Razvoj alga u obraštajnim zajednicama Sakadaškog jezera u stabilnim hidrološkim uvjetima

Jovanovac, Andrijana

Master's thesis / Diplomski rad

2012

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:181:112326

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

ODJEL ZA BIOLOGIJU
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Repository / Repozitorij:

Repository of Department of biology, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

zir.nsk.hr

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ODJEL ZA BIOLOGIJU
DIPLOMSKI ZNANSTVENI STUDIJ BIOLOGIJE

Andrijana Jovanovac

Razvoj alga u obraštajnim zajednicama Sakadaškog jezera u stabilnim hidrološkim uvjetima

Diplomski rad

Osijek, 2012.

SADRŽAJ

SADRŽAJ 0

1. UVOD 1

1.1. Opće značajke obraštaja 1

1.2. Istraživanja obraštaja u poplavnim područjima 4

1.3. Cilj istraživanja 6

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA 7

3. MATERIJALI I METODE 11

3.1. Dizajn eksperimenta 11

3.2. Mjerenje fizikalno-kemijskih svojstava vode 12

3.3. Laboratorijske analize 13

3.4. Statistička obrada podataka 14

4. REZULTATI 17

4.1. Fizikalno-kemijska svojstva vode 17

4.2. Ukupna biomasa obraštaja 25

4.3. Kvalitativni i kvantitativni sastav alga u obraštaju 26

5. RASPRAVA 44

6. ZAKLJUČCI 47

7. LITERATURA 48

1. UVOD

1.1. Opće značajke obraštaja

Obraštaj ili perifiton je zajednica bakterija, alga i različitih heterotrofnih organizama te detritusa koja nastaje na prirodnim ili umjetnim podlogama potopljenim u vodi (Azim i sur., 2005). S obzirom na podlogu na kojoj se razvija razlikujemo epifiton (obraštaj na biljkama), epizoon (obraštaj na životinjama), epipelon (obraštaj na muljevitim sedimentima), epiksilon (obraštaj na drvenim podlogama), epiliton (obraštaj na kamenim podlogama) i epipsamon (obraštaj na pjeskovitim podlogama). Organizmi koji žive pričvršćeni za podlogu pomoću različitih struktura čine nepokretni dio obraštaja ili euobraštaj, dok slobodno pokretni organizmi čine tzv. pseudoobraštaj.

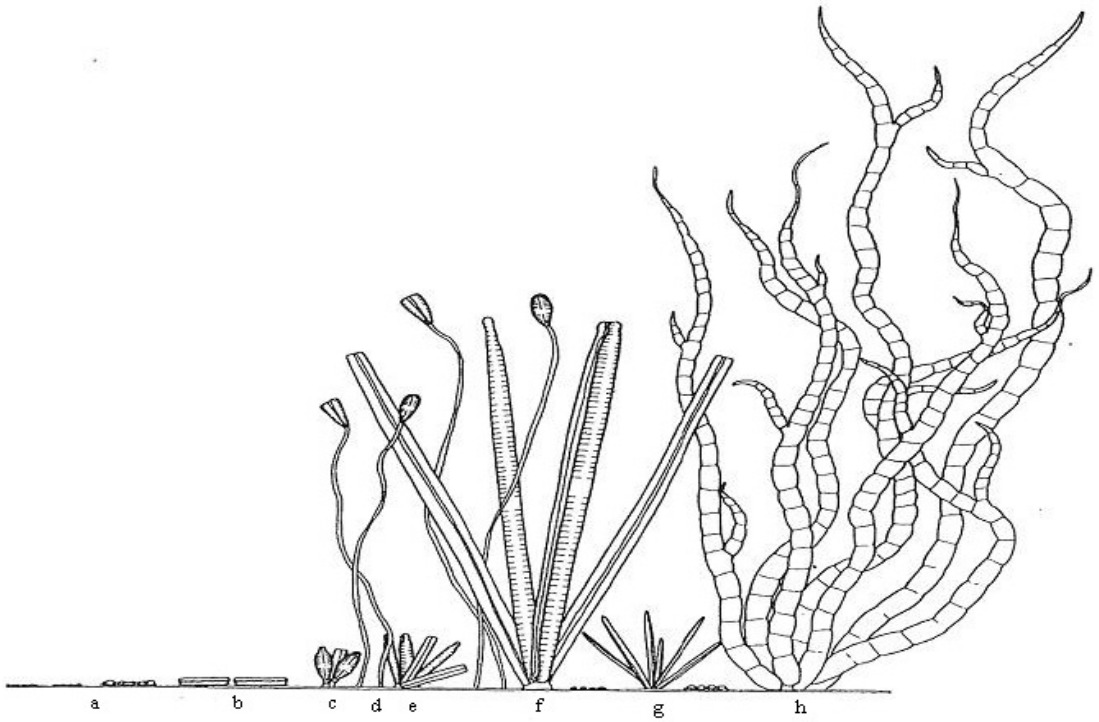
Obraštaj ima važnu ulogu u vodenim ekosustavima. Uz fitoplankton i makrofitsku vegetaciju pridonosi primarnoj produkciji (Azim i sur., 2005), fiksaciji dušika te kruženju hranjivih tvari u vodenim ekosustavima (Kern i Darwich, 2003). Dobar je indikator promjena u vodenim ekosustavima jer organizmi u obraštajnim zajednicama vrlo brzo „odgovaraju“ na promjene u hidrološkom režimu i kvaliteti vode (Gaiser, 2008). Alge u obraštaju imaju sposobnost apsorpcije suviška hranjivih tvari, metala i različitih toksičnih tvari iz vode te njihovom apsorpcijom pridonose poboljšanju kvalitete vode (Szlauer–Lukaszewska, 2007).

Razvoj obraštaja odvija se kroz nekoliko faza (Saikia, 2011). Nakon uranjanja u vodu, na površini podloge počinju se taložiti različite organske tvari, većinom aminokiseline i mukopolisaharidi. Nakon toga, podloge naseljavaju bakterije koje izlučuju izvanstanične polimerne tvari koje ih štite od predatora, UV zračenja i isušivanja, ali ujedno stvaraju pogodnu podlogu za prihvaćanje različitih vrsta alga (Hodoki, 2005). Posljednju fazu razvoja obraštaja obilježava naseljavanje eukariotskih višestaničnih organizama kao što su različiti bezkralježnjaci i ličinke kukaca.

Alge čine veliki dio biomase obraštaja. U slatkovodnim ekosustavima u obraštaju su zastupljene različite vrste alga iz skupina: Cyanobacteria, Pyrrophyta, Chrysophyta, Euglenophyta i Chlorophyta. Vrste iz razreda Bacillariophyceae posebno su brojne u obraštajnim zajednicama jer imaju sposobnost brzog naseljavanja novih podloga, brzo se razmnožavaju i brzo se prilagođavaju promjenjivim uvjetima u okolišu (Biggs i sur., 1998).

Dijatomeje (Sl. 1 i 2) razvijaju različite strukture za pričvršćivanje (Azim i sur., 2005). Tako su na početku razvoja obraštaja u zajednicama najzastupljenije dijatomeje koje priliježu uz podlogu cijelom svojom površinom ili se za podlogu prihvaćaju apikalnim vrhom. S razvojem obraštajnih zajednica, u uvjetima veće kompeticije za hranjive tvari i svjetlost, dijatomeje mogu razvijati kraće odnosno duže stapke kako bi zauzele što povoljniji položaj u zajednici (Hoagland i sur., 1982; Bahulikar, 2006). Također, pojedine vrste dijatomeja (npr. *Cymbella*) formiraju cjevaste želatinozne strukture unutar kojih se slažu jedna iznad druge (Plenković–Moraj i sur., 2008). Osim dijatomeja, naseljavanje podloga uronjenih u vodu mogu započeti i različite vrste alga iz skupina Cyanobacteria (npr. vrste roda *Merismopedia*) ili alge iz skupine Chlorophyta (npr. *Characium* ili klorokokalne alge, Sekar i sur., 2004; Vermat i sur., 2005).

