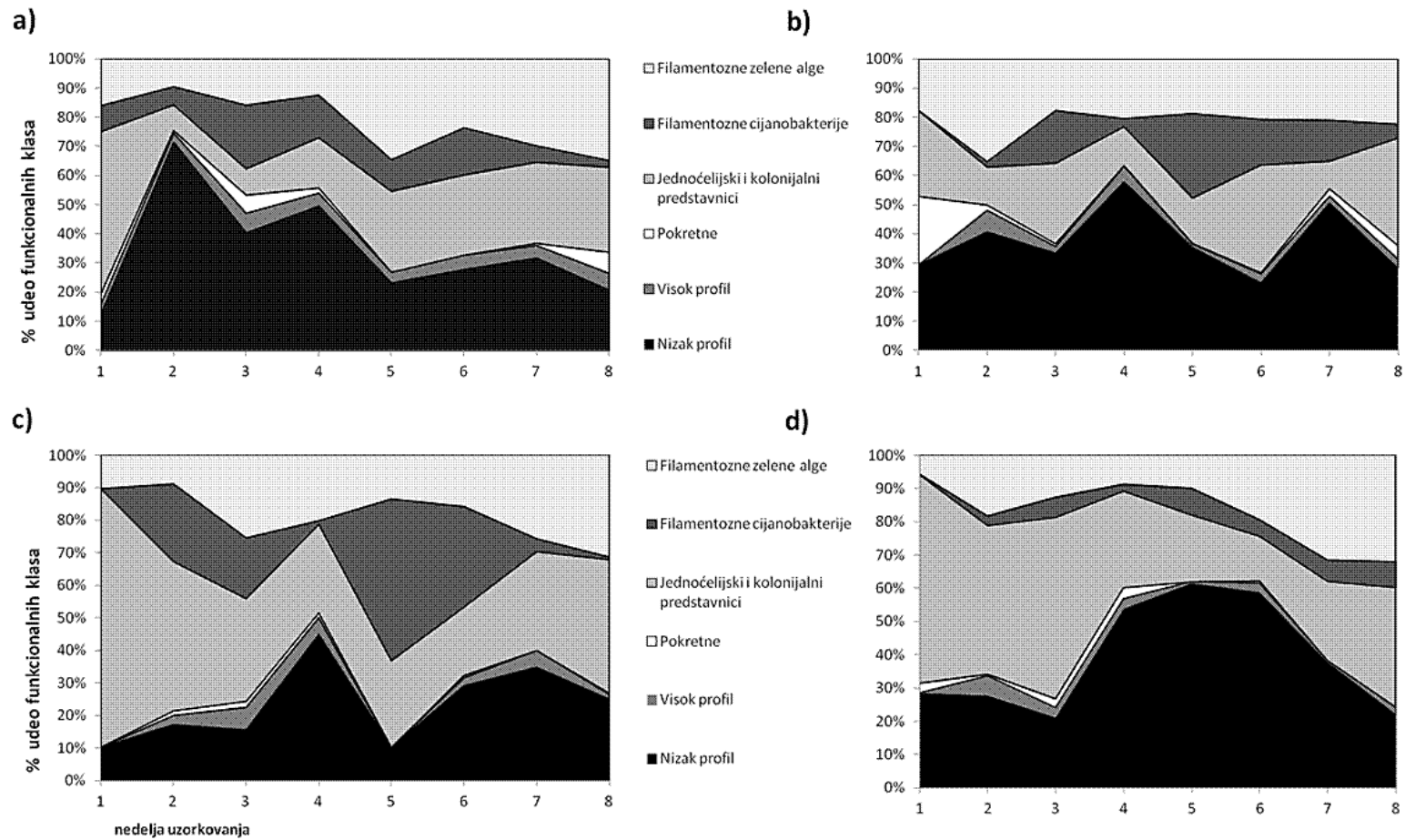
U okviru grupa pokretne, niskog i visokog profila raspoređene su silikatne alge. U okviru niskog profila su bili raspoređeni *Achnanthidium* spp., *Encyonopsis* spp., *Cymbella* spp. i *Cocconeis* spp. dok su predstavnici grupe visokog profila prvenstveno bili predstavnici rodova *Fragilaria* i *Gomphonema*. Grupu pokretnih silikatnih algi činili su *Brachysira* spp., *Navicula* spp., i *Nitzschia* spp. Predstavnici grupe planktonskih silikatnih algi nisu zabeleženi u kvantitativnoj analizi cele zajednice. Ostali taksoni su razvrstani u grupe jednoćelijski i kolonijalni predstavnici, filamentozne zelene alge i filamentozne cijanobakterije. Grupu jednoćelijskih i kolonijalnih predstavnika uglavnom su činili *Aphanocapsa* spp., *Merismopedia* spp., i *Snowella lacustris* od cijanobakterija, kao i *Phacotus lenticularis*, *Scenedesmus* spp., *Pediastrum* spp. i *Cosmarium* spp. od zelenih algi. Grupu filamentozne cijanobakterije najvećim delom su činile *Pseudanabaena* spp., a celu grupu filamenzne zelene gotovo isključivo je činila *Mougeotia* sp..

Posmatranjem dinamike procentualnog udela eko-morfoloških grupa u zajednici perifitona u toku eksponencijalne faze rasta (prve 3 nedelje, Grafik 8), uočavamo specifičan šablon na svakom tipu podloge (Grafik 26). U tom smislu, zajednice razvijene na drvenim podlogama su bile dosta slične u ovom periodu, iako su se konkretni udeli prisutnih grupa u zajednicama donekle razlikovali (Grafik 26 c i d). Tokom perioda eksponencijalnog rasta na drvenim podlogama dominirala je grupa jednoćelijskih i kolonijalnih predstavnika. Grupa pokretnih silikatnih algi bila je značajnije zastupljena samo na keramici i to posle 1. nedelje inkubacije, na drugim tipovima podloga prisustvo ove eko-morfološke grupe bilo je vrlo skromno. U toku

IV REZULTATI

eksponencijalne faze rasta, na staklenoj podlozi se uočava najveći udeo predstavnika grupe niskog profila (prvenstveno *Achnanthydium* spp. i *Encyonopsis* spp.), što ostaje trend i u nastavku eksperimentalnog perioda. Ipak, posle samo nedelju dana inkubacije (1. nedelja uzorkovanja), u zajednici na staklu detektovana je dominacija klase jednoćelijskih i kolonijalnih predstavnika (koju su u ovom periodu na staklu činili mahom *Aphanocapsa* spp.) Može se dakle zaključiti da je uloga eko-morfoloških grupa u eksponencijalnoj fazi rasta određena tipom podloge.

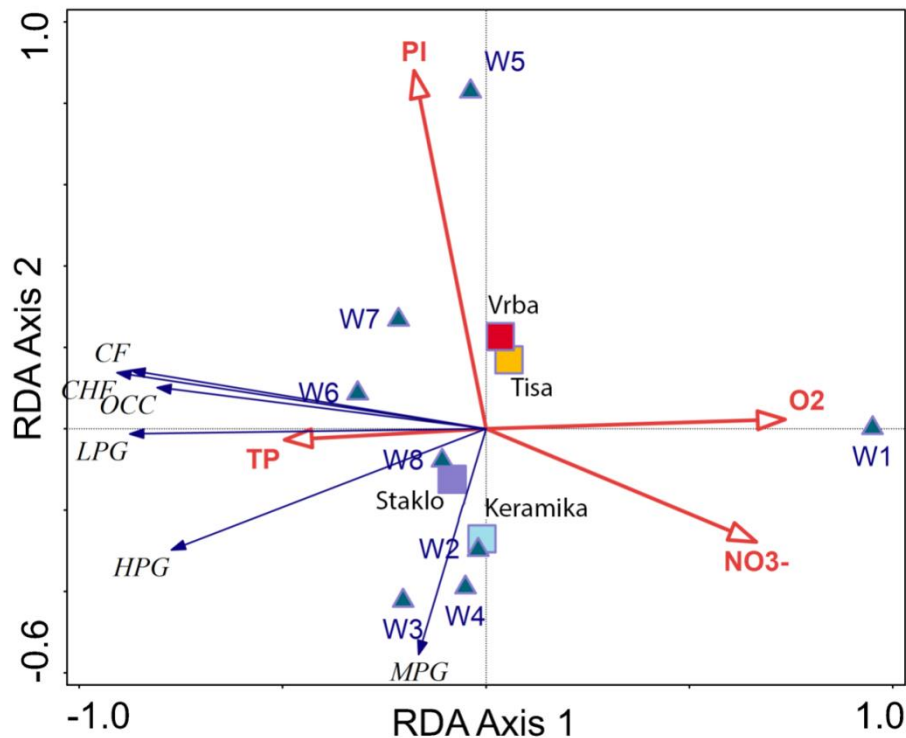
U fazi fluktuacije (od 4. nedelje na dalje), upadljivo se povećava udeo grupe niskog profila na drvenim podlogama i ukazuje na odloženu ulogu ove grupe u kolonizaciji drvenih podloga, u odnosu na staklo i keramiku. Udeo ove grupe u svim zajednicama i na svim podlogama, povećava se paralelno sa gubicima biomase (negativna stopa rasta, Grafik 8), a veoma mala biomasa taksona koji čine ovu grupu je uzrok tog dispariteta. Takođe, paralela povećanja udela grupe niskog profila i negativne stope rasta Chl *a* ukazuje i na značaj ovih silikatnih algi u procesu rekolonizacije, s obzirom da se detekcija gubitka biomase može okarakterisati i kao rani stadijum rekolonizacionog procesa. Specifičnost zajednice razvijene na vrbi tokom faze fluktuacije jeste veliki udeo klase filamentoznih cijanobakterija u 5. i 6. nedelji uzorkovanja (negativna stopa rasta, Grafik 8).



Grafik 26. Procentualni udeo eko-morfoloških grupa u zajednici perifitona na na staklu (a), keramici (b), vrbi (c) i tisi (d).

IV REZULTATI

Analiza redundantnosti (RDA) upotrebljena je da bi se procenilo kako i koliko se varijabilnost funkcionalnih grupa u perifitonu može objasniti različitim ekološkim faktorima. Rezultati su predstavljeni na Grafiku 27.



Grafik 27. RDA analiza odnosa ekoloških - sredinskih parametara i eko-morfoloških funkcionalnih grupa perifitona. Eko-morfološke grupe: nizak profil (LPG), visok profil (HPG), pokretne (MPG), jednoćelijski i kolonijalni predstavnici (OCC), filamentozne cijanobakterije (CF) i filamentozne zelene alge (CHF); Sredinski faktori: ukupni fosfor (TP), nitrati (NO_3^-), saturacija kiseonikom (O_2) i permanganatni indeks (PI). Nedelje uzokrovanja (W1-W8) i podloge (Staklo, Keramika, Vrba, Tisa) su u analizu uključene kao dodatne varijable.

Vrednost i značajnost svakog ekološkog parametra u ovoj analizi prethodno je testirana opcijom „*interactive forward selection*” i ispostavilo se da su ukupni fosfor (TP), nitrati (NO_3^-), saturacija kiseonikom (O_2) i permanganatni indeks (PI) statistički značajne varijable. O_2 i NO_3^- bili su pozitivno korelisani sa prvom osom ($r = 0,6945$ i $r = 0,6279$), dok je TP u ovom slučaju pokazao negativnu korelaciju ($r = -0,4683$). PI je bio pozitivno korelisani sa drugom RDA osom ($r = 0,5699$). Prva RDA osa objasnila je

IV REZULTATI

najveći deo varijabilnosti naših podataka (60,49%). Dakle, možemo reći da duž prve ose posmatramo varijabilnost zajednice perifitona (kroz eko-morfološku funkcionalnu klasifikaciju) koju objašnjavaju O_2 , NO_3^- i TP, dok istu varijabilnost duž druge (vertikalne) ose objašnjava PI. Ova statistička analiza pokazala je visok stepen značajnosti ($F = 14,6$; $p = 0,0002$). Sve nedelje uzorkovanja, izuzev prve, na plotu su raspoređene duž druge RDA ose, zajedno sa tipovima podloga (u analizu uključene kao dopunske varijable). Podloge su se duž ove ose razdvojile, keramika i staklo su se pozicionirale u donjem delu dijagrama (negativni deo druge RDA ose), dok su se drvene podloge rasporedile duž pozitivnog dela ose. Ovakva pozicija obe drvene podloge ukazuje da je zajednica razvijena na njima manje osetljiva na organsko zagađenje (PI je mera organskog zagađenja), u odnosu na zajednice razvijene na staklu i keramici, što može biti posledica različitih preferenci eko-morfoloških grupa prema tipovima podloga. Sve eko-morfološke grupe u RDA analizi bile su pozitivno korelisane sa TP, ali samo grupa pokretnih silikatnih algi pokazala je pozitivnu korelisanost i sa TP i sa NO_3^- . Za razliku od drugih grupa, ova grupa bila je zastupljenija na keramici i staklu u poređenju sa drugim grupama (Grafik 27.).

3.1.2.2.2 Šenonov indeks diverziteta i Pielou indeks ujednačenosti

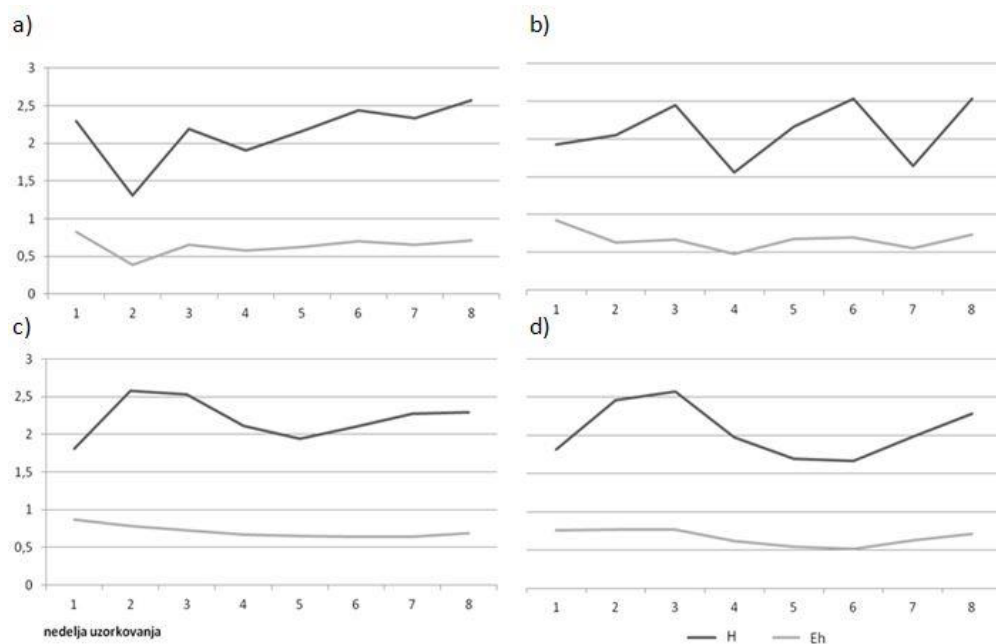
Šenonov indeks diverziteta i Pielou indeks ujednačenosti izračunati su na osnovu kvantitativne analize (jed./cm^2) celokupne zajednice cijanobakterija i algi, a rezultati su predstavljeni na Grafiku 28. U obzir je uzeta samo dubina inkubacije 1, kako bi predstavljeni rezultati bili uporedivi sa dinamikom eko-morfoloških grupa i doprineli uobličavanju slike o toku procesa kolonizacije i sukcesije na različitim tipovima veštačkih podloga.

Sa Grafika 28 (a i b) lako se uočava velika sličnost u dinamici diverziteta (H) na drvenim podlogama ($r = 0,884$, $p < 0,01$), ali istovremeno i značajna razlika u odnosu na staklo i keramiku. Uopšteno posmatrano, najveće vrednosti diverziteta i ujednačenosti na drvenim podlogama zabeležene su 2. i 3. nedelji uzorkovanja, a kasnije se zapaža pad u 4., 5. i 6. nedelji. Interesantno je da je stopa rasta Chl *a* na obe drvene podloge pozitivno korelisala sa indeksom diverziteta (na vrbi $r = 0,681$, bez značajnosti, na tisi r

IV REZULTATI

= 0,733, $p < 0,05$), što navodi na zaključak da je eksponencijalna faza kolonizacionog procesa tipično određena pristizanjem novih kolonizatora (imigracijom), a faze gubitka biomase padom vrednosti diverziteta u zajednici.

Sa druge strane, zajednice razvijene na staklu i keramici bile su vrlo specifične u pogledu dinamike diverziteta (Grafik 28a i b). Najveće vrednosti diverziteta na ovim podlogama zabeležene su u kasnijim fazama kolonizacije (fluktuacija) u 6. i 8. nedelji, a drastični padovi diverziteta detektovani su na staklu u 2. i 4. nedelji, i na keramici u 4. i 7. nedelji. Varijacije diverziteta i ujednačenosti na keramici bile su vrlo nepredvidive i nisu mogle da se uklope u specifičan šablon. Pad diverziteta i ujedno i ujednačenosti u 2. nedelji na staklenoj podlozi ukazuje na preovlađivanje i dominaciju specifičnih kolonizatora pristiglih ranije tokom inkubacije (između 1. i 2. nedelje), što lako možemo povezati sa zastupljenošću grupe niskog profila na staklu u istom periodu (Grafik 26a). Kasnije je na staklenoj podlozi uspostavljen ekvilibrijum po pitanju ujednačenosti, a diverzitet je imao trend rasta od 4. nedelje na dalje.



Grafik 28. Dinamika Šenonovog indeksa diverziteta i Pielou indeksa ujednačenosti na a) staklu, b) keramici, c) vrbi i d) tisi, na dubini 1.

IV REZULTATI

Zajednička karakteristika dinamike diverziteta na svim podlogama je pad diverziteta u 4. nedelji (Grafik 28), koja je obeležila početak faze fluktuacije (Grafik 8). U odnosu na abundancu grupe niskog profila u zajednici perifitona, značajna negativna korelacija i H i Eh zabeležena je na staklenoj podlozi (H, $r = -0,827$, $p \leq 0,01$ i Eh, $r = -0,908$, $p < 0,01$), kao i samo Eh na tisi i keramici ($r = -0,905$, $p < 0,01$ na tisi i $r = -0,780$, $p < 0,05$ na keramici), dok na vrbi ovakav odnos nije zabeležen.

3.1.3 Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi i diatomni indeksi

3.1.3.1 Kamen - epilitska zajednica

Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi iz perifitona sa kamena iz Savskog jezera (Tabela 21) pokazala je da je u svim uzorcima dominirao takson *Achnanthydium minutissimum*, dok su se kao subdominantni smenjivali *Achnanthydium straubianum* i *Navicula cryptotenelloides*. Samo u 2. uzorkovanju (27. jula) kao subdominantnan takson javila se *Halamphora montana*. Prateći taksoni koji su se u svim uzorcima nalazili u većem procentu bili su *Encyonopsis microcephala*, *Encyonopsis subminuta*, *Navicula antonii* i *Pantocsekiella ocellata*.

Tabela 21. Dinamika zajednice silikatnih algi iz perifitonu sa kamena iz Savskog jezera - procentualna zastupljenost. **Bold** - dominantan takson, *Italic* - subdominantan takson.

Vrsta	Kod	Datum							
		20/07	27/07	3/8	10/8	17/08	24/08	1/9	9/9
<i>Achnanthydium minutissimum</i>	ADMI	35	31	30	23	26	31	31	19
<i>Achnanthydium straubianum</i>	ADSB	12	3	4	6	20	3	10	12
<i>Cocconeis placentula</i>	CPLA	2	1	2	3	8	2	1	1
<i>Cyclotella cyclopuncta</i>	CCCP	2	2			1	2	1	
<i>Cymbella affiniformis</i>	CAFM	2	2	3	1		1	2	1
<i>Encyonopsis microcephala</i>	ENCM	10	11	5	7		7	7	7

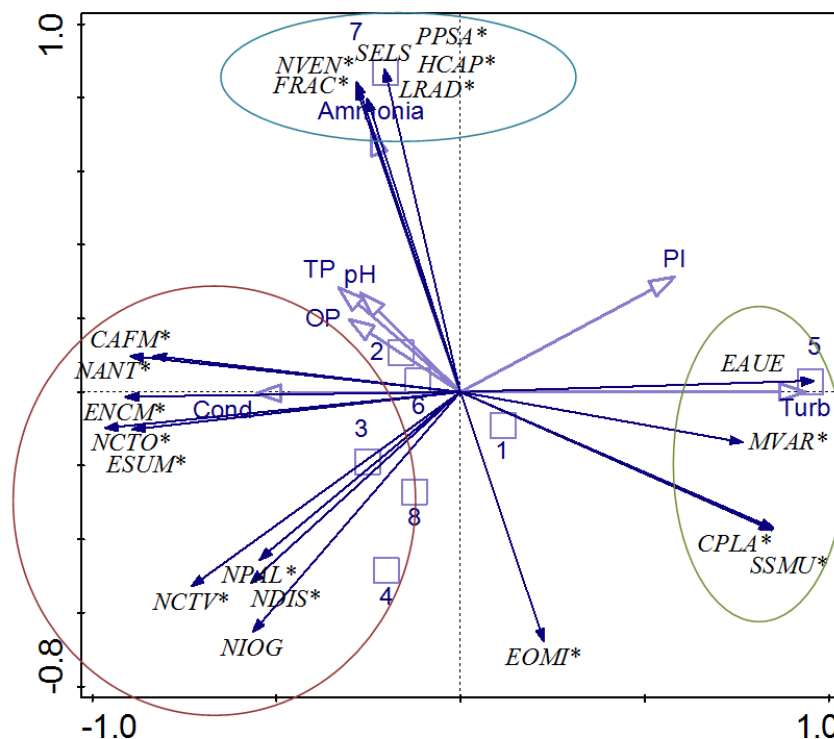
IV REZULTATI

<i>Encyonopsis minuta</i>	ECPM	4	2	1	2		3		
<i>Encyonopsis subminuta</i>	ESUM	3	1	8	8		10	6	9
<i>Eolimna minima</i>	EOMI	3	1	3	2	2			1
<i>Melosira varians</i>	MVAR	1				2	10	1	
<i>Navicula antonii</i>	NANT	7	5	6	3	1	5	6	7
<i>Navicula caterva</i>	NCTV	1	1	4	6		5		5
<i>Navicula cryptotenelloides</i>	NCTO	8	10	13	16		20	11	16
<i>Navicula rostellata</i>	NROS					1			1
<i>Navicula trivialis</i>	NTRV	1				1			1
<i>Nitzschia lacuum</i>	NILA	1	1	3	1			1	2
<i>Nitzschia palea</i>	NPAL	1		1	2				1
<i>Pantocsekiella ocellata</i>	POCL	4	6	8	5	16	2	10	9
<i>Staurosira mutabilis</i>	SSMU	3	1	1		13			1
<i>Fragilaria acus</i>	FRAC		1					2	
<i>Halamphora montana</i>	HLMO		14	1					2
<i>Navicula cryptotenella</i>	NCTE		3	1	3		1	1	2
<i>Navicula veneta</i>	NVEN								1
<i>Nitzschia dissipata</i>	NDIS		1	3	1				
<i>Nitzschia oligotrappenta</i>	NIOG			2	3		1		1
<i>Brachysira vitrea</i>	BVIT					2	1		2
<i>Gomphonema varioireduncum</i>	GVRD						1	1	3
<i>Lindavia radiosa</i>	LRAD								1

PCA (analiza glavnih komponenti) analiza u kojoj je kao promenljiva od interesa testirana abundanca silikatnih algi na kamenu iz Savskog jezera i praćen je njen odnos sa sredinskim parametrima (Grafik 29) ukazala je na formiranje tri grupe silikatnih algi (od 20 najbolje uklopljenih). Prve dve PCA ose objašnjavaju ukupno 57,45% varijabilnosti seta podataka, sama prva osa 31,9%, a druga 25,55%. Jedna grupa

IV REZULTATI

silikatnih algi se formirala oko perioda kada su detektovani i najveća mutnoća (Turb) i organsko opterećenje (PI) vode Savskog jezera, i tu grupu čine: *Cocconeis placentula*, *Encyonema auerswaldii*, *Staurosira mutabilis* i *Melosira varians*. Druga grupa formirala se oko perioda kada je detektovana najveća koncentracija amonijum jona u vodi Savskog jezera i tu su se istakli taksoni *Sellaphora* spp., *Lindavia radiosa*, *Fragilaria crotonensis*, *Navicula veneta* i *Placoneis pseudanglica*. Ova grupa pozitivno je korelisala i sa fosfatima i pH vrednošću. Treću grupu odredile su povišene vrednosti parametra: provodljivost, ukupan fosfor, ortofosfati i pH vrednost u vodi Savskog jezera. U okviru ove grupe mogu se izdvojiti dve podgrupe - prva podgrupa: *Encyonopsis subminuta*, *Encyonopsis microcephala*, *Navicula cryptotenelloides*, *Navicula antonii* i *Cymbella affiniformis* i druga podgrupa: *Navicula caterva*, *Nitzschia palea*, *Nitzschia dissipata* i *Nitzschia oligotrappenta*. Na prvu podgrupu treće grupe je snažnije uticala koncentracija nutrijenata u vodi Savskog jezera, dok je druga podgrupa u tom smislu bila nezavisnija.



Grafik 29. PCA (analiza glavnih komponenti) analiza u kojoj je kao promenljiva od interesa testirana abundanca silikatnih algi na kamenu iz Savskog jezera i praćen je njen odnos sa sredinskim parametrima. Kodovi taksona su popisani u Prilgu 1.

IV REZULTATI

Vrednosti indeksa diverziteta i ujednačenosti zajednice silikatnih algi sa kamena iz Savskog jezera predstavljene su u Tabeli 22. Uočljivo je da su tokom čitavog perioda uzorkovanja beležene visoke vrednosti i diverziteta i ujednačenosti. Poređenjem indeksa diverziteta i ujednačenosti zajednice silikatnih algi sa odgovarajućim indeksima izračunatim na osnovu posmatranja celokupne zajednice cijanobakterija i algi sa kamena, nije uočena značajna korelacija.

Tabela 22. Vrednosti indeksa diverziteta i ujednačenosti zajednice silikatnih algi sa kamena iz Savskog jezera.

	Datum uzorkovanja							
	20/07	27/07	03/08	10/08	17/08	24/08	01/09	09/09
Diverzitet	3,26	3,43	3,58	3,87	2,83	3,32	3,48	3,64
Ujednačenost	0,77	0,77	0,83	0,83	0,76	0,74	0,76	0,81

Na osnovu rezultata kvantitativne analize silikatnih algi iz perifitona sa kamena izračunate su vrednosti 18 dijatomnih indeksa (Omnidia 6.2), a vrednosti odabranih indeksa tokom perioda uzorkovanja na Savskom jezeru predstavljeni su u Tabeli 23.

Dobijene vrednosti dijatomnih indeksa ukazuju na različite klase kvaliteta vode Savskog jezera. Najbolji kvalitet - veoma dobar kvalitet vode u Savskom jezeru tokom leta 2014. godine postignut je prema vrednostima IBD i IDSE indeksa. Vrednost IPS indeksa ukazuje na veoma dobar kvalitet vode, kao i CEE i Rotov Saprobni Indeks (Rott SI). Klasičan TDI i TDIL takođe potvrđuju veoma dobar kvalitet vode u većem delu perioda, samo u po jednoj nedelji (2. i 3. nedelja avgusta) njihove vrednosti zalaze u opseg srednjeg kvaliteta vode. Tokom čitavog perioda istraživanja, vrednosti Rotovog trofičkog indeksa (Rott TI) nalazile su se u granicama koje određuju srednji kvalitet vode.

S obzirom da se za procenu ekološkog potencijala tipa ekosistema u koje spada Savsko jezero (na osnovu fitobentosa) prema Pravilniku (Sl. glasnik RS 74/11) koristi IPS dijatomni indeks, na osnovu naših rezultata Savsko jezero je tokom perioda istraživanja pripadalo II klasi ekološkog potencijala.

IV REZULTATI

Tabela 23. Vrednosti odabranih dijatomnih indeksa dobijenih na osnovu kvantitativne analize zajednice silikatnih algi u perifitonu sa kamena iz Savskog jezera. Polja su označena odgovarajućom bojom u odnosu na klasu kvaliteta vode na koju vrednosti dijatomnih indeksa upućuju.

Datum uzorkovanja	IBD	IPS	IDAP	TDIL	CEE	TDI	Rott TI	Rott SI
20/7/2014	18,5	14,8	18,1	14,2	16,5	15,6	12,2	16
27/7/2014	17,2	15	17,9	14	15,3	13,1	11,1	16,3
3/8/2014	18,2	15,3	18	14	16,5	13,9	12,1	16
10/8/2014	18	14,3	17	12,8	16	13,7	10,7	16
17/8/2014	16,6	13,9	17,4	13,2	14,9	11,9	9,9	15
24/8/2014	18,8	15,8	18,8	14,3	17,6	15,1	12,8	15,9
1/9/2014	18,2	15,2	18,6	14,2	17,6	15,4	12,7	16,2
9/9/2014	17,7	13,8	17,4	13,4	15,8	14,4	11,2	15,8

Legenda:

veoma loš kvalitet vode
loš kvalitet vode
srednji kvalitet vode
dobar kvalitet vode
veoma dobar kvalitet vode

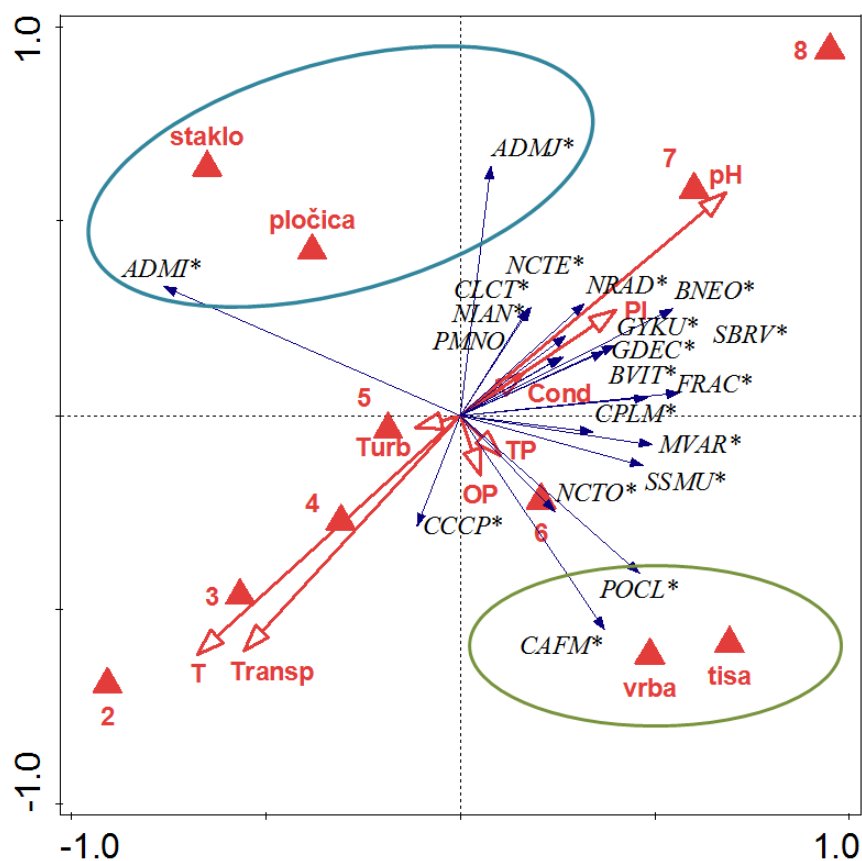
3.1.3.2 Veštačke podloge

Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi iz perifitona sa veštačkih podloga iz Savskog jezera predstajena je u Prilogu 1. Iz rezultata je uočljivo da na staklenim podlogama isključivo, a i na keramičkim u većem broju uzoraka, dominira takson *Achnantheidium minutissimum*, dok na drvenim podlogama tu ulogu preuzima *Encyonopsis microcephala*, a povremeno se kao dominantni javljaju i *Encyonopsis subminuta* i *Cymbella affiniformis*.

U RDA (analiza redundantnosti) analizi posmatrana je abundanca silikatnih algi sa veštačkih podloga u odnosu na sredinske parametre, a tip podloge i vreme

IV REZULTATI

uzorkovanja korišćeni su kao dopunske promenljive (Grafik 30). Prve dve ose grafika objašnjavaju ukupno 10,45% ukupne varijabilnosti podataka (prva osa 6,2%, a druga 4,25). Sredinske varijable značajno korelišu sa svim osama ($p = 0,002$), pri čemu su i prva i druga osa u pozitivnom delu najznačajnije određene rastom pH vrednosti i permanganatnog indeksa (PI), a u negativnom delu rastom temperature i providnosti vode Savskog jezera. Duž RDA osa uočljiv je i vremenski gradijent. Podloge su na grafiku značajno razdvojene, staklo i keramika sa jedne i obe drvene podloge sa druge strane. Među 20 najbolje uklopljenih taksona silikatnih algi, vidimo da su uglavnom nespecifični prema tipu podloge, ali ipak *Achnanthydium minutissimum* i *Achnanthydium minutissimum* var. *jackii* su očito bili zastupljeniji na inertnim (staklo i keramika), a *Cymbella affinis* i *Pantocsekiella ocellata* na drvenim podlogama. Na osnovu podataka sa Grafika 30, porast indikatora trofičnosti (TP i OP) i organskog opterećenja (PI) negativno utiče na abundancu *Achnanthydium minutissimum*.



Grafik 30. RDA analiza abundance silikatnih algi sa veštačkih podloga iz Savskog jezera u odnosu na sredinske faktore, pri čemu su tip podloge i vreme uzorkovanja korišćeni su kao dopunske promenljive. Kodovi taksona su popisani u Prilgu 1.

IV REZULTATI

Vrednosti indeksa diverziteta i ujednačenosti zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz Savskog jezera predstavljene su u Prilogu 1. Generalno posmatrano, vrednosti diverziteta su bile niže u odnosu na zajednicu sa kamena, ali su ipak u gotovo svim uzorcima iznosile preko 3 posle sedam, odnosno osam nedelja inkubacije. Poređenjem podloga međusobno, uočljivo je da su vrednosti i diverziteta i ujednačenosti bile veće na drvenim u odnosu na inertne podloge. Poređenjem indeksa diverziteta i ujednačenosti zajednice silikatnih algi sa odgovarajućim indeksima izračunatim na osnovu posmatranja celokupne zajednice cijanobakterija i algi sa veštačkih podloga, nije uočena značajna korelacija.

Dobijene vrednosti diatomnih indeksa sa veštačkih podloga i sve tri dubine inkubacije prikazane su u Tabeli 24. Vrednosti indeksa na veštačkim podlogama uglavnom su uniformne duž gradijenta dubine, ali ukazuju na različite klase kvaliteta vode Savskog jezera.

Na osnovu indeksa IBD, IPS i IDAP sa staklene i keramičke podloge (sve dubine inkubacije), voda Savskog jezera je veoma dobrog kvaliteta, a na osnovu TDIL indeksa, dobrog kvaliteta. Kada se isti indeksi posmatraju na drvenim podlogama, IBD i IDAP i ovde ukazuju na veoma dobar kvalitet vode, a IPS i TDIL na dobar kvalitet. Prema Rott SI indeksu, sve podloge daju ujednačen rezultat - voda je veoma dobrog do dobrog kvaliteta, dok klasičan TDI i Rott TI daju lošije rezultate (srednji do loš kvalitet vode) na drvenim podlogama. Veoma niska vrednost TDI indeksa, zabeležena na dubini 1, podloga vrba, 24/08/2014, najverovatnije predstavlja odstupanje i neverodostojan rezultat usled malog broja zabeleženih taksona i jedinki na trajnom preparatu.

IV REZULTATI

Tabela 24. Vrednosti odabranih dijatomnih indeksa iz perifitona sa veštačkih podloga iz Savskog jezera. Polja su označena odgovarajućom bojom u odnosu na klasu kvaliteta vode na koju vrednosti dijatomnih indeksa upućuju.

DUBINA 1		IBD	IPS	IDAP	TDIL	CEE	TDI	Rott TI	Rott SI
STAKLO	27/7/2014	20	18,4	19,7	15	18,2	15,2	13,9	16,3
	3/8/2014	20	17,8	19,6	14,9	18	16	13,9	17,3
	10/8/2014	19	17,7	19,2	14,5	17,4	14	12	15,9
	17/8/2014	20	17,5	19,5	14,9	18	16,1	13,9	17,4
	24/8/2014	20	17,8	19,5	14,9	17,7	15,7	13,3	17,1
	1/9/2014	19,4	17,3	19,1	14,3	17,5	14,8	12,4	17,2
	9/9/2014	20	17,3	19	14,7	17,8	16,3	13,6	17,8
KERAMIKA	27/7/2014	20	18,1	20	15,2	18,1	15,9	15	16,7
	3/8/2014	20	17,5	19,3	14,7	17,7	16,2	13,5	17,6
	10/8/2014	20	17,2	19,7	14,9	17,9	16,4	14,1	17,5
	17/8/2014	16,6	15,1	17,4	13	15,4	10	8,9	14,8
	24/8/2014	16,3	14,6	17,7	13,5	15,5	9,5	8,9	14,2
	1/9/2014	19,9	17,5	19,5	14,6	18	15,5	13,4	17,4
	9/9/2014	20	16,9	18,1	13,7	16,6	16	12,8	18,2
VRBA	27/7/2014	18,4	15,3	18,7	14,3	17	14,9	12,3	16,9
	3/8/2014	19,6	17,2	18,4	13,9	16,9	13,4	11,3	16,4
	10/8/2014	19,5	15,8	17,8	13,9	15,5	14,8	11,4	17,4
	17/8/2014	18,7	15,8	17,3	13,6	15,2	13,1	10,2	16,9
	24/8/2014	17,2	13,6	15,9	13,4	13,3	3,5	8,3	12,3
	1/9/2014	20	16,9	17,4	13,5	15,4	15	11,6	17,9
	9/9/2014	20	16,6	18,1	14,2	16,3	15,8	12,5	18,1
TISA	27/7/2014	20	17,5	19,3	14,7	17,7	15,7	13,2	17,4
	10/8/2014	19,6	16,2	17,5	13,7	15,9	15,8	12,6	18,3
	17/8/2014	19,7	17,2	17,5	13,3	15,7	13,9	10,9	17,3
	24/8/2014	20	16,6	18,6	15,1	17,6	18,8	15,2	18,8
	1/9/2014	20	16,9	18	14	16,1	16,2	12,7	18,2
	9/9/2014	20	17,1	17,9	13,6	16,2	16	12,8	18,3

IV REZULTATI

DUBINA 2		IBD	IPS	IDAP	TDIL	CEE	TDI	Rott TI	Rott SI
STAKLO	27/7/2014	19,8	17,4	19,7	14,9	18,2	15,6	14,1	16,7
	3/8/2014	20	17,6	19,6	14,9	17,9	16	13,8	17,2
	10/8/2014	20	17,8	19,4	14,7	17,9	15,3	13,1	17
	17/8/2014	19,9	18	19,5	14,8	17,8	15,4	13,4	16,9
	24/8/2014	20	18	19,6	14,9	17,9	15,8	13,7	17,3
	1/9/2014	20	18	19,7	15	17,8	15,2	13,6	16,8
	9/9/2014	19,7	17,8	19	14,7	18	15,9	13,4	17,6
	<hr/>								
KERAMIKA	27/7/2014	20	17,7	19,7	15	17,9	15,6	13,9	16,8
	3/8/2014	20	17,4	19,5	14,8	17,8	15,7	13,4	17,1
	10/8/2014	20	17,7	19,2	14,6	17,5	15,1	12,5	17,1
	17/8/2014	17,8	16,3	17,8	13,3	15,7	10,8	9	14,8
	24/8/2014	20	17,5	19,1	14,5	17,5	15,5	12,8	17,5
	1/9/2014	20	17,2	18,5	14,3	17,1	16,2	13,2	18,3
	9/9/2014	20	17,4	19,1	14,6	17,6	16,4	13,3	17,9
	<hr/>								
VRBA	27/7/2014	20	17,7	19,5	14,6	17,9	16,1	13,9	17,6
	3/8/2014	20	16	17,7	13,7	15,5	13,6	10,6	17
	10/8/2014	20	16,9	17,7	13,5	15,7	14,1	11	17,3
	24/8/2014	20	16,4	18	14	16,1	16,9	13,1	18,4
	1/9/2014	20	17	18,5	14,1	16,7	16,4	13,1	18,3
	9/9/2014	20	16,7	18,3	13,9	16,6	16,8	13,3	18,4
	<hr/>								
TISA	27/7/2014	20	17,4	19,5	14,8	18,1	16,4	14,2	17,7
	3/8/2014	20	16,7	18,5	14,2	16,7	15,1	12	17,5
	10/8/2014	19,1	15,5	17,6	13,5	15,4	13,2	10,4	16,8
	17/8/2014	18,2	15,4	16,1	12,7	13,5	9,3	8,8	15,5
	24/8/2014	20	16	19,6	15	17,7	17,7	14,3	18,3
	1/9/2014	20	16,6	17,8	14,1	16	15,9	12,5	18,2
	9/9/2014	20	16,8	19,4	14,8	17,7	16,7	13,8	17,9

IV REZULTATI

DUBINA 3		IBD	IPS	IDAP	TDIL	CEE	TDI	Rott TI	Rott SI
STAKLO	27/7/2014	20	19,4	19,9	15,2	18,2	15,4	14,9	15,9
	3/8/2014	20	17,9	19,7	14,9	17,9	16,1	13,9	17,4
	10/8/2014	20	18,1	19,9	15,1	18	16,4	14,7	17,3
	17/8/2014	19,9	17,6	19,3	14,5	17,5	15,2	12,7	17
	24/8/2014	20	17,4	19,6	14,9	17,7	16	13,6	17,4
	1/9/2014	20	17,7	19,6	14,8	17,9	16	13,8	17,5
	9/9/2014	19	17	19	14,2	17	14,3	11,9	16,8
KERAMIKA	27/7/2014	20	18,3	19,9	15,2	18	15,9	14,8	16,8
	3/8/2014	20	17,8	19,4	14,8	17,7	15,4	13,1	16,8
	10/8/2014	20	17,8	19,5	14,8	17,8	15,9	13,5	17,4
	17/8/2014	20	16,6	19	14,7	17	16,8	13	17,9
	24/8/2014	20	17,3	19,3	14,7	17,5	16,8	13,7	18,1
	1/9/2014	20	17,2	19,1	14,3	17,3	15,7	12,7	17,5
	9/9/2014	20	16,7	18,6	14,1	16,7	15,6	12,1	17,6
VRBA	27/7/2014	20	17,2	19,4	14,7	17,3	16,6	13,2	17,8
	10/8/2014	20	17,5	18,9	14,4	17,2	14,7	12,1	17,1
	17/8/2014	17,8	14,8	16,6	12,7	14,1	6,9	7,9	13,6
	24/8/2014	19,9	16,7	18,3	14	16,5	15	11,8	17,5
	1/9/2014	20	17,4	18,3	13,9	16,7	15,8	12,5	18
	9/9/2014	18,6	15,5	16,4	12,8	13,9	12	9,9	16,8
TISA	3/8/2014	17	14,8	17,3	13,5	15	10,1	9,4	15,1
	17/8/2014	17,8	14,7	16,3	12,3	13,7	7	8,1	14,5
	24/8/2014/	18,5	15,3	16,6	13	14,4	12,4	10,2	17
	1/9/2014	19,7	15,9	18,1	13,9	16,1	15,8	12,2	17,9
	9/9/2014	20	16,6	16,7	13,3	14,6	14,7	11,4	17,8

U poređenju sa rezultatima dijamantnih indeksa sa kamena, IPS indeks sa veštačkih podloga ukazuje na bolji kvalitet vode, dok je TDIL ujednačen i na kamenu i na veštačkim podlogama.

3.2 Jezero Vrutci

3.2.1 Kvalitativni sastav celokupne zajednice cijanobakterija i algi u perifitonu

U Tabeli 25. predstavljen je celokupni spisak identifikovanih taksona cijanobakterija i algi u perifitonu sa veštačkih podloga iz jezera Vrutci. Zabeleženo je ukupno 111 taksona (rod, vrsta ili varijetet) cijanobakterija i algi, iz 6 razdela: Cyanobacteria, Bacillariophyta, Chlorophyta, Chrysophyta, Dinophyta i Euglenophyta. Najveći broj predstavnika zabeležen je u okviru silikatnih algi (Bacillariophyta 79 taksona), zatim su sledili predstavnici zelenih algi (Chlorophyta 17 taksona) i cijanobakterija (Cyanobacteria 10), dok je u okviru ostalih grupa zabeležen veoma mali broj predstavnika (Chrysophyta 1 takson, Dinophyta 2 taksona i Euglenophyta 2 taksona).

Posmatrano u procentima, preko 70% svih identifikovanih taksona u perifitonu jezera Vrutci činile su silikatne alge (71%), pratile su ih zelene alge (15%) i cijanobakterije (9%) sa daleko manjim procentom zastupljenih taksona, a veoma mali procenat udela u zajednici pripao je predstavnicima razdela Dinophyta i Euglenophyta (po 2%), dok su Chrysophyta bile zastupljene sa samo 1% (Grafik 31.).

Tabela 25. Spisak svih identifikovanih taksona cijanobakterija i algi u perifitonu jezera Vrutci.

