

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
INSTITUT RUĐER BOŠKOVIĆ, ZAGREB**

**POSLIJEDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI INTERDISCIPLINARNI (DOKTORSKI) STUDIJ
ZAŠTITA PRIRODE I OKOLIŠA**

Tanja Žuna Pfeiffer

**Naseljavanje i razvoj alga u obraštajnim zajednicama
poplavnog područja Dunava**

Doktorski rad

OSIJEK, 2012.

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Institut Ruđer Bošković, Zagreb
Poslijediplomski sveučilišni interdisciplinarni (doktorski) studij Zaštita prirode i okoliša

Doktorski rad

Znanstveno područje: Prirodne znanosti
Znanstveno polje: Biologija

Naseljavanje i razvoj alga u obraštajnim zajednicama poplavnog područja Dunava

Tanja Žuna Pfeiffer

Doktorski rad izraden je na Odjelu za biologiju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Mentor: doc. dr. sc. Melita Mihaljević, Odjel za biologiju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Komentor: prof. dr. sc. Anđelka Plenković-Moraj, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Sažetak doktorskog rada

Istraživanje alga u obraštajnim zajednicama na umjetnim staklenim podlogama provedeno je u dunavskom poplavnom području Kopačkog rita na lokalitetu Sakadaško jezero. Praćene su promjene fizikalno-kemijskih svojstava vode jezera, ukupne biomase obraštaja te kvalitativnog i kvantitativnog sastava alga u dvije eksperimentalne serije. Prva serija je započela u proljeće i trajala je do zime, dok je druga serija obuhvatila razdoblje od ljeta do zime 2010. godine. Kako bi se utvrdila dinamika naseljavanja i razvoja alga sve do postizanja stabilnih zajednica u kojima se sastav alga nije značajno mijenjao, promjene su praćene u kraćim, trodnevnim intervalima, a nakon toga, u dužim vremenskim intervalima odnosno svaka dva tjedna. Tijekom razvoja obraštaja izmjenjivale su se faze rasta i gubitka, a njihova je duljina trajanja ovisila o promjenama okolišnih uvjeta. Razvoj obraštaja započeo je već prvog dana izlaganja podloga vjerojatno zbog brzog naseljavanja bakterija. Naseljavanje alga odvijalo se postupno, a u mikrosukcesijama alga definiranim na osnovu njihova načina prihvaćanja za podloge, utvrđene su tri faze - inicijalna, intermedijarna i kasna. Naseljavanje je započelo prihvaćanjem cijanobakterija u proljeće, a cijanobakterija i klorokokalnih alga u ljeto te dijatomeja koje priliježu uz podlogu. Nakon toga, podloge su naseljavale dijatomeje na kraćim, a zatim na dužim stapkama te nitaste zelene alge što je omogućilo razvoj složene trodimenzionalne strukture i daljnji rast obraštajnih zajednica. Razvoj obraštaja, naseljavanje alga i postizanje stabilne zajednice odvijali su se brže tijekom ljeta nego u proljeće. Plavljenje je dovelo do promjena fizikalno-kemijskih svojstava vode jezera, a velike i dugotrajne poplave tijekom ljeta pridonijele su širenju metafitona i makrofitske vegetacije. Promjene ekoloških uvjeta jezera bile su disturbancija za razvoj obraštajnih zajednica na umjetnim podlogama te je u obje eksperimentalne serije započela faza gubitka. U uvjetima disturbancija značajno se smanjila ukupna biomasa obraštaja, zajednice različite starosti su se ujednačile s obzirom na kvalitativan i kvantitativan sastav alga, a dominantne vrste bile su dijatomeje otporne na disturbancije. S prestankom disturbancija započeo je oporavak obraštajnih zajednica. Ponovni rast odvijao se brže nego u proljeće i ljeto vjerojatno zbog zadržavanja dijela obraštaja na podlogama, a zajednice različite starosti bile su vrlo slične s obzirom na kvalitativan i kvantitativan sastav alga. Sveukupno, obraštajne zajednice u poplavnom području Dunava karakterizirane su velikom raznolikošću vrsta, brzo se razvijaju, osjetljive su na disturbancije, ali imaju veliku sposobnost obnavljanja. Zbog toga su istraživanja obraštaja vrlo bitna u procjeni promjena ugroženih i osjetljivih ekosustava poplavnih područja.

Broj stranica: 114

Broj slika: 36

Broj tablica: 20

Broj literaturnih navoda: 183

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: obraštaj, alge, umjetne podloge, dinamika razvoja, poplavno područje.

Datum obrane: 22.11.2012.

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. Prof. dr. sc. Nenad Jasprica, Institut za more i priobalje Sveučilišta u Dubrovniku,
2. Doc. dr. sc. Melita Mihaljević, docentica Odjela za biologiju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku,
3. Prof. dr. sc. Anđelka Plenković-Moraj, redovna profesorica Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Rad je pohranjen u: Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu (Hrvatske bratske zajednice 4.), Gradskoj i sveučilišnoj knjižnici u Osijeku (Europske avenije 24), Sveučilištu u Zagrebu (Trg maršala Tita 14), Sveučilištu u Rijeci (Riječke rezolucije 7), Sveučilištu u Splitu (Livanjska 5) i Sveučilištu Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku (Trg Sv. Trojstva 3).

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Ruder Bošković Institute, Zagreb
University postgraduate interdisciplinary (doctoral) study
Environmental Protection and Nature Conservation

PhD thesis

Scientific area: Natural sciences

Scientific field: Biology

Colonization and growth of periphytic algae in a Danubian floodplain

Tanja Žuna Pfeiffer

Thesis performed at: Department of Biology, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

Supervisor: Melita Mihaljević, PhD, Assistant Professor, Department of Biology, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

Co-supervisor: Anđelka Plenković-Moraj, PhD, Full Professor, Faculty of Science, University of Zagreb

Abstract

The colonization of periphyton algae on artificial substrata (glass slides) was studied in the Danubian floodplain (Lake Sakadaš, Nature Park Kopački Rit). In two experimental series, physical and chemical properties of the lake water, periphyton biomass as well as the qualitative and quantitative algal composition were investigated. The first experimental series started in spring and lasted until winter, while the second series lasted from summer until winter 2010. In order to determine the dynamics of periphytic algae colonization and development until the stable algal community is achieved, the changes were monitored in shorter, three-day intervals, and later on at two-week intervals. During the periphyton formation, growth phases alternated with loss phases, depending on the changes of environmental factors. The periphyton formation was initiated on the first day of deployment due to the rapid biofilm formation. The algal colonization progressed gradually and the following sequences can be defined according to the morphological characteristics and colonization abilities of species – the initial, the intermediate and the late phase. Initial colonization in spring was characterized by attached cyanobacteria, while in summer, cyanobacteria, chlorococcal green algae and horizontally positioned diatoms prevailed. Later, substrata was colonized by short and long stalked diatoms as well as filamentous green algae which enabled the development of a more complex three-dimensional structure and further development of periphytic communities. Periphyton development, algal colonization and the achievement of the stable community was faster during the summer compared to the spring. Flooding induced the changes of physical and chemical properties of the lake. The long-lasting flood during the summer caused the spreading of metaphyton and macrophyte vegetation which was disturbance for periphyton development and the loss phase began in a both experimental series. During the disturbance, the total periphyton biomass significantly decreased, communities of different age were unified regarding the qualitative and quantitative algal composition and the disturbance-resistant diatom species were dominant. The recovery of periphytic communities began with the loss of disturbance. The growth progressed faster than in the spring-summer period, probably due to the remaining part of the community left on the substrata and communities of different age were very similar. Altogether, periphytic communities in a Danubian floodplain are characterized by a high biodiversity, rapid development and high sensitivity to disturbance but have a high recovery rate. Therefore, the periphyton investigations are very important in the assessment of changes of endangered and sensitive floodplain ecosystems.

Number of pages: 114

Number of figures: 36

Number of tables: 20

Number of references: 183

Original in: Croatian

Key words: periphyton, algal community, artificial substratum, growth dynamic, flooding.

Date of thesis defense: November 22, 2012

Reviewers:

1. **Nenad Jasprica**, PhD Associate Professor, Institute for Marine and Coastal Research, University of Dubrovnik,
2. **Melita Mihaljević**, PhD, Assistant Professor, Department of Biology, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek,
3. **Anđelka Plenković Moraj**, PhD, Full Professor, Faculty of Science, University of Zagreb.

Thesis is deposited in: National and University Library (Hrvatske bratske zajednice 4.), City and University Library in Osijek (Europske avenije 24), University of Zagreb (Trg maršala Tita 14); University of Rijeka (Riječke rezolucije 7), University of Split (Livanjska 5), and Josip Juraj Strossmayer University of Osijek (Trg Sv. Trojstva 3)

SADRŽAJ

1. Uvod	1
1.1. Razvoj obraštaja i naseljavanje alga	1
1.2. Utjecaj abiotičkih i biotičkih čimbenika na razvoj alga u obraštaju	4
1.3. Utjecaj disturbancija na alge u obraštaju	7
1.4. Razvoj obraštaja u poplavnim područjima	9
1.5. Hipoteze i ciljevi rada	11
2. Područje istraživanja	12
3. Materijali i metode	16
3.1. Dizajn eksperimenta	16
3.2. Uzorkovanje	17
3.3. Mjerenje fizikalno-kemijskih svojstava vode	19
3.4. Laboratorijska obrada uzoraka	19
3.5. Kvalitativna i kvantitativna analiza alga u obraštaju	20
3.6. Statistička obrada podataka	21
4. Rezultati	24
4.1. Naseljavanje alga u proljetnim i ljetnim uvjetima	24
4.1.1. Okolišni uvjeti	24
4.1.2. Promjene ukupne biomase obraštaja	31
4.1.3. Naseljavanje alga i razvoj obraštajnih zajednica	35
4.2. Razvoj alga u obraštaju tijekom proljetno-zimske i ljetno-zimske eksperimentalne serije	49
4.2.1. Okolišni uvjeti	50
4.2.2. Promjene ukupne biomase obraštaja	54
4.2.3. Sukcesije alga u obraštajnim zajednicama	59
5. Rasprava	81
6. Zaključci	92
7. Literatura	94
8. Životopis	113

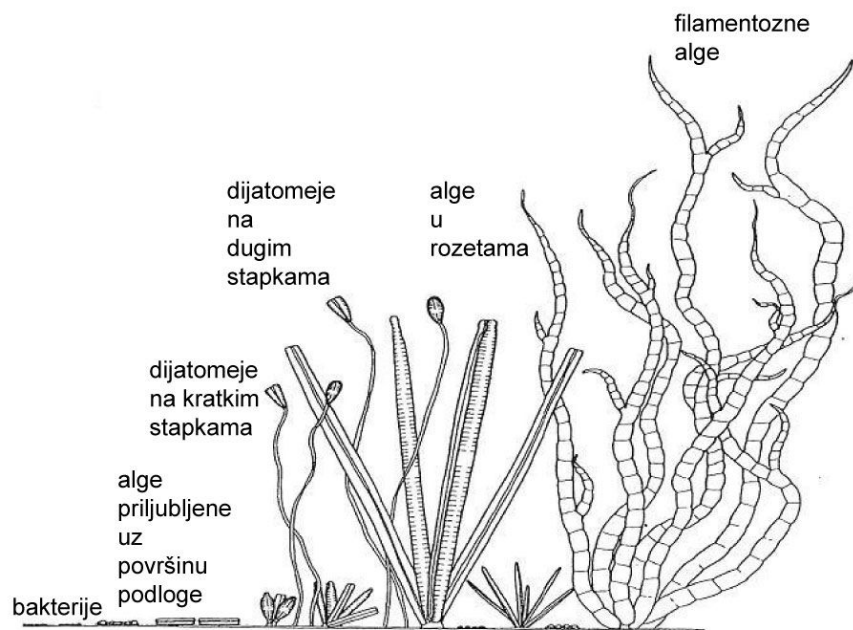
1. UVOD

Obraštaj ili perifiton je složena zajednica bakterija, alga, različitih heterotrofnih organizama te detritusa koja se razvija na prirodnim i umjetnim podlogama u svim vodenim ekosustavima i u različitim trofičkim uvjetima (Azim i sur., 2005). U literaturi se za obraštaj koriste različiti sinonimi kao što su bentos, „Aufwuchs” i biofilm. Bentos označava zajednice organizama koji slobodno žive u gornjim slojevima dna, a „Aufwuchs” zajednice organizama koji žive pričvršćeni za podlogu ili se po njoj kreću, ali u nju ne prodiru (Weitzel, 1979). Naziv biofilm odnosi se na zajednice bakterija i protozoa (ne i alga), a primjenjuje se pri opisivanju obraštaja u tehnološkim područjima kao što su pročišćavanje otpadnih voda (Cohen, 2001) i tehnologija pitkih voda (Momba i sur., 2000). Nazivi euperifiton i pseudoperifiton koriste se u literaturi kako bi se definirali pojedini dijelovi obraštajnih zajednica. Tako euperifiton označava osnovni dio obraštaja kojeg čine organizmi prilagođeni sesilnom načinu života, dok pseudoperifiton označava organizme koji se slobodno kreću između pričvršćenih organizama (Weitzel, 1979). Ovisno o tipu podloge na kojoj se razvija, u literaturi se za obraštaj koriste različiti nazivi. Tako se obraštaj na vodenoj vegetaciji naziva epifiton, na drvenim podlogama epiksilon, na sedimentu epipelon, na pijesku epipsamon, a na kamenu epiliton (Azim i sur., 2005).

1.1. Razvoj obraštaja i naseljavanje alga

Razvoj obraštaja na površini različitih podloga u vodi počinje taloženjem otopljenih organskih tvari, većinom aminokiselina i mukopolisharida uslijed djelovanja elektrostatskih sila (Cowling i sur., 2000; Van Dam i sur., 2002). Taloženjem otopljenih čestica organske tvari nastaju pogodni uvjeti za naseljavanje bakterija koje se za površinu podloga aktivno prihvaćaju mukoznim nitima, povećavaju površinu te stvaraju nova mjesta za prihvaćanje različitih koloidnih, organskih i anorganskih čestica te različitih vrsta alga (Hoagland i sur., 1982; Morikawa i Shibuya, 2000; Hodoki, 2005, Sl. 1).

Naseljavanje alga je proces koji se temelji na pasivnom prihvaćanju jedinki na površinu podloge. Brzina naseljavanja ovisi o broju jedinki u stupcu vode, o morfološkim obilježjima vrsta (veličina, oblik), tipu podloge, brzini strujanja vode te koncentraciji hranjivih tvari u vodi (Stevenson i Peterson, 1989; Ács i Kiss, 1993a; Ghosh i Gaur, 1998; Albay i Akcaalan, 2008).

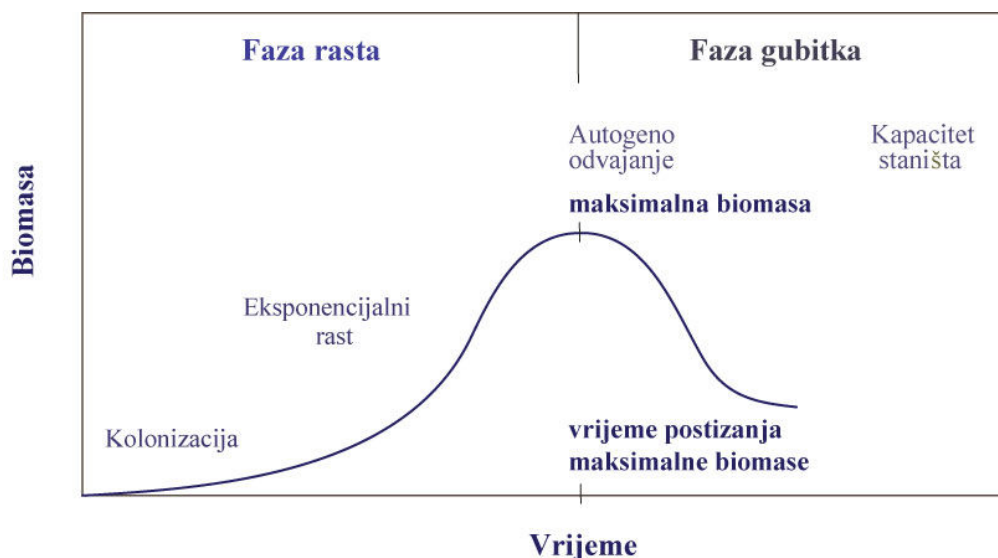


Slika 1. Kolonizacijski slijed alga u obraštajnim zajednicama (izvor: Hoagland i sur., 1982).

Na formirani organski matriks prvo se prihvaćaju penatne dijatomeje (npr. *Cocconeis*) ili različite vrste cijanobakterija (npr. *Chroococcus*, *Merismopedia*) i zelenih alga (npr. *Scenedesmus*, *Characium*, *Chlorococcus*) koje priliježu uz podlogu (Sl. 1). Nakon njih, na podlogu se prihvaćaju dijatomeje na kraćim ili dužim stapkama (npr. *Gomphonema*) te dijatomeje u rozetama (npr. *Nitzschia*, *Fragilaria*). Različite morfološke strukture dijatomeja nastaju izlučivanjem izvanstaničnih polimernih tvari građenih od ugljikohidrata (Staats i sur., 1999; Stal i de Brouwer, 2003; Chiovitti i sur., 2003), proteina, glikoproteina (Lind i sur., 1997; Chiovitti i sur., 2003a), galakturonske i glukuronske kiseline (De Brouwer i Stal, 2002), a omogućuju dijatomejama čvrsto prihvaćanje za podlogu. Za razliku od dijatomeja koje su većinom brzi kolonizatori, filamentozne cijanobakterije (npr. *Oscillatoria*) i zelene alge (npr. *Ulothrix*, *Oedogonium*, *Stigeoclonium*) sporije naseljavaju podlogu te obilježavaju kasnu fazu razvoja obraštajnih zajednica (Biggs i sur., 1998; Sekar i sur., 2004). Pojedine filamentozne vrste direktno prijanjaju uz podlogu i ne razvijaju posebne strukture za prihvaćanje (npr. *Mougeotia*, *Phormidium*), dok neke vrste prijanjaju uz podlogu filamentima obavijenim ljepljivim ovojem (npr. *Calothrix*) ili razvijaju posebne strukture za prihvaćanje dok se dugim filamentima odvajaju od podloge (npr. *Oedogonium*, *Stigeoclonium*). Naseljavanjem

filamentoznih alga nastaje složena, slojevita struktura poznata i kao „klimaks” obraštajne zajednice (Azim i Asaeda, 2005).

Promjene kvalitativnog i kvantitativnog sastava alga tijekom razvoja obraštaja prate i značajne promjene ukupne biomase obraštaja. Slijed promjena u razvoju biomase u kraćim vremenskim intervalima prikazan je na Sl. 2. U razdoblju od nekoliko dana do nekoliko mjeseci, a ovisno o dostupnosti hranjivih tvari, svjetlosti i ispaši, biomasa obraštaja se kroz kolonizaciju i rast eksponencijalno povećava i dostiže vršne vrijednosti. Time završava faza rasta i započinje faza gubitka ili propadanja koja je karakterizirana emigracijom, odumiranjem jedinki, odljepljivanjem i ispašom (Biggs, 1996).



Slika 2. Promjene biomase obraštaja tijekom naseljavanja podloge (izvor: Biggs, 1996).

Različiti ekološki čimbenici te mehanički utjecaji mogu dovesti do odljepljivanja alga i narušavanja obraštajnih zajednica (Biggs, 1996a). Strujanje vode oko podloga, a time i oko obraštaja je vrlo složeno; od laminarnog strujanja nekoliko milimetara od površine podloge koje je uzrokovano gibanjem molekula do turbulentnog strujanja u višim slojevima obraštaja koje pogoduje bržoj izmjeni tvari. U donjem sloju obraštaja u kojem su procesi izmjene tvari sporiji, nedostatak kisika i hranjivih tvari te zasjenjenje mogu dovesti do ugibanja algi i njihovog odljepljivanja od podloge (Azim i Asaeda, 2005). Poznato je da više temperature vode (>15 °C) i jači intenzitet osvjetljenja pridonose odljepljivanju alga (Vermaat i

Hootsmans, 1994). Također, intenzivniji razvoj biomase obraštaja tijekom dužih razdoblja bez značajnijeg narušavanja obraštaja pridonosi bržem odumiranju i odljepljivanju alga. Taksonomski sastav alga u obraštaju značajno utječe na brzinu odumiranja. Obraštajne zajednice u kojima dominiraju cijanobakterije otpornije su na uvjete nedostatka hranjivih tvari, kisika i svjetlosti u jače razvijenim obraštajnim zajednicama i u takvim uvjetima mogu opstati duže vrijeme u odnosu na zajednice u kojima dominiraju dijatomeje (Peterson i Grimm, 1992).

Promatrano u dužim vremenskim intervalima, biomasa obraštaja može trajno biti relativno mala ili se u razvoju izmjenjuju faze rasta i faze gubitka. Prirast biomase je uvjetovan sezonskim promjenama (Biggs i Close, 1989) te brojnim ekološkim čimbenicima pojedinih tipova ekosustava. Tako je zadržavanje relativno male biomase obraštaja karakteristično za sustave izložene čestim disturbancijama, sustave s vrlo niskim koncentracijama hranjivih tvari kao i sustave u kojima je bujno razvijena makrofitska vegetacija (Higgins i Han, 1995). Osim toga, mala biomasa obraštaja može se zadržati i u relativno stabilnim sustavima zbog velikog hranidbenog pritiska dobro razvijenih zajednica beskralježnjaka (Steinman i sur., 1991).

1.2. Utjecaj abiotičkih i biotičkih čimbenika na razvoj alga u obraštaju

Dosadašnja istraživanja ukazuju da na razvoj alga u obraštaju utječu različiti abiotički i biotički čimbenici (Larned, 2010). Utjecaj svjetlosti kao jednog od najznačajnijih čimbenika ovisi o dubini na kojoj se obraštaj razvija te o položaju alga u obraštajnoj zajednici. Općenito, u uvjetima dobre osvjetljenosti obraštajne zajednice su autotrofne čemu pridose dobro razvijene populacije alga, dok nedostatak svjetlosti potiče razvoj heterotrofnih zajednica u kojima dominiraju bakterije (Asaeda i Hong Son, 2000). Poznato je da cijanobakterijama pogoduju uvjeti manjeg osvjetljenja (Vermaat, 2005), a zelenim algama jači intenzitet svjetlosti te su zato i brojnije u ljetnim mjesecima (Liboriussen, 2003). Vrlo jaka svjetlost uzrokuje stres u stanicama alga uslijed čega one slabije rastu i razmnožavaju se te postaju izloženije napadima konzumenata (Wellnitz i Rader, 2003; Hillebrand i sur., 2004). Prilagodbe i pokretljivost pojedinih vrsta alga u obraštaju ovise o njihovim potrebama za određenom količinom svjetlosti. Tako slabo pokretne pojedinačne alge (npr. *Cocconeis*, *Amphora*) koje priliježu uz podlogu i mogu biti prekrivene sedimentom, detritusom ili drugim algama, u uvjetima dostupne male količine svjetlosti mogu preživjeti nekoliko dana. Nepokretnim kolonijalnim algama (npr. *Synedra*, *Fragilaria*, *Melosira*, *Gomphonema*)

odgovaraju različiti intenziteti svjetlosti, dok dobro pokretne alge (npr. *Navicula*, *Nitzschia*) ne podnose nizak intenzitet svjetlosti (Hudon i Bourget, 1981). Sezonski uvjeti, razvijenost okolne vegetacije i same obraštajne zajednice utječu na količinu svjetlosti u obraštaju. Poznato je da razvijena makrofitska vegetacija stvara zasjenjenje što nepovoljno utječe na razvoj obraštaja (Von Schiller i sur., 2007). U starijim i dobro razvijenim obraštajnim zajednicama prodor svjetlosti je ograničen pa se u donjim slojevima razvijaju alge otpornije na uvjete zasjenjenja (Dodds, 1992; Asaeda i Hong Son, 2000).

Algama su za rast i razvoj neophodne hranjive tvari kao što su dušik i fosfor te organske tvari i silikati koje uzimaju iz vode, ali i iz samog obraštaja unutar kojeg se te tvari recikliraju (Goldsborough i sur., 2005; Mulholland i Webster, 2010). Hranjive tvari difuzijom prelaze iz vode u obraštaj, a brzina difuzije ovisi o fotosintezi alga, kao i o različitim kemijskim reakcijama koje utječu na topljivost tvari (Henry i Fisher, 2003). Bakterije i alge stvaraju polisaharidni matriks prožet mikrokanalima kroz koje se difuzija organskih i anorganskih tvari odvija brže nego kroz ostale dijelove obraštaja (De Beer i sur., 1994). Razvijenost polisaharidnog matriksa kao i veličina mikrokanala određeni su vanjskim čimbenicima. Veće koncentracije otopljene organske tvari u vodi kao i izloženost obraštaja UV zračenju omogućuju formiranje većih mikrokanala. Obraštajne zajednice u kojima dominiraju dijatomeje i nitaste zelene alge obično su poroznije i sadrže više mikrokanala od zajednica u kojima dominiraju cijanobakterije (Wetzel, 2005).

Opće je poznato da niske koncentracije hranjivih tvari, posebno dušika i fosfora u vodi ograničavaju rast alga u obraštajnim zajednicama (Rier i Stevenson, 2006). Osim toga, u nedostatku fosfora u stanicama zelenih alga brže dolazi do fotoinhibicije (Litchman i sur., 2003). Povećanje koncentracija hranjivih tvari u vodi dovodi do promjena taksonomskog sastava i ukupnog broja alga te do povećanja gustoće i debljine obraštaja (Vermaat, 2005; DeNicola i sur., 2006). Tako se uslijed povećanja koncentracije dušika povećava autotrofna biomasa u obraštajnim zajednicama (Scott i sur., 2009), a može doći i do sukcesije zajednica u kojima dominiraju dijatomeje i modrozelenne alge u zajednice u kojima dominiraju isključivo dijatomeje (Hawes i Smith, 1993). Eutrofni uvjeti karakterizirani visokom koncentracijom hranjivih tvari pogoduju razvoju nitastih zelenih algi (Danilov i Ekelund, 2001).

Biotički čimbenici imaju važnu ulogu u razvoju obraštajnih zajednica. Između populacija obraštajnih zajednica uspostavljaju se odnosi kompeticije za hranjive tvari (De Beer i Kühl,

2001; Larned, 2010). Brojni beskralježnjaci i kralježnjaci umjerenom ispašom uklanjaju nakupljeni detritus i uginule organizme u obraštaju, omogućuju bolji prodor svjetlosti i hranjivih tvari kroz sve dijelove obraštaja te potiču rast obraštajnih zajednica (Wetzel, 2005). Međutim, intenzivna ispaša može značajno smanjiti biomasu i produktivnost obraštaja kao i broj jedinki dominantnih vrsta te imati veći utjecaj na razvoj obraštaja od utjecaja dostupnih hranjivih tvari (Hillebrand, 2002). Pojedini heterotrofni organizmi se prehranjuju samo određenim vrstama alga. Tako su u prehrani algivornih protozoa i oligoheta zastupljenije dijatomeje (Hamels i sur., 2004; Tall i sur., 2006). Također su alge koje čvrsto priliježu uz podlogu znatno manje zastupljene u prehrani heterotrofnih organizama u odnosu na alge koje se izdižu iznad površine podloge (Steinman, 1996). Različite interakcije uspostavljaju se i između alga u obraštaju i podloge na kojoj se obraštaj razvija. Ovo posebno dolazi do izražaja kada se obraštaj razvija na prirodnim podlogama, kao što je na primjer makrofitska vegetacija. Alge u obraštaju štite makrofite od ispaše, a za rast i razvoj koriste različite tvari koje otpuštaju bljke „domaćini“ (De Nie, 1987; Burkholder i Wetzel, 1990). Međutim, između ovih se zajednica uspostavljaju i odnosi kompeticije budući da i alge u obraštaju i makrofiti koje nastanjuju koriste iste izvore svjetlosti i hranjivih tvari potrebnih za rast (Weisner i sur., 1997; Roberts i sur., 2003).

Tip i veličina podloge važni su čimbenici razvoja obraštajnih zajednica. Čvrste prirodne podloge većih površina, hrapavije i poroznije podloge, usporavaju strujanje vode, stabilnije su i omogućuju brži razvoj obraštajnih zajednica (Nielsen i sur., 1984; Bergey, 2008) u kojima mogu dominirati nitaste zelene alge (Cattaneo i sur., 1997). Manje podloge, pjeskoviti i muljeviti sedimenti podložniji su utjecaju strujanja vode i prilično su nestabilne podloge za razvoj obraštaja. Valovi i jača strujanja uzrokuju otplavlivanje, a pomicanje sedimenta smanjuje prodor svjetlosti što dovodi do narušavanja obraštajnih zajednica (Azim i Asaeda, 2005). Na manjim podlogama u obraštaju obično dominiraju cijanobakterije i pokretne dijatomeje (Cattaneo i sur., 1997). Razvoj obraštaja na makrofitima je uglavnom određen „domaćinom“ (Ács i Buczkó, 1994; Leandrini i Rodrigues, 2008; Karosienė i Kasperovičienė, 2008) te se teško mogu pratiti ostali utjecaji kao što su starost podloge (Paterson i Wright, 1986) ili sezonsko razdoblje u kojem je započelo naseljavanje alga (Hillebrand i Sommer, 2000a). Odnosi između obraštaja i makrofita važni su kada su dostupne koncentracije hranjivih tvari male jer obraštajne zajednice mogu dio potrebnih hranjivih tvari dobivati i od „domaćina“ (Eminson i Moss, 1980).

U svrhu praćenja razvoja obraštaja u istraživanjima se vrlo često koriste umjetne podloge kao što su staklene pločice (Albay i Akcaalan, 2003; Szabó i sur., 2008), pleksiglas pločice (Kralj i sur., 2006), plastične pločice (Cronk i Mitsch, 1994) i pločice od škrljca (Hodoki, 2005), drvo (Danilov i Ekelund, 2001), betonski blokovi, kamene ploče te keramičke pločice (Cattaneo i Amireault, 1992). Umjetne podloge postavljaju se u različitim položajima (Ács i Kiss, 1993a,b). Tako se u rijekama istraživanje obraštaja većinom provodi na horizontalno, a u jezerima na vertikalno orijentiranim umjetnim podlogama (Cattaneo i Amireault, 1992). Vertikalnom orijentacijom smanjuje se nakupljanje detritusa i fitoplanktona, a omogućuje razvoj pravih obraštajnih vrsta alga (Lane i sur., 2003). Primjena umjetnih podloga osigurava uniformnost, točno izračunavanje površine na kojoj se obraštaj razvija, olakšava uzorkovanje, određivanje stope rasta i akumulacije organizama te omogućuje uspoređivanje zajednica.

Istraživanjima su dobiveni oprečni rezultati o sličnosti obraštajnih zajednica na prirodnim i umjetnim podlogama (Eulin i LeCohu, 1998; Barbiero, 2000). Međutim, unatoč utvrđenim značajnim razlikama u početnoj fazi razvoja, smatra se da kroz duže vremensko razdoblje ipak dolazi do ujednačavanja taksonomskog sastava alga u obraštaju na prirodnim i umjetnim podlogama (Lamberti i Resh, 1985).

1.3. Utjecaj disturbancija na alge u obraštaju

Zbog boljeg razumijevanja i lakšeg predviđanja mogućeg razvoja obraštajnih zajednica u različitim okolišnim uvjetima, Biggs i suradnici (1998) su razvili tzv. „konceptualni model matrice staništa“ (Sl. 3). Model su osmislili na temelju „C-S-R koncepta“ načinjenog prema razvojnim strategijama kopnenih biljaka, a prema kojem razvoj zajednice počinje dominacijom vrsta koje brzo imigriraju i razmnožavaju se na ogoljelim staništima (pionirske vrste) te se nastavlja dominacijom vrsta koje su bolje prilagođene uvjetima veće kompeticije u već razvijenoj zajednici (Grime, 1977). Konceptualni model matrice staništa obuhvaća ukupno 35 vrsta alga klasificiranih s obzirom na njihovu prilagodljivost disturbancijama te dostupnim koncentracijama hranjivih tvari i različitim intenzitetima svjetlosti. Tako se razlikuju kompetitivne vrste (C-stratezi i C-S-stratezi), stres-tolerantne vrste (S-stratezi) i ruderalne vrste (R-stratezi). C-stratezi se razvijaju u eutrofnim, stabilnim uvjetima karakteriziranim niskim intenzitetom disturbancija. Dominaciju u ovakvim uvjetima postižu prvenstveno zbog uspravnog rasta i mogućnosti izdizanja od podloge zbog čega u odnosu na alge u donjim slojevima obraštaja znatno bolje koriste dostupne resurse. C-S-stratezi su

obilježavaju ranu fazu razvoja obraštaja, dok su kompetitivne i stres tolerantne vrste zastupljenije tijekom kasnije faze razvoja.

1.4. Razvoj obraštaja u poplavnim područjima

Prirodna poplavna područja su složeni i dinamični ekosustavi. Ubrajaju se u najproduktivnije ekosustave s izuzetno velikom biološkom raznolikošću. Međutim, danas su to i jedni od najugroženijih ekosustava zbog velikog antropogenog pritiska u posljednjem stoljeću (Junk i Wantzen, 2003). Prirodni izgled i funkcija poplavnih područja danas su gotovo potpuno izmjenjeni zbog izgradnje nasipa i regulacije riječnih tokova (Bayley, 1995; Dynesius i Nilsson, 1994). Samo u Europi je gotovo 90% poplavnih područja značajno degradirano i stoga su funkcionalno izumrla (Tockner i sur., 2009).

Intenzivnija istraživanja poplavnih područja započela su nakon objavljivanja „koncepta poplavnog pulsa“ (FPC) prema kojem je dinamika plavljenja prepoznata kao najznačajniji ekološki čimbenik koji definira stupanj povezanosti poplavnog područja i matične rijeke (Junk i sur., 1989). Nepravilno izmjenjivanje limnofaze ili izoliranosti poplavnog područja i potamofaze ili poplavne faze utječu na promjene ekoloških značajki različitih tipova staništa u sustavu poplavnog područja (Neiff, 1996). To se posljedično odražava na procese izmjene tvari i organizama u tim ekosustavima (Tockner i sur., 1999, 2000; Thomaz i sur., 2007).

Poplavna područja su obično eutrofni sustavi i pogodni su za razvoj mnogih vodenih biocenoza pa tako i obraštajnih zajednica. To potvrđuju istraživanja poplavnih područja tropskih i subtropskih rijeka. Tako je intenzivan razvoj i velika biomasa obraštaja (Ewe i sur., 2006; Gaiser i sur., 2006; Gaiser, 2009) koja značajno pridonosi primarnoj produkciji (Noe i sur., 2001) i obogaćivanju vode kisikom (McCormick i Laing, 2003) utvrđena u subtropskom poplavnom području Everglades (Florida). Također je velika biomasa obraštaja i raznolikost alga u obraštajnim zajednicama utvrđena i u tropskim poplavnim područjima rijeke Pārana (Brazil) (Fonseca i Rodrigues, 2007; Leandrini i sur., 2008; Algarte i sur., 2009; Murakami i sur., 2009).

Dinamika plavljenja i intenzitet poplava značajno utječu na strukturu i dinamiku obraštajnih zajednica u poplavnim područjima (Rodrigues i De Bicudo, 2001; Iwaniec i sur., 2006). U uvjetima hidrološke izolacije poplavnog područja na pojedinim mikrolokalitetima koji su djelomično ili potpuno isušeni, obraštajne zajednice postanu „neproduktivne“, dok

obogaćivanje vodom i hranjivim tvarima tijekom razdoblja plavljenja potiču njihov brz oporavak i razvoj (Thomas i sur., 2006). Kratkotrajna plavljenja mogu djelovati stimulirajuće na razvoj obraštaja te potiču postizanje veće biomase u kojoj najraznolikiju skupinu alga čine dijatomeje (Gottlieb i sur., 2006). Također, kao posljedica kratkotrajnih plavljenja dolazi do izmjenjivanja faza rasta i faza gubitka (Biggs, 1996a) pri čemu u procesima rekolonizacije značajnu ulogu imaju dijatomeje koje se zbog sposobnosti brzog naseljavanja i razmnožavanja vrlo brzo prilagođavaju promjenjenim uvjetima okoliša (Biggs i sur., 1998). Česta i intenzivna plavljenja onemogućuju postizanje velike biomase obraštaja (Biggs i Close, 1989). Pomicanje podloga, podizanje sedimenta, manja prozirnost vode i dostupnost manje količine svjetlosti tijekom plavljenja mogu biti uzrok smanjenja biomase obraštaja kao i broja alga u obraštajnim zajednicama (Ács i Kiss, 1993b). U uvjetima plavljenja utvrđena je velika raznolikost alga u obraštajnim zajednicama (Algarte i sur., 2009), veća sličnost u taksonomskom sastavu zajednica između različitih biotopa poplavnog područja (Thomaz i sur., 2007) te dominacija alga u ukupnoj biomasi obraštaja - autotrofne obraštajne zajednice (Leandrini i Rodrigues, 2008).

Istraživanja obraštaja u poplavnim područjima klimatski umjerenih područja vrlo su rijetka (Mátrai i sur., 2009). Poznata su istraživanja razvoja obraštaja u Dunavu (Gucunski, 1984; Ács i Kiss, 1991; Ács i sur., 2000; Szabó i sur., 2008). Dosadašnja istraživanja obraštaja u poplavnom području Dunava na području Kopačkog rita većim su dijelom obuhvatila faunu obraštaja na različitim tipovima podloga (Bogut i sur., 2009; Čerba i sur., 2011) te faunu i bakterije u obraštaju na umjetnim podlogama (Vidaković i sur., 2011; Palijan, 2010). Istraživanja alga u epiksilonu na potopljenim grančicama vrbe (*Salix alba* L.) pokazala su da se u uvjetima niže razine vode u ritu i dostupnim višim koncentracijama hranjivih tvari razvijaju biološki raznolikije zajednice (Šarčević Kopic, 2008). Međutim, o naseljavanju i sukcesijama alga u obraštajnim zajednicama poplavnih područja Dunava još se uvijek vrlo malo zna. Stoga će u svrhu upoznavanja naseljavanja alga i razvoja obraštaja u poplavnim područjima ovim istraživanjem po prvi puta na području Kopačkog rita suvremenim metodama biti obuhvaćena i detaljno analizirana navedena tematika.

1.5. Hipoteze i ciljevi rada

Temeljne hipoteze ovog rada su:

- Eutrofni uvjeti u poplavnom području pogoduju brzom naseljavanju alga i razvoju obraštaja na umjetnim podlogama.
- Sastav i broj jedinki alga tijekom naseljavanja obraštajnih ploha ovise o sezonskim uvjetima i okolišnim čimbenicima.
- Stabilna obraštajna zajednica s obzirom na taksonomski sastav alga postiže se brže u ljetnim mjesecima.
- Sezonske promjene ekoloških čimbenika utječu na brzinu naseljavanja, a mikrosukcesije se odvijaju u sličnim sekvencama s obzirom na dominantne vrste i njihov način pričvršćivanja na podloge.
- Utjecaj poplava na strukturu i dinamiku razvoja obraštajnih zajednica alga ovisit će o vremenu pojavljivanja, intenzitetu i duljini trajanja poplava.
- Očekuje se da će poplave biti čimbenik disturbancije, dok će procesi u vrijeme izolacije jezera biti stimulirajući za razvoj obraštaja.

Ciljevi rada su:

- Utvrditi dinamiku naseljavanja i razvoja alga obraštajnih zajednica na umjetnim staklenim podlogama u dvije eksperimentalne serije, jedne od proljeća do zime, a druge od ljeta do zime, u Sakadaškom jezeru koje je kao dio poplavnog područja pod utjecajima plavljenja Dunava.
- U svrhu utvrđivanja dinamike naseljavanja utvrditi promjene kvalitativnog sastava i broja jedinki alga u kratkim vremenskim intervalima odnosno svaka tri dana tijekom četrdesetak dana sve do postizanja stabilne, „zrele“ zajednice u kojoj se sastav alga neće značajno mijenjati. Nakon toga, pratiti promjene kvalitativnog sastava i broja jedinki alga u dužim vremenskim intervalima odnosno svakih 14 dana do kraja istraživačke godine.
- Utvrditi mikrosukcesije alga tijekom procesa starenja obraštajnih zajednica, uključujući faze rasta, faze gubitka te ponovne rekolonizacije.
- Utvrditi utjecaj poplava na promjene ekoloških uvjeta jezera i posljedično na promjene strukture i dinamike obraštajnih zajednica.