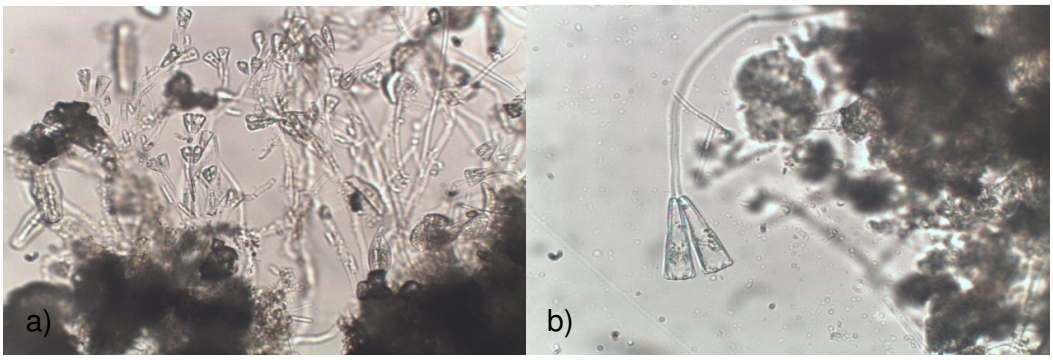
U kasnijoj fazi razvoja obraštaja podloge naseljavaju nitaste zelene alge pri čemu nastaje bogata trodimenzionalna struktura obraštaja odnosno tzv. „klimaks“ obraštajnih zajednica (Biggs i sur., 1998).



a - pričvršćene bakterije; b - alge pričvršćene za podlogu cijelom svojom površinom; c - alge pričvršćene s kratkim stapkama; d - alge pričvršćene s dužim stapkama; e, f, g - alge formirane u rozete pričvršćene pomoću želatinoznih jastučića; h - alge koje tvore uspravne filamente

Slika 1. Slijed naseljavanja alga na podloge (Hoagland i sur., 1982)

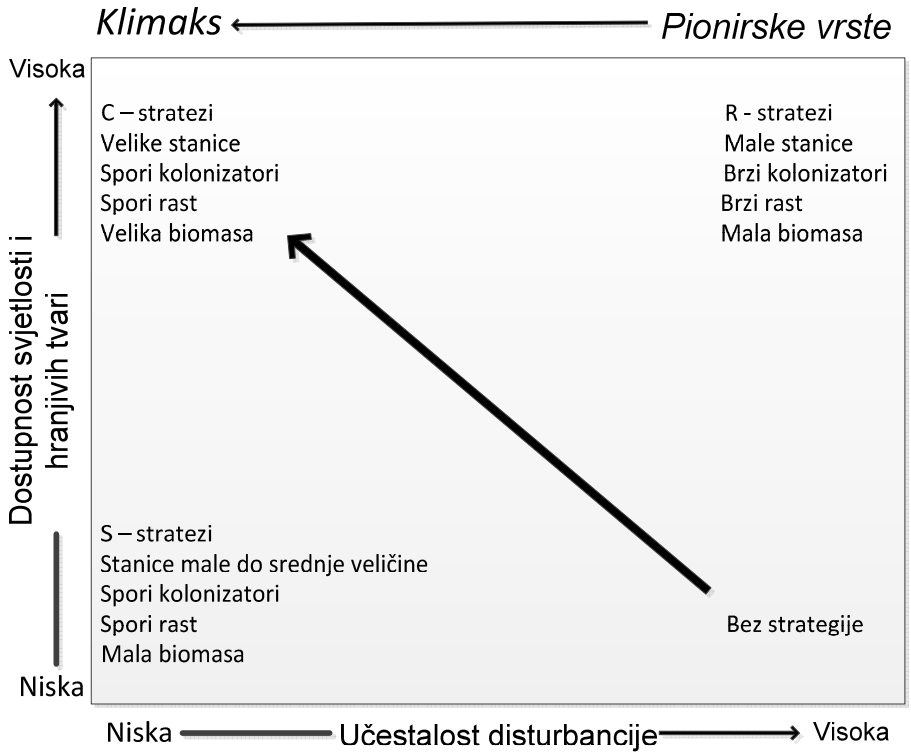
Na rast i razvoj obraštaja utječu različiti fizikalno-kemijski čimbenici kao što su tip podloge (Vymazal i Richardson, 1995; Biggs i Smith, 2002), intetnzitet osvjetljenja (Maltais i Vincent, 1997), kiselost vode (Verbs i Vis, 2000) te hranidbeni pritisak (eng. grazing) (Steinman, 1996; Muñoz i sur., 2000). Disturbancije, kao npr. poplave mogu imati negativan učinak na razvoj obraštaja budući da podizanje sedimenta može mehanički oštetiti obraštaj, a smanjena prozirnost vode može dovesti do odumiranja i smanjenja ukupnog broja alga u obraštajnim zajednicama (Ács i Kiss, 1993).



Slika 2. Obraštajne zajednice na staklenoj podlozi u Sakadaškom jezeru 2011. godine: a) Različite vrste dijatomeja na želatinoznim stapkama (povećanje 10 puta); b) *Gomphonema truncatum* pričvršćena za podlogu pomoću stapki s ljepljivim završecima (povećanje 40 puta)

Prema tzv. „konceptualnom modelu matrice staništa“ alge koje se razvijaju u obraštajnim zajednicama razlikuju se s obzirom na vrijeme naseljavanja podloga, prilagođenost uvjetima staništa odnosno dostupnim hranjivim tvarima i svjetlosti te disturbancijama (Biggs i sur., 1998). S obzirom na to razlikujemo: ruderalne vrste (R–stratezi), kompetitivne vrste (C i C–S–stratezi) i vrste otporne na stres (S–stratezi). R–stratezi vrlo brzo naseljavaju različite podloge bez obzira na dostupnost hranjivih tvari te su prepoznate kao tzv. pionirske vrste tijekom naseljavanja podloga. R–stratezi su obično malih dimenzija i brzo se razmnožavaju. Najveći broj vrsta karakteriziranih kao R–stratezi pripadaju razredu Bacillariophyceae. C–stratezi naseljavaju stabilna, eutrofna staništa. Podloge naseljavaju nakon ruderalnih vrsta u kasnijim fazama obraštaja te se njihovo naseljavanje obično povezuje s tzv. „klimaks–om“ obraštajnih zajednica. C–stratezi formiraju visoke filamentozne strukture kojima se izdižu iznad donjih slojeva obraštaja te na taj način lakše dolaze do hranjivih tvari i potrebne

količine svjetlosti. Za ovu skupinu karakteristične su alge iz skupine Chlorophyta. S-stratezi dominiraju u stabilnim, oligotrofnim staništima. S-stratezi imaju sposobnost fiksiranja dušika, a pojedine vrste koriste organske molekule kao izvor hranjivih tvari.



Slika 3. Shematski prikaz razvoja alga u obraštajnim zajednicama ovisno o učestalosti disturbancija i dostupnim resursima (prema Biggs i sur., 1998)

1.2. Istraživanja obraštaja u poplavnim područjima

Poplavna područja su vrlo produktivni ekosustavi s vrlo velikom biološkom raznolikošću. Istraživanje ovih područja intenzivnije je od objavljivanja koncepta poplavnog pulsa (eng. „flood pulse concept“, Junk i sur, 1989). Prema ovom konceptu rijeke i njihova poplavna područja su integrirane cjeline jednog dinamičkog sustava u kojem je dinamika plavljenja najvažniji ekološki čimbenik koji definira stupanj povezanosti rijeke i poplavnog područja i o kojem ovisi izmjena tvari i organizama u sustavu rijeka–poplavno područje. U poplavnom području se nepravilno izmjenjuju limnofaza ili izoliranost poplavnog područja od matične

rijeke i potamofaza ili razdoblje hidrološke povezanosti vodenih mikrolokaliteta s matičnom rijekom (Junk i sur., 1989).