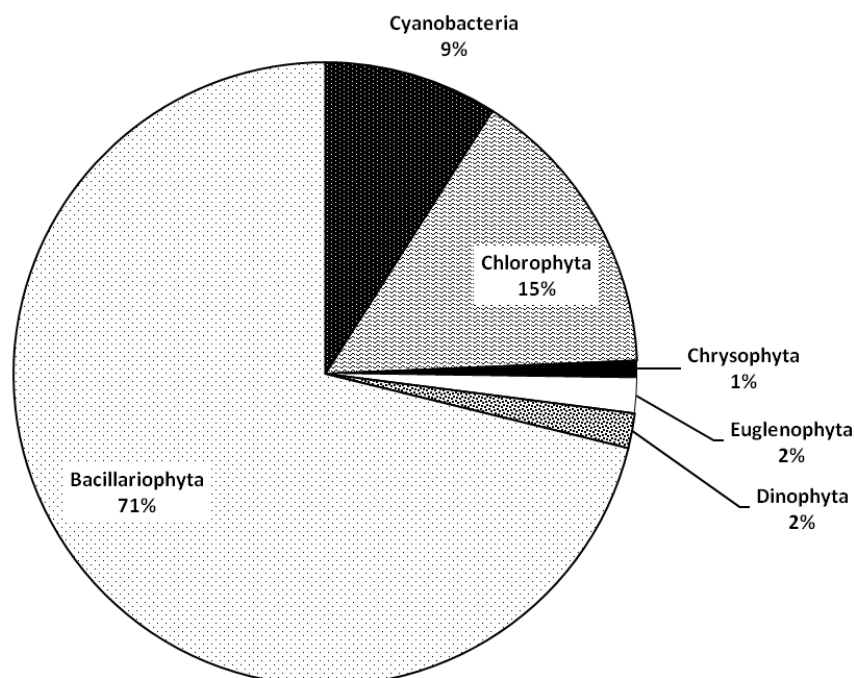
CYANOBACTERIA	10 taksona
<i>Anagnostidinema amphibium</i> (C.Agardh ex Gomont) Strunecý, Bohunická, J.R.Johansen & J.Komárek	
<i>Aphanocapsa delicatissima</i> West & G.S.West	
<i>Aphanocapsa holsatica</i> (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek	
<i>Aphanocapsa incerta</i> (Lemmermann) G.Cronberg & Komárek	
<i>Chroococcus minimus</i> (Keissler) Lemmermann	
<i>Komvophoron minutum</i> (Skuja) Anagnostidis & Komárek	
<i>Leptolyngbia</i> Anagnostidis & Komárek sp.	
<i>Phormidium</i> Kützing ex Gomont sp.	
<i>Planktothrix rubescens</i> (De Candolle ex Gomont) Anagnostidis & Komárek	
<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterborn	

BACILLARIOPHYTA	79 taksona
<i>Achnantheidium caledonicum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	
<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki var. <i>minutissimum</i>	
<i>Amphora</i> aff. <i>vetula</i> Levkov	
<i>Amphora copulata</i> (Kützing) Schoeman & R.E. M. Archibald	
<i>Amphora lange-bertalotii</i> var. <i>tenuis</i> Levkov & Metzeltin	
<i>Amphora minutissima</i> W. Smith	
<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing	
** <i>Aneumastus stroesei</i> (Østrup) D. G. Mann	
<i>Brachysira neoexilis</i> Lange-Bertalot	
<i>Caloneis bacillum</i> (Grunow) Cleve	
<i>Caloneis</i> cf. <i>silicula</i> (Ehrenberg) Cleve	
<i>Caloneis schumanniana</i> (Grunow in Van Heurck) Cleve var. <i>schumanniana</i>	
<i>Caloneis silicula</i> (Ehrenberg) Cleve var. <i>silicula</i>	
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>placentula</i> Ehrenberg	
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> (Ehrenberg) Grunow	
<i>Cyclotella cretica</i> var. <i>cyclopuncta</i> (H. Hakansson & J.R. Carter) R. Schmidt	
<i>Cymatopleura elliptica</i> (Brébisson) W. Smith	
<i>Cymbella cymbiformis</i> Agardh var. <i>cymbiformis</i>	
<i>Cymbella excisa</i> var. <i>excisa</i> Kützing	
<i>Cymbella lanceolata</i> (C. Agardh) C. Agardh	
<i>Cymbella neocistula</i> Krammer	
<i>Cymbella neocistula</i> var. <i>lunata</i> Krammer	
<i>Cymbella perparva</i> Krammer	
<i>Cymbella tumida</i> (Brébisson) Van Heurck	
<i>Cymbella vulgata</i> var. <i>vulgata</i> Krammer	
<i>Cymbella percymbiformis</i> Krammer	
<i>Cymbopleura cuspidata</i> (Kützing) Krammer	
<i>Cymbopleura frequens</i> Krammer	
<i>Cymbopleura rupicola</i> var. <i>minor</i> Krammer	
<i>Diploneis elliptica</i> (Kützing) Cleve	
<i>Encyonema</i> Kützing sp.	
<i>Encyonema auerswaldii</i> Rabenhorst	
<i>Encyonema cespitosum</i> Kützing	
<i>Encyonopsis microcephala</i> (Grunow) Krammer	
<i>Encyonopsis minuta</i> Krammer & Reichardt	
<i>Encyonopsis subminuta</i> Krammer & Reichardt	
<i>Fragilaria acus</i> (Kützing) Lange-Bertalot	

Fragilaria crotonensis Kitton
Fragilaria radians (Kütz.) Williams & Round
Gomphonema acuminatum Ehrenberg
Gomphonema aff. *angusticlavatum* Levkov, Mitic-Kopanja & Reichardt
Gomphonema auritum A.Braun ex Kützing
Gomphonema Ehrenberg sp.
Gomphonema exilissimum (Grun.) Lange-Bertalot & Reichardt
Gomphonema subclavatum Grunow
Gomphonema truncatum Ehrenberg
Gyrosigma attenuatum (Kützing) Rabenhorst
Hantzschia abundans Lange-Bertalot
Hippodonta costulata (Grunow) Lange-Bertalot Metzeltin & Witkowski
Humidophila contenta (Grunow) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová
Lindavia radiosa (Grunow) De Toni & Forti
Melosira varians Agardh
Navicula antonii Lange-Bertalot
Navicula Bory sp.
Navicula cryptotenella Lange-Bertalot
Navicula radiosa Kützing
Nitzschia amphibia Grunow
Nitzschia angustata (W.Smith) Grunow
Nitzschia denticula Grunow
Nitzschia Hassall sp.
Nitzschia recta Hantzsch in Rabenhorst
Nitzschia tabellaria (Grunow) Grunow.
Nitzschia vermicularis (Kützing) Hantzsch
Nitzschia brunoi Lange-Bertalot
Nitzschia solgensis Cleve-Euler
Orthoseira roeseana (Rabenhorst) O'Meara
Pantocsekiella ocellata (Pantocsek) K.T. Kiss et Ács
Pinnularia Ehrenberg sp.
Placoneis placentula Heinzerling
Planothidium frequentissimum (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot
Psammothidium L.Buhtkiyarova & Round sp.
Pseudostaurosira parasitica (W.Smith) Morales
Sellaphora bacillum (Ehrenberg) D.G.Mann
Sellaphora mutatoides Lange-Bertalot & Metzeltin
Sellaphora pseudopupula (Krasske) Lange-Bertalot

IV REZULTATI

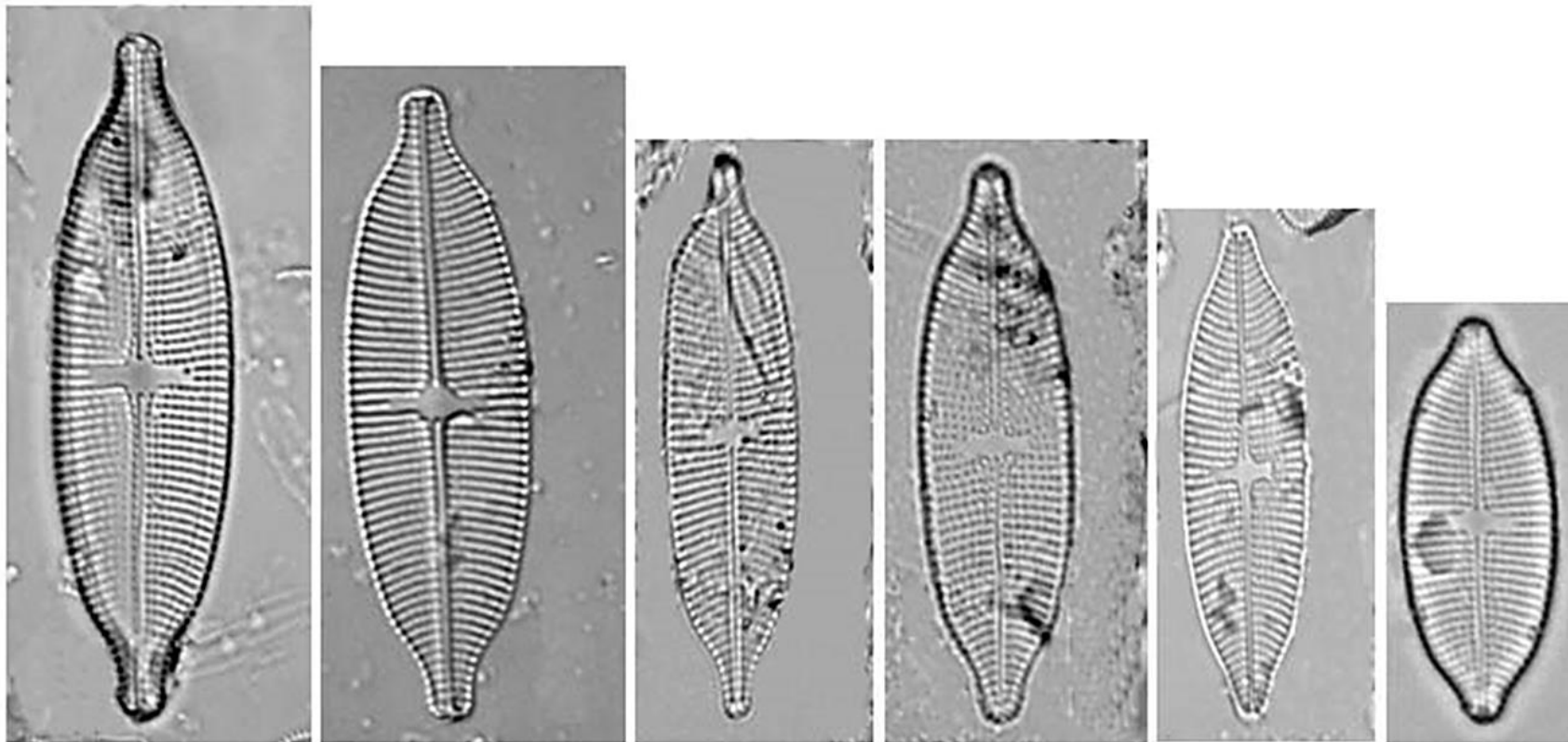
<i>Sellaphora stroemii</i> (Hustedt) H.Kobayasi	
<i>Surirella angusta</i> Kützing	
<i>Surirella minuta</i> Brébisson ex Kützing	
<i>Surirella</i> Turpin sp.	
CHLOROPHYTA	17 taksona
<i>Botryococcus braunii</i> Kützing	
<i>Closterium</i> Nitzsch ex Ralfs sp.	
<i>Coelastrum microporum</i> Nägeli	
<i>Coelastrum reticulatum</i> (P.A.Dangeard) Senn	
<i>Cosmarium laeve</i> Rabenhorst	
<i>Eutetramorus fottii</i> (Hindák) Komárek	
<i>Gonatozygon brebissonii</i> De Bary	
<i>Lagerheimia genevensis</i> (Chodat) Chodat	
<i>Mougeotia</i> C.Agardh sp.	
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	
<i>Oocystis</i> Nägeli ex A.Braun sp.	
<i>Pandorina morum</i> (O.F.Müller) Bory	
<i>Phacotus lenticularis</i> (Ehrenberg) Deising	
<i>Scenedesmus ecornis</i> (Ehrenberg) Chodat	
<i>Sphaerocystis</i> Chodat sp.	
<i>Staurastrum Meyen</i> ex Ralfs sp.	
<i>Tetraedron minimum</i> (A.Braun) Hansgirg	
CHRYSOPHYTA	1 takson
<i>Dinobryon divergens</i> O.E. Imhof	
DINOPHYTA	2 taksona
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.Müller) Dujardin	
<i>Peridinium</i> Ehrenberg sp.	
EUGLENOPHYTA	2 taksona
<i>Trachelomonas</i> Ehrenberg sp.	
<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	
UKUPNO	111 taksona



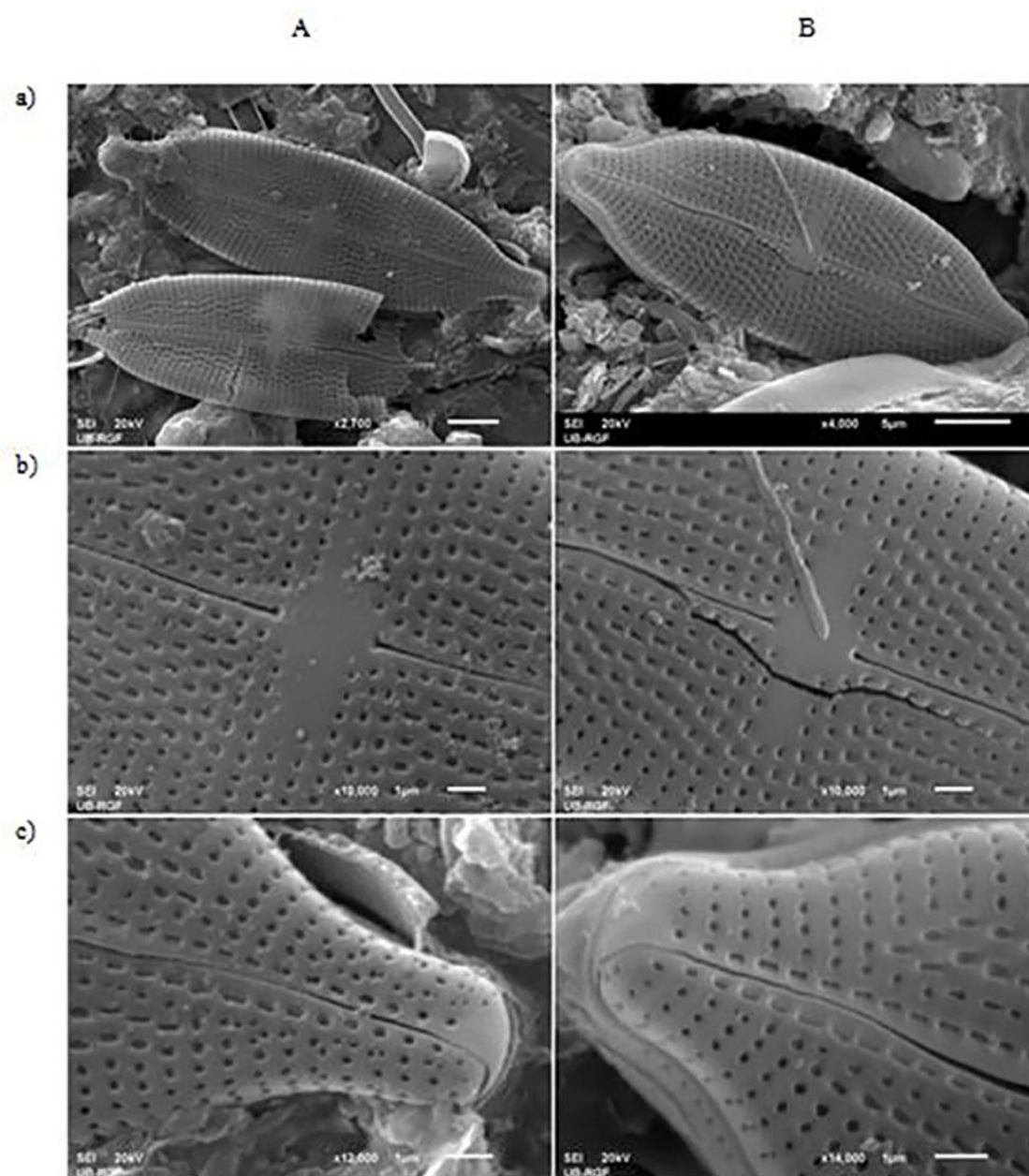
Grafik 31. Procentualni udeo razdela u ukupnom diverzitetu algi i cijanobakterija u perifitonu jezera Vrutci.

U Tabeli 25, takson *Aneumastus stroesei* (Østrup) D. G.Mann obeležen je sa dve zvezdice, jer predstavlja prvi nalaz vrste i prvi nalaz čitavog roda *Aneumastus* D.G.Mann & A.J.Stickle u Srbiji (na osnovu neobjavljene baze podataka Flora silikatnih algi Srbije, Krizmanić).

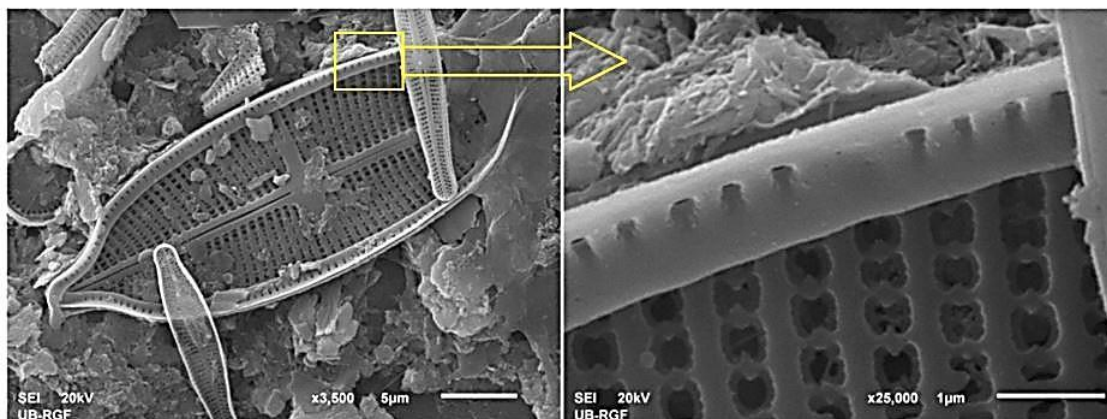
Opis *Aneumastus stroesei* (Østrup) D. G.Mann iz jezera Vrutci (Slika 19, 20 i 21): Valve linearno eliptične do lanceolatne, na krajevima se sužavaju u rostratne do subrostratne vrhove. Dužina valve 27,7-50,5 μm (medijana 37,4 μm), širina 11,2-15,3 μm (medijana 12,5 μm). Rafa skoro filiformna, blago undulatna bliže terminalnim krajevima. Osovinsko polje usko i linerano. Centralno polje se nastavlja u stauroidnu fasciju, koju okružuju 1-3 skraćene poprečne pruge. Poprečne pruge su paralelne do blago radijalne, (13) 14-16/10 μm (medijana 15 μm). Areole su vidljive na LM, 15-18/10 μm . Karakterističan jednoređi raspored areola duž ivice osovinskog polja je jasno vidljiv (Slika 20). Areole su izdužene u proksimalnim delovima valvi, izuzev u samom centralnom polju. Sa unutrašnje strane valve vidljive su areole specifičnog izgleda, kao i valvokopule (Slika 21).



Slika 19. *Aneumastus stroesei* iz jezera Vrtuci (LM mikrografije). Metrić 10 μ .

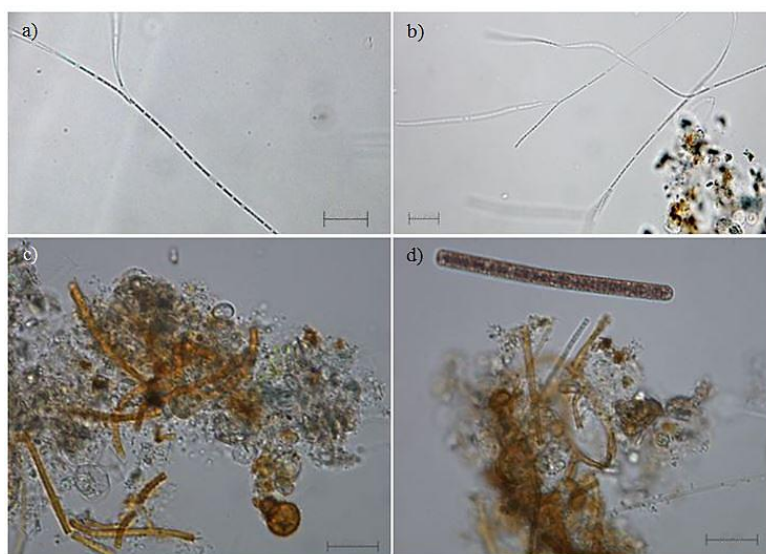


Slika 20. Uporedni prikaz 2 jedinke (kolona A i B) *Aneumastus stroesei* (SEM mikrografije), a) cele valve, b) centralno polje, c) vrh valve.



Slika 21. Unutrašnja strana valve *Aneumastus stroesei* sa valvokopulama.

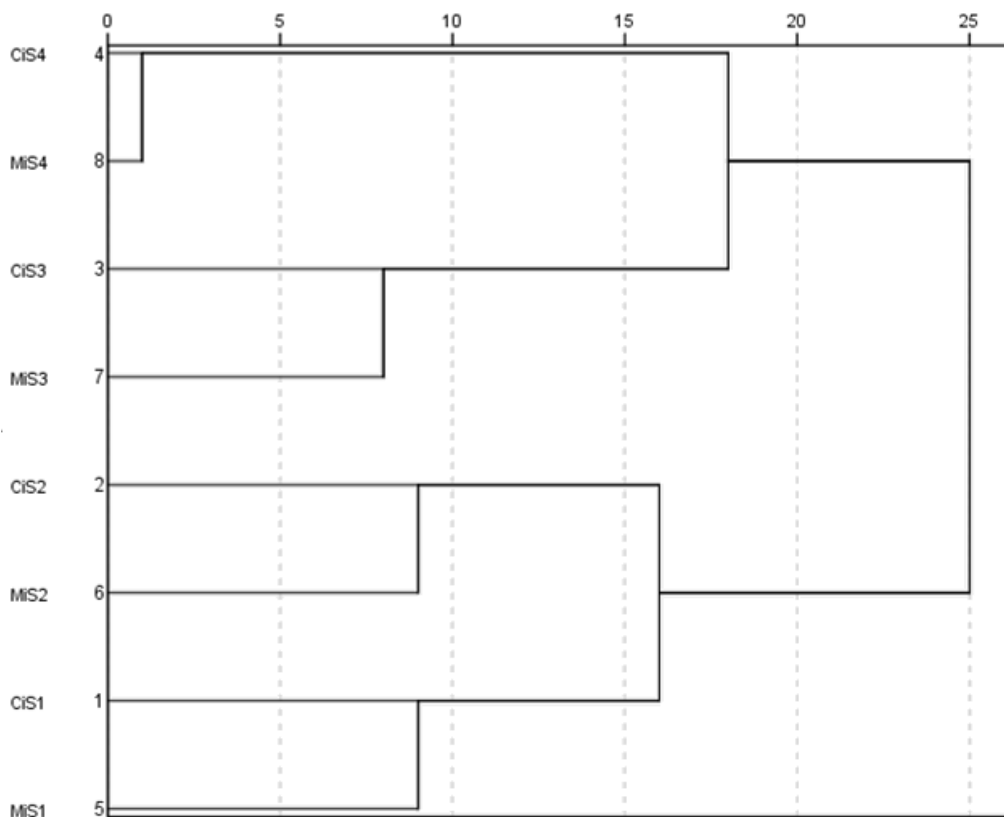
Specifičnost zajednice perifitona razvijene u jezeru Vrutci je i prisustvo gvožđe oksidujućih bakterija (FeOB) grupe *Sphaerotilus-Leptothrix*, detektovano posredstvom svetlosnog mikroskopa (Slika 22). Odlika ove grupe bakterija je da su gram negativne i na nivou jedne ćelije pokretne (flagela), međutim u prirodnom okruženju (slatkovodna sredina) javljaju se u formi lažno granatih filamenata, oformljenih povezivanjem ćelija u tubularne sluzave omotače. Ovi omotači u vodenoj sredini bogatoj gvoždem i manganom postaju inkrustirani oksidima gvožđa (*Sphaerotilus*) ili gvožđe-mangana (*Leptothrix*). Metabolizam ovih bakterija je aeroban, i uključuje disanje i hemoorganoheterotrofiju (Spring 2006).



Slika 22. Gvožđe oksidujuće bakterije grupe grupe *Sphaerotilus-Leptothrix* zabeležene u perifitonu jezera Vrutci. Metrić 20 µm.

3.2.2 Kvantitativna analiza celokupne zajednice cijanobakterija i algi u perifitonu

Hijerarhijska klaster analiza izvršena je na osnovu prisustva ili odsustva taksona cijanobakterija i algi u kvantitativnoj analizi (Grafik 32) u serijama CiS (kontinuirano inkubirani uzorci) i MiS (mesečno inkubirani uzorci), kada su uzeti u obzir svi datumi uzorkovanja, a kao varijable posmatrane dubine inkubacije. Na osnovu rezultata predstavljenih na Grafiku 30 vidimo da se zajednice na osnovu prisustva ili odsustva taksona grupišu najpre prema dubinama inkubacije (CiS1 i MiS1, CiS2 i MiS2, CiS3 i MiS3, CiS4 i MiS4) kao osnovni klasteri, a potom se grupišu dubina inkubacije 3 i 4 jedne strane i 1 i 2 sa druge strane. Dakle, možemo reći da je prisustvo taksona u najvećoj meri određeno gradijentom dubine.



Grafik 32. Dendrogram - hijerarhijska klaster analiza prisustva ili odsustva taksona cijanobakterija i algi u serijama CiS (kontinuirano inkubirani uzorci) i MiS (mesečno inkubirani uzorci), kada su uzeti u obzir svi datumi uzorkovanja, a kao varijable posmatrane dubine inkubacije 1 (1 m), 2 (5,5 m), 3 (8 m), i 4 (12 m).

IV REZULTATI

U Tabeli 26. je predstavljena udaljenost (*Jaccard distance measure*) između varijabli u matrici, i na osnovu predstavljenih rezultata možemo zaključiti da i sličnost među zajednicama u okviru iste serije opada sa gradijentom dubine.

Tabela 26. Udaljenost (*Jaccard distance measure*) između podloga inkubiranih u jezeru Vrutci, a na osnovu prisustva/odsustva taksona cijanobakterija i algi u zajednicama perifitona u serijama CiS (kontinuirano inkubirani uzorci) i MiS (mesečno inkubirani uzorci), kada su uzeti u obzir svi datumi uzorkovanja, a kao varijable posmatrane dubine inkubacije 1 (1 m), 2 (5,5 m), 3 (8 m), i 4 (12 m).

	CiS1	CiS2	CiS3	CiS4					
CiS1	1,000	0,698	0,556	0,310					
CiS2	0,698	1,000	0,615	0,333					
CiS3	0,556	0,615	1,000	0,406					
CiS4	0,310	0,333	0,406	1,000	MiS1	MiS2	MiS3	MiS4	
					MiS1	1,000	0,667	0,413	0,289
					MiS2	0,667	1,000	0,459	0,270
					MiS3	0,413	0,459	1,000	0,423
					MiS4	0,289	,270	0,423	1,000

Predstavnici razdela Dinophyta i Euglenophyta bili su zastupljeni u perifitonskim zajednicama na veštačkim podlogama i CiS i MiS, ali u veoma malom procentu (< 1%), te je stoga kvantitativna analiza perifitona u jezeru Vrutci predstavljena kroz odnos cijanobakterija, zelenih, silikatnih i zlatnih algi, kao najzastupljenijih u zajednici. Promena procentualnog odnosa ovih grupa u funkciji vremena, predstavljena je kroz broj jedinki po cm², broj ćelija po cm² i biomasu (mg/m²), uporedno i u obe serije (CiS i MiS) i na svim dubinama inkubacije, na Graficima 33, 34, i 35. Kao i u kvantitativnoj analizi perifitona iz Savskog jezera, uočljive su značajne razlike u dinamici i odnosu grupa u zavisnosti od posmatranog parametra (ćelije, jedinke ili biomasa). Takođe, generalno posmatrajući sva tri grafika (Grafik 33, 34 i 35), zapažaju se razlike među zajednicama u zavisnosti od dubine inkubacije (odnosno sloja), i te razlike zapravo su naglašene povećanim udelom cijanobakterija u uzorcima inkubiranim u metalimnionu (najuočljivije kada se posmatra broj ćelija po cm², Grafik 34).

IV REZULTATI

Posmatrajući kompoziciju zajednice kroz brojnost jedinki po jedinici površine (Grafik 31), dominirale su silikatne alge u obe serije uzoraka (70% u CiS i 80% u MiS), dok su se na drugom mestu u CiS našle cijanobakterije (19%), a u MiS zelene alge (10%). Značajnije učešće zlatnih algi zapaženo je samo na dubini od 8 m i to u julskim i avgustovskim uzorcima, mada je to u proseku iznosilo svega 3,7% u MiS i samo 1,6% u CiS. Kao što je u tabeli 25 navedeno, čitav razdeo zlatnih algi bio je zastupljen samo sa jednom vrstom *Dinobryon divergens*. Među silikatnim algama najbrojniji u kvantitativnoj analizi bili su predstavnici *Achanathidium minutissimum* kompleksa, *Encyonopsis* spp. i centrična *Pantoccheckiella ocellata*. Zelene alge predstavljale su uglavnom *Mougeotia* sp., *Oocystis* spp. i *Phacotus lenticularis*. Najbrojniji među cijanobakterijama bili su predstavnici *Pseudanabaena catenata* (dominantna), a pratili su je *Planktothrix rubescens* i *Anagnostidinium amphibium*. Posmatrajući gradijent dubine, uočava se negativan trend zelenih algi i pozitivan trend cijanobakterija, dok u hipolimnionskim uzorcima (gotovo isključivo) dominiraju silikatne alge.

Prema broju ćelija (Grafik 34), cijanobakterije su bile dominantna grupa i u CiS (73,3%) i u MiS (46,5%), dok su silikatne alge činile značajniji deo zajednice samo u MiS (41,2%). S obzirom da su specifičnosti zajednica razvijenih na različitim dubinama inkubacije najizraženije kada se posmatra ovaj parametar (broj ćelija po jedinici površine), Grafik 34 će biti detaljnije opisan i komentaran.

Upadljiva je gotovo isključiva dominacija cijanobakterija u uzorcima iz donjeg metalimniona (8 m) u CiS (i to prvenstveno zahvaljujući brojnim trihomima *P. rubescens* sa velikim brojem ćelija koji su bili zastupljeni na ovoj dubini) (Grafik 34, kolona A). U gornjem metalimnionu (5,5 m) u ovoj seriji u julu i septembru preovladavale su silikatne alge, ali u avgustu i oktobru dominirale su cijanobakterije (u avgustu zahvaljujući proliferaciji *Pseudanabaena catenata*, a u oktobru *Leptolyngbya* sp.). Dinamiku zajednice razvijene u epilimnionu (CiS) karakterisala je uglavnom kodominacija cijanobakterija i silikatnih algi, a tim da su u julu i oktobru preovladavale cijanobakterije (u julu dominira *Anagnostidinium amphibium*, a u oktobru *P. rubescens*). Na dubini 12 m (hipolimnion) gotovo isključivo su dominirale silikatne alge, samo u oktobru zapaža se značajnije prisustvo cijanobakterija (prvenstveno *P. rubescens* i *Aphanocapsa holsatica*). Udeo zelenih algi u zajednicama epilimnionskih

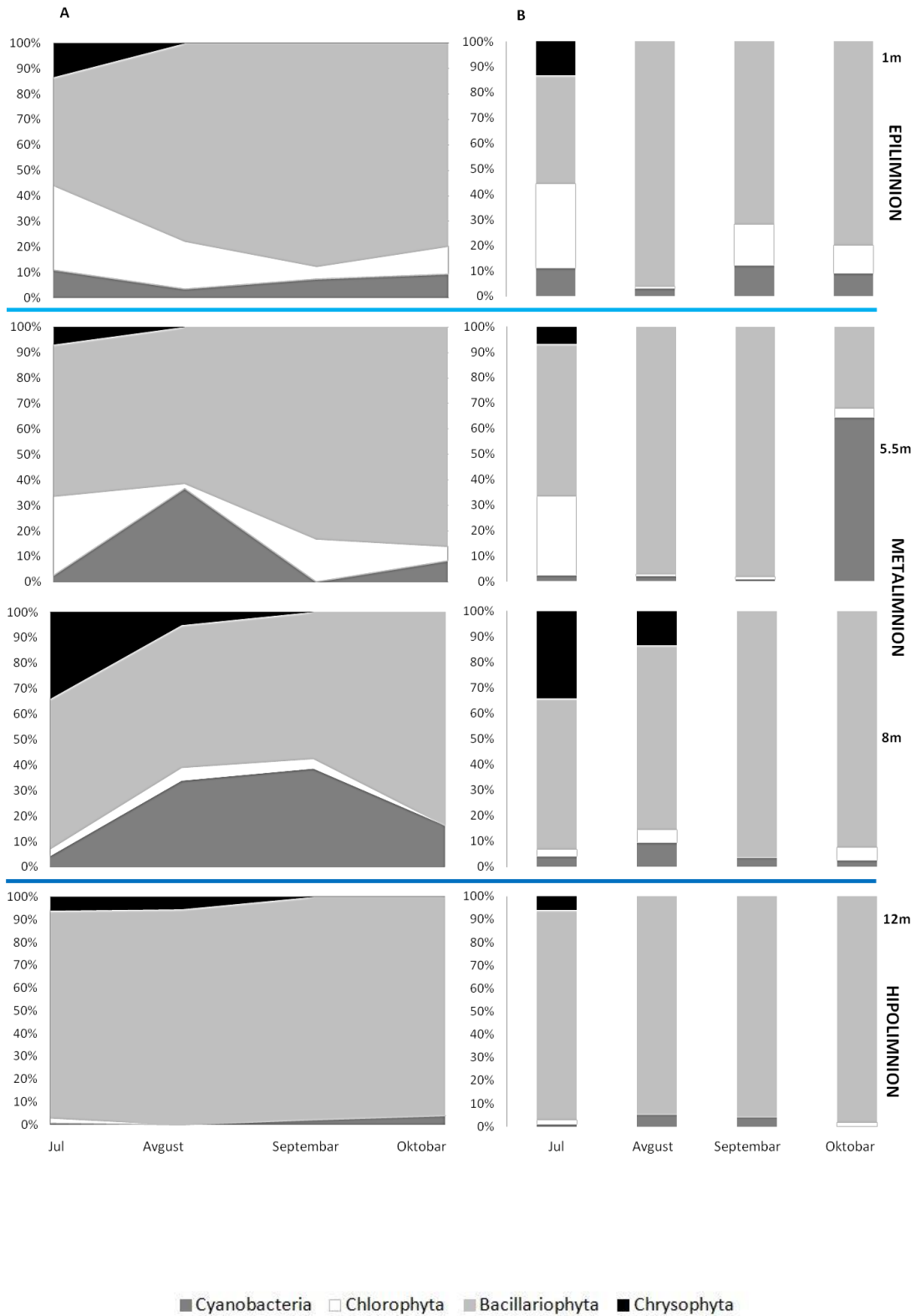
IV REZULTATI

uzoraka bio je relativno konstantan i tu je najbrojnija bila *Mougeotia* sp., za razliku od uzoraka iz gornjeg metalimniona gde su preovladavali sitni kokoidni taksoni zelenih algi. Kao i prema broju individua, i prema broju ćelija zapaža se opadanje brojnosti zelenih algi duž dubinskog gradijenta, i na dubinama 8 m i 12 m njihovo prisustvo u zajednicama je zanemarljivo malo. Interesantno je da je u ovoj seriji (CiS), od avgusta nadalje redovno beleženo i prisustvo FeOB, i to u mnogo većim razmerama u poređenju sa MiS. Kako su FeOB bile vidljive pod invertnim mikroskopom, njihova abudanca je aproksimativno određena u CiS i najveće vrednosti su zabeležene u uzorcima iz donjeg metalimniona (8 m), dok je izuzetno velika brojnost ovih organizama detektovana u septembarskim uzorcima.

U MiS je dinamika taksonomskih grupa (Grafik 34, kolona B) bila vrlo slična kao i u CiS, što nam je ukazalo da je period inkubacije od mesec dana bio sasvim dovoljan da se obrazuje zrela i reprezentativna zajednica perifitona. Izuzetak od uočenog šablona uočen je kod zelenih algi, koje su u MiS bile prisutne samo u avgustu na dubini 5,5 m. Kao i u CiS, i ovde je primećeno eksplicitno dominiranje cijanobakterija i u uzorcima iz gornjeg (u oktobru, i to zahvaljujući velikoj brojnosti *P. rubescens* i *Leptolyngbya* sp.) i iz donjeg metalimniona (u avgustu, *P. rubescens* i *Aphanocapsa holsatica*), ali kratkoročnije.

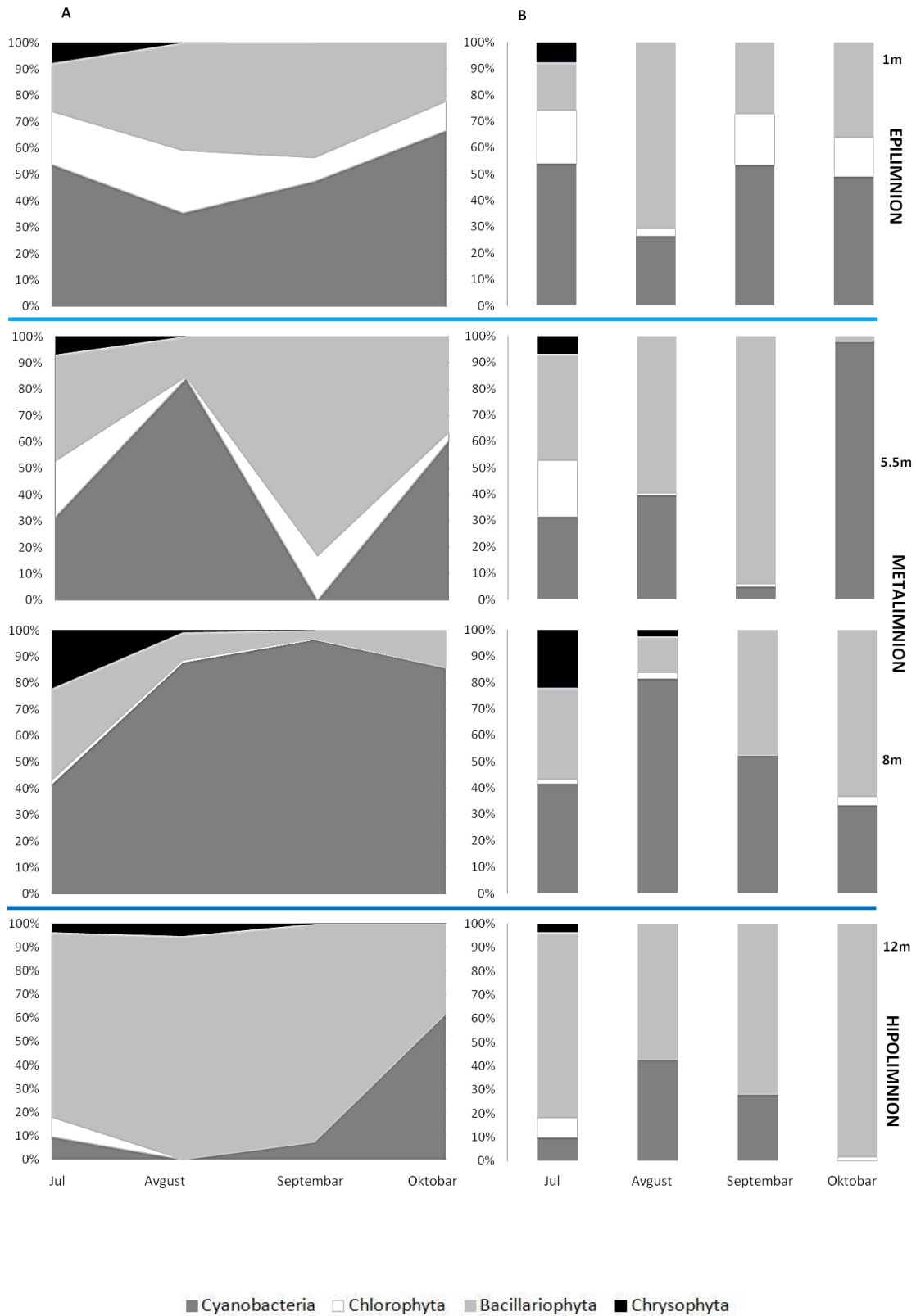
U pogledu biomase, u obe serije bez sumnje dominiraju silikatne alge (Grafik 35). U CiS se udeo zelenih algi uočava samo u epilimnionu (*Mougeotia* sp.), a udeo cijanobakterija se može zapaziti u donjem metalimnionu i to najveći u septembru (*P. rubescens*). U uzorcima iz gornjeg metalimniona i hipolimniona u CiS dominiraju silikatne alge. U MiS je dinamika gupa slična, s tim da je uočljivo prisustvo cijanobakterija i na dubini 5,5 m u oktobru (*P. rubescens*). Interesantno je da su maksimalne vrednosti biomase u obe serije postignute u oktobru u epilimnionu (dubina 1) i to 854 mg/m² u CiS i 298,5 mg/m² u MiS, ali ipak u CiS je medijalna vrednost biomase na dubini 5,5 m bila duplo veća (464 mg/m²) u odnosu na seriju uzoraka iz epilimniona (244 mg/m²).

IV REZULTATI



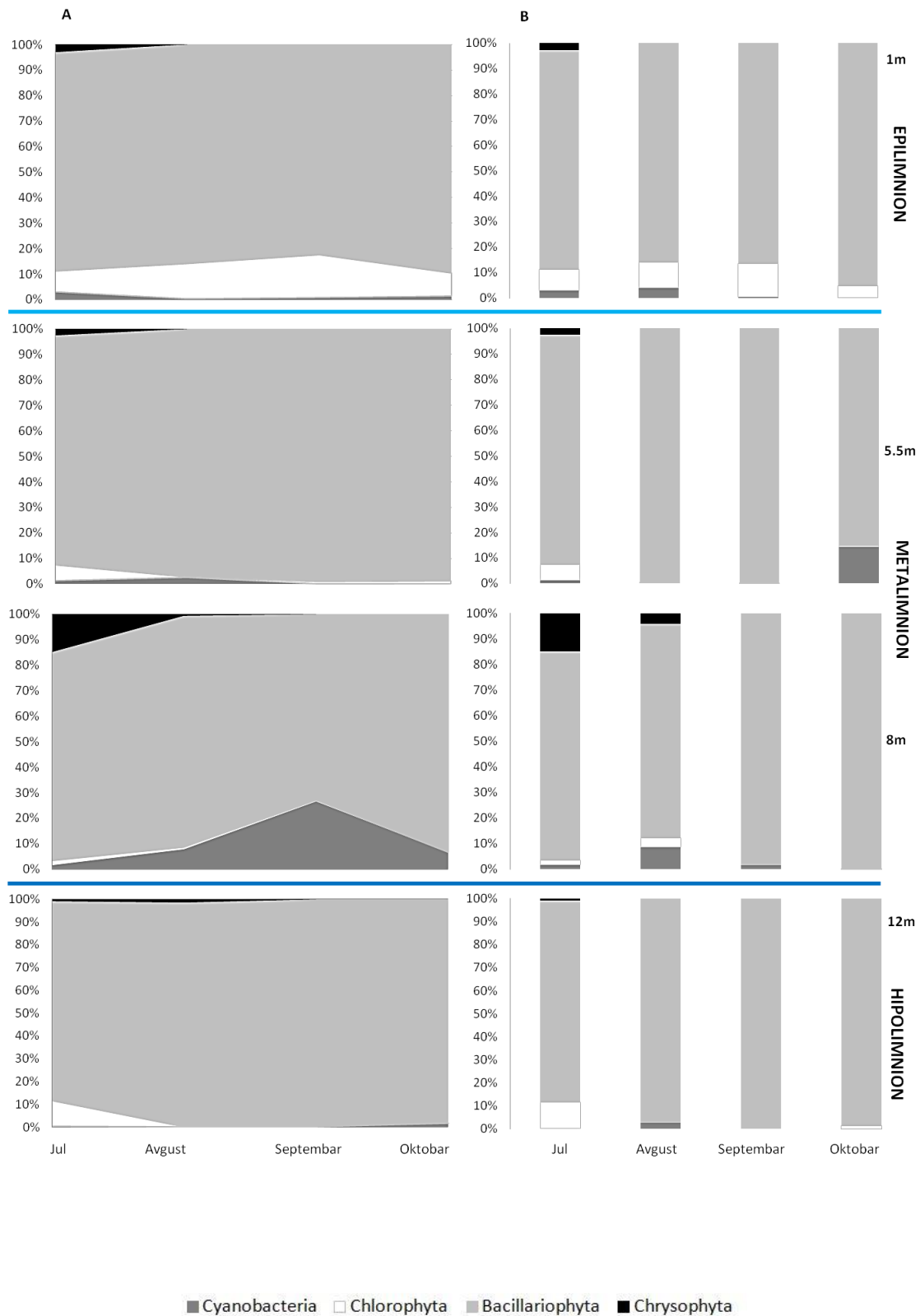
Grafik 33. Procentualni udeo najzastupljenijih taksonomskih grupa cijanobakterija i algi u perifitonu (individue po cm²). U koloni A) uzorci CiS i koloni B) uzorci MiS.

IV REZULTATI



Grafik 34. Procentualni udeo najzastupljenijih taksonomskih grupa cijanobakterija i algi u perifitonu (ćelije po cm^2). U koloni A) uzorci CiS i koloni B) uzorci MiS.