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Poplavno područje Dunava na sjeveroistoku Hrvatske (45°15' - 45°53' zemljopisne širine i 16°06' - 16°41' zemljopisne dužine, Sl. 4 i 5) najveći je očuvani dio fluvijalno-močvarne nizine srednjeg toka Dunava, a poznato je pod imenom Kopački rit. To je zaštićeno područje u kategoriji parka prirode koje zauzima ukupnu površinu od oko 23 km² od kojeg je oko 7 km² ekološki najznačajnijeg dijela zaštićeno statusom posebnog zoološkog rezervata. Zbog svoje očuvanosti kao rijetkog ritskog ekosustva i velike prirodne vrijednosti, područje Kopačkog rita uvršteno je 1993. godine na popis međunarodno značajnih močvara ("List of Wetlands of International Importance") pod brojem 3HR002.

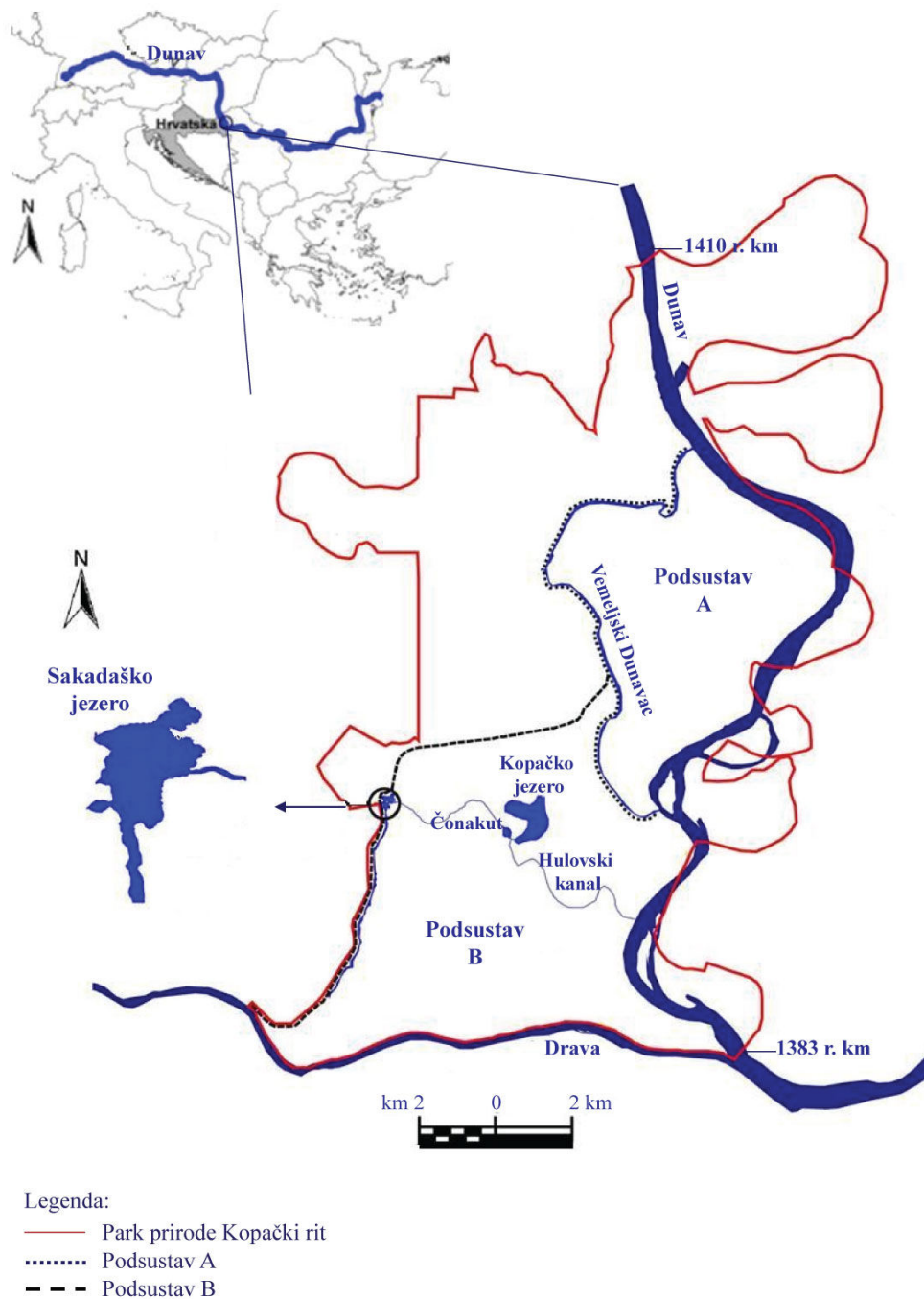
Klima Kopačkog rita je na granici srednjoeuropsko-kontinentalne i kontinentalne klime panonske nizine. Više temperature zraka obilježavaju razdoblje od svibnja do rujna, s maksimalnim vrijednostima u srpnju (do 39 °C), dok se u zimskim mjesecima (prosinac - veljača) temperature spuštaju do prosječnih vrijednosti od 1,4 do -6 °C. U godišnjem rasporedu oborina izdvajaju se maksimumi krajem proljeća i početkom ljeta. Povećanoj vlažnosti ovog područja (do 80% godišnje) doprinose utjecaji rijeka Drave i Dunava te poplavnog područja.

Mikroreljefna struktura poplavne doline Kopačkog rita je vrlo složena i mijenja se ovisno o hidrološkim uvjetima (Mihaljević i sur., 1999). Prepoznatljiva su linearna udubljenja kojim poplavne vode ulaze u rit (fokovi); plića i šira udubljenja kojima voda otječe u niže dijelove poplavne doline (žile); udubljenja kojima struji voda (kanali); udubljenja izduženog oblika nastala djelovanjem poplava (bare) te dublje udubine trajno ispunjene vodom (jezera).

Kopački rit je poplavno područje Dunava na njegovom srednjem dijelu toka (1410. – 1383. r. km). U ovom području, Dunav je tipična nizinska rijeka s prosječnim godišnjim vodostajem od 2,15 m i srednjim godišnjim protokom od 2085 m³ s⁻¹ (Bonacci i sur., 2003). Minimalni vodostaji Dunava javljaju se početkom jeseni, a maksimalni u proljeće i ljeto i poklapaju se s razdobljem topljenja snijega i leda u Alpama (glacijalna režimska komponenta).

Poplavno područje Kopačkog rita se najvećim dijelom opskrbljuje vodom pritjecanjem dunavskih poplavnih voda, a nešto manje i poplavnim vodama Drave, podzemnim vodama te oborinama. Prema hidrološkoj povezanosti, poplavno područje Kopačkog rita može se podijeliti u dva podsustava (Sl. 4). Sjeverni dio poplavnog područja (podsustav A) je povezan s matičnom rijekom rukavcima, dok je južni dio (podsustav B) povezan mrežom kanala. Između brojnih vodenih i vlažnih biotopa u južnom dijelu Kopačkog rita ističe se Sakadaško

jezero kao trajni najdublji vodeni biotop. Sakadaško jezero (Sl. 4 i 7) je ovalnog oblika i relativno strmih obala. Za vrijeme srednjih vodostaja dubina jezera iznosi oko 5 m, a površina oko 0,15 km².

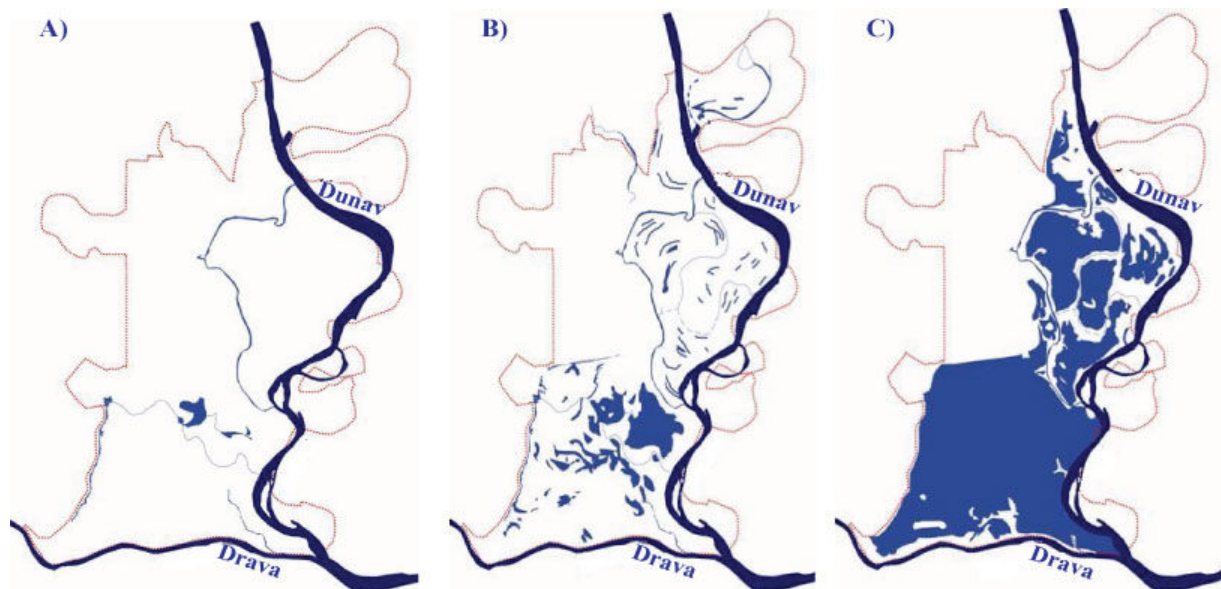


Slika 4. Zemljovid Parka prirode Kopački Rit (izradio: F. Stević).



Slika 5. Poplavno područje Parka prirode Kopački rit (fotografija: M. Romulić).

S porastom vodostaja Dunava prvo plave najniži tereni, a zatim se vode postupno šire cijelim poplavnim područjem. Prema Schwarz-u (2005) kod vodostaja Dunava (mjenjenih na referentnoj postaji kod Apatina) od 2,5 do 3,5 m, poplavljeno je oko 18% poplavnog područja južnog dijela Kopačkog rita, a pri vodostajima Dunava višim od 5 m, poplavljeno je više od 90% cijele poplavne doline (Sl. 6).



Slika 6. Zemljovid Parka prirode Kopački rit – poplavljene površine kod vodostaja Dunava (na mjernoj postaji na 1404,1 r.km) od 1 - 1,5 m (A), 2,5 – 3,5 m (B), oko 5 m (C) (prema Mihaljević i Stević, 2011).

Rezultati dosadašnjih istraživanja ukazuju da je Sakadaško jezero u visokom trofičkom (eutrofnom-hipertrofnom) stanju (Mihaljević i sur., 1999; Horvatić i sur., 2003; Stević i sur., 2005) s dobro razvijenim fitoplanktonskim zajednicama i redovitom pojavom masovnog razvoja cijanobakterija u ljetnim mjesecima (Mihaljević i Stević, 2011). Od 2004. godine u jezeru je zabilježen stalan porast makrofitske vegetacije (Vidaković i Bogut, 2007) s dominantnim vrstama: *Ceratophyllum demersum* L., *Myriophyllum spicatum* L., *Potamogeton gramineus* L., *Trapa natans* L., *Nymphoides peltata* Kuntze, *Polygonum amphibium* L., *Spirodella polyrhiza* (L.) Schleid. i *Lemna* sp. div. Obale jezera su najvećim dijelom obrasle tršćacima (vrste roda *Phragmites*) iznad kojih se šire poplavne šume bijele vrbe (*Salix alba* L.) i topole (*Populus alba* L.).



Slika 7. Sakadaško jezero u vrijeme niskih (A, B) i visokih (C, D) vodostaja tijekom 2010. godine (fotografije: T. Žuna Pfeiffer).

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Dizajn eksperimenta

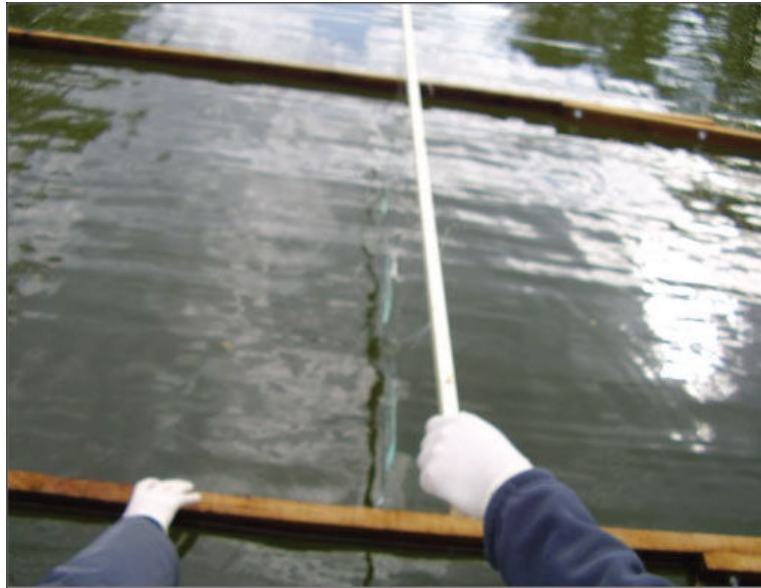
U svrhu istraživanja naseljavanja alga i razvoja obraštaja, postavljene su dvije eksperimentalne serije - u proljetnom i ljetnom razdoblju. Na početku svake serije u jezero je na udaljenosti od oko 20 m od obale postavljen novi drveni nosač. Kako bi se osiguralo da nosači tijekom cijelog razdoblja istraživanja ostanu na jednakoj udaljenosti od obale te na međusobnoj udaljenosti od oko 12 m, svaki je nosač konopcima privezan za kamene blokove spuštene na dno jezera. Pomoću plutača privezanih na krajeve okvira, nosači su održavani na površini vode. Na gornju stranu prvog postavljenog nosača (200 x 600 cm) učvršćeno je trideset letvica (1,5 x 2,0 x 200 cm), dok je na gornju stranu drugog nosača (250 x 450 cm) postavljeno dvadeset letvica jednakih dimenzija kao i u prvom nosaču (Sl. 8).



Slika 8. Nosači umjetnih podloga za istraživanje obraštajnih zajednica u Sakadaškom jezeru (fotografija: T. Žuna Pfeiffer).

Za praćenje naseljavanja i razvoja alga u obraštajnim zajednicama korištene su staklene umjetne podloge dimenzija 6 x 14 cm. Stakalca su oprana, isprana destiliranom vodom i dvanaest sati prije postavljanja uronjena u 1M kloridnu kiselinu (HCl). Neposredno prije učvršćivanja na letvice, isprana su destiliranom vodom. Stakalca su učvršćena vertikalno na

letvice na drvenim okvirima na međusobnoj udaljenosti od 20 cm i dubini od 20 cm (Sl. 9). Za prvu eksperimentalnu seriju postavljeno je ukupno 120, a za drugu 80 stakalaca.



Slika 9. Postavljanje umjetnih podloga za istraživanje obraštajnih zajednica u Sakadaškom jezeru (fotografija: T. Žuna Pfeiffer).

3.2. Uzorkovanje

Prva eksperimentalna serija obuhvatila je razdoblje od 06. travnja do 27. prosinca 2010. godine. Druga eksperimentalna serija obuhvatila je razdoblje od 12. srpnja do 27. prosinca 2010. godine. U obje eksperimentalne serije umjetne podloge su uzorkovane nakon dvadeset i četiri sata ekspozicije, a zatim svaki treći dan sve do četrdeset i drugog dana prve, odnosno četrdeset i trećeg dana druge eksperimentalne serije. Nakon toga, stakalca su podizana svaka dva tjedna do kraja istraživanja. Tijekom svakog uzorkovanja nasumično (metodom subjektivnog izbora) su odabrana i kasnije analizirana tri uzorka (stakalca). Svako prikupljeno stakalce s razvijenim obraštajem prenešeno je u laboratorij u posebnoj staklenoj posudi ispunjenoj sterilnom fiziološkom otopinom. Tijekom prve eksperimentalne serije prikupljeno je ukupno 93 uzorka, a tijekom druge 72 uzorka. Na Sl. 10 dan je pregled uzorkovanja u obje eksperimentalne serije tijekom 2010. godine.

Razdoblje istraživanja		Travanj	Svibanj	Lipanj	2010.		Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
Datum uzorkovanja	05. 06. 08. 11. 14. 17. 20. 23. 26. 29. 02. 05. 08. 11. 14. 17. 31. 14. 28. 11. 12. 14. 17. 20. 23. 26. 29. 01. 04. 07. 09. 10. 13. 16. 19. 23. 06. 20. 04. 18. 01. 15. 29. 13. 27.											
Dan naseljavanja	postavljanje eksperimenta 1. 3. 6. 9. 12. 15. 18. 21. 24. 27. 30. 33. 36. 39. 42. 56. 70. 84.				98.	112.	126.		140. 154. 168. 182. 196. 210. 224. 238. 252. 266.			
	postavljanje eksperimenta 1. 3. 6. 9. 12. 15. 18. 21. 24. 27.							30. 33. 36. 39. 43. 56.	70. 84. 98. 112. 126. 140. 154. 168.			

Legenda:

- Proletno-zimska eksperimentalna serija
- Ljetno-zimska eksperimentalna serija

Slika 10. Pregled uzorkovanja obraštajnih zajednica na umjetnim podlogama tijekom proljetno-zimske i ljetno-zimske eksperimentalne serije u 2010. godini u Sakadaškom jezeru.

3.3. Mjerenje fizikalno-kemijskih svojstava vode

Tijekom svakog uzorkovanja obraštaja provedena su mjerenja fizikalno-kemijskih čimbenika vode *in situ*, a uzorci vode za daljnje analize uzeti su u ravnini umjetnih podloga, na dubini od 20 cm. Dubina vode određena je baždarenim konopcem s utegom. Prozirnost vode određena je pomoću Secchi ploče. Prenosivim minilaboratorijem WTW Multi 340i/SET (Wissenschaftlich-Technische Werkstätten, Weilheim, Njemačka) mjereni su pH, provodljivost vode, koncentracija otopljenog kisika i temperatura vode. Uređaj je kalibriran u laboratoriju prije svakog izlaska na teren. Koncentracije amonijevih iona (NH_4^+), nitrita (NO_2^-), nitrata (NO_3^-) te sadržaj ukupnog dušika (TN) i ukupnog fosfora (TP) u vodi određeni su standardnim metodama (APHA, 1985) u Ekološkom laboratoriju Vodovoda d.d. Osijek. Uzorci vode za određivanje koncentracije klorofila prenešeni su u laboratorij, a koncentracije klorofila-a (Chl-a) i klorofila-c (Chl-c) određene su prema Komárkovej (1989). Uzorci vode (1 L) filtrirani su kroz filter-papir od staklenih vlakana promjera 55 mm s otvorom pora 1,2 μm (Whatman International Ltd, Maidstone, Engleska). Uzorci su ekstrahirani 90%-tnim acetonom, a apsorbancija je izmjerena spektrofotometrom pri 630, 645, 663 i 750 nm. Uzorak je nakon mjerenja zakiseljen 0,1M otopinom HCl, a apsorbancija je mjerena na 663 i 750 nm. Vrijednost korigiranog Chl-a određena je prema Lorenzenu (1967).

Vodostaj Dunava koji utječe na vodostaj u Kopačkom ritu praćen je na vodomjernoj stanici kod Apatina smještenoj na 1404,1 r.km Dunava.

3.4. Laboratorijska obrada uzoraka

Uzorak obraštaja s obje strane svakog stakalca sastrugan je žiletom, a u svrhu analiza podijeljen u tri poduzorka. Prvi poduzorak je lagano soniciran, fiksiran 4%-tnom otopinom formaldehida te upotrijebljen za određivanje kvalitativnog i kvantitativnog sastava alga. Drugi poduzorak je upotrijebljen za određivanje koncentracije klorofila-a (Chl-a obraštaj) i klorofila-c (Chl-c obraštaj) prema Komárkovej (1989). Obraštaj je sastrugan u 100 ml vode, filtriran kroz filter-papir od staklenih vlakana promjera 55 mm s otvorom pora 1,2 μm i usitnjen u tarioniku. Uzorci su ekstrahirani 90%-tnim acetonom, a apsorbancija je izmjerena spektrofotometrom pri 630, 645, 663 i 750 nm. Nakon mjerenja uzorak je zakiseljen 0,1M otopinom HCl. Vrijednost korigiranog Chl-a u obraštaju određena je prema Lorenzenu (1967). Površina s koje je obraštaj sastrugan uzeta je u obzir kod preračunavanja

koncentracije klorofila u obraštaju po jedinici površine od 1 cm². Treći poduzorak upotrijebljen je za utvrđivanje biomase obraštaja. Materijal je osušen na 105 °C tijekom 24 sata, a nakon vaganja žaren 1 sat na temperaturi od 500 °C. Određena suha tvar (DW) odnosi se na ukupnu organsku i anorgansku tvar u obraštaju. Sadržaj organske tvari (AFDW) izračunat je kao razlika između suhe tvari (DW) i težine pepela (AW). Svaki uzorak u triplikatu obrađen je zasebno.

3.5. Kvalitativna i kvantitativna analiza alga u obraštaju

Kvalitativni sastav alga u obraštajnim zajednicama određen je pomoću svjetlosnog mikroskopa (Carl Zeiss Jenna) i softvera Moticam 2300. Iz svakog je fiksiranog uzorka pregledano desetak poduzoraka. Svoje su određene pomoću ključeva za determinaciju: Hindak, 1977-1990; Hindak i sur., 1975; Hindak i sur., 1978; Huber-Pestalozzi, 1961-1990; Pascher, 1976; Komárek, 1973; Hustedt, 1976; Anagnostidis i Komárek, 1985; Komárek i Anagnostidis, 1989. Nomenklatura svojta usklađena je s nomenklaturom navedenom u bazi alga (www.algaebase.org., 05. listopada 2012. godine).

U svrhu potpunije i detaljnije taksonomske analize dijatomeja za svaki uzorak napravljeni su trajni preparati slijedećim postupkom. 5 mL uzorka isprano je s 5 mL destilirane vode i centrifugirano 2 minute na 1500 okretaja u minuti. Dobiveni supernatant je dekantiran. Postupak je ponovljen 5 puta. Suspenziji je dodano 10 mL 30%-tnog vodikovog peroksida (H₂O₂) i zagrijavano 3 sata u vodenoj kupelji na 90°C dok nije odstranjen organski materijal. U vruću suspenziju, dodano je nekoliko kapi 1M HCL. Nakon hlađenja suspenzija je centrifugirana, a talog tri puta ispran destiliranom vodom i resuspendiran u 5 ml destilirane vode. Na čistu i suhu pokrovnici prenešen je 1 mL očišćenog uzorka i ostavljen na zraku 24 sata na mjestu gdje nema vibracija. Na lagano zagrijanu predmetnicu nanešena je kap Canada-balzama i prekrivena pokrovnicom s osušenim uzorkom. Preparat je zagrijavan dok se smola nije ravnomjerno raspodijelila cijelom pokrovnicom.

Kvantitativna analiza alga u obraštaju određena je brojanjem jedinki (stanica, kolonija, cenobij ili filament; Sekar i sur., 2004; Szabó i sur., 2008) nakon sedimentacije alga u komorici s milimetarskom mrežicom površine 1 cm² i volumena 0,05 ml prema dizajnu Stilinović i Plenković-Moraj (1995). Brojane su jedinice svih svojti alga dok su dijatomeje

brojane kao skupina. Nakon toga je na odabranim trajnim preparatima (jednom ukoliko je broj dijatomeja u uzorku bio velik ili više ukoliko je broj dijatomeja bio manji) za svaki uzorak prebrojano minimalno 400 frustula. Ukupan broj dijatomeja izbrojan na centimetarskoj mrežici korišten je kao referentna vrijednost prema kojoj je iz omjera broja frustula jedne vrste u odnosu na ukupni broj izbrojenih frustula izračunat broj pojedinih vrsta dijatomeja. Obraštaj sastrugan s umjetne podloge razrijeđen je u određenom volumenu vode što je uzeto u obzir kod konačnog preračunavanja ukupnog broja jedinki pojedine vrste po jedinici površine od 1 cm². Broj jedinki prikazan je kao srednja vrijednost broja jedinki utvrđenih na svakom pojedinom stakalcu.

Dominantne vrste alga procijenjene su u odnosu na ukupan broj jedinki. Dominantnima su smatrane one vrste koje su činile najmanje 5% od ukupnog broja jedinki.

3.6. Statistička obrada podataka

Za računalnu obradu podataka korišteni su statistički programi Statistika StatSoft 7.0, Primer 5 (Clark i Warwick, 2001) i Cannoco 4.5.

Primjenom Pearson-ovog koeficijenta korelacije (Petz, 2002) utvrđena je mjera linearne zavisnosti između istraživanih parametara.

Fizikalno-kemijski čimbenici analizirani su multivarijantnom analizom glavnih komponenti (PCA). PCA je obuhvatila ukupno 11 varijabli (vodostaj Dunava, dubina vode Sakadaškog jezera, temperatura vode, prozirnost, pH, provodljivost vode, koncentracija otopljenog kisika, NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻, TN, TP).

Hijerarhijska klaster analiza (eng. „Cluster Analysis“, CA) i analiza nemetrijskog višedimenzijskog grupiranja (eng. „non-metric multidimensional scaling“, NMDS) korištene su radi utvrđivanja udaljenosti („Euclidian distance“) između pojedinih uzoraka obje eksperimentalne serije na temelju promjena vodostaja Dunava i fizikalno-kemijskih čimbenika Sakadaškog jezera. Vrijednosti koncentracija otopljenog kisika, koncentracija amonijevih iona, nitrata, nitrita, ukupnog dušika i ukupnog fosfora te provodljivosti vode su prije analize logaritamski transformirane.

Struktura alga u obraštajnim zajednicama opisana je neparametrijskim modelima (indeksima). Raznolikost svojti alga u obraštajnim zajednicama izračunata je Shannon-Weaverovim (H') indeksom (Shannon, 1948) osjetljivim na broj rijetkih svojti te Simpsonovim ($1-\lambda'$) indeksom (Krebs, 1999) osjetljivim na broj dominantnih svojti. Ujednačenosti za sve indekse definirane su kao odnos uočene raznolikosti prema maksimalno dobivenoj raznolikosti (Pielou, 1969). Koeficijent florne sličnosti izračunat je metodom po Sørensen (1948). Sve utvrđene svojte alga uključene su u izračune navedenih indeksa raznolikosti i ujednačenosti te koeficijenta florne sličnosti.

Model naseljavanja alga u obraštajnim zajednicama prema MacArthur i Wilsonu (1963) testiran je prema jednadžbi:

$$S_{(t)} = S_{eq}(1 - e^{-Gt})$$

gdje je: $S_{(t)}$ = broj vrsta nakon vremena t , G = regresijski koeficijent,
 S_{eq} = broj vrsta u ravnotežnoj zajednici, t = vrijeme.

Normalna raspodjela varijabli testirana je Shapiro-Wilk W testom. Varijable koje nisu slijedile normalu raspodjelu transformirane su pomoću najpogodnije u nizu transformacija – logaritamskom transformacijom.

Razlike u biomasi (masa suhe, organske i anorganska tvari) obraštaja, koncentraciji klorofila, broja jedinki po jedinici površine te indeksa raznolikosti alga između obraštajnih zajednica dvije eksperimentalne serije testirane su t -testom.

Sličnost između uzoraka s obzirom na broj jedinki alga u obraštajnim zajednicama testirana je hijerarhijskom klaster analizom, a kao mjera sličnosti korišten je Bray-Curtisov indeks sličnosti. Razlike u broju jedinki alga u obraštajnim zajednicama tijekom pojedine eksperimentalne serije analizirane su ordinacijskom metodom nemetrijskog višedimenzijskog grupiranja. Podaci su logaritamski transformirani. Primjenjena transformacija smanjuje važnost svojti s izrazito velikim brojem jedinki tako da i svojte s manjim brojem jedinki (srednje učestalosti) doprinose analizi. Transformacija je korištena s obzirom da su u uzorcima prisutne svojte s vrlo velikim, ali i vrlo malim brojem jedinki te je pri ovoj

transformaciji utvrđen najmanji „stress“. „Stress“ predstavlja vjerojatnost pravilne ordinacije i interpretacije podataka (Clarke i Warwick, 2001).

Značajnost sličnosti obraštajnih zajednica između dvije eksperimentalne serije na temelju broja jedinki alga utvrđena je analizom sličnosti (ANOSIM). Usporedbom R vrijednosti utvrđeno je da li je razlika statistički značajna (Clarke i Warwick, 2001).

U svrhu utvrđivanja međusobnih odnosa fizikalno-kemijskih čimbenika i broja jedinki pojedinih svojti alga, podaci su testirani detrendentskom analizom korespondencije (eng. „detrended correspondence analysis“, DCA) te na osnovu dobivenih rezultata analizirani multivarijantnom analizom redundancije (eng. „redundancy analysis“, RDA). Rezultati analize prikazani su u obliku korelacijskog biplota u kojima su fizikalno-kemijski čimbenici prikazani pravcima (vektorima) čija dužina i smjer pokazuju u kakvoj su međusobnoj ovisnosti. Približno jednaka dužina i smjer vektora ukazuju na pozitivnu korelaciju, dok različita dužina i suprotan smjer vektora ukazuju na negativnu korelaciju. Značajnost osi testirana je Monte Carlo simulacijom s 499 neograničenih permutacija. Varijable su smatrane značajnim kada je $p < 0,05$. Zbog bolje preglednosti u grafovima su prikazane samo statistički značajne fizikalno-kemijske varijable i svojte koje su najviše obilježavale obraštajne zajednice.

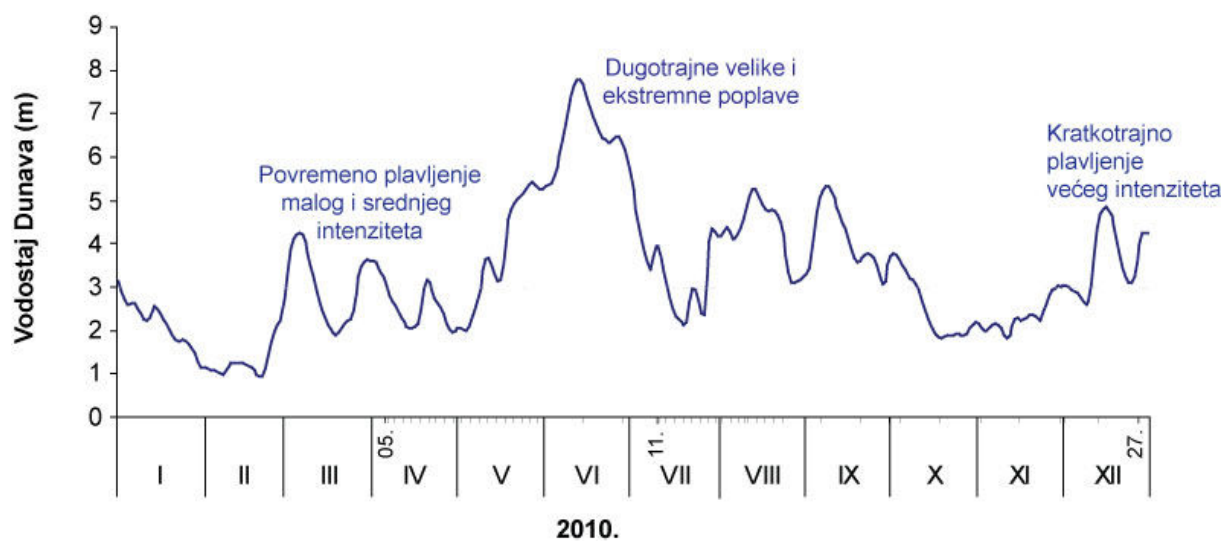
4. REZULTATI

4.1. Naseljavanje alga u proljetnim i ljetnim uvjetima

Istraživanje naseljavanja alga na umjetne podloge provedeno je u dvije eksperimentalne serije. Kako bi se što bolje mogle opisati promjene tijekom procesa naseljavanja, uzorkovanje je provedeno u intervalima od 3 dana, a u svrhu utvrđivanja sezonskih utjecaja na proces naseljavanja, eksperiment je proveden u proljeće, u razdoblju od 06. travnja do 17. svibnja te u ljeto, u razdoblju od 12. srpnja do 23. kolovoza 2010. godine (Sl. 10).

4.1.1. Okolišni uvjeti

Eksperiment u proljeće započeo je na kraju kraćeg razdoblja plavljenja, a manje poplave zabilježene su 15. te od 36. do 42. dana. U ljeto, vodostaj Dunava bio je visok (> 4 m), osim tijekom kratkotrajnog razdoblja u srpnju (4. - 17. dan) kada nije prelazio 3 m (Sl. 11).

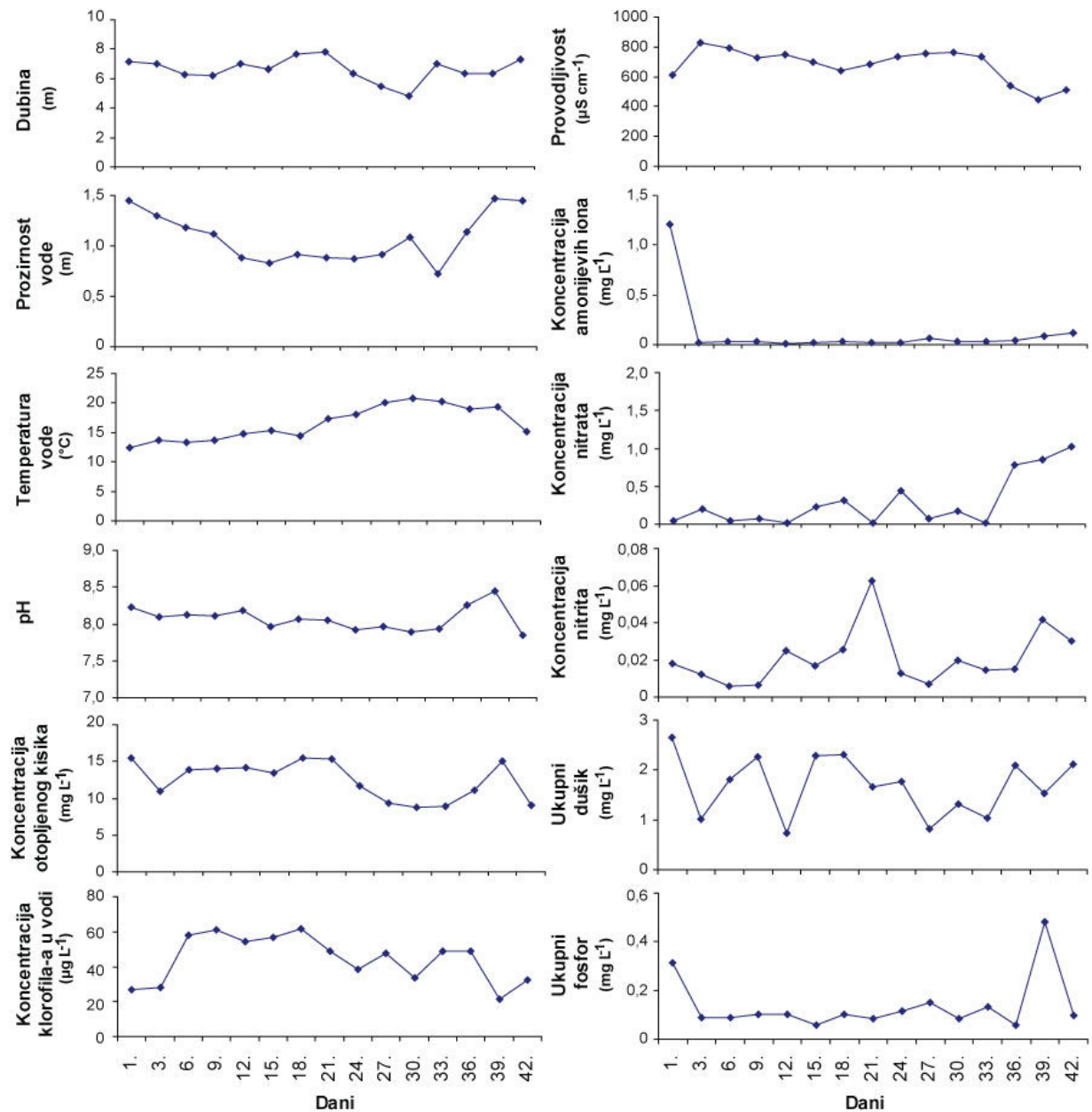


Slika 11. Promjene dnevnih vrijednosti vodostaja Dunava kod vodomjerne stanice Apatin na 1401,4 r. km tijekom 2010. godine.

U obje eksperimentalne serije, promjene vodostaja Dunava značajno su utjecale na fizikalno-kemijska svojstva vode Sakadaškog jezera (Sl. 12 i 13) na što ukazuju i utvrđeni visoki koeficijenti korelacije (Tab. 1 i 2). Dubina vode izravno je ovisila o vodostaju Dunava ($r =$

0,6091, $p = 0,016$) te je u proljeće varirala od 4,83 do 7,83 m (Sl. 12), dok je u ljeto bila veća i u granicama od 6,51 do 8,66 m (Sl. 13). Relativno mala prozirnost vode bila je i u proljeće (0,72 - 1,47 m) i u ljeto (0,73 - 1,51 m), a njene najviše vrijednosti zabilježene su u uvjetima plavljenja jezera. Temperatura vode je u proljeće uglavnom kontinuirano rasla (12,5 - 20,8 °C), osim u uvjetima plavljenja odnosno tijekom ulaska hladnije dunavske vode, dok je u ljeto bila puno viša (22 - 29,5 °C). Utvrđene pH vrijednosti vode više od 7 ukazuju na blago lužnate uvjete. Koncentracije otopljenog kisika u vodi u proljeće bile su visoke (8,69 - 15,51 mg L⁻¹, Sl. 12) dok su se tijekom ljeta smanjivale čak do 2,34 mg L⁻¹ (Sl. 13).