Poplavna područja su eutrofni sustavi vrlo pogodni za razvoj obraštajnih zajednica. Dosadašnja istraživanja alga u obraštajnim zajednicama poplavnih područja uglavnom su provedena u tropskim (Paraná, Brazil) i suptropskim (Everglades, Florida, SAD) područjima, dok su istraživanja u klimatski umjerenim područjima vrlo rijetka. U poplavnom području rijeke Paraná bogato je razvijena makrofitska vegetacija te je najveći broj istraživanja alga u obraštaju proveden na ovim prirodnim podlogama. Utvrđena je velika raznolikost alga na prirodnim podlogama, osobito u vrijeme plavljenja. Tijekom poplava zabilježena je i veća sličnost obraštajnih zajednica u lotičkim i lentičkim sustavima s obzirom na sastav i brojnost alga (Rodrigues i Bicudo, 2001). Algarte i sur. (2009.) su ustanovili da se tijekom plavljenja intenzivno razvija makrofitska vegetacija koja povećava heterogenost staništa te s njenim razvojem nastaju nove podloge pogodne za razvoj obraštajnih zajednica koje karakterizira veliki broj različitih vrsta alga.

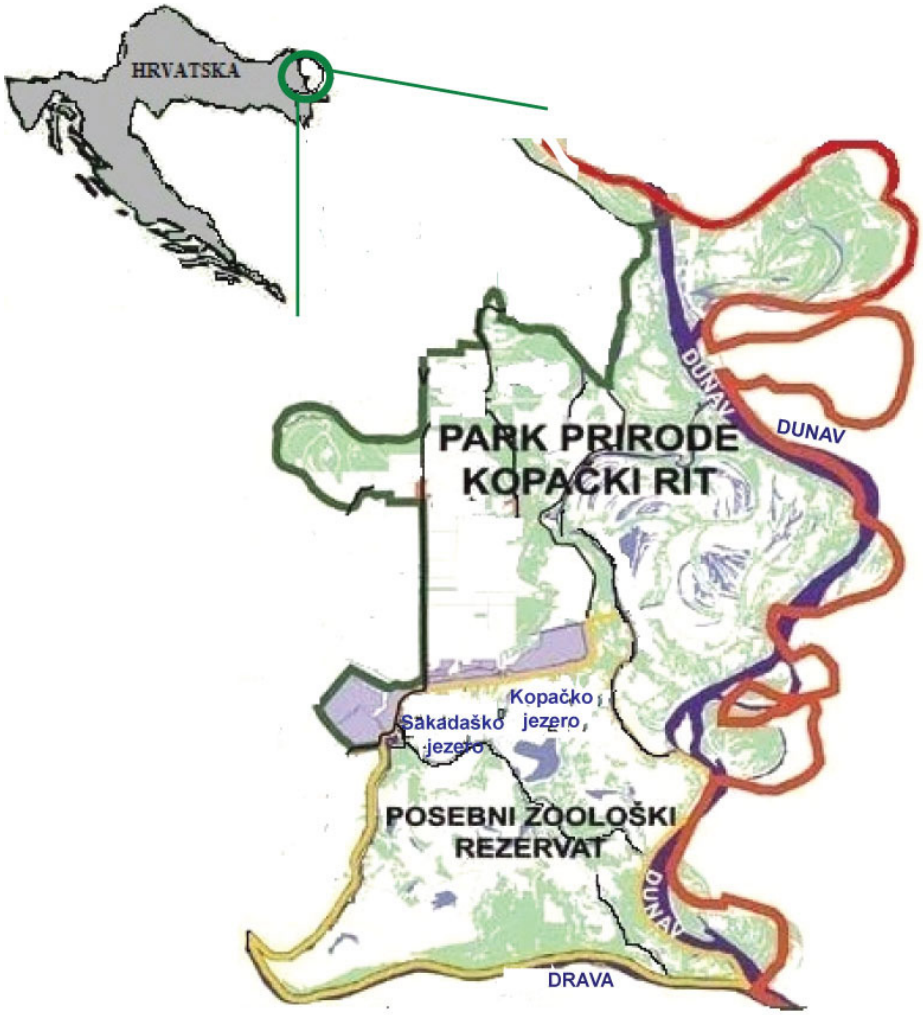
Suptropsko poplavno područje Everglades (Florida, SAD) karakterizira izrazito dinamičan hidrološki režim. U ovom se području izmjenjuju sušna razdoblja s razdobljima plavljenja, a utvrđeno je da obraštaj vrlo brzo „odgovara“ na promjene u hidrološkom režimu i koncentraciji dostupnih hranjivih tvari. Plavljenje dovodi do resuspenzije hranjivih tvari što ima stimulirajući učinak na razvoj alga i potiče razvoj velikog broja različitih vrsta alga u obraštaju. Ovisno o dužini trajanja pojedinog razdoblja, obraštajne zajednice se razlikuju s obzirom na brojnost i sastav alga. Tako se u područjima koja su tijekom dužeg vremenskog razdoblja poplavljena intenzivnije razvija obraštaj na makrofitama u kojem uglavnom dominiraju dijatomeje, dok se u područjima u kojima se brže izmjenjuju sušna razdoblja i razdoblja plavljenja, intenzivnije razvijaju obraštajne zajednice na kamenim podlogama i sedimentu bogatom hranjivim tvarima u kojima većinom dominiraju alge iz skupine Cyanobacteria (Gottlieb, 2006).

1.3. Cilj istraživanja

Cilj ovog istraživanja je utvrditi dinamiku naseljavanja alga na umjetne podloge u Sakadaškom jezeru, sastavnom dijelu Kopačkog rita, poplavnog područja Dunava. Praćenjem promjena kvalitativnog i kvantitativnog sastava alga u razdoblju od svibnja do lipnja 2011. godine utvrdit će se razvoj trodimenzionalne strukture zajednice. Također će biti praćene promjene fizikalno-kemijskih parametara vode istraživanog lokaliteta kako bi se utvrdili abiotički čimbenici značajni za razvoj alga u obraštaju.

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Park prirode Kopački rit (Sl. 4) nalazi se na krajnjem sjeveroistočnom dijelu Republike Hrvatske. Prostire se između 45°15' - 45°53' zemljopisne širine i 16°06' - 16°41' zemljopisne dužine, na nadmorsoj visini od oko 82 m. Prekriva površinu od oko 23 km^2. Ovalnog je oblika, dužine oko 8-10 km u smijeru zapad-istok te oko 7-9 km u smijeru sjever-jug (Bognar, 1990).



Slika 4. Zemljovid Parka prirode Kopački rit

(http://www.kopacki-rit.com/docs/plan_upravljanja.pdf)

Na hirologiju Kopačkog rita utječu rijeke Drava i Dunav, podzemne vode i padaline. Kopački rit se nalazi u srednjem dijelu toka Dunava (1410.–1383. r. km.), a smatra se da na hidrologiju i na reljef Kopačkog rita najveći utjecaj imaju vode Dunava. Vodostaj Dunava ovisi o otapanju snijega i leda u Alpama. Tako su visoki vodostaji zabilježeni u razdoblju od ožujka do kolovoza, a niski od rujna do veljače. Izgled cijelog prostora ovisi o vodostaju Dunava i o intezitetu plavljenja. Posebno značajni podsustavi kompleksnog hidrološkog sustava Kopačkog rita su vodom trajno ispunjena jezera i mreža kanala kojom se odvija izmjena voda između poplavnog područja i Dunava. U reljefu Kopačkog rita razlikuju se bare, grede, fokovi, kanali i jezera (Mihaljević i sur., 1999). To su različite mikroreljefne strukture koje su podložne promjenama zbog složenih hidroloških uvjeta, redovitih plavljena područja i velike količine nanosa. Površinom je najveće Kopačko jezero, a najdublje-Sakadaško jezero.