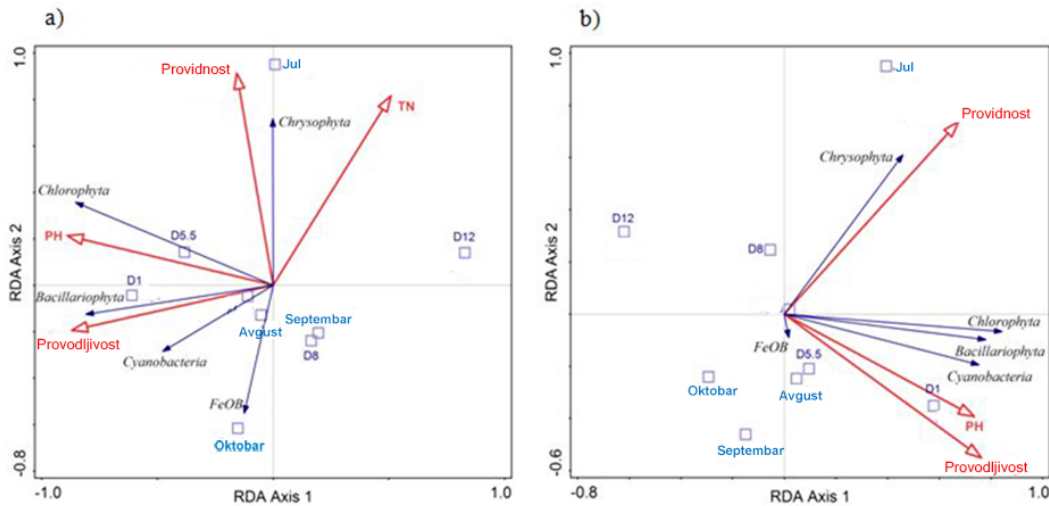
IV REZULTATI



Grafik 35. Procentualni udeo najzastupljenijih taksonomskih grupa cijanobakterija i algi u perifitonu (biomasa mg po m²). U koloni A) uzorci CiS i koloni B) uzorci MiS.

IV REZULTATI

RDA analiza odnosa brojnosti najzastupljenijih grupa organizama i merenih sredinskih parametara primenjena je posebno na svaku seriju uzoraka (Grafik 36 a i b). Fizički i hemijski parametri su u ovim analizama primenjeni kao eksplanatorne varijable, a samo parametri koji su se izdvojili kao značajni prikazani su na graficima. Provodljivost, providnost i pH su se izdvojili kao značajni faktori u obe analize, a ukupni azot samo u analizi koja je uključila CiS. RDA primenjena na set podataka CiS (Grafik 34a) objasnila je 59,3% ukupne varijabilnosti seta ($F = 4,0$, $p = 0,0002$). Providnost i ukupni azot su u ovoj analizi pokazali pozitivnu korelaciju sa drugom RDA osom ($r = 0,6952$ TN i $r = 0,7786$ providnost), duž koje je takođe uočljiv vremenski gradijent, dok su provodljivost i pH bili negativno korelisani sa prvom RDA osom ($r = -0,7602$ provodljivost i $r = -0,7776$ pH), duž koje se pozicionirao dubinski gradijent. RDA primenjena na set podataka MiS (Grafik 36b), objašnjava 50,9% ukupne varijabilnosti ($F = 4,1$, $p = 0,0006$). U ovoj analizi provodljivost, pH i providnost pokazuju pozitivnu korelaciju sa prvom RDA osom ($r = 0,7123$ provodljivost, $r = 0,6866$ pH i $r = 0,6294$ providnost) duž koje se prostire dubinski gradijent. Prema RDA, odnos brojnosti bakterija, cijanobakterija i algi sa odabranim varijablama sličan je u obe serije, uglavnom su sve tri najbrojnije grupe Chlorophyta, Bacillariophyta i Cyanobacteria (najbrojnije u epilimnionu) pozitivno korelisane sa pH i provodljivošću. U RDA primenjenoj na CiS set jasno je vidljivo da ukupni azot zapravo ima trend rasta duž gradijenta dubine. Na osnovu analiza, možemo reći da je sastav zajednice perifitona u obe serije prvenstveno određen dubinskim gradijentom duž koga pH i provodljivost opadaju. Takođe, analize ukazuju da je brojnost zelenih algi direktno uslovljena svetlosnim režimom, dok su silikatne alge i cijanobakterije tolerantnije na nedostatak svetlosti. Providnost i TN su imali negativan trend duž vremenskog gradijenta, dok je abundanca FeOB bila negativno korelisana sa ovim parametrima.



Grafik 36. Odnos ekoloških (fizičkih i hemijskih) parametara i brojnosti (ćelija po cm²) najzastupljenijih grupa organizama u perifitonu u CiS (a) i MiS (b) seriji uzoraka.

3.2.2.1 Eko-morfološka funkcionalna klasifikacija taksona detektovanih u kvantitativnoj analizi

Sa ciljem posmatranja dinamike procesa kolonizacije (MiS) i sukcesije (CiS) tokom eksperimentalnog perioda, na različitim dubinama inkubacije, rasporedili smo taksone detektovane u kvantitativnoj analizi perifitona u eko-morfološke grupe, uzevši u obzir broj jedinki po cm². Procentualni udeo eko-morfoloških grupa u zajednici perifitona na različitim dubinama inkubacije predstavljen je na Grahicima 37 i 38.

U okviru grupa planktonske, pokretne, niskog i visokog profila raspoređene su silikatne alge. U okviru grupe planktonske našli su se taksoni centričnih silikatnih algi *Pantocsekiella ocellata*, *Lindavia radiosa* i *Cyclotella craetica* var. *cyclopuncta*. U grupi niskog profila su bili raspoređeni *Achnanthidium* spp., *Encyonopsis* spp., *Cymbella* spp. i *Cocconeis* spp. dok su grupu visokog profila prvenstveno činili pripadnici rodova *Fragilaria* i *Gomphonema*. Grupu pokretnih silikatnih algi činili su uglavnom *Nitzschia* spp. i *Navicula* spp..

Taksoni van silikatnih algi su razvrstani u grupe jednoćelijski i kolonijalni predstavnici, filamentozne zelene alge i filamentozne cijanobakterije. Grupu jednoćelijskih i kolonijalnih predstavnika uglavnom su činili *Aphanocapsa* spp., od

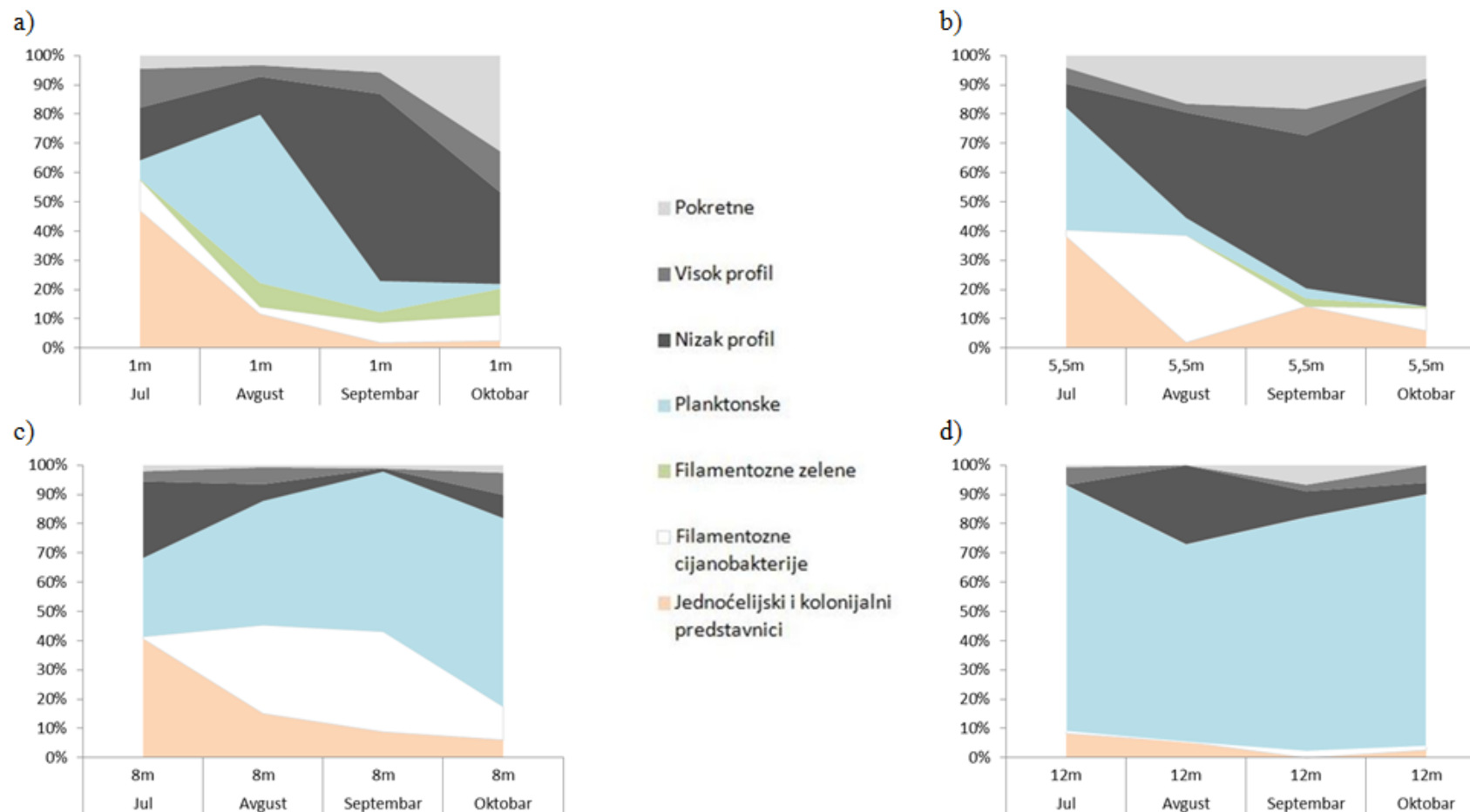
IV REZULTATI

cijanobakterija, kao i *Oocystis* spp., *Phacotus lenticularis* od zelenih algi, a ovoj grupi je priključen i jedini pripadnik Chrysophyta *Dynobrion divergens*. U grupi filamentozne cijanobakterije našli su se u najvećem broju *Planktothrix rubescens*, *Pseudanabaena catenata* i *Anagnostidinema amphibium*, a celu grupu filamenzne zelene isključivo je činila *Mougeotia* sp..

U obe serije uzoraka (CiS i MiS), uočljivo je da je udeo planktonskih silikatnih algi u formiranju zajednica mnogo veći na dubinama 8 m i 12 m. Takođe, udeo filamentoznih cijanobakterija je konstatno velik na dubinama 5,5 m i 8 m u CiS, a u MiS samo u oktobarskom uzorku na 5,5 m. Postoje uočljive razlike između serija i u pogledu zastupljenosti grupe pokretnih silikatnih algi, tačnije njihov udeo je veći u CiS na 1 m i 5,5 m dubine.

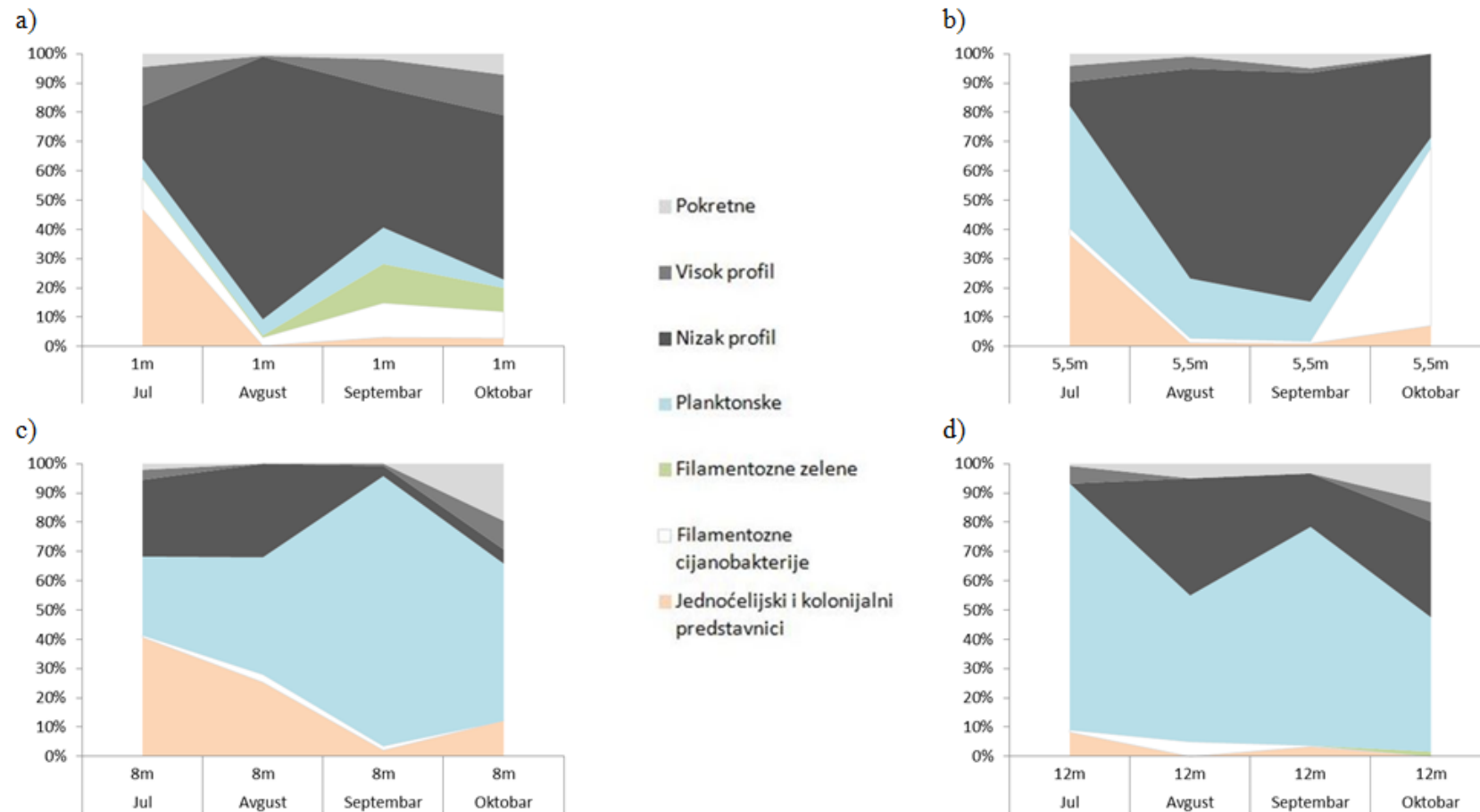
Posmatrajući tok sukcesije u CiS na različitim dubinama inkubacije (Grafik 37), uočljiv je porast udela grupe niskog profila u kasnijim fazama, septembar i oktobar, dok istovremeno udeo planktonske grupe silikatnih algi, kao i jednoćelijskih i kolonijalnih predstavnika drugih grupa opada. Udeo filamentoznih predstavnika i zelenih algi i cijanobakterija relativno je mali na dubini 1 m, ali konstantan tokom sukcesije. U metalimnionu, karakteristika sukcesije perifitona je značajan udeo filamentoznih cijanobakterija u zajednici u avgustu na 5,5 m (*P. catenata*) i avgustu i septembru na 8 m (*P. rubescens*).

Inicijalni udeo eko-morfoloških grupa u kolonizaciji (MiS) razlikovao se tokom eksperimentalnog perioda (Grafik 38). U julskim uzorcima uočljiv je značajan udeo grupe jednoćelijskih i kolonijalnih predstavnika (velika brojnost *Dynobrion divergens*), koji se u kasnijim uzorcima drastično smanjuje. U kolonizaciji podloga inkubiranih na 1 m i 5,5 m prednjačila je grupa niskog profila, dok je udeo grupa pokretnih silikatnih algi i visokog profila bio relativno mali. Na dubini 5,5 m grupa filamentoznih cijanobakterija (*P. rubescens*) značajno učestvuje u kolonizaciji podloga inkubiranih tokom septembra (oktobarski uzorci).



Grafik 37. Procentualni udeo eko-morfoloških grupa u zajednici perifitona na dubini inkubacije a) 1 m, b) 5,5 m, c) 8 m i d) 12 m u seriji uzoraka CiS.

IV REZULTATI



Grafik 38. Procentualni udeo eko-morfoloških grupa u zajednici perifitona na dubini inkubacije a) 1 m, b) 5,5 m, c) 8 m i d) 12 m u seriji uzoraka MiS.

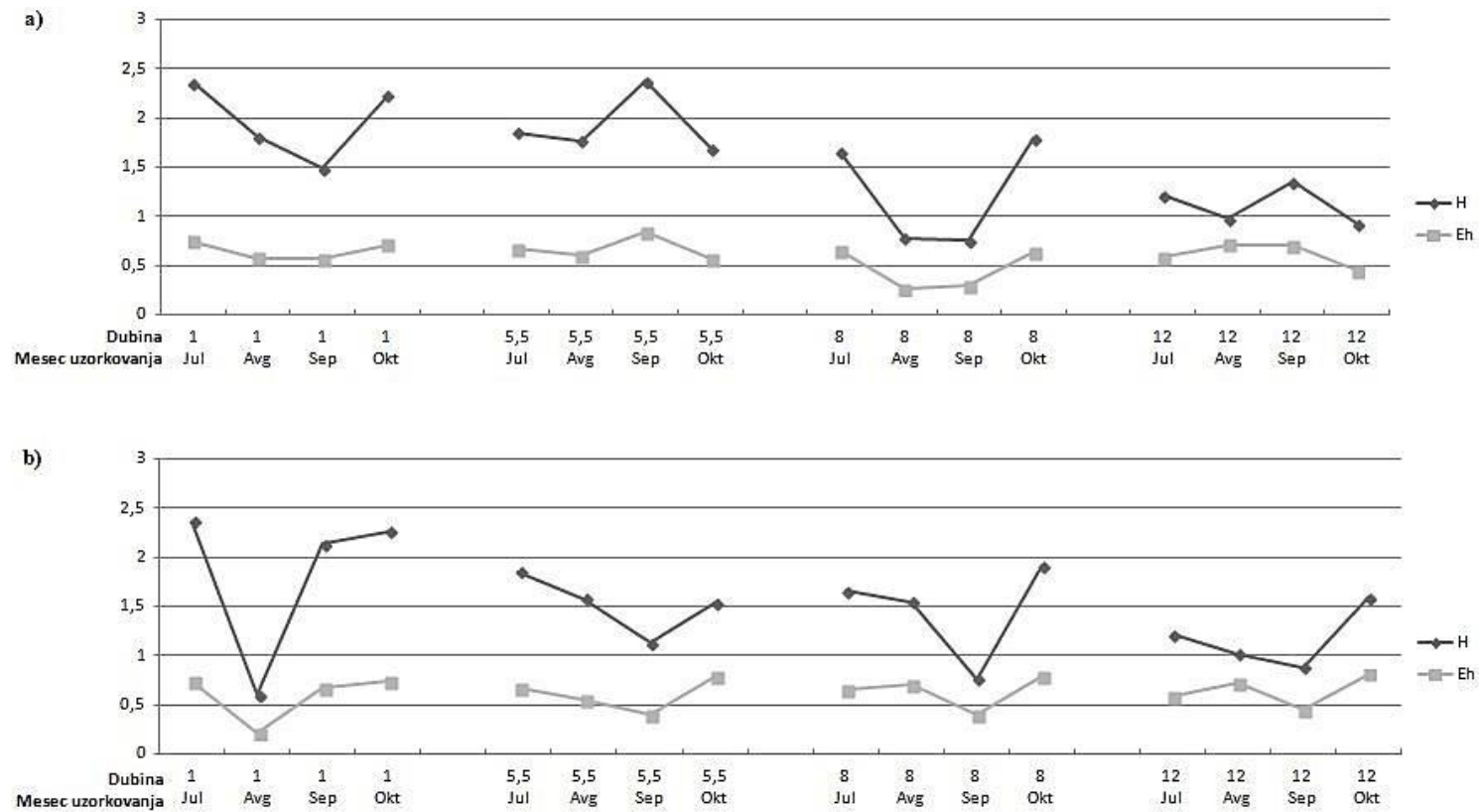
3.2.2.2 Šenonov indeks diverziteta i Pielou indeks ujednačenosti

Na Grafiku 39 prikazana je dinamika diverziteta (H) i ujednačenosti (Eh). Vrednosti indeksa diverziteta ni u jednoj seriji nisu prelazile 2,5, što se može smatrati relativno niskim diverzitetom, a uočljiv je i trend opadanja vrednosti indeksa diverziteta sa gradijentom dubine.

U seriji CiS (Grafik 39a), H i Eh su bili visoko i značajno pozitivno korelisani ($p > 0,05$) na svim dubinama inkubacije izuzev 12 m, što ukazuje da tokom sukcesije sa porastom broja detektovanih vrsta u uzorcima raste i ujednačenost raspodele individua po vrstama u zajednici i obrnuto. Na dubini 12 m, niži stepen korelacije bez značajnosti ukazuje na prevashodnu dominaciju jednog ili nekoliko taksona, a to su shodno Grafiku 35d, bili pripadnici grupe planktonskih silikatnih algi. Na dubini 1 u CiS zapaža se trend opadanja diverziteta do septembarskog uzorkovanja, kada je i najveća vrednost zabeležena na 5,5 m. Zanimljivo je obratiti pažnju na dinamiku diverziteta na dubini 8 m u CiS i uočiti poklapanje izuzetno niskih vrednosti diverziteta sa velikim udelom filamentoznih cijanobakterija u zajednici (Grafik 35c).

U seriji MiS (Grafik 39b), H i Eh su značajno pozitivno korelisali ($p > 0,05$) samo na dubinama 1 m i 8 m, dok na dubinama 5,5 m i 12 m konstantno velika abundanca grupe niskog profila (5,5 m) i grupe planktonskih silikatnih algi (12 m) uzrokuje izostanak ujednačene raspodele individua u detektovanim takasonima. Na dubini 1 m u MiS uočljiv je znatan pad vrednosti diverziteta i ujednačenosti u avgustovskom uzorkovanju, što je očita posledica preovladavanja dominantne grupe kolonizatora (grupa niskog profila) u ovom periodu (Grafik 36a), a što je pokazala i značajna negativna korelacija između H i abundance grupe niskog profila na ovoj dubini ($r = -0,997$, $p = 0,01$). Takođe, drastičan pad vrednosti diverziteta zabeležen je na dubini 8 m u septembarskom uzorku, čemu je doprinela upadljiva dominacija planktonskih centričnih silikatnih algi u kolonizaciji (Grafik 36c), što je potvrđeno visokim koeficijentom negativne korelisanosti između H i abundance grupe planktonskih silikatnih algi na ovoj dubini ($r = -0,967$, $p = 0,05$).

IV REZULTATI



Grafik 39. Dinamika Šenonovog indeksa diverziteta (H) i Pielou indeksa ujednačenosti (Eh) u seriji uzoraka a) CiS i b) MiS.

3.2.3 Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi i diatomni indeksi

Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi iz perifitona sa veštačkih podloga iz jezera Vrutci predstavljena je u Prilogu 2. Iz rezultata je uočljivo da se na mestu dominantnog taksona u obe serije smenjuju *Achnanthydium caledonicum* i *Pantocsekiella ocellata*, dok se kao subdominantni najčešće javljaju *Achnanthydium minutissimum* i *Melosira varians*. Posmatrano prema morfološkim grupama (Tabela 27) u epilimnionskim uzorcima dominirali su sitni monorafidni prostratni oblici, dok su u meta i hipolimnionu najzastupljenije bile centrične silikatne alge. U gornjem metalimnionu značajno su bili zastupljeni i navikuloidni oblici, pa su čak bili dominantni na dubini 2 u septembarskim i oktobarskim uzorcima u CiS.

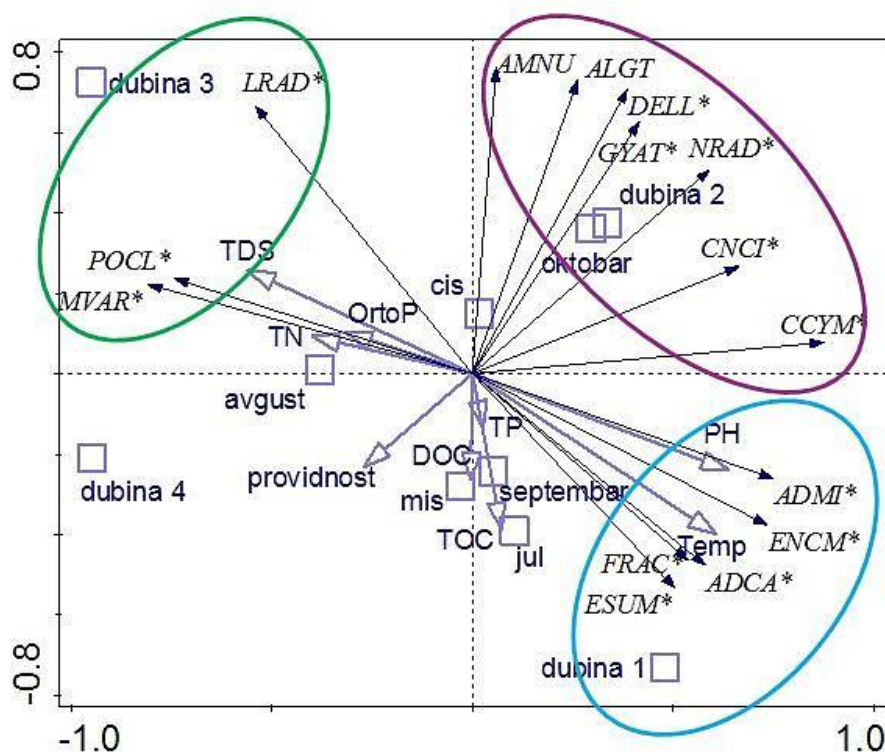
Tabela 27. Abundanca silikatnih algi - morfološke grupe, (MO - monorafidni, NA - navikuloidni, AR - arafidni, NI - ničoidne, CE - centrične) u perifitonu sa veštačkih podloga iz jezera Vrutci. Funkcija **Bold** označava dominantne grupe.

Seriya	Datum	Dubina	MO	NA	AR	NI	CE	
CIS	07/2015	1	330	94	2	6	2	
		2	67	27	27	14	270	
	08/2015	1	193	77		12	128	
		2	190	119	4	22	75	
		3	18	20	6	4	358	
	09/2015	1	184	161	8	2	49	
		2	65	264	5	2	69	
		3		8		8	399	
		4	4	20		2	287	
	10/2015	1	253	115	17	2	17	
		2	46	252	4	74	24	
		3	8	65	16	31	296	
		4	2	6	6	2	408	
	MIS	07/2015	1	330	94	2	6	2
			2	67	27	27	14	270
		08/2015	1	112	114	4	9	175
2			110	46	3	28	230	
3			7	4		4	398	
09/2015		1	158	116	6	6	119	
		2	191	82			123	
10/2015		1	219	149	6	24	18	
		2	32	12	2	6	21	

IV REZULTATI

Interesantno je zapaziti da se čak 14 taksona prisutnih u kvantitativnoj analizi zajednice silikatnih algi iz jezera Vrutci nalazi na Crvenoj listi silikatnih algi Nemačke (Prilog 2). Ovi taksoni uglavnom pripadaju kategoriji V - rano upozorenje na potencijalnu ugroženost, ali prisutne su i dve ranjive vrste (kategorija 3) i to *Achnantheidium caledonicum*, vrsta koja u velikom broju uzoraka i dominira i *Aneumastus stroesei* koji je prvi put zabeležen u Srbiji.

PCA analizom (analiza glavnih komponenti) ispitan je odnos abundance silikatnih algi u perifitonu iz jezera Vrutci i sredinskih faktora, kroz vreme i u zavisnosti od dubina inkubacije (Grafik 40). Prve dve PCA ose objašnjavaju ukupno 35,5% varijabilnosti seta podataka (prva osa 18,8%, a druga 16,7%). Rezultati PCA analize ukazuju na razdvajanje CiS i MiS serije duž druge PCA ose, koja je određena gradijentom većeg broja faktora, ali najznačajniji su pH, Temperatura, TOC i providnost.



Grafik 40. PCA analiza (analiza glavnih komponenti) odnosa abundance silikatnih algi u perifitonu iz jezera Vrutci i sredinskih faktora, kroz vreme i u zavisnosti od dubina inkubacije.

Kodovi taksona su popisani u Prilgu 2.

IV REZULTATI

Interesantan je raspored dubina na grafiku, prva i druga su se pozicionirale sa pozitivne strane prve PCA ose koju određuje gradijent pH i temperature vode, a treća i četvrta u negativnom delu. U odnosu na drugu osu, druga i treća dubina su se pozicionirale u pozitivnom delu koji karakterišu TDS, ortofosfati i TN, dok su se u negativnom delu ove ose našle dubine 1 i 4. Oko dubina inkubacije, izdvojile su se tri grupe silikatnih algi (oko dubine 4 se zbog male abundance nije formirala grupa). Za dubinu 1 bili su karakteristični taksoni *Achnanthydium caledonicum*, *Achnanthydium minutissimum*, *Encyonopsis microcephala*, *Encyonopsis subminuta* i *Fragilaria acus*. Grupu oko dubine 2 činili su *Cymbella cymbiformis*, *Cymbella neocistula* var. *neocistula*, *Amphora lange-bertalotii* var. *tenuis*, *Amphora minutissima*, *Diploneis elliptica*, *Gyrosigma attenuatum* i *Navicula radiosa*. Oko dubine 3 pozicionirali su se centrični taksoni *Lindavia radiosa*, *Melosira varians* i *Pantocsekiella ocellata*.

Vrednosti indeksa diverziteta i ujednačenosti zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz jezera Vrutci predstavljene su u Prilogu 2. Generalno posmatrano, diverzitet je bio najveći na dubini 2, dok je sa porastom dubine imao trend opadanja. Same vrednosti diverziteta bile su relativno visoke, kao i ujednačenost.

Rezultati kvantitativne analize silikatnih algi uneti su program Omnidia 6.2 u kome su izračunate vrednosti 18 dijatomnih indeksa, a vrednosti odabranih indeksa tokom perioda uzorkovanja na jezeru Vrutci u obe serije predstavljeni su u Tabeli 28. Dobijene vrednosti dijatomnih indeksa ukazuju na različite klase kvaliteta vode jezera Vrutci. Ukoliko posmatramo samo dubinu inkubacije 1 (1 m) prema indeksima IBD, IPS i IDAP kvalitet vode je veoma dobar (s tim da IPS u MiS u avgustu i septembru ipak ukazuje na dobar kvalitet). TDIL indeks je i u ovoj, kao i u studiji na Savskom jezeru pokazao uniformnost i doslednost, čak i u pogledu dubina inkubacije na jezeru Vrutci (iako su se kretale u rasponu od 1 m do 12 m), i prema ovom indeksu kvalitet vode jezera Vrutci je dobar. Duž dubinskog gradijenta, izuzev TDIL, svi ostali indeksi su ukazivali na trend opadanja kvaliteta vode, pri čemu je klasičan TDI na dubinama 3 (8 m) i 4 (12 m) dostigao vrednosti iz opsega veoma lošeg kvaliteta vode. Rott TI i Rott SI su i u jezeru Vrutci ukazivali na bolji status saprobnosti u odnosu na trofičnost.

S obzirom da se za procenu ekološkog potencijala tipa ekosistema u koje spada jezero Vrutci (na osnovu fitobentosa) prema Pravilniku (Sl. glasnik RS 74/11) koristi

IV REZULTATI

IPS dijatomni indeks, prema našim rezultatima jezero Vruci je tokom perioda istraživanja pripadalo II klasi ekološkog potencijala ($IPS > 14$). Samo na većim dubinama inkubacije (8 m i 12 m) zabeležene su nešto niže vrednosti IPS, ali ipak u granicama III klase ekološkog potencijala.

Tabela 28. Vrednosti odabranih dijatomnih indeksa iz perifitona sa veštačkih podloga iz jezera Vruci. Polja su označena odgovarajućom bojom u odnosu na klasu kvaliteta vode na koju vrednosti dijatomnih indeksa upućuju.

Seriya	Datum	Dubina	IBD	IPS	IDAP	TDIL	CEE	TDI	Rott TI	Rott SI	
CIS	7/2015	1	20	19	19,9	14,7	18,2	15,4	15,9	19,7	
	8/2015	1	19,9	17,1	17,8	14,2	15,8	13,8	13,4	19	
	9/2015	1	20	18	17,6	13,9	15,3	15,2	14,5	19,4	
	10/2015	1	20	18,4	19,7	14,4	17,6	15,4	15,1	19,5	
	7/2015	2	15,3	14,3	15,5	14,7	13,4	8,3	10,3	17	
	8/2015	2	19,9	16,9	18,1	14,8	17,1	15,1	13,8	19,4	
	9/2015	2	19,3	16,1	18,7	14,6	16,6	15,4	11,7	17,9	
	10/2015	2	18,2	16,1	16,5	13,9	17,6	16	12,5	19,2	
	8/2015	3	13,9	13,5	15,4	14,3	12,9	4	9,2	14	
	9/2015	3	13,8	13	15,2	13,5	12,7	2,1	8,3	12	
	10/2015	3	14,2	14,4	15,8	15,7	14,6	6,5	9,6	15,7	
	9/2015	4	14,4	12,8	15,2	14,5	12,6	2,9	9,4	12,8	
	10/2015	4	13,8	12,8	15,2	13,6	12,5	1,4	8,4	11,8	
	MIS	7/2015	1	20	19	19,9	14,7	18,2	15,4	15,9	19,7
		8/2015	1	19,3	15,9	16	14,2	13,9	13,3	12,9	18,9
		9/2015	1	19,3	16,6	18,1	14,2	15,9	13,7	13,1	18,8
10/2015		1	20	17,6	18,3	14,2	17,3	15,5	14,5	19,5	
7/2015		2	15,3	14,3	15,5	14,7	13,4	8,3	10,3	17	
8/2015		2	16,8	15,1	14,5	13,5	13,1	9,8	10,5	17,8	
9/2015		2	18,8	15,8	19,4	14,9	17,2	15	14,3	19	
10/2015		2	18,7	16,9	16,7	13,9		12	12,3	18,8	
8/2015		3	13,6	12,2	14,9	14,3	10,6	2,3	9,1	12,5	

Legenda:

veoma loš kvalitet vode
loš kvalitet vode
srednji kvalitet vode
dobar kvalitet vode
veoma dobar kvalitet vode

1 Savsko jezero

1.1 Fizički i hemijski parametri i status trofičnosti Savskog jezera

Plaža Ada Ciganlija na Savskom jezeru je prva i još uvek jedina plaža u Srbiji koja je nagrađena *Plavom Zastavom* (Blue Flag 2018). *Plava Zastava* je internacionalni sertifikat koji Fondacija za edukaciju o životnoj sredini (Foundation for environmental education) dodeljuje plažama i marinama kao potvrdu njihovog visokog standarda u pogledu kvaliteta vode, sigurnosti, ekološke svesti i upravljanja životnom sredinom (Foundation for environmental education 2018). S obzirom na ovo laskavo priznanje, održavanje dobrog ekološkog potencijala Savskog jezera je od ključnog značaja za ovaj turističko-rekreativni centar.

Istraživanje na Savskom jezeru vršeno je tokom leta 2014. godine, koja je bila druga po redu najtoplija i godina sa najvećom prosečnom količinom padavinama u Srbiji, od 1951. godine (RHMZ 2015a). Takođe, u maju 2014. godine zabeležene su katastrofalne poplave u Srbiji, a u Beogradu je leto 2014. godine okarakterisano kao izuzetno kišovito (RHMZ 2015b). Kao posledica čestih padavina (u proseku oko 5 mm dnevno, Tabela 11), prosečan broj posetilaca na Savskom jezeru tokom eksperimentalnog perioda bio je relativno mali (Tabela 11) u poređenju sa podacima da dnevna posećenost tokom letnjih meseci prevazilazi broj od 100 000 ljudi (Mićković i sar. 2014). Očekivani snažan antropogeni pritisak (u smislu negativnog uticaja velikog broja posetilaca - turista, rekreativaca i kupača na kvalitet vode) tokom letnjih meseci na Savskom jezeru, u našoj studiji nije detektovan (Grafik 2). Ipak, u drugoj polovini eksperimentalnog perioda mogao se uvideti uticaj povećanog broja posetilaca na povećanje koncentracije TP u vodi Savskog jezera (Grafik 2). Postoje podaci da kupači doprinose prilivu fosfata u vodno telo koje eksploatišu u iznosu od čak 0,0094 g fosfora po kupaču dnevno (Dokulil 2014). Prema našim rezultatima (Grafik 2) količina padavina, odnosno spiranje sa okolnog zemljišta (puta i okolnih objekata) posle dužih perioda padavina, izdvaja se kao vodeći faktor koji doprinosi povećanju koncentracije fosfora u Savskom jezeru (Trbojević i sar. 2017).

U poslednjem dostupnom izveštaju o kvalitetu životne sredine grada Beograda (Gradski zavod za javno zdravlje 2013) ekološki potencijal Savskog jezera je ocenjen kao dobar i zadovoljavajući. U ovom izveštaju, visok kapacitet samoprečišćavanja kao i kontrolisana protočnost i aearacija istaknuti su kao glavni faktori koji doprinose očuvanju dobrog ekološkog potencijala Savskog jezera. Naši rezultati ukazuju da eksterni priliv nutrijenata (podržan urbanizacijom jezera, velikim brojem posetilaca i posebno spiranjem zemljišta, odnosno čestim padavinama) potencijalno može prevazići kapacitete procesa koji održavaju stabilnu ravnotežu ovog ekosistema i utiču na kvalitet vode. Jovanović i saradnici (2017) istakli su i potencijal internog priliva nutrijenata u Savskom jezeru kao posledicu mešanja vodenog stuba usled jakih vetrova.

Podaci o trofičkom statusu i kvalitetu vode Savskog jezera su oskudni u dostupnoj literaturi. Martinović-Vitanović i saradnici (2010) zabeležili su tokom jeseni 2006. godine mezotrofni status u Taložniku, sedimentacionoj jedinici iz koje se Savsko jezero snabdeva vodom. Naši rezultati u ovom istraživanju karakterišu Savsko jezero kao pretežno mezotrofno tokom leta 2014. (Grafik 3), a krajem augusta i početkom septembra zabeležen je prelazak u eutrofni status, prema indeksima TSI (SD) i TSI (CHL). Ipak, činjenica je da je Karlsonov indeks TSI (TP) konstantno bio iznad granice mezotrofnog statusa i povremeno čak prelazio i gornju granicu eutrofnog statusa (Grafik 3). Interesantno je da se maksimum TSI (TP) i dostizanje hipereutrofnog statusa trofičnosti po ovom parametru, poklapaju sa nedeljom u kojoj je zabeležen maksimalan broj posetilaca na Savskom jezeru (Grafici 2 i 3). Zabeleženi odnos između komponenti Karlsonovog indeksa trofičnosti na Savskom jezeru $TSI(TP) > TSI(CHL) = TSI(SD)$, ukazuje da je nekontrolisana primarna produkcija fitoplanktona (cvetanje) ograničena dostupnošću azota, ispašom zooplanktona ili drugim faktorima koji limitiraju razvoj algalne biomase (Carlson i Simpson 1996). Tokom našeg istraživanja na Savskom jezeru koncentracija neorganskih azotovih jedinjenja (nitrata, nitrita i amonijaka) u vodi jeste bila niska (Grafik 1), u proseku daleko ispod graničnih vrednosti koje određuju dobar ekološki status, odnosno II klasu kvaliteta površinskih voda za akumulacije formirane na vodnim telima tipa 2 (Sl. glasnik RS 50/12). Kao faktor koji uspešno kontroliše masivan razvoj algalne biomase na Savskom jezeru mogao bi se istaći i dobro planiran menadžment, tj. kontrola rasta makrofita, koje se košenjem suzbijaju u priobalnom delu, gde se nalaze plaže i restorani, ali se njihov razvoj podržava u

centralnom tj. pelagijalnom regionu jezera i dela priobalja, te se dobrim balansom primarnih producenata jezero uspešno održava u stabilnom alternativnom stanju sa bistrom vodom (Scheffer i sar. 1993).

1.2 Netaksonomske karakteristike perifitona

Posmatrajući vrednosti netaksonomskih parametara perifitona razvijenog na različitim tipovima podloga u Savskom jezeru (Tabela 12.), lako se uočava da su maksimalne vrednosti za sve parametre (u proseku) postignute na staklenoj podlozi, što predstavlja prvi nagoveštaj da se staklo izdvaja kao najpogodnija podloga za kolonizaciju perifitona. Uopšteno posmatrano, minimalne vrednosti za sve netaksonomske parametre su postignute u prve dve, a maksimalne u poslednje tri nedelje inkubacije. Prema Biggs (1996), vrednosti Chl *a* u perifitonu između 3-60 mg/m² (sa medijalnim vrednostima od 21 mg/m² za Chl *a* i 4,8 g/m² za AFDM) tipični su za tekućice sa umerenim stepenom eutrofikacije. Imajući u vidu vrednosti Chl *a* i AFDM u perifitonu iz Savskog jezera (Tabela 12), ali i rezultate Karlsonovog indeksa trofičnosti za Savsko jezero (Grafik 3), možemo uočiti poklapanje naših rezultata sa Biggs-ovim modelom (1996). Szilágyi i saradnici (2008) istakli su niz prednosti (između ostalih i ekonomsku isplativost) korišćenja netaksonomskih karakteristika perifitona u proceni kvaliteta vode.

Kao što je već napomenuto u prethodnom poglavlju, u ovoj doktorskoj disertaciji perifiton je prvenstveno analiziran kroz različite aspekte fotoautotrofne komponente (cijanobakterija i algi), pa je i uticaj dubine inkubacije (Grafik 6) i tipa podloge (Grafik 7) posmatran prvenstveno u odnosu na koncentraciju Chl *a*. U oba slučaja, primenjen je najpre Kruskal Wallis-ov test (neparametarska ANOVA), a pošto je uočeno da razlike među grupama postoje, primenjen je i Mann Whitney-jev U-test, kako bi se razotkrilo među kojim grupama su razlike statističke značajne. Uticaj dubine inkubacije na koncentraciju Chl *a* svakako je bio najizraženiji u uzorcima perifitona razvijenog na staklu i vrbi (Grafik 6.). Ovaj rezultat ukazuje da je biofilm razvijen na staklu i vrbi najosetljiviji na ekološke faktore povezane sa dubinom, među kojima su najznačajniji temperatura i svetlosni režim (Kralj i sar. 2006), čak i kada su varijacije

ovih faktora vrlo male (razlike među dubinama inkubacije u Savskom jezeru su bile veoma male, dubina 1 - 50 cm, dubina 2 - 80 cm, i dubina 3 - 140 cm). Uticaj dubine inkubacije na fotoautotrofnu komponentu perifitona najmanje je bio izražen u biofilmu razvijenom na tisi, potencijalno upućujući na snažan efekat tipa podloge u ovom slučaju (Trbojević i sar. 2018).

Kao što je bilo očigledno iz rezultata predstavljenih u Tabeli 12, statistička analiza je potvrdila da se najveća biomasa perifitona (Chl *a*) razvila na staklenoj podlozi, dok je druga po redu podloga (prema preferenciji fotoautotrofne komponente perifitona) bila vrba (Grafik 7). Ponovo, staklo i vrba se izdvajaju, ovoga puta puta kao podloge koje cijanobakterije i alge preferiraju za kolonizaciju, naspram keramike i tise. Danilov i Ekelund (2001) su u svom istraživanju takođe zaključili da je staklena podloga „omiljenija” od drvene za kolonizaciju perifitona, što je jasno pokazano i našim rezultatima. Ipak, naši rezultati ukazuju i na visoke vrednosti Chl *a* na vrbi kao podlozi za kolonizaciju. Drvena podloga može poslužiti kao potencijalni izvor dostupnih formi nutrijenata za autotrofne kolonizatore, zahvaljući prethodnoj aktivnosti heterotrofa u biofilmu (Scholz i Boon 1993, Zhang i sar. 2013a), pa se pomenuta preferencija autotrofa prema vrbi kao drvenoj podlozi može posmatrati i u ovom kontekstu (Trbojević i sar. 2018). S druge strane, na tisi kao drvenoj podlozi, naši rezultati beleže niske vrednosti Chl *a*. Drvo tisa (*Taxus* spp.) poznato je kao otrovno, zahvaljujući prisustvu toksičnog alkaloida taksina u svim delovima biljke, izuzev u mesnatim crvenim omotačima semena - arilusima (Wilson i sar. 2001). Takođe, otpornost drveta tise prema raspadanju i truljenju povezana je sa produkcijom toksičnih jedinjenja (spomenutog taksina), koja se talože u zidovima ćelija srži drveta (Loferski 1999). Zahvaljujući ovim osobinama, drvo tise je okarakterisano kao izuzetno otporno prema procesima raspadanja, dok drvo vrbe s druge strane, ima osobine vrlo osetljivog (neotpornog) drveta prema raspadanju (Loferski 1999). Rezultati naših analiza uticaja dva tipa drvene podloge na razvoj autotrofne komponente perifitona, lako se uklapaju u koncept različite otpornosti vrbe i tise prema procesima raspadanja, koje uzrokuju aktivnosti heterotrofa u biofilmu, pa je jasno da je zahvaljući otpornosti, a potencijalno i toksičnosti tise, razvoj biofilma na ovoj podlozi bio usporen (Trbojević i sar. 2018). Na dubini inkubacije 3 (140 cm) biomasa na svim podlogama bila je ujednačena (Grafik 7),

ukazujući da efekat dubine inkubacije preovlađuje i umanjuje efekat tipa podloge na razvoj biomase fotoautotrofne komponente perifitona (Trbojević i sar. 2018).