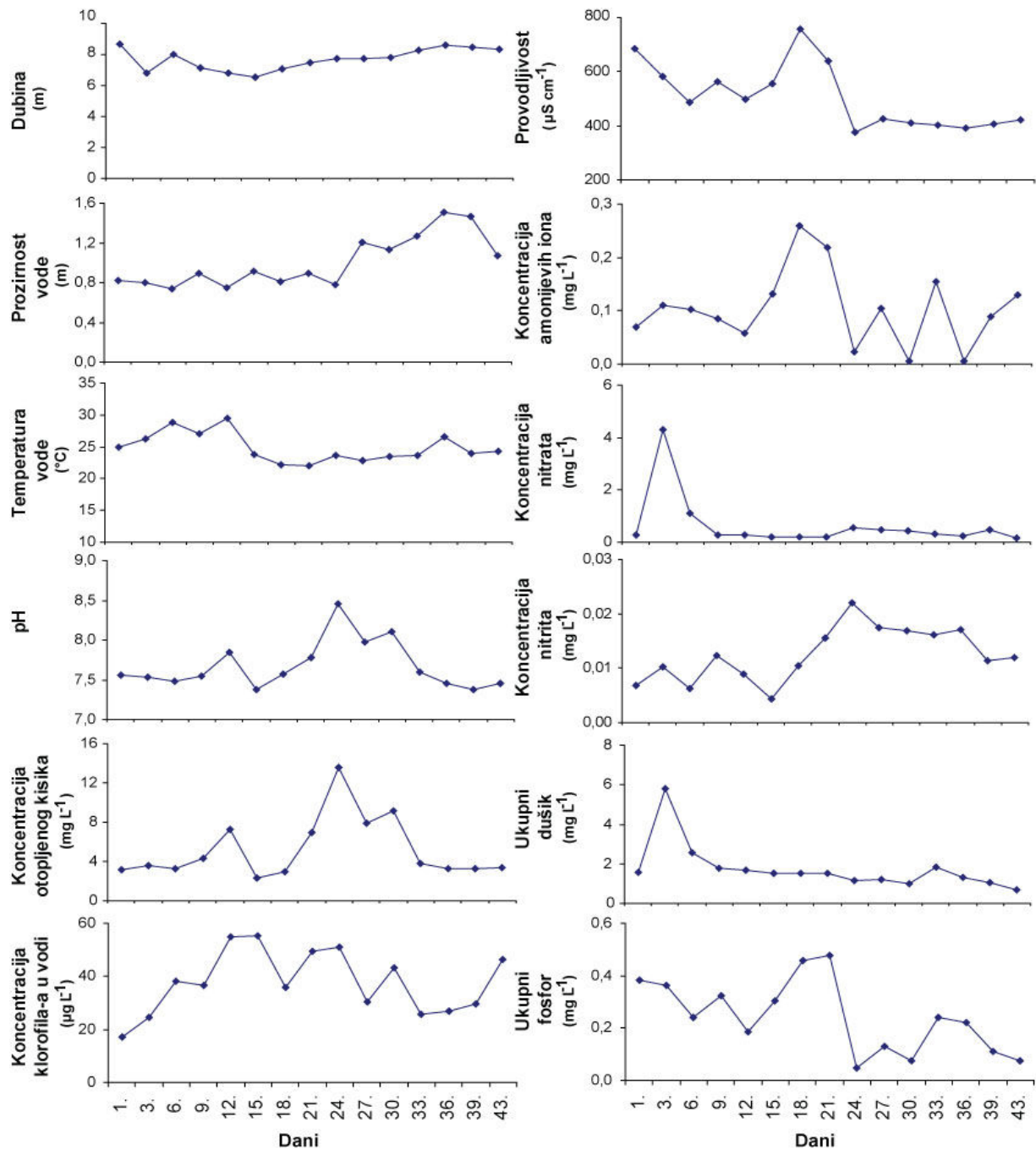
Koncentracija klorofila-a u vodi u proljeće je varirala od 21,59 do 61,71 µg L⁻¹ (Sl. 12), dok je tijekom ljeta bila u granicama od 17,29 do 55,34 µg L⁻¹ (Sl. 13). Provodljivost vode u proljeće se mijenjala od 448 do 827 µS cm⁻¹, dok je u ljeto bila nešto niža, a mijenjala se od 377 do 758 µS cm⁻¹. Provodljivost je ovisila o promjenama vodostaja Dunava ($r = -0,7808$, $p = 0,001$) te su niže vrijednosti izmjerene u razdobljima plavljenja. Utvrđena je statistički značajna korelacija između provodljivosti i amonijevih iona ($r = 0,6293$, $p = 0,012$), nitrita ($r = -0,5352$, $p = 0,040$) i ukupnog fosfora ($r = 0,8915$, $p = 0,000$). Koncentracije amonijevih iona (Sl. 12 i 13) bile su vrlo visoke prvog dana istraživanja u proljeće (1,21 mg L⁻¹), a nakon toga bile su u granicama od 0,01 do 0,12 mg L⁻¹, dok su nešto više koncentracije utvrđene u ljeto (0,01 do 0,26 mg L⁻¹). Koncentracije nitrata tijekom istraživanog razdoblja u proljeće, ovisile su o promjenama vodostaja Dunava ($r = 0,6905$, $p = 0,004$), a mijenjale su se od 0,01 do 1,02 mg L⁻¹ (Sl. 12). Značajno više koncentracije nitrata bile su u ljeto (0,15 do 4,32 mg L⁻¹; Sl. 13). Koncentracije nitrita (Sl. 12 i 13) nisu se značajno razlikovale u proljeće i ljeto (srednja vrijednost: 0,02 mg L⁻¹ u proljeće, 0,01 mg L⁻¹ u ljeto), a mijenjale su se ovisno o promjenama vodostaja Dunava ($r = 0,6409$, $p = 0,010$). U obje eksperimentalne serije, vrijednosti ukupnog dušika (srednja vrijednost: 1,69 mg L⁻¹ u proljeće, 1,74 mg L⁻¹ u ljeto) i fosfora (srednja vrijednost: 0,14 mg L⁻¹ u proljeće, 0,24 mg L⁻¹ u ljeto) značajno su se mijenjale, ali su tijekom cijelog istraživanog razdoblja bile visoke (Sl. 12 i 13).



Slika 12. Promjene fizikalno-kemijskih svojstava vode Sakadaškog jezera tijekom naseljavanja u proljetnoj eksperimentalnoj seriji (06. travanj - 17. svibanj 2010.).

Tablica 1. Statistički značajni koeficijenti korelacije utvrđeni između vodostaja Dunava i fizikalno-kemijskih svojstava vode Sakadaškog jezera tijekom naseljavanja u proljetnoj eksperimentalnoj seriji (06. travanj - 17. svibanj 2010.).

	Vodostaj Dunava	Dubina	Prozirnost	Temperatura vode	Otopljeni kisik	pH	Provodljivost vode	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	TN	TP	Chl-a (u vodi)
Vodostaj Dunava													
Prozirnost							-0,7808 p=0,001	0,6905 p=0,004				0,5415 p=0,037	-0,6666 p=0,007
Temperatura vode													
Otopljeni kisik				-0,5524 p=0,033		0,6397 p=0,010						0,6275 p=0,012	
pH					0,6397 p=0,010								
Provodljivost vode	-0,7808 p=0,001								-0,7951 p=0,000				
NH ₄ ⁺													
NO ₃ ⁻	0,6905 p=0,004												
NO ₂ ⁻													
TP			0,5415 p=0,037			0,6275 p=0,012	-0,5545 p=0,032						-0,6076 p=0,016
Chl-a (u vodi)			-0,6666 p=0,007										



Slika 13. Promjene fizikalno-kemijskih svojstava vode Sakadaškog jezera tijekom naseljavanja u ljetnoj eksperimentalnoj seriji (12. srpnja – 23. kolovoza 2010.).

Tablica 2. Statistički značajni koeficijenti korelacije utvrđeni između vodostaja Dunava i fizikalno-kemijskih svojstava vode Sakadaškog jezera tijekom naseljavanja u ljetnoj eksperimentalnoj seriji (12. srpnja - 23. kolovoza 2010.).

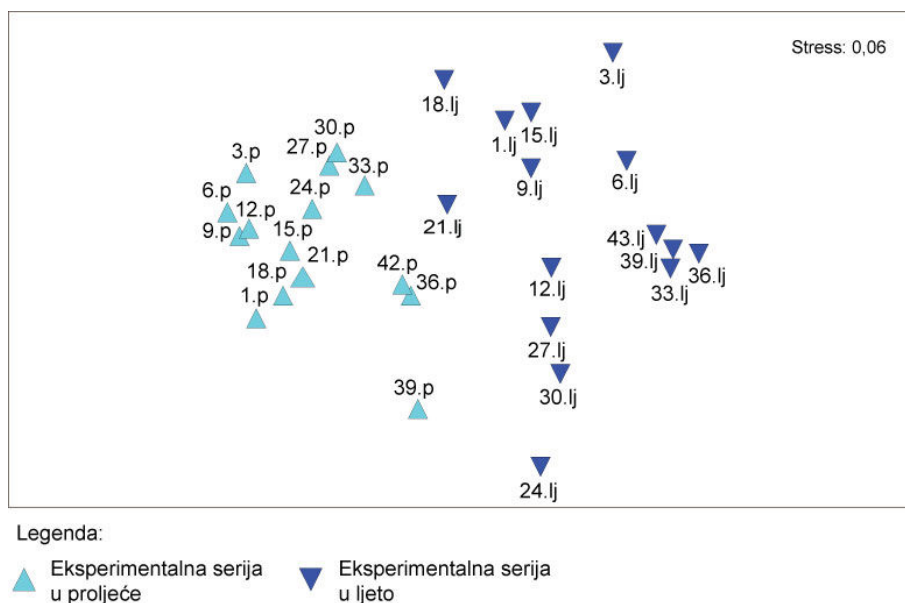
	Vodostaj Dunava	Dubina	Prozirnost	Temperatura vode	Otopljeni kisik	pH	Provodljivost vode	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	TN	TP	Chl-a (u vodi)
Vodostaj Dunava	0,6091 p=0,016	0,6056 p=0,017	-0,6305 p=0,012										
Dubina	0,6091 p=0,016	0,5955 p=0,019											-0,5234 p=0,045
Prozirnost	0,6056 p=0,017	0,5955 p=0,019					-0,5891 p=0,021						
Temperatura vode	-0,6305 p=0,012												
O₂						0,9804 p=0,000				0,7113 p=0,003			
pH					0,9804 p=0,000					0,6921 p=0,004			
Provodljivost vode							0,6293 p=0,012			-0,5352 p=0,040		0,8915 p=0,000	
NH₄⁺								0,6293 p=0,012				0,6497 p=0,009	
NO₃⁻											0,9478 p=0,000		
NO₂⁻	0,6409 p=0,010												
TN													
TP													
Chl-a (u vodi)		-0,5234 p=0,045											

Multivarijantnom analizom glavnih komponenti (PCA) u tri dimenzije opisano je ukupno 64,6% varijance. Prva os (PC1) opisuje 30,4%, druga (PC2) 19,1%, a treća (PC3) 15,2% varijance (Tab. 3). PC1 najbolje definiraju koncentracija otopljenog kisika ($r = 0,431$), provodljivost ($r = 0,427$), temperatura vode ($r = -0,439$) i vodostaj Dunava ($r = -0,406$), dok prozirnost vode ($r = 0,385$), ukupni dušik ($r = -0,444$) i ukupni fosfor ($r = -0,347$) najbolje definiraju PC2.

Tablica 3. Svojstvene vrijednosti svih pet osi PCA analize s postotcima varijance za jedanaest istraživanih parametara.

PCA osi	1	2	3	4	5
svojstvena vrijednost	3,34	2,10	1,67	1,33	0,85
% varijance	30,4	19,1	15,2	12,1	7,7
kumulativni % varijance	30,4	49,4	64,6	76,8	84,5

Kako bi se utvrdile razlike između vodostaja Dunava i fizikalno-kemijskih svojstava vode Sakadaškog jezera utvrđenih tijekom istraživanih razdoblja u proljeće i ljeto, navedeni su parametri analizirani metodom nemetrijskog višedimenzijskog grupiranja (NMDS). NMDS ordinacijski dijagram (Sl. 14) pokazao je razdvajanje dvije eksperimentalne serije s obzirom na analizirane parametre što ukazuje na bitno različite okolišne uvjete u kojima se odvijalo naseljavanje u proljeće u odnosu u ljeto.



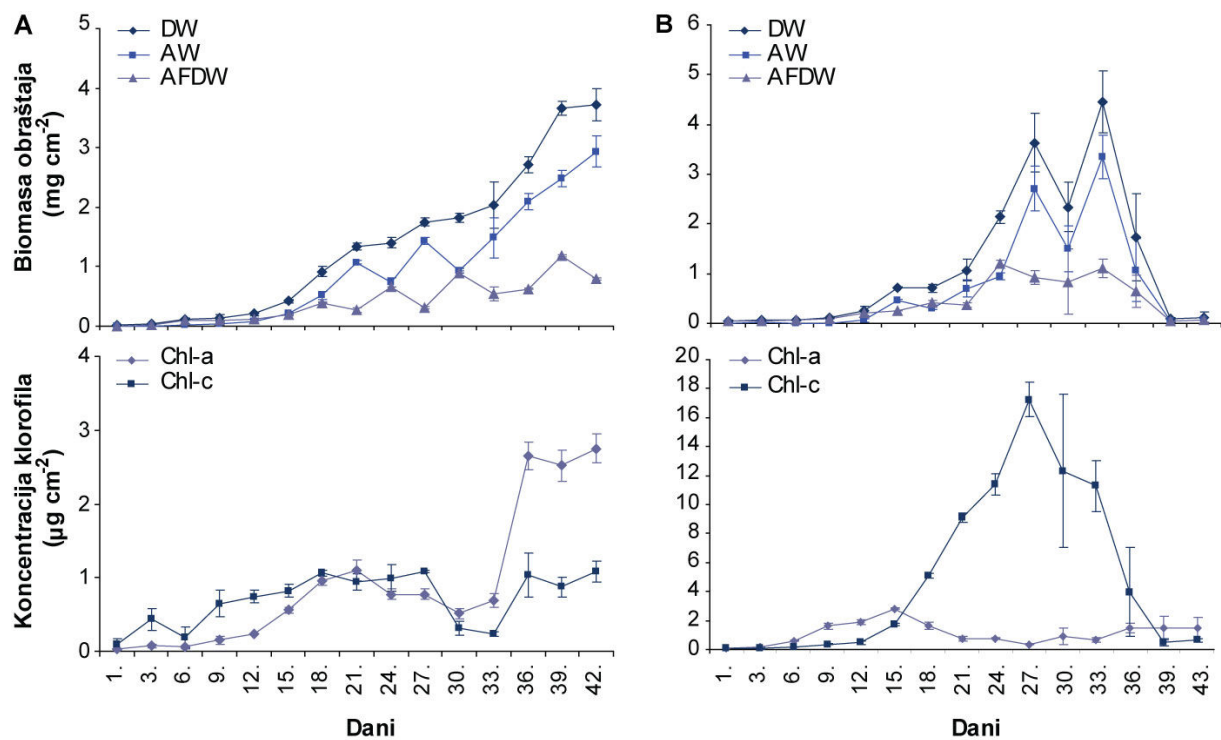
Slika 14. NMDS ordinacijski dijagram na temelju vodostaja Dunava i fizikalno-kemijskih svojstava vode Sakadaškog jezera u proljeće (p) i ljeto (lj) 2010. godine (prikazani su dani naseljavanja od 1. do 42. u proljeće te od 1. do 43. u ljeto).

4.1.2. Promjene ukupne biomase obraštaja

Masa suhe tvari obraštaja kontinuirano se povećavala od prvog sve do zadnjeg dana naseljavanja (od $0,01 \pm 0,005$ do $3,72 \pm 0,28 \text{ mg cm}^{-2}$) u proljeće (Sl. 15A), a u ljeto (Sl. 15B) do 33. dana ($0,05 \pm 0,01$ do $4,45 \pm 0,62 \text{ mg cm}^{-2}$). Smanjenje mase suhe tvari u ljeto utvrđeno je 36. dana nakon čega je sve do kraja istraživanja masa suhe tvari bila vrlo mala.

U obje eksperimentalne serije mase anorganske i organske tvari u obraštaju značajno su se mijenjale (Sl. 15A i 15B). Tako je tijekom prvih dvanaest dana razvoja u obje serije najveći dio obraštaja činila organska tvar (proljeće: AFDW od $0,007 \pm 0,005$ do $0,10 \pm 0,04 \text{ mg cm}^{-2}$, AW od $0,005 \pm 0,000$ do $0,03 \pm 0,02 \text{ mg cm}^{-2}$; ljeto: AFDW od $0,04 \pm 0,01$ do $0,20 \pm 0,05 \text{ mg cm}^{-2}$, AW od $0,005 \pm 0,004$ do $0,06 \pm 0,04 \text{ mg cm}^{-2}$). Veća masa anorganske tvari utvrđena je u obraštaju od 15. dana do kraja istraživanog razdoblja u proljeće (AW od $0,22 \pm 0,02$ do $2,93 \pm 0,26 \text{ mg cm}^{-2}$), a u ljeto od 27. do 36. (AW od $1,07 \pm 0,63$ do $3,35 \pm 0,44 \text{ mg cm}^{-2}$, AFDW od $0,65 \pm 0,32$ do $1,11 \pm 0,18 \text{ mg cm}^{-2}$) dana nakon čega je u obraštaju ponovno utvrđena veća masa organske tvari. Koncentracije klorofila-a i -c u obraštaju u obje eksperimentalne serije značajno su se mijenjale (Sl. 15A i 15B). Koncentracija klorofila-a u proljeće kontinuirano je rasla do 21. dana (od $0,03 \pm 0,01$ do $1,10 \pm 0,14 \mu\text{g cm}^{-2}$), a zatim se sve do

30. dana smanjivala. Povećanje koncentracije klorofila-a ponovno je utvrđeno 33. dana, a najviše su vrijednosti zabilježene zadnjeg dana naseljavanja ($2,75 \pm 0,20 \mu\text{g cm}^{-2}$). Tijekom istraživnog razdoblja u ljeto, koncentracija klorofila-a kontinuirano je rasla do 15. dana (od $0,07 \pm 0,02$ do $2,83 \pm 0,05 \mu\text{g cm}^{-2}$), a od 18. do 33. dana koncentracije su bile između $0,37 \pm 0,02$ i $1,65 \pm 0,22 \mu\text{g cm}^{-2}$. Od 36. do 43. dana koncentracije klorofila-a u obraštaju nisu se značajno mijenjale. Koncentracije klorofila-c bile su niske na početku istraživnog razdoblja u proljeće ($0,10 \pm 0,07 \mu\text{g cm}^{-2}$), a najviše su vrijednosti utvrđene 27. dana naseljavanja ($1,08 \pm 0,02 \mu\text{g cm}^{-2}$). Nakon značajnog smanjenja 30. ($0,32 \pm 0,09 \mu\text{g cm}^{-2}$) i 33. dana ($0,24 \pm 0,03 \mu\text{g cm}^{-2}$), koncentracija klorofila-c se ponovno povećavala. Tijekom istraživnog razdoblja u ljeto, koncentracija klorofila-c kontinuirano je rasla sve do 27. dana (od $0,05 \pm 0,01$ do $17,25 \pm 1,15 \mu\text{g cm}^{-2}$), a zatim se značajno smanjila i ostala niska sve do kraja istraživanja.



Slika 15. Promjene mase suhe (DW), anorganske (AW) i organske tvari (AFDW) te koncentracija klorofila-a (Chl-a) i klorofila-c (Chl-c) u obraštaju tijekom naseljavanja u Sakadaškom jezeru u proljeće (A) i ljeto (B) 2010. godine.

Kako bi se utvrdile razlike između obraštajnih zajednica s obzirom na biomasu obraštaja (DW, AW, AFDW) i koncentraciju klorofila (Chl-a, Chl-b) u obraštaju, podaci su testirani t-testom. Rezultati t-testa pokazali su da su se obraštajne zajednice istog vremena ekspozicije

razvijene u proljeće odnosno u ljeto, međusobno razlikovale s obzirom na istraživane parametre (Tab. 4).

U obje eksperimentalne serije, promjene vodostaja Dunava i fizikalno-kemijskih svojstava vode jezera značajno su utjecale na razvoj biomase obraštaja i broj jedinki u obraštaju na što ukazuju i utvrđeni visoki koeficijenti korelacije (Tab. 5 i 6). Utvrđena je statistički značajna korelacija između vodostaja Dunava i anorganske tvari u obraštaju u proljeće ($r = 0,5471$, $p = 0,035$), a u ljeto, između vodostaja Dunava i ukupne biomase obraštaja ($r = 0,5782$, $p = 0,024$), mase anorganske ($r = 0,5554$, $p = 0,032$) i organske tvari ($r = 0,5688$, $p = 0,027$) u obraštaju te ukupnog broja jedinki u obraštaju ($r = 0,5522$, $p = 0,033$). Nitrati su značajno korelirali sa svim istraživanim paramerima u obraštaju (DW, AFDW, AW, Chl-a, Chl-c; broj jedinki) u proljeće (Tab. 5), dok su nitriti značajno korelirali s biomasom obraštaja (DW, AW, AFDW), koncentracijom klorofila-c i brojem jedinki u obraštaju u ljeto (Tab. 6).

Tablica 4. Rezultati t-testa za razlike između obraštajnih zajednica u proljeće i ljeto s obzirom na masu suhe (DW), anorganske (AW) i organske tvari (AFDW) te koncentracije klorofila-a (Chl-a) i klorofila-c (Chl-c). Statistički značajne razlike ($p < 0,05$) označene su zvjezdicama (*).

Datum uzorkovanja		Dan razvoja obraštaja		DW	AW	AFDW	Chl-a (obraštaj)	Chl-c (obraštaj)
proljeće	ljeto	proljeće	ljeto					
06.04.	12.07.	1.	1.	*		*	*	
08.04.	14.07.	3.	3.	*		*	*	*
11.04.	17.07.	6.	6.	*	*	*	*	
14.04.	20.07.	9.	9.				*	
17.04.	23.07.	12.	12.				*	*
20.04.	26.07.	15.	15.	*	*	*	*	*
23.04.	29.07.	18.	18.	*	*		*	*
26.04.	01.08.	21.	21.		*			*
29.04.	04.08.	24.	24.	*	*	*		*
02.05.	07.08.	27.	27.	*	*	*	*	*
05.05.	10.08.	30.	30.					*
08.05.	13.08.	33.	33.	*	*	*		*
11.05.	16.08.	36.	36.				*	
14.05.	19.08.	39.	39.	*	*	*		
17.05.	23.08.	42.	43.	*	*	*	*	*

Tablica 5. Statistički značajni koeficijenti korelacije utvrđeni između vodostaja Dunava, fizikalno-kemijskih parametara vode Sakadaškog jezera, biomase obraštaja, klorofila i broja jedinki alga u obraštaju tijekom naseljavanja u proljeće od 06. travnja do 17. svibnja 2010. godine (DW – masa suhe tvari, AW – masa anorganske tvari, AFDW – masa organske tvari, Chl-a – koncentracija klorofila-a, Chl-c – koncentracija klorofila-c).

	DW	AFDW	AW	Chl-a (obraštaj)	Chl-c (obraštaj)	Broj jedinki cm ²
Vodostaj Dunava			0,5471 p=0,035	0,6932 p=0,004		
Temperatura vode	0,6591 p=0,008	0,7118 p=0,003	0,6049 p=0,017			0,7032 p=0,003
Provodljivost vode	-0,7137 p=0,003	-0,5944 p=0,019	-0,7196 p=0,002	-0,8464 p=0,000		-0,6322 p=0,011
NO₃⁻	0,7954 p=0,000	0,7191 p=0,003	0,7813 p=0,001	0,9021 p=0,000	0,5393 p=0,038	0,7093 p=0,003
Chl-a (obraštaj)	0,9115 p=0,000	0,7444 p=0,001	0,9244 p=0,000		0,6194 p=0,014	0,8660 p=0,000
Chl-c (obraštaj)				0,6194 p=0,014		0,5849 p=0,022
DW		0,8926 p=0,000	0,9863 p=0,000	0,9115 p=0,000		0,9540 p=0,000
AFDW	0,8926 p=0,000		0,8061 p=0,000	0,7444 p=0,001		0,8324 p=0,000
AW	0,9863 p=0,000	0,8061 p=0,000		0,9244 p=0,000		0,9479 p=0,000
Broj jedinki cm⁻²	0,9540 p=0,000	0,8324 p=0,000	0,9479 p=0,000	0,8660 p=0,000	0,5849 p=0,022	

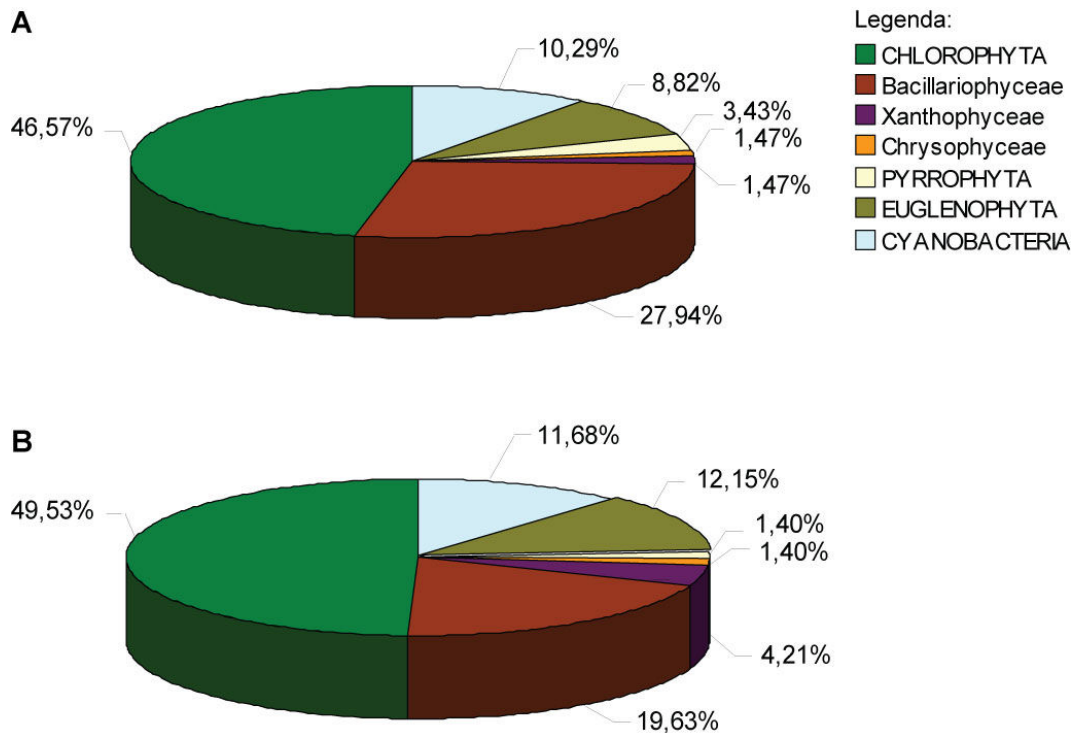
Tablica 6. Statistički značajni koeficijenti korelacije između vodostaja Dunava, fizikalno-kemijskih parametara vode Sakadaškog jezera, biomase obraštaja, klorofila i broja jedinki alga u obraštaju tijekom naseljavanja u ljeto od 12. srpnja do 23. kolovoza 2010. godine (DW – masa suhe tvari, AW – masa anorganske tvari, AFDW – masa organske tvari, Chl-a – koncentracija klorofila-a, Chl-c – koncentracija klorofila-c).

	DW	AW	AFDW	Chl-a (obraštaj)	Chl-c (obraštaj)	Broj jedinki cm ⁻²
Vodostaj Dunava	0,5782 p=0,024	0,5554 p=0,032	0,5688 p=0,027		0,5557 p=0,031	0,5522 p=0,033
Temperatura vode						-0,5336 p=0,040
Otopljeni kisik			0,6443 p=0,010		0,6459 p=0,009	0,5699 p=0,027
pH			0,6973 p=0,004		0,7020 p=0,004	0,6368 p=0,011
NO₂⁻	0,6806 p=0,005	0,5989 p=0,018	0,8075 p=0,000		0,7657 p=0,001	0,6871 p=0,005
Chl-a (u vodi)				0,5932 p=0,020		
DW		0,9873 p=0,000	0,9162 p=0,000			0,9169 p=0,000
AW	0,9873 p=0,000		0,8409 p=0,000			0,8988 p=0,000
AFDW	0,9162 p=0,000	0,8409 p=0,000				0,8566 p=0,000
Chl-a (obraštaj)	0,7234 p=0,002	0,6564 p=0,008				0,7134 p=0,003
Chl-c (obraštaj)	0,8859 p=0,000	0,8446 p=0,000	0,8872 p=0,000			0,9664 p=0,000
Broj jedinki cm⁻²	0,9169 p=0,000	0,8988 p=0,000	0,8566 p=0,000			

4.1.3. Naseljavanje alga i razvoj obraštajnih zajednica

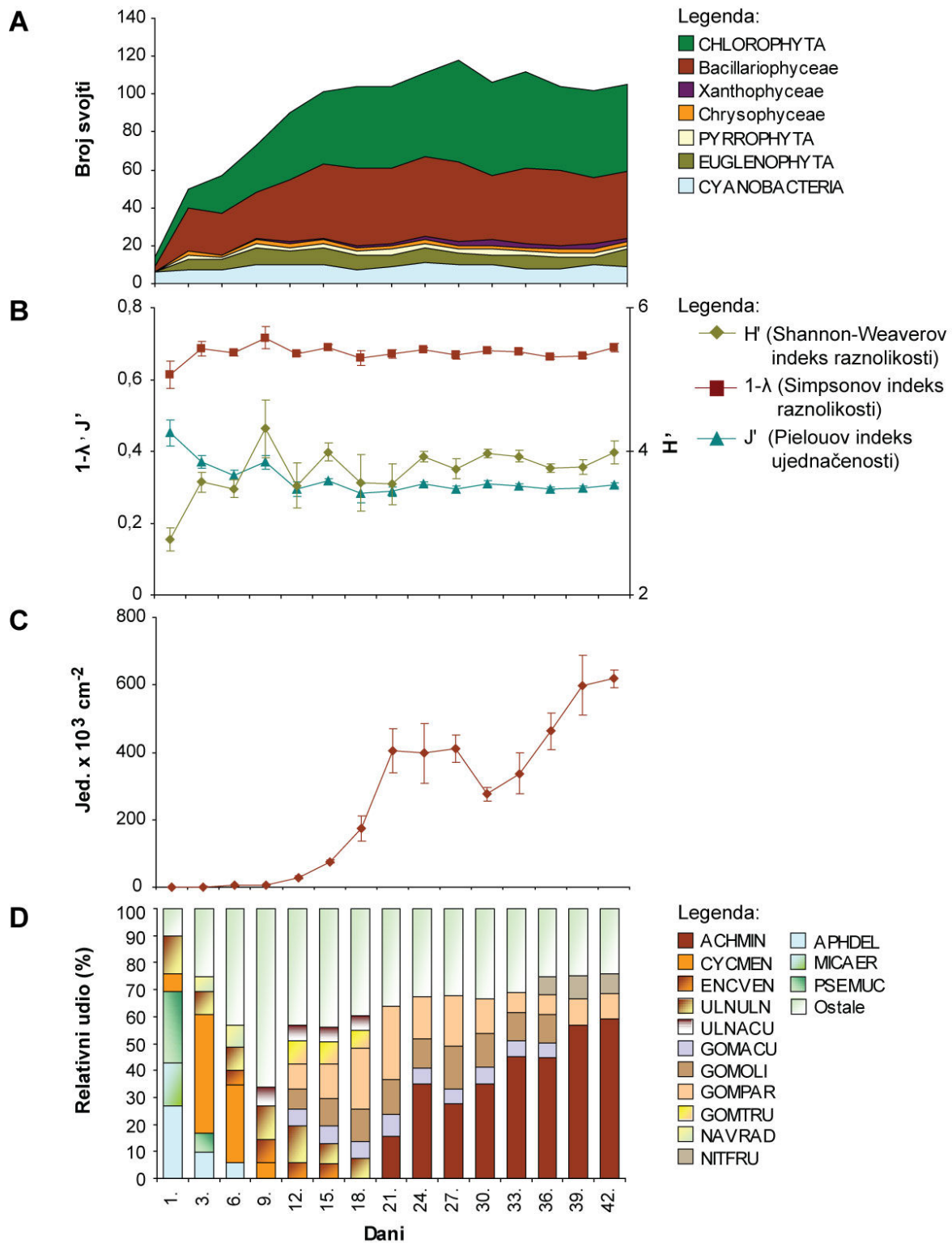
Tijekom naseljavanja alga u proljeće utvrđene su ukupno 204 svojte, a u ljeto 214 svojti alga. U obje eksperimentalne serije najzastupljenije su bile svojte iz skupina Chlorophyta (95 svojti u proljeće i 106 u ljeto) koje su činile više od 45% ukupnog broja svojti (Sl. 16), a potom iz razreda Bacillariophyceae (57 svojti u proljeće i 42 u ljeto) te skupina Cyanobacteria (21 svojta u proljeće i 25 u ljeto) i Euglenophyta (18 svojti u proljeće i 26 u ljeto). Tijekom naseljavanja u proljeće iz skupine Pyrrophyta utvrđeno je 7, iz razreda Xanthophyceae 3 svojte alga, dok je tijekom naseljavanja u ljeto iz razreda Xanthophyceae utvrđeno 9 svojti, a

iz skupine Pyrrophyta 3 svojite alga. U obje eksperimentalne serije utvrđeno je 3 svojite alga iz razreda Chrysophyceae.

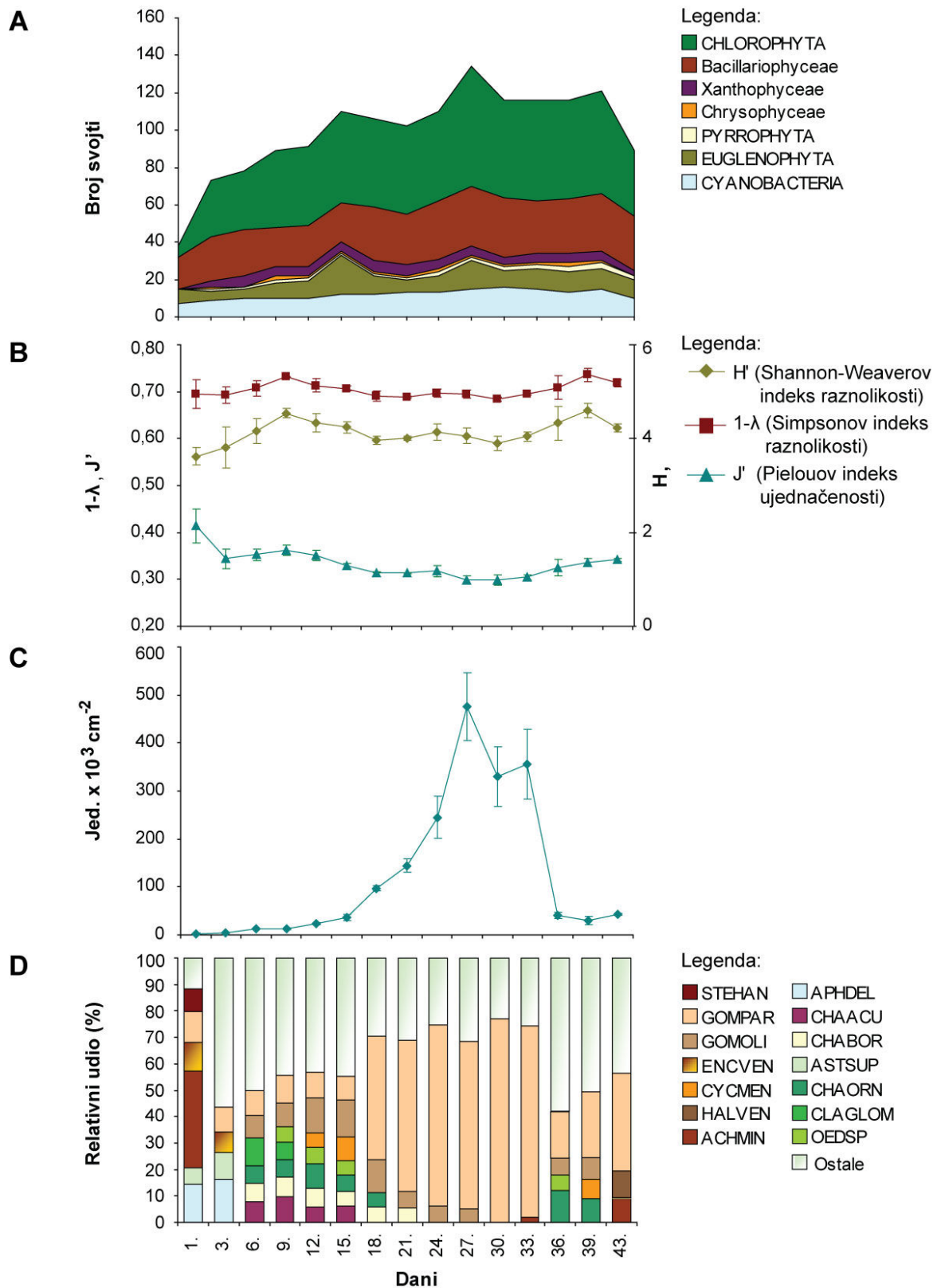


Slika 16. Relativni udio broja svojiti alga pojedinih sistematskih kategorija tijekom naseljavanja alga u proljeće (A) i ljeto (B) 2010. godine u Sakadaškom jezeru.

Tijekom naseljavanja u proljeće, ukupan broj svojiti alga u obraštaju se kontinuirano povećavao od 14 svojiti utvrđenih prvog, do 118 svojiti 27. dana (Sl. 17A). Nakon toga, broj svojiti bio je u granicama od 102 do 112. Samo pet vrsta, *Aphanocapsa delicatissima*, *Pseudanabaena mucicola*, *Cyclotella meneghiniana*, *Ulnaria ulna* i *Monoraphidium arcuatum* utvrđene su u obraštajnim zajednicama prilikom svakog uzorkovanja, dok je ukupno 45 svojiti utvrđeno samo jednom te ih možemo okarakterizirati kao slučajne svojite u obraštaju. Tijekom istraživanog razdoblja u ljeto, već prvog dana naseljavanja utvrđen je puno veći broj svojiti (38) nego u proljeće. Broj svojiti se povećavao do 134 svojite 27. dana (Sl. 18A), a nakon toga je bio u granicama od 90 do 121. Ukupno 16 svojiti utvrđeno je prilikom svakog uzorkovanja, dok je 45 svojiti utvrđeno u samo jednom uzorku.



Slika 17. Promjene ukupnog broja svojti alga (A), indeksa raznolikosti (B), ukupnog broja jedinki (C) i relativnog udjela dominantnih vrsta alga (D) u obraštaju tijekom naseljavanja u proljeće. Kodovi vrsta nalaze se u Tab. 20.



Slika 18. Promjene ukupnog broja svojiti alga (A), indeksa raznolikosti (B), ukupnog broja jedinki (C) i relativnog udjela dominantnih svojiti alga (D) u obraštaju tijekom naseljavanja u ljeto. Kodovi svojiti nalaze se u Tab. 20.

Indeksi raznolikosti i ujednačenost zajednice mijenjali su se tijekom naseljavanja (Sl. 17B i 18B). Najniže vrijednosti Shannon-Weaverovog indeksa raznolikosti utvrđene su prvog dana naseljavanja u obje eksperimentalne serije (proljeće: $2,78 \pm 0,16$, ljeto: $3,62 \pm 0,18$), dok su najviše vrijednosti ($4,32 \pm 0,40$) utvrđene 9. dana u proljeće, a tek 39. dana u ljeto ($4,60 \pm 0,15$). Vrijednosti Simpsonovog indeksa raznolikosti bile su slične u obje eksperimentalne serije, a bile su u granicama od $0,61 \pm 0,04$ do $0,72 \pm 0,03$ u proljeće te od $0,68 \pm 0,004$ do $0,74 \pm 0,01$ u ljeto. Najviše vrijednosti ujednačenosti utvrđene su prvog dana naseljavanja u obje eksperimentalne serije (proljeće: $0,45 \pm 0,04$, ljeto: $0,41 \pm 0,04$), dok su najniže vrijednosti ($0,28 \pm 0,03$) utvrđene 18. dana u proljeće, a 27. dana u ljeto ($0,30 \pm 0,01$).

U proljetnoj eksperimentalnoj seriji (Tab. 7) utvrđena je statistički značajna korelacija između broja svojti i Shannon-Weaverovog indeksa raznolikosti, Pielouovog indeksa ujednačenosti (J') i broja jedinki po jedinici površine. U ljetnoj eksperimentalnoj seriji (Tab. 8) statistički značajna korelacija utvrđena je između broja svojti i Pielouovog indeksa ujednačenosti te ukupnog broja jedinki. U obje eksperimentalne serije statistički značajna korelacija utvrđena je između Shannon-Weaverovog i Simpsonovog indeksa raznolikosti, dok između Pielouovog indeksa ujednačenosti i indeksa raznolikosti nije bilo statistički značajne korelacije.

Kako bi se utvrdile razlike između obraštajnih zajednica s obzirom na broj utvrđenih svojti, indekse raznolikosti, ujednačenost zajednica i ukupan broj jedinki po jedinici površine podaci su testirani t-testom (Tab. 9). Zajednice u proljetnoj i ljetnoj eksperimentalnoj seriji najviše su se razlikovale s obzirom na broj utvrđenih svojti te s obzirom na broj jedinki po jedinici površine. Statistički značajne razlike utvrđene su između Simpsonovog indeksa raznolikosti u proljeće i ljeto i to posebno od 33. do zadnjeg dana istraživanja.

Tablica 7. Statistički značajni koeficijenti korelacije Shannon-Weaverovog indeksa raznolikosti (H'), Simpsonovog indeksa raznolikosti ($1-\lambda$), Pielouovog indeksa ujednačenosti (J'), broja svojti i broja jedinki po jedinici površine tijekom naseljavanja u Sakadaškom jezeru u proljeće.

	H'	$1-\lambda$	J'	Broj svojti	Broj jedinki cm^{-2}
H'		0,8899 p=0,000		0,6042 p=0,017	
$1-\lambda$	0,8899 p=0,000				
J'				-0,9125 p=0,000	-0,5883 p=0,021
Broj svojti	0,6042 p=0,017		-0,9125 p=0,000		0,7505 p=0,001
Broj jedinki cm^{-2}			-0,5883 p=0,021	0,7505 p=0,001	

Tablica 8. Statistički značajni koeficijenti korelacije Shannon-Weaverovog indeksa raznolikosti (H'), Simpsonovog indeksa raznolikosti ($1-\lambda$), Pielouovog indeksa ujednačenosti (J'), broja svojti i broja jedinki po jedinici površine tijekom naseljavanja u Sakadaškom jezeru u ljeto.

	H'	$1-\lambda$	J'	Broj svojti	Broj jedinki cm^{-2}
H'		0,8899 p=0,000		0,6042 p=0,017	
$1-\lambda$	0,8899 p=0,000				
J'				-0,9125 p=0,000	-0,5883 p=0,021
Broj svojti	0,6042 p=0,017		-0,9125 p=0,000		0,7505 p=0,001
Broj jedinki cm^{-2}			-0,5883 p=0,021	0,7505 p=0,001	

Kako bi se utvrdila sličnost u taksonomskom sastavu alga između dvije eksperimentalne serije, izračunati su koeficijenti florne sličnosti čije su vrijednosti prikazane u Tab. 10. Najmanji koeficijent florne sličnosti utvrđen je između taksonomskog sastava alga prvog dana

naseljavanja u proljeće i 9. dana naseljavanja u ljeto, a iznosio je 11,65%. S vremenom ekspozicije koeficijenti florne sličnosti su se povećavali, a najveća je sličnost utvrđena između taskonomskog sastava alga 30. dana naseljavanja u proljeće i 30. dana naseljavanja u ljeto (60,36%).