Hidrološka slika Kopačkog rita predstavlja dinamičnu cjelinu koja je promjenjiva u prostoru i vremenu, a koja ovisi o promjenama vodostaja Dunava. Višestoljetni utjecaj vode, a u poslijednjih 300 godina i antropološki utjecaj, određuju prostorne granice i stalne promjene unutar područja Kopačkog rita. Porastom vodostaja Dunava Kopački rit se počinje puniti vodom. Tada bitnu ulogu preuzima mreža kanala koja povezuje Kopački rit s Dunavom (Hulovski kanal i Dunavci). Opadanjem vodostaja Dunava voda počinje izlaziti iz rita kanalom Renovo, koji je vodena veza Kopačkog rita sa Dravom. Prilikom pražnjenja Kopačkog rita vodostaj se dnevno snizi za oko 10 cm te postupno sva područja iznad 80 m nadmorske visine ostaju bez vode (Mihaljević i sur., 1999).

Klima Kopačkog rita je na granici srednjoeuropsko–kontinentalne i kontinentalne klime Panonske nizine. Za Kopački rit važni su padalinski minimumi, odnosno sušna razdoblja jer o tome ovisi navodnjenost područja. Promjene temperature zraka su sukladne osnovnim značajkama panonskog prostora. Značajno isparavanje vode u Kopačkom ritu tijekom ljetnih mjeseci odvija se u jezerima i rukavcima kada dnevno sniženje vodostaja dostiže i do nekoliko centimetara (Mihaljević i sur., 1999).

Tlo Kopačkog rita je pod utjecajem poplava zbog male nadmorske visine područja i blizine riječnih tokova Drave i Dunava te podzemnih voda. Stoga se ovdje razvio karakterističan vegetacijski pokrov, gotovo potpuno očuvan u autohtonom stanju te kao takav predstavlja izuzetnu ekološku vrijednost.

Zbog iznimne prirodne vrijednosti Kopački je rit zaštićen još 1967. godine statusom Upravljanog prirodnog rezervata. Godine 1993. uvršten je na Popis Ramsarskih područja, na kojem su područja zaštićena Konvencijom o vlažnim područjima od međunarodnog značaja. Prema Ramsarskoj klasifikaciji dominantni tipovi staništa u Kopačkom ritu su trajno poplavljene slatkovodne močvare i bare s vodenom vegetacijom tijekom većeg dijela vegetacijske sezone.

Složeni i vrlo vrijedni ekološki sustav Kopačkog rita obilježavaju različiti tipovi vodenih i kopnenih staništa koje naseljavaju mnogobrojne biološke vrste. U Sakadaškom jezeru je utvrđena velika raznolikost fitoplanktonskih vrsta (Mihaljević i sur., 1999).

Istraživanje razvoja obraštaja je provedeno u Sakadaškom jezeru (Sl. 5). To je najdublje, a prema postanku najmlađe jezero na području Kopačkog rita. Nastalo je 1926. godine kada je izlijevanje dunavskih voda probilo nasip Zmajevac–Kopačevo te se voda ovdje trajno zadržala (Gucunski, 1994). Jezero je ovalnog oblika i relativno strmih obala. Dno Sakadaškog jezera je ispresijecano mnogim vrtačama i depresijama pa njegova maksimalna dubina može doseći i do 12 m, no prosječna dubina je oko 7 m. Jezero je kanalom Čonakut povezano s Kopačkim jezerom, a preko njega sustavom kanala s Dunavom. U plitkim dijelovima jezera razvija se makrofitska vegetacija u kojoj posebno dominiraju *Ceratophyllum demersum* L., *Myriophyllum spicatum* L. *i Potamogeton gramineus* L.. Na obale jezera obrasle trskom (*Phragmites communis* Trin.) nastavljaju se šume bijele vrbe (*Salix alba* L.) i crne topole (*Populus nigra* L.).



Slika 5. Sakadaško jezero

(Fotografija: Zavod za ekologiju voda)

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Dizajn eksperimenta

Istraživanje je provedeno u Sakadaškom jezeru, u uvali u blizini kanala Čonakut, u razdoblju od 20. travnja do 28. lipnja 2011. godine.

Za istraživanje obraštaja načinjen je drveni nosač dimenzija 2 x 6 m. Nosač je postavljen oko 12 m od obale kako bi se spriječilo zasjenjivanje obraštaja okolnom vegetacijom (Sl. 6). Kako bi se spriječilo odplavljivanje, nosač je privezan konopcima za kamene blokove spuštene na dno jezera. Za praćenje naseljavanja alga i razvoja obraštaja korištene su staklene podloge dimenzija 6 x 14 cm (Sl. 7). Podloge su učvršćene u drvene okvire, privezane na drveni nosač i uronjene na dubinu od 20 cm. Po tri nasumično odabrane staklene podloge prikupljane su u dvotjednim intervalima. Svaka staklena podloga je prenešena u laboratorij u posebnoj staklenoj boci ispunjenoj sterilnom fiziološkom otopinom.



Slika 6. Postaja za istraživanje obraštaja u razdoblju od travnja do lipnja 2011. godine u Sakadaškom jezeru

(Fotografija: Zavod za ekologiju voda)



Slika 7. Staklene podloge za praćenje razvoja obraštaja u razdoblju od travnja do lipnja 2011. godine u Sakadaškom jezeru
(Fotografija: Zavod za ekologiju voda)

3.2. Mjerenje fizikalno-kemijskih svojstava vode

Na terenu su mjerena fizikalno-kemijska svojstva vode i uzeti su uzorci za kemijsku analizu vode i analizu klorofila *a* u vodi.

Temperatura zraka mjerena je živinim termometrom s podjelom ljestvice 10/1°C. Mjerenje je provedeno u sjeni, 10 cm iznad površine vode.

Dubina vode jezera na postaji za istraživanje određena je pomoću baždarenog konopca s utegom.

Prozirnost vode određivana je pomoću Secchi ploče.

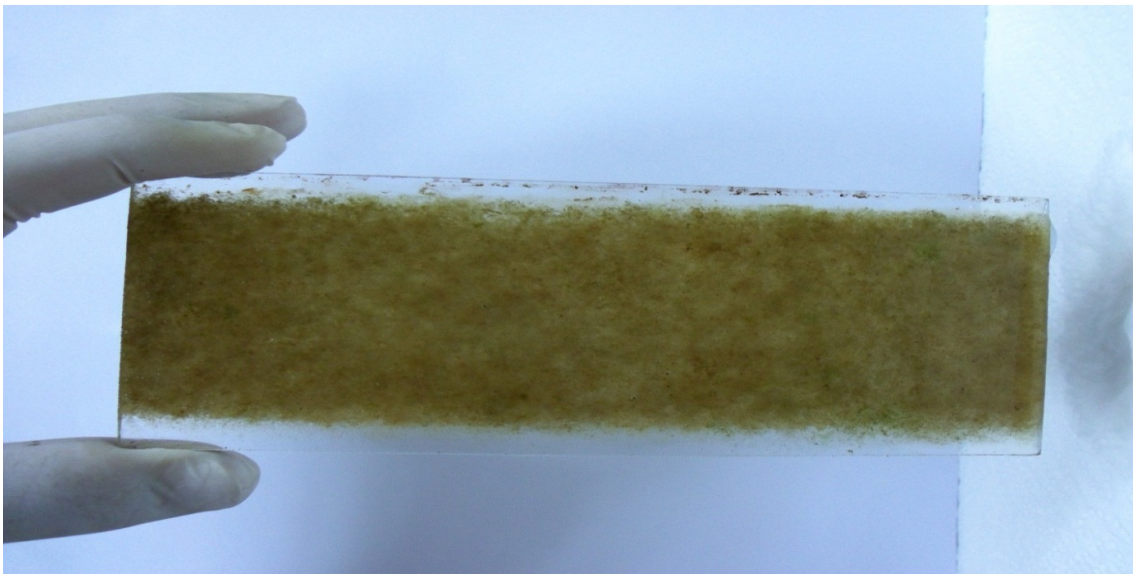
Koncentracija otopljenog kisika (mg/L), provodljivost vode (µS/cm), pH i temperatura vode (°C) mjereni su prenosivim uređajem mini-lab (Multi 340i/SET). Uređaj je kalibriran u laboratoriju prije svakog izlaska na teren.