1.2.1 Stopa rasta Chl *a* - proces kolonizacije i uticaj ekoloških faktora

Proces kolonizacije fotoautotrofne komponente perifitona na različitim tipovima podloga inkubiranim na tri različite dubine u našoj studiji na Savskom jezeru posmatran je kroz prizmu dinamike stope rasta Chl *a*. Na osnovu dinamike stope rasta Chl *a*, uočeno da je eksponencijalna faza rasta biomase u procesu kolonizacije trajala tri nedelje na svim podlogama i svim dubinama, dok je faza fluktuacije bila varijabilna među dubinama, ali ipak slična među podlogama inkubiranim na istoj dubini (Grafici 8, 9 i 10). Dakle, u odnosu na proces kolonizacije, specifičnost u pogledu različitih podloga nije se ispoljila, a samo blage specifičnosti u odnosu na dubinu inkubacije javile su se u fazi fluktuacije biomase. Prema literaturnim podacima, vreme potrebno za inicijalnu kolonizaciju perifitona se obično procenjuje između 2 i 4 nedelje inkubacije, nakon čega se postiže maksimalna biomasa i sledi odlublјivanje, odnosno gubitak biomase (Cattaneo i Amireault 1992). U našoj studiji, najviše vrednosti biomase postignute su u poslednje tri nedelje inkubacije (6., 7. i 8. nedelja, Tabela 12), a na osnovu dinamike stope rasta Chl *a* (Grafici 8, 9 i 10), ove vrednosti su zabeležene tokom povećanja prirasta biomase u fazi fluktuacije, prateći prethodne kratkoročne gubitke. Dakle, maksimum biomase perifitona u našoj studiji mogao bi se pripisati procesima rekolonizacije i povećanju složenosti zajednice u kasnijim fazama sukcesije (Trbojević i sar. 2017). Naši rezultati poklapaju se sa rezultatima Casartelli i saradnika (2016), koji su ustanovili da sukcesivno uklanjanje površinskih slojeva biofilma (kao posledica umerenih hidrodinamičkih poremećaja izazvanih padavinama) omogućava prodor svetlosti i nutrijenata do dubljih slojeva i brz dalji razvoj biomase, pa i postizanje maksimalnih vrednosti u fazi fluktuacije. Shodno spomenutom nalazu, možemo reći da su se meteorološki uslovi tokom leta 2014. godine, obeleženi čestim padavinama, u našoj studiji odrazili na dinamiku akumulacije perifitona. Ipak, maksimalna stopa rasta biomase jeste detektovana tokom prve tri nedelje inkubacije (Grafici 8, 9 i 10) i ako posmatramo Biggs-ov kratkoročni model rasta biomase perifitona (inicijalnu fazu kolonizacije supstrata - fazu eksponencijalnog rasta biomase) i zanemarimo fazu fluktuacije, naši rezultati su u skladu i sa nalazima Biggs (1996) i Cattaneo i Amireault

(1992), odnosno prvi maksimum biomase i u našoj studiji postignut je tokom prve tri nedelje inkubacije (Trbojević i sar. 2017).

Na osnovu analize odnosa stope rasta Chl *a* na različitim podlogama i dubinama inkubacije sa merenim fizičkim i hemijskim parametarima vode Savskog jezera (Grafik 11), ustanovljeno je da je stopa rasta biomase perifitona u Savskom jezeru primarno određena koncentracijom nutrijenata u vodi kada je svetlosni režim povoljan (dubina 1). Rezultati ove analize ukazuju da su dubina inkubacije 1 u našoj studiji (50 cm od površine vode), kao i staklena veštačka podloga, najbolji izbor kod potencijalnog korišćenja perifitona u biomonitoringu (Trbojević i sar. 2018).

1.2.2 Autotrofni indeks i Lakatoš indeks

U uvodnom poglavlju je već objašnjen koncept AI kao indikatora trofičkog sastava perifitona, u smislu odnosa autotrofne i heterotrofne komponente u ovoj složenoj zajednici, što se donekle može posmatrati i u svetlu organskog opterećenja ekosistema (Collins i Weber 1978). Tokom prve dve nedelje uzorkovanja na Savskom jezeru, AI je bio veoma visok, veći od 1000 na svim tipovima testiranih podloga (Tabela 13) ukazujući na preovlađivanje biomase heterotrofa u perifitonu. Potencijalni uzrok ovih neočekivanih vrednosti AI mogle su biti vrlo niske vrednosti AFDM, kao i niske vrednosti Chl *a* u ovom periodu (Trbojević i sar. 2018). Biggs i Kilroy (2000) su ustanovili da vrednosti AFDM < 2 g/m² podrazumevaju i veliku grešku merenja, kao i niske vrednosti Chl *a*, pa prema ovim autorima AI u svrhe biomonitoringa treba računati samo kada je ispunjen uslov da je AFDM > 2 g/m². U studiji na Savskom jezeru, od treće nedelje uzorkovanja pa na dalje, vrednosti AI na dubini 1 su stabilizovane, sa najnižim vrednostima postignutim upravo u 3. nedelji i trendom rasta u kasnijim nedeljama (Tabela 13). Vrednosti AI postignute u 3. nedelji na svim podlogama inkubiranim na dubini 1, bile su manje od 400, ukazujući na veliki udeo autotrofne komponente u zajednici i umeren stepen organskog opterećenja ekosistema (Collins i Weber 1978), što je usklađeno sa našim rezultatima Karlsonovog indeksa trofičnosti za Savsko jezero u ovom periodu (Grafik 3). U kasnijim nedeljama, veće vrednosti AI koje su ponovo prevazilazile vrednost od 1000 (6., 7. i 8. nedelja), najverovatnije su posledica starenja obrasta (odumiranja donjih slojeva perifitona) i taloženja suspendovanih čestica

iz vode, ali i veoma značajnog udela heterotrofa u kasnijim sukcesionim stadijumima. Biggs (1988) je sugerisao na neophodnost stroge kontrole dužine inkubacije, odnosno trajanja kolonizacionih stadijuma, kada se perifiton sa veštačkih podloga koristi kao indikator stanja trofičnosti, a pogovo AI, jer dužina inkubacije, odnosno gubitak biomase kao posledica odlublivanja ili ispaše, značajno mogu uticati na dobijanje visokih vrednosti ovog indeksa. AI indeks u studiji na Savskom jezeru pokazao se kao izuzetno osetljiv na dužinu inkubacije, pa je njegova upotreba kao indikatora vrlo ograničena, tj. uslovljena preciznim određivanjem trajanja faza u procesu kolonizacije, jer samo na samom vrhuncu ekspanzionalne faze rasta biomase u procesu kolonizacije vrednosti AI mogu se smatrati indikativnim (Tabela 13, Grafici 8, 9 i 10).

Kako duž vremenskog gradijenta, naši rezultati pokazuju i trend rasta vrednosti AI duž dubinskog gradijenta, što može biti posledica promene svetlosnog režima (Sanchez i sar. 2013). Kada posmatramo uticaj dubine inkubacije na AI kroz statističku obradu podataka, ispostavilo se da su čak i male razlike u dubini inkubacije značajne za strukturiranje perifitona, ali samo na staklenoj podlozi (Grafik 12). Na drugim tipovima podloga koje su testirane u našoj studiji, odnosno na svim podlogama osim staklene, vrednosti AI su bile manje ili više ujednačene među testiranim dubinama (Grafik 12). Naši rezultati ukazuju na veću osetljivost strukture perifitona razvijenog na staklenoj podlozi na dubinski gradijent (svetlosne uslove), u odnosu na zajednice razvijene na keramičkoj i drvenim podlogama (Trbojević i sar. 2018). Kada se naši rezultati za AI obrade tako da se izoluje uticaj tipa podloge (Grafik 13), uočava se da autotrofna komponenta perifitona preferira staklenu, a heterotrofna drvene podloge. Veći udeo heterotrofa na drvenim u poređenju sa inertnim podlogama (staklo i keramika) u našoj studiji može se objasniti preferencijom saprotrofnih bakterija i gljiva prema drvenim podlogama (uopšteno heterotrofnih organizama koji doprinose procesu dekompozicije drvenih podloga potopljenih u vodi) (Zhang i sar. 2013a, Trbojević i sar. 2018). Kao i u slučaju sa autotrofnom komponentom, i vrednosti AI su među tipovima podloga bile ujednačene na dubini 3 (Grafik 13), ukazujući da se sa povećanjem dubine inkubacije gube razlike u strukturi zajednice, uzrokovane različitim tipovima podloge.

Rezultati Lakatoš indeksa za perifiton razvijen u Savskom jezeru, uglavnom su dosledno pratili rezultate AI i detaljnije objasnili odnos između auto i heterotrofne

komponente u perifitonu. Suštinske razlike među podlogama i dubinama inkubacije se u rezultatima Lakatoš indeksa nisu ispoljile (Tabela 14). Prema ovom opisnom indeksu, biomasa perifitona razvijenog u Savskom jezeru tokom leta 2014. godine bila je generalno niska, što je u saglasnosti sa rezultatima Romanów i Witek (2011) koji su istu kategorizaciju perifitona uočili u jezerima u Poljskoj. Pretežno neorganska priroda perifitona iz Savskog jezera (Tabela 14) potencijlno reflektuje visoku koncentraciju suspendovanih čestica u vodi (Kiss i sar. 2003), što može biti posledica različitih faktora, ali najpre čestih padavina i urbanog karaktera jezera (Trbojević i sar. 2017). Romanów i Witek (2011) su sa druge strane sadržaj pepela (AC tip perifitona) u svojoj studiji povezali sa trofičkim statusom ispitivanih jezera. Naime, u spomenutoj studiji nađeno je da AC tip perifitona kategorija II, III i IV karakteriše plitko eutrofno jezero Gardno u Poljskoj, dok je kategorija I bila karakteristika mezotrofnog jezera Mali Borek u Poljskoj. Kategorija AC tipa koja je preovladavala u perifitonu Savskog jezera je kategorija II, pa možemo zaključiti da i u našoj studiji sadržaj pepela u perifitonu dosledno opisuje uslove trofičnosti u Savskom jezeru (Trbojević i sar. 2017). Prema Chl tipu u okviru Lakatoš indeksa, perifiton u Savskom jezeru bio je pretežno heterotrofnog sastava. Kiss i saradnici (2003) su sugerisali na osnovu rezultata svoje studije da je preovlađivanje heterotrofne komponente u strukturi perifitona odraz alohtonog ili autohtonog organskog opterećenja u ekosistemu, što se može smatrati očekivanim u turističko-rekreativnim urbanim kompleksima, kakvo je Savsko jezero. Naši rezultati Lakatoš indeksa za perifiton razvijen u Savskom jezeru ukazuju da ovaj deskriptivni indeks pruža dobar uvid u složenu strukturu perifitona koja potencijalno odražava lokalne uslove životne sredine (Trbojević i sar. 2017).

1.3 Taksonomske karakteristike perifitona

1.3.1 Kvalitativna analiza celokupne zajednice cijanobakterija i algi

U kvalitativnoj analizi perifitona Savskog jezera zabeležena su 203 taksona cijanobakterija i algi iz 6 razdela: Cyanobacteria, Bacillariophyta, Chlorophyta, Chrysophyta, Dinophyta i Euglenophyta. Najveći broj predstavnika zabeležen je u okviru silikatnih algi - 98 taksona, zatim su sledili predstavnici zelenih algi sa 53 taksona i cijanobakterija sa 46 taksona (Tabela 18). U pogledu taksonomske

raznovrsnosti, naši rezultati se u potpunosti uklapaju u šablon da u autotrofnom delu zajednice perifitona dominiraju silikatne alge, dok se kao prateći javljaju predstavnici zelenih algi i cijanobakterija (Azim i Asaeda 2005). Paralelno sa našim uzorcima perifitona, na Savskom jezeru su za potrebe druge studije sakupljeni i uzorci fitoplanktona, u kojima je detektovano ukupno 172 taksona cijanobakterija i algi (Jovanović i sar. 2017). Možemo konstatovati da je u obe zajednice, i perifitona i fitoplanktona u Savskom jezeru, zabeležen relativno veliki broj taksona cijanobakterija i algi, što možemo smatrati pokazateljem stabilnosti, odnosno stabilnog ekvilibrijuma ovog urbanog ekosistema. U literaturi novijeg datuma nisu dostupni podaci o diverzitetu makrofitske vegetacije Savskog jezera, ali prema rezultatima Blaženčić (1995) u Savskom jezeru je zabeleženo 24 vrste akvatičnih makrofita, tipičnih za sporotekuće i stajace vodene ekosisteme, a pri tom je detektovano i 3 vrste pršljenčica (Charophyceae). Detaljna ispitivanja diverziteta makrofitske vegetacije nažalost nisu bila obuhvaćena našom studijom, ali zapažanja sa terena ukazuju da je u Savskom jezeru i dalje prisutan veliki diverzitet makrofita, pri čemu u letnjim mesecima prevlađuje *Myriophyllum spicatum* L. (Jovanović i sar. 2017). Prema Algarte i saradnicima (2017), prvenstveno diverzitet makrofitske vegetacije, ali i diverzitet fitoplanktona su snažni preduslovi visokog diverziteta i perifitona u istom staništu, što naši rezultati potvrđuju. Diverzitet makrofita uslovljava diverzitet perifitona posredstvom varijabilnosti mikrostaništa (različite teksture i arhitekture), što omogućava i promoviše koegzistenciju velikog broja taksona sa različitim prilagođenostima, koji potom formiraju bogat izvor propagula za naredne kolonizacije (Algarte i sar. 2017). Uticaj diverziteta fitoplanktona na diverzitet perifitona ogleđa se delom u tome što grupa izvorno planktonskih oblika potencijalno može kolonizovati dostupne podloge - imigracijom, ali delom i u tome da ove dve grupe primarnih producenata veoma slično reaguju na promene uslova u životnoj sredini (Algarte i sar. 2017).

Interesantno je zapaziti relativno veliki broj zabeleženih taksona u okviru razdela Cyanobacteria (46 taksona, Tabela 18.) u perifitonu Savskog jezera, pri čemu su u gotovo jednakom odnosu bili zastupljeni kokoidni (21) i filamentozni (25) taksoni. Ipak, predstavnici Oscillatoriales su bili daleko brojniji i na kamenu (*Oscillatoria*, *Phormidium* i *Leptolyngbya*) i na veštačkim podlogama (*Pseudanabaena*

papillaterminata), što je karakteristika eutrofnih staništa (Douterelo i sar 2004). Malobrojni heterocitni predstavnici Cyanobacteria u Savskom jezeru detektovani su u okviru rodova *Calothrix* i *Tolypotrix*, pri čemu su se mogli uočiti samo u kvantitativnoj analizi zajednice sa kamena. Prema Douterelo i saradnicima (2004), prisustvo predstavnika reda Nostocales vezuje se generalno za niži stepen trofičnosti staništa, iako su zapravo tipični za nedostatak azota u staništu (Wehr i Sheath 2003). U slučaju Savskog jezera, činjenica da su heterocitne cijanobakterije zastupljene u zajednici perifitona, ponovo potvrđuje umeren stepen eutrofikacije i stabilan ekvilibrijum ovog ekosistema. Uzrok izostanka ovih taksona u kvantitativnoj analizi zajednica na veštačkim supstratima, može biti razvoj ovih trihalnih heterocitnih cijanobakterija u kasnijim sukcesivnim stadijumima perifitonskog obrasta.

Najveći broj taksona u okviru autotrofnog dela perifitona u studiji na Savskom jezeru svakako je zabeležen u okviru silikatnih algi (98, Tabela 18). Na osnovu uvida u neobajvljenu bazu podataka Flora silikatnih algi Srbije (Krizmanić), ustanovljeno je da je *Stauroneis balatonis* prvi nalaz ove vrste u Srbiji. Kao što je u prethodnom poglavlju i napomenuto, zabeležena populacija *Stauroneis balatonis* u Savskom jezeru bila je malobrojna, a takson je identifikovan zahvaljujući reviziji kompleksa *Stauroneis smithii* Grunow iz Ohridskog i Prespanskog jezera (Levkov i sar. 2016b). Levkov i saradnici (2016b) su u okviru opisanog taksona *Stauroneis balatonis* obuhvatili *S. balatonis*, *S. legumen* var. *balatonis* i *S. smithii* var. *incisa* smatrajući ih konspecifičnim. *Stauroneis balatonis* je značajan predstavnik silikatnih algi u fosilnoj flori kako Ohridskog i Prespanskog jezera, tako i šireg područja Evrope i Azije, pri čemu datira iz perioda ranog-srednjeg Miocena do Kvartara (Levkov i sar. 2016b). U savremenoj flori *Stauroneis balatonis* poznat je samo u Ohridskom i Prespanskom jezeru, gde se retko javlja u uzorcima i uvek u malom broju (Levkov i sar. 2016b), zbog čega je nalaz i u Savskom jezeru od izuzetne važnosti. Levkov i saradnici (2016b) su takođe izdvojili dva morfotipa *Stauroneis balatonis* u svojoj studiji. Prvi koji je zabeležen u savremenoj flori Ohridskog jezera i drugi koji je zabeležen u sedimentu Prespanskog jezera, pri čemu su ovaj fenomen pripisali morfološkoj plastičnosti vrste. Primerici *Stauroneis balatonis* zabeleženi u Savskom jezeru svakako su sličniji morfotipu zabeleženom u savremenoj flori Ohridskog jezera, mada je i na malom broju primeraka morfološka plastičnost ipak uočljiva (Slika 18). Interesantno je istaći da je kao autekološka

karakteristika ovog taksona (*S. smithii* var. *incisa*, sinonim za *S. balatonis*), na osnovu podataka sa teritorije Južne Karoline (SAD), navedeno da je najbrojniji u kasno leto ili ranu jesen (Spaulding i sar. 2010), što je upravo bio period kada je u našim uzorcima zabeležen. Tačnije, u našim uzorcima *S. balatonis* je zabeležen samo u uzorcima perifitona sa veštačkin podloga inkubiranih na 140 cm, sakupljenih u septembru 2014. godine (1. i 9. septembra).

Diverzitet zelenih algi u perifitonu Savskog jezera obuhvatio je 53 taksona, pretežno kokoidnih predstavnika, dok je među trihalnim predstavnicima zabeleženo svega 5 rodova (*Microspora*, *Mougeotia*, *Oedogonium*, *Spyrogira* i *Zygnema*) sa malim brojem taksona (Tabela 18). Veći diverzitet uočen je u okviru hlorokokalnih rodova *Scenedesmus*, *Pediastrum*, *Oocystis*, *Coelastrum*, a najveći broj taksona identifikovan je među dezmidnim algama roda *Cosmarium* - 9 taksona (Tabela 18). Dezmidne alge su karakteristične za lentičke ekosisteme, gde se najpre očekuju u planktonu, iako su euplanktonski predstavnici dezmidnih algi retki, a većina je zapravo tihoplanktonska tj. vezana je za supstrat bar tokom reproduktivne faze životnog ciklusa (Coesel 1996). Ni dezmidne alge ni kokoidni predstavnici zelenih algi nemaju specifične adaptacije kojima bi se čvrsto vezale za podlogu, te je njihov veliki diverzitet u perifitonu Savskog jezera, kao stabilnog lentičkog ekosistema i očekivan. Takođe, dezmidne alge imaju značajan potencijal u biomonitoringu, kao izolovana grupa mikroalgi (Štastný 2013). Taksoni zabeleženi u našoj studiji prevashodno su indikativni za mezo do eutrofna staništa (Štastný 2010), što je u saglasnosti i sa našim rezultatima za Karlsonov indeks trofičnosti. Specifičnost zajednice zelenih algi u perifitonu Savskog jezera je i prisustvo taksona *Phacotus lenticularis* (Chlorophyceae, Chlamydomonadales, Phacotaceae). Ova jedinstvena alga ima osobinu da na površini ćelije izgrađuje ljušturicu od pločica kalcita i time značajno doprinosi biogeochemijskom kruženju ugljenika, kalcijuma, a ujedno i fosfora u ekosistemu (Grünert 2015). Kalcifikacija je proces osetljiv na čak i veoma fine promene u pH vrednosti i koncentraciji ugljendioksida u vodi, pa se prisustvo i abundanca *Phacotus lenticularis* u jezerima mogu posmatrati i u svetlu klimatskih promena (Grünert 2015). U perifitonu Savskog jezera *Phacotus lenticularis* je prevashodno detektovan u fazi aseksualne reprodukcije (Prilog 3), dok je u fitoplanktonskim uzorcima beležen u formi slobodnoplivajućih ćelija (Jelena Jovanović, usmeno saopštenje). Grünert (2015) je u svom istraživanju ispitivala distribuciju

pokretnih rastućih ćelija *Phacotus lenticularis* i nepokretnih ćelija u mitozu, našavši pritom da populacija ove specifične alge podleže dnevnoj vertikalnoj migraciji, kao i da se nepokretne ćelije u mitozu koncentrišu u epilimnionu prateći rastući gradijent pH i temperature. Pregledom literature, nismo došli do drugih podataka o prisustvu i reprodukciji *Phacotus lenticularis* u perifitonu.

U okviru ostalih grupa - Chrysophyta, Dinophyta i Euglenophyta, u perifitonu Savskog jezera zabeležen je veoma mali broj predstavnika, koji su sve tipični planktonski oblici (Wehr i Sheath 2003). To može biti i razlog što oni nisu uopšte detektovani u kvantifikaciji zajednice na kamenu iz Savskog jezera, već samo na veštačkim podlogama koje su inkubirane u zoni otvorene vode (pelagijal).

1.3.2 Kvantitativna analiza celokupne zajednice cijanobakterija i algi

1.3.2.1 Kamen

Hijerarhijska klaster analiza prisustva ili odsustva taksona cijanobakterija i algi na kamenu i veštačkim podlogama u Savskom jezeru ukazala je da su zajednice perifitona na veštačkim podlogama sličnije jedna drugoj, nego zajednici na kamenu (Grafik 18). Ipak, zajednice na staklu i keramici bile su sličnije zajednici sa kamena u odnosu na drvene podloge. Ovaj rezultat ukazuje da je i taksonomski sastav zajednice značajno određen tipom podloge na kojoj se perifiton razvija, pri čemu se razlika javlja između inertnih (staklo, keramika, kamen) i drvenih (organskih) podloga.

Kvantitativna analiza cijanobakterija i algi u epilitskoj zajednici Savskog jezera, ukazala je da se u zavisnosti od posmatranog parametra i rezultati razlikuju. Naime, posmatranjem broja jedinki, u zajednici perifitona sa kamena dominiraju silikatne alge, prema broju ćelija cijanobakterije, dok prema biomasi ubedljivo dominiraju zelene alge (Grafik 19). U poglavlju Rezultati već je ukazano da je ovaj disparitet posledica činjenice da su predstavnici zastupljenih silikatnih algi jednoćelijski, kao i da najveću brojnost imaju vrlo sitni taksoni (*Achnanthydium* spp. i *Encyonopsis* spp.). Objašnjenju doprinosi i većinsko prisustvo višćelijskih trihalnih taksona cijanobakterija (*Phormidium* spp. i *Pseudanabaena* spp.), kao i krupnih trihalnih predstavnika, prevashodno roda *Oedogonium* među zelenim algama. Za lentičke ekosisteme, sa

stabilnim hidrološkim režimom, generalno je i očekivano prisustvo zelenih algi i cijanobakterija koje su labavo pričvršćene za podlogu, naspram silikatnih algi sa adaptacijama za čvrsto prijanjanje za podlogu (Azim i Asaeda 2005). Povećana zastupljenost cijanobakterija i zelenih algi, tj. dominantnost taksona iz ovih razdela u zajednici perifitona, vezuje se i za povišenu temperaturu, tj. letnji i rani jesenji period, ali i pojačano organsko opterećenje u ekosistemu (DeNicola i Kelly 2014). McCall i saradnici (2017) zaključili su da je abundanca cijanobakterija preko 50% (što je i našim rezultatima prikazano) u perifitonu karakteristična za povećanu koncentraciju rastvorenog dostupnog fosfora u vodi. Ipak, na osnovu biomase u perifitonu Savskog jezera isključivo dominiraju zelene alge i to zahvaljujući višecelijskim trihalnim predstavnicima, koji su tipični za klimaks stadijum zajednice i odlični kompetitori za svetlost i nutrijente u uslovima trodimenzionalne strukture perifitona (Biggs i sar. 1998). Preovladavanje zelenih algi u biomasi perifitona indikativno je za umerene koncentracije nutrijenata, dok ih duž gradijenta eutrofikacije smenjuju cijanobakterije i pojedini taksoni silikatnih algi (Chételat i sar. 1999, McCormick i sar. 2001, Liboriussen i Jeppesen 2006). Prema svemu iznetom, možemo zaključiti da kvantitativni pregled cijanobakterija i algi sa kamena iz Savskog jezera dosledno reflektuje trofičke uslove u staništu.

Šenonov indeks diverziteta zajednice perifitona na kamenu u Savskom jezeru varirao je između 2,5 i nešto malo više od 3, što je relativno visoka vrednost za diverzitet. Ujednačenost prema Pielou indeksu je takođe bila visoka, kretala se između vrednosti 0,75 i 0,85, što je odraz stabilnosti zajednice, odnosno ujednačenog rasporeda brojnosti taksona u perifitonu. DeNicola i Kelly (2014) su istakli da su visoke vrednosti indeksa diverziteta uslovljene odsustvom stresora, toksikanata i snažnog antropogenog pritiska (eutrofikacije).

1.3.2.2 Veštačke podloge

U poređenju sa zajednicom sa kamena, i zajednice na veštačkim podlogama su u pogledu odnosa najzastupljenijih grupa, cijanobakterija, zelenih i silikatnih algi bile slične (Grafici 21, 22, 23 i 24). Prema broju jedinki dominirale su silikatne alge (*Achnantheidium* spp. i *Encyonopsis* spp.), a prema biomasi zelene alge zahvaljujući

višećelijskim trihalnim predstavnicima roda *Mougeotia*. Ipak, prema broju ćelija specifičnost veštačkih podloga se ispoljila. Naime, na staklu, keramici i tisi, prema broju ćelija dominantan takson u perifitonu bio je *Mougeotia* sp. (iako je zastupljenost cijanobakterija i zelenih algi prema broju ćelija bila veoma ujednačena), a kao subdominantan takson javlja se trihalna cijanobakterija *Pseudanabaena papillaterminata*. Na vrbi ovaj odnos je obrnut, u korist taksona *Pseudanabaena papillaterminata*. Naši rezultati, dakle sugerišu da ova filamentozna cijanobakterija preferira vrbu kao podlogu za kolonizaciju i proliferaciju, što može biti posledica inhibicije kompetitora u okviru zelenih algi, u našem slučaju *Mougeotia* sp. (Grafik 25). Potencijalni inhibitor filamentoznih predstavnika zelenih algi ili stimulator proliferacije filamentozne cijanobakterije mogu biti produkti biodegradacije drveta vrbe u vodi. Drvo vrbe, između ostalog sadrži terpene, tanine i flavonoide koji se često nalaze u ulozu bioaktivnih molekula (alelohemikalija), pa neko od jedinjenja iz ove grupe može biti potencijalni inhibitor *Mougeotia* sp. u biofilmu na vrbi u našoj studiji. Jedini podatak o inhibitornom, algicidnom efektu ekstrakta vrbe na filamentozne zelene alge zabeležili su Zhang i saradnici (2013b), ali u odnosu na takson *Spirogyra* sp. Naši rezultati, podržani nalazima Zhang i saradnika (2013b), ukazuju na potencijal upotrebe ekstrakta vrbe kao ekološkog algicida. Svakako, prethodno je neophodan niz detaljnih i usko usmerenih istraživanja u ovom pravcu. Takođe, naši rezultati ukazuju na potencijalni aspekt supstrat specifičnosti perifitonskih algi i u pogledu abundance, pored taksonomske strukture koja se u literaturi najčešće ističe.

Poređenjem dobijenih vrednosti za biomasu perifitona na veštačkim podlogama i kamenu iz Savskog jezera, možemo reći da je staklena podloga najpovoljnija za kolonizaciju i proliferaciju perifitonskih cijanobakterija i algi, s obzirom da su najviše vrednosti za biomasu (i najbliže vrednostima dobijenim za isti parametar na kamenu) postignute upravo na staklu (Tabela 20). Dakle, i na osnovu akumulacije biomase, staklena podloga se izdvaja kao potencijalno najpogodnija za upotrebu u biomonitoringu.

1.3.2.2.1 Eko-morfološka funkcionalna klasifikacija taksona detektovanih u kvantitativnoj analizi

Eko-morfološka funkcionalna klasifikacija taksona u perifitonu na veštačkim podlogama izvršena je kako bismo sagledali proces kolonizacije i sukcesivne puteve na različitim tipovima veštačkih podloga u većoj rezoluciji (Grafik 26), pa će zato rezultati distribucije i dinamike eko-morfoloških funkcionalnih grupa biti diskutovani u kontekstu prethodno utvrđenih faza kolonizacije (Grafik 8).

Na osnovu naših rezultata (Grafik 26) može se zaključiti da su u fazi ekspanzije biomase sve podloge bile specifične, pri čemu je ipak dinamika eko-morfoloških grupa na drvenim podlogama bila donekle slična, tu su dominirali jednoćelijski i kolonijalni oblici u ulozi pionira. Na staklu je u ovom periodu uočena proliferacija sitnih penatnih oblika (grupa niskog profila), dok je samo u zajednici na keramici uočeno značajnije prisustvo grupe pokretnih silikatnih algi. Generalno, prisustvo grupe pokretnih silikatnih algi moglo se uočiti samo na staklu i keramici, dok je grupa visokog profila bila konstatno zastupljena sa malim procentom na svim podlogama. Mihaljević i Pfeiffer (2012) su u svom istraživanju zaključile da planktonske cijanobakterije imaju značajnu ulogu u veoma ranim fazama kolonizacije na staklenoj podlozi (1. dan kolonizacije), dok ih kasnije smenjuju sitne silikatne alge koje se brzo reprodukuju. U našim rezultatima uočen je sličan redosled na staklu, naime posle prve nedelje inkubacije u zajednici perifitona značajno je učestvovala grupa jednoćelijskih i kolonijalnih predstavnika (koju su ovom periodu prevashodno činili taksoni *Aphanocapsa* spp.). Ipak, kasnije se na staklenim podlogama pretežno razvijala grupa niskog profila, potvrđujući ulogu neprikosnovanih pionira u procesu kolonizacije (Passy 2007).

Fazu fluktuacije na drvenim podlogama obeležilo je značajno povećanje udela grupe niskog profila u zajednici, što ukazuje na odloženu ulogu ove grupe na drvenim u odnosu na inertne podloge. Generalno posmatrano, udeo grupe niskog profila na svim podlogama u fazi fluktuacije povećavao se paralelno sa gubicima ukupne biomase - zahvaljujući maloj biozapremini predstavnika ove grupe (prvenstveno *Achnanthydium* spp. i *Encyonopsis* spp.). Ovaj rezultat zapravo još jednom opravdava ulogu grupe niskog profila kao pionira (Passy 2007), ali ovog puta u procesu rekolonizacije, jer se

detektovana negativna stopa rasta može smatrati početkom rekolonizacionog procesa. Vrste roda *Achnanthydium*, koje su činile veliki deo grupe niskog profila u našem istraživanju, karakteristične su i za kasnije faze u procesu kolonizacije (koje prate poremećaje), upravo zahvaljujući kompetitivnim strategijama i tome što su otporne na ispašu (Mihaljević i Žuna Pfeiffer 2012). Preovladavanje predstavnika grupe niskog profila u svim zajednicama perifitona razvijenog tokom letnjeg perioda na Savskom jezeru u saglasnosti je sa nalazima Rimet i saradnika (2015). To se može objasniti još i tankom strukturom biofilma u kome svetlost i nutrijenti nisu značajno limitirani u bazalnim slojevima, kao i većom otpornošću pripadnika ove grupe na ispašu, naspram mnogo osetljivijih pripadnika grupe visokog profila. U kasnijim fazama sukcesije, na svim podlogama se mogao uočiti povećan udeo filamentoznih oblika zelenih algi i cijanobakterija. Specifičnost zajednice razvijene na vrbi tokom faze fluktuacije bio je izuzetno veliki udeo klase filamentoznih cijanobakterija. Prema DeNicola i saradnicima (2006), životna forma - forma rasta u obliku filamenata, i cijanobakterija i zelenih algi u perifitonu, karakteristična je za uslove povećane koncentracije nutrijenata u vodi, zahvaljujući kompetitivnim prednostima ovih oblika da stignu do resursa kakvi su svetlost i nutrijenti u zadebljalom obrastu. Već je i spomenuto, filamentozni oblici zelenih algi karakteristični su za klimaks stadijum u kasnim fazama razvoja biofilma (Biggs i sar. 1998), a naši rezultati samo su potvrdili dobro poznat sukcesivni put cijanobakterija i algi u perifitonu, ali vrlo specifičan na svakoj od testiranih podloga.

1.3.2.2.2 Uticaj ekoloških faktora na dinamiku eko-morfoloških grupa u perifitonu

Analizom dinamike eko-morfoloških grupa u perifitonu u odnosu na merene ekološke faktore - fizičke i hemijske osobine vode Savskog jezera (Grafik 27), došli smo do zaključka da je zajednica razvijena na obe drvene podloge manje osetljiva na organsko zagađenje, u odnosu na zajednice razvijene na staklu i keramici, što se može komentarisati i kao posledica različitih preferenci eko-morfoloških grupa prema različitim tipovima podloga (Trbojević i sar. 2017).

Naši rezultati pokazuju da je dinamika svih grupa određena koncentracijom TP u vodi, ali samo grupa pokretnih silikatnih algi je pokazala pozitivnu korelaciju i sa NO_3^- .

Za razliku od drugih grupa, pokretne silikatne alge bile su zastupljenije na keramici i staklu u poređenju sa drugim grupama (Grafik 27).

Stenger-Kovács i saradnici (2013) ustanovili su različite reakcije predstavnika grupe niskog profila (pozitivno) i pokretnih silikatnih algi (negativno) na povećanje parametra hemijska potrošnja kiseonika (HPK) u vodi, što ukazuje da ove grupe mogu biti dobri indikatori promene kiseonika u vodi kao posledice dekompozicije organske materije. Osetljivost grupe pokretnih silikatnih algi na nedostatak kiseonika usled dekompozicionih procesa, može biti i razlog malobrojnosti ovih predstavnika u zajednicama na drvenim podlogama u našem istraživanju (Grafik 27).

Zhang i saradnici (2013a) su sugerisali da drveni supstrati mogu poslužiti kao izvor dostupnih nutrijenata za razvoj algi u perifitonu, zahvaljujući procesima dekompozicije drveta u vodi. Predstavnici grupe pokretnih silikatnih algi karakteristični su kao superiorni kompetitori u perifitonskim zajednicama koje se razvijaju u eutrofnim uslovima, zahvaljujući fizičkoj sposobnosti da odaberu svoj položaj u trodimenzionalnoj strukturi biofilma i tako dođu do limitiranih resursa (Passy 2007). Veća zastupljenost ove grupe na inertnim u poređenju sa drvenim podlogama, u našoj studiji može se povezati i sa endogenim oslobađanjem nutrijenata iz drvenih podloga, zahvaljujući procesima dekompozicije. Dakle, kompetitivne prednosti grupe pokretnih silikatnih algi nisu mogle da se ispolje u zajednicama na drvenim supstratima, jer resursi nisu bili limitirani.

Na osnovu naših rezultata i literaturnih podataka (Passy 2007, Stenger-Kovács i sar. 2013, Zhang i sar. 2013a), možemo zaključiti da je perifitonska zajednica razvijena na inertnim podlogama, kakve su staklo i keramika, osetljivija na fine promene ekoloških faktora, kao i da predstavlja realističniji odraz kompleksnih promena u životnoj sredini (Trbojević i sar. 2017).

1.3.2.2.3 Šenonov indeks diverziteta i Pielou indeks ujednačenosti

Šenonov indeks diverziteta i Pielou indeks ujednačenosti generalno su imali niže vrednosti na veštačkim podlogama u odnosu na kamen, u proseku ispod 2,5 (Grafik 28).

Interesantno je da su naši rezultati pokazali veliku sličnost u dinamici Šenonovog indeksa diverziteta na drvenim podlogama, ali istovremeno i značajnu razliku u odnosu na staklo i keramiku (Grafik 28), ponovo ističući razdvajanje inertnih i drvenih podloga. Uopšteno posmatrano, najveće vrednosti diverziteta i ujednačenosti postignute su na drvenim podlogama u ranoj fazi kolonizacije (2. i 3. nedelja). Sabater i saradnici (1998) su takođe uočili da se dinamika diverziteta razlikuje na drvenim i keramičkim podlogama koje su oni koristili u svojoj studiji, objašnjavajući veći diverzitet na drvenim podlogama grubom teksturom drvenog supstrata. Indeks diverziteta i stopa rasta $Chl\ a$ su pozitivno korelirali na obe drvene podloge u našem istraživanju, što navodi na zaključak da je eksponencijalna faza kolonizacionog procesa na drvenim podlogama tipično određena pristizanjem novih kolonizatora (imigracijom), a faze gubitka biomase padom vrednosti diverziteta u zajednici. Sa druge strane, zajednice razvijene na staklu i keramici bile su vrlo specifične u pogledu dinamike diverziteta i najveće vrednosti diverziteta na ovim podlogama zabeležene su u kasnijim fazama kolonizacije (fluktuacija). Porast diverziteta u zajednici perifitona na staklenim podlogama tokom kolonizacionog perioda potvrđen je u nekoliko studija (Kralj i sar. 2006; Borduqui i Ferragut 2012), a lako se može objasniti stalnim pristizanjem novih kolonizatora. Kada je dinamika diverziteta u perifitonu na drvenim podlogama ispitivana (Sabater i sar. 1998, Hillebrand i Sommer 2000), uočen je pad diverziteta tokom kolonizacionog perioda, što se teoretski može objasniti uspostavljanjem dominacije specifičnih taksona u kasnijim sukcesivnim stadijumima (Hillebrand i Sommer 2000). Pad diverziteta i ujednačenosti u 2. nedelji uzorkovanja na staklenoj podlozi ukazuje na dominaciju specifičnih kolonizatora pristiglih ranije tokom inkubacije (između 1. i 2. nedelje), što lako možemo povezati sa zastupljenošću grupe niskog profila na staklu u istom periodu (Grafik 26a). Kasnije je na staklenoj podlozi uspostavljen ekvilibrijum po pitanju ujednačenosti, a diverzitet je imao trend rasta od 4. nedelje na dalje. Zajednička karakteristika dinamike diverziteta na svim veštačkim podlogama inkubiranim u Savskom jezeru je pad diverziteta na početku faze fluktuacije (Grafik 8 i Grafik 28).

U studiji na Savskom jezeru, nađen je interesantan odnos brojnosti grupe niskog profila i diverziteta i ujednačenosti u perifitonu. Na staklenim podlogama, abundanca grupe niskog profila negativno je uticala i na diverzitet i na ujednačenost, dok je na

keramici i tisi osetljiva bila samo ujednačenost. Ovo se može objasniti kompetitivnim prednostima i snažnom proliferacijom grupe niskog profila u inicijalnoj fazi kolonizacije, ali i kasnijim sukcesivnim stadijumima povezanim sa gubicima biomase - rekolonizaciji (Hillebrand i Sommer 2000). Na vrbi se sličan šablon nije mogao uočiti, ali zato je biofilm na ovoj podlozi imao drugu, već spomenutu specifičnost - izuzetno veliki udeo grupe filamentoznih cijanobakterija u nedeljama uzorkovanja 5 i 6 (paralelno se u zajednici javio i pad biomase i pad diverziteta). Naši rezultati sugerišu da je na vrbi ulogu grupe niskog profila u rekolonizaciji preuzela grupa filamentoznih cijanobakterija. Ovi rezultati su u suprotnosti sa nalazima Schevchenko (2011), gde su filamentozne cijanobakterije roda *Phormidium* bile specifične za perifiton na neorganskim - inertnim podlogama, ali u poređenju sa epifitskom zajednicom na makrofitama.

1.3.3 Zajednica silikatnih algi i dijatomi indeksi

U zajednici silikatnih algi iz perifitona sa kamena iz Savskog jezera kao dominantan takson izdvojio se *Achnanthydium minutissimum*, dok su se kao subdominantni uglavnom smenjivali *Achnanthydium straubianum* i *Navicula cryptotenelloides*. Takson *A. minutissimum* je karakteristian za odličan i dobar ekološki status vodnih tela (Kelly i sar. 2008), odnosno za oligotrofne ekosisteme u kojima se nalazi kao dominantan u zajednicama silikatnih algi, dok se u mezotrofnom i eutrofnom okruženju udeo ovog taksona u zajednici smanjuje (Passy i sar. 1999). Ovaj takson je oligo do β mezosaprob, rasprostranjen od oligo do eutrofnih staništa, ali se njegova abundanca značajno smanjuje sa organskim opterećenjem (Hofmann i sar. 2013). Dominantnost taksona *A. minutissimum* u zajednici silikatnih algi potvrđuje stabilnost i dobar ekološki potencijal Savskog jezera. *Achnanthydium straubianum*, koji se javlja kao subdominantan u zajednici silikatnih algi na kamenu iz Savskog jezera, smatra se takođe indikatorom dobrog kvaliteta vode (Rimet 2012) i češće se javlja u mezo do eutrofnim jezerima, nego oligotrofnim (Hofmann i sar. 2013). Drugi subdominantan takson u zajednici silikatnih algi na kamenu iz Savskog jezera, *Navicula cryptotenelloides*, nije još uvek precizno okarakterisan u ekološkom smislu, s obzirom da se često poistovećuje sa taksonom *Navicula cryptotenella*, koji je tipičan β mezosaprob širokog rasprostranjenja (Hofmann i sar. 2013). Prateći taksoni u epilitskoj

zajednici Savskog jezera - *Encyonopsis microcephala*, *Encyonopsis subminuta*, i *Pantocsekiella ocellata*, su tipični oligosaprobi, rasprostranjeni u oligo do blago eutrofnim jezerima (Van Dam i sar. 1994, Hofmann i sar. 2013), a samo je takson *Navicula antonii* tolerantan na organsko opterećenje (α mezosaprob) i karakterističan je za eu do politrofna staništa. Sveukupno posmatrano, struktura zajednice silikatnih algi sa kamena iz Savskog jezera verno oslikava pretežno mezo do eutrofan status ustanovljen Karlsonovim indeksom i ukazuje na nizak stepen organskog opterećenja u ovom ekosistemu.

Analiza abundance silikatnih algi na kamenu iz Savskog jezera u odnosu na sredinske parametre (Grafik 29) ukazala je na formiranje tri grupe. Prva grupa (*Cocconeis placentula*, *Encyonema auerswaldii*, *Staurosira mutabilis* i *Melosira varians*) se formirala oko perioda kada je detektovana najveća mutnoća (Turb) i organsko opterećenje (PI) vode Savskog jezera, što ekološke preferencije ovih taksona i opravdavaju - α i β mezosaprobi, indikativni za eu i hipereutrofne uslove (Van Dam i sar. 1994). Drugu grupu činili su taksoni *Sellaphora* spp., *Lindavia radiosa*, *Fragilaria crotonensis*, *Navicula veneta* i *Placoneis pseudanglica*. Ova grupa formirala se oko perioda kada je detektovana najveća koncentracija amonijum jona u vodi Savskog jezera. To su u glavnom β mezosaprobi, indikatori mezo-eutrofnih staništa, izuzev *Navicula veneta* koja je polisaprob (Van Dam i sar. 1994). U okviru treće grupa, PCA je izdvojila dve podgrupe, od kojih je prva bila pod jačim uticajem koncentracije nutrijenata u vodi Savskog jezera, dok je druga podgrupa u tom smislu bila nezavisnija. Prvu podgrupu činili su *Encyonopsis subminuta*, *Encyonopsis microcephala*, *Navicula cryptotenelloides*, *Navicula antonii* i *Cymbella affiniformis*, od kojih su *Encyonopsis* spp. oligosaprobi, rasprostranjeni u oligo do blago eutrofnim jezerima (Van Dam i sar. 1994, Hofmann i sar. 2013), *Navicula cryptotenelloides* najverovatnije β mezosaprob, a samo je takson *Navicula antonii* tolerantan na organsko opterećenje (α mezosaprob) i karakterističan za eu do politrofna staništa. Drugu podgrupu činili su *Navicula caterva*, *Nitzschia palea*, *Nitzschia dissipata* i *Nitzschia oligotraphenta*, svi pripadnici ekološke grupe pokretnih silikatnih algi, indikatori niskog intenziteta i frekvencije hidrodinamičkih poremećaja i povećane koncentracije nutrijenata (Passy 2007). U ovoj podgrupi našlo se čak tri predstavnika roda *Nitzschia*. Generalno, *Navicula* sensu lato i *Nitzschia* sensu lato smatraju se indikatorima organskog opterećenja i porasta trofičnosti

(Rimet 2012). Naši rezultati ipak nisu u saglasnosti sa ovim ustaljenim pravilom, ali mora se uzeti u obzir da su ovi taksoni bili umereno zastupljeni i zapravo su karakteristika kasnijih sukcesivnih stadijuma i zadebljalog biofilma (zahvaljujući pokretljivosti) (Passy 2007). Rimet (2012) je sugerisao i mnogo širi spektar tolerancije predstavnika rodova *Navicula* i *Nitzschia* u ekotoksikološkom pogledu, prvenstveno na pesticide.

Na kamenu u Savskom jezeru zabeležene su veoma visoke vrednosti i diverziteta i ujednačenosti u zajednici silikatnih algi, što ponovo upućuje na odsustvo stresora i stabilnost ekosistema (DeNicola i Kelly 2013). Kao što su DeNicola i Kelly (2014) sugerisali, i mi smo ustanovili odsustvo značajnog stepena korelacije indeksa diverziteta izračunatog samo na osnovu zajednice silikatnih algi i celokupne zajednice cijanobakterija i algi, što ukazuje da se analizom samo silikatnih algi dobija samo parcijalna slika ukupnog diverziteta, prvenstveno u uslovima kada određeni stresor uzrokuje smenu razdela algi na mestu dominantne grupe.