Tablica 9. Rezultati t-testa za razlike između obraštajnih zajednica u proljetnoj i ljetnoj eksperimentalnoj seriji s obzirom na Shannon-Weaverov indeks ranolikosti (H'), Simpsonov indeks raznolikosti ($1-\lambda$), Pielouov indeks ujednačenosti (J'), broj svojti i broj jedinki po jedinici površine. Statistički značajne razlike ($p < 0,05$) označene su zvjezdicama (*).

Datum uzorkovanja		Dan razvoja obraštaja		H'	$1-\lambda$	J'	Broj svojti	Broj jedinki cm^{-2}
proljeće	ljeto	proljeće	ljeto					
06.04.	12.07.	1.	1.	*	*		*	*
08.04.	14.07.	3.	3.				*	*
11.04.	17.07.	6.	6.	*	*		*	*
14.04.	20.07.	9.	9.				*	*
17.04.	23.07.	12.	12.	*	*	*	*	
20.04.	26.07.	15.	15.					*
23.04.	29.07.	18.	18.					*
26.04.	01.08.	21.	21.					*
29.04.	04.08.	24.	24.					
02.05.	07.08.	27.	27.		*		*	
05.05.	10.08.	30.	30.					
08.05.	13.08.	33.	33.		*		*	
11.05.	16.08.	36.	36.		*			*
14.05.	19.08.	39.	39.	*	*	*		*
17.05.	23.08.	42.	43.		*	*	*	*

Tablica 10. Koefficienti florne sličnosti (%) prema Sörensenu (1948) s obzirom na taksonomski sastav alga u obraštajnim zajednicama po danima naseļjavanja u proljeće (p) i ljeto (lj) 2010. godine u Sakadaškom jezeru.

Dan naseļjavanja	1.lj	3.lj	6.lj	9.lj	12.lj	15.lj	18.lj	21.lj	24.lj	27.lj	30.lj	33.lj	36.lj	39.lj	43.lj
1.p	15,38	16,09	13,04	11,65	15,24	16,13	16,67	15,52	14,52	12,16	13,85	13,85	13,85	11,85	17,48
3.p		40,65	34,38	30,22	32,62	32,50	32,05	34,21	35,00	33,70	36,14	32,53	34,94	31,58	37,41
6.p			40,00	30,14	31,08	34,73	34,36	33,96	34,73	34,55	38,15	34,68	33,53	37,08	34,25
9.p				44,44	47,56	45,90	44,69	43,43	45,90	43,48	48,68	44,44	43,39	45,36	45,68
12.p					47,51	45,00	44,90	44,79	46,00	47,32	47,57	44,66	44,66	46,45	45,81
15.p						48,34	49,28	49,26	51,18	54,47	56,22	54,38	54,38	53,15	51,58
18.p							50,48	52,43	55,14	54,62	59,09	50,00	55,45	55,11	49,74
21.p								50,49	52,34	54,62	58,18	56,36	54,55	55,11	51,81
24.p									51,58	53,88	55,51	53,74	51,98	50,86	48,00
27.p										56,35	59,83	55,56	54,70	52,72	47,34
30.p											60,36	55,86	55,86	55,51	50,26
33.p												58,77	56,14	55,79	51,74
36.p													58,18	54,22	50,78
39.p														52,91	53,40
42.p															53,61

Naseljavanje alga na umjetne podloge praćeno je MacArthur-Wilsonovim modelom, a vrijednosti procijenjenih parametara te vrijeme postizanja stabilne zajednice prikazani su u Tab. 11. Prema MacArthur-Wilson-ovom modelu stabilna zajednica postignuta je 31. dana naseljavanja u proljeće, a 18. dana u ljeto.

Tablica 11. Procijenjeni parametri MacArthur-Wilsonovog modela te vrijeme potrebno za postizanje asimptotskog broja svojti na osnovu procijenjenih parametara ($S_{(t)}$ - broj svojti nakon vremena t , S_{eq} - broj svojti u ravnotežnoj zajednici, G - regresijski koeficijent, t – vrijeme, R - koeficijent korelacije).

		Procijenjene vrijednosti	R	Objašnjenje varijance (%)	t (dani)
Proljeće	S_{eq}	108,95	0,99	97,15	30,76
	G	0,15			
Ljeto	S_{eq}	110,31	0,94	88,09	17,8
	G	0,26			

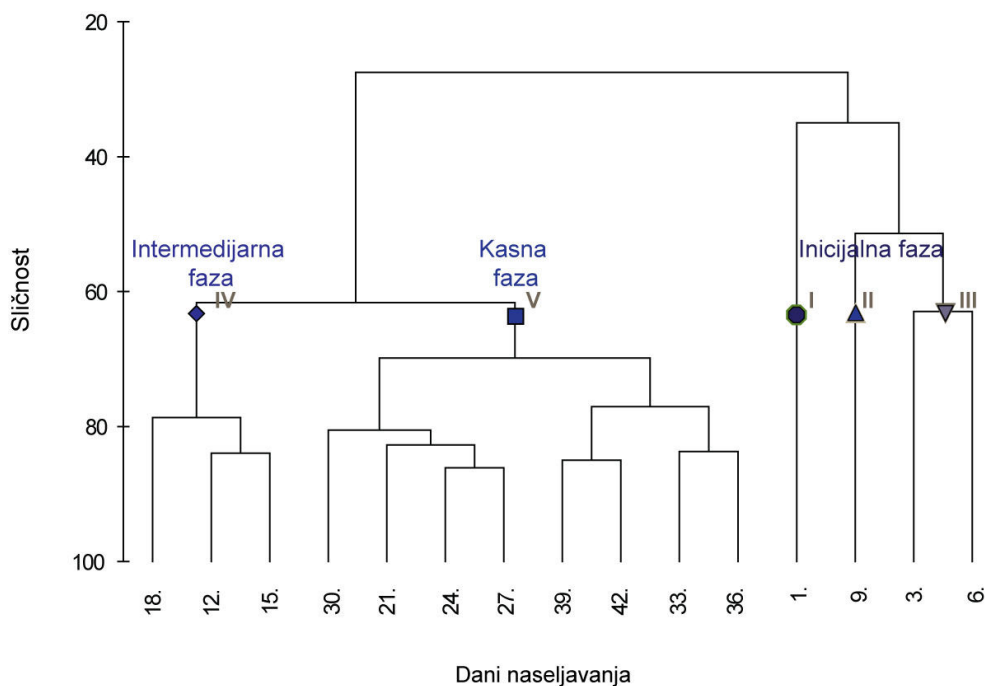
Ukupan broj jedinki tijekom naseljavanja u proljeće (Sl. 17C) povećavao se od $0,64 \times 10^3 \pm 0,06$ jed.cm⁻² prvog dana do $618,15 \times 10^3 \pm 26,35$ jed.cm⁻² 42. dana. Kontinuirani porast ukupnog broja jedinki bio je narušen samo 30. dana. Tijekom istraživanog razdoblja u ljeto, ukupan broj jedinki (Sl. 18C) povećavao se od $2,97 \times 10^3 \pm 0,73$ jed.cm⁻² prvog dana do $475,08 \times 10^3 \pm 70,70$ jed.cm⁻² 27. dana. Nakon toga, ukupan broj jedinki alga u obraštajnim zajednicama se značajno smanjivao, a mali broj (od $29,42 \times 10^3 \pm 8,62$ do $42,65 \times 10^3 \pm 2,30$ jed.cm⁻²) jedinki utvrđen je 36. dana i zadržao se sve do 43. dana naseljavanja u ljeto.

S obzirom na ukupan broj jedinki alga u obraštaju, u obje eksperimentalne serije ukupno 14 svojti činilo je više od 5% ukupnog broja jedinki. U proljeće, dominantne su bile 3 vrste iz skupine Cyanobacteria i 11 vrsta iz razreda Bacillariophyceae (Sl. 17D), a u ljeto, jedna vrsta iz skupine Cyanobacteria, dvije iz razreda Xanthophyceae, 4 svojte iz skupine Chlorophyta i 7 iz razreda Bacillariophyceae (Sl. 18D).

Promjene broja jedinki po jedinici površine tijekom naseljavanja alga na umjetne podloge analizirane su za svaku eksperimentalnu seriju metodom hijerarhijske klaster analize i analizom nemetrijskog višedimenzijanskog grupiranja (NMDS). Hijerarhijska klaster analiza je

superimponirana nemetrijskom višedimenzijskom grupiranju te su rezultati razmatrani zajedno.

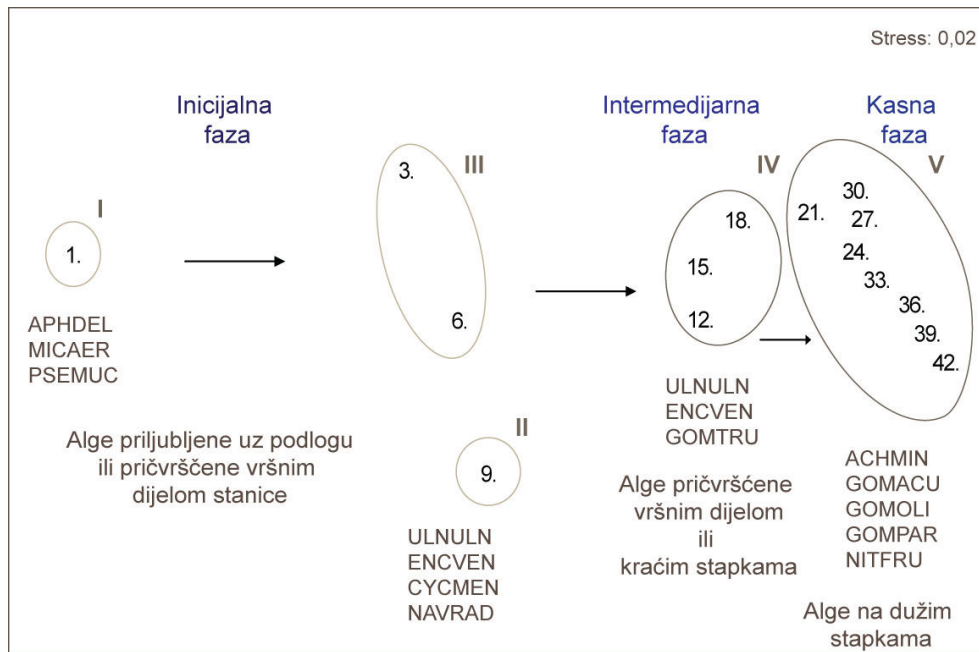
Prema hijerarhijskom klaster dendrogramu (Bray Curtis sličnost $\approx 62\%$) i NMDS analizi na osnovu broja jedinki alga po jedinici površine tijekom naseljavanja u proljeće utvrđeno je grupiranje podataka u pet grupa (Sl. 19 i 20). Prve tri grupe obuhvaćaju prvih devet dana naseljavanja. Četvrta grupa obuhvaća razdoblje od 12. do 18. dana, a posljednja, peta grupa, razdoblje od 21. do 42. dana.



Slika 19. Hijerarhijski klaster dendrogram analize broja jedinki alga u obraštaju tijekom proljetnog naseljavanja u Sakadaškom jezeru po danima ekspozicije.

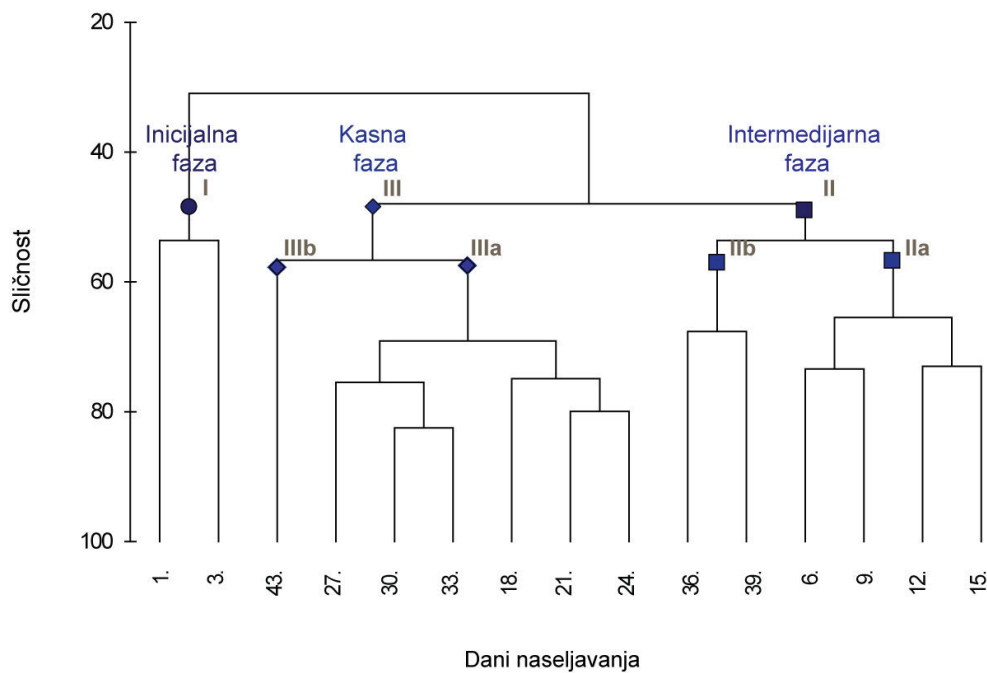
Cijanobakterije *Aphanocapsa delicatissima*, *Microcystis aeruginosa* i *Pseudanabaena mucicola* činile su prvog dana naseljavanja ukupno 69,41% od ukupnog broja jedinki. Već od trećeg dana, ukupan broj jedinki alga iz razreda Bacillariophyceae značajno se povećavao i ostao je visok tijekom cijelog razdoblja istraživanja. *Cyclotella meneghiniana* i *Ulnaria ulna* koje su bile prisutne od prvog dana naseljavanja postale su dominantne, a pridružile su im se i *Navicula radiosa* te od šestog dana i *Encyonema ventricosum* koja je ostala zastupljena s većim brojem jedinki do 15. dana naseljavanja. Od 18. dana u obraštaju su dominirale vrste roda *Gomphonema* (*Gomphonema truncatum*, *G. acuminatum*, *G. olivaceum*, *G. parvulum*), a od 21. dana i *Achnanthydium minutissimum*. U razdoblju od 24. do 36. dana, najbrojnije su uz

A. minutissimum bile *G. acuminatum*, *G. olivaceum* i *G. parvulum*, a od 36. do 42. dana zajednicu je uz *A. minutissimum* i *G. parvulum* upotpunjavala *Nitzschia frustulum*. *A. minutissimum* je 42. dana naseljavanja činio 59% ukupnog broja jedinki u obraštaju (Sl. 17D).



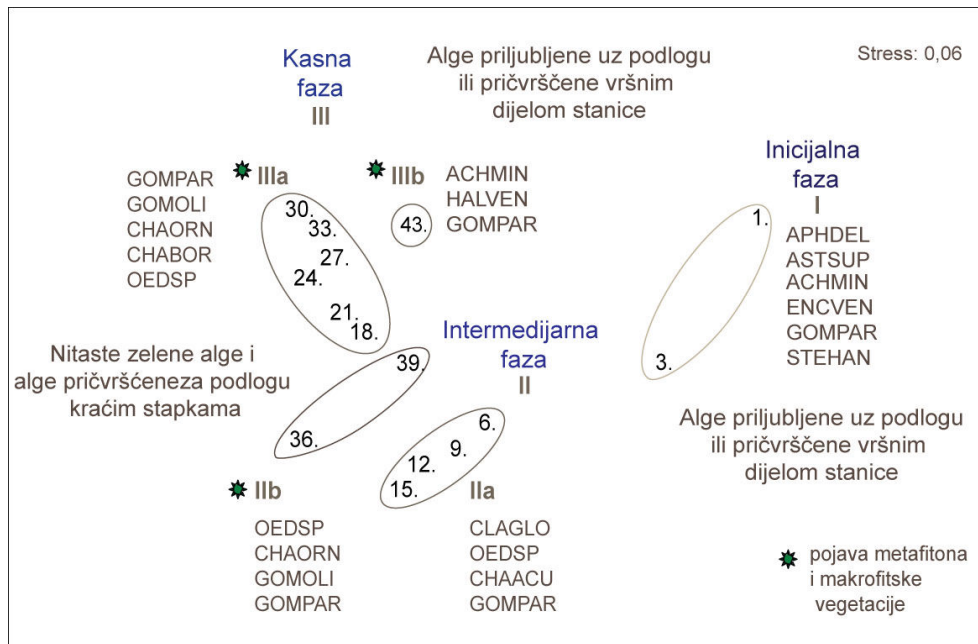
Slika 20. Shematski prikaz na temelju NMDS analize broja jedinki alga u obraštaju po danima ekspozicije tijekom proljetnog naseljavanja u Sakadaškom jezeru. Kodovi vrsta nalaze se u Tab. 20.

Prema hijerarhijskom klaster dendrogramu (Bray Curtis sličnost $\approx 50\%$) i NMDS analizi na osnovu broja jedinki po jedinici površine tijekom naseljavanja alga u ljeto, utvrđeno je grupiranje podataka u tri grupe s nejednako velikim podgrupama (Sl. 21 i 22). Prva grupa obuhvaća prva tri dana naseljavanja. Druga grupa obuhvaća dvije podgrupe. Prva podgrupa obuhvaća razdoblje od 6. do 15. dana, dok su 36. i 39. dan izdvojeni kao druga podgrupa. Treća grupa također obuhvaća dvije podgrupe. Prva podgrupa obuhvaća razdoblje od 18. do 33. dana, dok je 43. dan izdvojen kao posebna podgrupa. Planktonska cijanobakterija *A. delicatissima* i zelena alga *Asterococcus superubs* obilježile su prvi i treći dan naseljavanja alga u ljeto. Dijatomeje *A. minutissimum*, *G. parvulum* i *Stephanodiscus hantzschii* također su bile vrlo brojne na početku naseljavanja. Od 6. do 15. dana uz različite vrste dijatomeja dominantne su bile *Characiopsis acuta* (Xanthophyceae) i *Cladophora glomerata* (Chlorophyta).



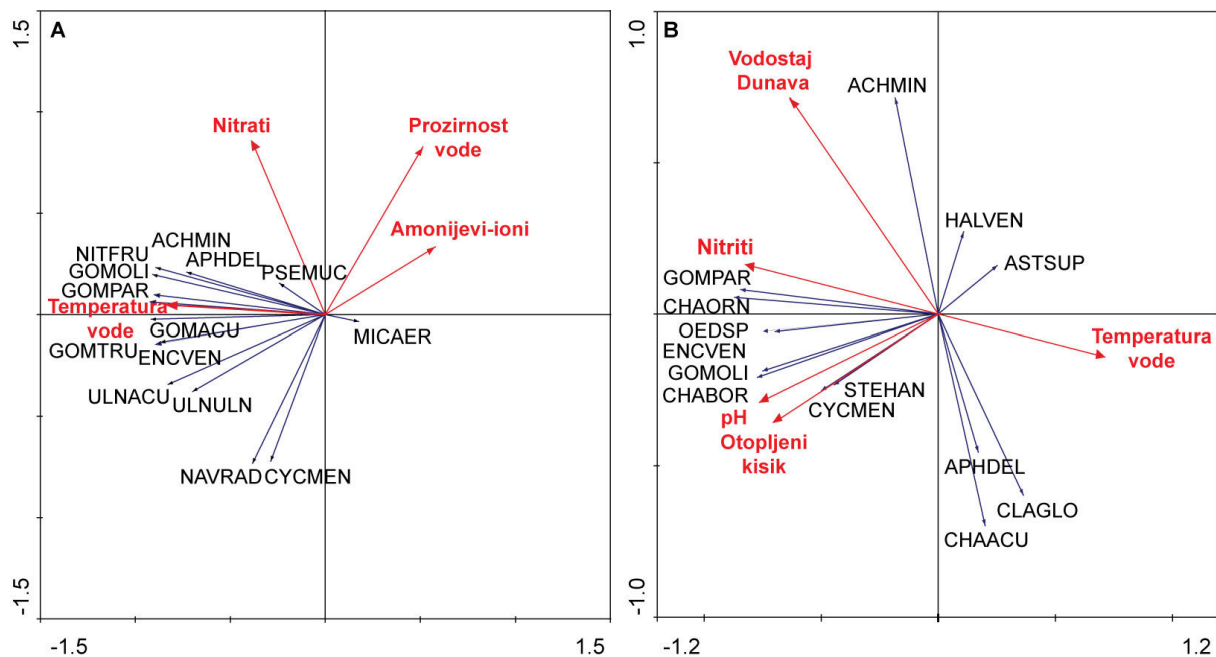
Slika 21. Hijerarhijski klaster dendrogram analize broja jedinki alga u obraštaju tijekom ljetnog naseljavanja u Sakadaškom jezeru po danima ekspozicije.

U razdoblju od 18. do 33. dana prethodno dominantne vrste zamjenile su zelene alge *Characium ornitocephalum* i *Oedogonium* sp. te *Characiopsis borziana* iz razreda Xanthophyceae. Veliki broj jedinki dijatomeja u obraštajnim zajednicama utvrđen je tijekom cijelog razdoblja naseljavanja u ljeto. Posebno brojne bile su *Gomphonema olivaceum* te *G. parvulum* koja je 30. dana činila 76,89% ukupnog broja jedinki, odnosno 72,65% ukupnog broja jedinki 33. dana. Od 36. dana do kraja istraživanja, u obraštajnim zajednicama je utvrđen je mali broj alga, a dominantna je bila *G. parvulum* (17,17% do 37,10% ukupnog broja jedinki). Uz *G. parvulum* obraštajne zajednice su 36. dana upotpunjavale *Characium ornitocephalum*, *Oedogonium* sp. i *G. olivaceum*, 39. dana *C. ornitocephalum*, *G. olivaceum* i *Cyclotella meneghiniana*, a 43. dana, *Achanthidium minutissimum* i *Halamphora veneta* (Sl. 18D).



Slika 22. Shematski prikaz na temelju NMDS analize broja jedinki alga u obraštaju po danima ekspozicije tijekom ljetnog naseljavanja u Sakadaškom jezeru. Kodovi svojita nalaze se u Tab. 20.

Kako bi se utvrdila veza između vodostaja Dunava, fizikalno-kemijskih čimbenika vode jezera i broja jedinki alga u obraštaju, podaci su analizirani redundancijskom analizom (RDA). RDA analiza za razdoblje od prvog do 42. dana naseljavanja u proljeće (Sl. 23A) pokazala je da je zbroj svih svojstvenih vrijednosti iznosio 0,806. Ukupna varijanca vrsta za prve dvije osi bila je 76,7%. Korelacije vrste-okoliš bile su visoke i iznosile su 0,938 za prvu, a 0,897 za drugu os. Prvu os (svojstvena vrijednost = 0,664) najbolje su definirali temperatura vode (-0,7802) i koncentracija amonijevih iona (0,5433), dok su prozirnost vode (0,7425) i nitrati (0,7672) najbolje definirali drugu os (svojstvena vrijednost = 0,103). Na temelju RDA analize najznačajniji čimbenik za razvoj većine dominantnih vrsta alga u obraštaju bila je temperatura vode, dok je za razvoj cijanobakterije *M. aeruginosa* najznačajnija bila koncentracija amonijevih iona.

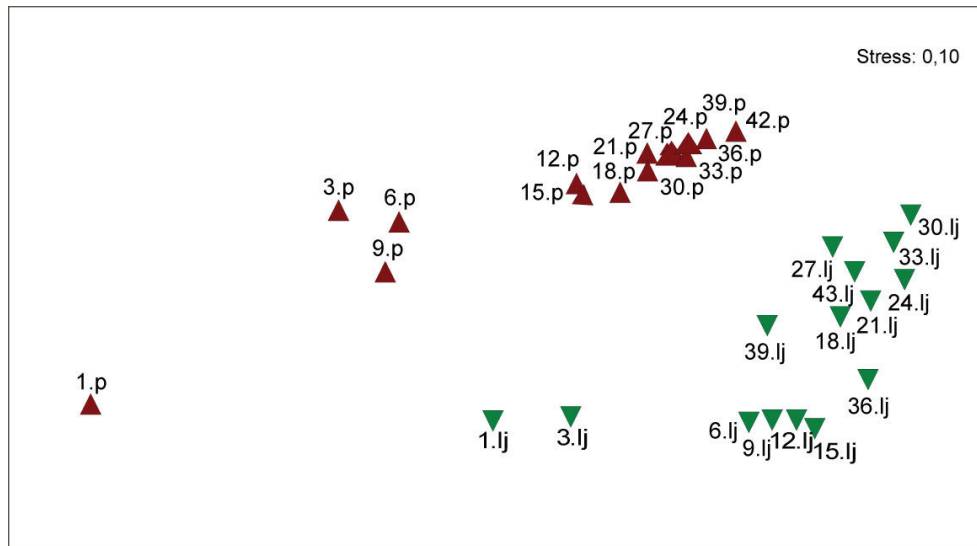


Slika 23. Ordinacijski dijagram redundancijske analize (RDA) na temelju vodostaja Dunava, fizikalno-kemijskih čimbenika vode Sakadaškog jezera i broja jedinki alga u obraštaju tijekom naseljavanja u proljeće (A) i ljeto (B). Na grafu su prikazani samo statistički značajni fizikalno-kemijski čimbenici i dominantne svojte alga u obraštaju. Kodovi svojti nalaze se u Tab. 20.

RDA analiza za razdoblje od prvog do 43. dana naseljavanja u ljeto (Sl. 23B) pokazala je da je zbroj svih vlastitih vrijednosti iznosio 0,495. Ukupna varijanca svojti za prve dvije osi iznosila je 45%. Korelacije vrste-okoliš bile su visoke i iznosile su 0,866 za prvu te 0,850 za drugu os. Prvu os (svojstvena vrijednost = 0,316) najbolje su definirali nitriti (-0,7132) i temperatura vode (0,6159) i pH (-0,6612) dok je vodostaj Dunava (0,6082) najbolje definirao drugu os (svojstvene vrijednosti = 0,134). Prema RDA analizi temperatura vode bila je značajan čimbenik za razvoj vrsta iz skupine Cyanobacteria (*A. delicatissima*) i Chlorophyta (*A. superubs*, *C. glomerata*). Koncentracija nitrita bila je najznačajniji čimbenik za razvoj *G. parvulum* te zelene alge *C. ornitocephalum*. Na razvoj dijatomeja (*C. meneghiniana*, *S. hantzschii*) te *C. borziana* (Xanthophyceae) najviše su utjecali pH i koncentracija otopljenog kisika u vodi, dok je za razvoj vrste *A. minutissimum* najznačajniji bio vodostaj Dunava.

Sličnosti odnosno razlike u ukupnom broju jedinki alga po jedinici površine u obraštajnim zajednicama tijekom naseljavanja analizirane metodom nemetrijskog višedimenzijskog

grupiranja (NMDS) pokazale su jasno razdvajanje obraštajnih zajednica razvijenih u proljeće od obraštajnih zajednica istog vremena ekspozicije razvijenih u ljeto (Sl. 24). Isto su pokazali i rezultati analize (ANOSIM) kojom je utvrđena statistički značajna razlika između obraštajnih zajednica alga tijekom naseljavanja u proljeće i ljeto ($R = 0,549$; $p < 0,05$).



Legenda:

- ▲ Eksperimentalna serija u proljeće ▼ Eksperimentalna serija u ljeto

Slika 24. Ordinacijski dijagram nemetrijskog višedimenzijskog grupiranja (NMDS) na temelju broja jedinki alga tijekom naseljavanja u proljeće (p) i ljeto (lj) u Sakadaškom jezeru 2010. godine.

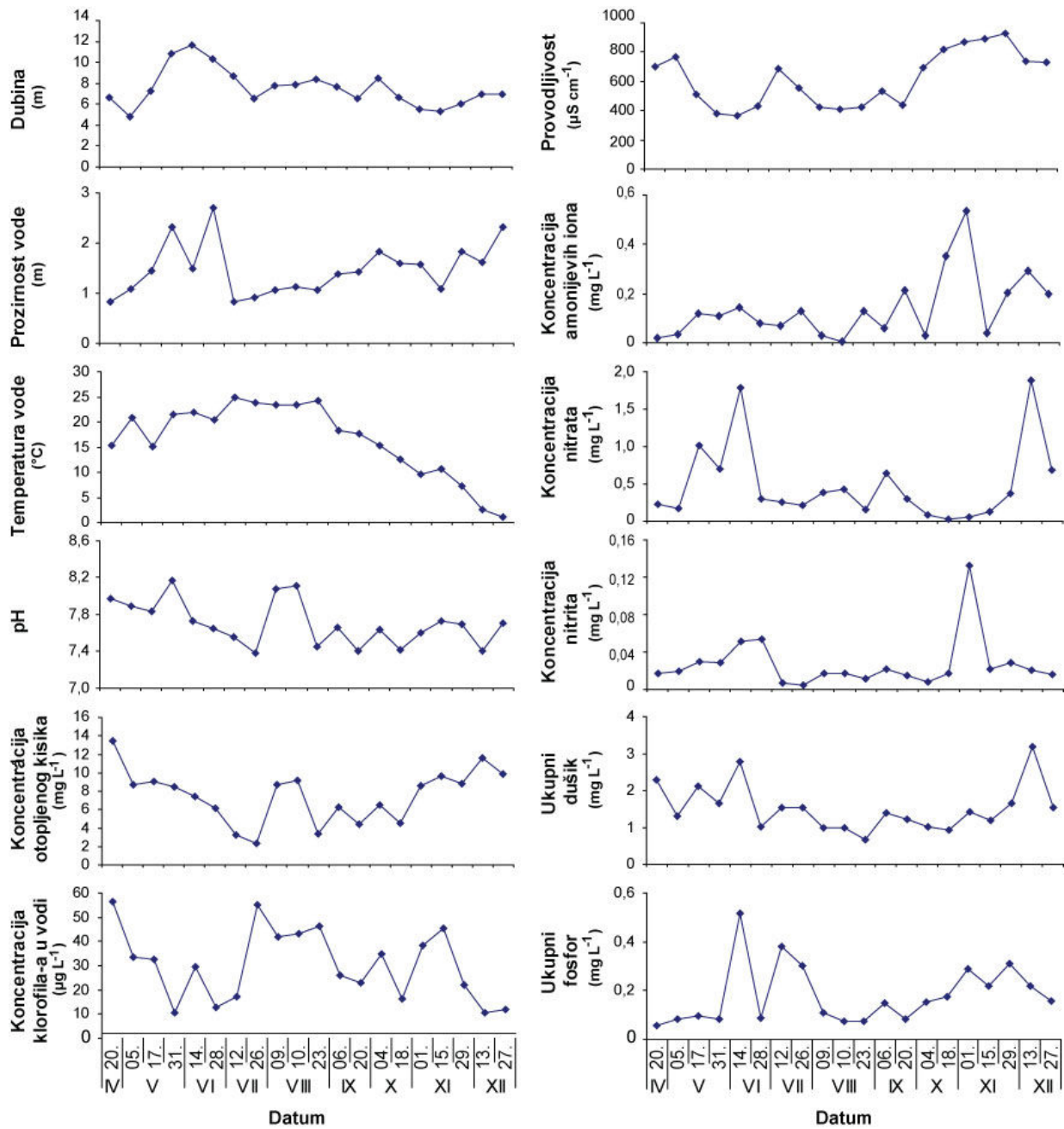
4.2. Razvoj alga u obraštaju tijekom proljetno-zimske i ljetno-zimske eksperimentalne serije

Kako bi se što bolje istražila dinamika razvoja obraštaja i sukcesija algi na umjetnim podlogama, uzorkovanje je provedeno u dvotjednim intervalima. S ciljem utvrđivanja sezonskih utjecaja na razvoj obraštaja eksperiment je proveden kroz dvije eksperimentalne serije: proljetno-zimske u razdoblju od 20. travnja do 27. prosinca te ljetno-zimske u razdoblju od 26. srpnja do 27. prosinca 2010. godine.

4.2.1. Okolišni uvjeti

Promjene dnevnih vrijednosti vodostaja Dunava kod vodomjerne stanice pokraj Apatina prikazane su na Sl. 11. Povremena plavljenja malog i srednjeg intenziteta zabilježena su u proljeće, dok je dugotrajno i ekstremno plavljenje trajalo tijekom cijelog ljetnog i dijela jesenskog razdoblja. U uvjetima plavljenja u ljeto zabilježeni su izuzetno visoki vodostaji Dunava od gotovo 8 m. Od sredine listopada do sredine prosinca vodostaj Dunava nije prelazio 3 m te je izostalo plavljenje Kopačkog rita. Kratkotrajna plavljenja većeg intenziteta ponovno su zabilježena u drugoj polovini prosinca.

U obje eksperimentalne serije promjene vodostaja Dunava značajno su utjecale na fizikalno-kemijska svojstva vode Sakadaškog jezera (Sl. 25) na što ukazuju i utvrđeni visoki koeficijenti korelacije (Tab. 12). Dubina vode jezera (Sl. 25) mijenjala se od 4,83 do 11,67 m ovisno o vodostaju Dunava ($r = 0,8943$, $p = 0,000$). Prozirnost vode se mijenjala, a u uvjetima plavljenja jezera dostizala je vrijednosti do 2,71 m (Sl. 25). Temperatura vode (Sl. 25) mijenjala se ovisno o sezonskim uvjetima te su najveće vrijednosti izmjerene u kolovozu (25,00 °C), a najmanje u prosincu (1,10 °C). pH vrijednosti vode (Sl. 25) su bile uvijek iznad 7. Koncentracije otopljenog kisika u vodi bile su najviše u travnju (13,40 mg L⁻¹) i sredinom prosinca (11,57 mg L⁻¹) dok su vrlo niske koncentracije (2,34 – 3,19 mg L⁻¹) zabilježene u srpnju. Koncentracija klorofila-a u vodi (Sl. 25) bila je visoka na početku proljetno-zimske eksperimentalne serije u travnju (56,50 µg L⁻¹) te početkom ljetno-zimske eksperimentalne serije u srpnju (55,34 µg L⁻¹). Niske vrijednosti koncentracije utvrđene su krajem svibnja (10,51 µg L⁻¹) i u prosincu (od 10,39 do 11,98 µg L⁻¹). Provodljivost vode (Sl. 25) mijenjala se od 363 do 929 µS cm⁻¹, a najviše je ovisila o promjenama vodostaja Dunava ($r = -0,7726$, $p = 0,000$) te su niže vrijednosti izmjerene u uvjetima plavljenja. Koncentracije amonijevih iona (Sl. 25) značajno su se mijenjale i to od < 0,005 do 0,535 mg L⁻¹. Također su bile i velike oscilacije koncentracije nitrata (0,02 - 1,88 mg L⁻¹) i nitrita (0,004 – 0,132 mg L⁻¹). Srednje vrijednosti ukupnog dušika (1,52 mg L⁻¹) i ukupnog fosfora (0,18 mg L⁻¹) bile su visoke (Sl. 25). Vrijednosti ukupnog dušika bile su niže u ljetnom razdoblju (do 0,67 mg L⁻¹), dok je najviša (3,20 mg L⁻¹) vrijednost zabilježena u prosincu. U oscilacijama ukupnog fosfora ističe se minimum (0,06 mg L⁻¹) u travnju te maksimum u lipnju (0,517 mg L⁻¹).

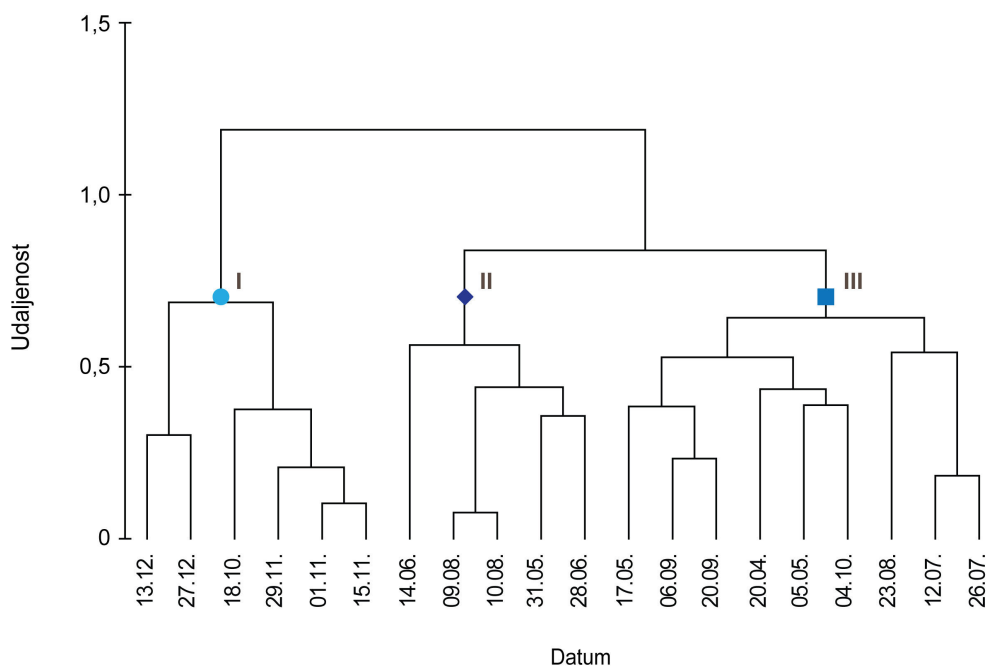


Slika 25. Promjene fizikalno-kemijskih svojstava vode Sakadaškog jezera tijekom proljetno-zimske i ljetno-zimske eksperimentalne serije u razdoblju od 20. travnja do 27. prosinca 2010. godine.

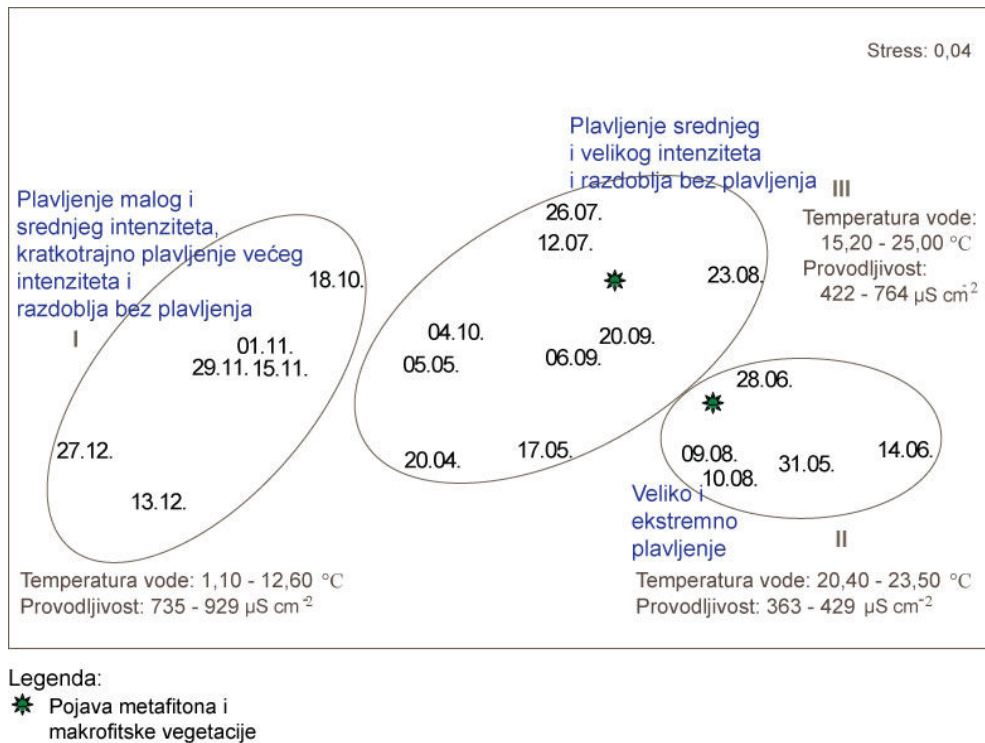
Tablica 12. Statistički značajni koeficijenti korelacije utvrđeni između vodostaja Dunava i fizikalno-kemijskih parametara vode Sakadaškog jezera tijekom proljetno-zimske i ljetno-zimske eksperimentalne serije (20. travnja - 27. prosinca 2010.).