Kemijska analiza vode je provedena standardnim metodama (APHA, 1985) u Ekološkom laboratoriju Vodovoda d. d. Osijek. Određene su koncentracije amonijevih iona, nitrata, nitrita, ukupnog dušika i ukupnog fosfora u vodi.

Za određivanje koncentracije klorofila *a* uzorci vode uzeti su na dubini od 20 cm u ravnini umjetnih podloga.

3.3. Laboratorijske analize

Obraštaj je pomoću žileta sastrugan s obje strane staklene podloge (Sl. 8). Jedan dio obraštaja sastrugan je u 100 ml destilirane vode, sonificiran 2 minute, fiksiran u 4 % -tnoj otopini formaldehida i upotrebljen za kvalitativnu i kvantitativnu analizu alga u obraštaju. Drugi dio obraštaja sastrugan je u 100 ml vodovodne vode i upotrebljen za analizu klorofila. Nakon filtriranja kroz filter-papir Whatman GF/C (ø 55 mm) pigmenti su ekstrahirani 90% -tnim acetonom. Koncentracije klorofila određene su spektrofotometrijski prema Komárková (1989). Ostatak obraštaja sastrugan je u prethodno izvagani lončić za žarenje i upotrebljen za analizu biomase obraštaja metodom po APHA (1985). Sastrugani obraštaj osušen je na 105°C/24 h te je nakon vaganja žaren na 500°C/1 h. Određena suha tvar (eng. Dry Weight-DW), odnosi se na organsku i anorgansku tvar obraštaja. Sadržaj organske tvari (eng. Ash Free Dry Weight-AFDW) izračunat je kao razlika između suhe tvari (DW) i težine pepela (eng. Ash Free Weight-AW).



Slika 8. Staklena podloga sa obraštajem razvijenim tijekom 42 dana u Sakadaškom jezeru 2011. godine

(Fotografija: Zavod za ekologiju voda)

Uzorci vode za analizu klorofila (1L) filtrirani su kroz filter-papir Whatman GF/C (ø 55 mm). Pigmenti su ekstrahirani 90%-tnim acetonom, a koncentracije klorofila određene su spektrofotometrijski prema Komárková (1989).

Kvalitativna analiza alga u obraštaju provedena je pomoću svjetlosnog mikroskopa (Carl Zeiss Jenna) i software - a Moticam 2300. Od svakog prikupljenog uzorka (po tri uzorka za svaki datum uzorkovanja) pregledano je oko deset preparata. Vrste su određene pomoću standardnih priručnika za determinaciju alga (Hindak, 1997-1990; 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).

U svrhu kvalitetnije i potpunije taksonomske analize dijatomeja napravljeni su trajni preparati. 5 mL uzorka je isprano s 5 mL destilirane vode i centrifugirano dvije minute na 1500 okretaja u minuti. Dobiveni supernatant je dekantiran, a ispiranje taloga destiliranom vodom i centrifugiranje ponovljeno je pet puta. Na izdvojeni talog je dodano 10 mL 30 % - tnog H_2O_2, a zagrijavanjem na 90°C/3 h i dodatkom nekoliko kapi 1M HCl odstranjen je organski materijal. Nakon hlađenja ponovljen je postupak ispiranja taloga destiliranom vodom. Na čiste i suhe pokrovnice prenešen je 1 mL očišćenog uzorka. Uzorak je sušen na pokrovnicama 24 sata na ravnom i mirnom mjestu bez vibracija. Nakon 24 sata na blago zagrijano predmetno stakalce nanešena je kap Canada balzama koja je zatim prekrivena pokrovnicom s osušenim uzorkom. Od svakog uzorka napravljeno je pet trajnih preparata.

3.4. Statistička obrada podataka

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

Primjenom Pearson -ovog koeficijenta korelacije (Petz, 2002) utvrđena je mjera linearne zavisnosti između istraživanih parametara. Njegova točna vrijednost u populaciji procjenjuje se u uzorku s *r* gdje je:

$$r = \frac{\sum(x - \overline{x})(y - \overline{y})}{\sqrt{\sum(x - \overline{x})^2 \, (y - \overline{y})^2}}$$

Vrijednost *r* je u rasponu od -1 do +1. Ako je r = 0, tada nema statističke korelacije, ali što je *r* bliži ekstreminim vrijednostima, to je i stupanj linearne povezanosti veći, odnosno vrijednosti su u statističkoj korelaciji. Pozitivan ili negativan predznak ukazuje na smjer korelacije. Ako je predznak pozitivan znači da statistički korelirane varijable zajedno rastu. Nasuprot tome, ako je predznak negativan, kako vrijednost jedne varijable raste, tako pada vrijednost druge.

Struktura alga u obraštajnim zajednicama opisana je neparametrijskim modelima (indeksima). Raznolikost alga u obraštajnim zajednicama izračunata je Shannon–Weaver–ovim (H') indeksom (Shannon, 1948) osjetljivim na brojnost rijetkih vrsta:

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

gdje je:

H' – Shannon–Weaver–ov indeks raznolikosti

p_i – udio i–te vrste u uzorku

S – broj vrsta u uzorku

Drugi korišteni ideks za utvrđivanje raznolikosti alga u obraštaju je Simpson–ov (1 – λ') indeks (Krebs, 1999) koji je osjetljiv na brojnost dominantnih vrsta:

$$1 - D = \sum_{S=1}^{S} p_i^2$$

gdje je:

$1 - D$ – Simpson–ov indeks raznolikosti

pi – udio i–te vrste u uzorku

S – broj vrsta u uzorku

Ujednačenost je definirana kao odnos uočene raznolikosti, prema maksimalno dobivenoj raznolikosti (Pielou, 1969):

$$E_H = \frac{H'}{H_{max}} = \frac{H'}{\ln S}$$

Indeks florne sličnosti s obzirom na kvalitativni sastav alga u obraštajnim zajednicama određen je prema Sörensen – u (1948):

$$IFS = \frac{2c}{a+b} \times 100$$

gdje je:

a – broj vrsta u uzorku a

b – broj vrsta u uzorku b

c – broj zajedničkih vrsta

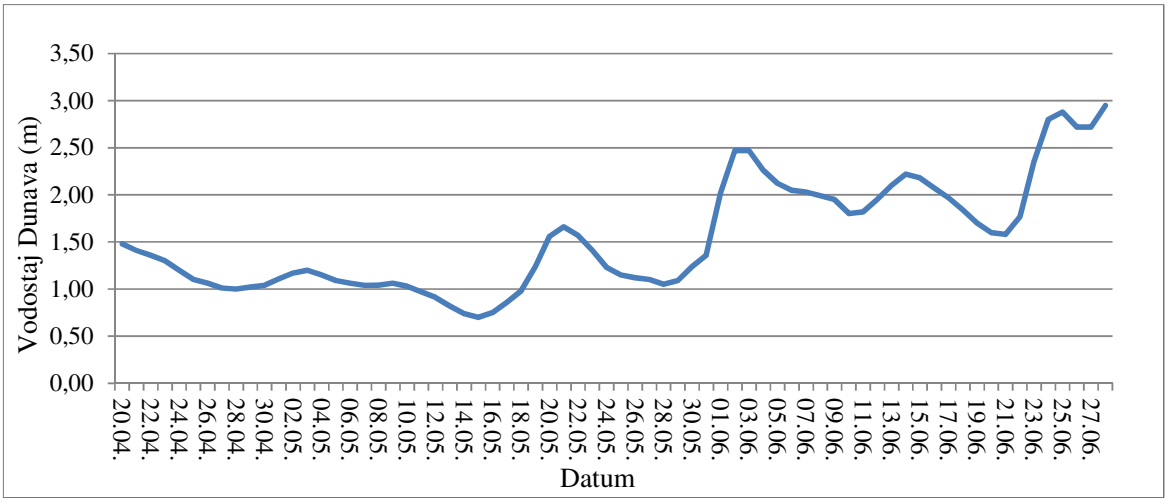
Radi utvrđivanja sličnosti između obraštajnih zajednica s obzirom na kvantitativni sastav alga korištena je hijerarhijska klaster analiza. Stupanj sličnosti između uzoraka izračunat je pomoću Bray-Curtis-ovog indeksa sličnosti.