Vrednosti dijatomnih indeksa, dobijene na osnovu kvantitativne analize epilitske zajednice (Tabela 23), ukazuju na različite klase kvaliteta vode Savskog jezera. Prema našim rezultatima, najbolji kvalitet - veoma dobar kvalitet vode u Savskom jezeru tokom leta 2014. godine, postignut je prema vrednostima IBD i IDSE indeksa. Vrednost IPS indeksa ukazivala je na dobar kvalitet vode, kao i TDI, TDIL, CEE i Rott SI, dok su se vrednosti Rott TI stabilno održavale u granicama koje određuju srednji kvalitet vode. Već je napomenuto da se za procenu ekološkog potencijala tipa ekosistema u koje spada Savsko jezero (na osnovu fitobentosa) prema Pravilniku (Sl. glasnik RS 74/11) koristi samo IPS dijatomni indeks. IPS dijatomni indeks se smatra jednim od najpreciznijih indeksa, jer uključuje približno 2000 vrsta, najviše među svim dijatomnim indeksima (Tan i sar. 2017). Dijatomni indeksi su prevashodno razvijeni za reke i potoke (uključujući i IPS), a tek u poslednjih desetak godina počeli su da se razvijaju odgovarajući indeksi za jezera u cilju usaglašavanja sa zahtevima Okvirne direktive o vodama (Bennion i sar. 2010). Do sada su razvijeni dijatomni indeksi za jezera: TDIL u Mađarskoj (Stenger-Kovács i sar. 2007), LTDI u Velikoj Britaniji (Kelly i sar. 2007) i DISeen u Nemačkoj (Schaumburg i sar. 2004, 2007). Našim analizama obuhvaćen je TDIL indeks i njegovi rezultati za epilitsku zajednicu su ujednačeni sa rezultatima za

IPS - oba indeksa ukazuju na dobar kvalitet vode. U skladu sa Prvilnikom (Sl. glasnik RS 74/11), Savsko jezero je tokom perioda istraživanja pripadalo II klasi ekološkog potencijala (na osnovu IPS indeksa), što u potpunosti opravdava titulu *Plava Zastava* kojom je Ada Ciganlija nagrađena. Interesantno je ipak zapaziti disparitet u rezultatima Rott-ovih indeksa, saprobnog i trofičkog, gde Rott SI pokazuje bolji rezultat u odnosu na Rott TI. Ovaj disparitet može se komentarisati u kontekstu visokog kapaciteta samoprečišćavanja Savskog jezera, što omogućava da se u ovom ekosistemu održava nizak stepen organskog opterećenja uz umeren porast trofičnosti, što podržava i sama struktura zajednice silikatnih algi na kamenu.

Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi iz perifitona sa veštačkih podloga iz Savskog jezera (Prilog 1) ukazala je da na staklenim podlogama isključivo, a i na keramičkim u većem broju uzoraka, dominira takson *Achnanthydium minutissimum*, kao i na kamenu. Ipak, na drvenim podlogama u toj ulozi najčešće se nalazio takson *Encyonopsis microcephala*, a povremeno i *Encyonopsis subminuta* i *Cymbella affiniformis*. Dakle, razlika između inertnih i organskih podloga bila je uočljiva i u samoj kvantitativnoj strukturi zajednice silikatnih algi na veštačkim podlogama.

RDA analiza (analiza redundantnosti) abundance silikatnih algi sa veštačkih podloga pokazala je da se tipovi podloga značajno razdvajaju, staklo i keramika sa jedne i obe drvene podloge sa druge strane (Grafik 30). Među 20 najbolje uklopljenih taksona silikatnih algi, koji su uglavnom bili nespecifični prema tipu podloge, ipak su se izdvojili *Achnanthydium minutissimum* i *Achnanthydium minutissimum* var. *jackii* kao zastupljeniji na inertnim (staklo i keramika), a *Cymbella affiniformis* i *Pantocsekiella ocellata* na drvenim podlogama. Sličnu preferenciju taksona prema tipu supstrata pokazali su i Sabater i saradnici (1998), gde su *Achnanthydium* spp. bile očigledno brojnije na keramičkim pločicama, a predstavnici rodova *Cymbella*, *Diatoma* i *Navicula* na drvenom supstratu. I prema rezultatima Sabater i saradnika (1998) i prema našim rezultatima, očito je da pričvršćene forme (*Achnanthydium* spp.) preferiraju glatke, neorganske podloge, dok predstavnici drugih morfoloških formi - sa polisaharidnim sluzavim drškama, kolonijalni oblici i pokretni taksoni preferiraju hrapavije površine drvenih podloga. Na osnovu podataka sa Grafika 30, porast indikatora trofičnosti) i organskog opterećenja negativno je uticao na abundancu *Achnanthydium minutissimum*,

što u potpunosti potvrđuje karakteristiku ovog taksona da opisuje odličan i dobar ekološki status vodnih tela (Kelly i sar. 2008).

Vrednosti indeksa diverziteta zajednice silikatnih algi su bile niže na veštačkim podlogama u odnosu na zajednicu sa kamena, ali ipak u 7. i 8. nedelji te vrednosti su i na veštačkim podlogama bile veće od 3 (Prilog 1). Poređenjem podloga međusobno, naši rezultati ukazuju da su vrednosti i diverziteta i ujednačenosti bile veće na drvenim u odnosu na inertne podloge, što su Sabater i saradnici (1998) takođe uočili. Uzrok ovome je najverovatnije sama priroda površine pločica - drvene pločice imaju grublju mikrostrukturu koja predstavlja veći izbor mikrostaništa za silikatne alge, pa otud i veći diverzitet na drvenim u odnosu na glatke (keramičku i staklenu) podloge (Sabater i sar. 1998). Poređenjem indeksa diverziteta i ujednačenosti zajednice silikatnih algi sa odgovarajućim indeksima izračunatim na osnovu posmatranja celokupne zajednice cijanobakterija i algi, ni na veštačkim podlogama nije uočena značajna korelacija.

Vrednosti dijametarskih indeksa, dobijene na osnovu kvantitativne analize zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga (Tabela 24.) ukazivale su na različite klase kvaliteta vode, ali i razlikovale su se među inertnim i organskim podlogama. IPS indeks je u suštini pokazao bolji kvalitet vode Savskog jezera na osnovu zajednice sa inertnih podloga u odnosu i na kamen i na drvene podloge (gde je ukazivao na dobar kvalitet). Rott TI dao je nešto lošije rezultate (srednji do loš kvalitet vode) na drvenim podlogama i u odnosu na kamen, a pogotovo u odnosu na staklo i keramiku. Prema Rott SI indeksu, sve podloge dale su ujednačen rezultat - voda je veoma dobrog do dobrog kvaliteta, što je bolji rezultat u odnosu na kamen. Samo TDIL indeks imao je ujednačene vrednosti i na svim podlogama i na kamenu - voda Savskog jezera je dobrog kvaliteta. Naši rezultati ukazuju na supstrat specifičnost pojedinih dijametarskih indeksa, između ostalih i IPS indeksa, dok je TDIL indeks prilagođen zajednicama silikatnih algi u jezerima pokazao izuzetnu stabilnost i doslednost na različitim tipovima podloga. Ako se podsetimo da su vrednosti IPS i TDIL bile ujednačene i u epilitskoj zajednici, jasno je da TDIL indeks ima snažan i pouzdan indikacioni potencijal.

2 Jezero Vrutci

2.1 Fizički i hemijski parametri i status trofičnosti jezera Vrutci

Jezero (akumulacija) Vrutci nalazi se između dve gorostasne planine u zapadnoj Srbiji, Tare i Zlatibora i prostire se duž kanjona koji je izgradila reka Đetinja. Jezero Vrutci su u godini ispisivanja ovih redova, akumulacija stara 34 godine. Ovo jezero opisuje se kao hladno, planinsko i oligotrofno (sa očekivanim indeksom trofičnosti ispod 40), pa ipak izuzev rezultata periodičnog monitoringa, detaljnija ispitivanja kvaliteta vode jezera Vrutci nisu rađena, odnosno rezultati nisu dostupni u literaturi (Marković 2015). Na osnovu naših rezultata (Grafik 5), stanje trofičnosti jezera Vrutci značajno se promenilo. Na osnovu TSI (SD) i TSI (CHL), čije su vrednosti bile ujednačene, jezero Vrutci je mezotrofni ekosistem. Vrednosti TSI (TN) bile su u rasponu koji karakteriše eutrofiju, a TSI (TP) imao je veće vrednosti u odnosu na sve druge indekse i dostizao je čak i granicu hipereutrofije (u septembru). Ovakvi uslovi su već opisani u literaturi kao veoma povoljni za proliferaciju *P. rubescens* (Dokulil i Teubner 2012). *P. rubescens* je planktonska cijanobakterija koja veoma često uzrokuje cijanobakterijska cvetanja u (pretežno) mezotrofnim jezerima umerenog klimatskog regiona u Evropi, i za razliku od ostalih cijanobakterija, cvetanje *P. rubescens* je u sprezi sa povratkom ekosistema u oligotrofno stanje (Jacquet i sar. 2005, Ernst i sar. 2009, Yankova i sar. 2016).

U prethodnim poglavljima već je spomenuto da je u decembru 2013. godine na jezeru Vrutci zabeleženo intenzivno površinsko cvetanje potencijalno toksične cijanobakterije *P. rubescens* (Kostić i sar. 2016). Od decembra 2013. do kraja 2015. godine prisustvo ove cijanobakterije u jezeru Vrutci je konstantno detektovano detaljnim mesečnim uzorkovanjima profila vodenog stuba na nekoliko lokaliteta. Metalimnionsko cvetanje karakterisalo je period letnje stratifikacije, a naredno površinsko cvetanje (mnogo slabijeg intenziteta) zabeleženo je u septembru 2015. (Blagojević i sar., in press). Naši rezultati (Grafik 4) pokazali su da metalimnionsko cvetanje *P. rubescens* značajno utiče na hemijske karakteristike jezerske vode (prvenstveno na pH i koncentraciju kiseonika) u gornjem metalimnionskom sloju - zahvaljujući intenzivnoj fotosintetičkoj aktivnosti (maksimalna zabeležena vrednost

biomase *P. rubescens* u julu bila je praćena upadljivim skokom pH vrednosti i koncentracije kiseonika). Providnost vode je takođe bila definisana položajem brojne populacije *P. rubescens* u vodenoj koloni, odnosno maksimalna providnost zabeležena je u avgustu, kada je i populacija *P. rubescens* bila skoncentrisana na najdubljoj tački - 8 m, a minimalna u oktobru kada je abundanca *P. rubescens* u površinskom sloju (na dubini 1 m) dostigla maksimum, prateći već spomenutu pojavu površinskog cveta u septembru (Grafik 4 i Tabela 11). Posmatranjem dinamike odnosa TN:TP, možemo reći da su u julu, a delom i u avgustu, i N i P mogli biti faktori koji limitiraju primarnu produkciju (molarni odnos TN:TP je imao vrednosti između 20 i 50), dok se u septembru i oktobru samo N pojavljuje kao limitirajući faktor (TN:TP ispod 20) (Guildford i Hecky 2000). Uopšteno posmatrano, nizak i opadajući trend TN:TP nije ni na koji način limitirao proliferaciju *P. rubescens* u jezeru Vrutci, zahvaljujući fotoheterotrofiji i sposobnosti ove cijanobakterije da koristi organska azotna jedinjenja iz vode (Zotina i sar. 2003). S obzirom na sposobnost populacije *P. rubescens* da se održava u uslovima čak i veoma niskih vrednosti koncentracije TP u vodi (dokle god je ta vrednost veća od 10 µg/L) (Dokulil i Teubner 2012; Jacquet i sar. 2014), jezero Vrutci pred sobom ima dug put „ozdravljenja” (snižavanja koncentracije TP), odnosno stabilizovanja trofičkih uslova u okvirima oligotrofije, što je uslov za nestanak *P. rubescens* i oporavak zajednice fitoplanktona. Interesantno je da su naši rezultati pokazali najviše vrednosti TP i TSI(TP) u septembarskim merenjima, kada je i površinski cvet *P. rubescens* zabeležen, samo nekoliko dana kasnije. Almodovar i saradnici (2004) su u svom istraživanju takođe pokazali da je povećanje koncentracije nutrijenata u vodi praćeno pojavom površinskog cvetanja *P. rubescens*.

2.2 Netaksonomske karakteristike perifitona

Uticaj prisustva metalimnionskog, a kasnije i površinskog cvetanja *P. rubescens* u vodi jezera na netaksonomske karakteristike perifitona bio je evidentan. Na osnovu naših rezultata (Grafik 14), ukupna biomasa perifitona (DM) je bila najosetljivija komponenta, s obzirom da je precipitacija kalcita tokom prvog meseca inkubacije (jun-jul) na pločicama na dubini 2 (5,5 m) promenila i osobine same podloge, a i povećala površinu dostupne podloge na mikroskali, što je značajno uticalo na dalje razvojne stadijume perifitona u CiS seriji. Ova neočekivana pojava značajno se odrazila i na

AFDM i Chl *a*, koji su takođe imali znatno veće vrednosti u CiS u odnosu na MiS u gornjem metalimnionu.

Fenomen taloženja kalcita u jezerima (tzv. *whiting events*) je dobro poznat u nauci, a neretko se ova pojava vezuje za cvetanja (Zhu i Dittrich 2016), ali gotovo isključivo pikoplanktona, odnosno pikocijanobakterija (Dittrich i Obst 2004). Generalno, mikroorganizmi mogu da indukuju taloženje kalcita posredstvom različitih metaboličkih puteva, kao što su fotosinteza, ureoliza, amonifikacija, denitrifikacija, redukcija sulfata, anaerobna sulfidna oksidacija i metan oksidacija, a sve posredstvom ili povećanja pH ili rastvorenog neorganskog ugljenika (DIC) (Zhu i Dittrich 2016). Prema Baumgartner i saradnicima (2006) precipitacija kalcita je rezultat metabolizma fotosintetskog procesa cijanobakterija i algi (formula 1):



Razmena $\text{HCO}_3^-/\text{OH}^-$ jona kroz ćelijsku membranu tokom fotosinteze dovodi do povećanja pH vrednosti u mikrokruženju oko same ćelije i precipitacije kalcita (Miller i Colman 1980). Prema Zhu i Dittrich (2016), Na^+ i HCO_3^- koriste isti simporter na ćelijskoj membrani, pa CO_2 koji se u fotosintezi koristi za sintezu organske materije, u ćeliju dospeva ili preko ovog simportera ili difuzijom kao HCO_3^- . Mehanizmom koncentracije CO_2 , HCO_3^- se konvertuje u CO_2 i OH^- , CO_2 se koristi u fotosintezi, a OH^- napušta ćeliju i podiže pH u mikrokruženju. Naši rezultati, dakle, sugerišu da je intenzivno metalimnionsko cvetanje *P. rubescens* moglo biti okidač detektovane biogene precipitacije kalcita u jezeru Vrutci tokom jula 2015 (Dittrich i Obst 2004). Ova pretpostavka postavljena na osnovu terenskog istraživanja i opservacija, svakako bi morala da se potvrdi u laboratorijskim uslovima. Ipak, ne možemo prevideti činjenicu da precipitacija kalcita sa sobom nosi i fosfor (Dittrich i Koschel 2002), što (kada se kompleks rastvori u dubljim slojevima) vodi ka koncentraciji fosfora u hipolimnionu. Ako bi se naša pretpostavka i u laboratorijskim uslovima dokazala, mogli bismo da otvorimo i diskusiju o potencijalnom mehanizmu koji *P. rubescens* koristi da izazove kratkoročne uslove sa nedostatkom fosfora u svojoj niši, kako bi manifestovao kompetitivnu prednost u odnosu na ostale fitoplanktonske grupe (Jacquet i sar. 2005).

Pored očiglednog uticaja metalimnionskog cvetanja *P. rubescens* na razvoj perifitona, naši rezultati ukazuju i na uticaj promene položaja populacije *P. rubescens* duž vodenog stuba na perifiton. Naime, naši rezultati septembarskog uzorkovanja ukazuju da je u periodu inkubacije avgust-septembar bio prisutan izvesni faktor koji je usporio proces kolonizacije, ali negativno uticao i na izdržljivost zajednice u već razvijenom biofilmu. Jedini takav faktor koji smo mogli da prepoznamo bilo je relociranje brojne populacije *P. rubescens* iz donjeg metalimniona ka površini, u susret površinskom cvetu kasnije u septembru. Promena plovnosti krupnih filamenta *P. rubescens*, tj. njihovo kretanje ka površini moglo je izazvati mikrostrujanje vode u istom smeru, a to može biti i uzrok usporene kolonizacije (MiS) i gubitka biomase (CiS) u meta i epilimnionu u ovom periodu.

Analiza koju smo sprovedi kako bismo sagledali odnos merenih netaksonomskih parametara perifitona i faktora sredine u jezeru Vrutci (Grafik 15) pokazala je da su koncentracija kiseonika, pH, temperatura vode i provodljivost najznačajnije uticali na razvoj biomase perifitona. Najviše vrednosti svih merenih netaksonomskih parametara perifitona su zabeležene u metalimnionu i epilimnionu, odnosno u MiS u epilimnionu a u CiS u metalimnionu.

Vrednosti AI za uzorke perifitona razvijenog u jezeru Vrutci (Tabela 16) konstantno su ukazivale na heterotrofnu prirodu biofilma (Collins i Weber 1978). Izuzeci su zabeleženi samo u septembru mesecu na dubini 1 u obe serije i samo u MiS na dubini 2, kada je autotrofna komponenta imala značajan udeo. Ovaj period poklapa se sa periodom usporene kolonizacije i gubitka biomase u uzorcima perifitona, koji smo povezali sa nizom aktivnosti populacije *P. rubescens* u susret površinskom cvetanju. Prema vrednostima AI, na ove aktivnosti *P. rubescens* osetljivija je bila heterotrofna komponenta perifitona, iako je generalno cela zajednica bila inhibirana (Grafik 14 i Tabela 15). Sa porastom dubine inkubacije u jezeru Vrutci je zabeležen značajan porast AI, odnosno povećanje udela heterotrofa u zajednici, što je posledica redukovanih svetlosnih uslova (McCall i sar. 2017). Na dubini 3 u MiS seriji primećen je linearan rast AI tokom eksperimentalnog perioda, što potencijalno ukazuje da prisustvo *P. rubescens* na ovoj dubini (i neposredno iznad) značajno inhibira autotrofe u inicijalnom

periodu kolonizacije, bilo zbog snažnog zasenčavanja, alelopatskih uticaja ili procesa raspadanja dela prekobrojne populacije.

Rezultati Lakatoš indeksa za perifiton razvijen u jezeru Vrutci ukazuju na prevashodno slične osobine perifitona u obe serije uzoraka, ukupna biomasa je niska, struktura varira od potpuno neorganske do neorgansko-organske, a u sastavu zajednice vrlo retko značajno učestvuje i autotrofna (septembar), a uglavnom preovladava heterotrofna komponenta (Tabela 17). Varijacije AC tipa perifitona u jezeru Vrutci između kategorija I i II, prema Romanów i Witek (2011) ukazuju na pretežno mezotrofnu prirodu ovog ekosistema, što je Karlson indeks i pokazao (TSI (SD) i TSI (CHL)). Ipak, prema Kiss i saradnici (2003), preovladavanje heterotrofne komponente u strukturi perifitona može se smatrati posledicom organskog opterećenja u ekosistemu, pa s obzirom na rezultate TSI (TP) i TSI (TN) u jezeru Vrutci, ponovo možemo reći da Lakatoš indeks pruža dobar uvid u složenu strukturu perifitona koja potencijalno odražava lokalne uslove životne sredine (Trbojević i sar. 2017).

Upadljiva razlika između serija koju je Lakatoš indeks detektovao (ali AI nije) je ukupna biomasa perifitona na dubini 5,5 m, gde DM tip otkriva da je od avgusta do oktobra biomasa u CiS visoka (tip I), dok u MiS ostaje niska do kraja ekperimenta (tip III). Lakatoš indeks je i ovde pokazao konzistentnost sa rezultatima AI, ali i veću osetljivost na značajne razlike u ukupnoj biomasi, što AI u potpunosti zanemaruje.

2.3 Taksonomske karakteristike perifitona

2.3.1 Kvalitativna analiza celokupne zajednice cijanobakterija i algi

U perifitonu razvijenom u jezeru Vrutci zabeleženo je ukupno 111 taksona cijanobakterija i algi iz 6 razdela: Cyanobacteria (10), Bacillariophyta (79), Chlorophyta (17), Chrysophyta (1), Dinophyta (2) i Euglenophyta (2) (Tabela 25.). Ukupan diverzitet zabeležen u perifitonu jezera Vrutci bio je gotovo duplo manji u poređenju sa Savskim jezerom (Tabela 18), što je s obzirom na prisustvo stresogenog faktora - cvetanja *P. rubescens* u jezeru Vrutci, moglo biti i očekivano (Oberhaus i sar. 2008).

Veliki broj studija potvrdio je značajan pad diverziteta u fitoplanktonu koji prati cijanobakterijska cvetanja, a kao uzroci ovog fenomena istaknuti su produkti sekundarnog metabolizma (između ostalih i cijanotoksini) koji ispoljavaju alelopatske efekte (Oberhaus i sar. 2008). Smatra se da vrste roda *Planktothrix* proizvode najveće količine cijanotoksina (po jedinici suve mase) u poređenju sa svim ostalim cijanobakterijama (Fastner i sar. 1999). Poznato je da populacije *P. rubescens* imaju potencijal da sintetišu hepatotoksične heptapeptide mikrocistin LR i mikrocistin RR, kao i neurotoksični alkaloid anatoksin a (Fastner i sar. 1999, Viaggiu i sar. 2004). Prema Svirčev i saradnici (2017) biomasa *P. rubescens* iz jezera Vrutci ispoljila je toksičnost u *Artemia salina* testu, a prijavljen je i pomor ribe umerenog intenziteta kao i prisustvo mikrocistina u muskulaturi ribe iz pomora ili upecane na ovom jezeru ranije u 2013. godini. Ovi autori su (na osnovu upitnika i epidemioloških rezultata) sugerisali da su stanovnici grada Užice (koji se do prvog masivnog površinskog cvetanja *P. rubescens* u decembru 2013. snabdevaio pijaćom vodom iz jezera Vrutci) bili potencijalno izloženi cijanotoksinima čak dve godine pre nego što se intenzivno površinsko cvetanje pojavilo (Svirčev i sar. 2017). Generalno posmatrano, kada su u pitanju biohazardne posledice masovnog razvića *P. rubescens* u jezerskim ekosistemima, naučna literatura se prevashodno bavi posledicama po ljudsko zdravlje, zooplankton i ihtiofaunu (kao komponente u lancu ishrane) (Bloom i sar. 2001, Viaggiu i sar. 2004, Ernst i sar. 2009, Manganeli i sar. 2010). Prema našim saznanjima na osnovu obimnog istraživanja literature, mehanizmi koji se nalaze u osnovi inhibicije drugih primarnih producenata i potencijalnih kompetitora, a koje *P. rubescens* koristi kako bi uspostavio dominaciju u zajednici i intenzivnu proliferaciju u ekosistemu, još uvek nisu u potpunosti istraženi i objašnjeni. Postoje indicije da u osnovi ovih inhibicionih mehanizama planktonskih kompetitora (konkretno *Mougeotia gracillima*) od strane *P. rubescens* leži alelopatija (Oberhaus i sar. 2008), a primećena je i inhibicija planktonskih silikatnih algi u prolećnom periodu, kao posledica zimske proliferacije populacije *P. rubescens* (Padišák i sar. 2010). Kako je u uvodnom poglavlju već spomenuto, uticajem cijanobakterijskih cvetanja (nespecifičnim) na perifiton bavilo se samo nekoliko studija i sve su sprovedene u tropskim hipereutrofnim rezervoarima (Borduqui i sar. 2008, Oliveira i sar. 2010, Borduqui i Ferragut 2012), dok naši rezultati predstavljaju prve nalaze iz umerenog klimata i specifično vezane za cvetanje *P. rubescens*. Posmatrano u

procentima, preko 70% svih identifikovanih taksona u perifitonu jezera Vrutci činile su silikatne alge (71%), a pratile su ih znatno malobrojnije zelene alge (15%) i cijanobakterije (9%), veoma mali procenat udela u zajednici pripao je predstavnicima razdela Dinophyta i Euglenophyta (po 2%), dok su Chrysophyta bile zastupljene sa samo 1% (Grafik 31).

U okviru razdela Cyanobacteria zabeleženo je prisustvo 6 taksona iz reda Chroococcales i 4 predstavnika reda Oscillatoriales. Najbrojniji su bili predstavnici roda *Aphanocapsa*, sa tri taksona *A. delicatissima*, *A. holsatica* i *A. incerta*, dok je u okviru drugih rodova bio zastupljen samo po jedan takson. Predstavnici reda Nostocales nisu zabeleženi u perifitonu jezera Vrutci.

Najveći broj taksona prisutnih u perifitonu iz jezera Vrutci zabeležen je u okviru silikatnih algi (79), a najbrojniji rodovi bili su *Cymbella* i *Nitzschia* sa po 9 taksona. Fenomen zajednice silikatnih algi iz perifitona razvijenog u vrlo specifičnim uslovima u jezeru Vrutci jeste detekcija većeg broja taksona koji se nalaze na nemačkoj Crvenoj listi i imaju različit status ugroženosti - od ranjivih do ranog upozorenja (Prilog 2, Lange-Bertalot 1996, Hofmann i sar. 2013), a među kojima se našao i *Aneumastus stroesei*, prvi predstavnik roda *Aneumastus* zabeležen u Srbiji. Uz 14 taksona sa nemačke Crvene liste koji su bili zastupljeni u kvantitativnoj analizi (Prilog 2), u Tabeli 29 predstavljeni su i taksoni koji su zabeleženi samo u kvalitativnoj analizi uzoraka (prvih 5), a ipak imaju status na nemačkoj Crvenoj listi silikatnih algi. Dakle, možemo reći da je u zajednici silikatnih algi u perifitonu iz jezera Vrutci zabeleženo čak 19 taksona sa Crvene liste.

Takson *Aneumastus stroesei* svakako zavređuje najviše pažnje u zajednici silikatnih algi iz jezera Vrutci, s obzirom da je čitav rod prvi put zabeležen u Srbiji. *A. stroesei* je tipičan stanovnik oligo do mezotrofnih, pretežno stajaćih slatkovodnih ekosistema bogatih krečnjakom, retko se nalazi i populacije su raštrkane, a na Crvenoj listi ima status ranjive vrste (Lange-Bertalot 2001, Hofmann i sar. 2013). Prema opisu predstavljenom u poglavlju Rezultati i Slikama 19, 20 i 21, takson iz jezera Vrutci u potpunosti odgovara literaturnom opisu *Aneumastus stroesei* (Ostrup) D. G.Mann (Lange-Bertalot 2001, Hofmann i sar. 2013). Prema podacima iz Algaebase-a, postoje verifikovani nalazi *A. stroesei* u Evropi, Aziji, Severnoj Americi, Novom Zelandu, pa

čak i na Pacifičkim ostrvima, a rasprostranjnje u Evropi obuhvata Belorusiju, Veliku Britaniju, Francusku, Nemačku, Irsku, Rusiju, Slovačku, Makedoniju, Holandiju, Poljsku, Rumuniju i Švajcarsku (Guiry i Guiry 2018).

Tabela 29. Taksoni silikatnih algi zabeleženi u jezeru Vrutci, a koji se nalaze na nemačkoj Crvenoj listi silikatnih algi (Lange-Bertalot 1996, Hofmann i sar. 2013).

	Status na Crvenoj listi
1	<i>Cymbopleura cuspidata</i> V,G
2	<i>Cymbopleura rupicola</i> var. <i>minor</i> R
3	<i>Gomphonema auritum</i> G
4	<i>Sellaphora pseudopupula</i> G
5	<i>Sellaphora stroemii</i> 3
6	<i>Achnanthidium caledonicum</i> 3
7	<i>Aneumastus stroesei</i> 3
8	<i>Caloneis bacillum</i> V
9	<i>Caloneis schumanniana</i> V
10	<i>Cyclotella cyclopuncta</i> D
11	<i>Cymbella cymbiformis</i> V,G
12	<i>Cymbella lanceolata</i> V
13	<i>Cymbella neocistula</i> var. <i>lunata</i> V
14	<i>Cymbella neocistula</i> V
15	<i>Gomphonema exilissimum</i> V
16	<i>Hippodonta costulata</i> V
17	<i>Nitzschia tabellaria</i> V
18	<i>Orthoseira roeseana</i> V
19	<i>Sellaphora bacillum</i> V

Legenda:

3 - ranjiva vrsta

G - potencijalno ugrožena vrsta, u neodređenim razmerama

R - veoma retka vrsta

V - rano upozorenje (još uvek nije ugrožena vrsta, ali nekoliko različitih faktora mogu uzrokovati ugroženost u narednih 10 godina)

Dodatnim pretraživanjem dostupne literature, našli smo nalaze *A. stroesei* i u Albaniji i Bugarskoj (Miho i Lange-Bertalot 2002, Isheva i Ivanov 2016). Naš nalaz *A. stroesei* u jezeru Vrutci je značajan doprinos podacima o distribuciji ovog taksona u regionu, pogotovo s obzirom na sugestije da je populacija generalno u opadanju zbog eutrofikacije staništa (Lange-Bertalot 2001). U okviru roda *Aneumastus* opisano je nešto više od 30 taksona, a samo u Bajkalskom jezeru zabeleženo je oko 20 taksona, što je više od ukupnog savremenog diverziteta ovog roda u Holarktičkom regionu (sa izuzetkom Prespanskog i Ohridskog jezera) (Glushchenko i sar. 2017). Glushchenko i saradnici (2017) sugerisali su da su ova drevna jezera (Bajkalsko, Ohridsko i Prespansko) poslužila kao refugijumi predstavnicima roda *Aneumastus*, koji su u prethodnim epohama bili rasprostranjeniji, dok im se areal u savremenom dobu značajno sužava. Iako je *A. stroesei* jedan od najzastupljenijih predstavnika roda, nalaz u jezeru Vrutci je značajan doprinos biogeografskim podacima o rodu *Aneumastus*.

U perifitonu iz jezera Vrutci zabeleženo je 17 taksona iz razdela Chlorophyta, i to 16 predstavnika sa kokoidnom životnom formom, a samo jedan končasti predstavnik - *Mougeotia* sp. U okviru ostalih grupa, Chrysophyta, Dinophyta i Euglenophyta, zabeležen je veoma mali broj predstavnika, tipičnih euplanktonskih vrsta (Wehr i Sheath 2003).

Specifičnost zajednice perifitona razvijene u jezeru Vrutci je i prisustvo gvožđe oksidujućih bakterija (FeOB) grupe *Sphaerotilus-Leptothrix* (Slika 22). Metabolizam ovih bakterija je aeroban, i uključuje disanje i hemoorganoheterotrofiju (Spring 2006). Naši nalazi FeOB najviše liče na *Leptothrix* spp., s obzirom na inkrustirane omotače (Spring 2006). U okviru roda *Leptothrix*, postoje četiri vrste, tri su obligatni heterotrofi, a samo kod jednog predstavnika - *L. ochracea* potvrđen je autotrofni metabolizam (Hedrich i sar. 2011). Fleming i saradnici (2014) utvrdili su da i organske forme ugljenika podstiču rast ove konkretne vrste, što je indirektan dokaz heterotrofije ili miksotrofije.

2.3.2 Kvantitativna analiza celokupne zajednice cijanobakterija i algi

Hijerarhijska klaster analiza prisustva ili odsustva taksona cijanobakterija i algi u perifitonu na veštačkim podlogama u jezeru Vrutci tokom eksperimentalnog perioda, pokazala je da je prisustvo taksona u najvećoj meri određeno gradijentom dubine, a to je smer u kome i sličnost među zajednicama u okviru iste serije opada (Grafik 32). Dakle, dubina je bila faktor koji je prevashodno određivao strukturu zajednice, bez obzira na vreme inkubacije, što je u saglasnosti sa nalazima Kralj i saradnika (2006), mada su ovi autori i vreme inkubacije izdvojili kao značajan faktor, ali se koncepti našeg i njihovog istraživanja razlikuju. Ovi autori su uticaj dubine na strukturu zajednice perifitona objasnili posredstvom specifičnih temperaturnih i svetlosnih uslova u različitim stratifikacionim slojevima.

Kao i u kvantitativnoj analizi perifitona iz Savskog jezera, razlike u dinamici i odnosu najbrojnijih grupa su uočljive u zavisnosti od posmatranog parametra (jedinke, ćelije ili biomasa). Prema broju jedinki i biomasi po jedinici površine, u obe serije su upadljivo dominirale silikatne alge (Grafici 33 i 35). Međutim, posmatranjem abundance u formi ćelija po jedinici površine, cijanobakterije su dominirale u obe serije, ali ipak upadljivije u CiS. Generalno, posmatrajući sva tri parametra (jedinke, ćelije i biomasa, Grafik 33, 34 i 35), zapažaju se razlike među zajednicama u zavisnosti od dubine inkubacije (odnosno sloja), odnosno duž dubinskog gradijenta uočava se negativan trend zelenih algi i pozitivan trend cijanobakterija, dok u hipolimnionskim uzorcima (gotovo isključivo) preovlađuju silikatne alge.

S obzirom da su razlike među dubinama inkubacije sagledive u najvećoj meri kada se posmatraju ćelije, u daljem diskutovanju fokusiraćemo se na rezultate predstavljene na Grafiku 34. Razlike u strukturi zajednice između serija nisu bile naglašene, pa se može reći da je period inkubacije od mesec dana bio sasvim dovoljan da se formira zrela i reprezentativna zajednica perifitona. U epilimnionskim uzorcima, struktura zajednice bila je stabilna, bez značajnih varijacija, udeo cijanobakterija i silikatnih algi je bio manje ili više ujednačen, dok su zelene alge, iako u malom procentu, konstantno bile prisutne tokom čitavog eksperimentalnog perioda. Stabilnim, bez značajnih varijacija mogu se nazvati i zajednice razvijene u hipolimnionu, gde su s

obzirom na limitirane svetlosne uslove, očekivano ubedljivo dominirale silikatne alge (Guasch i Sabater 1998, Sanchez i sar. 2013). U metalimnionskim uzorcima (prvenstveno sa 5,5 m), značajne i drastične promene u strukturi zajednice su bile uočljive, iako je u proseku odnos abundance cijanobakterija i silikatnih algi bio sličan kao u epilimnionu. Predstavnici zelenih algi mogli su se uočiti samo u epilimnionu (obe serije) i gornjem metalimnionu (CiS), što se delimično može objasniti njihovom osetljivošću na limitirane svetlosne uslove (Gausch i Sabater 1998, Leoni i sar. 2014). Postoje sugestije da *P. rubescens* ima kapacitet da alelopatski inhibira potencijalne kompetitore za resurse u istoj ekološkoj niši (Oberhaus i sar. 2008), a to bi u našem slučaju bila filamentozna zelena alga *Mougeotia* sp. (Salmaso 2002). Interesantno je da je upravo *Mougeotia* sp. bila najbrojnija među zelenim algama, ali samo u epilimnionskim uzorcima, dok je u metalimnionskim uzorcima bila gotovo potpuno odsutna. Drastična promena u sastavu zajednice detektovana je u gornjem metalimnionu u periodu avgust-septembar, ukazujući na nestabilne uslove, što se poklapa sa periodom u kome je brojna populacija *P. rubescens* promenila lokaciju - sa dubine 8 m ka površini. U donjem metalimnionu, na dubini 8 m, cijanobakterije su gotovo konstantno ubedljivo dominirale, pri čemu je u zajednici cijanobakterija preovladavao *P. rubescens*. Na osnovu detaljne analize prostorne (dubina) i vremenske dinamike u strukturi zajednice cijanobakterija i algi u perifitonu iz jezera Vrutci, možemo reći da je *P. rubescens* značajnije uticao na perifitonsku zajednicu samo u metalimnionu, dakle u sloju gde je brojna vijabilna populacija *P. rubescens* stagnirala i cirkulisala. Masivna proliferacija gvožđe oksidujućih bakterija (FeOB) koju smo detektovali u uzorcima perifitona iz donjeg metalimniona, može takođe biti posledica lociranja brojne populacije na ovoj specifičnoj dubini. Tačnije, pretpostavka je da je proliferacija FeOB posledica njihovog heterotrofnog ili specifičnog autotrofnog metabolizma (oksidacija gvožđa) (Hedrich i sar. 2011, Fleming i sar. 2014), koji je ovim bakterijama omogućio da opstanu zajedno sa *P. rubescens* na ovoj specifičnoj dubini, što druge cijanobakterije i alge nisu mogle. Ovi rezultati takođe, indirektno, sugerišu alelopatsku kontrolu kompetitora od strane *P. rubescens*.

Statistička analiza (RDA, Grafik 36) nedvosmisleno je ukazala da je struktura zajednice perifitona u obe serije primarno određena dubinskim gradijentom, duž koga je beležen pad pH vrednosti i provodljivosti. Ova analiza potvrdila je već spomenutu

zavisnost abundance Chlorophyta od svetlosnog režima, kao i toleranciju silikatnih algi i cijanobakterija na nedostatak svetlosti, kao i u studiji Leoni i saradnika (2014). Uočljiv je porast abundance FeOB duž vremenskog gradijenta, što je opravdano s obzirom na tipično javljanje ovih bakterija sa omotačem u kasnijim sukcesivnim stadijumima biofilma, a povezano je i sa povećanjem organskih formi ugljenika u vodi (Fleming i sar. 2014). Providnost i koncentracija ukupnog azota upadljivo su opadali duž vremenskog gradijenta, a TN je zapravo rastao duž dubinskog gradijenta, pa otud negativna korelacija sa činiocima perifitonske zajednice.

2.3.2.1 Eko-morfološka funkcionalna klasifikacija taksona detektovanih u kvantitativnoj analizi

Sa ciljem posmatranja dinamike procesa kolonizacije (MiS) i sukcesije (CiS) tokom eksperimentalnog perioda, na različitim dubinama inkubacije, rasporedili smo taksona detektovane u kvantitativnoj analizi perifitona u eko-morfološke grupe, uzevši u obzir broj jedinki po cm^2 (Grafik 37 i 38). U jezeru Vrutci, uvedena je nova kategorija u odnosu na eko-morfološke grupe u Savskom jezeru, i to je grupa planktonske silikatne alge. U okviru ove grupe našli su se taksoni centričnih silikatnih algi *Pantocsekiella ocellata*, *Lindavia radiosa* i *Cyclotella craetica* var. *cyclopuncta*.

U obe serije uzoraka (CiS i MiS), uočljivo je da je udeo planktonskih silikatnih algi u formiranju zajednica mnogo veći na dubinama 8 m i 12 m, što ukazuje na veoma usporenu kolonizaciju podloga na ovim dubinama, s obzirom da se pravi perifitonski oblici javljaju čak i u CiS seriji u veoma malom broju. Udeo filamentoznih cijanobakterija (*P. rubescens*, *Pseudanabaena catenata* i *Anagnostidinema amphibium*) u zajednici bio je konstantan i relativno veliki na dubinama 5,5 m i 8 m u CiS. Ovo se može objasniti osobinom da se filamentozne životne forme javljaju u kasnijim stadijumima sukcesije, kao dobri kompetitori u biofilmu (DeNicola i sar. 2006). Ipak, ne možemo prevideti da su dubine 5,5 m i 8 m ograničavale prostor u kome se tokom letnje stratifikacije nalazila populacija *P. rubescens*, što je delom uticalo na prisustvo grupe filamentoznih cijanobakterija u ovim uzorcima - kroz prisustvo samog *P. rubescens* u zajednici ili ograničenu sposobnost drugih grupa da opstanu u njegovom prisustvu. U MiS je udeo filamentoznih cijanobakterija bio veliki samo u oktobarskom uzorku na 5,5 m, i to zahvaljujući *P. rubescens*. Postojale su i uočljive razlike između serija i u

pogledu zastupljenosti grupe pokretnih silikatnih algi (*Nitzschia* spp. i *Navicula* spp.), tačnije njihov udeo je veći u CiS na 1 m i 5,5 m dubine. Već je spomenuto da se pokretne silikatne alge očekuju u staništima gde su nutrijenti u porastu, a zahvaljujući pokretljivosti nisu osetljivi na stepen poremećaja (bilo hidrodinamičkih ili ispaše), kao ni na ograničenu dostupnost resursa u biofilmu (Passy 2007). Udeo ove grupe u CiS ipak nije bio veliki da bi bio indikativan za uznapredovalu eutrofikaciju, ali upadljivo prisustvo pokretnih taksona samo u CiS ukazuje na njihovu pojavu u kasnijim sukcesivnim stadijumima i to samo u uslovima povoljnog svetlosnog režima.

Posmatrajući tok sukcesije u CiS na različitim dubinama inkubacije (Grafik 35), uočljiv je porast udela grupe niskog profila (*Achnantheidium* spp., *Encyonopsis* spp., *Cymbella* spp. i *Cocconeis* spp.) u kasnijim fazama - septembar i oktobar, dok istovremeno udeo planktonske grupe silikatnih algi, kao i jednoćelijskih i kolonijalnih predstavnika opada (*Aphanocapsa* spp., *Oocystis* spp. *Phacotus lenticularis*, *Dynobryon divergens*). Udeo filametoznih predstavnika i zelenih algi (čitavu grupu predstavljao je samo takson *Mougeotia* sp.) i cijanobakterija relativno je bio mali na dubini 1 m, ali konstantan tokom sukcesije. Kao što je u prethodnom paragrafu rečeno, na dubini 5,5 m i 8 m karakteristika sukcesije perifitona je značajan udeo filamentoznih cijanobakterija u zajednici u avgustu na 5,5 m (*P. catenata*) i avgustu i septembru na 8 m (*P. rubescens*).

Inicijalni udeo eko-morfoloških grupa u kolonizaciji (MiS) razlikovao se tokom eksperimentalnog perioda (Grafik 36). U julskim uzorcima uočljiv je značajan udeo grupe jednoćelijskih i kolonijalnih predstavnika (velika abundanca *Dynobryon divergens*), koji se u kasnijim uzorcima drastično smanjuje (malobrojni predstavnici *Aphanocapsa* spp., *Oocystis* spp. i *Phacotus lenticularis*). U kolonizaciji podloga inkubiranih na 1 m i 5,5 m prednjačila je grupa niskog profila, dok je udeo grupa pokretnih silikatnih algi (*Nitzschia* spp. i *Navicula* spp.) i visokog profila (*Fragilaria* spp. i *Gomphonema* spp.) bio relativno mali. Prema Passy (2007) pripadnici grupe niskog profila su tipični pioniri u procesu kolonizacije. Međutim, ograničavajući faktori za njihov razvoj su zasenčavanje i nedostupnost resursa u bazi višeslojnog trodimenzionalnog biofilma, što su u potpunosti potvrdili i naši rezultati. S druge strane, ispoljavanje kompetitivne prednosti grupe visokog profila i pokretnih silikatnih algi

upravo u uslovima već formiranog višeslojnog trodimenzionalnog biofilma ukazuje da se ove grupe očekuju u kasnijim stadijumima kolonizacije (Passy 2007), pa je njihova mala brojnost u MiS mogla biti i očekivana. Na dubini 5,5 m grupa filamentoznih cijanobakterija značajno je učestvovala u kolonizaciji podloga inkubiranih tokom septembra (oktobarski uzorci), zahvaljujući učešću *P. rubescens* u formiranju perifitonske zajednice.

2.3.2.2 Šenonov indeks diverziteta i Pielou indeks ujednačenosti

Dinamika diverziteta (H) i ujednačenosti (Eh) na bazi celokupne zajednice cijanobakterija i algi u uzorcima perifitona jezera Vrutci predstavljena su na Grafiku 39. Činjenica je da vrednosti indeksa diverziteta ni u jednoj seriji nisu prelazile 2,5, što se može smatrati relativno niskim diverzitetom. Uočljiv je i trend opadanja vrednosti indeksa diverziteta sa gradijentom dubine, što još jednom potvrđuje ograničene sposobnosti tipičnih perifitonskih taksona da kolonizuju podloge u uslovima ograničenih svetlosnih i temperaturnih uslova.

U seriji CiS (Grafik 39a) visok stepen korelacije između H i Eh ukazuje da tokom sukcesije sa porastom broja detektovanih vrsta u uzorcima raste i ujednačenost raspodele individua po vrstama u zajednici i obrnuto. Samo u hipolimnionskim uzorcima, niži stepen korelacije bez značajnosti ukazuje na prevashodnu dominaciju jednog ili nekoliko taksona, a to su bili pripadnici grupe planktonskih silikatnih algi (Grafik 35d). Zanimljivo je uočiti da dinamika diverziteta na dubini 8 m u CiS oslikava prisustvo populacije *P. rubescens* na ovoj dubini, tj. niske vrednosti diverziteta poklapaju se sa velikim udelom filamentoznih cijanobakterija (Grafik 37c) u perifitonu.

U seriji MiS (Grafik 39b), visok stepen korelacije H i Eh bio je uočljiv samo na 1m i 8m, dok na dubinama 5,5 m i 12 m konstantno velika abundanca grupe niskog profila (5,5 m) i grupe planktonskih silikatnih algi (12 m) uzrokuje očigledan izostanak ujednačene raspodele individua u detektovanim takasonima (Grafik 36b i c). Znatan pad vrednosti diverziteta i ujednačenosti na dubini 1 m u MiS u avgustovskom uzorkovanju, očigledna je posledica dominacije grupe niskog profila - zahvaljujući kompetitivnim prednostima i snažnoj proliferaciji ove grupe u inicijalnoj fazi kolonizacije (Grafik 36a) (Trbojević i sar. 2017). Takođe, drastičan pad vrednosti

diverziteta zabeležen je na dubini 8 m u septembarskom uzorku, čemu je doprinela upadljiva dominacija planktonskih centričnih silikatnih algi u kolonizaciji (Grafik 38c). I ova pojava ukazuje na usporenu ili onemogućenu kolonizaciju u periodu avgust - septembar, kada je populacija *P. rubescens* započela premeštanje ka površinskim slojevima.