	Vodostaj Dunava	Dubina	Prozirnost	Temperatura vode	Otopljeni kisik	pH	Provodljivost vode	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	TN	TP	Chl-a (u vodi)
Vodostaj Dunava	0,8943 p=0,000			0,4505 p=0,046			-0,7726 p=,000						
Dubina	0,8943 p=0,000						-0,7116 p=0,000						
Prozirnost													-0,7076 p=0,000
Temperatura vode	0,4505 p=0,046				-0,5292 p=0,016		-0,6842 p=0,001	-0,5328 p=0,016					
Otopljeni kisik				-0,5292 p=0,016	0,5722 p=0,008						0,4921 p=0,028		
pH					0,5722 p=0,008			-0,5040 p=0,023					
Provodljivost vode	-0,7726 p=0,000	-0,7116 p=0,000		-0,6842 p=0,001						0,6395 p=0,002			
NH ₄ ⁺				-0,5328 p=0,016									
NO ₃ ⁻											0,8330 p=0,000		
NO ₂ ⁻													
TN					0,4921 p=0,028								
TP													
Chl-a (u vodi)								0,6395 p=0,002	0,8330 p=0,000				

Prema klaster dendrogramu (udaljenost oko 0,7) i NMDS ordinacijskom dijagramu na temelju vodostaja Dunava i fizikalno-kemijskih parametara vode Sakadaškog jezera vidljivo je grupiranje podataka u tri grupe (Sl. 26 i 27). Prva grupa je karakterizirana poplavama malog i srednjeg intenziteta te razdobljima bez plavljenja (vodostaj Dunava: 1,96 do 3,98 m), niskom temperaturom vode (1,10 do 12,60 °C) i vrlo visokim vrijednostima provodljivosti (735 do 929 $\mu\text{S cm}^{-2}$) vode. Druga grupa je karakterizirana velikim i ekstremnim poplavama (vodostaj Dunava: 4,02 do 6,68 m), velikom dubinom jezera zabilježenoj na postaji za istraživanje obraštaja (7,70 do 11,67 m), visokom temperaturom vode (20,40 do 23,50 °C) i malom provodljivosti vode (363 do 429 $\mu\text{S cm}^{-2}$). Treća grupa je karakterizirana poplavama srednjeg i velikog intenziteta te razdobljima bez plavljenja (vodostaj Dunava: 2,31 do 4,82 m), manjom dubinom vode jezera (4,83 do 8,66 m), viskom temperaturom vode (15,20 do 25,00 °C) i velikom provodljivosti vode (422 do 764 $\mu\text{S cm}^{-2}$).



Slika 26. Hijerarhijski klaster dendrogram analize vodostaja Dunava i deset fizikalno-kemijskih parametara vode Sakadaškog jezera tijekom istraživanog razdoblja od travnja do prosinca 2010. godine.



Slika 27. NMSD ordinacijski dijagram na temelju analize vodostaja Dunava i deset fizikalno-kemijskih čimbenika vode Sakadaškog jezera tijekom istraživnog razdoblja od travnja do prosinca 2010. godine.

4.2.2. Promjene ukupne biomase obraštaja

Tijekom proljetno-zimske eksperimentalne serije masa suhe tvari obraštaja se povećavala od travnja do sredine svibnja (Sl. 28A). Do kraja lipnja, bila je visoka i varirala je od $2,94 \pm 0,16$ do $3,89 \pm 0,6 \text{ mg cm}^{-2}$, nakon čega je zabilježen značajan pad. Tijekom ljetno-zimske eksperimentalne serije masa suhe tvari obraštaja povećavala se od srpnja do prve polovice kolovoza (Sl. 28B). U ljetnom i jesenskom razdoblju, masa suhe tvari u obje eksperimentalne serije bila je vrlo mala (proljetno-zimska serija: od $0,23 \pm 0,14$ do $0,87 \pm 0,36 \text{ mg cm}^{-2}$; ljetno-zimska serija: od $0,11 \pm 0,03$ do $1,49 \pm 0,88 \text{ mg cm}^{-2}$), osim u obraštaju proljetno-zimske eksperimentalne serije u prvoj polovici kolovoza kada je iznosila $2,56 \text{ mg cm}^{-2}$. U studenom je utvrđeno značajno povećanje mase obraštaja u obje eksperimentalne serije, a najviše su vrijednosti zabilježene krajem prosinca.

U obje eksperimentalne serije mase anorganske i organske tvari u obraštaju značajno su se mijenjale (Sl. 28A i 28B). Tako je anorganska tvar u proljetno-zimskoj seriji činila veći dio

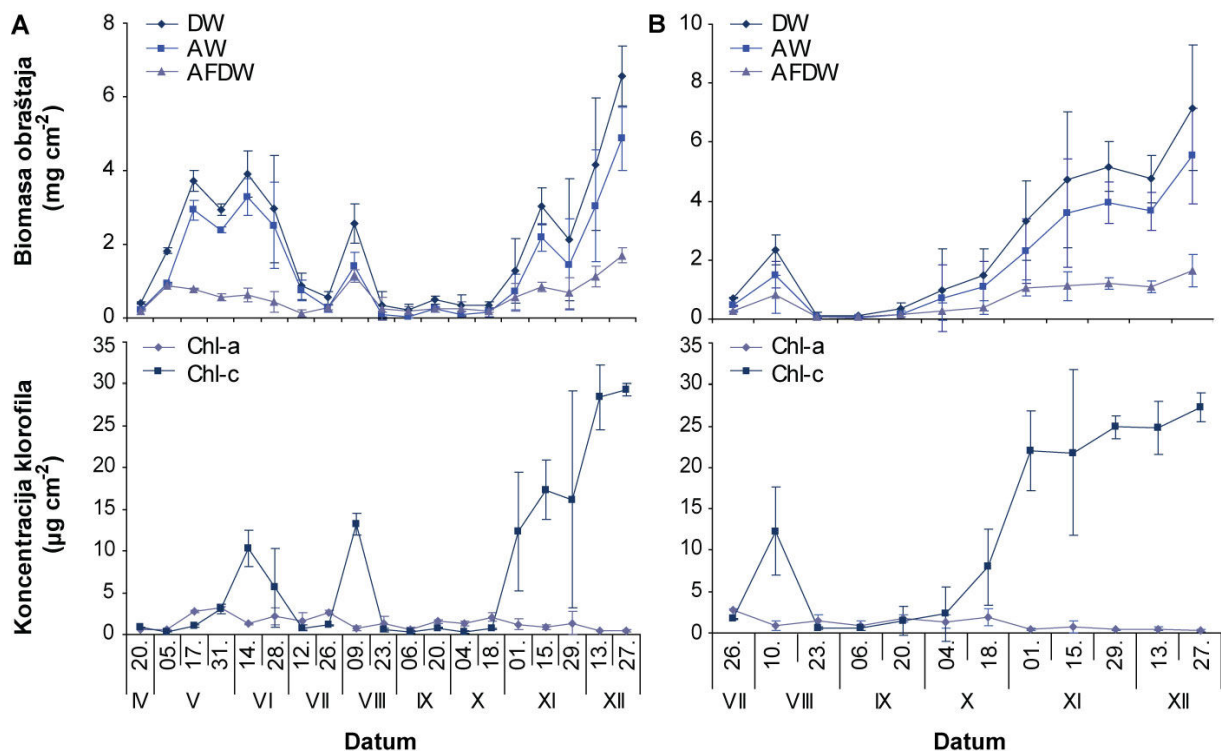
ukupne mase obraštaja od travnja do sredine srpnja (AW od $0,22 \pm 0,02$ do $3,27 \pm 0,49$ mg cm⁻², AFDW od $0,13 \pm 0,28$ do $0,88 \pm 0,04$ mg cm⁻²), a u ljetno-zimskoj seriji od kraja srpnja do polovice kolovoza (AW od $0,46 \pm 0,01$ do $1,50 \pm 0,45$ mg cm⁻², AFDW od $0,26 \pm 0,01$ do $0,84 \pm 0,66$ mg cm⁻²). Također su veće mase anorganske tvari ponovno utvrđene u obraštaju u kasno jesenkom i zimskom razdoblju (od početka studenog u proljetno-zimskoj seriji, a od početka listopada u ljetno-zimskoj). Veća masa organske tvari utvrđena je tijekom proljetno-zimske eksperimentalne serije od kraja kolovoza do studenog (AW od $0,04 \pm 0,03$ do $0,24 \pm 0,08$ mg cm⁻², AFDW od $0,19 \pm 0,11$ do $0,26 \pm 0,04$ mg cm⁻²) dok je tijekom ljetno-zimske eksperimentalne serije činila veći dio obraštaja od kraja kolovoza do kraja rujna (AW od $0,02 \pm 0,01$ do $0,17 \pm 0,10$ mg cm⁻², AFDW od $0,06 \pm 0,04$ do $0,17 \pm 0,09$ mg cm⁻²).

U obje eksperimentalne serije promjene mase suhe i organske tvari pratile su promjene ukupnog broja jedinki alga u obraštaju na što ukazuju visoki koeficijenti korelacije (Tab. 13 i 14).

Koncentracije klorofila-a u obraštaju u obje eksperimentalne serije značajno su se mijenjale (Sl. 28A i 28B). Tako su tijekom proljetno-zimske eksperimentalne serije, u travnju i početkom svibnja koncentracije klorofil-a bile niske (od $0,51 \pm 0,07$ do $0,56 \pm 0,04$ μg cm⁻²). Najviše koncentracije od $3,18 \pm 0,22$ μg cm⁻² utvrđene su krajem svibnja, dok su koncentracije < 1 μg cm⁻² utvrđene početkom kolovoza i rujna te sredinom studenog. Vrlo male koncentracije klorofila-a zabilježene su u prosincu (od $0,39 \pm 0,14$ do $0,46 \pm 0,02$ μg cm⁻²). Promjene koncentracije klorofila-a tijekom ljetno-zimske eksperimentalne serije pratile su promjene ukupog broja jedinki alga u obraštaju ($r = -0,7470$, $p = 0,005$). Najviše koncentracije od $2,83 \pm 0,05$ μg cm⁻² zabilježene su krajem srpnja, nakon čega su sve do studenog varirale od $0,90 \pm 0,55$ do $1,89 \pm 1,09$ μg cm⁻². Od početka studenog do kraja istraživanog razdoblja koncentracije klorofila-a u obraštaju bile su niske, a najmanja je koncentracija zabilježena krajem prosinca ($0,32 \pm 0,15$ μg cm⁻²). Koncentracije klorofila-c u obraštaju (Sl. 28A i 28B) tijekom proljetno-zimske eksperimentalne serije od travnja do početka studenog varirale su od $0,28 \pm 0,17$ do $13,21$ μg cm⁻², dok su tijekom ljetno-zimske eksperimentalne serije od srpnja do sredine listopada bile u granicama od $0,56 \pm 0,19$ do $12,31 \pm 5,28$ μg cm⁻². U studenom su u obje eksperimentalne serije koncentracije klorofila-c bile visoke, a najviše su vrijednosti zabilježene u prosincu (proljetno-zimska serija: $28,41 \pm 3,90$ do $29,32 \pm 0,74$ μg cm⁻²; ljetno-zimska serija: $24,78 \pm 3,25$ do $27,26 \pm 1,71$ μg cm⁻²). U

obje eksperimentalne serije promjene koncentracija klorofila-c pratile su promjene ukupnog broja jedinki alga u obraštaju (proljetno-zimska serija: $r = 0,8537$, $p < 0,05$; ljetno-zimska serija: $r = 0,9866$, $p < 0,05$).

Promjene fizikalno-kemijskih svojstava vode Sakadaškog jezera značajno su utjecale na strukturu obraštaja na što ukazuju utvrđeni visoki koeficijenti korelacije (Tab. 13 i 14).



Slika 28. Promjene mase suhe (DW), anorganske (AW) i organske tvari (AFDW) te koncentracija klorofila-a (Chl-a) i klorofila-c (Chl-c) u obraštaju tijekom proljetno-zimske (A) i ljetno-zimske eksperimentalne serije (B) 2010. godine u Sakadaškom jezeru.

Rezultati t-testa (Tab. 15) pokazali su da su se obraštajne zajednice istog vremena ekspozicije, ali razvijene tijekom proljetno-zimske odnosno ljetno-zimske eksperimentalne serije uglavnom međusobno razlikovale s obzirom na istraživane parametre. Obraštajne zajednice različitog vremena ekspozicije razvijene tijekom proljetno-zimske odnosno ljetno-zimske eksperimentalne serije, a prikupljene i analizirane istog dana, bile su slične osim s obzirom na koncentraciju klorofila-c.

Tablica 13. Statistički značajni koeficijenti korelacije utvrđeni između fizikalno-kemijskih parametara vode Sakadaškog jezera, biomase obraštaja, klorofila i broja jedinki alga u obraštaju tijekom proljetno-zimske eksperimentalne serije u razdoblju od 20. travnja do 27. prosinca 2010. godine (DW- masa suhe tvari obraštaja, AW – masa anorganske tvari u obraštaju, AFDW – masa organske tvari u obraštaju, Chl-a koncentracija klorofila-a, Chl-c – koncentracija klorofila-c).

	DW	AW	AFDW	Chl-a (obraštaj)	Chl-c (obraštaj)	Broj jedinki cm ⁻²
Prozirnost	0,4919 p=0,032	0,5313 p=0,019				0,5273 p=0,020
Temperatura vode	-0,4853 p=0,035		-0,5440 p=0,016		-0,7492 p=0,000	-0,6449 p=0,003
Otopljeni kisik	0,5067 p=0,027	0,4642 p=,045	0,5667 p=0,011		0,5309 p=0,019	0,5263 p=0,021
pH		0,2677 p=0,268				
NO₃⁻	0,6080 p=0,006	0,6407 p=0,003				0,5582 p=0,013
NO₂⁻						
TN		0,4665 p=0,044				0,4760 p=0,039
TP		0,1610 p=0,510				
Chl-a (u vodi)		-0,4650 p=0,045				-0,4971 p=0,030
DW		0,9894 p=0,000	0,8753 p=0,000		0,7651 p=,000	0,8923 p=0,000
AW	0,9894 p=0,000		0,7958 p=0,000		0,7121 p=,001	0,8907 p=0,000
AFDW	0,8753 p=0,000	0,7958 p=0,000			0,8193 p=0,000	0,7550 p=0,000
Chl-a (obraštaj)					-0,4668 p=0,044	
Chl-c (obraštaj)	0,7651 p=0,000	0,7121 p=0,001	0,8193 p=,000	-0,4668 p=0,044		0,8537 p=0,000
Broj jedinki cm⁻²	,8923 p=0,000	0,8907 p=0,000	0,7550 p=0,000		0,8537 p=0,000	

Tablica 14. Statistički značajni koeficijenti korelacije utvrđeni između fizikalno-kemijskih parametara vode Sakadaškog jezera, biomase obraštaja, klorofila i broja jedinki alga u obraštaju tijekom ljetno-zimske eksperimentalne serije u razdoblju od 26. srpnja do 27. prosinca 2010. godine (DW- masa suhe tvari obraštaja, AW – masa anorganske tvari u obraštaju, AFDW – masa organske tvari u obraštaju, Chl-a koncentracija klorofila-a, Chl-c – koncentracija klorofila-c).

	DW	AW	AFDW	Chl-a (obraštaj)	Chl-c (obraštaj)	Broj jedinki cm ⁻²
Dubina						-0,6195 p=0,032
Prozirnost	0,5819 p=0,047	0,5939 p=0,042				
Tempertaura vode	-0,8509 p=0,000	-0,8617 p=0,000	-0,7949 p=0,002	0,6863 p=0,014	-0,8423 p=0,001	-0,8729 p=0,000
Otopljeni kisik	0,8178 p=0,001	0,8053 p=0,002	0,8427 p=0,001	-0,8849 p=0,000	0,8610 p=0,000	0,8184 p=0,001
pH						
Provodljivost	0,6525 p=0,021	0,6570 p=0,020	0,6226 p=0,031		0,7041 p=0,011	0,7665 p=0,004
DW	-0,7258 p=0,008	-0,7159 p=0,009	-0,7437 p=0,006		-0,7742 p=0,003	-0,7470 p=0,005
AW	0,9635 p=0,000	0,9538 p=0,000	0,9757 p=0,000	-0,7742 p=0,003		0,9866 p=0,000
AFDW		0,9986 p=0,000	0,9829 p=0,000	-0,7258 p=0,008	0,9635 p=0,000	0,9439 p=0,000
Chl-a (obraštaj)	0,9986 p=0,000		0,9716 p=0,000	-0,7159 p=0,009	0,9538 p=0,000	0,9380 p=0,000
Chl-c (obraštaj)	0,9829 p=0,000	0,9716 p=0,000		-0,7437 p=0,006	0,9757 p=0,000	0,9434 p=0,000
Broj jedinki cm⁻²	0,9439 p=0,000	0,9380 p=0,000	0,9434 p=0,000	-0,7470 p=0,005	0,9866 p=0,000	

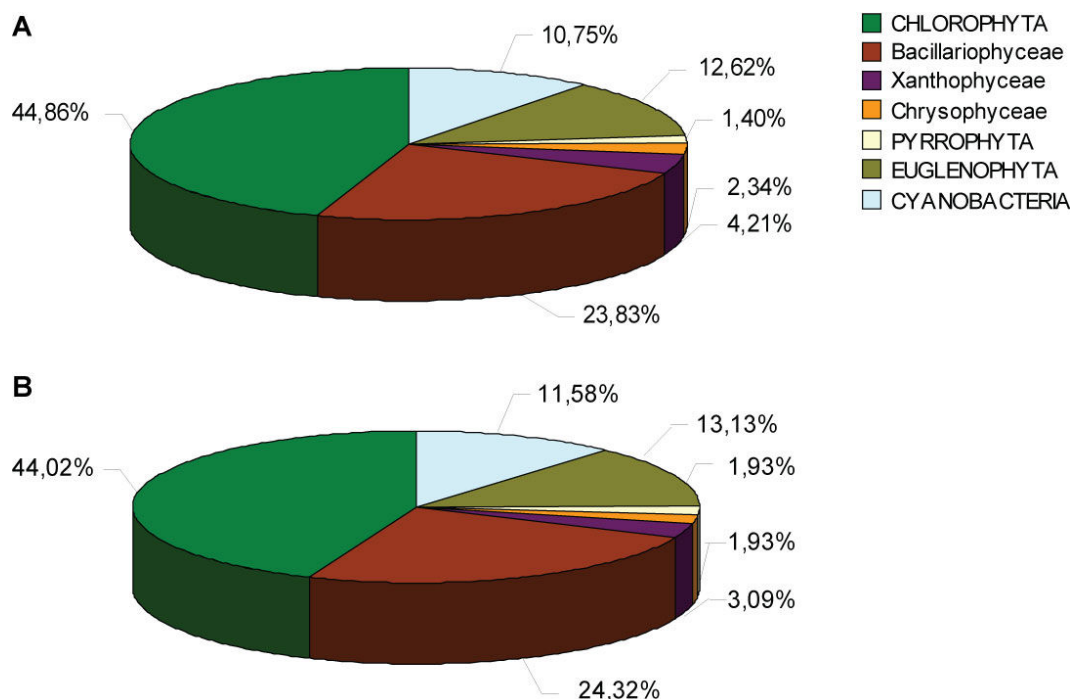
Tablica 15. Rezultati t-testa za razlike između obraštajnih zajednica u proljetno-zimskoj i ljetno-zimskoj eksperimentalnoj seriji s obzirom na masu suhe (DW), anorganske (AW) i organske tvari (AFDW) te koncentracije klorofila-a (Chl-a) i klorofila-c (Chl-c). Statistički značajne razlike ($p < 0,05$) označene su zvjezdicama (*).

Datum uzorkovanja		Dan razvoja obraštaja		DW	AW	AFDW	Chl-a (obraštaj)	Chl-c (obraštaj)
proljetno-zimska serija	ljetno-zimska serija	proljetno-zimska serija	ljetno-zimska serija					
20.04.	26.07.	15.	15.	*	*	*	*	*
05.05.	10.08.	30.	30.					*
17.05.	23.08.	42.	43.	*	*	*	*	*
31.05.	06.09.	56.	56.	*	*	*	*	
14.06.	20.09.	70.	70.	*	*	*		*
28.06.	04.10.	84.	84.					
12.07.	18.10.	98.	98.					*
26.07.	01.11.	112.	112.	*	*	*	*	*
09.08.	15.11.	126.	126.					
23.08.	29.11.	140.	140.	*		*		*
06.09.	13.12.	154.	154.	*	*	*		*
20.09.	27.12.	168.	168.	*	*	*	*	*
26.07.	26.07.	112.	15.		*			
09.08.	10.08.	126.	30.					
23.08.	23.08.	140.	43.					
06.09.	06.09.	154.	56.					
20.09.	20.09.	168.	70.					
04.10.	04.10.	182.	84.					
18.10.	18.10.	196.	98.					*
01.11.	01.11.	210.	112.					*
15.11.	15.11.	224.	126.					
29.11.	29.11.	238.	140.	*	*			*
13.12.	13.12.	252.	154.					*
27.12.	27.12.	266.	168.					*

4.2.3. Sukcesije alga u obraštajnim zajednicama

Tijekom proljetno-zimske eksperimentalne serije utvrđeno je ukupno 259 svojti, a tijekom ljetno-zimske eksperimentalne serije, 214 svojti alga (Tab. 20). U obje eksperimentalne serije najzastupljenije su bile svojte iz skupina Chlorophyta (114 svojti u proljetno-zimskoj seriji i 96 u ljetno-zimskoj), a potom iz razreda Bacillariophyceae (63 svojte u proljetno-zimskoj seriji i 51 u ljetno-zimskoj) te skupina Cyanobacteria (30 svojte u proljetno-zimskoj i 23 u ljetno-zimskoj seriji) i Euglenophyta (34 svojte u proljetno-zimskoj i 27 u ljetno-zimskoj

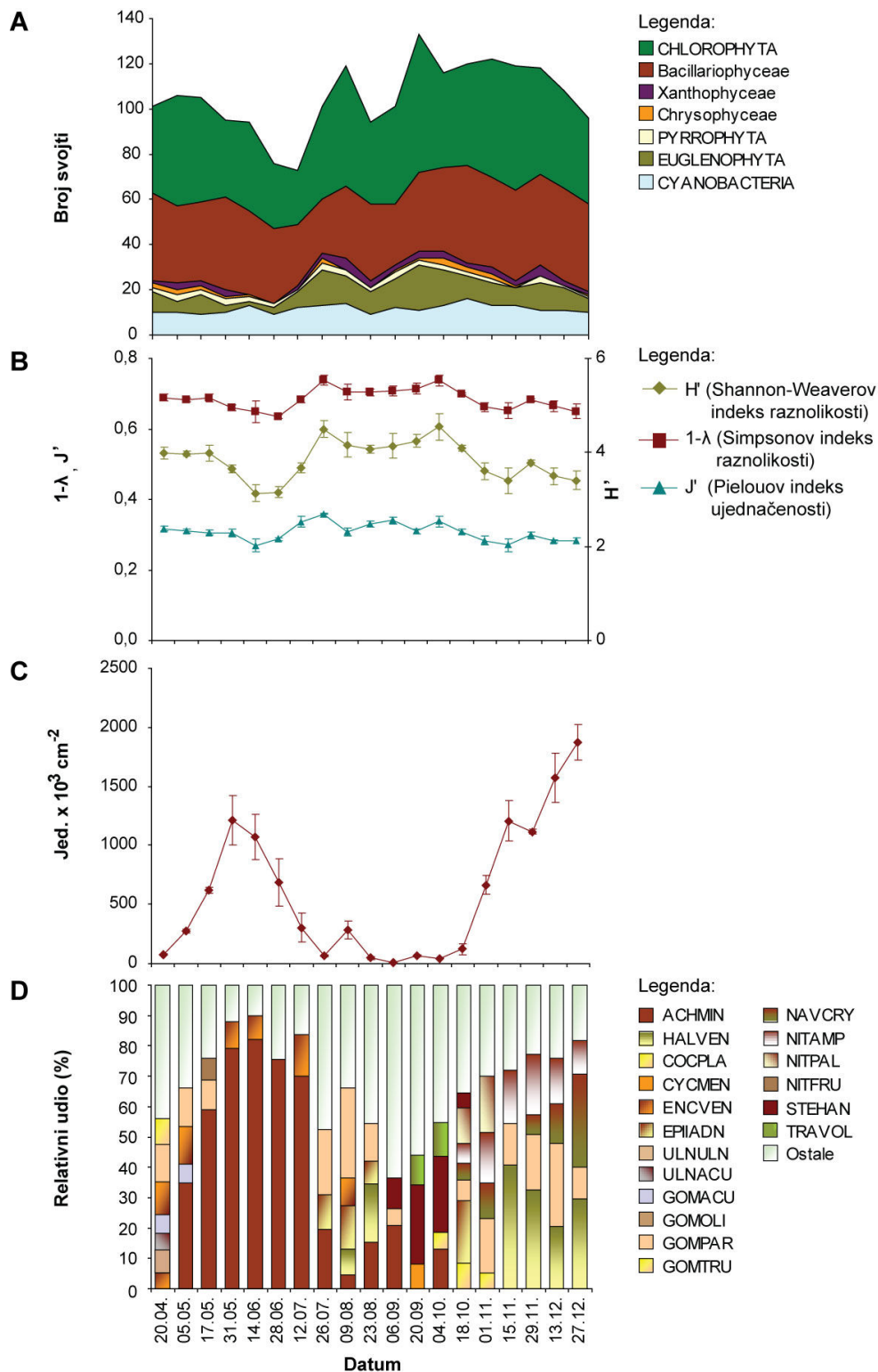
seriji). Svojte iz skupine Pyrrophyta te razreda Xanthophyceae i Chrysophyceae u obje eksperimentalne serije činile su manje od 5% ukupnog broja svojti (Sl. 29).



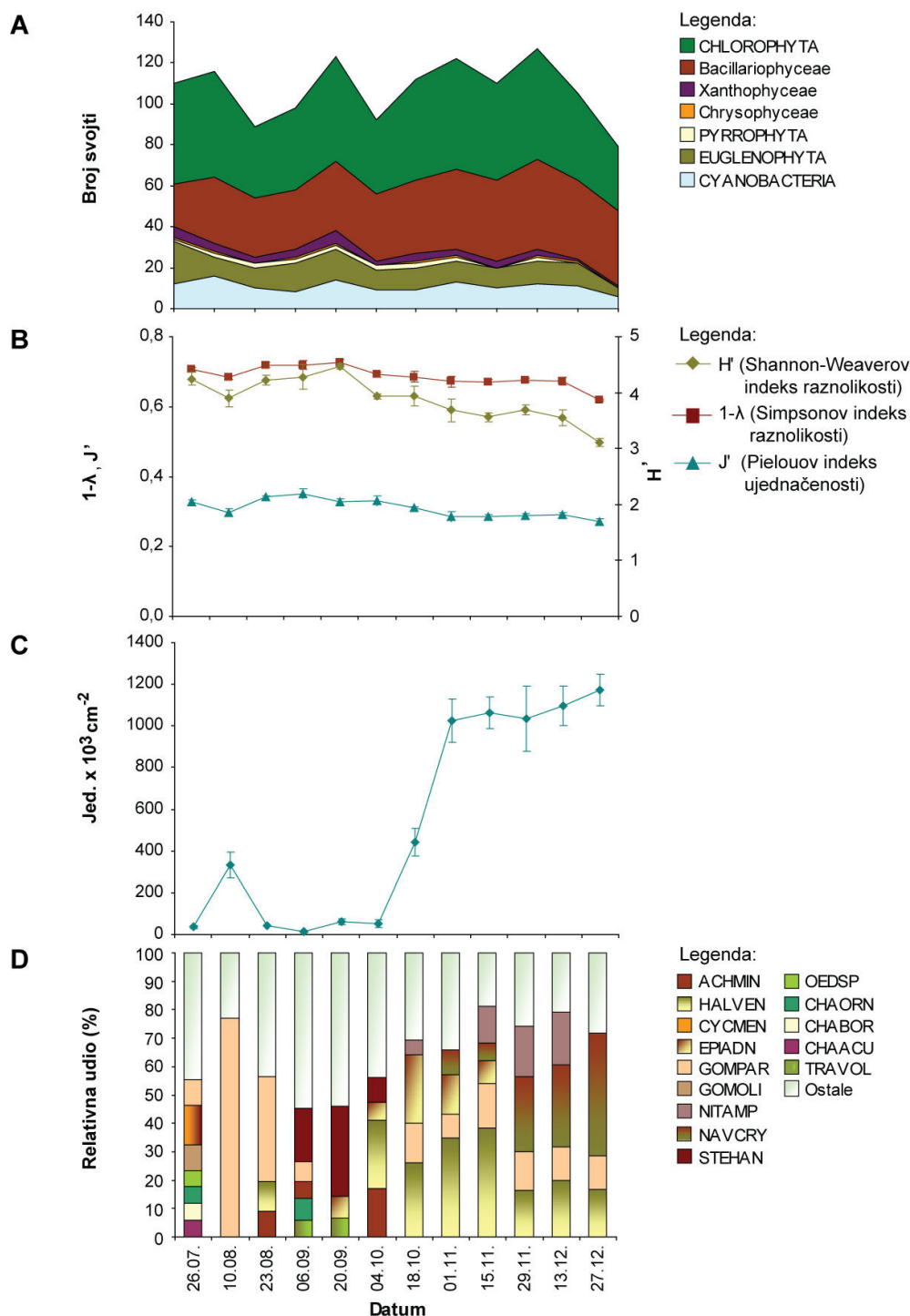
Slika 29. Relativni udio broja svojti alga pojedinih sistematskih kategorija tijekom proljetno-zimske i ljetno-zimske eksperimentalne serije 2010. godine u Sakadaškom jezeru.

Broj svojti alga u uzorku mijenjao se u proljetno-zimskoj seriji između 73 i 133 svojte, a u ljetno-zimskoj seriji između 79 i 127 svojti (Sl. 30A i 31A). Stalno prisutnih tijekom proljetno-zimske serije bilo je 17 svojti, u ljetno-zimskoj seriji 34 svojte. U obje serije, najveći broj stalnih svojti pripadao je razredu Bacillariophyceae (12 svojti u proljetno-zimskoj, a 20 u ljetno-zimskoj seriji), a potom skupini Chlorophyta (5 svojti u proljetno-zimskoj, a 9 u ljetno-zimskoj seriji). U ljetno-zimskoj seriji stalne su bile i dvije vrste iz skupina Cyanobacteria i Euglenophyta te jedna vrsta iz razreda Xanthophyceae.

Ukupno 39 svojti utvrđeno je samo jednom u proljetno-zimskoj, a 36 u ljetno-zimskoj seriji te ih možemo okarakterizirati kao slučajne svojte u obraštaju.



Slika 30. Promjene ukupnog broja svojti alga (A), indeksa raznolikosti (B), ukupnog broja jedinki (C) i relativnog udjela dominantnih vrsta alga (D) u obraštaju tijekom proljetno zimske eksperimentalne serije u razdoblju od 20. travnja do 27. prosinca 2010. godine u Sakadaškom jezeru. Kodovi vrsta nalaze se u Tab. 20.



Slika 31. Promjene ukupnog broja svojti (A), indeksa raznolikosti (B), ukupnog broja jedinki (C) i relativnog udjela dominantnih svojti alga (D) u obraštaju tijekom ljetno-zimske eksperimentalne serije u razdoblju od 26. srpnja do 27. prosinca 2010. godine u Sakadaškom jezeru. Kodovi svojti nalaze se u Tab. 20.

Promjene indeksa raznolikosti i ujednačenosti zajednica bile su vrlo slične u obje eksperimentalne serije (Sl. 30B i 31B). Tako su vrijednosti Shannon-Weaverovog indeksa raznolikosti u proljetno-zimskoj seriji varirale od $3,13 \pm 0,18$ do $4,55 \pm 0,28$, a u ljetno-zimskoj od $3,10 \pm 0,07$ do $4,46 \pm 0,05$. U proljetno-zimskoj seriji vrijednosti Simpsonovog indeksa bile su u granicama od $0,64 \pm 0,01$ do $0,74 \pm 0,01$, a ujednačenosti od $0,27 \pm 0,02$ do $0,36 \pm 0,002$, dok su u ljetno-zimskoj seriji vrijednosti Simpsonovog indeksa bile u granicama od $0,62 \pm 0,002$ do $0,73 \pm 0,01$, a ujednačenosti od $0,27 \pm 0,01$ do $0,35 \pm 0,01$.

U obje eksperimentalne serije utvrđene su statistički značajne korelacije između indeksa raznolikosti i Pielouovog indeksa ujednačenosti te između broja jedinki po jedinici površine i indeksa raznolikosti, a također i između broja jedinki po jedinici površine i indeksa ujednačenosti (Tab. 16 i 17).

Tablica 16. Statistički značajni koeficijenti korelacije Shannon-Weaverovog indeksa raznolikosti (H'), Simpsonovog indeksa raznolikosti ($1-\lambda$), Pielouovog indeksa ujednačenosti (J'), broja svojti i broja jedinki po jedinici površine za obraštajne zajednice u proljetno-zimskoj seriji u razdoblju od 20. travnja do 27. prosinca 2010. godine u Sakadaškom jezeru.

	H'	$1-\lambda$	J'	Broj svojti	Broj jedinki cm^{-2}
H'		0,9739 p=0,000	0,8176 p=0,000		-0,7507 p=0,000
$1-\lambda$	0,9739 p=0,000		0,8444 p=0,000		-0,7563 p=0,000
J'	0,8176 p=0,000	0,8444 p=0,000			-0,7572 p=0,000
Broj svojti					
Broj jedinki cm^{-2}	-0,7507 p=0,000	-0,7563 p=0,000	-0,7572 p=0,000		

Tablica 17. Statistički značajni koeficijenti korelacije Shannon-Weaverovog indeksa ranolikosti (H'), Simpsonovog indeksa raznolikosti ($1-\lambda$), Pielouovog indeksa ujednačenosti (J'), broja svojti i broja jedinki po jedinici površine za obraštajne zajednice u ljetno-zimskoj seriji u razdoblju od 26. srpnja do 27. prosinca 2010. godine u Sakadaškom jezeru.

	H'	$1-\lambda$	J'	Broj svojti	Broj jedinki cm^{-2}
H'		0,9769 p=0,000	0,8985 p=0,000		-0,8955 p=0,000
$1-\lambda$	0,9769 p=0,000		0,8910 p=0,000		-0,8364 p=0,001
J'	0,8985 p=0,000	0,8910 p=0,000			-0,9350 p=0,000
Broj svojti					
Broj jedinki cm^{-2}	-0,8955 p=0,000	-0,8364 p=0,001	-0,9350 p=0,000		

Obraštajne zajednice istog vremena ekspozicije razvijene tijekom proljetno-zimske odnosno ljetno-zimske eksperimentalne serije, uglavnom su se međusobno razlikovale s obzirom na istraživane parametre (Tab. 18). Međutim, veća je sličnost utvrđena između zajednica u istim sezonskim uvjetima koje su se uglavnom razlikovale prema broju jedinki po jedinici površine. Koeficijenti florne sličnosti (Tab. 19) bili su vrlo visoki (54,95 – 83,98%), a posebno velika sličnost utvrđena je između obraštajnih zajednica 15. studenog.

Tablica 18. Rezultati t-testa za razlike između obraštajnih zajednica u proljetno-zimskoj i ljetno-zimskoj eksperimentalnoj seriji s obzirom na Shannon-Weaverov indeks raznolikosti (H'), Simpsonov indeks raznolikosti ($1-\lambda$), Pielouov indeks ujednačenosti (J'), broj svojiti i broj jedinki po jedinici površine. Statistički značajne razlike ($p < 0,05$) označene su zvjezdicama (*).

Datum uzorkovanja		Dan razvoja obraštaja		H'	$1-\lambda$	J'	Broj svojiti	Broj jedinki cm^{-2}
proljetno-zimska serija	ljetno-zimska serija	proljetno-zimska serija	ljetno-zimska serija					
20.04.	26.07.	15.	15.					*
05.05.	10.08.	30.	30.					
17.05.	23.08.	42.	43.		*	*	*	*
31.05.	06.09.	56.	56.	*	*	*	*	*
14.06.	20.09.	70.	70.	*	*	*	*	*
28.06.	04.10.	84.	84.	*	*	*	*	*
12.07.	18.10.	98.	98.			*	*	
26.07.	01.11.	112.	112.	*	*	*	*	*
09.08.	15.11.	126.	126.	*		*	*	*
23.08.	29.11.	140.	140.	*	*	*	*	*
06.09.	13.12.	154.	154.	*	*	*		*
20.09.	27.12.	168.	168.	*	*	*	*	*
26.07.	26.07.	112.	15.		*	*	*	*
09.08.	10.08.	126.	30.					
23.08.	23.08.	140.	43.					
06.09.	06.09.	154.	56.					
20.09.	20.09.	168.	70.			*		
04.10.	04.10.	182.	84.	*	*		*	
18.10.	18.10.	196.	98.					*
01.11.	01.11.	210.	112.					*
15.11.	15.11.	224.	126.					
29.11.	29.11.	238.	140.					
13.12.	13.12.	252.	154.					*
27.12.	27.12.	266.	168.					*

Tablica 19. Koefficienti florne sličnosti (%) prema Sørensenu (1948) s obzirom na taksonomski sastav alga u obraštajnim zajednicama u proljetno-zimskoj (p) i ljetno-zimskoj seriji (lj) tijekom istraživanog razdoblja od travnja do prosinca 2010. godine u Sakadaškom jezeru.

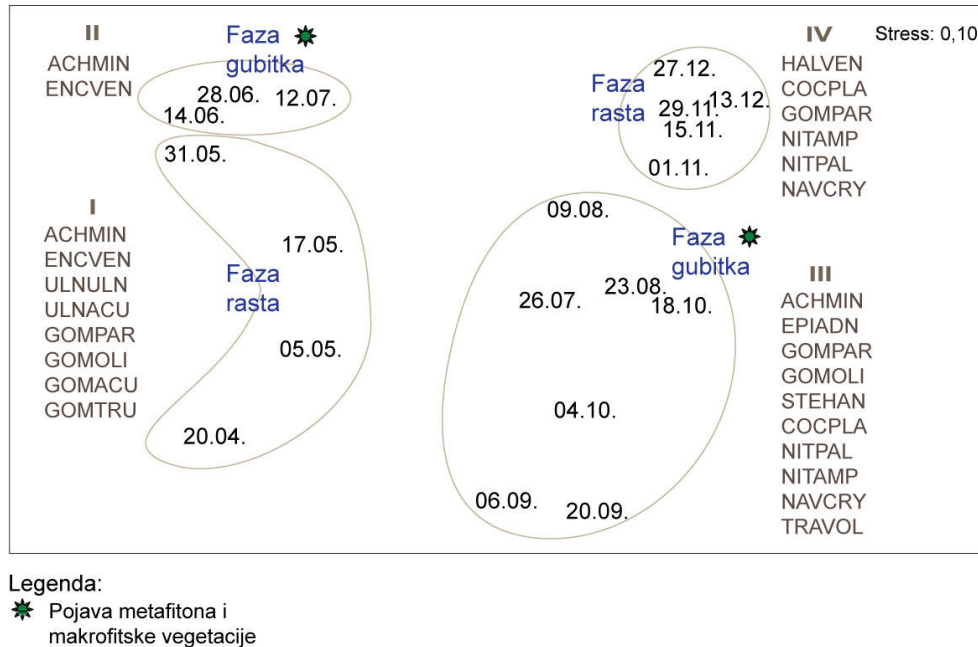
Datum uzorkovanja	26.07.lj	10.08.lj	23.08.lj	06.09.lj	20.09.lj	04.10.lj	18.10.lj	01.11.lj	15.11.lj	29.11.lj	13.12.lj	27.12.lj
26.07.p	67,92	66,06	63,54	66,34	72,00	60,82	63,26	64,29	64,49	57,64	59,22	54,95
09.08.p		85,47	72,12	66,97	70,54	69,52	71,00	71,67	70,43	66,12	66,67	60,61
23.08.p			75,41	74,61	75,00	75,68	71,84	71,63	75,12	67,27	70,05	70,52
06.09.p				73,27	72,00	65,98	67,91	69,64	69,16	68,12	68,93	61,54
20.09.p					82,49	68,14	71,26	71,09	71,54	70,50	66,39	59,81
04.10.p						76,56	74,78	71,97	73,36	69,67	68,78	61,93
18.10.p							75,74	79,51	77,78	73,09	69,91	67,33
01.11.p								81,97	78,63	74,70	74,34	69,31
15.11.p									83,98	75,61	72,65	70,35
29.11.p										76,23	76,92	72,08
13.12.p											78,30	75,53
27.12.p												79,78

Ukupan broj jedinki u obraštaju (Sl. 30C i 31C) kontinuirano se povećavao tijekom proljetno-zimske serije od travnja ($76,06 \times 10^3 \pm 4,75$ jed.cm⁻²) do kraja svibnja ($1209,85 \times 10^3 \pm 209,66$ jed.cm⁻²), a zatim se sve do kraja srpnja postupno smanjivao. Nakon manjeg povećanja početkom kolovoza, broj jedinki je sve do početka listopada bio vrlo mali i varirao je od $7,96 \times 10^3 \pm 1,80$ jed.cm⁻² do $66,60 \times 10^3 \pm 4,62$ jed.cm⁻². U ljetno-zimskoj seriji, od srpnja do sredine kolovoza utvrđeno je povećanje ukupnog broja jedinki alga u obraštaju ($36,10 \times 10^3 \pm 5,72$ do $330,53 \times 10^3 \pm 62,27$ jed.cm⁻²), a zatim se kao i u proljetno-zimskoj seriji broj značajno smanjio i bio je u granicama od $13,44 \times 10^3 \pm 3,05$ do $63,23 \times 10^3 \pm 15,04$ jed.cm⁻². Značajno povećanje ukupnog broja jedinki utvrđeno je sredinom listopada u obje serije (proljetno-zimska: $121,58 \times 10^3 \pm 45,72$ jed.cm⁻², ljetno-zimska: $442,01 \times 10^3 \pm 67,87$ jed.cm⁻²), a najveći broj jedinki utvrđen je zadnjeg dana istraživanja u prosincu (proljetno-zimska serija: $1869,68 \times 10^3 \pm 150,30$ jed.cm⁻², ljetno-zimska serija: $1174,05 \times 10^3 \pm 75,60$ jed.cm⁻²).