Razlike između obraštajnih zajednica s obzirom na ukupan broj alga po jedinici površine određene su ordinacijskom metodom nemetrijskog višedimenzijskog grupiranja NMDS (eng. non-metric multidimensional scaling). Ova metoda omogućuje grafički prikaz odnosa uzoraka u dvije ili više dimenzija. Podaci su prije analize logaritamski transformirani. Primjenjena transformacija smanjuje važnost vrlo brojnih vrsta tako da i vrste koje su bile manje brojne doprinose analizi. Transformacija podataka može biti različita (Clarke i Warwick, 2001).

4. REZULTATI

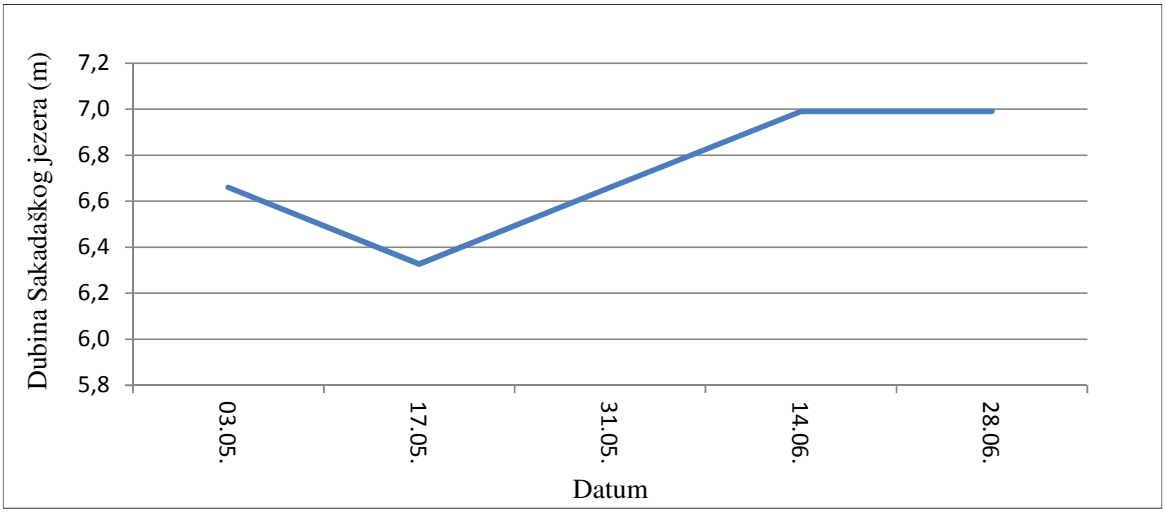
4.1. Fizikalno-kemijska svojstva vode

U svrhu utvrđivanja dinamike plavljenja Sakadaškog jezera korišteni su podaci vodostaja Dunava zabilježeni na mjernoj postaji kraj Apatina, smještenoj na 1401,4 r. km. Dunava. Plavljenje Sakadaškog jezera započinje kada vodostaj Dunava na mjernoj postaji pokraj Apatina prijeđe 3 m (Mihaljević i sur., 1999). Tijekom istraživanja vodostaj Dunava bio je nizak, a najviši vodostaj od 2,95 m zabilježen je zadnjeg dana istraživanja u lipnju (Sl. 9).



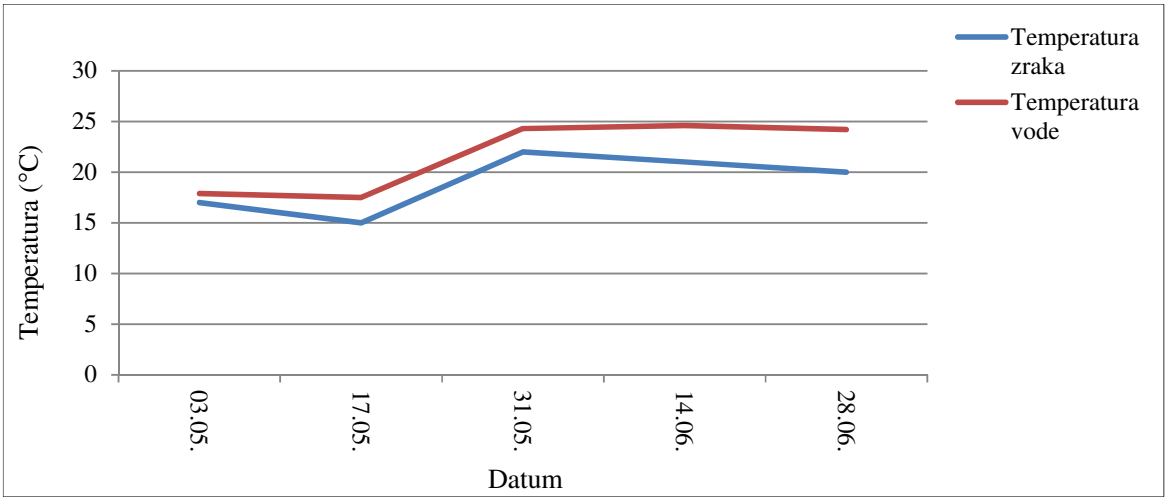
Slika 9. Dnevne promjene vodostaja Dunava na mjernoj postaji pokraj Apatina u razdoblju od 20. travnja do 28. lipnja 2011. godine

Dubina vode Sakadaškog jezera na postaji za istraživanje obraštaja nije se značajno mijenjala i bila je u granicama od 6,33-6,99 m (Sl. 10).



Slika 10. Dubina vode Sakadaškog jezera na postaji za istraživanje obraštaja u razdoblju od svibnja do lipnja 2011. godine

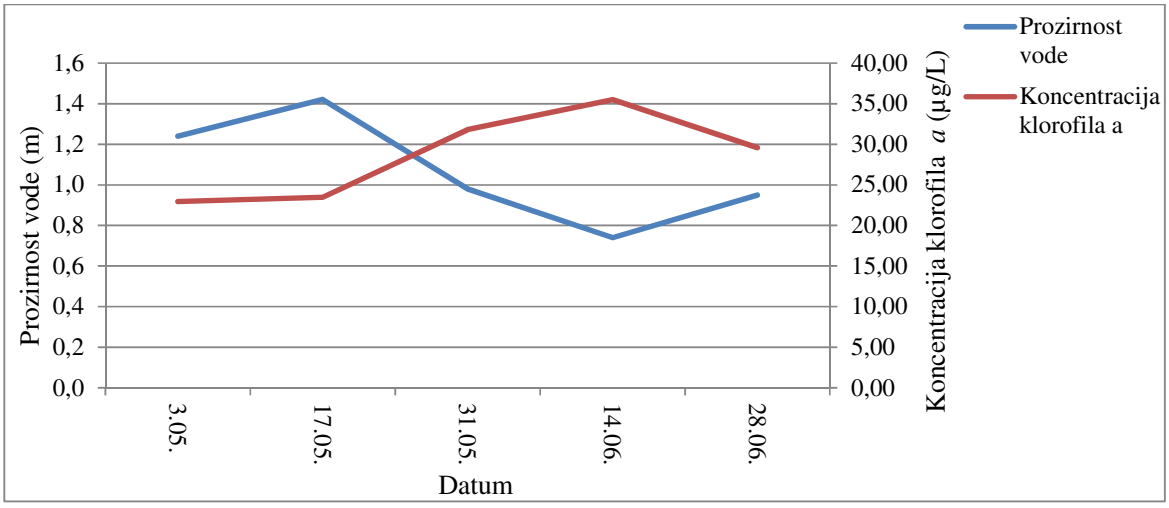
Temperatura zraka bila je visoka tijekom istraživanja i kretala se u granicama od 15–22 °C (Sl. 11). Temperatura vode (Sl. 11) kretala se od 17,9–24,2 °C i mijenjala se sukladno promjenama temperature zraka na što ukazuju i visoki koeficijenti korelacije između istraživanih parametara ($p = 0,013$, $r = 0,9496$).