2.3.3 Zajednica silikatnih algi i dijatomi indeksi

Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi iz perifitona sa veštačkih podloga iz jezera Vrutci pokazala je da se na mestu dominantnog taksona u obe serije smenjuju *Achnantheidium caledonicum* i *Pantocsekiella ocellata*, dok se kao subdominantni najčešće javljaju *Achnantheidium minutissimum* i *Melosira varians* (Prilog 2). Takson *A. caledonicum*, koji se javlja kao dominantan u velikom broju uzoraka, na nemačkoj Crvenoj listi obeležen je kao ranjiva vrsta, karakteristična za oligotrofne ekosisteme bogate krečnjakom (Hofmann i sar. 2013), pa je njegov nalaz, ali i velika brojnost u uzorcima perifitona iz jezera Vrutci značajan i indikativan podatak. *Pantocsekiella ocellata* je tipičan oligosaprob, rasprostranjen u oligo do blago eutrofnim jezerima (Van Dam i sar. 1994, Hofmann i sar. 2013), a *A. minutissimum* je vrsta čije prisustvo i brojnost opisuju odličan i dobar ekološki status vodnih tela (Kelly i sar., 2008), dok je *M. varians* a mezosaprob, tipičan za eutrofne uslove u ekosistemu (Van Dam i sar. 1994). Po svemu sudeći, na osnovu dominantnih taksona već se naslućuje da struktura zajednice silikatnih algi ukazuje na odličan do dobar ekološki status. Interesantno je da se dubinski gradijent jasno mogao sagledati kroz zajednicu silikatnih algi na nivou pripadnosti morfološkim grupama (Tabela 27). U epilimnionskim uzorcima gotovo bez izuzetka dominirali su sitni monorafidni oblici, dok su se u metalimnionu na 5,5 m smenjivali monorafidni, navikuloidni oblici i centrični taksoni. Na dubini 8 m, kao i u hipolimnionu, dominirale centrične silikatne alge.

Izuzev toga što se *A. caledonicum* kao dominantan nalazi na nemačkoj Crvenoj listi, još 13 taksona sa Crvene liste našlo se u kvantitativnoj analizi zajednice silikatnih algi (Prilog 2). Većina ovih taksona nalazi se u statusu potencijalne ugroženosti (V). Ipak, *A. caledonicum* (dominantan takson) i *Aneumastus stroesei* (prvi put zabeležen u

Srbiji) su ranjive vrste, koje su učestvovala strukturiranju zajednice silikatnih algi u jezeru Vrutci (Prilog 2).

Analizom odnosa abundance silikatnih algi u perifitonu iz jezera Vrutci i sredinskih faktora, ustanovili smo razdvajanje CiS i MiS serije duž gradijenta većeg broja faktora. Najznačajniji su bili pH, temperatura, TOC i providnost, ali i dubina inkubacije, što samo ukazuje da su se taksoni koji su obeležili ove serije međusobno razlikovali prema preferencama (Grafik 40). Zapravo, dubine 1 m i 5,5 m izdvojile su se prema višoj temperaturi i većoj pH vrednosti u vodi, dok su se dubine 8 m i 12 m našle u okruženju sa većim vrednostima TDS, ortofosfata i TN. Oko dubina inkubacije, izdvojile su se tri grupe silikatnih algi (oko dubine 12 m se zbog male abundance nije formirala grupa). Prvu grupu, oko dubine 1 m, formirali su taksoni *Achnanthydium caledonicum*, *Achnanthydium minutissimum*, *Encyonopsis microcephala*, *Encyonopsis subminuta* i *Fragilaria acus*, svi tipični predstavnici grupe niskog profila (Passy 2007). Grupu oko dubine 5,5 m činili su taksoni *Cymbella cymbiformis*, *Cymbella neocistula* var. *neocistula*, *Amphora lange-bertalotii* var. *tenuis*, *Amphora minutissima*, *Diploneis elliptica*, *Gyrosigma attenuatum* i *Navicula radiosa*. Na dubini 5,5 m, većina taksona su, ponovo pripadnici grupe niskog profila, ali mnogo krupniji u odnosu na dubinu 1 m (*Cymbella* spp., *Amphora* spp.), ali je zajednicu na ovoj dubini obeležilo i prisustvo ekološke grupe pokretnih taksona - *Gyrosigma attenuatum* i *Navicula radiosa* (Passy 2007). Oko dubine 8 m pozicionirali su se isključivo centrični taksoni *Lindavia radiosa*, *Melosira varians* i *Pantocsekiella ocellata*, od kojih samo *Melosira varians* pripada grupi visokog profila, dok su *Lindavia radiosa* i *Pantocsekiella ocellata* pripadnici grupe planktonskih silikatnih algi (Passy 2007, Rimet i Bouchez 2012), tipičnih u biofilmu u stabilnom okruženju, bez poremećaja i bez konkurenata među tipičnim perifitonskim oblicima (Rimet 2012).

Vrednosti indeksa diverziteta i ujednačenosti zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz jezera Vrutci (Prilog 2) bile su relativno visoke, za razliku od istih matrica dobijenih na osnovu celokupne zajednice cijanobakterija i algi (Grafik 39). Uzrok ovog dispariteta je najverovatnije činjenica da su upravo silikatne alge bile najbrojnija grupa u zajednici. Generalno posmatrano, diverzitet silikatnih algi je bio najveći na dubini 5,5 m, dok je sa porastom dubine imao trend opadanja, što ukazuje da

je najveći broj taksona zabeleženih u jezeru Vrutci bio adaptiran na umereno nizak intenzitet svetlosti, manji na intenzivniju svetlost, a najmanji na značajno redukovane svetlosne uslove, što je i očekivano (Hill 1996).

Dobijene vrednosti dijatomnih indeksa ukazuju na različite klase kvaliteta vode jezera Vrutci, dok se i kategorije u okviru istog indeksa razlikuju duž dubinskog gradijenta (Tabela 28). Ukoliko posmatramo samo dubinu inkubacije 1 m prema indeksima IBD, IPS, IDAP i Rott SI kvalitet vode je veoma dobar (s tim da je IPS u MiS u avgustu i septembru ipak ukazuivao na dobar kvalitet), odnosno dobar prema indeksima TDIL, TDI i Rott TI. TDIL indeks je i u ovoj, kao i u studiji na Savskom jezeru jedini pokazao uniformnost i doslednost, čak i u pogledu dubina inkubacije u jezeru Vrutci (iako su se kretale u rasponu od 1 m do 12 m), i prema ovom indeksu kvalitet vode jezera Vrutci je generalno dobar. Duž dubinskog gradijenta, izuzev TDIL, svi ostali indeksi su ukazivali na trend opadanja kvaliteta vode, pri čemu je klasičan TDI na većim dubinama dostigao čak i vrednosti iz opsega veoma lošeg kvaliteta vode. Razlog tome je zapravo osetljivost indeksa i prilagođenost na lentičke ekosisteme. U našim rezultatima evidentno je da sa gradijentom dubine u perifitonu značajno raste udeo centričnih silikatnih algi, koje TDI, ali i većina drugih indeksa (izuzev prilagođenog TDIL), ne prepoznaje, tj. ne uzima u obzir kao indikatorske taksone prilikom izračunavanja vrednosti (Stenger-Kovács i sar. 2007). Već je spomenuto da su dijatomni indeksi prvenstveno razvijeni za upotrebu u lotičkim ekosistemima, pa je stoga odsustvo centričnih taksona na listi indikatora za izračunavanje dijatomnih indeksa uobičajeno, i upravo u tome ogleda se prednost TDIL indeksa, prilagođenog za upotrebu u jezerima (Stenger-Kovács i sar. 2007). Kitner i Poulickova (2003), a kasnije i Stenger-Kovács i saradnici (2007) sugerisali su da previđanje centričnih taksona (indikatora povišene trofičnosti) vodi ka precenjivanju trofičkog statusa (u pozitivnom smislu) u jezerima upotrebom TDI i Rott TI, iako su Poulickova i saradnici (2004) istakli da je za perialpska jezera u Austriji Rott TI među najpouzdanijim indeksima za određivanje trofičkog statusa. Ipak, to u našim rezultatima nije slučaj, već nasuprot, vrednosti TDI ukazuju na eventualno pogoršanje kvaliteta vode duž dubinskog gradijenta, ali samo zato što je diverzitet na većim dubinama bio mali, pa je svega nekoliko (malobrojnih) taksona moglo da se upotrebi pri izračunavanju indeksa, što se odrazilo i na nerealno niske vrednosti. Dakle, opadanje kvaliteta vode duž dubinskog

gradijenta na koje ukazuje nekoliko dijametričnih indeksa, posledica je osetljivosti i prilagođenosti ovih indeksa, pre nego realnih promena u kvalitetu vode jezera Vrutci. Rott TI i Rott SI su i u jezeru Vrutci ukazivali na bolji status saprobnosti u odnosu na trofičnost. TDIL indeks pokazao se kao najstabilniji i najobjektivniji u proceni kvaliteta vode jezera Vrutci.

S obzirom da se za procenu ekološkog potencijala tipa ekosistema u koje spada jezero Vrutci (na osnovu fitobentosa) prema Pravilniku (Sl. glasnik RS 74/11) koristi IPS dijametrični indeks, prema našim rezultatima dobijenim sa veštačkih podloga, jezero Vrutci je tokom perioda istraživanja pripadalo II klasi ekološkog potencijala ($IPS > 14$). Samo na većim dubinama inkubacije zabeležene su nešto niže vrednosti IPS, ali ipak u granicama III klase ekološkog potencijala. Pregledom literature, nismo naišli na prethodne podatke o ekološkom potencijalu jezera Vrutci, pa s obzirom na problematičan status ove akumulacije (cijanobakterijsko cvetanje), naši rezultati predstavljaju značajan doprinos sveobuhvatnom sagledavanju složenih ekoloških odnosa različitih zajednica u ovom ekosistemu. Svakako, na osnovu naših rezultata isitiče se aplikabilnost i objektivnost TDIL indeksa u proceni kvaliteta vode i u jezeru Vrutci, kao i u Savskom jezeru. Na osnovu naših rezultata, poželjno je dodatno testiranje ovog indeksa na većem broju jezera i akumulacija različitog trofičkog statusa, pa i razmatranje uvođenja TDIL indeksa u regulativu kao relevantnog za procenu i praćenje ekološkog statusa ili potencijala jezera i akumulacija.

1 Zaključci

Na osnovu postavljenih ciljeva istraživanja i iz predstavljenih rezultata, možemo izvesti sledeće zaključke:

1. Prema Karlsonovom indeksu TSI (SD) i TSI (CHL) Savsko jezero je bilo pretežno mezotrofno tokom leta 2014. godine, a krajem augusta i početkom septembra zabeležen je prelazak u eutrofni status. Karlsonov indeks TSI (TP) bio je konstantno iznad granice mezotrofnog statusa i povremeno prelazio i gornju granicu eutrofnog statusa.

Na osnovu Karlsonovog indeksa TSI (SD) i TSI (CHL) jezero Vrutci se može okarakterisati kao mezotrofni ekosistem. Ipak, vrednosti Karlsonovog indeksa TSI (TN) i TSI (TP) ukazivale su na eutrofiju.

2. Maksimalne vrednosti svih netaksonomskih parametara perifitona razvijenog na različitim tipovima podloga u Savskom jezeru zabeležene su na staklenoj podlozi. Uticaj dubine inkubacije na fotoautotrofnu komponentu (Chl *a*) bio je najizraženiji u uzorcima perifitona razvijenog na staklu i vrbi, a najmanje je bio izražen u biofilmu razvijenom na tisi. Staklo i vrba su se izdvojili i kao podloge koje cijanobakterije i alge preferiraju za kolonizaciju, naspram keramike i tise. Efekat dubine inkubacije je snažniji i umanjuje efekat tipa podloge na razvoj biomase fotoautotrofne komponente perifitona.

U jezeru Vrutci, najviše vrednosti svih merenih netaksonomskih parametara zabeležene su u epilimnionu (dubina 1 m) i gornjem metalimnionu (dubina 5,5 m), dok su najniže vrednosti zabeležene u hipolimnionu (dubina 12 m). Fenomen precipitacije kalcita prvi put je detektovan kao posledica metalimnionskog cvetanja *Planktothrix rubescens*. Dinamika ukupne biomase perifitona (DM) je bila najosetljivija u odnosu na metalimnionsko cvetanje *P. rubescens*. Naši rezultati sugerišu da je promena plovnosti krupnih filamenata *P. rubescens* imala negativan uticaj i na kolonizaciju i na održanje zajednice u već razvijenom biofilmu.

3. U kvalitativnoj analizi perifitona Savskog jezera detektovano je 203 taksona cijanobakterija i algi iz 6 razdela: Cyanobacteria, Bacillariophyta, Chlorophyta, Chrysophyta, Dinophyta i Euglenophyta. Najveći diverzitet zabeležen je u okviru silikatnih algi, ali su značajno bile zastupljene i cijanobakterije i zelene alge. Takson *Stauroneis balatonis* zabeležen je u Savskom jezeru prvi put u Srbiji. Taksonomski sastav zajednice perifitona u Savskom jezeru značajno zavisi od tipa podloge, pri čemu se razlika prvenstveno ispoljava između inertnih (staklo, keramika, kamen) i drvenih (organskih) podloga. Naši rezultati ukazali su na potencijalni aspekt supstrat specifičnosti perifitonskih algi u pogledu brojnosti (*Pseudanabaena papillaterminata* dominira na vrbi, dok na svim ostalim podlogama dominira *Mougeotia* sp.).

U perifitonu razvijenom u jezeru Vrutci zabeleženo je ukupno 111 taksona cijanobakterija i algi iz 6 razdela: Cyanobacteria, Bacillariophyta, Chlorophyta, Chrysophyta, Dinophyta i Euglenophyta. Ukupan diverzitet je bio mali, generalno govoreći. Silikatne alge imale su najveću raznovrsnost, pri čemu je zabeleženo prisustvo 19 taksona koji se nalaze na nemačkoj Crvenoj listi silikatnih algi. *Aneumastus stroesei* predstavlja prvi nalaz ove vrste, ali i roda *Aneumastus* u Srbiji. Prisustvo taksona cijanobakterija i algi u perifitonu u jezeru Vrutci, u najvećoj meri bilo je određeno gradijentom dubine. Uticaj metalimnionskog cvetanja *P. rubescens* odrazio su se i na taksonomsku strukturu perifitona, prvenstveno u metalimnionu, kroz odsustvo taksona *Mougeotia* sp. i proliferaciju FeOB, što ukazuje na potencijal *P. rubescens* da inhibira kompetitore za resurse u istoj ekološkoj niši.

4. Eksponencijalna faza rasta biomase u procesu kolonizacije trajala je tri nedelje u Savskom jezeru, na svim podlogama i svim dubinama, a usledila je faza fluktuacije do kraja eksperimentalnog perioda. U odnosu na trajanje faze kolonizacije, specifičnost u pogledu različitih podloga nije se ispoljila. Ipak, dinamika diverziteta tokom kolonizacije i sukcesije je, ponovo, jasno podelila drvene i inertne podloge. Ekomorfološka grupa niskog profila imala je vodeću ulogu i u kolonizaciji i u kasnijim sukcesionim stadijumima na inertnim podlogama, dok su druge životne forme bile zastupljene na drvenim podlogama. Sukcesioni putevi i obrasci su bili vrlo specifični za svaki tip podloge ponaosob.

VI ZAKLJUČCI

U jezeru Vrutci kolonizaciju, ali i sukcesiju na većim dubinama inkubacije (8 m i 12 m) obeležio je značajan udeo planktonskih silikatnih algi. Udeo filamentoznih cijanobakterija u zajednici bio je konstantan i relativno veliki u metalimnionskim uzorcima, delom zbog osobine ove životne forme da se javlja u kasnijim stadijumima sukcesije, kao dobar kompetitor u biofilmu, a delom i zbog uticaja *P. rubescens* koji je i sam činio značajnu komponentu biofilma na ovim dubinama. Vrednosti indeksa diverziteta u obe serije uzoraka u jezeru Vrutci bile su relativno niske. Uočljiv je trend opadanja vrednosti indeksa diverziteta sa gradijentom dubine.

5. AI indeks u Savskom jezeru pokazao se indikativnim samo na samom vrhuncu ekspanzionalne faze rasta biomase u procesu kolonizacije. Uticaj dubine inkubacije bio je evidentan samo na staklenoj podlozi. Inertne (staklo i keramika) i drvene (vrba i tisa) podloge, jasno su se diferencirale na osnovu trofičke strukture perifitona, pri čemu je autotrofna komponenta preferirala inertne (prvenstveno staklenu podlogu), a heterotrofna drvene podloge. Na osnovu Lakatoš indeksa, zajednice perifitona u Savskom jezeru imale su pretežno nisku biomasu, neorgansko-organski sastav i bile su heterotrofno-autotrofnog tipa.

Vrednosti AI za uzorke perifitona razvijenog u jezeru Vrutci gotovo konstantno su ukazivale na heterotrofnu prirodu biofilma. Udeo autotrofne komponente u biofilmu bio je značajan samo u periodu usporene kolonizacije i gubitka biomase u uzorcima perifitona, koji smo povezali sa promenom plovnosti populacije *P. rubescens* u susret površinskom cvetanju. Rezultati Lakatoš indeksa za perifiton razvijen u jezeru Vrutci ukazuju da je ukupna biomasa niska, da struktura varira od potpuno neorganske do neorgansko-organske, a da u sastavu zajednice vrlo retko značajno učestvuje i autotrofna, a uglavnom preovladava heterotrofna komponenta.

6. Sveukupno posmatrano, struktura zajednice silikatnih algi sa kamena iz Savskog jezera verno oslikava pretežno mezo do eutrofan status ustanovljen Karlsonovim indeksom i ukazuje na nizak stepen organskog opterećenja u ovom ekosistemu. IPS i TDIL dijametrični indeksi za epilitsku zajednicu, kao najrelevantniji s obzirom na

VI ZAKLJUČCI

zakonsku regulativu i prilagođenost indeksa jezerskim ekosistemima, bili su ujednačeni i ukazivali na dobar kvalitet vode. Savsko jezero je tokom perioda istraživanja pripadalo II klasi ekološkog potencijala. Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi iz perifitona sa veštačkih podloga iz Savskog jezera ukazala je da na staklenim i na keramičkim podlogama dominira takson *Achnanthydium minutissimum*, kao i na kamenu. Na drvenim podlogama u toj ulozi najčešće su se nalazili taksoni *Encyonopsis microcephala*, *Encyonopsis subminuta* i *Cymbella affiniformis*. Vrednosti indeksa diverziteta zajednice silikatnih algi su bile niže na veštačkim podlogama u odnosu na zajednicu sa kamena. TDIL indeks imao je ujednačene vrednosti i na svim podlogama i na kamenu - voda Savskog jezera je dobrog kvaliteta, što ukazuje da TDIL indeks ima snažan i pouzdan indikacioni potencijal u jezerskim ekosistemima bez obzira na tip podloge.

Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi iz perifitona sa veštačkih podloga iz jezera Vrutci pokazala je da se na mestu dominantnog taksona u obe serije smenjuju *Achnanthydium caledonicum* i *Pantocsekiella ocellata*, dok se kao subdominantni najčešće javljaju *Achnanthydium minutissimum* i *Melosira varians*. Vrednosti indeksa diverziteta i ujednačenosti zajednice silikatnih algi bile su relativno visoke, za razliku od istih matrica dobijenih na osnovu celokupne zajednice cijanobakterija i algi. TDIL indeks pokazao se kao najstabilniji i najobjektivniji u proceni kvaliteta vode jezera Vrutci i konstantno je ukazivao na dobar kvalitet vode. Na osnovu IPS dijametnog indeksa jezero Vrutci je tokom perioda istraživanja pripadalo II klasi ekološkog potencijala.

7. Stopa rasta biomase perifitona u Savskom jezeru primarno je bila određena koncentracijom nutrijenata u vodi, kada je svetlosni režim povoljan. Dubina inkubacije na 50 cm, kao i staklena veštačka podloga, najbolji su izbor kod potencijalnog korišćenja netaksonomskih karakteristika perifitona u biomonitoringu. Zajednice razvijene na obe drvene podloge bile su manje osetljive na faktore organskog opterećenja ekosistema, u odnosu na zajednice razvijene na staklu i keramici. Na osnovu naših rezultata i literaturnih podataka, možemo zaključiti da je perifitonska zajednica razvijena na inertnim podlogama, kakve su staklo i keramika, osetljivija na

fine promene ekoloških faktora, kao i da predstavlja realističniji odraz kompleksnih promena u životnoj sredini. Analiza brojnosti silikatnih algi na kamenu iz Savskog jezera u odnosu na sredinske parametre izdvojila je tri grupe silikatnih algi, u skladu sa trofičkim i saprobnim statusom ekosistema i sukcesionim stadijumom zajednice perifitona. Analiza abundance silikatnih algi sa veštačkih podloga ukazala je na jasnu diferencijaciju inertnih i drvenih podloga. Ista analiza ukazala je da porast trofičnosti i organskog opterećenja negativno utiču na abudancu *Achnanthydium minutissimum*.

Koncentracija kiseonika, pH, temperatura vode i provodljivost su faktori koji su najznačajnije uticali na razvoj biomase perifitona u jezeru Vrutci. Statistička analiza potvrdila je zavisnost zastupljenosti Chlorophyta od svetlosnog režima, dok su silikatne alge i cijanobakterije pokazale viši stepen tolerancije na nedostatak svetlosti. Statističkom analizom odnosa brojnosti silikatnih algi i sredinskih faktora, ustanovili smo razdvajanje CiS i MiS serije prema pH, temperaturi, TOC-u, providnosti i dubini inkubacije. Ova analiza ukazala je na jasan dubinski gradijent eko-morfoloških grupa: u površinskim slojevima dominirali su raznorodni predstavnici grupe niskog profila, dok su na većim dubinama dominirali predstavnici grupe planktonskih silikatnih algi.

8. Uticaj dubine inkubacije i različitih tipova veštačkih podloga odrazio se na čitav niz parametara perifitona: na dinamiku stope rasta biomase, na trofički i taksonomski sastav celokupne zajednice, kao i na taksonomski sastav zajednice silikatnih algi i dijaminne indekse u Savskom jezeru. Efekat dubine inkubacije mogao se jasno sagledati samo u pogledu precizno merenih netaksonomskih parametara, dok su taksonomski parametri prevashodno bili određeni tipom podloge. Naši rezultati ukazuju da su dubina inkubacije na 50 cm, kao i staklena veštačka podloga, najbolji izbor kod potencijalnog korišćenja netaksonomskih karakteristika perifitona u biomonitoringu. Perifitonska zajednica cijanobakterija i algi razvijena na inertnim podlogama, kakve su staklo i keramika, osetljivija je na fine promene ekoloških faktora i predstavlja realističniji odraz promena u životnoj sredini. Na diferencijaciju i poželjniju upotrebu inertnih podloga u biomonitoringu, naspram drvenih upućuje i struktura zajednice silikatnih algi. Samo TDIL indeks imao je ujednačene vrednosti na svim podlogama i na kamenu, što

upućuje na pouzdan indikacioni potencijal ovog indeksa u jezerskim ekosistemima, nezavisno od tipa podloge.

9. Metalimnionsko cvetanje *P. rubescens* značajno se odrazilo na različite aspekte perifitona razvijenog na staklenoj veštačkoj podlozi, ali i na karakteristike vode u jezeru Vrutci. U našoj studiji, fenomen taloženja kalcita prvi put je detektovan kao posledica metalimnionskog cvetanja *P. rubescens*, što se najznačajnije odrazilo na kasniju dinamiku DM, ali i Chl *a* i AFDM. Naši rezultati sugerišu da su i proces kolonizacije i održivost zajednice u već razvijenom biofilmu, bili osetljivi na promenu plovnosti krupnih filamenta *P. rubescens*. Uticaj metalimnionskog cvetanja *P. rubescens* odrazio se i na taksonomsku strukturu perifitona, prvenstveno u metalimnionu. Naspram svih negativnih efekata *P. rubescens*, fenomen zajednice silikatnih algi iz perifitona razvijenog u jezeru Vrutci jeste detekcija 19 taksona koji se nalaze na nemačkoj Crvenoj listi silikatnih algi. Zabeleženi disparitet u ukupnom i divezitetu zajednice silikatnih algi, potencijalno ukazuje i na viši stepen tolerancije silikatnih algi na prisustvo *P. rubescens*, u poređenju sa ostalim taksonima.

1 Literatura

1. Ahn, C.H., Song, H.M., Lee, S., Oh, J.H., Ahn, H., Park, J.R., Lee, J.M. and Joo, J.C. (2013): Effects of water velocity and specific surface area on filamentous periphyton biomass in an artificial stream mesocosm. *Water*, 5(4), 1723-1740.
2. Albay, M. and Akcaalan, R. (2008): Effects of water quality and hydrologic drivers on periphyton colonization on *Sparganium erectum* in two Turkish lakes with different mixing regimes. *Environmental Monitoring and Assessment*, 146(1), 171-181.
3. Algarte, V.M., Siqueira, T., Landeiro, V.L., Rodrigues, L., Bonecker, C.C., Rodrigues, L.C., Santana, N.F., Thomaz, S.M. and Bini, L.M. (2017): Main predictors of periphyton species richness depend on adherence strategy and cell size. *Plos One*, 12(7), e0181720.
4. Almodovar, A, Nicola, G.G. and Nuevo, M. (2004): Effects of a bloom of *Planktothrix rubescens* on the fish community of a Spanish reservoir. *Limnetica*, 23(1), 167-178.
5. Aloï, J. E. (1990): A critical review of recent freshwater periphyton field methods. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 47(3), 656-670.
6. APHA (1995): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 19th Edition. Washington, DC: American Public Health Association.
7. Azim, M.E. and Asaeda, T. (2005): Periphyton structure, diversity and colonization. In: Azim, M.E., Verdegem, M.C.J., van Dam, A.A., Beberidge, M.C.M. (eds.), *Periphyton: Ecology, Exploitation and Management*. Cambridge, CABI Publishing.
8. Azim, M.E., Beberidge, M.C.M., van Dam, A.A. and Verdegem, M.C.J. (2005a): Periphyton and aquatic production: an introduction. In: Azim, M.E., Verdegem, M.C.J., van Dam, A.A., Beberidge, M.C.M. (eds.), *Periphyton: Ecology, Exploitation and Management*. Cambridge, CABI Publishing.

VII LITERATURA

9. Azim, M.E., Verdegem, M.C.J., van Dam, A.A., Beveridge, M.C.M. (2005b): Periphyton: Ecology, exploitation and management. Cambridge: CABI Publishing.
10. Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D. and Stribling, J.B. (1999): Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, 2nd edition. Washington, D.C., U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water: EPA 841-B-99-002
11. Baumgartner, L.K., Reid, R.P., Dupraz, C., Decho, A.W., Buckley, D., Spear, J., Przekop, K.M. and Visschera, P.T. (2006): Sulfate reducing bacteria in microbial mats: changing paradigms, new discoveries. *Sedimentary Geology*, 185(3-4), 131-145.
12. B-Béres, V., Lukács, Á., Török, P., Kókai, Z., Novák, Z., T-Krasznai, E., Tóthmérész, B., Bácsi, I. (2016): Combined eco-morphological functional groups are reliable indicators of colonisation processes of benthic diatom assemblages in a lowland stream. *Ecological Indicators*, 64, 31-38.
13. Bellinger, B.J., Gretz M.R., Domozych D.S., Kiemle S.N. and Hagerthey S.E. (2010): Composition of extracellular polymeric substances from periphyton assemblages in the Florida Everglades. *Journal of Phycology*, 46 (3), 484-496.
14. Bennion, H., Sayer, C., Tibby, J., Carrick, H. (2010): Diatoms as indicators of environmental change in shallow lakes. In: Stoermer EF, Smol JP (eds), *The diatoms: applications for the environmental and earth sciences*, 2nd ed. Cambridge, Cambridge University Press.
15. Biggs, B. J. F. (1988): Artificial substrate exposure times for periphyton biomass estimates in rivers. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 22:4, 507-515.
16. Biggs, B. J. F. (1996): Patterns in Benthic Algae of Streams. In: Stevenson, R.J., Bothwell, M.L., Lowe, R.L. (eds.), *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*. San Diego, CA, Academic Press.

VII LITERATURA

17. Biggs, B.J.F and Kilroy, C. (2000): Stream Periphyton Monitoring Manual. Christchurch, New Zealand. The New Zealand Ministry for the Environment. NIWA.
18. Biggs, B.J.F., Stevenson, R.J. and Lowe, R. L. (1998): A habitat matrix conceptual model for stream periphyton. *Archiv für Hydrobiologie*, 143(1), 21-56.
19. Blaženčić, J. (1995): Floristic characteristics of the macrophytic vegetation in Lake Savsko near Belgrade (Serbia, Yugoslavia). *Bulletin of the Institute of Botany and Botanical Garden Belgrade*, 29, 167-173.
20. Bloom, J.F., Robinson, J.A. and Juttner, F. (2001): High grazer toxicity of [D–Asp(3), (E)–Dhb(7)]microcystin–RR of *Planktothrix rubescens* as compared to different microcystins. *Toxicon*, 39(12), 1923-1932.
21. Blue Flag, oficijelni sajt (2018): <http://www.blueflag.global/all-bf-sites/>, pristupljeno januara 2018.
22. Borduqui, M. and Ferragut, C. (2012): Factors determining periphytic algae succession in a tropical hypereutrophic reservoir. *Hydrobiologia*, 683(1), 109-122.
23. Borduqui, M., Ferragut, C. and Bicudo, C.E.M. (2008): Chemical composition and taxonomic structure vertical and seasonal variation of periphyton community in a shallow hypereutrophic reservoir (Garças Reservoir, São Paulo, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 20(4), 381-392.
24. Bormans, M., Maršálek, B. and Jančula, D. (2015): Controlling internal phosphorus loading in lakes by physical methods to reduce cyanobacterial blooms: a review. *Aquatic Ecology*, 50(3), 407-422.
25. Carlson, R.E. (1977): A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22, 361-369.
26. Carlson, R.E. and Simpson, J.T. (1996): A coordinator's guide to volunteer lake monitoring methods. Madison, North American Lake Management Society.

27. Casartelli, M.R., Lavagnolli, G.J. and Ferragut, C. (2016): Periphyton biomass accrual rate changes over the colonization process in a shallow mesotrophic reservoir. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 28, e9.
28. Cattaneo, A. (1993): Size spectra of benthic communities in Laurentian streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 50(12), 2659-2666.
29. Cattaneo, A. and Mousseau, B. (1995): Empirical analysis of the removal rate of periphyton by grazers. *Oecologia*, 103(2), 249-64.
30. Cattaneo, A. and Amireault, M.C. (1992): How artificial are artificial substrata for periphyton? *Journal of the North American Benthological Society*, 11(2), 244-256.
31. Cattaneo, A., Kerimian, T., Roberge, M. and Marty, J. (1997): Periphyton distribution and abundance on substrata of different size along a gradient of stream trophity. *Hydrobiologia*, 354(1), 101-110.
32. Chételat, J., Pick, F.R., Morin, A. and Hamilton, P.B. (1999): Periphyton bio-mass and community composition in rivers of different trophic status. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56, 560-569.
33. Coesel, P.F.M. (1996): Biogeography of desmids. *Hydrobiologia* 336:41-53.
34. Coesel, P.F.M. and Meesters, J. (2007): Desmids of the Lowlands. Mesotaeniaceae and Desmidaceae of the European Lowlands. Zeist: KNNV Publishing.
35. Collins, G.B. and Weber, C.I. (1978): Phycopcriphyton(algae) as indicators of water quality. *Transactions of the American Microscopical Society*, 97(1), 36-43.
36. Cox, E. J. (2003): *Placoneis* Mereschkowsky (Bacillariophyta) revisited: resolution of several typification and nomenclatural problems, including the generitype. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 141: 53-83.
37. Dahl, J. and Greenberg, L. (1999): Effects of prey dispersal on predator-prey interactions in streams, *Freshwater Biology*, 41, 771-780.

38. Danilov, R.A. and Ekelund, N.G.A. (2001): Comparison of usefulness of three types of artificial substrata (glass, wood, and plastic) when studying settlement patterns of periphyton in lakes of different trophic status. *Journal of Microbiological Methods*, 45(3), 167-170.
39. Debenest, T., Pinell, E., Coste, M., Silvestre, J., Mazzella, N., Madigou, C., Delmas, F. (2009): Sensitivity of freshwater periphytic diatoms to agricultural herbicides. *Aquatic Toxicology*, 93 (1), 11-17.
40. DeNicola D.M., Eyto E., Wemaere A. and Irvine K. (2006): Periphyton response to nutrient addition in 3 lakes of different benthic productivity. *Journal of the North American Benthological Society*, 25(3), 616-631.
41. DeNicola, D.M. (1996): Periphyton responses to temperature at different ecological levels. In: Stevenson, R.J., Bothwell, M.L., Lowe, R.L. (eds.), *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*. San Diego, CA, Academic Press.
42. DeNicola, D.M. and Kelly, M.G. (2014): Role of periphyton in ecological assessment of lakes. *Freshwater Science*, 33(2), 619-638.
43. Dittrich, M. and Koschel, R. (2002): Interactions between calcite precipitation (natural and artificial) and phosphorus cycle in the hardwater lake. *Hydrobiologia*, 469(1-3), 49-57.
44. Dittrich, M. and Obst, M. (2004): Are picoplankton responsible for calcite precipitation in lakes? *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 33(8), 559-564.
45. Dokulil, M. and Teubner, K. (2012): Deep living *Planktothrix rubescens* modulated by environmental constraints and climate forcing. *Hydrobiologia*, 698(1), 29-46.
46. Dokulil, M.T. (2014): Impact of climate warming on European inland waters. *Inland Waters*, 4(1), 27-40.
47. dos Santos, T.R. and Ferragut, C. (2013): The successional phases of a periphytic algal community in a shallow tropical reservoir during the dry and rainy seasons. *Limnetica*, 32, 337-352.

48. Douterelo, I., Perona, E. and Mateo, P. (2004): Use of cyanobacteria to assess water quality in running waters. *Environmental Pollution*, 127, 377-84.
49. Dunck, B., Rodrigues, L. and Bicudo, D.C. (2015): Functional diversity and functional traits of periphytic algae during a short-term successional process in a Neotropical floodplain lake, *Brazilian Journal of Biology*, 75(3), 587-597.
50. Eminson, D. and Moss, B. (1980): The composition and ecology of periphyton communities in freshwaters. *British Phycological Journal*, 15(4), 429-446.
51. EN 15204 (2006): Water Quality - Guidance Standard on the Enumeration of Phytoplankton using Inverted Microscopy (Utermöhl Technique). Brussels, European Committee for Standardization.
52. Ernst, B., Hoeger, S.J., O'Brien, E. and Dietrich, D.R. (2009): Abundance and toxicity of *Planktothrix rubescens* in the pre-alpine Lake Ammersee, Germany. *Harmful Algae*, 8(2), 329-342.
53. Ettl, H. (1978): Xanthophyceae. 1. Teil. In: Ettl, H., Gerloff, J. and Heynig, H. (eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, 3. Gustav Fischer Verlag, Jena.
54. Ettl, H. (1983): Chlorophyta I, Phytomonadina. In: Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. and Mollenhauer, D. (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, 9. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York.
55. Ettl, H. and Gärtner, G. (1988): Chlorophyta II, Tetrasporales, Chlorococcales, Gloeodendrales. In: Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. and Mollenhauer, D. (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, 10. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York.
56. Fastner, J., Neumann, U., Wirsing, B., Weckesser, J., Wiedner, C., Nixdorf, B. and Chorus, I. (1999): Microcystins (Hepatotoxic Heptapeptides) in German fresh water bodies. *Environmental Toxicology*, 14(1), 13-22.
57. Ferragut, C. and Bicudo, D.C. (2012): Effect of N and P enrichment on periphytic algal community succession in a tropical oligotrophic reservoir. *Limnology*, 13(1), 131-141.

VII LITERATURA

58. Fleming, E.J., Cetinić, I., Chan, C.S., Whitney King, D. and Emerson, D. (2014): Ecological succession among iron-oxidizing bacteria. *The ISME Journal, Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology*, 8(4), 804-815.
59. Foundation for environmental education, oficijelni sajt (2018): <http://www.fee.global/blue-flag/>, pristupljeno januara 2018.
60. França, R.C.S., Lopes, M.R.M. and Ferragut, C. (2011): Structural and successional variability of periphytic algal community in a Amazonian lake during the dry and rainy season (Rio Branco, Acre). *Acta Amazonica*, 41, 257-266.
61. Gaiser E. (2008): Periphyton as an indicator of restoration in the Florida Everglades. *Ecological Indicators*, 9(6), 31-45.
62. Gallina, N., Beniston, M., Jacquet, S. (2017): Estimating future cyanobacterial occurrence and importance in lakes: a case study with *Planktothrix rubescens* in Lake Geneva. *Aquatic Sciences*, 79(2), 249-263.
63. Glushchenko, A., Kulikovskiy, M., Okhapkin, A., Kociolek, J.P. (2017): *Aneumastus laosica* sp. nov. and *A. genkalii* sp. nov. - two new diatom species from Laos (Southeast Asia) with comments on the biogeography of the genus. *Cryptogamie Algologie*, 38(3), 1-17.
64. Godwin, S. C., Jones, S. E., Weidel, B. C. and Solomon. C. T. (2014): Dissolved organic carbon concentration controls benthic primary production: Results from in situ chambers in north-temperate lakes. *Limnology and Oceanography*, 59(6), 2112-2120.
65. Goldsborough, L.G., McDougal, R.L. and North, A.K. (2005): Periphyton in freshwater lakes and wetlands. In: Azim, M.E., Verdegem, M.C.J., van Dam, A.A. and Beberidge, M.C.M. (eds.), *Periphyton: Ecology, Exploitation and Management*. Cambridge, CABI Publishing.
66. Gottschalk, S. and Kahlert, M. (2012): Shifts in taxonomical and guild composition of littoral diatom assemblages along environmental gradients. *Hydrobiologia*, 694(1), 41-56.

VII LITERATURA

67. Gradski zavod za javno zdravlje (2013): Environmental quality of the Belgrade city in 2012. Belgrade. Institute for public health Belgrade, Regional environmental center and Belgrade city administration, Secretariat for Environmental Protection.
68. Grünert, U.E. (2015): Responses in growth, phenology and vertical distribution of the calcite-loricated phytoflagellate *Phacotus lenticularis* (Chlorophyta) to climate related changes of the lake water carbonate chemistry and temperature. PhD thesis Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Technischen Universität München.
69. Guasch, H. and Sabater, S. (1998): Light history influences the sensitivity to atrazine in periphytic algae. *Journal of Phycology*, 34(2), 233-241.
70. Guildford, S.J. and Hecky, R.E. (2000): Total nitrogen, total phosphorus, and nutrient limitation in lakes and oceans: Is there a common relationship? *Limnology and Oceanography*, 45(6), 1213-1223.
71. Guiry, M.D. and Guiry, G.M. (2018): *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org> ; searched on 04 March 2018.
72. Hansson, L.A. (1992): Factors regulating periphytic algal biomass. *Limnology and Oceanography*, 37(2), 322-328.
73. Havens, K. E. (2008): Cyanobacteria blooms: effects on aquatic ecosystems. In: Hudnell, H.K. (ed.), *Cyanobacterial Harmful Algal Blooms: State of the Science and Research Needs*, *Advances in Experimental Medicine and Biology*, vol. 619. New York, USA, Springer Press.
74. Hedrich, S., Schlömann, M. and Johnson, D.B. (2011): The iron oxidizing proteobacteria. *Microbiology*, 157, 1551-1564.
75. Hill, B.H., Willingham, W.T., Parrish, L.P. and McFarland, B.H. (2000): Periphyton responses to elevated metal concentrations in a Rocky Mountain stream. *Hydrobiologia*, 428(1), 161-169.

VII LITERATURA

76. Hill, W.R. (1996): Effects of light. In: Stevenson, R.J., Bothwell, M.L., Lowe, R.L. (eds.), *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*. San Diego, CA, Academic Press.
77. Hillebrand, H. and Sommer, U. (2000): Diversity of benthic microalgae in response to colonization time and eutrophication. *Aquatic Botany*, 67(3), 221-236.
78. Hillebrand, H. and Kahlert, M. (2001): Effect of grazing and nutrient supply on periphyton biomass and nutrient stoichiometry in habitats of different productivity. *Limnology and Oceanography*, 46(8), 1881-1898.
79. Hillebrand, H., Dürselen, C. D., Kirschtel, D., Pollinger, D. and Zohary, T. (1999): Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology*, 35(2), 403-424.
80. Hofmann, G., Werum, M. and Lange-Bertalot, H. (2013): *Diatomeen im Süßwasser - Benthos von Mitteleuropa*. Königstein, Koeltz Scientific Books.
81. Huber-Pestalozzi, G., Komarek, J. and Fott, B. (1983): *Das Phytoplankton des Süßwassers, 7. Teil, 1. Hälfte. Chlorophyceae, Ordnung: Chlorococcales*. Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
82. Isheva, T., Ivanov, P. (2016): Epilithic diatom flora from sub-Mediterranean intermittent rivers in Bulgaria during two hydrological periods. *Botanica Serbica*, 40, 153-160.
83. ISO 10260 (1992): *Water Quality - Measurement of biochemical parameters - Spectrometric determination of the chlorophyll-a concentrations*. Geneva, International Organization for Standardization.
84. Jacquet, S., Briand, J.F., Leboulanger, C., Avois-Jacquet, C., Oberhaus, L., Tassin, B., Vinçon-Leite, B., Paolini, G., Druart, J.C., Anneville, O. and Humbert, J.H. (2005): The proliferation of the toxic cyanobacterium *Planktothrix rubescens* following restoration of the largest natural french lake (Lac du Bourget). *Harmful Algae*, 4(4), 651-672.

85. Jacquet, S., Kerimoglu, O., Rimet, F., Paolini, G. and Anneville, O. (2014): Cyanobacterial bloom termination: the disappearance of *Planktothrix rubescens* from Lake Bourget (France) after restoration. *Freshwater Biology*, 59(12), 2472-2487.
86. Janković, M.M. and Janković, J.M. (1987): Contribution to the knowledge and solution of eutrophication and overgrowing problem of the Sava Lake (Ada Ciganlija) near Beograd. *Bulletin of the Institute of Botany and Botanical Garden Belgrade*, 16, 1-41.
87. Jobgen, A.M., Palm, A. and Melkonian, M. (2004): Phosphorus removal from eutrophic lakes using periphyton on submerged artificial substrata. *Hydrobiologia*, 528(1-3), 123-142.
88. John, D. M., Whitton, B. A. and Brook, A. J. (2002): The freshwater algal flora of the British Isles, An identification guide to freshwater and terrestrial algae. Cambridge, UK, Cambridge University Press in association with The Natural History Museum, London and the British Phycological Society.
89. Jones, J.I., Moss, B. and Young, J.O. (1998): The interactions between periphyton, nonmolluscan invertebrates, and fish in standing freshwaters. In: Jeppesen, E., Søndergaard, M., Søndergaard, M., Christoffersen, K. (eds.), *The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes*. New York, USA, Springer-Verlag.
90. Jovanović, J., Trbojević, I., Subakov Simić, G., Popović, S., Predojević, D., Blagojević, A. and Karadžić, V. (2017): The effect of meteorological and chemical parameters on summer phytoplankton assemblages in an urban recreational lake. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 418, 48.
91. Kadlubowska, J.Z. (1984): Conjugatophyceae I, Chlorophyta VIII - Zygnemales, In Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. and Mollenhauer, D. (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 16. Stuttgart and New York, Gustav Fischer Verlag.
92. Kanavillil, N. and Kurissery, S. (2013): Temporal variation of Periphyton communities: A 3-Year Study from Northwest Lake Simcoe, Ontario, Canada. *Inland Waters*, 3(4), 473-486.

VII LITERATURA

93. Kelly, M.G., Juggins, S., Bennion, H., Burgess, A., Yallop, M., Hirst, H., King, L., Jamieson, J., Guthrie, R. and Rippey, B. (2007): Use of diatoms for evaluating ecological status in UK freshwaters. Environment Agency Science Report No. SC030103. Bristol, Environment Agency.
94. Kelly, M.G., Juggins, S., Guthrie, R., Pritchard, S., Jamieson, J., Rippey, B., Hirst, H. and Yallop, M. (2008): Assessment of ecological status in UK rivers using diatoms. *Freshwater Biology*, 53(2), 403-422.
95. Kilroy, C., Biggs, B. and Death, R. (2008): A periphyton monitoring plan for the ManawatuWanganui Region. Christchurch: NIWA, client report: CHC2008-03.
96. Kiss, M.K., Lakatos, G., Borics, G., Gidó, Z. and Deák, C. (2003): Littoral macrophyte-periphyton complexes in two Hungarian shallow waters. *Hydrobiologia*, 506(1), 541-548.
97. Kitner, M. and Poulícková, A. (2003): Littoral diatoms as indicators for eutrophication of shallow lakes. *Hydrobiologia* 506-509, 519-524.
98. Kociolek, J. P. (2012): Diatoms of the Southern California Bight. Website available at http://dbmuseblade.colorado.edu/DiatomTwo/dscb_site/index.php.
99. Komárek J. and Anagnostidis K. (1998): Cyanoprokaryota 1. Teil Chroococcales. In Ettl H., Gärtner G., Heynig H. and Mollenhauer D. (eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1. Heidelberg and Berlin, Spektrum Akademischer Verlag.
100. Komárek J. and Anagnostidis K. (2005): Cyanoprokaryota 2. Teil: Oscillatoriales. In Büdel, B., Krienitz, L., Gärtner, G. and Schagerl, M. (eds), Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/2. Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag.
101. Komárek, J. (2013): Cyanoprokaryota 3. Teil/3rd Part: Heterocystous genera. In: Budel B., Gärtner G., Krienitz L. and Schagerl M. (eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa. Heidelberg, Springer Spektrum.