Dominantnim vrstama s obzirom na broj jedinki mogu se smatrati vrste koje su u jednom uzorku činile više od 5% ukupnog broja jedinki u obraštaju. U proljetno-zimskoj seriji utvrđeno je ukupno 18 dominantnih vrsta, a u ljetno-zimskoj seriji 14 (Sl. 30D i 31D). U proljetno-zimskoj seriji sve dominantne vrste pripadale su razredu Bacillariophyceae, dok su u ljetno-zimskoj seriji uz 9 vrsta iz razreda Bacillariophyceae dominantne bile i dvije svojte iz skupine Chlorophyta, dvije vrste iz razreda Xantophyceae te jedna vrsta iz skupine Euglenophyta.

Prema NMDS analizi na osnovu broja jedinki po jedinici površine tijekom proljetno-zimske eksperimentalne serije utvrđeno je grupiranje podataka u četiri grupe (Sl. 32). Prva grupa obuhvaća kasno proljetno razdoblje (travanj - svibanj), druga ljetno razdoblje od lipnja do sredine srpnja, treća grupa razdoblje od kraja srpnja do sredine listopada, a četvrta kasno jesensko (studeni) i zimsko razdoblje (prosinao). Dijatomeje *Encyonema ventricosum*, *Ulnaria ulna*, *Ulnaria acus* te četiri vrste iz roda *Gomphonema* (*Gomphonema acuminatum*, *G. olivaceum*, *G. parvulum*, *G. truncatum*) činile su 20. travnja ukupno 44,09% ukupnog broja jedinki. Početkom svibnja u obraštaju su dominirale *G. acuminatum*, *G. olivaceum*, *G. parvulum* i *Achnantheidium minutissimum*, dok je sredinom svibnja uz *A. minutissimum* i *G. parvulum* dominantna bila i *Nitzschia frustulum*. Od kraja svibnja do sredine srpnja *A. minutissimum* je činio više od 70% ukupnog broja jedinki. Krajem srpnja došlo je do značajnog smanjenja ukupnog broja jedinki u obraštaju što je potrajalo sve do početka

listopada. U tom su razdoblju utvrđene značajne promjene u zajednici. Tako su *G. parvulum*, *A. minutissimum* i *Epithemia adnata* bile dominantne krajem srpnja, a početkom kolovoza utvrđen je i veći broj jedinki vrste *Halamphora veneta*.

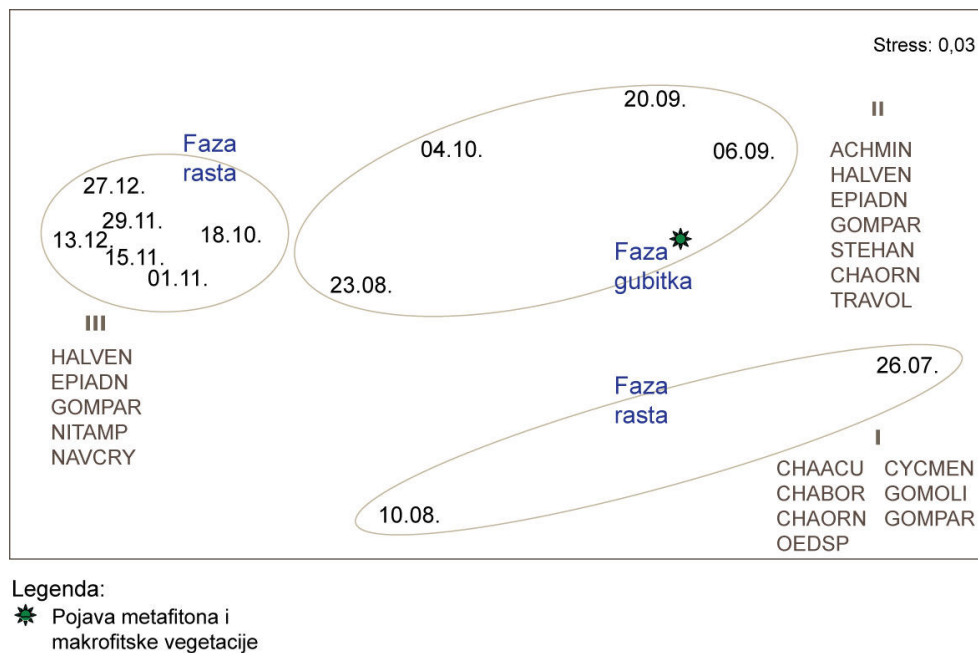


Slika 32. Shematski prikaz na temelju NMDS analize broja jedinki alga u obraštaju tijekom proljetno-zimske eksperimentalne serije u Sakadaškom jezeru u razdoblju od 20. travnja do 27. prosinca 2010. godine. Kodovi vrsta nalaze se u Tab. 20.

Iste vrste ostale su dominantne i krajem kolovoza, dok je početkom rujna uz *A. minutissimum* i *G. parvulum* dominantan bio *Stephondiscus hantzschii*. Krajem rujna *S. hantzschii* je činio ukupno 26,24%, a početkom listopada 25,16% ukupnog broja jedinki. U ovom je razdoblju utvrđen i veći broj jedinki vrste *Trachelomonas volovocina*, jedine dominantne vrste iz skupine Euglenophyta. Također, krajem rujna u obraštaju je dominantna bila dijatomeja *Cyclotella meneghiniana* (8,12% ukupnog broja jedinki), a početkom listopada *A. minutissimum* (13,16% ukupnog broja jedinki). Sredinom listopada ukupan broj jedinki ponovno se počeo povećavati, a Bacillariophyceae su činile najveći broj ukupnog broja jedinki (od 83,63% do 99,55% ukupnog broja jedinki). Do kraja istraživanja u obraštaju su dominantne bile *G. parvulum*, *Nitzschia amphibia* te *Navicula cryptocephala* koja nije činila više od 5% ukupnog broja jedinki samo sredinom studenog. Uz navedene vrste, zajednice su

sredinom listopada upotpunjavale *E. adnata*, *Cocconeis placentula*, *Nitzschia palea* i *S. hantzschii*, a početkom studenog samo *C. placentula* i *N. palea* (Sl. 30D).

Prema NMDS analizi na osnovu broja jedinki po jedinici površine tijekom ljetno-zimske eksperimentalne serije utvrđeno je grupiranje podataka u tri grupe (Sl. 33). Prva grupa obuhvaća ljetno razdoblje (26. srpanj i 10. kolovoz), dok su u drugoj grupi izdvojeni kasno ljetno (23. kolovoz) i rano jesensko razdoblje (od 06. rujna do 04. listopada). Treća grupa obuhvaća kasno jesensko (18. listopad do 29. studeni) i zimsko razdoblje (prosinac).

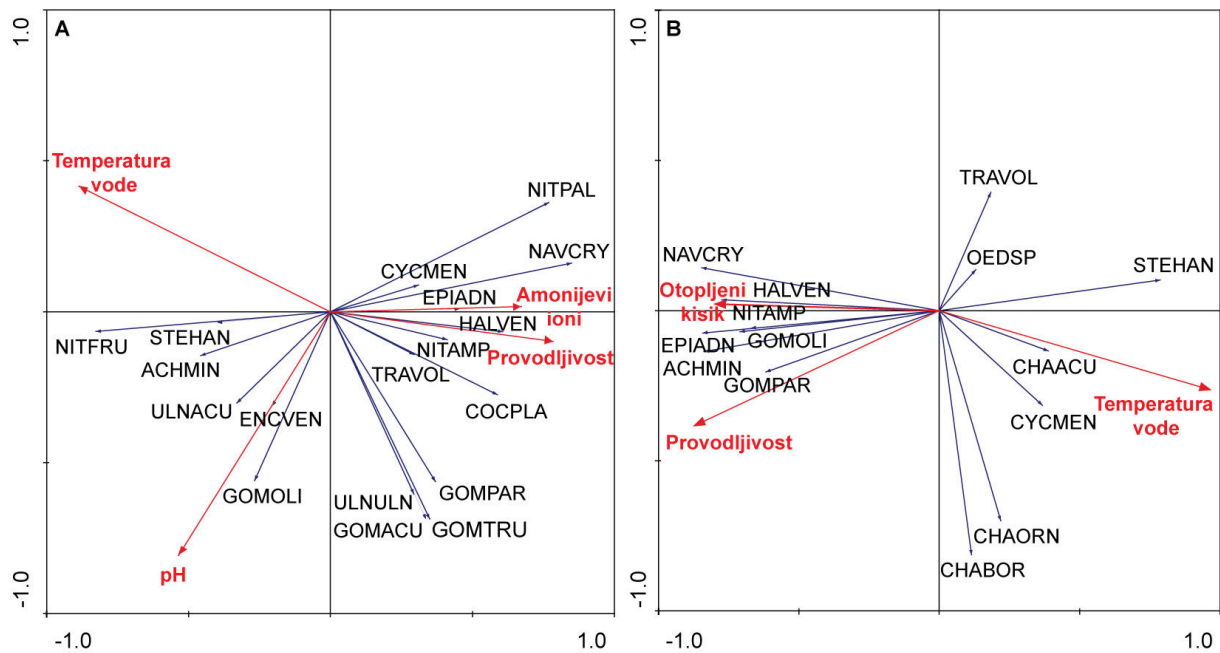


Slika 33. Shematski prikaz na temelju NMDS analize broja jedinki alga u obraštaju tijekom ljetno-zimske eksperimentalne serije u razdoblju od 26. srpnja do 27. prosinca 2010. godine. Kodovi vrsta nalaze se u Tab. 20.

Krajem srpnja, s obzirom na ukupan broj jedinki, svojte iz razreda Bacillariophyceae (40,20% ukupnog broja jedinki) i skupine Chlorophyta (31,12% ukupnog broja jedinki) bile su gotovo podjednako dobro zastupljene. Tako su dominantne bile dijatomeje *Cyclotella meneghiniana*, *G. olivaceum* i *G. parvulum*, zelene alge *Characium ornitocephalum* i *Oedogonium* sp. te dvije vrste iz razreda Xanthophyceae (*Characiopsis acuta*, *Characiopsis borziana*). Već sredinom kolovoza dijatomeje su činile 90,84% ukupnog broja jedinki, a *G. parvulum* činila je čak 76,89% ukupnog broja jedinki. Kako je krajem kolovoza došlo do značajnog smanjenja ukupnog broja jedinki alga u obraštaju, a vrlo mali broj jedinki se zadržao sve do početka listopada, utvrđene su i značajne promjene dominantnih vrsta u obraštaju. Tako su krajem

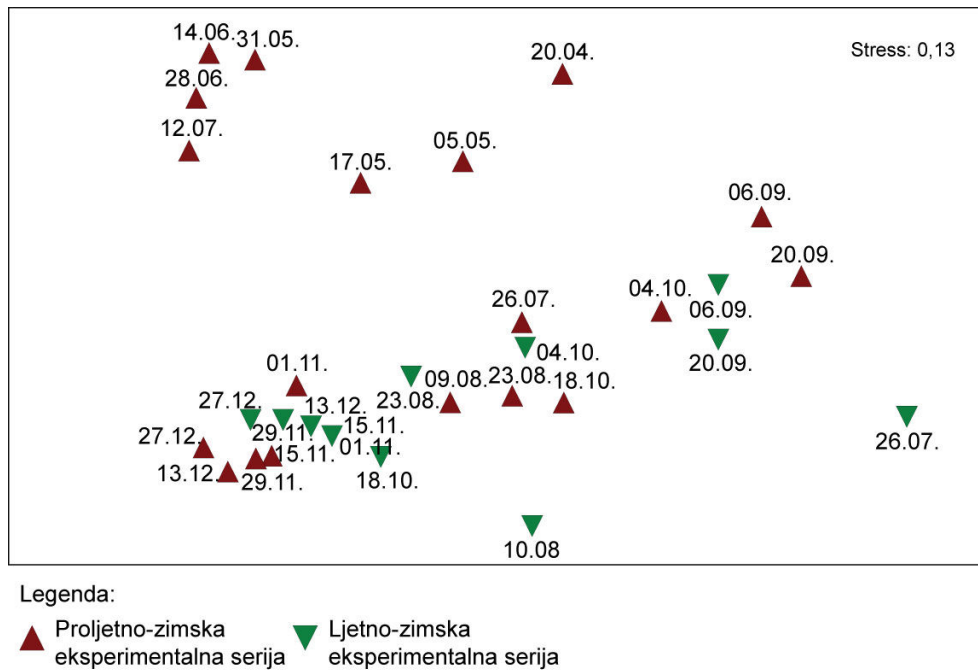
kolovoza dominantne bile *A. minutissimum*, *H. veneta* i *G. parvulum*, a početkom rujna uz *A. minutissimum* i *G. parvulum*, zajednicu su upotpunjavale *S. hantzschii*, *C. ornitocephalum* te *Trachelomonas volvocina*. Krajem rujna broj jedinki *S. hantzschii* značajno se povećao te je činio 31,99% ukupnog broja jedinki. U isto vrijeme u zajednici su dominantne bile *E. adnata* (7,38% ukupnog broja jedinki) i *T. volvocina* (6,77% ukupnog broja jedinki). Početkom listopada četiri vrste dijatomeja (*A. minutissimum*, *H. veneta*, *E. adnata*, *S. hantzschii*) činile su ukupno 56,24% ukupnog broja jedinki. Kao i u proljetno-zimskoj seriji, sredinom listopada ukupan broj jedinki ponovno se počeo povećavati, a Bacillariophyceae su činile 93,63% do 99,33% ukupnog broja jedinki. Do kraja istraživanja u zajednici su dominantne vrste bile *H. veneta* i *G. parvulum*. U prvoj polovini studenog zajednicu je upotpunjavala *E. adnata*, a do kraja istraživanja i *N. cryptocephala*. Sredinom studenog utvrđen je veći broj jedinki *Nitzschia amphibia* koja se kao dominantna vrsta u obraštaju zadržala sve do sredine prosinca (Sl. 31D).

RDA analiza za proljetno-zimsku eksperimentalnu seriju (Sl. 34A) pokazala je da je zbroj svih vlastitih vrijednosti iznosio 0,470. Svojevne vrijednosti prve (0,315) i druge osi (0,111) činile su 42,6% kumulativne varijance vrsta. Korelacije vrste-okoliš bile su visoke i iznosile su 0,844 za prvu, a 0,776 za drugu os. Prva os najbolje je definirana temperaturom vode (-0,7477), provodljivosti vode (0,6619) te koncentracijom amonijevih iona (0,5673), dok je pH vode (-0,6260) najbolje definirala drugu os. Na temelju RDA najznačajniji čimbenik za razvoj dijatomeja *H. veneta*, *N. amphibia* i *C. placentula* te vrste iz skupine Euglenophyta, *T. volvocina* bila je provodljivost, dok je koncentracija amonijevih iona bila posebno važna za razvoj vrsta *E. adnata* i *N. cryptocephala*. RDA analiza za ljetno-zimsku eksperimentalnu (Sl. 34B) seriju pokazala je da je zbroj svih vlastitih vrijednosti iznosio 0,531. Svojevne vrijednosti prve (0,363) i druge osi (0,111) činile su 47,3% kumulativne varijance vrsta. Korelacije vrste-okoliš bile su visoke i iznosile su 0,899 za prvu te 0,862 za drugu os. Temperatura vode najbolje je definirala prvu (0,8654), a provodljivost drugu os (-0,3300). Prema RDA analizi temperatura vode bila je najznačajniji čimbenik za razvoj *C. menghiniana* i *C. acuta*. Koncentracija otopljenog kisika u vodi utjecala je na razvoj većine dominantnih dijatomeja, dok je provodljivost utjecala na razvoj vrste *G. parvulum*.



Slika 34. Ordinacijski dijagram redundancijske analize na temelju vodostaja Dunava, fizikalno-kemijskih čimbenika u Sakadaškom jezeru i broja jedinki alga tijekom proljetno-zimske (A) i ljetno-zimske eksperimentalne serije (B). Na grafu su prikazani samo statistički značajni fizikalno-kemijski čimbenici i dominantne svojte alga. Kodovi vrsta nalaze se u Tab. 20.

NMDS ordinacijski dijagram pokazao je preklapanje proljetno-zimske i ljetno-zimske serije (Sl. 35). Analizom sličnosti (ANOSIM) na temelju broja jedinki po jedinici površine nije utvrđena statistički značajna razlika između proljetno-zimske i ljetno-zimske eksperimentalne serije ($R = 0,035$; $p > 0,05$).



Slika 35. NMDS ordinacijski dijagram analize broja jedinki alga tijekom proljetno-zimske i ljetno-zimske eksperimentalne serije 2010. godine u Sakadaškom jezeru.

Dominantne vrste tijekom ljetno-zimske eksperimentalne serije

CHAACU
CHABOR
CHAORN
OEDSP
CYCMEN
GOMOLI
GOMPAR

ACHMIN
HALVEN
CHAORN
EPIADN
GOMPAR
STEHAN
TRAVOL

HALVEN
EPIADN
GOMPAR
NAVCRY
NITAMP

Faza razvoja obraštaja



Dominantne vrste tijekom proljetno-zimske eksperimentalne serije

ENCVEN
ULNULN
ULNACU
GOMTRU
GOMOLI
GOMPAR
NITFRU

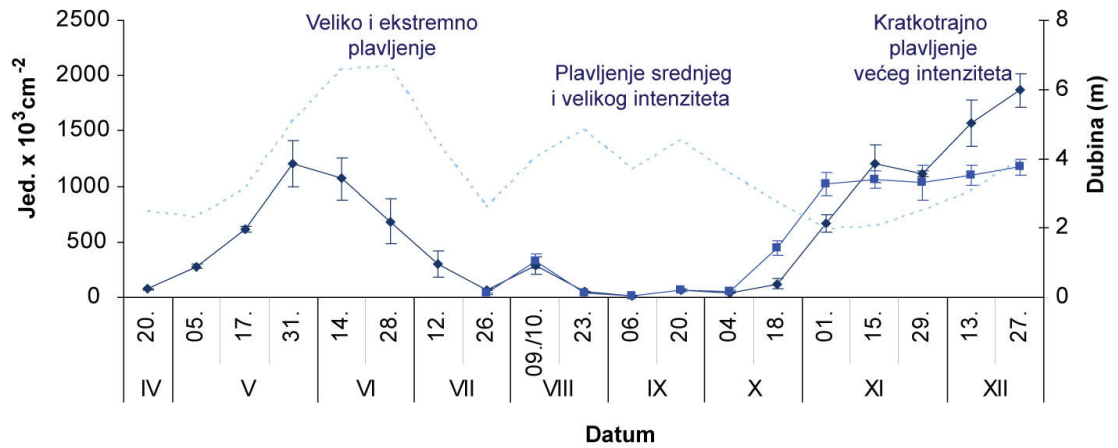
ACHMIN
ENCVEN

ACHMIN
HALVEN
EPIADN
GOMOLI
GOMPAR

ACHMIN
CYCMEN
COCPLA
TRAVOL
STEHAN

EPIADN
COCPLA
NITPAL
STEHAN
HALVEN
GOMPAR
NAVCRY
NITAMP

✱ Pojava metafita i makrofitske vegetacije ✱



Legenda:

- ◆ Proljetno-zimska eksperimentalna serija
- Ljetno-zimska eksperimentalna serija
- Vodostaj Dunava (m)

Slika 36. Shematski prikaz sukcesije alga na umjetnim podlogama tijekom proljetno-zimske i ljetno-zimske eksperimentalne serije 2010. godine u Sakadaškom jezeru. Kodovi svojiti nalaze se u Tab. 20.

Tablica 20. Popis svojiti alga u obraštaju na umjetnim podlogama tijekom proljetno-zimske i ljetno-zimske eksperimentalne serije 2010. godine u Sakadaškom jezeru.

Vrsta	Kod	Proljetno-zimska serija	Ljetno-zimska serija
Cyanobacteria			
<i>Anabaena</i> sp.	ANASP	*	
<i>Aphanocapsa delicatissima</i> W. et G. S. West	APHDEL	*	*
<i>Chroococcus minutus</i> (Kützing) Nägeli	CHRMIN	*	*
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli	CHRTUR	*	*
<i>Chroococcus</i> sp.	CHRSP	*	
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Wol.) Seenayya & Subba Raju	CYLRAC	*	
<i>Dolichospermum affine</i> (Lemm.) P. Wachllin, L. Hoffman & J. Komárek	DOLAFF	*	*
<i>Gloeotrichia echinulata</i> (Smith) P. Richter	GLOECH	*	*
<i>Gomphosphaeria aponina</i> Kützing	GOMAPO	*	*
<i>Gomphosphaeria fusca</i> Skuja	GOMFUS	*	
<i>Gomphosphaeria</i> sp.	GOMSP	*	*
<i>Heteroleibleinia kuetzingii</i> (Schmidle) Compère	HETKUE	*	*
<i>Limnococcus limneticus</i> (Lemm.) Komárková, Jezberová, O. Komárek & Zapomlová	LIMLIM		*
<i>Limnothrix redekei</i> (van Goor) M. E. Meffert	LIMRED	*	
<i>Lyngbya martensiana</i> Meneghini ex Gomont	LYNMAR	*	*
<i>Merismopedia elegans</i> A. Braun ex Kützing	MERELE	*	*
<i>Merismopedia glauca</i> (Ehrenberg) Kützing	MERGLA	*	*
<i>Merismopedia punctata</i> Meyen	MERPUN	*	*
<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann	MERTEN	*	*
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	MICAER	*	*
<i>Microcystis viridis</i> (A. Braun) Lemmermann	MICVIR	*	
<i>Microcystis wesenbergii</i> (Komárek) Komárek	MICWES	*	
<i>Nostoc caeruleum</i> Lyngbye ex Bornet & Flahaut	NOSCAE	*	*
<i>Nostoc punctiforme</i> (Kützing) Hariot	NOSPUN	*	*
<i>Oscillatoria limosa</i> C. Agardh ex Gomont	OSCLIM	*	*
<i>Phormidium formosum</i> (Bory de Saint-Vincent ex Gomont) Anagnostidis & Komárek	PHOFOR	*	*
<i>Phormidesmis molle</i> (Gomont)Turicchia, Ventura, Komárková & Komárek	PHOMOL	*	
<i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek	PLAAGA	*	
<i>Pseudanabaena limnetica</i> (Lemmermann) Komárek	PSELIM	*	*
<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	PSEMUC	*	*
<i>Pseudanabaena minuta</i> Skuja	PSEMIN	*	
<i>Romeria</i> sp.	ROMSP	*	
<i>Scytonema</i> sp.	SCYSP		*
<i>Snowella lacustris</i> (Chodat) Komárek & Hindak	SNOLAC	*	*
<i>Synechococcus linearis</i> (Schmidle& Lauterborn) Komárek	SYNLIN		*
<i>Stigonema</i> sp.	STISP		*
<i>Tolypothrix distorta</i> Kützing ex Bornet & Flahaut	TOLDIS	*	*
Euglenophyta			
<i>Colacium cyclopicola</i> (Gicklh.) Bourr.	COLCYC	*	*
<i>Colacium</i> sp.	COLSP	*	*
<i>Colacium vesiculosum</i> Ehrenberg	COLVES	*	*

Vrsta	Kod	Proletno- zimski serija	Ljetno- zimski serija
<i>Cryptoglena skujae</i> Marin & Melkonian	CRYSKU	*	*
<i>Euglena limnophila</i> Lemmermann	EUGLIM		*
<i>Euglena pisciformis</i> Klebs	EUGPIS	*	
<i>Euglena proxima</i> P. A. Dangeard	EUGPRO	*	
<i>Euglena texta</i> (Dujardin)Hüber	EUGTEX	*	*
<i>Euglena variabilis</i> G. A. Klebs	EUGVAR	*	
<i>Euglena velata</i> G. A. Klebs	EUGVEL		*
<i>Euglena viridis</i> (O. F. Müller) Ehrenberg	EUGVIR	*	*
<i>Lepocinclis acus</i> (O. F. Müller) Marin & Melkonian	LEPACU	*	*
<i>Lepocinclis fusiformis</i> (H. J. Carter) Lemmermann	LEPFUS	*	*
<i>Lepocinclis globulus</i> Perty	LEPGLO	*	*
<i>Lepocinclis marssonii</i> Lemmermann	LEPMAR		*
<i>Lepocinclis oxyuris</i> (Schmarda) Marin & Melkonian	LEPOXY	*	*
<i>Lepocinclis spirogyroides</i> Marin & Melkonian	LEPSPI	*	
<i>Lepocinclis steinii</i> Lemmermann	LEPSTE	*	*
<i>Monomorphina pyrum</i> (Ehrenberg) Mereschkowski	MONPYR	*	*
<i>Phacus acuminatus</i> Stokes	PHAACU	*	*
<i>Phacus brevicaudatus</i> (Klebs) Lemmermann	PHABRE		*
<i>Phacus caudatus</i> Hübner	PHACAU	*	*
<i>Phacus circulatus</i> Pochmann	PHACIR	*	*
<i>Phacus curvicauda</i> Svirenko	PHACUR	*	*
<i>Phacus elegans</i> Pochmann	PHAELE	*	
<i>Phacus helicoides</i> Pochmann	PHAHEL	*	
<i>Phacus longicauda</i> (Ehrenberg) Dujardin	PHALON	*	*
<i>Phacus longicauda</i> var. <i>rotunda</i> (Pochmann) Huber-Pestalozzi	PHALONR	*	
<i>Phacus monilatus</i> var. <i>suecicus</i> Lemmermann	PHAMONS	*	*
<i>Phacus pleuronectes</i> (O.F.Müller) Nitzsch ex Dujardin	PHAPLE	*	*
<i>Phacus skujae</i> Skvortzov	PHASKU	*	*
<i>Phacus</i> sp.	PHASP	*	
<i>Phacus tortus</i> (Lemmermann) Skvortzov	PHATOR	*	
<i>Strombomonas fluviatilis</i> (Lemmermann) Deflandre	STRFLU	*	*
<i>Strombomonas verrucosa</i> (E. Daday) Deflandre	STRVER	*	*
<i>Trachelomonas hispida</i> (Perty) F. Stein	TRAHIS	*	*
<i>Trachelomonas oblonga</i> Lemmermann	TRAOBL	*	*
<i>Trachelomonas planctonica</i> Svirenko	TRAPLA	*	
<i>Trachelomonas volvocina</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	TRAVOL	*	*
<i>Trachelomonas</i> sp.	TRASP	*	
Pyrrophyta			
<i>Ceratium hirundinella</i> (O. F. Müller) Dujardin	CERHIR	*	
<i>Glenodinium dinobryonis</i> (Woloszyńska) Schiller	GLEDYN	*	*
<i>Glenodinium edax</i> A. J. Schilling	GLEEDA	*	*
<i>Peridinium aciculiferum</i> Lemmermann	PERACI	*	*
<i>Peridinium bipes</i> F. Stein	PERBIP	*	*
<i>Peridinium cinctum</i> (O.F.Müller) Ehrenberg	PERCIN	*	
<i>Peridinium umbonatum</i> F. Stein	PERUMB	*	
<i>Peridinium</i> sp.	PERSP	*	

Vrsta	Kod	Proletno- zimski serija	Ljetno- zimski serija
Chrysophyta			
Chrysophyceae			
<i>Bitrichia longispina</i> (J.W.G. Lund) Bourrelly	BITLON	*	*
<i>Chrysococcus rufescens</i> Klebs	CHRRUF	*	*
<i>Dinobryon divergens</i> O. E. Imhof	DINDIV	*	*
<i>Kephyrion rubri-claustri</i> Conrad	KEPRUB	*	
<i>Stylopyxis mucicola</i> Balachonzeff	STYMUC		*
<i>Synura uvella</i> Ehrenberg	SYNUVE	*	*
Xanthophyceae			
<i>Centrtractus belenophorus</i> Lemmermann	CENBEL	*	*
<i>Characiopsis acuta</i> (A. Braun) Borzi	CHAACU	*	*
<i>Characiopsis borziana</i> Lemmermann	CHABOR	*	*
<i>Characiopsis</i> sp.	CHASP	*	*
<i>Characiopsis tuba</i> (Hermann) Lemmermann	CHATUB		*
<i>Ophiocytium capitatum</i> Wolle	OPHCAP	*	*
<i>Ophiocytium capitatum</i> var. <i>longispina</i> Lemmermann	OPHCAPL	*	*
<i>Ophiocytium parvulum</i> Perty (A. Braun)	OPHPAR	*	*
<i>Tetraëdriella limbata</i> Paschher	TETLIM		*
<i>Tetraëdriella regularis</i> (Kützing) Fott	TETREG		*
<i>Tetraëdriella</i> sp.	TETSP	*	*
Bacillariophyceae			
<i>Achnanthes exigua</i> Grunow	ACHEXI	*	
<i>Achnanthidium minutissimum</i> (Kützing) Czamecki	ACHMIN	*	*
<i>Actinocyclus normanii</i> (Gregory) Hustedt	ACTNOR	*	
<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing	AMPOVA	*	*
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	ASTFOR	*	
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	AULGRA	*	*
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (O. F. Müller) Simonsen	AULGRAA	*	*
<i>Brebissonia lanceolata</i> (C. Agardh) Mahoney & Reimer	BRELAN	*	*
<i>Caloneis</i> sp.	CALSP	*	
<i>Caloneis ventricosa</i> (Ehrenberg) F. Meister	CALVEN	*	
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg	COCPED	*	*
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	COCPLA	*	*
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	CYCMEN	*	*
<i>Cymatopleura solea</i> (Brébisson) W. Smith	CYMSOL	*	*
<i>Cymbella affinis</i> Kützing	CYMAFF	*	
<i>Cymbella aspera</i> (Ehrenberg) Cleve	CYMASP	*	*
<i>Cymbella cistula</i> (Hemprich & Ehrenberg) O. Kirchner	CYMCIS	*	*
<i>Cymbella tumida</i> (Brébisson) van Heurck	CYMTUM	*	*
<i>Diatoma tenuis</i> C. Agardh	DIATEN	*	*
<i>Diatoma vulgaris</i> Bory de Saint-Vincent	DIAVUL	*	*
<i>Encyonema ventricosum</i> (C. Agardh) Grunow	ENCVEN	*	*
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	EPIADN	*	*
<i>Epithemia sorex</i> Kützing	EPISOR	*	*

Vrsta	Kod	Proletno- zimski serija	Ljetno- zimski serija
<i>Epithemia turgida</i> (Ehrenberg) Kützing	EPITUR	*	*
<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehrenberg) Schaarschmidt	EUNBIL	*	*
<i>Fragilaria capucina</i> Desmasières	FRACAP	*	*
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	FRACRO	*	
<i>Fragilaria dilatata</i> (Brébisson) Lange-Bertalot	FRADIL	*	
<i>Fragilariforma virescens</i> (Ralfs) D.M. Williams & Round	FRAVIR	*	
<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg	GOMACU	*	*
<i>Gomphonema augur</i> Ehrenberg	GOMAU	*	*
<i>Gomphonema clavatum</i> Ehrenberg	GOMCLA	*	*
<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Brébisson	GOMOLI	*	*
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing	GOMPAR	*	*
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg	GOMTRU	*	*
<i>Gyrosigma attenuatum</i> (Kützing) Rabenhorst	GYRATT	*	*
<i>Halamphora veneta</i> (Kützing) Levkov	HALVEN	*	*
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow	HANAMP	*	*
<i>Hippodonta capitata</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski	HIPCAP	*	*
<i>Melosira varians</i> C. Agardh	MELVAR	*	*
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	NAVCRY	*	*
<i>Navicula lanceolata</i> (Aghardh) Ehrenberg	NAVLAN	*	
<i>Navicula mutica</i> Kützing	NAVMUT	*	*
<i>Navicula radiosa</i> Kützing	NAVRAD	*	*
<i>Navicula rhynchocephala</i> Kütz.	NAVRHY	*	
<i>Navicula viridula</i> var. <i>avenacea</i> (Brébisson) van Heurck	NAVVIRA	*	*
<i>Neidium affine</i> (Ehrenberg) Pfizer	NEIAFF		*
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) Smith	NITACI	*	*
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow	NITAMP	*	*
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Grunow	NITDIS	*	
<i>Nitzschia frustulum</i> (Kützing) Grunow	NITFRU	*	*
<i>Nitzschia holsatica</i> Hustedt	NITHOL	*	*
<i>Nitzschia obtusa</i> W. Smith	NITOBT	*	
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith	NITPAL	*	*
<i>Nitzschia recta</i> Hantzsch ex Rabenhorst	NITREC	*	*
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W. Smith	NITSIG	*	
<i>Placoneis elginensis</i> (Gregory) E. J. Cox	PLAELG	*	*
<i>Placoneis gastrum</i> (Ehrenberg) Mereschkovsky	PLAGAS	*	
<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot	PLALAN	*	*
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C. Agardh) Lange-Bertalot	RHOABB	*	*
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) Otto Müller	RHOGIB	*	*
<i>Sellaphora pupula</i> (Kützing) Mereschkovsky	SELPUP	*	*
<i>Stauroneis smithii</i> Grunow	STASMI	*	
<i>Staurosira construens</i> Ehrenberg	STACON	*	*
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow	STEHAN	*	*
<i>Stephanodiscus rotula</i> (Kützing) Hendey	STEROT	*	
<i>Surirella angusta</i> Kützing	SURANG	*	
<i>Surirella linearis</i> W. Smith	SURLIN		*
<i>Surirella minuta</i> Brébisson	SURMIN	*	*
<i>Ulnaria acus</i> (Kützing) M. Aboal	ULNACU	*	*
<i>Ulnaria capitata</i> (Ehrenberg) P. Compère	ULNCAP	*	*
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) P. Compère	ULNULN	*	*

Vrsta	Kod	Proletno- zimski serija	Ljetno- zimski serija
Chlorophyta			
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim	ACTHAN	*	*
<i>Acutodesmus acuminatus</i> (Lagerheim) Tsarenko	ACUACU	*	*
<i>Acutodesmus obliquus</i> (Turpin) Hegewald & Hanagata	ACUOBL	*	*
<i>Ankistrodesmus densus</i> Korshikov	ANKDEN	*	*
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs	ANKFAL	*	*
<i>Ankistrodesmus fusiformis</i> Corda ex Korshikov	ANKFUS	*	*
<i>Ankistrodesmus gracilis</i> (Reinsch) Korshikov	ANKGRA	*	
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	ANKSP	*	
<i>Aphanochaete repens</i> A. Braun	APHREP	*	*
<i>Apiocystis brauniana</i> Nägeli	APIBRA		*
<i>Asterococcus superbus</i> (Cienkowski) Scherffel	ASTSUP	*	*
<i>Bulbochaete</i> sp.	BULSP		*
<i>Characiochloris sessilis</i> Pascher	CHASES		*
<i>Characium acuminatum</i> Braun	CHAACUM		*
<i>Characium naegeli</i> A. Braun	CHANA		*
<i>Characium ornitocephalum</i> A. Braun	CHAORN	*	*
<i>Characium rostratum</i> Reinhard ex Printz	CHAROS	*	*
<i>Chaetophora pisiformis</i> (Roth) C. Agardh	CHAPIS	*	*
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i> P. A. Dangeard	CHLREI	*	*
<i>Chlamydomonas</i> sp.	CHLSP	*	
<i>Chlorella</i> sp.	CHLOSP	*	
<i>Cladophora globulina</i> (Kützing) Kützing	CLAGLO	*	
<i>Cladophora glomerata</i> (Linnaeus) Kützing	CLAGLOM	*	*
<i>Closterium acutum</i> Brébisson	CLOACU		*
<i>Closterium gracile</i> Brébisson ex Ralfs	CLOGRA	*	*
<i>Closterium kuetzingii</i> Brébisson	CLOKUE		*
<i>Closterium limneticum</i> Lemmermann	CLOLIM	*	*
<i>Closterium venus</i> Kützing ex Ralfs	CLOVEN	*	
<i>Closteriopsis acicularis</i> (Chodat) J. H. Belcher & Swale	CLOACI	*	*
<i>Coccomyxa dispar</i> Schmidle	COCDIS		*
<i>Coelastrum astroideum</i> De Notaris	COEAST	*	*
<i>Coelastrum microporum</i> Nägeli	COEMIC	*	*
<i>Coelastrum pseudomicroporum</i> Korshikov	COEPSE	*	*
<i>Coleochaete divergens</i> Pringsheim	COLDIV		*
<i>Coleochaete scutata</i> Brébisson	COLSCU	*	*
<i>Coleochaete soluta</i> Pringsheim	COLSOL	*	*
<i>Cosmarium botrytis</i> Meneghini ex Ralfs	COSBOT	*	*
<i>Cosmarium granatum</i> Brébisson ex Ralfs	COSGRA	*	*
<i>Cosmarium impressulum</i> Elfving	COSIMP	*	*
<i>Cosmarium laeve</i> Rabenhorst	COSLAE	*	*
<i>Cosmarium meneghinii</i> Brébisson ex Ralfs	COSMEN	*	*
<i>Cosmarium</i> sp.	COSSP	*	
<i>Crucigenia rectxangularis</i> (Nägeli) Komárek	CRUREC	*	*
<i>Crucigenia tetrapedia</i> (Kirchner) Kuntze	CRUTET	*	*
<i>Desmodesmus abundans</i> (Kirchner) E. Hegewald	DESABU	*	*
<i>Desmodesmus brasiliensis</i> (Bohlin) E. Hegewald	DESBRA	*	*
<i>Desmodesmus denticulatus</i> (Lagerheim) S. S. An, T. Friedl & E. Hegewald	DESDEN	*	*