Slika 11. Temperatura zraka i temperatura vode na postaji za istraživanje obraštaja u Sakadaškom jezeru u razdoblju od svibnja do lipnja 2011. godine

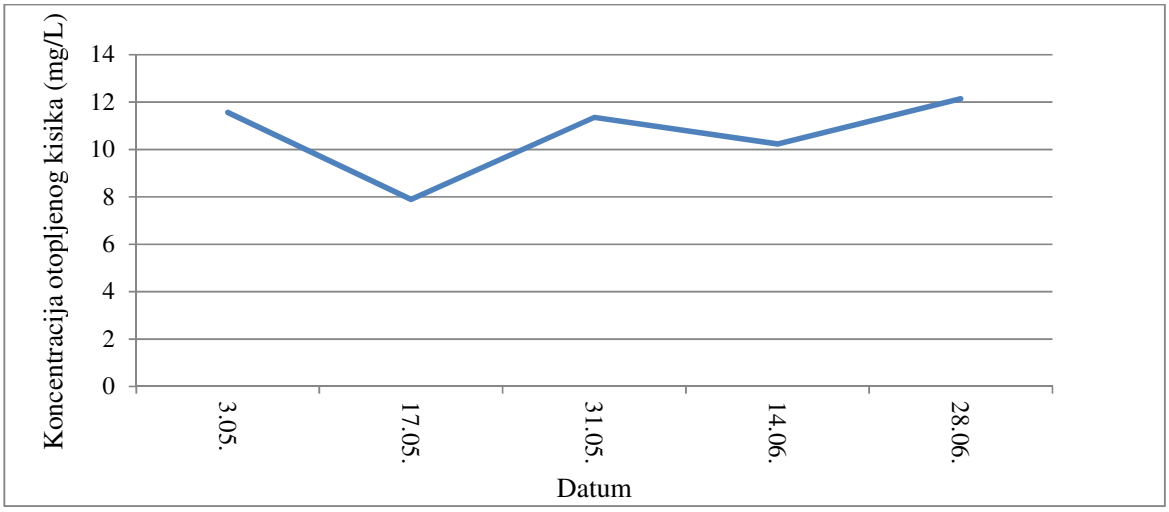
Prozirnost vode Sakadaškog jezera (Sl. 12) bila je veća na početku istraživanja (od 1,24–1,42 m). Od kraja svibnja do kraja lipnja prozirnost vode bila je mala i nije prelazila 1 m.

Koncentracija klorofila *a* u površinskom sloju vode tijekom istraživanja kretala se u granicama od 22,96-35,48 µg/L (Sl. 12).



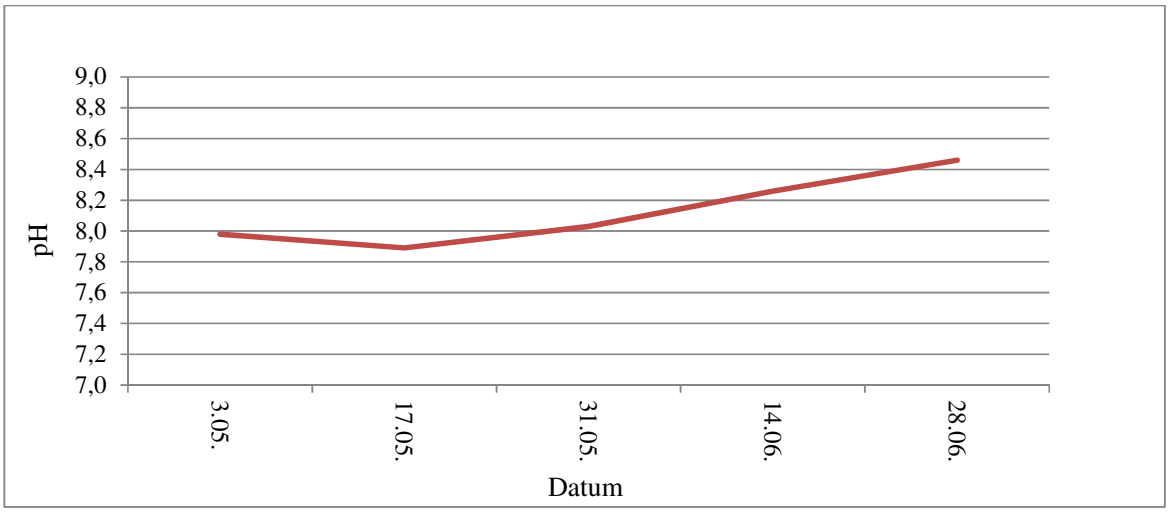
Slika 12. Prozirnost vode i koncentracija klorofila *a* u vodi na postaji za istraživanje obraštaja u Sakadaškom jezeru u razoblju od svibnja do lipnja 2011. godine

Koncentracija otopljenog kisika u vodi tijekom razdoblja istraživanja kretala se u granicama od 7,9-12,14 mg/L (Sl. 13).



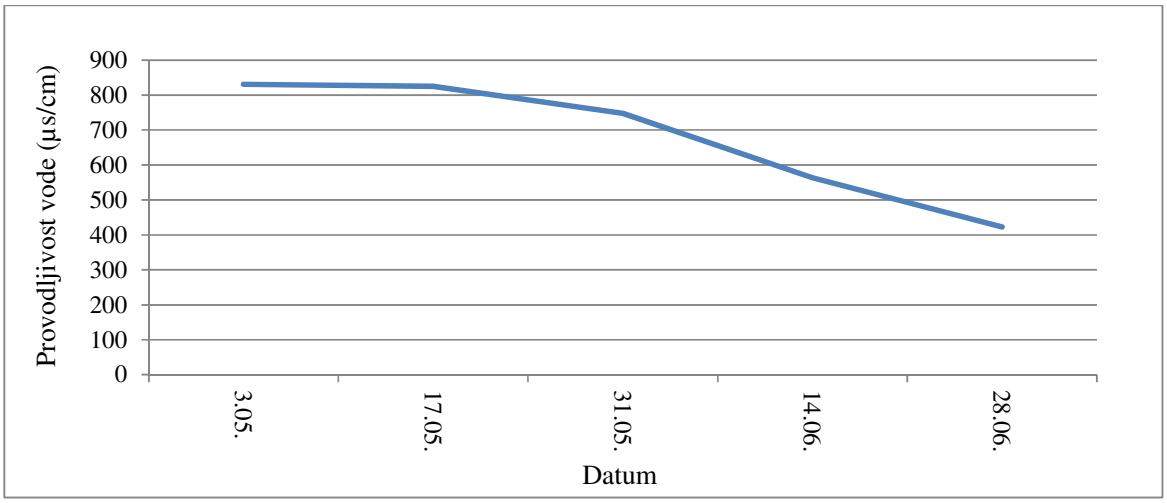
Slika 13. Koncentracija otopljenog kisika u vodi na postaji za istraživanje obraštaja u Sakadaškom jezeru od svibnja do lipnja 2011. godine

Izmjerene pH vrijednosti kretale su se u granicama od 7,89-8,46 (Sl. 14). S obzirom na utvrđene relativno visoke vrijednosti, možemo zaključiti da je voda Sakadaškog jezera tijekom cijelog istraživanja bila blago lužnata.