102. Kostić, D., Marijanović, P., Marijanović, M., Blagojević, A., Trbojević, I., Predojević, D., Subakov Simić, G., Vulić, D., Obradović, V. and Naunović, Z. (2016): Drivers of Phytoplankton Blooms in the Vrutci Reservoir During 2014-2015 and Implications for Water Supply and Management. *Water Research and Management*, 6(3), 3-12.
103. Kralj, K., Plenković -Moraj, A., Gligora, M., Primc-Habdija, B. and Šipoš, L. (2006): Structure of periphytic community on artificial substrata: influence of depth, slide orientation and colonization time in karstic Lake Visovacko, Croatia. *Hydrobiologia*, 560(1), 249-258.
104. Krammer, K. (1997a): Die cymbelloiden Diatomeen. Eine Monographie der weltweit bekannten Taxa. Teil 2: *Encyonema* part., *Encyonopsis* und *Cymbellopsis*. In Lange-Bertalot, H. and Kociolek, P. (eds.), *Bibliotheca Diatomologica* 37. Berlin and Stuttgart, J. Cramer.
105. Krammer, K. (1997b): Die cymbelloiden Diatomeen. Eine Monographie der weltweit bekannten Taxa. Teil 1. Allgemeines und *Encyonema* Part. *Bibliotheca Diatomologica* 36. Berlin and Stuttgart, J. Cramer.
106. Krammer, K. (2000): The genus *Pinnularia*. In Lange-Bertalot, H. (ed.), *Diatoms of Europe: Diatoms of European Inland Waters and comparable habitats*. Ruggell, Gantner Verlag.
107. Krammer, K. (2002): *Cymbella*. Vol. 3. In Lange-Bertalot, H. (ed.), *Diatoms of Europe: Diatoms of European Inland Waters and comparable habitats*. Ruggell, Gantner Verlag.
108. Krammer, K. (2003): *Cymbopleura*, *Delicata*, *Navicymbula*, *Gomphocymbellopsis*, *Afrocymbella*. In Lange-Bertalot, H. (ed.), *Diatoms of Europe: Diatoms of European Inland Waters and comparable habitats*. Ruggell, Gantner Verlag.
109. Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1986): Bacillariophyceae. 1. Teil: Naviculaceae. In Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. and Mollenhauer, D. (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 2/1. Jena, Gustav Fischer Verlag.

VII LITERATURA

110. Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1988): Bacillariophyceae. 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. and Mollenhauer, D. (eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/2. Stuttgart and Jena, Gustav Fischer Verlag.
111. Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1991): Bacillariophyceae. 4. Teil: Achnanthaceae. Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) und *Gomphonema*. In Ettl, H., Gartner, G., Gerloff, J., Heynig, H. and Mollenhauer, D. (eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/4. Stuttgart and New York, Gustav Fischer Verlag.
112. Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (2004): Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. and Mollenhauer, D. (eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/3. München, Elsevier GmbH.
113. Lakatos, G. (1989): Composition of reed periphyton (biotecton) in the Hungarian part of lake Fertő. Biologisches Forschungsinstitut für Burgenland, 71, 125-134.
114. Lane, C.M., Taffs, K.H. and Corfield, J.L. (2003): A comparison of diatom community structure on natural and artificial substrata. *Hydrobiologia*, 493(1), 65-79.
115. Lange-Bertalot, H. (1996): Rote Liste der limnischen Kieselalgen (Bacillariophyceae) Deutschlands. Schriftenreihe für Vegetationskunde 28, 633-677.
116. Lange-Bertalot, H. (2001): *Navicula* sensu stricto. 10 Genera Separated from *Navicula* sensu lato. *Frustulia*. Vol. 2. In Lange-Bertalot, H. (ed.), *Diatoms of Europe: Diatoms of European Inland Waters and comparable habitats*. Ruggell, Gantner Verlag.
117. Lange-Bertalot, H. and Metzeltin, D. (1996): Indicators of oligotrophy. 800 taxa representative of three ecologically distinct lake types, carbonate buffered Oligodystrophic weakly buffered soft water. *Iconographia Diatomologica* 2. Königstein, Germany, Koeltz Scientific.

- 118.Lecointe, C., Coste, M. and Prygiel, J. (1993): "Omnidia": software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. *Hydrobiologia*, 269-270(1), 509-513.
- 119.Lenzenweger, R. (1996): Desmidiaceenflora von Österreich, Teil 1. In: Kies, L. and Schnetter, R. (eds.), *Bibliotheca Phycologica* 101. J. Cramer, Berlin, Stuttgart.
- 120.Lenzenweger, R. (1997): Desmidiaceenflora von Österreich, Teil 2. In: Kies, L. and Schnetter, R. (eds.), *Bibliotheca Phycologica* 102. J. Cramer, Berlin, Stuttgart.
- 121.Lenzenweger, R. (1999): Desmidiaceenflora von Österreich, Teil 3. In: Kies, L. and Schnetter, R. (eds.), *Bibliotheca Phycologica* 104. J. Cramer, Berlin, Stuttgart.
- 122.Leoni, B., Marti, C.L., Imberger, J. and Garibaldi, L. (2014): Summer spatial variations in phytoplankton composition and biomass in surface waters of a warm-temperate, deep, oligoholomictic lake: Lake Iseo, Italy. *Inland Waters*, 4(3), 303-310.
- 123.Levkov, Z. (2009): *Amphora sensu lato*. In: Lange-Bertalot, H. (ed.), *Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats*, 5. Ruggell, Gantner Verlag.
- 124.Levkov, Z., Metzeltin, D. and Pavlov, A. (2013): *Luticola* and *Luticolopsis*. In: Lange-Bertalot, H. (ed.), *Diatoms of Europe: Diatoms of the European inland waters and comparable habitats*, 7. Königstein, Koeltz Scientific Books.
- 125.Levkov, Z., Mitic-Kopanja, D. and Reichardt, E. (2016a): The diatom genus *Gomphonema* in the Republic of Macedonia. In: Lange-Bertalot, H., (ed.), *Diatoms of Europe: Diatoms of the European inland waters and comparable habitats*, 8. Oberreifenberg, Koeltz Botanical Books.
- 126.Levkov, Z., Tofilovska, S., Jovanovska, E., Cvetkoska, A. and Metzeltin, D. (2016b): Revision of the *Stauroneis smithii* Grunow (Bacillariophyceae) species complex from Macedonia. *Botanica Serbica*, 40(2), 167-178.

VII LITERATURA

- 127.Liboriussen, L. (2003): Production, regulation and ecophysiology of periphyton in shallow freshwater lakes. PhD thesis. National Environmental Research Institute. Ministry of the Environment . Denmark.
- 128.Liboriussen, L. and Jeppesen, E. (2003): Temporal dynamics in epipelagic, pelagic and epiphytic algal production in a clear and a turbid shallow lake. *Freshwater Biology*, 48(3), 418-431.
- 129.Liboriussen, L. and Jeppesen, E. (2006): Structure, biomass, production and depth distribution of periphyton on artificial substratum in shallow lakes with contrasting nutrient concentrations. *Freshwater Biology*, 51(1), 95-109.
- 130.Loferski, J.R. (1999): Technologies for wood preservation in historic preservation. *Archives and Museum Informatics*, 13(3), 273-290.
- 131.Lowe, R. L. (1996): Periphyton patterns in lakes. In: Stevenson, R.J., Bothwell, M.L., Lowe, R.L. (eds.), *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*. San Diego, CA, Academic Press.
- 132.Lowe, R.L. and Pan, Y. (1996): Benthic algal communities as biological monitors. In: Stevenson, R.J., Bothwell, M.L., Lowe, R.L. (eds.), *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*. San Diego, CA, Academic Press.
- 133.Lowe, R.L., Kociolek, P., Johansen, J.R., Vijver, B.V.D., Lange-Bertalot, H. and Kopalová, K. (2014): *Humidophila* gen. nov., a new genus for a group of diatoms (Bacillariophyta) formerly within the genus *Diadlesmis*: species from Hawaii, including one new species. *Diatom Research*, 29(4), 351-60.
- 134.MacDonald, L.A., Balasubramaniam, A..M., Hall, R.I. and Wolfe, B.B. (2012): Developing biomonitoring protocols for shallow Arctic lakes using diatoms and artificial substrate samplers. *Hydrobiologia*, 683(1), 231-248.
- 135.Magurran, A.E. (1988): *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey, Princeton University Press.

136. Manganelli, M., Scardala, S., Stefanelli, M., Vichi, S., Mattei, D., Bogianni, S., Ceccarelli, P., Corradetti, E., Petrucci, I., Gemma, S., Testai, E. and Funari, E. (2010): Health risk evaluation associated to *Planktothrix rubescens*: an integrated approach to design tailored monitoring programs for human exposure to cyanotoxins. *Water Research*, 44(5), 1297-1306.
137. Margalef, R. (1972): Homage to Evelyn Hutchinson, or why is there an upper limit to diversity. *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*, 44, 211-235.
138. Marković, M. (2015): Model unapređenja ekološkog statusa zatvorenog sistema vodnih tela akumulacija. Doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka.
139. Martinović-Vitanović, V., Milankov, V. and Kalafatic, V. (2010): First record of freshwater bryozoans (Bryozoa: Phylactolaemata) in the aquatic invertebrate fauna of Serbia. *Limnologica*, 40(1), 73-81.
140. McCall, S.J., Hale, M.S., Smith, J.T., Read, D.S. and Bowes, M.J. (2017): Impacts of phosphorus concentration and light intensity on river periphyton biomass and community structure. *Hydrobiologia*, 792, 315-330.
141. McCormick, P.V. and Stevenson, R.J. (1998): Periphyton as a tool for ecological assessment and management in the Florida Everglades. *Journal of Phycology*, 34 (5), 726-33.
142. McCormick, P.V., O'Dell, M.B., Shuford, R.B.E., Backus, J.G. and Kennedy, W.C. (2001) Periphyton responses to experimental phosphorus enrichment in a subtropical wetland. *Aquatic Botany*, 71, 119-139.
143. Metzeltin, D., Lange-Beratalot, H. and García-Rodríguez, F. (2005): Diatoms of Uruguay compared with other taxa from South America and elsewhere. *Iconographia Diatomologica* 15. Ruggell, A.R.G. Gantner Verlag KG.

VII LITERATURA

144. Mičković, B., Nikčević, M., Grozdić, T., Pucar, M., Hegediš, A. and Gačić, Z. (2014): Ecological potential assessment of Sava Lake based on fish community composition: Preliminary results, *Water Research and Management*, 4(3), 21-25.
145. Mihaljević, M. and Žuna Pfeiffer, T. (2012): Colonization of periphyton algae in a temperate floodplain lake under a fluctuating spring hydrological regime. *Fundamental and Applied Limnology*, 180(1), 13-25.
146. Miho A. and Lange-Bertalot H. (2002): Some rare and apparently new diatoms from albania. Conference paper. 16. Deutschsprachiges Diatomologen Treffen (16.DDT) At: Innsbruck, Austria. DOI 10.13140/2.1.4383.3123.
147. Miller, A.G. and Colman, B. (1980): Evidence for HCO_3^- transport by the blue-green alga (cyanobacterium) *Coccochloris peniocyctis*. *Plant Physiology*, 65(2), 397-402.
148. Mrozińska, T. (1985): Chlorophyta VI, Oedogoniophyceae: Oedogoniales. In Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. and Mollenhauer, D. (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 14. Stuttgart and New York, Gustav Fischer Verlag.
149. Oberhaus, L., Briand, J.F. and Humbert, J.F. (2008): Allelopathic growth inhibition by the toxic bloom-forming cyanobacterium *Planktothrix rubescens*. *FEMS Microbiology Ecology*, 66(2), 243-249.
150. Oliveira, D.E, Ferragut, C. and Bicudo, D.C. (2010): Relationships between environmental factors, periphyton biomass and nutrient content in Garças Reservoir, a hypereutrophic tropical reservoir in southeastern Brazil. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 15(2), 129-137.
151. OMNIDIA, oficijelni sajt (2018): <http://omnidia.fr/en/features/>, pristupljeno januara 2018. godine.
152. Padisák, J., Hajnal, E., Naselli-Flores, L., Dokulil, M.T., Nöges, P. and Zohary, T. (2010): Convergence and divergence in organization of phytoplankton communities under various regimes of physical and biological control. *Hydrobiologia*, 639(1), 205-220.

153. Paerl, H.W. and Otten, T.G. (2013): Harmful cyanobacterial blooms: causes, consequences and controls. *Microbial Ecology*, 65(4), 995-1010.
154. Passy S.I. (2007): Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters. *Aquatic Botany*, 86 (2), 171-178.
155. Passy, S.I., Pan, Y. and Lowe, R.L. (1999): Ecology of the major periphytic diatom communities from the Mesta River, Bulgaria. *International Review of Hydrobiology*, 84(2), 129-174.
156. Passy, S.I. and Larson, C.A. (2011): Succession in stream biofilms is an environmentally driven gradient of stress tolerance. *Microbial Ecology*, 62, 414-424.
157. Pielou, E.C. (1969): *An introduction to mathematical ecology*. New York, Wiley-Interscience.
158. Pip, E. and Robinson, G.G.T. (1984): A comparison of algal periphyton composition on eleven species of submerged macrophytes. *Hydrobiological Bulletin*, 18(2), 109-118.
159. Popovský, J. and Pfiester, L.A. (1990): Dinophyceae (Dinoflagellida), In Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. and Mollenhauer, D. (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 6. Jena and Stuttgart, Gustav Fisher Verlag.
160. Poulickova, A., Duchoslav, M. and Dokulil, M. (2004): Littoral diatom assemblages as bioindicators of lake trophic status: a case study from perialpine lakes in Austria. *European Journal of Phycology*, 39 (2), 143-152.
161. Prygiel J. and Coste M. (2000): *Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomées NF T 90-354*. Agences de l'Eau-Cemagref.
162. Reichardt E. (1999): Zur Revision der Gattung *Gomphonema*. Die Arten um *G. affine/insigne*, *G. angustatum/micropus*, *G. acuminatum* sowie gomphonemoide Diatomeen aus dem Oberoligozän in Böhmen. *Iconographia Diatomologica* 8. Ruggell, A.R.G. Gantner Verlag K.G.

- 163.Reichardt, E. (1997): Taxonomische Revision des Artenkomplexes um *Gomphonema pumilum* (Bacillariophyceae). Nova Hedwigia, 65, 99-129.
- 164.Reichardt, E. (2001): Revision der Arten um *Gomphonema truncatum* und *G. capitatum*. In: Jahn, R., Kociolek, J.P., Witkowski, A. and Compere, P. (eds.), Lange-Bertalot-Festschrift. Ruggell, Gantner Verlag.
- 165.Republički hidrometeorološki zavod (RHMZ) (2015a): Annual Bulletin for Serbia, year 2014. Belgrade, Serbian Hydrometeorological Institute.
- 166.Republički hidrometeorološki zavod (RHMZ) (2015b): Seasonal Bulletin for Serbia, summer 2014. Belgrade, Serbian Hydrometeorological Institute.
- 167.Reynolds, C. S. (2006): The ecology of phytoplankton (ecology, biodiversity and conservation). Cambridge, Cambridge University Press.
- 168.Rimet F. (2012): Diatoms: an ecoregional indicator of nutrients, organic matter and micropollutants pollution. PhD thesis. Université de Grenoble.
- 169.Rimet, F. and Bouchez, A. (2012): Life-forms, cell-sizes and ecological guilds of diatoms in European rivers. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems 406, 01.
- 170.Rimet, F. and Bouchez, A., (2011): Use of diatom life-forms and ecological guilds to assess pesticide contamination in rivers: lotic mesocosm approaches. Ecological Indicators, 11, 489-499.
- 171.Rimet, F., Bouchez, A. and Montuelle, B. (2015): Benthic diatoms and phytoplankton to assess nutrients in a large lake: complementarity of their use in Lake Geneva (France Switzerland). Ecological Indicators, 53, 231-239.
- 172.Romanów, M. and Witek, Z. (2011): Periphyton dry mass, ash content, and chlorophyll content on natural substrata in three water bodies of different trophy. Oceanological and Hydrobiological Studies, 40(4), 64-70.
- 173.Ružička, J. (1981): Die Desmidiaceen Mitteleuropas. Band 1, 2. Lieferung. E. Schweizerbartsche Verlagbuchhandlung, Stuttgart.

- 174.Sabater, S., Gregory, S.V. and Sedell, J.R. (1998): Community dynamics and metabolism of benthic algae colonizing wood and rock substrata in a forest stream. *Journal of Phycology*, 34(4), 561-567.
- 175.Salmaso, N. (2002): Ecological patterns of phytoplankton assemblages in Lake Garda: Seasonal, spatial and historical features. *Journal of Limnology*, 61(1), 95-115.
- 176.Sanchez, M. L., Perez, G. L., Izaguirre, I. and Pizarro, H. (2013): Influence of underwater light climate on periphyton and phytoplankton communities in shallow lakes from the Pampa plain (Argentina) with contrasting steady states. *Journal of Limnology*, 72(1), 62-78.
- 177.Sand-Jensen, K. and Borum, J. (1991): Interactions among phytoplankton, periphyton, and macrophytes in temperate freshwaters and estuaries. *Aquatic Botany*, 41 (1-3), 137-76.
- 178.Schaumburg, J., Schranz, C., Hofmann, G., Stelzer, D., Schneider, S. and Schmedtje, U. (2004): Macrophytes and phytobenthos as indicators of ecological status in German lakes - a contribution to the implementation of the Water Framework Directive. *Limnologica*, 34, 302-14.
- 179.Schaumburg, J., Schranz, C., Stelzer, D. and Hofmann, G. (2007): Action instructions for the ecological evaluation of lakes for implementation of the EU Water Framework Directive: Makrophytes and Phytobenthos. Augsburg: Bavarian Environment Agency.
- 180.Scheffer, M., Hosper, S.H., Meijer, M-L., Moss, B., Jeppesen, E. (1993): Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends in Ecology & Evolution*, 8(8), 275-279.
- 181.Shevchenko, T.F. (2011): Distribution of periphyton algae of the Dnieper Reservoirs depending on the type of substratum. *Hydrobiological Journal*, 47(3), 3-13.

- 182.Schneck, F. and Melo, A.S. (2012): Hydrological disturbance overrides the effect of substratum roughness on the resistance and resilience of stream benthic algae. *Freshwater Biology*, 57, 1678-1688.
- 183.Scholz, O. and Boon, P. I. (1993): Biofilm development and extracellular enzyme activities on wood in billabongs of south-eastern Australia. *Freshwater Biology*, 30(3), 359-368.
- 184.Sekar, R., Venugopalan, V.P., Nandakumar, K., Nair, K.V.K. and Rao, V.N.R. (2004) Early stages of biofilm succession in a lentic freshwater environment. *Hydrobiologia*, 512(1), 97-108.
- 185.Shannon, C.E. and Weaver, W. (1949): The mathematical theory of communication. Urbana, University of Illinois Press.
- 186.Sladečkova, A. (1962): Limnological investigation methods for the periphyton ("Aufwuchs") community. *Botanical Reviews*, 28, 286-350.
- 187.Službeni glasnik Republike Srbije (Sl. glasnik RS) (2010): Pravilnik o utvrđivanju vodnih tela površinskih i podzemnih voda. 96/10.
- 188.Službeni glasnik Republike Srbije (Sl. glasnik RS) (2011): Pravilnik o parametrima ekološkog i hemijskog statusa površinskih voda i parametrima hemijskog i kvantitativnog statusa podzemnih voda. 74/11.
- 189.Službeni glasnik Republike Srbije (Sl. glasnik RS) (2012): Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje. 50/12.
- 190.Šmilauer, P. and Lepš, J. (2014): Multivariate analysis of ecological data using Canoco 5. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- 191.Spaulding, S.A., Lubinski, D.J. and Potapova, M. (2010): Diatoms of the United States. Website, available at <http://westerndiatoms.colorado.edu>.

VII LITERATURA

- 192.Spring, S. (2006): The genera *Leptothrix* and *Sphaerotilus*. In: Dworkin, M., Falkow, S., Rosenberg, E., Schleifer, K.H. and Stackebrandt, E., (eds), 3rd ed. Prokaryotes Vol. 5 Proteobacteria Alpha Beta Subclasses. New York, Springer Verlag.
- 193.Stancheva, R. and Sheath, R.G. (2016): Benthic soft-bodied algae as bioindicators of stream water quality. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, 417, 15.
- 194.Stanković, S. (2005): Jezera Srbije: Limnološka monografija. Beograd, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva.
- 195.Starmach, K. (1974). Cryptophyceae, Dinophyceae, Raphidophyceae. Tom 4. In: Starmach, K. and Sieminska, J. (eds.), Flora Slodkowodna Polski. Panstwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa-Krakow.
- 196.Starmach, K. (1983): Euglenophyta, Tom 3. In: Starmach, K. and Sieminska J. (eds), Flora Slodkowodna Polski. Warszawa-Krakow, Panstwowe Wydawnictwo Naukowe.
- 197.Starmach, K. (1985): Chrysophyceae und Haptophyceae. In Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. and Mollenhauer, D. (eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa 1. Stuttgart and New York, Gustav Fischer Verlag.
- 198.Štastný, J. (2010): Desmids (Conjugatophyceae, Viridiplantae) from the Czech Republic; new and rare taxa, distribution, ecology. Fottea, 10(1), 1-74.
- 199.Štastný, J. (2013): Unveiling hidden species diversity in desmids (Desmidiales, Viridiplantae). PhD. Thesis. Charles University in Prague, Faculty of Science.
- 200.Stenger-Kovács, C., Buczko, K., Hajnal, E. and Padišák, J. (2007): Epiphytic, littoral diatoms as bioindicators of shallow lake trophic status: Trophic Diatom Index for Lakes (TDIL) developed in Hungary. Hydrobiologia, 589, 141-54.

201. Stenger-Kovács, C., Lengyel, E., Crossetti, L.O., Üveges, V. and Padisák, J. (2013). Diatom ecological guilds as indicators of temporally changing stressors and disturbances in the small torna-stream, Hungary. *Ecological Indicators*, 24, 138-147.
202. Svirčev, Z., Tokodi, N. and Drobac, D. (2017): Review of 130 years of research on cyanobacteria in aquatic ecosystems in Serbia presented in a Serbian cyanobacterial database. *Advances in Oceanography and Limnology*, 8(1), 153-160.
203. Szilágyi, F., Ács, É., Borics, G., Halasi-Kovács, B., Juhász, P., Kiss, B., Kovács, T., Müller, Z., Lakatos, G., Padisák, J., Pomogyi, P., Stenger-Kovács, C., Szabó, K. É., Szalma E. and Tóthmérész, B. (2008): Application of water framework directive in Hungary: development of biological classification systems. *Water Science and Technology*, 58(11), 2117-2125.
204. Szlauer-Lukaszewska, A. (2007): Succession of periphyton developing on artificial substrate immersed in polysaprobic wastewater reservoir. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16(5), 753-762.
205. Tan, X., Zhang, Q., Burford, M. A., Sheldon, F. and Bunn, S. E. (2017): Benthic Diatom Based Indices for Water Quality Assessment in Two Subtropical Streams. *Frontiers in Microbiology*, 8, 601.
206. Tapolczai, K., Bouchez, A., Stenger-Kovács, C., Padisák, J. and Rimet, F. (2016): Trait-based ecological classifications for benthic algae: review and perspectives. *Hydrobiologia*, 776(1), 1-17.
207. Taylor, J. C., Archibald, C. G. M. and Harding, W. R. (2007): An illustrated guide to some common diatom species from South Africa. Pretoria, Water Research Commission.
208. Taylor, J. C., de la Rey, P. A. and van Rensburg L. (2005): Recommendations for the collection, preparation and enumeration of diatoms from riverine habitats for water quality monitoring in South Africa. *African Journal of Aquatic Sciences*, 30(1), 65-75.

209. ter Braak, C. J. F. and Šmilauer, P. (2012): Canoco reference manual and user's guide: software for ordination, version 5.0. Ithaca, USA: Microcomputer Power.
210. Trábert, Z., Kiss, K.Z., Várbíró, G., Dobosy, P., Grigorszky, I. and Ács, E. (2017): Comparison of the utility of a frequently used diatom index (IPS) and the diatom ecological guilds in the ecological status assessment of large rivers . *Fundamental and Applied Limnology*, 189(2), 87-103.
211. Trbojević, I., Jovanović, J., Kostić, D., Popović, S., Krizmanić, J., Karadžić, V. and Subakov Simić, G. (2017): Structure and succession of periphyton in an urban reservoir: artificial substrate specificity. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 46(4), 379-392.
212. Trbojević, I., Jovanović, J., Kostić, D., Popović, S., Predojević, D., Karadžić, V. and Subakov Simić, G. (2018): Periphyton Developed on Artificial Substrates: Effect of Substrate Type and Incubation Depth. *Russian Journal of Ecology*, 49(2), 135-142.
213. Utermöhl, H. (1958): Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitteilungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 9, 1-38.
214. Vadeboncoeur, Y. and Lodge, D.M. (2000): Periphyton production on wood and sediment: substratum-specific response to laboratory and whole-lake nutrient manipulations. *Journal of the North American Benthological Society*, 19(1), 68-81.
215. Vadeboncoeur, Y. and Steinman, A. D. (2002): Periphyton function in lake ecosystems. *The Scientific World*, 2, 1449-1468.
216. Vadeboncoeur, Y., Jeppesen, E., Vander Zanden, M.J., Schierup, H.H., K., Christoffersen, K. and Lodge, D.M. (2003): From Greenland to green lakes: cultural eutrophication and the loss of benthic pathways in lakes. *Limnology and Oceanography*, 48(4), 1408-1418.

VII LITERATURA

217. Vadeboncoeur, Y., Kalff, J., Christoffersen, K. and Jeppesen, E. (2006): Substratum as a driver of variation in periphyton chlorophyll and productivity in lakes. *Journal of the North American Benthological Society*, 25(2), 379-392.
218. Van Dam, H., Mertens, A. and Sinkeldam, J. (1994): A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 28(1), 117-133.
219. Van de Vijver, B., Beyens, L. and Lange-Bertalot, H. (2004): The genus *Stauroneis* in Arctic and Antarctic Regions. In: Lange-Bertalot, H. and Kociolek, P. (eds.). *Bibliotheca Diatomologica*, 50. J. Cramer, Berlin-Stuttgart.
220. Vermaat, J.E. (2005): Periphyton dynamics and influencing factors. In: Azim, M.E., Verdegem, M.C.J., van Dam, A.A., Beberidge, M.C.M. (eds.) *Periphyton: Ecology, Exploitation and Management*. Cambridge, CABI Publishing.
221. Viaggiu, E., Melchiorre, S., Volpi, F., Di Corcia, A., Mancini, R., Garibaldi, L., Crichigno, G. and Bruno M. (2004): Anatoxin-A toxin in the cyanobacterium *Planktothrix rubescens* from a fishing pond in Northern Italy. *Environmental Toxicology*, 19(3), 191-197.
222. Vymazal, J. and Richardson, C.J. (1995): Species composition, biomass, and nutrient content of periphyton in the Florida Everglades. *Journal of Phycology*, 31(3), 343-54.
223. Wehr, J.D. and Sheath R.G. (2003): *Freshwater algae of North America: ecology and classification*. Amsterdam: Academic Press.
224. Weitzel, R.L. (1979): *Methods and Measurements of Periphyton Communities: A Review*. Philadelphia, USA, ASTM (American Society for Testing and Materials) International.
225. Werum, M., Lange-Bertalot, H. (2004): Diatoms in springs from Central Europe and elsewhere under the influence of hydrogeology and anthropogenic impacts. *Iconographia Diatomologica* 13. Ruggell, A.R.G. Gantner Verlag K.G.

VII LITERATURA

226. Wiklund, J.A., Bozinovski, N., Hall, R.I. and Wolfe, B.B. (2010): Epiphytic diatoms as flood indicators. *Journal of Paleolimnology*, 44(1), 25-42.
227. Wilson, C.R., Sauer, J. and Hooser, S.B. (2001): Taxines: A review of the mechanism and toxicity of yew (*Taxus* spp.) alkaloids. *Toxicon*, 39, 175-185.
228. Wojtal, A. (2001): New or rare species of the genus *Navicula* (Bacillariophyceae) in the diatom flora of Poland. *Polish Botanical Journal*, 46(2), 161-167.
229. Wojtal, A. (2004): New or rare species of the genera *Achnantheidium* and *Psammontheidium* (Bacillariophyceae) in the diatom flora of Poland. *Polish Botanical Journal*, 49(2), 215-220.
230. Wolowski, K. and Hindák, F. (2005): Atlas of Euglenophytes. Bratislava, VEDA, Publishing House of the Slovak Academy of Sciences.
231. Wu, Y., He, J. and Yang, L. (2010): Evaluating adsorption and biodegradation mechanisms during the removal of microcystin-RR by periphyton. *Environmental Science & Technology*, 44(16), 6319-6324.
232. Wu, Y., Liu, J., Yang, L., Chen, H., Zhang, S., Zhao, H. and Zhang, N. (2011): Allelopathic control of cyanobacterial blooms by periphyton biofilms. *Environmental Microbiology*, 13(3), 604-615.
233. Wu, Y., Xia, L., Yu, Z., Shabbir, S. and Kerr, P.G. (2014): In situ bioremediation of surface waters by periphytons. *Bioresource Technology*, 151, 367-372.
234. Yankova, Y., Villiger, J., Pernthaler, J., Schanz, F. and Posch, T. (2016): Prolongation, deepening and warming of the metalimnion change habitat conditions of the harmful filamentous cyanobacterium *Planktothrix rubescens* in a prealpine lake. *Hydrobiologia*, 776(1), 125-138.
235. Zębek, E. (2014): Succession of Periphyton and Phytoplankton Assemblages in Years with Varying Amounts of Precipitation in a Shallow Urban Lake (Lake Jeziorak Mały, Poland). *Ekologia*, 33(3), 259-273.

236. Zelinka, M., Marvan, P. and Kubiček, F. (1959): Hodnocení čistoty povrchových vod. Slezský ústav. Opava, ČSAV.
237. Zhang, N., Li, H., Jeppesen, E. and Li, W. (2013a): Influence of substrate type on periphyton biomass and nutrient state at contrasting high nutrient levels in a subtropical shallow lake. *Hydrobiologia*, 710(1), 129-141.
238. Zhang, Y., Wang C., Zhang L., Zhang M., Li Z. (2013b): Allelopathy and inhibitory effects of extracts from three terrestrial plants on *Spirogyra* growth. In: Qingzhou Xu (Ed.), Proceedings of the 2013 International Conference on Material Science and Environmental engineering,. Pennsylvania, USA, DEStech Publications.
239. Zhu, T. and Dittrich, M. (2016): Carbonate Precipitation through Microbial Activities in Natural environment, and Their Potential in Biotechnology: A Review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 4, 4.
240. Zotina, T., Köster, O. and Jüttner, F. (2003): Photoheterotrophy and light-dependent uptake of organic and organic nitrogenous compounds by *Planktothrix rubescens* under low irradiance. *Freshwater Biology*, 48(10), 1859-1872.
241. Žuna Pfeiffer, T., Mihaljević, M., Špoljarić, D., Stević, F. and Plenković-Moraj A. (2015): The disturbance driven changes of periphytic algal communities in a Danubian floodplain lake. *Knowledge and management of aquatic ecosystems*, 416, 02.

1 Prilog 1 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz Savskog jezera

Prilog 1 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz Savskog jezera

27/07/2014	Dubina	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
	Podloga	S	S	S	K	K	K	V	V	V	T	T
<i>Achnanthydium minutissimum</i>	ADMI*	70	60	86	61	51	66	16	28	25	37	35
<i>Achnanthydium minutissimum</i> var. <i>jackii</i>	ADMJ*											
<i>Achnanthydium straubianum</i>	ADSB*											
<i>Amphora copulata</i>	ACOP*									0		
<i>Amphora pediculus</i>	APED*								1			
<i>Brachysira neoexilis</i>	BNEO*											
<i>Brachysira vitrea</i>	BVIT*	3	2	1	1	1		1	3	2	6	7
<i>Caloneis lancettula</i>	CLCT*											
<i>Caloneis schumanniana</i>	CSHU*											
<i>Caloneis silicula</i>	CSIL*											
<i>Caloneis</i> spp.	CALS											
<i>Cocconeis placentula</i>	CPLA*		2		1	0			0			
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>	CPLM*	0	1					2	0	0	0	0
<i>Cyclotella cyclopuncta</i>	CCCP*							3	1	1	2	2
<i>Cymatopleura solea</i>	CSOL*											
<i>Cymbella affniformis</i>	CAFM*	7	5	1	5	7	2	24	3	4	1	4
<i>Cymbopleura diminuta</i>	CBDM											
<i>Discostella stelligera</i>	DSTE*								0			
<i>Encyonema auerswaldii</i>	EAUE											
<i>Encyonema caespitosum</i>	ECTT*											
<i>Encyonema silesiacum</i>	ESLE*											
<i>Encyonema ventricosum</i>	ENVE*											
<i>Encyonopsis microcephala</i>	ENCM*	6	11	4	11	13	15	12	16	27	16	14
<i>Encyonopsis minuta</i>	ECPM*	1			1	0			1			
<i>Encyonopsis subminuta</i>	ESUM*	4	12	6	16	19	11	3	32	31	18	21
<i>Eolimna minima</i>	EOMI*											
<i>Fragilaria acus</i>	FRAC*		1				1	1	1	0	1	1
<i>Fragilaria ulna</i> var. <i>ulna</i>	FULN*											
<i>Fragilaria vaucheriae</i>	FVAU*											

Prilog 1 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz Savskog jezera

<i>Geissleria decussis</i>	GDEC*											
<i>Gomphonema tergestinum</i>	GTER*											
<i>Gomphonema varioreduncum</i>	GVRD	1				0		11	2	2	0	0
<i>Gyrosigma kuetzingii</i>	GYKU*											
<i>Halamphora montana</i>	HLMO*											
<i>Hippodonta capitata</i>	HCAP*											
<i>Humidophila contenta</i>	HUCO*											
<i>Lindavia radiosa</i>	LRAD*	0					1				0	
<i>Melosira varians</i>	MVAR*	4	2	1	1	3	1	4	2	3	6	2
<i>Navicula antonii</i>	NANT*							1			0	0
<i>Navicula caterva</i>	NCTV*								1		0	
<i>Navicula cryptotenella</i>	NCTE*											
<i>Navicula cryptotenelloides</i>	NCTO*	0			1		1	1	2	0	2	2
<i>Navicula radiosa</i>	NRAD*											
<i>Navicula rostellata</i>	NROS*											
<i>Navicula subalpina</i>	NSBN											
<i>Navicula trivialis</i>	NTRV*											
<i>Navicula veneta</i>	NVEN*											
<i>Nitzschia angustata</i>	NIAN*											
<i>Nitzschia dissipata</i>	NDIS*											0
<i>Nitzschia lacuum</i>	NILA*			1					1			
<i>Nitzschia oligotraphenta</i>	NIOG						1					
<i>Nitzschia palea</i>	NPAL*									0		0
<i>Nitzschia recta</i>	NREC*											
<i>Pantocsekiella ocellata</i>	POCL*	2	3	1	3	4	1	21	3	2	9	9
<i>Placoneis clementioides</i>	PCLD*											
<i>Placoneis minor</i>	PMNO											
<i>Placoneis pseudanglica</i>	PPSA*											
<i>Placoneis spp.</i>	PLAS											
<i>Planothidium frequentissimum</i>	PLFR*											
<i>Sellaphora bacillum</i>	SEBA*											
<i>Sellaphora pupula</i>	SPUP*											

Prilog 1 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz Savskog jezera

<i>Sellaphora</i> spp.	SELS											
<i>Staurosira brevistriata</i>	SBRV*									0		
<i>Staurosira mutabilis</i>	SSMU*				1			1		1	0	
<i>Surirella angusta</i>	SANG*		1									

3/8/2014												
	Dubina Podloga	1 S	2 S	3 S	1 K	2 K	3 K	1 V	2 V	2 T	3 T	
<i>Achnanthydium minutissimum</i>	ADMI*	48	50	40	31	44	53	31	16	22	18	
<i>Achnanthydium minutissimum</i> var. <i>jackii</i>	ADMJ*			1			1					
<i>Achnanthydium straubianum</i>	ADSB*	1	0		0	0						
<i>Amphora copulata</i>	ACOP*											
<i>Amphora pediculus</i>	APED*											
<i>Brachysira neoexilis</i>	BNEO*									0		
<i>Brachysira vitrea</i>	BVIT*	5	2	3	5	2	1	5	5	6	1	
<i>Caloneis lancettula</i>	CLCT*											
<i>Caloneis schumanniana</i>	CSHU*											
<i>Caloneis silicula</i>	CSIL*											
<i>Caloneis</i> spp.	CALS								0			
<i>Cocconeis placentula</i>	CPLA*					0			1		2	
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>	CPLM*		1		1			2		1		
<i>Cyclotella cyclopuncta</i>	CCCP*	1	1			1		1		2		
<i>Cymatopleura solea</i>	CSOL*											
<i>Cymbella affiniformis</i>	CAFM*	3	3	3	7	6	3	10	13	9	13	
<i>Cymbopleura diminuta</i>	CBDM											
<i>Discostella stelligera</i>	DSTE*											
<i>Encyonema auerswaldii</i>	EAUE											
<i>Encyonema caespitosum</i>	ECTT*					0			0			
<i>Encyonema silesiacum</i>	ESLE*											
<i>Encyonema ventricosum</i>	ENVE*											

Prilog 1 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz Savskog jezera

<i>Encyonopsis microcephala</i>	ENCM*	15	20	17	19	16	16	8	18	19	10
<i>Encyonopsis minuta</i>	ECPM*									5	
<i>Encyonopsis subminuta</i>	ESUM*	16	13	25	25	17	12	11	22	14	4
<i>Eolimna minima</i>	EOMI*										
<i>Fragilaria acus</i>	FRAC*			1		1	3	1		0	2
<i>Fragilaria ulna var. ulna</i>	FULN*										
<i>Fragilaria vaucheriae</i>	FVAU*										
<i>Geissleria decussis</i>	GDEC*										
<i>Gomphonema tergestinum</i>	GTER*			0							
<i>Gomphonema varioreduncum</i>	GVRD	2	1	1	4	3	3	10	0	1	3
<i>Gyrosigma kuetzingii</i>	GYKU*										
<i>Halamphora montana</i>	HLMO*						0				
<i>Hippodonta capitata</i>	HCAP*										
<i>Humidophila contenta</i>	HUCO*							1	0		
<i>Lindavia radiosa</i>	LRAD*			0		0				0	0
<i>Melosira varians</i>	MVAR*	3	3	3	4	4	4	11	14	9	23
<i>Navicula antonii</i>	NANT*										
<i>Navicula caterva</i>	NCTV*										
<i>Navicula cryptotenella</i>	NCTE*										
<i>Navicula cryptotenelloides</i>	NCTO*	2		1	0		0		0	0	0
<i>Navicula radiosa</i>	NRAD*										
<i>Navicula rostellata</i>	NROS*										
<i>Navicula subalpina</i>	NSBN										
<i>Navicula trivialis</i>	NTRV*										
<i>Navicula veneta</i>	NVEN*										
<i>Nitzschia angustata</i>	NIAN*										
<i>Nitzschia dissipata</i>	NDIS*	0						1			
<i>Nitzschia lacuum</i>	NILA*										
<i>Nitzschia oligotraphenta</i>	NIOG										
<i>Nitzschia palea</i>	NPAL*	0							0		
<i>Nitzschia recta</i>	NREC*										

Prilog 1 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz Savskog jezera

<i>Pantocsekiella ocellata</i>	POCL*	3	4	3	3	2	3	7	9	9	21
<i>Placoneis clementioides</i>	PCLD*										
<i>Placoneis minor</i>	PMNO							0			
<i>Placoneis pseudanglica</i>	PPSA*										
<i>Placoneis spp.</i>	PLAS									0	
<i>Planothidium frequentissimum</i>	PLFR*					0					
<i>Sellaphora bacillum</i>	SEBA*										
<i>Sellaphora pupula</i>	SPUP*						0				
<i>Sellaphora spp.</i>	SELS										
<i>Staurosira brevistriata</i>	SBRV*								0		
<i>Staurosira mutabilis</i>	SSMU*							1		0	1
<i>Surirella angusta</i>	SANG*	0									

10/08/2014												
	Dubina Podloga	1 S	2 S	3 S	1 K	2 K	3 K	1 V	2 V	3 V	1 T	2 T
<i>Achnanthydium minutissimum</i>	ADMI*	58	51	48	44	37	41	11	16	29	10	14
<i>Achnanthydium minutissimum var. jackii</i>	ADMJ*		1	1		1	0			1		
<i>Achnanthydium straubianum</i>	ADSB*											
<i>Amphora copulata</i>	ACOP*											
<i>Amphora pediculus</i>	APED*											
<i>Brachysira neoexilis</i>	BNEO*		0				0			0		
<i>Brachysira vitrea</i>	BVIT*	1	4	0	2	4	4	2	7	4	20	4
<i>Caloneis lancettula</i>	CLCT*											
<i>Caloneis schumanniana</i>	CSHU*											
<i>Caloneis silicula</i>	CSIL*											
<i>Caloneis spp.</i>	CALS											
<i>Cocconeis placentula</i>	CPLA*										2	2
<i>Cocconeis placentula var. lineata</i>	CPLM*	0	1					0				
<i>Cyclotella cyclopuncta</i>	CCCP*			0	1		1		1	1		
<i>Cymatopleura solea</i>	CSOL*											0

Prilog 1 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz Savskog jezera

<i>Cymbella affiniformis</i>	CAFM*	1	1	0	2	1	1	16	8	9	10	23
<i>Cymbopleura diminuta</i>	CBDM											
<i>Discostella stelligera</i>	DSTE*											
<i>Encyonema auerswaldii</i>	EAUE											
<i>Encyonema caespitosum</i>	ECTT*											
<i>Encyonema silesiacum</i>	ESLE*											
<i>Encyonema ventricosum</i>	ENVE*											
<i>Encyonopsis microcephala</i>	ENCM*	11	14	20	25	16	20	23	20	13	14	17
<i>Encyonopsis minuta</i>	ECPM*				3						2	
<i>Encyonopsis subminuta</i>	ESUM*	4	12	23	9	24	19	14	22	23	11	11
<i>Eolimna minima</i>	EOMI*											
<i>Fragilaria acus</i>	FRAC*	1		1	1	1	1	6	4	1	3	1
<i>Fragilaria ulna var. ulna</i>	FULN*											
<i>Fragilaria vaucheriae</i>	FVAU*											
<i>Geissleria decussis</i>	GDEC*											
<i>Gomphonema tergestinum</i>	GTER*											
<i>Gomphonema varioeruduncum</i>	GVRD	5	0	1	3		2	3	1		3	2
<i>Gyrosigma kuetzingii</i>	GYKU*											
<i>Halamphora montana</i>	HLMO*											
<i>Hippodonta capitata</i>	HCAP*											
<i>Humidophila contenta</i>	HUCO*											0
<i>Lindavia radiosa</i>	LRAD*		0					0				
<i>Melosira varians</i>	MVAR*	11	6	1	3	8	5	10	15	8	11	15
<i>Navicula antonii</i>	NANT*											
<i>Navicula caterva</i>	NCTV*											
<i>Navicula cryptotenella</i>	NCTE*				1							
<i>Navicula cryptotenelloides</i>	NCTO*					0	1	1		3		
<i>Navicula radiosa</i>	NRAD*											0
<i>Navicula rostellata</i>	NROS*							0				
<i>Navicula subalpina</i>	NSBN											
<i>Navicula trivialis</i>	NTRV*											
<i>Navicula veneta</i>	NVEN*											

Prilog 1 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz Savskog jezera

<i>Nitzschia angustata</i>	NIAN*										0	
<i>Nitzschia dissipata</i>	NDIS*											
<i>Nitzschia lacuum</i>	NILA*									1		
<i>Nitzschia oligotraphenta</i>	NIOG										0	
<i>Nitzschia palea</i>	NPAL*											
<i>Nitzschia recta</i>	NREC*											
<i>Pantocsekiella ocellata</i>	POCL*	7	8	3	5	7	3	13	6	5	13	6
<i>Placoneis clementioides</i>	PCLD*											
<i>Placoneis minor</i>	PMNO											
<i>Placoneis pseudanglica</i>	PPSA*											
<i>Placoneis spp.</i>	PLAS											
<i>Planothidium frequentissimum</i>	PLFR*											
<i>Sellaphora bacillum</i>	SEBA*											
<i>Sellaphora pupula</i>	SPUP*											
<i>Sellaphora spp.</i>	SELS											
<i>Staurosira brevistriata</i>	SBRV*											
<i>Staurosira mutabilis</i>	SSMU*									0		1
<i>Surirella angusta</i>	SANG*											

17/08/2014												
	Dubina	1	2	3	1	2	3	1	3	1	2	3
	Podloga	S	S	S	K	K	K	V	V	T	T	T
<i>Achnanthydium minutissimum</i>	ADMI*	48	58	50	21	29	25	17	10	20	6	6
<i>Achnanthydium minutissimum var. jackii</i>	ADMJ*	3	1		1	1	2	1		1		
<i>Achnanthydium straubianum</i>	ADSB*											
<i>Amphora copulata</i>	ACOP*											
<i>Amphora pediculus</i>	APED*	1		0								
<i>Brachysira neoexilis</i>	BNEO*			1	1		1	2		3		1
<i>Brachysira vitrea</i>	BVIT*	4	3	2	1	1	2	4	1	12	2	1
<i>Caloneis lancettula</i>	CLCT*											
<i>Caloneis schumanniana</i>	CSHU*											