Vrsta	Kod	Proljetno- zimski serija	Ljetno- zimski serija
<i>Desmodesmus dispar</i> (Brébisson) E. H. Hegewald	DESDIS	*	
<i>Desmodesmus intermedius</i> (Chodat) E. H. Hegewald	DESINT	*	*
<i>Desmodesmus maximus</i> (West & G. S. West) E. H. Hegewald	DESMAX	*	*
<i>Desmodesmus opoliensis</i> (P.G.Richter) E.H.Hegewald	DESOPO	*	*
<i>Desmodesmus pannonicus</i> (T. Hortobágyi) E. Hegewald	DESPAN		*
<i>Desmodesmus spinosus</i> (Chodat) E.Hegewald	DESSPI	*	*
<i>Diplochlois lunata</i> (Fott) Fott	DIPLUN	*	*
<i>Dictyococcus varians</i> Gerneck	DICVAR	*	*
<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i> Nägeli	DYCEHR	*	*
<i>Enallax acutiformis</i> (B.Schröder) F. Hindák	ENAAACU	*	
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	EUDELE	*	*
<i>Glochiococcus aciculiferus</i> (Lagerheim) P.C.Silva	GLOACU	*	
<i>Gloeocystis</i> sp.	GLOSP	*	*
<i>Gonium pectorale</i> O. F. Müller	GONPEC	*	
<i>Golenkinia radiata</i> Chodat	GOLRAD	*	*
<i>Haplotaenium minutum</i> (Ralfs) T. Bando	HAPMIN	*	
<i>Hormotila mucigena</i> Borzi	HORMUC	*	
<i>Hydrianum brevipes</i> Korshikov	HYDBRE		*
<i>Keratococcus bicaudatus</i> (A.Braun ex Rabenhorst) J.B.Petersen	KERBIC	*	
<i>Kirchneriella irregularis</i> (G. M. Smith) Korshikov	KIRIRR	*	*
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) K. Möbius	KIRLUN	*	
<i>Kirchneriella obesa</i> (West) West & G. S. West	KIROBE	*	
<i>Koliella longiseta</i> (Vischer) Hindák	KOLLON	*	*
<i>Koliella spiculiformis</i> (Vischer) Hindák	KOLSPI	*	
<i>Lagerheimia citrififormis</i> (Snow) Collins	LAGCIT	*	
<i>Lagerheimia genevensis</i> (Chodat) Chodat	LAGGEN	*	*
<i>Lagerheimia longiseta</i> (Lemmermann) Printz	LAGLON		*
<i>Lagerheimia subsala</i> Lemmermann	LAGSUB	*	*
<i>Lagerheimia wratislaviensis</i> Schröder	LAGWRA	*	
<i>Micractinium pusillum</i> Fresenius	MICPUS	*	*
<i>Microthamnion kuetzingianum</i> Nägeli ex Kützing	MICKUE	*	*
<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korshikov) Hindák	MONARC	*	*
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	MONCON	*	*
<i>Monoraphidium convolutum</i> (Corda) Komárková-Legnerová	MONCONV	*	
<i>Monoraphidium griffithii</i> (Berkeley) Komárková-Legnerová	MONGRI	*	*
<i>Monoraphidium irregulare</i> (G.M.Smith) Komárková-Legnerová	MONIRR	*	*
<i>Monoraphidium minutum</i> (Nägeli) Komárková-Legnerová	MONMIN	*	*
<i>Mougeotia</i> sp.	MOUSP	*	*
<i>Mucidosphaerium pulchellum</i> (H.C. Wood) C. Bock, Proschold & Krienitz	MUCPUL	*	*
<i>Nephrochlamys subsolitaria</i> (G.S.West) Korshikov	NEPSUB	*	*
<i>Nephrochlamys willeana</i> (Printz) Korshikov	NEPWIL	*	*
<i>Nephrocytium lunatum</i> West	NEPLUN	*	*
<i>Oedogonium</i> sp.	OEDSP	*	*
<i>Oocystis borgei</i> J. Snow	OOCBOR		*
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	OOCCLAC	*	*
<i>Oocystis marssonii</i> Lemmermann	OOCMAR	*	*
<i>Oocystis parva</i> West & G. S. West	OOCPAL	*	*
<i>Pandorina morum</i> (O. F. Müller) Bory de saint- Vincent	PANMOR	*	*
<i>Palmodictyon viride</i> Kützing	PALVIR	*	

Vrsta	Kod	Proljetno- zimski serija	Ljetno- zimski serija
<i>Pediastrum boryanum</i> (Turph) Meneghini	PEDBOR	*	*
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	PEDDUP	*	*
<i>Pediastrum simplex</i> Meyen	PEDSIM	*	*
<i>Phacotus lenticularis</i> (Ehrenberg) Stein	PHALEN	*	*
<i>Planctonema lauterbornii</i> Schmidle	PLALAU	*	*
<i>Planktosphaeria gelatinosa</i> G. M. Smith	PLAGEL	*	
<i>Protoderma viride</i> Kützing	PROVIR		*
<i>Pseudocharacium obtusum</i> (A. Braun) Petry-Hesse	PSEOBT	*	*
<i>Pseudendoclonium basiliense</i> Vischer	PSEBAS	*	*
<i>Pseudokirchneriella contorta</i> (Schmidle) F. Hindák	PSECON	*	*
<i>Scenedesmus bicaudatus</i> Dedusenko	SCEBIC	*	*
<i>Scenedesmus dimorphus</i> (Turp.) Kütz.	SCEDIM		*
<i>Scenedesmus ecornis</i> (Ehrenberg) Chodat	SCEECO	*	*
<i>Scenedesmus ellipticus</i> Corda	SCEELL	*	*
<i>Scenedesmus longispinum</i> Chodat	SCELON	*	*
<i>Scenedesmus obliquus</i> (Turp.) Kütz.	SCEOBL	*	*
<i>Scenedesmus obtusus</i> Meyen	SCEOBT	*	*
<i>Scenedesmus verrucosus</i> Y. V. Roll	SCEVER	*	*
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébisson	SCEQUA	*	*
<i>Scenedesmus</i> sp.	SCESP	*	
<i>Schroederia setigera</i> (Schröder) Lemmermann	SCHSET	*	
<i>Sphaerello cystis ampla</i> (Kützing) Nováková	SPHAMP	*	*
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat	SPHSCH	*	*
<i>Spyrogira</i> sp.	SPYSP		*
<i>Staurastrum dejectus</i> (Brébisson) Teiling	STADEJ		*
<i>Staurastrum furcigerum</i> (Brébisson ex Ralfs) W. Archer	STAFUR		*
<i>Staurastrum gracile</i> Ralfs ex Ralfs	STAGRA	*	*
<i>Staurastrum inflexum</i> Brébisson	STAINF	*	
<i>Staurastrum paradoxum</i> Meyen ex Ralfs	STAPAR	*	
<i>Staurastrum polymorphum</i> Brébisson	STAPOL	*	*
<i>Staurastrum tetracerum</i> Ralfs ex Ralfs	STATET	*	*
<i>Stauridium tetras</i> (Ehrenberg) E. Hegewald	STATETR	*	*
<i>Stigeoclonium tenue</i> (C. Agardh) Kützing	STITEN	*	*
<i>Tetraëdron caudatum</i> (Corda) Hansgirg	TETCAU	*	*
<i>Tetraëdron constrictum</i> G. M. Smith	TETCON	*	
<i>Tetraëdron incus</i> (Teiling) G. M. Smith	TETINC	*	*
<i>Tetraëdron minimum</i> (A. Braun) Hansgirg	TETMIN	*	*
<i>Tetraëdron regulare</i> Kützing	TETREG	*	*
<i>Tetraëdron trigonum</i> (Nägeli) Hansgirg	TETTRI	*	*
<i>Tetraëdron trilobatum</i> (Reinsch) Hansgirg	TETTRIL	*	*
<i>Tetrastrum elegans</i> Playfair	TETELE	*	
<i>Tetrastrum glabrum</i> (Y. V. Roll) Ahlstrom & Tiffany	TETGLA	*	*
<i>Tetrastrum staurogeniaeforme</i> (Schröder) Lemmermann	TETSTA	*	*
<i>Treubaria triappendiculata</i> C. Bernard	TRETRI	*	*
<i>Ulothrix aequalis</i> Kützing	ULOAEG		*
<i>Ulothrix gigas</i> (Vischer) K. R. Mattox & H. C. Bold	ULOGIG	*	
<i>Ulothrix tenerrima</i> (Kützing) Kützing	ULOTEN	*	*
<i>Ulothrix tenuissima</i> Kützing	ULOTENE	*	*
<i>Ulothrix zonata</i> (Weber & Mohr) Kützing	ULOZON	*	*
<i>Ulothrix</i> sp.	ULOSP	*	*

5. RASPRAVA

Okolišni uvjeti

Tijekom eksperimenta u kojem je praćeno naseljavanje i razvoj alga na umjetnim podlogama u istraživanom jezeru značajno su se mijenjali okolišni uvjeti ovisno o intezitetu i duljini trajanja poplava. Kratkotrajne poplave malog intenziteta bile su u proljeće, kasnu jesen te početkom zime, dok su dugotrajne poplave velikog intenziteta obilježile ljetno i rano jesensko razdoblje (Sl. 11). Ulaskom poplavnih voda povećavala se dubina vode jezera te smanjivala prozirnost (Sl. 12, 13 i 25). Miješanje vode, unos suspendiranih čestica i hranjivih tvari te intenzivnija razgradnja organske tvari, pridonijeli su značajnom povećanju provodljivosti vode nakon poplava. Poznato je da poplave mogu značajno utjecati na koncentracije hranjivih tvari u poplavnim područjima (Hein i sur., 2004). Tako su se tijekom plavljenja jezera koncentracije nitrata povećavale, a koncentracije ukupnog fosfora smanjivale kao što je utvrđeno u prethodnim istraživanjima (Mihaljević i sur. 2009,2010; Peršić i sur., 2009). Kako je plavljenjem došlo do ispiranja i akumulacije hranjivih i organskih tvari s okolnog poplavnog područja obraslog vegetacijom, nakon poplava povećavala se koncentracija hranjivih tvari (Sl. 25). Općenito su poplavna područja prepoznata kao „zone skladištenja i prometa organske tvari” (Keckeis i sur., 2003; Pithart i sur., 2007). Na intenzivne procese razgradnje akumulirane organske tvari nakon poplava ukazuju utvrđene visoke koncentracije amonijaka i manje koncentracije otopljenog kisika (Balaban i Constantinescu, 2007; McCarthy i sur., 2008). Sveukupno, unatoč značajnim oscilacijama, koncentracije hranjivih tvari u vodi jezera bile su cijelo vrijeme istraživanja u granicama eutrofnih do hipertrofnih voda (prema kriterijima OECD, 1982).

Promjene fizikalno-kemijskih svojstava vode značajno su utjecale na razvoj alga u obraštajnim zajednicama što potvrđuju rezultati RDA analize (Sl. 23). Tako su nitrati i koncentracija amonijevih iona bili vrlo važni čimbenici za razvoj alga u obraštaju u proljeće, dok su nitriti, otopljeni kisk i pH vode bili značajni za ljetni razvoj alga u obraštajnim zajednicama. Osim toga, vrlo važan čimbenik za razvoj alga u obraštaju bila je i provodljivost vode (Sl. 34).

Pored promjena fizikalno-kemijskih svojstava vode, poplave su utjecale i na dinamiku razvoja raznih biotičkih zajednica jezera. Poznato je da plavljenje Sakadaškog jezera može značajno utjecati na smanjenje količine fitoplanktona, a ekstremno visoke i dugotrajne poplave mogu

čak dovesti do promjene ekološkog stanja jezera iz stanja mutne vode u stanje čiste vode (Mihaljević i sur., 2010; Mihaljević i Stević, 2011). Tako je tijekom velikih i dugotrajnih poplava u istraživanom razdoblju utvrđeno značajno smanjenje koncentracije klorofila-a u vodi (Sl. 25) što upućuje na smanjenje količine fitoplanktona.

Dugotrajne i velike poplave u kasno proljeće i ljeto potakle su razvoj metafita te širenje makrofitske vegetacije (Sl. 36). Poznato je da se metafitske zajednice kojima osnovu čine nitaste zelene alge obrasle drugim algama, počinju razvijati na različitim tipovima podloga ili na dnu jezera u uvjetima jačeg intenziteta svjetlosti i dostupnih većih koncentracija hranjivih tvari (Zohary i sur., 1998; Makarewicz i sur., 2007). Uslijed utjecaja različitih turbulencija, metafiton se odvaja od podloga i slobodno pluta zahvaljujući visokim koncentracijama kisika kojeg alge razvijaju (Sigeo, 2005). Na površini vode Sakadaškog jezera uočena je pojava metafita od lipnja do listopada, a njegova se pokrovnost mijenjala periodički. Dominantne vrste u metafitonu bile su nitaste zelene alge *Cladophora glomerata*, *Mougeotia* sp., *Oedogonium* sp., a naseljavale su ih različite vrste dijatomeja (*Aulacoseira*, *Halamphora*, *Cocconeis*, *Cymbella*, *Ulnaria*, *Epithemia*, *Melosira*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Rophalodia*, *Stephanodiscus*) i cijanobakterija (*Gomphosphaeria*, *Lyngbia*) dok su se između njih zadržavale različite manje zelene alge (*Ankistrodesmus*, *Eudorina*, *Monoraphidium*, *Pediastrum*, *Scenedesmus*, *Tetraëdron*). Kako je metafiton osjetljiv na različite okolišne čimbenike, duže izlaganje visokim temperaturama, UV zračenju ili intenzivnoj ispaši može dovesti do njegova odumiranja (Zohary i sur., 1998; Goldsbrough i Robinson, 1996; Berry i Lembi, 2000). Tako je metafiton kratkotrajno nestao u srpnju te se ponovno razvio i širio jezerom sve do listopada.

Zbog velikih i dugotrajnih poplava od kasnog proljeća sve do sredine listopada cijela inundacijska dolina bila je pod vodom, a Sakadaško jezero je izgubilo svoje uobičajene jezerske karakteristike i postalo najdublji dio jednog velikog plitkog vodenog biotopa s bujno razvijenom makrofitskom vegetacijom. Posebno dobro bile su razvijene vrste *Ceratophyllum demersum* L., *Salvinia natans* (L.) All., *Hydrocharis morsus ranae* L. i *Lemna* sp.

Dinamika razvoja obraštaja

Rezultati istraživanja u obje eksperimentalne serije pokazali su da je razvoj obraštaja vrlo dinamičan proces tijekom kojeg se izmjenjuju faze rasta i gubitka. Faze rasta općenito su

karakterizirane naseljavanjem i razmnožavanjem alga te postupnim povećanjem biomase obraštaja (Biggs, 1996a). Tako su povećanja vrijednosti Shannon-Weaverovog i Simpsonovog indeksa raznolikosti na početku obje eksperimentalne serije ukazala na brzo naseljavanje umjetnih podloga. Povećanje raznolikosti na početku naseljavanja se može povezati s naseljavanjem novih vrsta (Hillebrand i Sommer, 2000). Kako naseljavanje podloge ovisi o broju i sastavu alga u stupcu vode, u eutrofnim sustavima su podloge izložnije potencijalnim kolonizatorima nego u oligotrofnim sustavima (Ács i Buczko, 1994). Velika raznolikost i veliki broj alga u eutrofnom sustavu kao što je Sakadaško jezero (Mihaljević i sur., 2009) vjerojatno je značajno pridonijela brzom naseljavanju umjetnih podloga i razvoju složenih obraštajnih zajednica. Međutim, nakon dva tjedna, indeksi raznolikosti i ujednačenost zajednice nisu se značajno mijenjali, što ukazuje da su procesi razmnožavanja naseljenih vrsta u kasnijoj fazi rasta obraštaja imali najveći utjecaj na povećanje broja jedinki u obraštajnim zajednicama. Također su Szabó i suradnici (2008) utvrdili da alge vrlo brzo naseljavanju umjetne podloge u Dunavu te da nakon tjedan dana naseljavanja razmnožavanje naseljenih vrsta najviše utječe na povećanje ukupnog broja jedinki.

Uvjeti u okolišu utjecali su na brzinu razvoja obraštaja te na duljinu trajanja faza rasta. Faza rasta u proljeće trajala je duže (od travnja do kraja svibnja - ukupno 56 dana; u ljeto- od srpnja do sredine kolovoza - ukupno 33 dana), ali se obraštaj razvijao sporije. Na sporiji razvoj ukazuju kasnije postignute vršne vrijednosti ukupne biomase obraštaja (42. dan u proljeće, 33. dan u ljeto), koncentracije klorofila (Chl-a: 56. dan u proljeće, 15. dan u ljeto; Chl.-c: 56. dan u proljeće, 27. dan u ljeto) i ukupnog broja jedinki (56. dan u proljeće, 27. dan u ljeto). Brži rast obraštaja u ljeto vjerojatno je bio potaknut velikim i intenzivnim poplavama, eutrofnim uvjetima te sezonskim uvjetima u kojim viša temperatura vode pogoduje razvoju raznolikijih i brojnijih zajednica alga. Prema tome, intenzivna razgradnja organske tvari, zadržavanje velikog broja bakterija u vodi nakon plavljenja (Palijan, 2010) i njihovo nakupljanje na umjetnim podlogama, raznolikost i brojnost jedinki fitoplanktona (Stević, neobjavljeni podaci) omogućili su brži razvoj obraštaja tijekom ljeta. Općenito se smatra da se obraštaj u klimatski umjerenim područjima razvija brže tijekom ljeta kada su temperature vode više, a intenzitet svjetlosti jači (Liboriussen, 2005).

Tijekom faze rasta obraštajne zajednice značajno su se razlikovale s obzirom na taksonomski sastav i broj jedinki alga na što ukazuju i rezultati NMDS analize (Sl. 24 i 35) te relativno

niske vrijednosti koeficijenta florne sličnosti (Tab. 10). U zajednicama su u proljeće dominirale dijatomeje kojima pogoduju niske temperature vode. Međutim, tijekom ljetno-zimske eksperimentalne serije uz dijatomeje su u obraštaju dominirale i zelene alge. Više temperature vode jezera te zadržavanje jedinki i raspolodnih stanica (propagula) zelenih alga u stupcu vode (*Oedogonium* sp., *C. glomerata*) pogodovale su njihovom brzom naseljavanju i dominaciji u obraštaju. U mnogim su istraživanjima sezonskih sukcesija alga u obraštaju klimatski umjerenog područja utvrđene sukcesije u smislu dominacije dijatomeja u proljeće i zelenih alga u ljeto (Rosemond i sur., 2000; Vermaat, 2005; Komulaynen, 2007).

Tijekom razvoja obraštaja, nakon postizanja vršnih vrijednosti ukupne biomase razvoj jedinki u donjim slojevima obraštaja limitiran je dostupnom količinom svjetlosti i hranjivih tvari te započinje njihovo odumiranje i spontano odljepljivanje (Hoagland i sur., 1982). Međutim, gubitak obraštaja mogu uzrokovati i različite disturbancije (Lowe, 1996). Općenito, fazu gubitka obraštaja obilježava smanjenje biomase obraštaja i odumiranje alga (Biggs, 1996). Poplave, kao i širenje metafitona i makrofitske vegetacije dovele su do smanjenja ukupne biomase i broja jedinki alga (Sl. 28, 30C i 31C) te su obraštajne zajednice u obje eksperimentalne serije ušle u fazu gubitka. Oporavak, odnosno nova faza rasta, započela je u obje eksperimentalne serije nakon prestanka disturbancija u listopadu, a sve su promjene obraštajnih zajednica detaljno opisane u sljedećim poglavljima.

Proces naseljavanja alga

Kako bi se istražili složeni procesi koji se odvijaju tijekom rane faze razvoja obraštaja, naseljavanje alga na umjetne podloge praćeno je u kratkim vremenskim intervalima (svaka tri dana) u dvije eksperimentalne serije – u proljeće i ljeto. S obzirom na sezonske uvjete (porast temperature vode u ljeto, razvoj metafitona i makrofitske vegetacije) i fizikalno-kemijska svojstva vode koja su se mijenjala ovisno o dinamici plavljenja, okolišni uvjeti u Sakadaškom jezeru tijekom naseljavanja alga u proljeće i ljeto bili su vrlo različiti. To pokazuju rezultati NMDS analize prema kojoj je vidljivo jasno odvajanje proljetnog i ljetnog razdoblja (Sl. 14). Početna faza razvoja obraštaja koja obuhvaća nakupljanje organskih tvari na površini podloga, a zatim prihvaćanje bakterija i alga (Hoagland i sur., 1982), odvijala se vrlo brzo u obje eksperimentalne serije te je obraštaj utvrđen već nakon 24 sata ekspozicije umjetnih podloga. Dotok dunavske vode obogaćene organskim tvarima kao i razvoj većeg broja

bakterija nakon poplava (Palijan, 2010) vjerojatno su bili važni čimbenici koji su pridonijeli njegovu brzom formiranju. Stvaranjem polisaharidnog matriksa, bakterije omogućuju zadržavanje organske i anorganske tvari, ali i različitih vrsta alga na podlogama (Morikawa i Shibuya, 2000). Tako je već nakon 24 sata ekspozicije u proljeće utvrđeno ukupno 14 svojti alga, a u ljeto čak 38. Ács i sur. (2000) su također utvrdili vrlo brzo (već nakon 6 sati ekspozicije) naseljavanje alga na umjetne podloge u Dunavu.

Općenito, naseljavanje alga je funkcija imigracije, razmnožavanja, ugibanja, ispaše i emigracije (Ghosh i Gaur, 1998). U početnoj fazi razvoja obraštaja od posebne je važnosti imigracija pa je početak naseljavanja bio potpomognut raznolikošću fitoplanktonskih zajednica jezera (Stević, neobjavljeni podaci). Nakon toga, daljnjem povećanju ukupnog broja alga u obraštaju najviše je pridonosilo razmnožavanje već naseljenih alga (Szábo i sur., 2008), što je vidljivo iz značajnog porasta broja jedinki dominantnih svojti (Sl. 17D i 18D).

Broj svojti alga u obraštaju se povećavao u obje eksperimentalne serije sve do postizanja tzv. stabilne zajednice, tj. zajednice u kojoj se broj naseljenih svojti nije značajno mijenjao. Kako je utvrđeno MacArthur-Wilson-ovim modelom (Tab. 11) stabilna zajednica postignuta je 31. dana naseljavanja u proljeće, a već 18. dana u ljeto. Međutim, pojam „stabilna zajednica“ treba shvatiti uvjetno budući da se sezonske promjene kvalitativnog i kvantitativnog sastava alga i okolišnih uvjeta te promjene nastale zbog različitih disturbancija, kao npr. promjene hidroloških uvjeta i fizikalno-kemijskih svojstava vodenog ekosustava u kojem se zajednica razvija, odražavaju na stabilnost zajednice. Tako je npr. u lotičkim sustavima u uvjetima veće brzine strujanja vode potrebno duže vrijeme za postizanje stabilne zajednice dijatomeja u obraštaju (Plenković-Moraj i sur., 2008). Dobiveni rezultati ukazuju da je sezonski utjecaj bio vrlo značajan te je tijekom ljeta bilo potrebno kraće vrijeme za postizanje stabilne zajednice. Međutim, neka istraživanja su pokazala da se broj vrsta dijatomeja u obraštaju na umjetnim podlogama s vremenom ekspozicije smanjuje te da njihovo naseljavanje ne mora nužno slijediti MacArthur-Wilson-ov model (Stewart i Miller, 1985).

Na smanjenje broja jedinki alga u obraštaju tijekom naseljavanja utjecali su različiti procesi. Smanjenje ukupnog broja jedinki alga uz istovremeno povećanje mase organske tvari (Sl. 15A i 17C) utvrđeno 30. dana naseljavanja u proljetnoj seriji ukazuje na povećanu ispašu i hranidbeni pritisak na zajednicu alga (Liboriussen i sur., 2005). U to je vrijeme na umjetnim

podlogama utvrđen veći broj jedinki trepetljikaša roda *Vorticella* sp. (Vlaičević, neobjavljeni podaci) koji se većinom hrane suspendiranim bakterijama i jednostaničnim algama. Tijekom naseljavanja u ljeto, porast broja jedinki alga prekinut je 30. dana naseljavanja, a od 36. do 43. dana u obraštaju je bio posebno mali broj jedinki (Sl. 18C). U to su vrijeme na postaji bile dobro razvijene zajednice makrofita i metafitona koje su pokretanjem u struji vode uzrokovale mehanička oštećenja obraštaja i otplavlivanje alga, na što ukazuje i značajno smanjenje ukupne biomase obraštaja (Sl. 15B).

Sukcesije zajednica alga tijekom naseljavanja odvijale su se sličnim ritmom u smislu osnovnih karakteristika alga vezanih uz prihvaćanje za podloge te se mogu izdvojiti tri faze: inicijalna, intermedijarna i kasna faza (Sl. 20 i 22). Međutim, njihova duljina trajanja i sastav zajednica značajno su se razlikovali između proljetnog i ljetnog naseljavanja, što potvrđuju rezultati NMDS analize (Sl. 24).

Inicijalna faza je karakterizirana prihvaćanjem raznih planktonskih alga i dijatomeja koje priliježu uz podlogu ili se za nju prihvaćaju vršnim dijelom stanica. U proljetnoj eksperimentalnoj seriji inicijalna faza bila je duža i obuhvatila je prvih 9 dana, a u ljeto samo prva tri dana naseljavanja, što ukazuje na brže naseljavanje. Također je i sastav zajednica već u inicijalnoj fazi bio različit. Samo u prvom danu naseljavanja dominantne su bile cijanobakterije (*Aphanocapsa delicatissima*, *Microcystis aeruginosa*, *Pseudanabaena mucicola*) u proljeće, a u ljeto uz cijanobakterije (*A. delicatissima*) i klorokokalne alge (*Asterococcus superbis*). Kako ove vrste nemaju potrebne strukture koje bi im omogućile prihvaćanje za podlogu, biofilm mora biti dovoljno razvijen kako bi njihovo prihvaćanje bilo omogućeno (Ács i sur., 2007). Sekar i sur. (2004) su također utvrdili veliki broj jedinki cijanobakterija (*Aphanocapsa*, *Chroococcus*, *Merismopedia*) tijekom rane faze razvoja obraštaja.

Već nakon prvog dana u obraštaju su postale dominantne dijatomeje, a njihov se ukupan broj kontinuirano povećavao. Tako je naseljavanje dijatomeja u proljeće započelo dominacijom vrste *Cyclotella meneghiniana* koja se priljubljuje uz podlogu. Ács i sur. (2000) su također utvrdili relativno veliki broj jedinki dijatomeja iz reda *Centrales* na samom početku naseljavanja podloga u Dunavu. Daljnji razvoj obraštaja obilježilo je naseljavanje vrsta *Ulnaria ulna* i *Navicula radiosa* koje se za podlogu prihvaćaju vrlo kratkim stapkama formiranim na vršnom dijelu stanice. Njihove prilično velike stanice omogućuju im brzo

prihvaćanje za podlogu (Stevenson i Peterson, 1989), a također su utvrđene i kao pionirske vrste u Dunavu (Ács i Kiss, 1993b). U ljeto, tijekom inicijalne faze razvoja dominirale su jednostanične dijatomeje, *Achnantheidium minutissimum* i *Gomphonema parvulum* koje su direktno prijanjale uz podlogu. Prema Biggs i suradnicima (1998) ove dijatomeje imaju veliku sposobnost imigracije te su klasificirane kao R-stratezi.

Intermedijarnu fazu karakterizirale su alge koje se sve više izdižu od podloge i stvaraju trodimenzionalnu strukturu. Ova faza bila je kraća u proljeće (12.- 18. dan) dok je u ljeto obuhvatila razdoblje od 6. do 15. dana. U proljeće su dominirale dijatomeje *Encyonema ventricosum* i vrste roda *Gomphonema*. Najprije su se vrste roda *Gomphonema* za podlogu prihvaćale direktno, dok su kasnije tijekom naseljavanja razvijale kraće, a zatim i duže stapke što je poznat način prihvaćanja ovih vrsta (Plenković-Moraj i sur., 2008; Ács i sur., 2007). Također, na početku pojedinačno pričvršćene stanice vrste *E. ventricosum*, kasnije su se povezivale i razvijale u zajedničkim želatinoznim tubama.

Razvoj nitastih zelenih alga, posebno vrsta *C. glomerata* i *Oedogonium* sp. obilježio je intermedijarnu fazu u ljeto. Na brzo naseljavanje *C. glomerata* utjecao je intenzivan razvoj metafitona u kojem je ona bila dominantna vrsta te su se u stupcu vode mogle naći jedinke, ali i rasplodne stanice. Poznato je da se *C. glomerata* pasivnim mehanizmima naseljava na nove podloge (Dodds i Gudder, 1992). Osim toga, okolišni čimbenici, kao što su jači intenzitet svjetlosti, visoka koncentracija hranjivih tvari i pH veći od 7, pogodovali su njenom razvoju (Higgins i sur., 2008). Prema RDA analizi (Sl. 23B) temperatura vode je bila važniji čimbenik za njen razvoj. Iako je poznato da je osjetljiva na temperature više od 23,5 °C (Dodds i Gudder, 1992; Whitton, 1975), temperatura vode nije bila jedini čimbenik koji je utjecao na smanjenje njene brojnosti u ovoj fazi razvoja obraštaja. Budući da se *C. glomerata* najintenzivnije razvija u stabilnim staništima (Biggs i sur., 1998), plavljenje je prepoznato kao disturbancija koja negativno utječe na njen razvoj. Osim toga, zadržavanje makrofitske vegetacije na postaji za istraživanje obraštaja i njeno pokretanje u struji vode, vjerojatno su pridonijeli njenom odljepljivanju od podloge.

Sveukupno, razvojem nitastih alga povećala se površina za male vrste koje se pomoću kraćih stapki prihvaćaju za podlogu te je utvrđen veliki broj jedinki vrste *Characiopsis acuta* (razred Xanthophyceae). Time je obraštajna zajednica dodatno dobila na trodimenzionalnosti. A budući da su dominantni bili C-stratezi (*Cladophora*) i C-S-stratezi (*Oedogonium*), tako formirana zajednica sugerira na tzv. klimaks obraštajnih zajednica (Biggs i sur., 1998).

Kasnu fazu naseljavanja alga (u proljeće 21.- 42.-dan; u ljeto 18.- 33. dan) karakteriziralo je daljnje izdizanje obraštaja. Tako su u proljeće dominirale vertikalno postavljene dijatomeje (*Nitzschia*) te dijatomeje na dugim stapkama (*Gomphonema*). Prema Hoagland i sur. (1982) kompeticija alga za prostor potiče vertikalni rast alga tijekom kasnije faze naseljavanja čime se ujedno i smanjuje kompeticija za hranjivim tvarima i potrebnom količinom svjetlosti (Bahulikar, 2006). Međutim, vertikalni rast obraštaja prekinut je disturbancijama uzrokovanim poplavama.

Tijekom kasne faze u ljeto, dotok dunavskih poplavnih voda i nestabilni uvjeti u jezeru pogodovali su boljem razvoju zelenih alga *Oedogonium* sp. i *Characium ornitocephalum* te vrste *Characiopsis borziana* iz razreda Xanthophyceae. Osim toga, značajno se povećao broj jedinki dijatomeje *Gomphonema parvulum*. Plutajući filamentni zelenih alga mogu smanjiti negativni učinak disturbancija i zaštititi podlogu i obraštaj od potpunog uklanjanja (Peterson i Stevenson, 1992). Međutim, 36. dana, biološki i fizički čimbenici povezani s bujno razvijenom makrofitskom vegetacijom i metafitonom doveli su do smanjenja ukupne biomase obraštaja, koncentracije klorofila i ukupnog broja jedinki alga u obraštaju (Sl. 15, 17C i 18C). Dakle, proces naseljavanja prekinut je i u proljeće i u ljeto disturbancijama zbog kojih je razvoj obraštaja ušao u fazu gubitka.

Obraštajne zajednice u uvjetima disturbancija

Poplave te razvoj bujnih zajednica makrofita i metafitona bile su disturbancija za razvoj obraštaja te je s njihovim razvojem u obje eksperimentalne serije započela faza gubitka (Sl. 36). Poplave mogu uzrokovati pomicanje podloga (Gaiser i sur., 2006), podizanje sedimenta, smanjenje prozirnosti vode te ograničiti dostupnost svjetlosti, što dovodi do smanjenja ukupne biomase obraštaja (Biggs i Close, 1989) i broja jedinki alga u obraštaju (Ács i Kiss, 1993b). Bogato razvijena plutajuća makrofitska vegetacija ometa razvoj vrsta u dubljim slojevima vode kroz zasjenjenje, trošenje hranjivih tvari (Netten i sur., 2010) i onemogućavanje izmjene plinova (Pierobon i sur., 2010). Ispod bogato razvijene plutajuće vegetacije koncentracije kisika su manje (Caraco i Cole, 2002), budući da velike količine troše mikroorganizmi u procesima razgradnje organske tvari (Turner i sur., 2010). Razvoj metafitona i makrofita podržava masovan razvoj heterotrofnih organizama tzv. "grejzera" koji hranu pronalaze u obraštajnim zajednicama (Feminella i Hawkins, 1995; Jones i Sayer, 2003; Meerhoff, 2006). Primjećen je veliki broj riba, različitih vrsta puževa (npr. *Lymnea* sp.), punoglavaca koji se u

ovoj fazi razvoja najčešće prehranjuju različitim vrstama alga, a također su za nitaste zelene alge u metafitonu bili pričvršćeni pripadnici svojti meiofaune (*Rotatoria*, *Oligochaeta*, *Nematoda*, *Insecta* larve; Vidaković, Turković Čakalić, neobjavljeni podaci). Osim jakog hranidbenog pritiska, gubitku obraštaja pridonijelo je i pokretanje metafitona i makrofita u struji vode koje je mehanički oštetilo obraštaj na umjetnim podlogama. Makrofitska vegetacija povećava raznolikost staništa stvarajući dodatne podloge za naseljavanje alga (Peterson i Stevenson, 1992), što je uz navedene pritiske (zasjenjenje, mehaničko oštećenje, jak hranidbeni pritisak) vjerojatno pridonijelo zadržavanju vrlo malog broja jedinki alga u obraštaju na umjetnim podlogama.

Obraštajne zajednice različite starosti postale su vrlo slične po kvalitativnom i kvantitativnom sastavu alga, a dominantne vrste bile su dijatomeje koje se zbog sposobnosti brzog naseljavanja i razmnožavanja, lako i brzo prilagođavaju promjenjenim uvjetima u okolišu (Hoagland i sur., 1982). Posebno su dobro bile zastupljene vrste otporne na disturbancije i otkidanje, *A. minutissimum* i *G. parvulum* (Sl. 30D i 31D). Obje su vrste klasificirane kao R-stratezi, budući da su brzi kolonizatori i imaju veliku sposobnost razmnožavanja (Biggs i sur., 1998). Zahvaljujući ovim karakteristikama ove su vrste činile više od 70% ukupnog broja jedinki u obraštajnim zajednicama. Također su s velikim brojem utvrđene u obraštaju u uvjetima plavljenja i u drugim poplavnim područjima (Weilhoefer i sur., 2008). Budući da se masovno razvija u uvjetima plavljenja, *A. minutissimum* ukazuje na prirodne disturbancije (Stenger-Kovács i sur., 2006).

Utvrđen je i veliki broj jedinki vrste *Epithemia adnata* (Sl. 30D i 31D). Ova vrsta nema posebne strukture za prihvaćanje nego priliježe uz podlogu zbog čega je otporna na uklanjanje uzrokovano djelovanjem različitih čimbenika. Osim toga, ima sposobnost fiksiranja dušika i može opstati u uvjetima kada su joj dostupne male količine hranjivih tvari (Scott, 2006).

Također je u obje eksperimentalne serije u obraštaju dominirao *Stephanodiscus hantzschii*. Uz ovu vrstu u proljetno-zimskoj seriji zajednicu su upotpunjavale *Cyclotella meneghiniana* i *Cocconeis placentula*, a u ljetno-zimskoj seriji, *Halamphora veneta* (Sl. 30D i 31D). Sve ove vrste priliježu uz podlogu, a posebno se čvrsto uz podlogu priljubljuju vrste roda *Cocconeis* i *Halamphora* koje izlučuju veliku količinu polisahardnih tvari (Leadbeater i Callow, 1992). Zbog toga je vrsta *C. placentula* izuzetno otporna na disturbancije i klasificirana je kao R-

strateg (Biggs i sur., 1998). Također su vrste *C. placentula* i *H. veneta* utvrđene na čvrstim podlogama i kao epifiti na filamentima zelenih alga u Dunavu (Buczko, 2006). Tijekom kraćeg razdoblja u rujnu, u obraštajnim zajednicama u obje eksperimentalne serije dominantan je bio i *Trachelomonas volvocina* (Sl. 30D i 31D). Vrste iz skupine *Euglenophyta* se dobro razvijaju u eutrofnim uvjetima u kojima je intenzivna razgradnja organske tvari (Oikonomou i sur., 2012; Solórzano i sur., 2011). Istraživanjima fitoplanktona u Sakadaškom jezeru utvrđeno je da se ova vrsta intenzivnije razvija tijekom jeseni (Mihaljević i sur., 2009). Prema tome, veća zastupljenost vrste *T. volvocina* tijekom faze gubitka u rano jesenkom razdoblju vjerojatno je posljedica njegove imigracije na umjetne podloge iz fitoplanktona (Szlauer-Łukaszewska, 2007).

Otpornost obraštaja na disturbancije definirana je sposobnošću zajednice da ostane u stabilnom stanju u kojem se sastav vrsta bez obzira na utjecaje okolišnih čimbenika ne mijenja (Begon i sur., 1996). Otpornost obraštaja na disturbancije ovisi o učestalosti, intenzitetu i dužini trajanja disturbancija, ali i o sastavu alga u obraštajnim zajednicama (Uehlinger, 1991). S razvojem metafitona i makrofitske vegetacije na postajama za istraživanje, raznolikost svojti se prvo smanjila, što pokazuje i smanjenje ukupnog broja svojti te vrijednosti indeksa raznolikosti (Sl. 30A, 30B, 31A i 31B). Međutim, ponovno povećanje vrijednosti indeksa raznolikosti i indeksa ujednačenosti ukazuju da su ogoljele površine bile pogodne za naseljavanje te je ponovno započelo naseljavanje novih svojti. Obraštajne zajednice razvijene u proljetno-zimskoj eksperimentalnoj seriji odumirale su polako, što ukazuje na veću otpornost ovih zajednica na disturbancije. Većoj otpornosti vjerojatno je pogodovao veliki broj jedinki vrste *A. minutissimum* u uvjetima plavljenja (Peterson i Stevenson, 1992). Zajednice s dobro razvijenim filamentoznim algama su osjetljive na disturbancije (Uehlinger, 1991). Tako su obraštajne zajednice u ljetno-zimskoj seriji s razvijenim nitastim zelenim algama bile manje otporne na promjene u okolišu te se odumiranje obraštaja odvijalo znatno brže.

Oporavak obraštajnih zajednica nakon disturbancija

Oporavak obraštajnih zajednica, odnosno nova faza rasta u obje eksperimentalne serije započela je nakon prestanka disturbancija u listopadu i trajala je sve do kraja istraživanja u prosincu. Poznato je da brzina oporavka obraštaja ovisi o dužini trajanja disturbancija,

uvjetima u okolišu (Steinman i McIntire, 1990) te o kvalitativnom i kvantitativnom sastavu vrsta i njihovoj brzini rasta i razmnožavanja (Uehlinger, 1991). Tako su ponovni rast obraštaja u obje eksperimentalne serije omogućile značajne promjene okolišnih uvjeta i to: odumiranje metafitona i makrofitske vegetacije, završetak dugotrajnog i intenzivnog plavljenja te promjene fizikalno-kemijskih svojstava vode jezera. Nakon poplava povećale su se količine hranjivih tvari što je imalo stimulirajući učinak na razvoj alga u obraštaju.

Oporavak obraštaja karakteriziralo je povećanje ukupne biomase i ukupnog broja jedinki alga (Sl. 28A, 28B, 30C, 31C i 36). Za razliku od početne faze rasta, obraštaj se razvijao brže, a dostignute su i značajno veće vrijednosti ukupne biomase obraštaja i broja alga. Ovo znatno brže razvijanje obraštaja vjerojatno je bilo omogućeno zadržavanjem dijela obraštaja na podlogama (Azim i Asaeda, 2005).

Zajednice u obje eksperimentalne serije bile su vrlo slične s obzirom na taksonomski sastav alga (> 75%, Tab. 19) i ukupan broj jedinki (Sl. 35). Vrijednosti indeksa raznolikosti i ujednačenosti bili su malo niži od vrijednosti utvrđenih tijekom faze gubitka, ali se nisu značajno mijenjali do kraja istraživanja, što ukazuje na veću stabilnost zajednica i značajan utjecaj razmnožavanja naseljenih svojiti na povećanje ukupnog broja jedinki u obraštaju (Szabó i sur., 2008).

Dominantne vrste u zajednicama bile su različite vrste dijatomeja, što je očekivano nakon disturbancija (Peterson i Stevenson, 1992; Peterson i sur., 1994). Ponovno intenzivno razmnožavanje već naseljenih vrsta, kao što su *G. parvulum*, *E. adnata* i *H. veneta*, a u proljetno-zimskoj seriji i vrsta *S. hantzschii* i *C. placentula*, pridonijelo je oporavku obraštaja (Sl. 30D i 31D). Osim toga, ogoljele površine bile su pogodne i za naseljavanje novih vrsta. Tako je u obje eksperimentalne serije u ovoj fazi rasta utvrđen veliki broj jedinki vrsta *Nitzschia amphibia* te *Navicula cryptocephala* kojoj pogoduju stabilni uvjeti, a prema Biggs-u i suradnicima (1998) klasificirana je kao C-S-strateg. Na kraju istraživanja u obraštajnim zajednicama u obje eksperimentalne serije dominantne su bile vrste klasificirane kao R-stratezi (*G. parvulum*) i C-S-stratezi (*N. cryptocephala*). Kako se ove vrste izdižu iznad površine podloge, njihov razvoj ukazuje na ponovni razvoj trodimenzionalne strukture obraštaja.