Prilog 1 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz Savskog jezera

<i>Caloneis silicula</i>	CSIL*											
<i>Caloneis spp.</i>	CALS											
<i>Cocconeis placentula</i>	CPLA*	1			3	1		1	2			2
<i>Cocconeis placentula var. lineata</i>	CPLM*			1	1	1				1	1	0
<i>Cyclotella cyclopuncta</i>	CCCP*						1				2	
<i>Cymatopleura solea</i>	CSOL*											
<i>Cymbella affiniformis</i>	CAFM*	1	1	3	6	4	5	9	38	2	20	40
<i>Cymbopleura diminuta</i>	CBDM											
<i>Discostella stelligera</i>	DSTE*					1						
<i>Encyonema auerswaldii</i>	EAUE				1		1		1			0
<i>Encyonema caespitosum</i>	ECTT*					1						
<i>Encyonema silesiacum</i>	ESLE*											
<i>Encyonema ventricosum</i>	ENVE*	1										
<i>Encyonopsis microcephala</i>	ENCM*	20	18	21	8	9	43	26	4	22	13	4
<i>Encyonopsis minuta</i>	ECPM*	1										
<i>Encyonopsis subminuta</i>	ESUM*	9	7	6	2	5	9	5	3	9	8	0
<i>Eolimna minima</i>	EOMI*											
<i>Fragilaria acus</i>	FRAC*		2	1	1	0				2	3	1
<i>Fragilaria ulna var. ulna</i>	FULN*					1						
<i>Fragilaria vaucheriae</i>	FVAU*							0	1			
<i>Geissleria decussis</i>	GDEC*											
<i>Gomphonema tergestinum</i>	GTER*	1									1	
<i>Gomphonema varioereduncum</i>	GVRD	4	3	6	26	25	2	3	5	1	2	8
<i>Gyrosigma kuetzingii</i>	GYKU*											
<i>Halamphora montana</i>	HLMO*											
<i>Hippodonta capitata</i>	HCAP*											
<i>Humidophila contenta</i>	HUCO*											
<i>Lindavia radiosa</i>	LRAD*				1					1		
<i>Melosira varians</i>	MVAR*	3	6	7	23	23	7	21	25	22	25	25
<i>Navicula antonii</i>	NANT*									1		
<i>Navicula caterva</i>	NCTV*											
<i>Navicula cryptotenella</i>	NCTE*											

Prilog 1 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz Savskog jezera

<i>Navicula cryptotenelloides</i>	NCTO*							1		1		0
<i>Navicula radiosa</i>	NRAD*					0						0
<i>Navicula rostellata</i>	NROS*											
<i>Navicula subalpina</i>	NSBN											
<i>Navicula trivialis</i>	NTRV*											
<i>Navicula veneta</i>	NVEN*											
<i>Nitzschia angustata</i>	NIAN*											
<i>Nitzschia dissipata</i>	NDIS*		1									
<i>Nitzschia lacuum</i>	NILA*									1		
<i>Nitzschia oligotrappenta</i>	NIOG											
<i>Nitzschia palea</i>	NPAL*											
<i>Nitzschia recta</i>	NREC*											
<i>Pantocsekiella ocellata</i>	POCL*	4	2	2	5	2	2	7	8	3	15	7
<i>Placoneis clementioides</i>	PCLD*											
<i>Placoneis minor</i>	PMNO								1			0
<i>Placoneis pseudanglica</i>	PPSA*											
<i>Placoneis spp.</i>	PLAS											
<i>Planothidium frequentissimum</i>	PLFR*	1										
<i>Sellaphora bacillum</i>	SEBA*											
<i>Sellaphora pupula</i>	SPUP*											
<i>Sellaphora spp.</i>	SELS											
<i>Staurosira brevistriata</i>	SBRV*							0			1	
<i>Staurosira mutabilis</i>	SSMU*		1	0				1	1			2
<i>Surirella angusta</i>	SANG*											

24/08/2014													
	Dubina Podloga	1 S	2 S	3 S	1 K	2 K	3 K	1 V	2 V	3 V	1 T	2 T	3 T
<i>Achnanthydium minutissimum</i>	ADMI*	52	50	43	25	33	27	2	10	23	6	17	8
<i>Achnanthydium minutissimum var. jackii</i>	ADMJ*												
<i>Achnanthydium straubianum</i>	ADSB*							1	1	1			

Prilog 1 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz Savskog jezera

<i>Amphora copulata</i>	ACOP*		1					1					
<i>Amphora pediculus</i>	APED*	1	1	2	10	2	2	49	12	6	6	16	21
<i>Brachysira neoexilis</i>	BNEO*	23	19	21	5	16	27		25	25	32	29	15
<i>Brachysira vitrea</i>	BVIT*												
<i>Caloneis lancettula</i>	CLCT*	7	11	12	1	19	18		13	12	21	13	4
<i>Caloneis schumanniana</i>	CSHU*												
<i>Caloneis silicula</i>	CSIL*	6	5	4	23	8	5	14	7	12	1	2	21
<i>Caloneis spp.</i>	CALS								1		1	0	
<i>Cocconeis placentula</i>	CPLA*												
<i>Cocconeis placentula var. lineata</i>	CPLM*						1		2	1	2	3	
<i>Cyclotella cyclopuncta</i>	CCCP*								0				
<i>Cymatopleura solea</i>	CSOL*												
<i>Cymbella affinisformis</i>	CAFM*												
<i>Cymbopleura diminuta</i>	CBDM												0
<i>Discostella stelligera</i>	DSTE*	1	3	6	11	5	5	16	6	9	8	10	11
<i>Encyonema auerswaldii</i>	EAUE		1	1	1	0		1	1	1	2	0	
<i>Encyonema caespitosum</i>	ECTT*	0	1		1	0	1	1	3	2		1	2
<i>Encyonema silesiacum</i>	ESLE*												
<i>Encyonema ventricosum</i>	ENVE*												
<i>Encyonopsis microcephala</i>	ENCM*												
<i>Encyonopsis minuta</i>	ECPM*										1		
<i>Encyonopsis subminuta</i>	ESUM*						1						
<i>Eolimna minima</i>	EOMI*	1	4	2		7	5		13	7	12	4	8
<i>Fragilaria acus</i>	FRAC*	2	3	4	17	4	4	8	4		1		3
<i>Fragilaria ulna var. ulna</i>	FULN*												
<i>Fragilaria vaucheriae</i>	FVAU*												
<i>Geissleria decussis</i>	GDEC*			0	2		1	1	1				
<i>Gomphonema tergestinum</i>	GTER*	0						2	1			0	
<i>Gomphonema varioreduncum</i>	GVRD												
<i>Gyrosigma kuetzingii</i>	GYKU*												
<i>Halamphora montana</i>	HLMO*												
<i>Hippodonta capitata</i>	HCAP*				1				1				

Prilog 1 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz Savskog jezera

<i>Humidophila contenta</i>	HUCO*			0	3	1		4	1		1	0	2
<i>Lindavia radiosa</i>	LRAD*												
<i>Melosira varians</i>	MVAR*												
<i>Navicula antonii</i>	NANT*												
<i>Navicula caterva</i>	NCTV*												
<i>Navicula cryptotenella</i>	NCTE*												
<i>Navicula cryptotenelloides</i>	NCTO*												
<i>Navicula radiosa</i>	NRAD*												
<i>Navicula rostellata</i>	NROS*												
<i>Navicula subalpina</i>	NSBN	1	1	1		2	4		3	1	6	2	3
<i>Navicula trivialis</i>	NTRV*												
<i>Navicula veneta</i>	NVEN*	3	2	3	1	2	2			1			
<i>Nitzschia angustata</i>	NIAN*												
<i>Nitzschia dissipata</i>	NDIS*												
<i>Nitzschia lacuum</i>	NILA*												
<i>Nitzschia oligotraphenta</i>	NIOG												
<i>Nitzschia palea</i>	NPAL*												
<i>Nitzschia recta</i>	NREC*												
<i>Pantocsekiella ocellata</i>	POCL*												
<i>Placoneis clementioides</i>	PCLD*										1		
<i>Placoneis minor</i>	PMNO											0	
<i>Placoneis pseudanglica</i>	PPSA*												1
<i>Placoneis spp.</i>	PLAS												
<i>Planothidium frequentissimum</i>	PLFR*												
<i>Sellaphora bacillum</i>	SEBA*												
<i>Sellaphora pupula</i>	SPUP*												
<i>Sellaphora spp.</i>	SELS												
<i>Staurosira brevistriata</i>	SBRV*												
<i>Staurosira mutabilis</i>	SSMU*												
<i>Surirella angusta</i>	SANG*												

Prilog 1 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz Savskog jezera

01/09/2014													
	Dubina Podloga	1 S	2 S	3 S	1 K	2 K	3 K	1 V	2 V	3 V	1 T	2 T	3 T
<i>Achnantheidium minutissimum</i>	ADMI*	32	53	48	39	16	28	10	16	17	12	11	12
<i>Achnantheidium minutissimum var. jackii</i>	ADMJ*	7	7	1	4	3	4		1	2		0	1
<i>Achnantheidium straubianum</i>	ADSB*						1						
<i>Amphora copulata</i>	ACOP*												
<i>Amphora pediculus</i>	APED*												
<i>Brachysira neoexilis</i>	BNEO*	1	1	1		6		3	3	2	2	4	
<i>Brachysira vitrea</i>	BVIT*	4	2	5	6	12	2	11	13	10	13	12	7
<i>Caloneis lancettula</i>	CLCT*				0	1							
<i>Caloneis schumanniana</i>	CSHU*	1											
<i>Caloneis silicula</i>	CSIL*												
<i>Caloneis spp.</i>	CALS												
<i>Cocconeis placentula</i>	CPLA*	1	1	1	1	1		1	1		0	1	1
<i>Cocconeis placentula var. lineata</i>	CPLM*						1				0		
<i>Cyclotella cyclopuncta</i>	CCCP*				0		1					1	
<i>Cymatopleura solea</i>	CSOL*												
<i>Cymbella affniformis</i>	CAFM*	3	3	1	2	1	6	5	7	4	2	10	22
<i>Cymbopleura diminuta</i>	CBDM										1	1	
<i>Discostella stelligera</i>	DSTE*												
<i>Encyonema auerswaldii</i>	EAUE		1				1						0
<i>Encyonema caespitosum</i>	ECTT*												
<i>Encyonema silesiacum</i>	ESLE*								1			0	
<i>Encyonema ventricosum</i>	ENVE*												
<i>Encyonopsis microcephala</i>	ENCM*	14	10	21	14	18	23	21	22	21	26	21	23
<i>Encyonopsis minuta</i>	ECPM*					1		3			2		
<i>Encyonopsis subminuta</i>	ESUM*	11	11	12	16	21	14	23	18	23	18	13	11
<i>Eolimna minima</i>	EOMI*												
<i>Fragilaria acus</i>	FRAC*	3		1	4	1	4	2	2	3	2	2	4
<i>Fragilaria ulna var. ulna</i>	FULN*												
<i>Fragilaria vaucheriae</i>	FVAU*												

Prilog 1 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz Savskog jezera

<i>Geissleria decussis</i>	GDEC*			1					1				
<i>Gomphonema tergestinum</i>	GTER*												
<i>Gomphonema varioreduncum</i>	GVRD	5	2	1	2	2	6	1	2	2	2	2	2
<i>Gyrosigma kuetzingii</i>	GYKU*												
<i>Halamphora montana</i>	HLMO*												
<i>Hippodonta capitata</i>	HCAP*												
<i>Humidophila contenta</i>	HUCO*												
<i>Lindavia radiosa</i>	LRAD*				1		1		1		1	2	
<i>Melosira varians</i>	MVAR*	8	4	5	5	7	5	13	7	9	10	10	8
<i>Navicula antonii</i>	NANT*					0							
<i>Navicula caterva</i>	NCTV*												
<i>Navicula cryptotenella</i>	NCTE*												
<i>Navicula cryptotenelloides</i>	NCTO*		1		1	1	1		1	1			1
<i>Navicula radiosa</i>	NRAD*	1									0		
<i>Navicula rostellata</i>	NROS*												
<i>Navicula subalpina</i>	NSBN					1						0	
<i>Navicula trivialis</i>	NTRV*												
<i>Navicula veneta</i>	NVEN*												
<i>Nitzschia angustata</i>	NIAN*	1			0								0
<i>Nitzschia dissipata</i>	NDIS*												
<i>Nitzschia lacuum</i>	NILA*		1						1				
<i>Nitzschia oligotraphenta</i>	NIOG												
<i>Nitzschia palea</i>	NPAL*								1				
<i>Nitzschia recta</i>	NREC*												
<i>Pantocsekiella ocellata</i>	POCL*	6	3	3	4	7	1	4	4	4	6	7	6
<i>Placoneis clementioides</i>	PCLD*												
<i>Placoneis minor</i>	PMNO		1			1		1					
<i>Placoneis pseudanglica</i>	PPSA*												
<i>Placoneis spp.</i>	PLAS												
<i>Planothidium frequentissimum</i>	PLFR*												
<i>Sellaphora bacillum</i>	SEBA*												
<i>Sellaphora pupula</i>	SPUP*												

Prilog 1 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz Savskog jezera

<i>Sellaphora</i> spp.	SELS												
<i>Staurosira brevistriata</i>	SBRV*	1	1		0	1		1					
<i>Staurosira mutabilis</i>	SSMU*	1	1	1		1	1	1	1		2		0
<i>Surirella angusta</i>	SANG*												

09/09/2014													
	Dubina Podloga	1 S	2 S	3 S	1 K	2 K	3 K	1 V	2 V	3 V	1 T	2 T	3 T
<i>Achnanthydium minutissimum</i>	ADMI*	35	41	37	16	30	24	15	11	5			
<i>Achnanthydium minutissimum</i> var. <i>jackii</i>	ADMJ*	1	10	2		2	1		1				
<i>Achnanthydium straubianum</i>	ADSB*					2	1						
<i>Amphora copulata</i>	ACOP*		1										
<i>Amphora pediculus</i>	APED*												
<i>Brachysira neoexilis</i>	BNEO*	3	1	1	2	0	1	1	1				
<i>Brachysira vitrea</i>	BVIT*	5	8	1	15	9	5	14	12	6			
<i>Caloneis lancettula</i>	CLCT*				1								
<i>Caloneis schumanniana</i>	CSHU*												
<i>Caloneis silicula</i>	CSIL*												
<i>Caloneis</i> spp.	CALS			0						1			
<i>Cocconeis placentula</i>	CPLA*		1		1			1	1	1			
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>	CPLM*				1		1			3			
<i>Cyclotella cyclopuncta</i>	CCCP*	1		1									
<i>Cymatopleura solea</i>	CSOL*												
<i>Cymbella affiniformis</i>	CAFM*	3	1	2	2	2	3	11	7	18			
<i>Cymbopleura diminuta</i>	CBDM												
<i>Discostella stelligera</i>	DSTE*												
<i>Encyonema auerswaldii</i>	EAUE	1	1	1									
<i>Encyonema caespitosum</i>	ECTT*						1						
<i>Encyonema silesiacum</i>	ESLE*				1								
<i>Encyonema ventricosum</i>	ENVE*												
<i>Encyonopsis microcephala</i>	ENCM*	20	17	18	24	23	28	20	28	16			

Prilog 1 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz Savskog jezera

<i>Encyonopsis minuta</i>	ECPM*								1				
<i>Encyonopsis subminuta</i>	ESUM*	12	6	5	13	16	16	13	17	9			
<i>Eolimna minima</i>	EOMI*												
<i>Fragilaria acus</i>	FRAC*	3	1	3	2	1	3	1	6	2			
<i>Fragilaria ulna var. ulna</i>	FULN*												
<i>Fragilaria vaucheriae</i>	FVAU*												
<i>Geissleria decussis</i>	GDEC*		1					0	1				
<i>Gomphonema tergestinum</i>	GTER*												
<i>Gomphonema varioereduncum</i>	GVRD	6	5	10	6	3	3	0	1	6			
<i>Gyrosigma kuetzingii</i>	GYKU*			0				0		0			
<i>Halamphora montana</i>	HLMO*												
<i>Hippodonta capitata</i>	HCAP*												
<i>Humidophila contenta</i>	HUCO*												
<i>Lindavia radiosa</i>	LRAD*	1		1			1	1		1			
<i>Melosira varians</i>	MVAR*	4	5	10	10	7	10	10	6	19			
<i>Navicula antonii</i>	NANT*					0							
<i>Navicula caterva</i>	NCTV*												
<i>Navicula cryptotenella</i>	NCTE*			1	1								
<i>Navicula cryptotenelloides</i>	NCTO*	1	0	0			1	0	0	1			
<i>Navicula radiosa</i>	NRAD*	1		0	0					1			
<i>Navicula rostellata</i>	NROS*												
<i>Navicula subalpina</i>	NSBN							0					
<i>Navicula trivialis</i>	NTRV*		1										
<i>Navicula veneta</i>	NVEN*												
<i>Nitzschia angustata</i>	NIAN*			0						1			
<i>Nitzschia dissipata</i>	NDIS*												
<i>Nitzschia lacuum</i>	NILA*												
<i>Nitzschia oligotrappenta</i>	NIOG												
<i>Nitzschia palea</i>	NPAL*												
<i>Nitzschia recta</i>	NREC*	1											
<i>Pantocsekiella ocellata</i>	POCL*	6	3	6	5	3	4	8	5	11			
<i>Placoneis clementioides</i>	PCLD*				1				0				

Prilog 1 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz Savskog jezera

<i>Placoneis minor</i>	PMNO	1						0		1			
<i>Placoneis pseudanglica</i>	PPSA*												
<i>Placoneis spp.</i>	PLAS												
<i>Planothidium frequentissimum</i>	PLFR*												
<i>Sellaphora bacillum</i>	SEBA*												
<i>Sellaphora pupula</i>	SPUP*	1											
<i>Sellaphora spp.</i>	SELS												
<i>Stausosira brevistriata</i>	SBRV*		0		1			0		1			
<i>Stausosira mutabilis</i>	SSMU*	1			1			0	0	1			
<i>Surirella angusta</i>	SANG*												

* Brojnost je prikazana kao procentulana zastupljenost

Legenda:

S - staklena pločica

K - keramička pločica

V - vrba

T - tisa

Dominantni taksoni

Prilog 1 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz Savskog jezera

Vrednosti indeksa diverziteta (H) i ujednačenosti (Eh) zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz Savskog jezera

Datum	27/07			03/08			10/08			17/08			24/08			01/09			09/09		
Dubina	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
STAKLO																					
H	1,8	2,1	0,9	2,5	2,2	2,5	2,1	2,3	2,0	2,5	2,1	2,4	2,2	2,4	2,6	3,2	2,5	2,4	3,1	2,8	3,0
Eh	0,5	0,6	0,3	0,7	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7
KERAMIKA																					
H	1,9	2,1	1,7	2,6	2,6	2,3	2,5	2,4	2,5	2,9	2,7	2,4	2,9	2,9	2,9	2,9	3,3	3,1	3,2	2,8	3,0
Eh	0,5	0,6	0,5	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7
VRBA																					
H	3,0	2,8	2,6	3,1	3,0		3,0	2,9	2,9	3,1		2,6	2,3	3,3	3,0	3,1	3,2	3,0	3,2	3,1	3,4
Eh	0,8	0,7	0,6	0,8	0,8		0,8	0,9	0,8	0,8		0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
TISA																					
H	2,8	2,8		3,2	2,9		3,2	3,1		3,0	3,0	2,7	2,9	2,9	3,1	3,2	3,4	3,1	3,1	2,8	3,2
Eh	0,7	0,7		0,8	0,8		0,9	0,8		0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8

2 Prilog 2 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi iz jezera Vrutci

Prilog 2 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi iz jezera Vrutci

CiS serija	Datum Dubina	07/15		08/15		08/15			09/15		09/15		10/15		10/15	
		1	2	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4		
<i>Achnanthydium caledonicum</i>	ADCA*	61	13	37	38	3	41	2		1	46	8	1	0		
<i>Achnanthydium minutissimum</i>	ADMI*	15	3	10	9	1	4	14			17	4	0			
<i>Amphora copulata</i>	ACOP*				1			1					1			
<i>Amphora lange-bertalotii</i> var. <i>tenuis</i>	ALGT					0		8			1	1	3			
<i>Amphora minutissima</i>	AMNU		1			0						3	1			
<i>Amphora ovalis</i>	AOVA*					0		3				1	2			
<i>Aneumastus stroesei</i>	ANSS	1	2		0	1							1			
<i>Brachysira neoexilis</i>	BNEO*			4			8	2			8					
<i>Caloneis bacillum</i>	CBAC*			0								1	0			
<i>Caloneis schumanniana</i>	CSHU*											1				
<i>Caloneis silicula</i>	CSIL*							0								
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i>	CPEA*		0													
<i>Cyclotella cyclopuncta</i>	CCCP*													0		
<i>Cymbella cymbiformis</i>	CCYM*	2	1	2	10		1	3	1		4	29	0			
<i>Cymbella excisa</i> var. <i>excisa</i>	CAEX*	0		0			1	1		2	1	4				
<i>Cymbella lanceolata</i>	CLAN*				1							6				
<i>Cymbella neocistula</i> var. <i>lunata</i>	CNLU						1									
<i>Cymbella neocistula</i>	CNCI*		0		3		1	1				10				
<i>Cymbella perparva</i>	CPPV	4	1	1		0	2				1					
<i>Cymbella vulgata</i> var. <i>vulgata</i>	CVUL*	0														
<i>Diploneis elliptica</i>	DELL*							0				1	1			
<i>Encyonema auerswaldii</i>	EAUE				0		1				1	1				
<i>Encyonema caespitosum</i>	ECTT*					0										
<i>Encyonopsis microcephala</i>	ENCM*	6	1	3	4		9	24	1	1	4	3				
<i>Encyonopsis minuta</i>	ECPM*	2	0	0	2		1	1								
<i>Encyonopsis subminuta</i>	ESUM*	5		7	4		15	11		3	7		0	1		
<i>Fragilaria acus</i>	FRAC*	0			0		2				4	1		0		
<i>Fragilaria crotonensis</i>	FCRO*		7			0							2	1		
<i>Fragilaria radians</i>	FRAD*				0	1						1	1			

Prilog 2 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi iz jezera Vrutci

<i>Gomphonema acuminatum</i>	GACU*											1		
<i>Gomphonema aff. angusticlavatum</i>	GACV											1		
<i>Gomphonema exilissimum</i>	GEXL*				1									
<i>Gomphonema subclavatum</i>	GSCL*													
<i>Gomphonema truncatum</i>	GTRU*	0						1			1	2		
<i>Gyrosigma attenuatum</i>	GYAT*							1			1	1	3	
<i>Hippodonta costulata</i>	HCOS*			0		0								
<i>Humidophila contenta</i>	HUCO*					0		2						
<i>Lindavia radiosa</i>	LRAD*		11		2	9		4	4	8	1	1	22	3
<i>Melosira varians</i>	MVAR*		19	9	3	25	4	5	39	23	1	1	12	37
<i>Navicula cryptotenella</i>	NCTE*	0												
<i>Navicula radiosa</i>	NRAD*	0			1			2				2	0	
<i>Nitzschia amphibia</i>	NAMP*		0									1		
<i>Nitzschia angustata</i>	NIAN*												1	
<i>Nitzschia denticula</i>	NDEN*	1										2	1	
<i>Nitzschia recta</i>	NREC*				1									
<i>Nitzschia spp.</i>	NZSS		1											
<i>Nitzschia tabellaria</i>	NTAB*	0	2	3	4	1	1	0	2	1	1	16	6	0
<i>Orthoseira roeseana</i>	OROE					3								
<i>Pantocsekiella ocellata</i>	POCL*	0	37	22	13	52	8	8	53	60	2	4	38	56
<i>Pinnularia spp.</i>	PINS					0								
<i>Pseudostaurosira parasitica</i>	PPRS*							1					0	
<i>Sellaphora bacillum</i>	SEBA*						1							0

* Brojnost je prikazana kao procentulana zastupljenost

Dominantni taksoni

Prilog 2 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi iz jezera Vrutci

MiS serija	Datum Dubina	07/2015	07/2015	08/2015	08/2015	08/2015	09/2015	09/2015	10/2015	10/2015	RL status
		1	2	1	2	3	1	2	1	2	
<i>Achnanthydium caledonicum</i>	ADCA*	61	13	26	25	2	28	30	42	38	3
<i>Achnanthydium minutissimum</i>	ADMI*	15	3	1	2		11	17	11	5	
<i>Amphora copulata</i>	ACOP*				0						
<i>Amphora lange-bertalotii</i> var. <i>tenuis</i>	ALGT									3	
<i>Amphora minutissima</i>	AMNU		1		1						
<i>Amphora ovalis</i>	AOVA*							2			
<i>Aneumastus stroesei</i>	ANSS	1	2		0		0				3
<i>Brachysira neoexilis</i>	BNEO*			5			0		4		
<i>Caloneis bacillum</i>	CBAC*										V
<i>Caloneis schumanniana</i>	CSHU*										V
<i>Caloneis silicula</i>	CSIL*										
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i>	CPEA*		0					1			
<i>Cyclotella cyclopuncta</i>	CCCP*				0	0	0				D
<i>Cymbella cymbiformis</i>	CCYM*	2	1	1	4		3	1	10	3	V,G
<i>Cymbella excisa</i> var. <i>excisa</i>	CAEX*	0		4	1		3	3		5	
<i>Cymbella lanceolata</i>	CLAN*						2	2	0		V
<i>Cymbella neocistula</i> var. <i>lunata</i>	CNLU										V
<i>Cymbella neocistula</i>	CNCI*		0		1		2	1	0		V
<i>Cymbella perparva</i>	CPPV	4	1				1				
<i>Cymbella vulgata</i> var. <i>vulgata</i>	CVUL*	0									
<i>Diploneis elliptica</i>	DELL*								0		
<i>Encyonema auerswaldii</i>	EAUE							1	1		
<i>Encyonema caespitosum</i>	ECTT*				0	0					
<i>Encyonopsis microcephala</i>	ENCM*	6	1	6	1	0	5	6	6		
<i>Encyonopsis minuta</i>	ECPM*	2	0								
<i>Encyonopsis subminuta</i>	ESUM*	5		11			9	5	11		
<i>Fragilaria acus</i>	FRAC*	0		0			1		1		
<i>Fragilaria crotonensis</i>	FCRO*		7							3	
<i>Fragilaria radians</i>	FRAD*			0	1						

Prilog 2 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi iz jezera Vrutci

<i>Gomphonema acuminatum</i>	GACU*						0				
<i>Gomphonema aff. angusticlavatum</i>	GACV										
<i>Gomphonema exilissimum</i>	GEXL*										V
<i>Gomphonema subclavatum</i>	GSCL*							0			
<i>Gomphonema truncatum</i>	GTRU*	0			0		1				
<i>Gyrosigma attenuatum</i>	GYAT*							0	3		
<i>Hippodonta costulata</i>	HCOS*										V
<i>Humidophila contenta</i>	HUCO*										
<i>Lindavia radiosa</i>	LRAD*		11		1	7	0	1		3	
<i>Melosira varians</i>	MVAR*		19	10	22	27	8	3	1	12	
<i>Navicula cryptotenella</i>	NCTE*	0							0		
<i>Navicula radiosa</i>	NRAD*	0		0							
<i>Nitzschia amphibia</i>	NAMP*		0		1	0			0		
<i>Nitzschia angustata</i>	NIAN*										
<i>Nitzschia denticula</i>	NDEN*	1								3	
<i>Nitzschia recta</i>	NREC*										
<i>Nitzschia spp.</i>	NZSS		1						1		
<i>Nitzschia tabellaria</i>	NTAB*	0	2	2	5	0	1		4	5	V
<i>Orthoseira roeseana</i>	OROE										V
<i>Pantocsekiella ocellata</i>	POCL*	0	37	33	32	62	20	28	3	14	
<i>Pinnularia spp.</i>	PINS										
<i>Pseudostaurosira parasitica</i>	PPRS*										
<i>Sellaphora bacillum</i>	SEBA*							1		3	V

* Brojnost je prikazana kao procentulana zastupljenost

Legenda:

1 - vrsta ugrožena/iščezla u prirodi

2 - kritično ugrožena vrsta

Prilog 2 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi iz jezera Vrutci

3 - ranjiva vrsta

G - potencijalno ugrožena vrsta, u neodređenim razmerama

R - veoma retka vrsta

V - rano upozorenje (još uvek nije ugrožena vrsta, ali nekoliko različitih faktora mogu uzrokovati ugroženost u narednih 10 godina)

D - nedovoljno podataka

RL status - nemačka Crvena lista silikatnih algi, Lange-Bertalot 1996 i Hoffman 2013.

Dominantni taksoni

Prilog 2 - Kvantitativna analiza zajednice silikatnih algi iz jezera Vrutci

Vrednosti indeksa diverziteta (H) i ujednačenosti (Eh) zajednice silikatnih algi sa veštačkih podloga iz jezera Vrutci

Seriya	Datum	Dubina	H	Eh
CiS	07/2015	1	2,11	0,52
		2	2,82	0,69
	08/2015	1	2,73	0,72
		2	3,19	0,74
		3	2,21	0,53
	09/2015	1	2,86	0,7
		2	3,73	0,83
		3	1,44	0,56
		4	1,7	0,57
	10/2015	1	2,71	0,66
		2	3,62	0,76
		3	3	0,67
4		1,46	0,44	
MiS	07/2015	1	2,11	0,52
		2	2,82	0,69
	08/2015	1	2,72	0,73
		2	2,73	0,65
		3	1,49	0,47
	09/2015	1	3,23	0,76
		2	2,74	0,7
	10/2015	1	2,93	0,69
2		2,98	0,81	

**3 Prilog 3 - Mikrografije odabranih predstavnika cijanobakterija i
algi iz perifitona Savskog jezera i jezera Vrutci**

Tabla I

Predstavnici Cyanobacteria, Savsko jezero

Slika 1. *Chroococcus minimus* (Keissler) Lemmermann (50351)

Slika 2. *Chroococcus minutus* (Kützing) Nägeli (51340)

Slika 3. *Merismopedia glauca* (Ehrenberg) Kützing (51072)

Slika 4. *Snowella lacustris* (Chodat) Komárek & Hindák (51464)

Slika 5. *Phormidium breve* (Kützing ex Gomont) Anagnostidis & Komárek (50224)

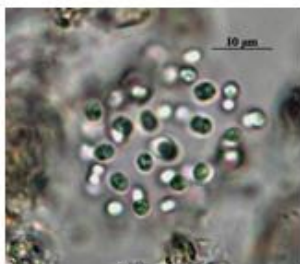
Slika 6. *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing (51411)

Slika 7. *Limnococcus limneticus* (Lemmermann) Komárková, Jezberová, O.Komárek & Zapomelová (50952)

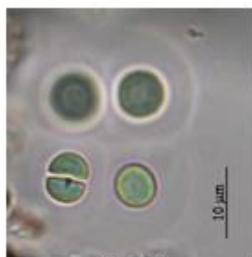
Slika 8. *Pseudanabaena papillaterminata* (Kiselev) Kukk (51339)

*Metrić 10µm na svim slikama

Prilog 3 - Mikrografije



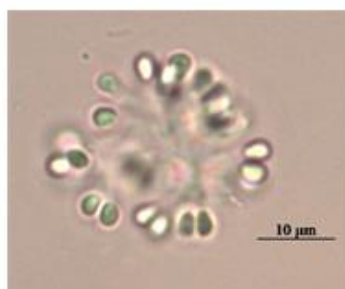
Slika 1.



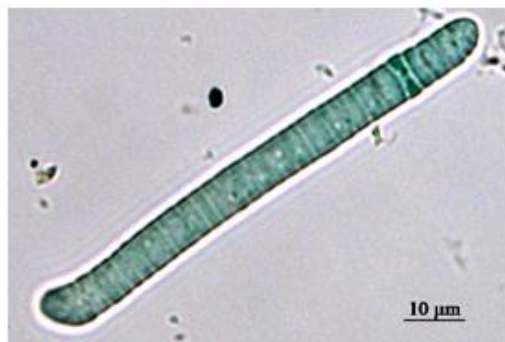
Slika 2.



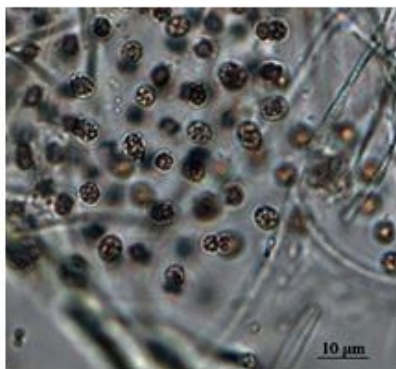
Slika 3.



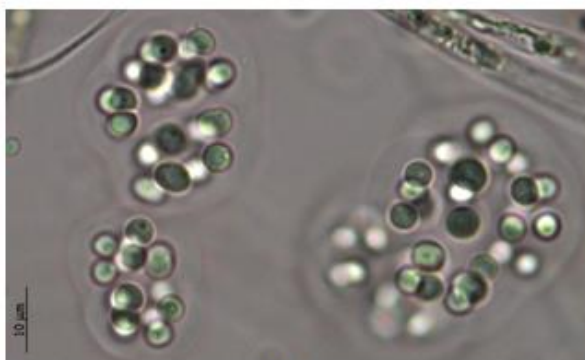
Slika 4.



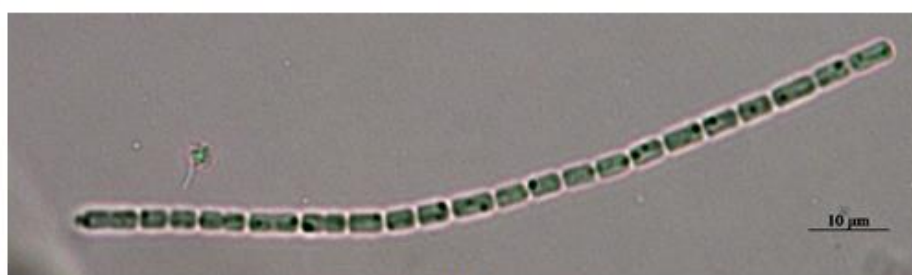
Slika 5.



Slika 6.



Slika 7.



Slika 8.

Tabla II

Predstavnici Bacillariophyta, Savsko jezero

Slika 1. *Discostella stelligera* (Cleve et Grun.) Houk & Klee (52266)

Slika 2. *Pantocsekiella ocellata* (Pantocsek) K.T. Kiss et Ács (51559)

Slika 3. *Lindavia radiosa* (Grunow) De Toni & Forti (51654)

Slika 4. *Staurosira mutabilis* (Wm Smith) Grunow (51655)

Slika 5. *Staurosira brevistriata* (Grunow) Grunow (51647)

Slika 6. *Nitzschia lacuum* Lange-Bertalot (51603)

Slika 7. *Achnantheidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki (51660)

Slika 8. *Navicula antonii* Lange-Bertalot (51579)

Slika 9. *Encyonopsis microcephala* (Grunow) Krammer (51690)

Slika 10. *Encyonopsis minuta* Krammer & Reichardt (51544)

Slika 11. *Encyonopsis subminuta* Krammer & Reichardt (51691)

Slika 12. *Navicula cryptotenelloides* Lange-Bertalot (51644)

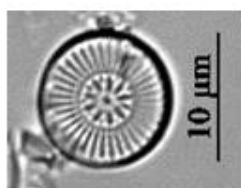
Slika 13. *Navicula cryptotenella* Lange-Bertalot (51619)

Slika 14. *Cymbella affiniformis* Krammer (51662)

Slika 15. *Navicula trivialis* var. *trivialis* Lange-Bertalot (51625)

*Metrić 10µm na svim slikama

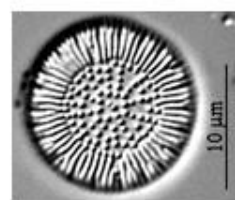
Prilog 3 - Mikrografije



Slika 1.



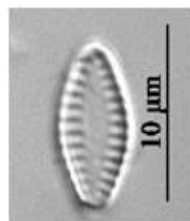
Slika 2.



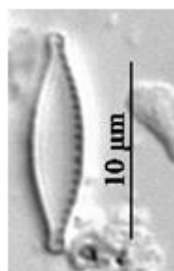
Slika 3.



Slika 4.



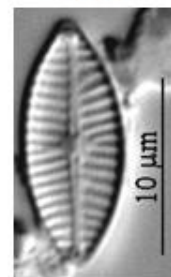
Slika 5.



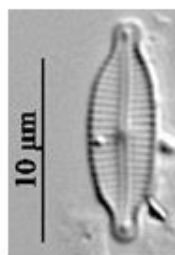
Slika 6.



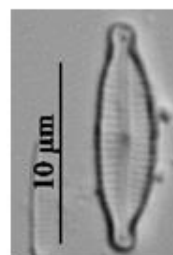
Slika 7.



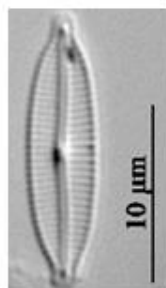
Slika 8.



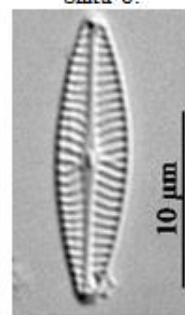
Slika 9.



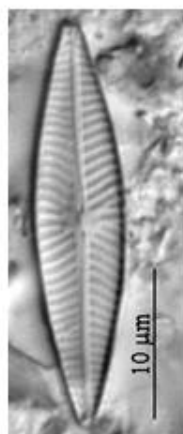
Slika 10.



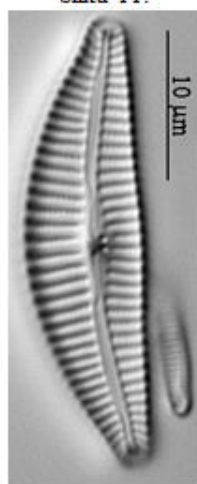
Slika 11.



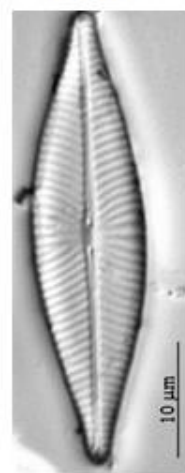
Slika 12.



Slika 13.



Slika 14.



Slika 15.

Tabla III

Predstavnci Chlorophyta, Savsko jezero

Slika 1. *Phacotus lenticularis* (Ehrenberg) Deising (51309)

Slika 2. *Phacotus lenticularis* (Ehrenberg) Deising (51311)

Slika 3. *Phacotus lenticularis* (Ehrenberg) Deising (51473)

Slika 4. *Phacotus lenticularis* (Ehrenberg) Deising (51509)

Slika 5. *Sphaerocystis schroeteri* Chodat (50394)

Slika 6. *Gloeocystis* Nägeli sp. (51447)

Slika 7. *Mougeotia* C.Agardh sp. (50331)

Slika 8. *Cosmarium variolatum* var. *cataractarum* Raciborski (51365)

Slika 9. *Cosmarium reniforme* (Ralfs)W.Archer (51443)

Slika 10. *Cosmarium tetraophthalmum* Brebisson (51451)

Slika 11. *Spirogira* Link sp. (50126)

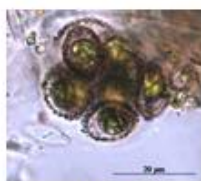
Slika 12. *Oedogonium* Link ex Hirn sp. (51510)

*Metrić 20µm na svim slikama

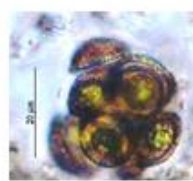
Prilog 3 - Mikrografije



Slika 1.



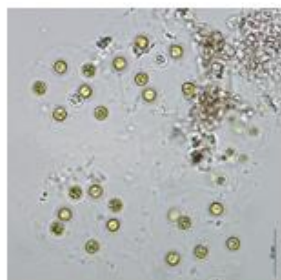
Slika 2.



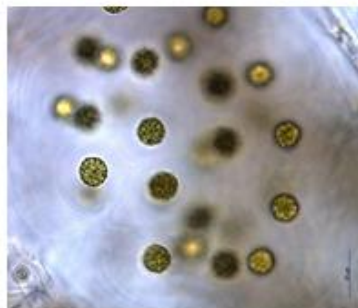
Slika 3.



Slika 4.



Slika 5.



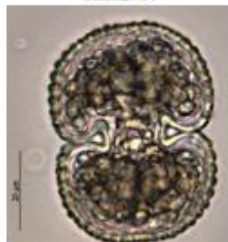
Slika 6.



Slika 7.



Slika 8.



Slika 9.



Slika 10.



Slika 11.



Slika 12.

Tabla IV

Predstavnici Cyanobacteria i Chlorophyta, jezero Vrutci

Slika 1. *Eutetramorus fottii* (Hindák) Komárek (51748)

Slika 2. *Botryococcus braunii* Kützing (51743)

Slika 3. *Planktothrix rubescens* (De Candolle ex Gomont) Anagnostidis & Komárek(51760), metrić 50 µm

Slika 4. *Pseudanabaena catenata* Lauterborn (51714)

Slika 5. *Mougeotia* C.Agardh sp. (51741)

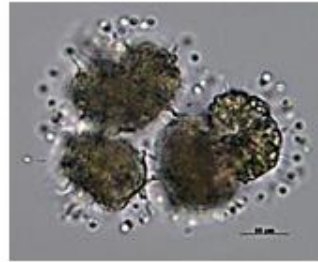
Slika 6. *Planktothrix rubescens* (De Candolle ex Gomont) Anagnostidis & Komárek(51573), grupa filamenata u biofilmu, metric 200 µm

*Metrić 10µm na svim slikama izuzev Slike 3. i 7.

Prilog 3 - Mikrografije



Slika 1.



Slika 2.



Slika 3.



Slika 4.



Slika 5.



Slika 6.

Tabla V

Predstavnci Bacillariophyta, jezero Vrutci

Slika 1. *Achnantheidium caledonicum* (Lange-Bertalot)Lange-Bertalot (51907)

Slika 2. *Cymbopleura frequens* Krammer (51896)

Slika 3. *Nitzschia tabellaria* (Grun.) Grun. (51885)

Slika 4. *Cymbopleura rupicola* var. *minor* Krammer (51820)

Slika 5. *Cymbella perparva* Krammer (51819)

Slika 6. *Cymbella vulgata* var. *vulgata* Krammer (51877)

Slika 7. *Caloneis silicula* (Ehrenberg) Cleve (52100)

Slika 8. *Cymbella neocistula* var. *lunata* Krammer (52052)

Slika 9. *Gomphonema acuminatum* Ehrenberg (51853)

*Metrić 10µm na svim slikama

Prilog 3 - Mikrografije



Slika 1.



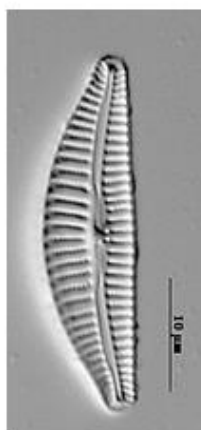
Slika 2.



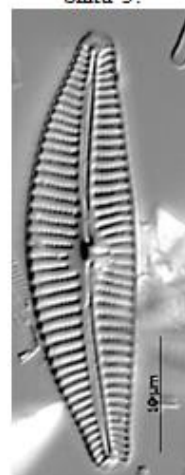
Slika 3.



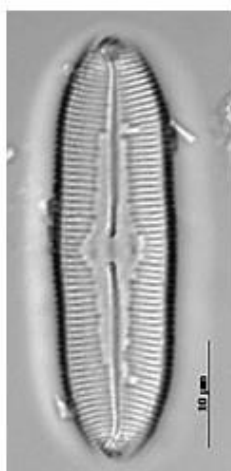
Slika 4.



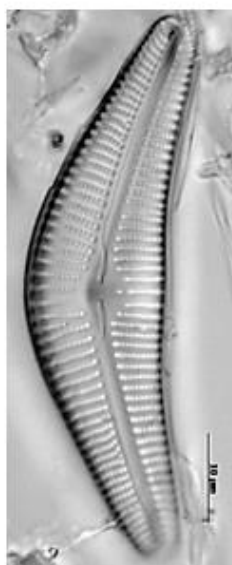
Slika 5.



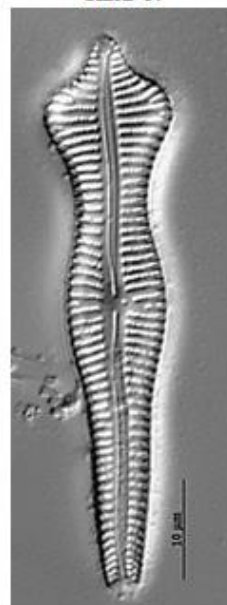
Slika 6.



Slika 7.



Slika 8.



Slika 9.

1 Biografija autora

Ivana S. Trbojević, diplomirani biolog, rođena je 01. avgusta 1983. godine u Beloj Crkvi, gde je završila Osnovnu školu „Žarko Zrenjanin” i gimnaziju „Jovan Cvijić”, opšti smer. Osnovne akademske studije na Prirodno-matematičkom fakultetu u Kragujevcu upisala je 2002. godine na studijskoj grupi Biologija. Diplomirala je 2008. godine sa prosečnom ocenom 9,36 i ocenom 10 na diplomskom ispitu.

Doktorske studije upisala je 2014. godine na Biološkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, na studijskom programu Biologija, modul Algologija. Od marta 2018. je zaposlena na Katedri za algologiju, mikologiju i lihenologiju, Biološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, kao Istraživač saradnik u okviru nacionalnog projekta pod nazivom „Transformacija geoprostora Srbije - prošlost, savremeni problemi i predlozi rešenja”, broj OI 176020.

Rezultate dosadašnjih istraživanja objavila je u 35 bibliografskih jedinica (6 radova u naučnim časopisima međunarodnog značaja (M20), 22 rada u zbornicima međunarodnih naučnih skupova (M30), 1 rad u časopisima nacionalnog značaja (M50) i 6 radova u zbornicima skupova nacionalnog značaja (M60)).

Od 2015. godine član je Internacionalnog društva limnologa (International Society of Limnology, SIL). Od 2018. godine član je i Internacionalne istraživačke grupe harofitologa (The International Research Group on Charophytes, IRGC).

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора: **Ивана Трбојевић**

Број индекса: **Б3038/2014**

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

„Анализа перифитона са вештачких подлога из Савског језера и језера Врутци“

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора: **Ивана Трбојевић**

Број индекса: **Б3038/2014**

Студијски програм: **Биологија**

Наслов рада: „**Анализа перифитона са вештачких подлога из Савског језера и језера Врутци**“

Ментор: **проф. др Гордана Субаков Симић, ванредни професор**

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

„Анализа перифитона са вештачких подлога из Савског језера и језера Врутци“

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, _____

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.