6. ZAKLJUČCI

- Rezultati ovog istraživanja pokazuju da su obraštajne zajednice alga u poplavnom području karakterizirane velikom raznolikošću vrsta, vrlo se brzo razvijaju, vrlo su osjetljive na disturbancije, ali imaju i veliku sposobnost obnavljanja.
- Poplave uzrokuju promjene fizikalno-kemijskih svojstava vode jezera, a velike i dugotrajne poplave tijekom ljeta pogoduju širenju metafitona i makrofitske vegetacije što sve predstavlja disturbanciju za razvoj obraštajnih zajednica na umjetnim podlogama.
- Tijekom razvoja obraštaja izmjenjuju se faze rasta i gubitka čije duljine trajanja ovise o promjenama okolišnih uvjeta.
- U mikrosukcesijama alga tijekom procesa naseljavanja na umjetne podloge jasno se izdvajaju tri faze – inicijalna, intermedijarna i kasna koje definira način prihvaćanja alga za podloge. Naseljavanje započinje prihvaćanjem planktonskih cijanobakterija u proljeće, a cijanobakterija i klorokokalnih zelenih alga u ljeto te dijatomeja koje priliježu uz podlogu. Nakon toga se razvijaju dijatomeje na kraćim, a zatim dijatomeje na dužim stapkama i nitaste zelene alge. Tako se stvara trodimenzionalna struktura koja omogućuje daljnji rast zajednica.
- Rast obraštaja i postizanje stabilne zajednice alga odvija se brže tijekom ljeta u odnosu na proljeće kada su uz ruderalne vrste (R-stratezi) dominantne i kompetitivne vrste (S- i C-S-stratezi) iz skupine Chlorophyta.
- U uvjetima disturbancija dolazi do naglog smanjenja ukupne biomase obraštaja, narušavanja trodimenzionalne strukture obraštaja i ujednačavanja kvantitativnog i kvalitativnog sastava zajednica alga različite starosti. U zajednicama dominiraju ruderalne vrste dijatomeja otporne na disturbancije.

- Oporavak zajednica nakon disturbancija je ujednačen s obzirom na povećanje biomase obraštaja i ukupnog broja jedinki, a također i taksonomski sastav alga. Rast obraštaja odvija se brže od početnog rasta obraštaja u proljeće i u ljeto zbog zadržavanja dijela obraštaja i alga na podlogama nakon faze gubitka.
- Dobiveni rezultati ukazuju na važnost istraživanja obraštaja u svrhu utvrđivanja stanja i prognoze promjena ugroženih i osjetljivih ekosustava poplavnih područja.

7. LITERATURA

Ács É, Borsodi AK, Kröpfl K, Vladár P, Zárny G. 2007. Changes in the algal composition, bacterial metabolic activity and element content of biofilms developed on artificial substrata in the early phase of colonization. *Acta Bot Croat* 66:89-100.

Ács É, Kiss KT, Szabó K, Makk J. 2000. Short-term colonization sequence of periphyton on glass slides in a large river (River Danube, near Budapest). *Arch Hydrobiol Suppl, Algological Studies* 100:135-156.

Ács É, Buczkó K. 1994. Daily changes of reed periphyton composition in a shallow Hungarian lake (Lake Velence). *Proceed13th Internat Diatom Symp Biopress Limited, Bristol*, 1-10 pp.

Ács É, Kiss KT. 1993a. Effects of the water discharge on periphyton abundance and diversity in a large river (River Danube, Hungary). *Hydrobiologia* 249:125-133.

Ács É, Kiss KT. 1993b. Colonization processes of diatoms on artificial substrates in the River Danube near Budapest (Hungary). *Hydrobiologia* 269/270:307-315.

Ács É, Kiss KT. 1991. Investigation of periphytic algae in the Danube at Göd (1669 river km, Hungary). *Arch Hydrobiol Suppl* 89, *Algological Studies* 62:47-67.

Albay M, Akcaalan R. 2008. Effects of water quality and hydrologic drivers on periphyton colonization on *Sparganium erectum* in two Turkish lakes with different mixing regimes. *Environ Monit Assess* 146:171-181.

Albay M, Akcaalan R. 2003. Comparative study of periphyton colonisation on common reed (*Phragmites australis*) and artificial substrate in a shallow lake, Manyas, Turkey. *Hydrobiologia* 506-509:531-540.

Algarte VM, Siqueira NS, Murakami EA, Rodrigues L. 2009. Effects of hydrological regime and connectivity on the interannual variation in taxonomic similarity of periphytic algae. *Braz J Biol* 69:609-616.

Anagnostidis K, Komárek J. 1985. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 1. Introduction. *Arch Hydrobiol Suppl* 71½: 291-302.

APHA (American Public Health Association) 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington, DC.

Asaeda T, Hong Son D. 2000. Spatial structure and populations of a periphyton community: a model and verification. *Ecol Model* 133:195-207.

Azim ME, Asaeda T. 2005. Periphyton structure, diversity and colonization. U: *Periphyton: Ecology, exploitation and management* (ur. Azim ME, Verdegem MCJ, van Dam AA, Beveridge MCM). CABI Publishing, 15-33 pp.

Azim ME, Beveridge MCM, van Dam AA, Verdegem MCJ. 2005. Periphyton and aquatic production: an introduction. U: *Periphyton: ecology, exploitation and management* (ur. Azim ME, Verdegem MCJ, van Dam AA, Beveridge MCM). CABI Publishing, 1-13 pp.

Bahulikar RA. 2006. Diatoms from littoral zone of Lake Constance: Diversity, phylogeny, extracellular polysaccharides and bacterial associations. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades des Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) an der Universität Konstanz, Fachbereich Biologie, Konstanz, 1-14 pp.

Balaban A, Constantinescu E. 2007. Physico-chemical and biological analyses for Danube water. *Anal Univ Chim Anul XVI (serie nouă)* 1:75-82.

Barbiero RP. 2000. A multi-lake comparison of epilithic diatom communities on natural and artificial substrates. *Hydrobiologia* 438:157-170.

Bayley PB. 1995. Understanding large river: floodplain ecosystems. *BioScience* 45:153-158.

- Begon M, Harper JL, Townsend CR. 1996. Ecology: individuals, populations and communities. Oxford, Blackwell Science, 1068 pp.
- Bergey EA. 2008. Does rock chemistry affect periphyton accrual in streams? *Hydrobiologia* 614:141-150.
- Berry HA, Lembi CA. 2000. Effects of temperature and irradiance on the seasonal variation of a *Spirogyra* (Chlorophyta) population in a midwestern lake (U.S.A.). *J Phycol* 36:841-851.
- Biggs BJF, Stevenson RJ, Lowe RL. 1998. A habitat matrix conceptual model for stream periphyton. *Arch Hydrobiol* 143:21-56.
- Biggs BJF. 1996. Patterns in benthic algae of streams. U: Algal ecology. Freshwater benthic ecosystems (ur. Stevenson RJ, Bothwell ML, Lowe, RL). Academic Press, United States of America, 31-56 pp.
- Biggs BJF. 1996a. Hydraulic disturbance as a determinant of periphyton development in stream ecosystems. A thesis presented for the degree of Doctor of Philosophy. Department of Zoology University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- Biggs BJF, Close ME. 1989. Periphyton biomass dynamics in gravel bed rivers: the relative effects of flows and nutrients. *Freshwater Biol* 22:209-231.
- Bogut I, Vidaković J, Čerba D, Palijan G. 2009. Epiphytic meiofauna in stands of different submerged macrophytes. *Ekolozi* 18:1-9.
- Bonacci O, Tadić Z, Moržan A, Radeljak I. 2003. Park prirode Kopački rit, Plan upravljanja. Sektorska studija Hidrologija i meteorologija. Osijek.
- Buczko K. 2006. Changes of attached diatoms in a big branch-system after the diversion of the Danube River. *Verh Internat Verein Limnol* 29:2187-2191.

Burkholder JM, Wetzel RG. 1990. Epiphytic alkaline phosphatase on natural and artificial plants in an oligotrophic lake: re-evaluation of the role of macrophytes as a phosphorus source for epiphytes. *Limnol Oceanogr* 35:736-747.

Caraco NF, Cole JJ. 2002. Contrasting impacts of a native and alien macrophyte on dissolved oxygen in a large river. *Ecol Appl* 12:1496-1509.

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

Cattaneo A, Amireault MC. 1992. How artificial are artificial substrata periphyton? *J N Am Benthol Soc* 11:244-256.

Chiovitti A, Bacic A, Burke J, Wetherbee R. 2003. Heterogeneous xylose-rich glycans are associated with extracellular glycoproteins from the biofouling diatom *Craspedosauros australis* (Bacillariophyceae). *Eur J Phycol* 38:351-360.

Chiovitti A, Higgins MJ, Harper RE, Wetherbee R, Bacic A. 2003a. The complex polysaccharides of the raphid diatom *Pinnularia viridis* (Bacillariophyceae). *J Phycol* 39:543-554.

Clarke KR, Warwick RM. 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2nd edition. PRIMER-E, Plymouth.

Cohen Y. 2001. Biofiltration – the treatment of fluids by microorganisms immobilized into the filter bedding material: a review. *Bioresour Technol* 77:257-274.

Cowling MJ, Hodgkiess T, Parr ACS, Smith MJ, Marrs SJ. 2000. An alternative approach to antifouling based on analogues of natural processes. *Sci Total Environ* 258:129-137.

Cronk JK, Mitsch WJ. 1994. Periphyton productivity on artificial and natural surfaces in constructed freshwater wetlands under different hydrologic regimes. *Aquat Bot* 48:325-341.

- Čerba D, Mihaljević Z, Vidaković J. 2011. Colonisation trends, community and trophic structure of chironomid larvae (Chironomidae: Diptera) in a temporal phytoplankton assemblage. *Fundam Appl Limnol* 179:203-214.
- Danilov RA, Ekelund NGA. 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. *J Microbiol Meth* 45:167-170.
- De Beer D, Kühl M. 2001. Interfacial microbial mats and biofilms. U: The benthic boundary layer (ur. Bourdeau, BP, Jørgensen BB). Oxford University Press, Oxford, UK, 374-394 pp.
- De Beer D, Stoodly P, Roe F, Lewandowski Z. 1994. Effects of biofilm structures on oxygen distribution and mass transport. *Biotechnol Bioeng* 43:1131-1138.
- De Brouwer JFC, Stal LJ. 2002. Daily fluctuations of exopolymers in cultures of the benthic diatoms *Cylindrotheca closterium* and *Nitzschia* sp. (Bacillariophyceae). *J Phycol* 38:464-472.
- DeNicola DM, de Eyto E, Wemaere A, Irvine K. 2006. Periphyton response to nutrient addition in 3 lakes of different benthic productivity. *J N Am Benthol Soc* 25:616-631.
- De Nie HW. 1987. The decrease in aquatic vegetation in Europe and its consequences for fish populations. EIFAC/CECPI Occasional paper br.19.
- Dodds WK. 1992. A modified fiber-optic light microprobe to measure spherically integrated photosynthetic photon flux density: characterization of periphyton photosynthesis-irradiance patterns. *Limnol Oceanogr* 37:871-878.
- Dodds WK, Gudder DA. 1992. The ecology of *Cladophora*. *J Phycol* 28:415-427.
- Dynesius M, Nilsson C. 1994. Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world. *Science* 266:753-762.

Eminson D, Moss B. 1980. The composition and ecology of periphyton communities in freshwaters. *Br Phycol J* 15:429-446.

Eulin A, LeCohu R. 1998. Epilithic diatom communities during the colonization of artificial substrates in the River Garonne (France). Comparison with the natural communities. *Arch Hydrobiol* 143:79-106.

Ewe SML, Gaiser EE, Childers DL, Rivera-Monroy VH, Iwaniec D, Fourqurean J, Twilley RR. 2006. Spatial and temporal patterns of aboveground net primary productivity (ANPP) in the Florida Coastal Everglades LTER (2001–2004). *Hydrobiologia* 569:459-474.

Felisberto SA, Rodrigues L. 2010. Periphytic algal community in artificial and natural substratum in a tributary of the Rosana reservoir (Corvo Stream, Paraná State, Brazil). *Acta Sci Biol Sci* 32:373-385.

Feminella JW, Hawkins CP. 1995. Interactions between stream herbivores and periphyton: a quantitative analysis of past experiments. *J N Am Benthol Soc* 14:465-509.

Fonseca IA, Rodrigues L. 2007. Periphytic Cyanobacteria in different environments from the upper Paraná river floodplain. Brazil *Acta Limnol Bras* 19:53-65.

Gaiser E. 2009. Periphyton as an indicator of restoration in the Florida Everglades. *Ecol Indic* 9:37-45.

Gaiser EE, Childers DL, Jones RD, Richards JH, Scinto LJ, Trexler JC. 2006. Periphyton responses to eutrophication in the Florida Everglades: Cross-system patterns of structural and compositional change. *Limnol Oceanogr* 51:617-630.

Ghosh M, Gaur JP. 1998. Current velocity and the establishment of stream algal periphyton communities. *Aquat Bot* 60:1-10.

Goldsborough LG, Robinson GGC. 1996. Pattern in wetlands. U: Algal ecology. Freshwater benthic ecosystems (ur. Stevenson RJ, Bothwell MLI, Lowe RL). Academic Press, New York, 77-117 pp.

Grime JP. 1977. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *Amer Natural* 111:1169-1194.

Gottlieb AD, Richards JH, Gaiser EE. 2006. Comparative study of periphyton community structure in long and short-hydroperiod Everglades marshes. *Hydrobiologia* 569:195-207.

Gucunski D. 1984. Beitrag zur Kenntnis des Perifitongemeinschaften der Donau. 24 IAD der SIL, Szentendre, Ungarn, 147-151.

Hamels I, Mussche H, Sabbe K, Muylaert K, Vyverman W. 2004. Evidence for constant and highly specific active food selection by benthic ciliates in mixed diatoms assemblages. *Limnol Oceanog* 49:58-68.

Hawes I, Smith R. 1993. Effect of localised nutrient enrichment on the shallow epilithic periphyton of oligotrophic Lake Taupo, New Zealand. *New Zeal J Mar Fresh* 27:365-372.

Hein T, Baranyi C, Reckendorfer W, Schiemer F. 2004. The impact of surface water exchange on the nutrient and particle dynamics in side-arms along the River Danube, Austria. *Sci Tot Environ* 328:207-218.

Henry JC, Fisher SG. 2003. Spatial segregation of periphyton communities in a desert stream: causes and consequences for N cycling. *J N Am Benthol Soc* 22:511-527.

Higgins SN, Malkin SY, Howell ET, Guildford SJ, Campbell L, Hiriart-Baer V, Hecky RE. 2008. An ecological review of *Cladophora glomerata* (Chlorophyta) in the Laurentian Great Lakes. *J Phycol* 44:839-854.

Higgins S, Hann BJ. 1995. Snail grazer-periphyton interactions: the effects of macrophyte removal, inorganic nutrient addition, and organic nutrient addition. University Field Station (Delta Marsh), Annual Report, No 30, University of Manitoba, 115 p.

Hindak F, Cyrus Z, Marvan P, Javornický P, Komarek J, Ettl H, Rosa K, Sladečková A, Popovský J, Punčocharová M, Lhotský O. 1978. Slatkovodné riasy. Slovenske pedagogicke nakladelstvo, Bratislava.

Hindak F. 1977-1990. Studies on the chlorococcales algae (Chlorophyceae). I- IV. VEDA. Publishing House of the Slovak Academy of Sciences, Bratislava.

Hindak F, Komarek J, Marvan P, Ružička J. 1975. Kľuč na určovanie vytrusných rastlín. Slovenske pedagogicke nakladelstvo, Bratislava.

Hillebrand H, De Montpelier G, Liess A. 2004. Effects of macrograzers and light on periphyton stoichiometry. *Oikos* 106:93-104.

Hillebrand H. 2002. Top-down versus bottom-up control of autotrophic biomass: a meta-analysis on experiments with periphyton. *J N Am Benthol Soc* 21:349-369.

Hillebrand H, Sommer U 2000. Diversity of benthic microalgae in response to colonization time and eutrophication. *Aquat Bot* 67:221–236.

Hoagland KD, Roemer SC, Rosowski JR. 1982. Colonization and community structure of two periphyton assemblages, with emphasis on the diatoms (Bacillariophyceae). *Am J Bot* 69:188-213.

Hodoki Y. 2005. Bacteria biofilm encourages algal immigration onto substrata in lotic systems. *Hydrobiologia* 539:27-34.

- Horvatić J, Mihaljević M, Stević F. 2003. Algal growth potential of *Chlorella kessleri* FOTT et NOV. in comparison with in situ microphytoplankton dynamics in the water of Lake Sakadaš marshes. *Period Biol* 105:307-312.
- Huber-Pestalozzi G. 1961-1990. Das Phytoplankton des Susswassers. Teil 1-7. E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, Germany.
- Hudon C, Bourget E. 1981. Initial colonization of artificial substrate: community development and structure studied by scanning electron microscopy. *Can J Fish Aquat Sci* 38:449-457.
- Hustedt F. 1976. Bacillariophyta. Otto Koeltz Science Publishers, Koenigstein.
- Iwaniec DM, Childers DL, Rondeau D, Madden CJ, Saunders C. 2006. Effects of hydrologic and water quality drivers on periphyton dynamics in the southern Everglades. *Hydrobiologia* 569:223-235.
- Jones JI, Sayer CD. 2003. Does the fish-invertebrate-periphyton cascade precipitate plant loss in shallow lakes? *Ecology* 84:2155-2167.
- Junk WJ, Wantzen KM. 2003. The flood pulse concept: new aspects, approaches and applications – an update. The 2nd international symposium on the management of large rivers for fisheries. *Proceedings*. 2:117-140.
- Junk WJ, Bayley PB, Sparks RE. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Can Spec Publ Fish Aquat Sci* 106:110-127.
- Karosienė J, Kasperovičienė J. 2008. Seasonal succession of epiphyton algal communities on *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. in a mesoeutrophic lake. *Ekologija* 54:32-39.
- Keckeis S, Baranyi C, Hein T, Holarek C, Riedler P, Schiemer F. 2003. The significance of zooplankton grazing in a floodplain system of the River Danube. *J Plankton Res* 25:243-253.

- Komarek J. 1973. The communities of algae of Opatovický Fishpond (South Bohemia). U: Ecosystem on wetland biome in Czechoslovakia (ur. Heiny S). Czechosl. IBP/PT-PP Report No 3, Trebon, 179-184 pp.
- Komárek J, Anagnostidis K. 1989. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 4. Nostocales. *Algol Stud* 56:247-345.
- Komárková J. 1989. Primární produkce řas ve slatkovodních ekosystémech. U: Metody studia ekosystémů (ur. Dykyová D). Academia Praha, Praha, 330-347 pp.
- Komulainen S. 2007. Short- and long-term changes in phytoplankton structure and production in small streams of eastern Fennoscandia. *Oceanol Hydrobiol* 36:189-198.
- Kralj K, Plenković-Moraj A, Gligora M, Primc-Habdija B, Šipoš L. 2006. Structure of periphytic community on artificial substrata: influence of depth, slide orientation and colonization time in karstic Lake Visovacko, Croatia. *Hydrobiologia* 560:249-258.
- Krebs CJ. 1999. *Ecological Methodology*. 2nd edition, Benjamin/Cummings, Menlo Park, 620 pp.
- Lamberti GA, Resh V. 1985. Comparability of introduced tiles and natural substrates for sampling lotic bacteria, algae and macro invertebrates. *Freshwater Biol* 15:21-30.
- Lane CM, Taffs KH, Corfield JL. 2003. A comparison of diatom community structure on natural and artificial substrata. *Hydrobiologia* 493:65-79.
- Larned ST. 2010. A prospectus for periphyton: recent and future ecological research. *J N Am Benthol Soc* 29:182-206.
- Leadbeater BSC, Callow ME. 1992. Formation, composition and physiology. *Algal Biofilms*. U: *Biofilms- science and technology*. (ur. Melo LF, Bott TR, Fletcher M, Capdeville B), NATO ASI Series, Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Biofilms-Science and Technology, Alvor, Portugal, 149-162 pp.

- Leandrini JA, Fonseca IA, Rodrigues L. 2008. Characterization of habitats based on algal periphyton biomass in the upper Paraná River floodplain, Brazil. *Braz J Biol* 68:503-509.
- Leandrini JA, Rodrigues L. 2008. Temporal variation of periphyton biomass in semilotic environments of the upper Paraná River floodplain. *Acta Limnol Bras* 20:21-28.
- Liboriussen L, Jeppesen E, Bramm ME, Lassen MF. 2005. Periphyton-macroinvertebrate interactions in light and fish manipulated enclosures in a clear and a turbid shallow lake. *Aquat Ecol* 39:23-39.
- Liboriussen L. 2003. Production, regulation and ecophysiology of periphyton in shallow freshwater lakes. PhD thesis. National Environmental Research Institute, Department of Freshwater Ecology. University of Aarhus, Faculty of Science, Denmark.
- Lind JL, Heimann K, Miller EA, van Vliet C, Hoogenraad NJ, Wetherbee R. 1997. Substratum adhesion and gliding in a diatom are mediated by extracellular proteoglycans. *Planta* 203:213-221.
- Litchman E, Steiner D, Bossard P. 2003. Photosynthetic and growth responses of three freshwater algae to phosphorus limitation and daylength. *Freshwater Biol* 48:2141-2148.
- Lorenzen CJ. 1967. Determination of chlorophyll-a and phaeo-pigments spectrophotometric equations. U: *Metody studia ekosystémů* (ur. Dykyová D). Academia Praha, Praha, 336 pp.
- Lowe RL. 1996. Periphyton patterns in lakes. U: *Algal ecology: freshwater benthic systems*. (ur. Stevenson RJ, Bothwell ML, Lowe RL). Academic Press, San Diego, California, 57-76 pp.
- MacArthur RH, Wilson EO. 1963. An equilibrium theory of insular zoogeography. *Evolution* 17:373-387.
- Makarewicz JC, D'Aiuto PE, Bosch I. 2007. Elevated nutrient levels from agriculturally dominated watersheds stimulate metaphyton growth. *J Great Lakes Res* 33:437-448.

- Makarevich TA, Mastitsky SE, Savich IV. 2008. Phytoplankton on the shells of *Dreissena polymorpha* (Pallas) in Lake Naroč. *Aquatic Invasions* 3:283-295.
- Mátrai I, Buzetzky G, Lakatos G. 2009. Ecological status of waterfowl habitat on the Gemenc floodplain area in Hungary. *J Ecol Nat Environ* 1:120-129.
- McCarthy MJ, McNeal KS, Morse JW, Gardner WS. 2008. Bottom-water hypoxia effects on sediment-water interface nitrogen transformations in a seasonally hypoxic, shallow bay (Corpus Christi Bay, TX, USA). *Estuar Coast* 31:521-531.
- McCormick PV, Laing J. 2003. Effects of increased phosphorus loading on dissolved oxygen in a subtropical wetland, the Florida Everglades. *Wet Ecol Manage* 11:199-216.
- Meerhoff M. 2006. The structuring role of macrophytes on trophic dynamics in shallow lakes under a climate-warming scenario. PhD thesis, Faculty of Science, University of Aarhus.
- Mihaljević M, Stević F. 2011. Cyanobacterial blooms in a temperate river-floodplain ecosystem: the importance of hydrological extremes. *Aquat Ecol* 45:335-349.
- Mihaljević M, Špoljarić D, Stević F, Cvijanović V, Hackenberger Kutuzović B. 2010. The influence of extreme floods from the River Danube in 2006 on phytoplankton communities in a floodplain lake: shift to a clear state. *Limnologica* 40:260-268.
- Mihaljević M, Stević F, Horvatić J, Hackenberger Kutuzović B. 2009. Dual impact of the flood pulses on the phytoplankton assemblages in a Danubian floodplain lake (Kopački Rit Nature Park, Croatia). *Hydrobiologia* 618:77-88.
- Mihaljević M, Getz D, Tadić Z, Živanović B, Gucunski D, Topić J, Kalinović I, Mikuska J. 1999. Kopački Rit - Pregled istraživanja i bibliografija. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb.
- Momba MNB, Kfir R, Venter SN, Cloete TE. 2000. An overview of biofilm formation in distribution system and its impact on the deterioration of water quality. *Water SA* 26:59-66.

- Morikawa K, Shibuya T. 2000. Spatial distribution of the microbial community to develop on a slide glass submerged in river water. *Microbes Environ* 15:85-91.
- Mulholland PJ, Webster JR. 2010. Nutrient dynamics in streams and the role of J-NABS. *J N Am Benthol Soc* 29:100-117.
- Murakami EA, Bicudo DC, Rodrigues L. 2009. Periphytic algae of the Garças Lake, Upper Paraná River floodplain: comparing the years 1994 and 2004. *Braz J Biol* 69:459-468.
- Murdock JN, Dodds WK, Gido KB, Whiles MR. 2011. Dynamic influences of nutrients and grazing fish on periphyton during recovery from flood. *J N Am Benthol Soc* 30:331-345.
- Neiff JJ. 1996. Large rivers in South America: toward the new approach. *Verh Internat Verein Limnol* 26:167-180.
- Netten JJC, Arts GHP, Gylstra R, van Nes EH, Scheffer M, Roijackers RMM. 2010. Effect of temperature and nutrients on the competition between free-floating *Salvinia natans* and submerged *Elodea nuttallii* in mesocosms. *Fundam Appl Limnol* 177:125-132.
- Nielsen TS, Funk WH, Gibbons HL, Dullner R. 1984. A comparison of periphyton growth on artificial and natural substrates in the Upper Spokane River. *Northwest Sci* 58:243-248.
- Noe GB, Childers DL, Jones RD. 2001. Phosphorus biogeochemistry and the impact of phosphorus enrichment: why is the Everglades so unique? *Ecosystems* 4:603-624.
- OECD 1982. Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. OECD Publications, Paris, 154 pp.
- Oikonomou A, Katsiapi M, Karayanni H, Moustaka-Gouni M, Kormas K. 2012. Plankton microorganisms coinciding with two consecutive mass fish kills in a newly reconstructed lake. *The Scientific World Journal Article ID 504135*, 14 pages, doi: 1100/2012/504135.

- Palijan G. 2010. Different impact of flood dynamics on the development of culturable planktonic and biofilm bacteria in floodplain lake. *Pol J Ecol* 58:439-448.
- Pascher A. 1976. Die Süßwasser-flora Mitteleuropas. Heft 10. Bacillariophyta (Diatomeae). JENA.
- Paterson DM, Wright SJL. 1986. The epiphyllous algal colonization of *Elodea canadensis* Micux.: community structure and development. *New Phytol* 103:809-819.
- Peršić V, Horvatić J, Has-Schön E, Bogut I. 2009. Changes in N and P limitation induced by water level fluctuations in Nature Park Kopački Rit (Croatia): nutrient enrichment bioassay. *Aquat Ecol* 13:27-36.
- Peterson GC, Weibel AC, Grimm NB, Fisher SG. 1994. Mechanisms of benthic algal recovery following spates: comparison of simulated and natural events. *Oecologia* 98:280-290.
- Peterson GC, Grimm NB. 1992. Temporal variation in enrichment effects during periphyton succession in a nitrogen-limited desert stream ecosystem. *J N Am Benthol Soc* 11:20-36.
- Peterson GC, Stevenson RJ. 1992. Resistance and resilience of lotic algal communities: importance of disturbance timing and current. *Ecology* 73:1445-1461.
- Petz B. 2002. Osnovne statističke metode za nematematičare. Naklada Slap, 384 pp.
- Pielou EC. 1969. An introduction to mathematical ecology. John Wiley and sons, New York, 286 pp.
- Pierobon E, Bolpagni R, Bartoli M, Viaroli P. 2010. Net primary production and seasonal CO₂ and CH₄ fluxes in a *Trapa natans* L. meadow. *J Limnol* 69:225-234.
- Pithart D, Pichlová R, Bílý M, Hrbáček J, Novotná K, Pechar L. 2007. Spatial and temporal diversity of small shallow waters in river Lužnice floodplain. *Hydrobiologia* 584:265-275.

Plenković-Moraj A, Kralj K, Gligora M. 2008. Effect of current velocity on diatom colonization on glass slides in unpolluted headwater creek. *Period Biol* 110:291-295.

Rier ST, Stevenson RJ. 2006. Response of periphytic algae to gradients in nitrogen and phosphorus in streamside mesocosms. *Hydrobiologia* 561:131-147.

Roberts E, Kroker J, Körner S, Nicklisch A. 2003. The role of periphyton during the recolonization of a shallow lake with submerged macrophytes. *Hydrobiologia* 506-509:525–530.

Rodrigues L, de Bicudo DC. 2001. Similarity among periphyton algal communities in a lentic-lotic gradient of the upper Paraná river floodplain, Brazil. *Revta brasil Bot São Paulo* 24:235-248.

Rosemond AD, Mulholland PJ, Brawley SH. 2000. Seasonally shifting limitation of stream periphyton: response of algal populations and assemblage biomass and productivity to variation in light, nutrients, and herbivores. *Can J Fish Aquat Sci* 57:66-75.

Schwarz U. 2005. Landschaftsökologische Charakterisierung des Kopački Rit unter besonderer Berücksichtigung von Flusslandschaftsformen sowie deren Genese und Typologie. Dissertation, University of Wien.

Scott JT, Lang DA, King RS, Doyle RD. 2009. Nitrogen fixation and phosphatase activity in periphyton growing on nutrient diffusing substrata: evidence for differential nutrient limitation in stream periphyton. *J N Am Benthol Soc* 28:57-68.

Sekar R, Venugopalan VP, Nandakumar K, Nair KVK, Rao VNR. 2004. Early stages of biofilm succession in a lentic freshwater environment. *Hydrobiologia* 512:97-108.

Shannon CE. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell Syst Techn J* 27:379-423.

Sigee DC. 2005. Freshwater microbiology: biodiversity and dynamic interactions of microorganisms in the aquatic environment. University of Manchester, John Wiley and sons, LTD, UK.

Solórzano GG, Martínez MGO, Vázquez AL, Garfías MBM, Zuniga REQ, Conforti V. 2011. *Trachelomonas* (Euglenophyta) from a eutrophic reservoir in Central Mexico. *J Environ Biol* 32:463-471.

Sørensen T. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant society based on similarity of species content. *K. Danske Vidensk Selsk* 5:1-34.

Staats N, de Winder B, Stal LJ, Mur LR. 1999. Isolation and characterization of extracellular polysaccharides from epipellic diatom *Cylindrotheca closterium* and *Navicula salinarum*. *Eur J Phycol* 34:161-169.

Stal LJ, de Brouwer JFC. 2003. Biofilm formation by benthic diatoms and their influence on the stabilization of intertidal mudflats. *Berichte-Forschungszentrum Terramare* 12:109-111.

Steinman AD. 1996. Effects of grazers on freshwater benthic algae. U: *Algal ecology. Freshwater benthic ecosystems* (ur. Stevenson RJ, Bothwell ML, Lowe RL). Academic Press, San Diego, California, 341-373 pp.

Steinman AD, Mulholland PJ, Kirschtel DB. 1991. Interactive effects of nutrient reduction and herbivory on biomass, taxonomic structure, and P uptake in lotic periphyton communities. *Can J Fish Aquat Sci* 48:1951-1959.

Steinman AD, McIntire CD. 1990. Recovery of lotic periphyton communities after disturbance. *Environ Manage* 14:589-604.

Stenger-Kovács C, Padisák J, Bíró P. 2006. Temporal variability of *Achnanthydium minutissimum* (Kützing) Czarnecki and its relationship to chemical and hydrological features of the Torna-stream, Hungary. 6th Int. Symposium on Use of algae for monitoring rivers. Hungary, Balatonfüred.

- Stevenson RI, Peterson CG. 1989. Variation in (*Bacillariophyceae*) immigration with habitat characteristics and benthic diatom cell morphology. *J Phycol* 25:120-129.
- Stević F, Mihaljević M, Horvatić J. 2005. Interactions between microphytoplankton of the Danube, its sidearms and wetlands (1426 - 1388 r. km, Croatia). *Period Biol* 107:299-304.
- Stewart PM, Pratt JR, Cairns JrJ, Lowe RL. 1985. Diatom and protozoan species accrual on artificial substrates in lentic habitats. *Trans Am Microsc Soc* 104:369-377.
- Stilinović B, Plenković-Moraj A. 1995. Bacterial and phytoplanktonic research of Ponikve artificial lake on the island of Krk. *Period Biol* 97:351-358.
- Szabó K, Makk J, Kiss KT, Eiler A, Ács É, Tóth B, Kiss ÁK, Bertilsson S. 2008. Sequential colonization of river periphyton analysed by microscopy and molecular fingerprinting. *Freshwater Biol* 53:1359-1371.
- Szlauer-Łukaszewska A. 2007. Succession of periphyton developing on artificial substrate immersed in polysaprobic wastewater reservoir. *Pol J Environ Stud* 16:753-762.
- Šarčević Kopic I. 2008. Utjecaj dinamike plavljenja na sastav epiksilonu u poplavnom području Dunava. Magistarski rad. Sveučilište u Zagrebu. Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Zagreb.
- Tall L, Cattaneo A, Cloutier L, Dray S, Legendre P. 2006 Resource partitioning in a grazer guild feeding on a multilayer diatom mat. *J N Am Benthol Soc* 25:800-810.
- Thomas S, Gaiser EE, Gantar M, Scinto L, Jones RD. 2006. Quantifying the response of calcareous periphyton crusts to rehydration: a microcosm study (Florida Everglades). *Aquat Bot* 84:317-323.
- Thomaz SM, Bini LM, Bozelli RL. 2007. Floods increase similarity among aquatic habitats in river-floodplain systems. *Hydrobiologia* 579:1-13.

Tockner K, Uehlinger U, Robinson CT. 2009. Rivers of Europe. Elsevier, Academic Press, San Diego, USA.

Tockner K, Malard F, Ward JV. 2000. An extension of the flood pulse concept. *Hydrological Processes* 14:2861-2883.

Tockner K, Pennetzdorfer D, Reiner N, Schiemer F, Ward JV. 1999. Hydrological connectivity, and the exchange of organic matter and nutrients in a dynamic river–floodplain system (Danube, Austria). *Freshwater Biol* 41:521–535.

Turner AM, Cholak EJ, Groner M. 2010. Expanding american lotus and dissolved oxygen concentrations of a shallow lake. *Am Midl Nat* 164:1-8.

Uehlinger U. 1991. Spatial and temporal variability of the periphyton biomass in a prealpine river (Necker, Switzerland). *Arch Hydrobiol* 123:219-237.

Van Dam AA, Beveridge MCM, Azim ME, Verdegem MCJ. 2002. The potential of fish production based on periphyton. *Rev Fish Biol Fish* 12:1-31.

Vermaat JE. 2005. Periphyton dynamics and influencing factors. U: *Periphyton: ecology, exploitation and management* (ur. Azim ME, Verdegem MCJ, van Dam AA, Beveridge MCM) CABI Publishing, 35-49 pp.

Vermaat JE, Hootsmans MJM. 1994. Periphyton dynamics in a temperature-light gradient. U: *Lake Veluwe, a macrophyte-dominated system under eutrophication stress*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 193-212 pp.

Vidaković J, Palijan G, Čerba D. 2011. Relationship between nematode community and biomass and composition of periphyton developing on artificial substrates in floodplain lake. *Pol J Ecol* 59:577-588.

Vidaković J, Bogut I. 2007. Periphyton nematode assemblages in association with *Myriophyllum spicatum* L. in Lake Sakadaš, Croatia. *Russ J Nematol* 15:79-88.

Von Schiller D, Martí E, Rierra JL, Sabater F. 2007. Effects of nutrients and light on periphyton biomass and nitrogen uptake in Mediterranean streams with contrasting land uses. *Freshwater Biol* 52:891-906.

Weilhoefer CL, Pan Y, Eppard S. 2008. The effects of river floodwaters on floodplain wetland water quality and diatom assemblages. *Wetlands* 28:473-486.

Weisner SEB, Strand JA, Sandsten H. 1997. Mechanisms regulating abundance of submerged vegetation in shallow eutrophic lakes. *Oecologia* 109:592-599.

Weitzel RL. 1979. Periphyton measurements and applications. U: Methods and measurements of periphyton communities: a review. American Society for Testing and Materials (ur. Weitzel RL) Special Technical Publication (ASTM, STP) 690, 3-33 pp.

Wellnitz T, Rader RB. 2003. Mechanisms influencing community composition and succession in mountain stream periphyton: interactions between scouring history, grazing, and irradiance. *J N Am Benthol Soc* 22:528-541.

Wetzel RG. 2005. Periphyton in the aquatic ecosystem and food webs. U: Periphyton: ecology, exploitation and management (ur. Azim ME, Verdegem MCJ, van Dam AA, Beveridge MCM), CABI Publishing, 51-69 pp.

Whitton BA. 1975. Algae. U: River ecology (ur. Whitton BA), volume 2. University of California press, Berkeley i Los Angeles, California, 81-105 pp.

Zohary T, Fishbein T, Kaplan B, Pollinger U. 1998. Phytoplankton-metaphyton seasonal dynamics in a newly-created subtropical wetland lake. *Wet Ecol Manag* 6:133-142.

<http://www.algaebase.org/>

8. ŽIVOTOPIS

Tanja Žuna Pfeiffer rođena je 04. siječnja 1973. godine u Osijeku. Nakon završenog srednjoškolskog obrazovanja upisala je Pedagoški fakultet u Osijeku, gdje je i diplomirala 1997. godine te stekla zvanje profesora biologije i kemije.

Od 01. siječnja 2007. godine zaposlena je kao asistentica na Odjelu za biologiju, Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Sveučilišni poslijediplomski interdisciplinarni doktorski studij „Zaštita prirode i okoliša“ Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku i Instituta Ruđer Bošković u Zagrebu upisala je 2009. godine.

Suradnik je na projektu pod nazivom „Zaštita voda Kopačkog rita - ekološke interakcije Dunava i poplavnog područja“ (MZOŠ 285-0000000-2674) čiji je voditelj redovita profesorica Jasna Vidaković.

U nastavnom radu pristupnica sudjeluje u izvođenju vježbi iz kolegija Anatomija biljaka, Morfologija biljaka te provođenju Terenske nastave I na Preddiplomskom studiju biologije.

Pristupnica je objavila jedan znanstveni rad citiran u CC pod nazivom: „Colonization of periphyton algae in a temperate floodplain lake under a fluctuating spring hydrological regime“ u koautorstvu s doc. dr. sc. Melitom Mihaljević.

Autor je i koautor dva znanstvena rada u časopisima citiranim u drugim bazama (SCI, CAB). Sudjelovala je na dva znanstvena skupa u inozemstvu i tri znanstvena skupa u Republici Hrvatskoj.

Član je Hrvatskog botaničkog društva i Hrvatskog društva za biljnu biologiju.

Popis publikacija

Radovi u časopisima koje navodi *Current Contents*

1. Mihaljević M, **Žuna Pfeiffer T.** 2012. Colonization of periphyton algae in a temperate floodplain lake under a fluctuating spring hydrological regime. *Fundam Appl Limnol* 180/1: 13-25.

Radovi u časopisima koje navodi *SCI*

1. Lepeduš H, Hoško M, **Žuna Pfeiffer T**, Skendrović Babojelić M, Žanić M, Cesar V. 2010. Preliminary study on the photosynthetic performance in leaves of two olive cultivars. *Period Biol* 112:259-261.

Radovi u drugim časopisima

1. **Žuna Pfeiffer T**, Štolfa I, Hoško M., Žanić M, Pavičić N, Cesar V, Lepeduš H. 2010. Comparative study of leaf anatomy and certain biochemical traits in two olive cultivars. *Agri Conspec Sci* 75/2:91-97.

Priopćenja na znanstvenim skupovima

Međunarodni

1. **Žuna Pfeiffer T**, Mihaljević M. 2011. The influence of flooding on colonization of periphytic algae in a Danubian floodplain lake (Croatia). *Proceedings of the 3rd Aquatic Biodiversity International Conference*, Sibiu, Romania (ur. Angela Curtean- Bănađuc), 5.
2. Žanić M, **Žuna Pfeiffer T**, Štolfa I, Krstulović A, Pavičić N, Cesar V, Lepeduš H. 2012. Seasonal changes in leaf antioxidant system and PSII functioning in three olive cultivars. 47. hrvatski i 7. međunarodni simpozij agronoma. *Zbornik sažetaka* (ur. Milan Pospišil), Opatija, 263.
3. Vuković R, Štolfa I, **Žuna Pfeiffer T**, Špoljarić D, Ćavar I, Krstin Lj. 2012. Antioxidative response of stevia leaves to low temperature treatment. *6th Central European Congress on Food*, Novi Sad, Srbija. *Abstract book* (ur. Jovanka Lević), 155.

Domaći

4. **Žuna Pfeiffer T**, Štolfa I, Hoško M., Krstulović A., Žanić M., Pavičić N., Cesar V., Lepeduš H. 2007. Usporedba strukture i funkcije dva kultivara masline. 2. hrvatski botanički kongres, *Knjiga sažetaka* (ur. Britvec M., Škvorc Ž.), Zagreb, 126-127.
5. **Žuna Pfeiffer T**, Mihaljević M. 2010. Kolonizacija perifitonskih alga u poplavnom području Dunava. 3. hrvatski botanički kongres, *Knjiga sažetaka* (ur. Jasprica N., Pandža M., Milović M.). Zagreb, 213.