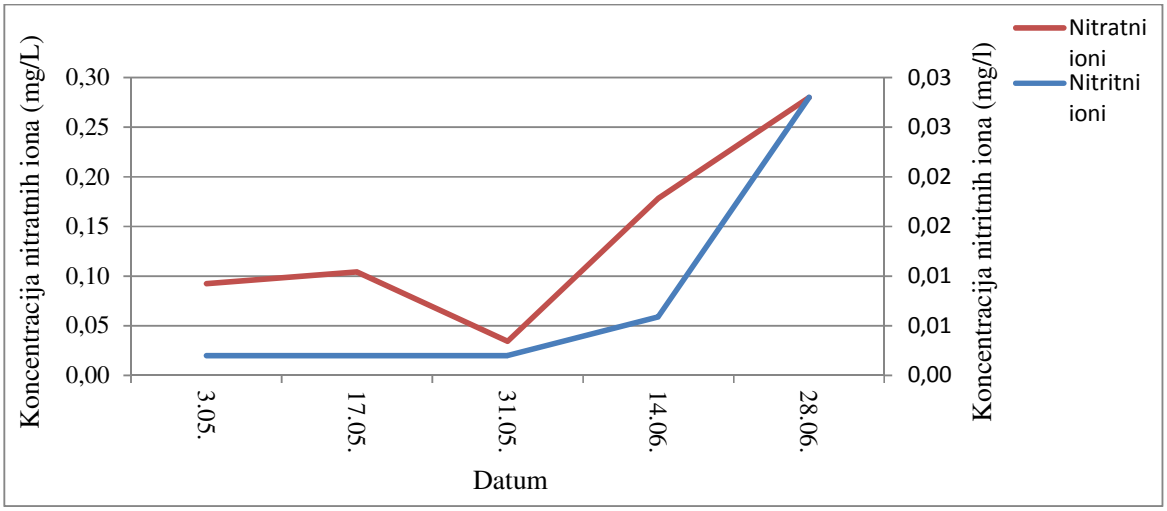
Slika 14. pH vode na postaji za istraživanje obraštaja u Sakadaškom jezeru u razdoblju od svibnja do lipnja 2011. godine

Provodljivost vode bila je visoka na početku istraživanja u svibnju (od 03.05. do 17.05.), dok se od lipnja kontinuirano smanjivala te su najniže vrijednosti od 422,4 µs/cm zabilježene zadnjeg dana istraživanja u lipnju (Sl. 15). Utvrđena je statistički značajna korelacija između provodljivosti vode i koncentracije nitrata ($p = 0,048$, $r = 0,8814$).

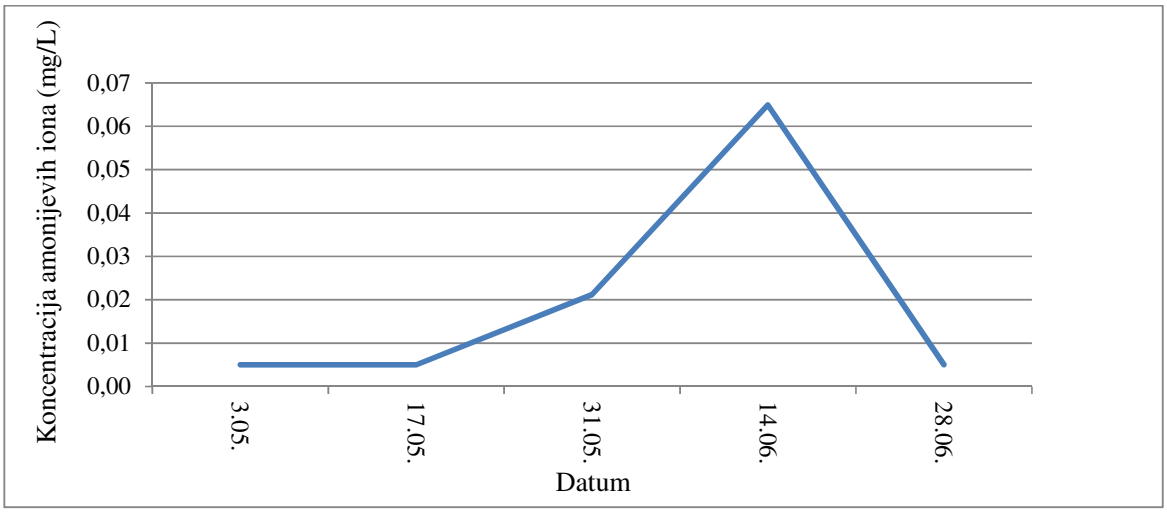


Slika 15. Provodljivost vode na postaji za istraživanje obraštaja u Sakadaškom jezeru u razdoblju od svibnja do lipnja 2011. godine

Konentracije nitratnih i nitritnih iona značajno su se mijenjale tijekom istraživanja (Sl. 16). Tako je najniža koncentracija nitratnih iona (0,0344 mg/L) zabilježena krajem svibnja, a najviša na kraju istraživanja u lipnju (0,2796 mg/L). Koncentracije nitritnih iona bile su u granicama od 0,002–0,028 mg/L. Koncentracije amonijevih iona kretale su se u granicama od 0,005–0,0649 mg/L (Sl. 17). Više vrijednosti zabilježene su na početku istraživanja u svibnju, a niže vrijednosti u lipnju.

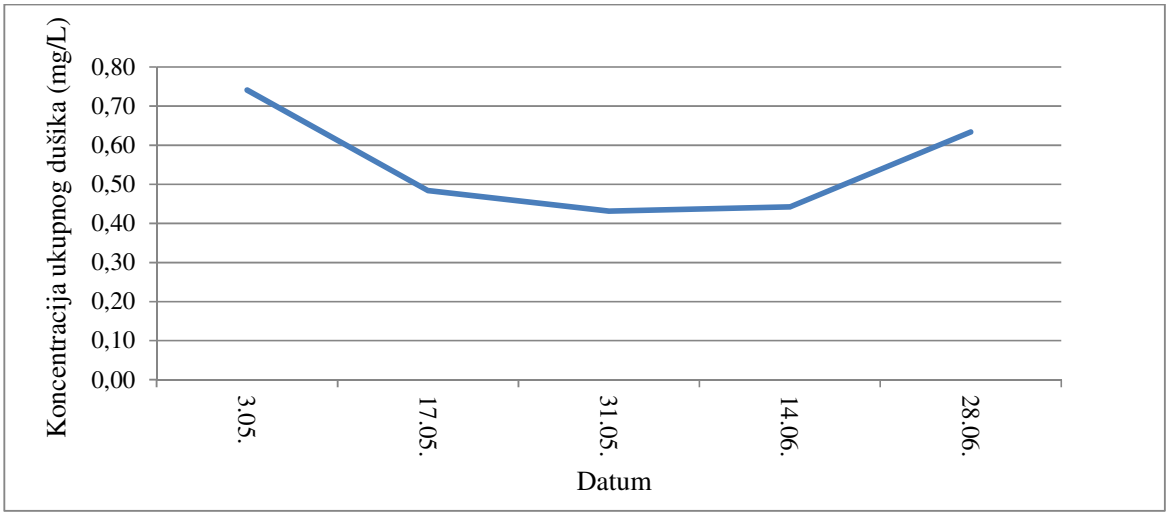


Slika 16. Koncentracije nitratnih i nitritnih iona na postaji istraživanja obraštaja u Sakadaškom jezeru u razdoblju od svibnja do lipnja 2011. godine



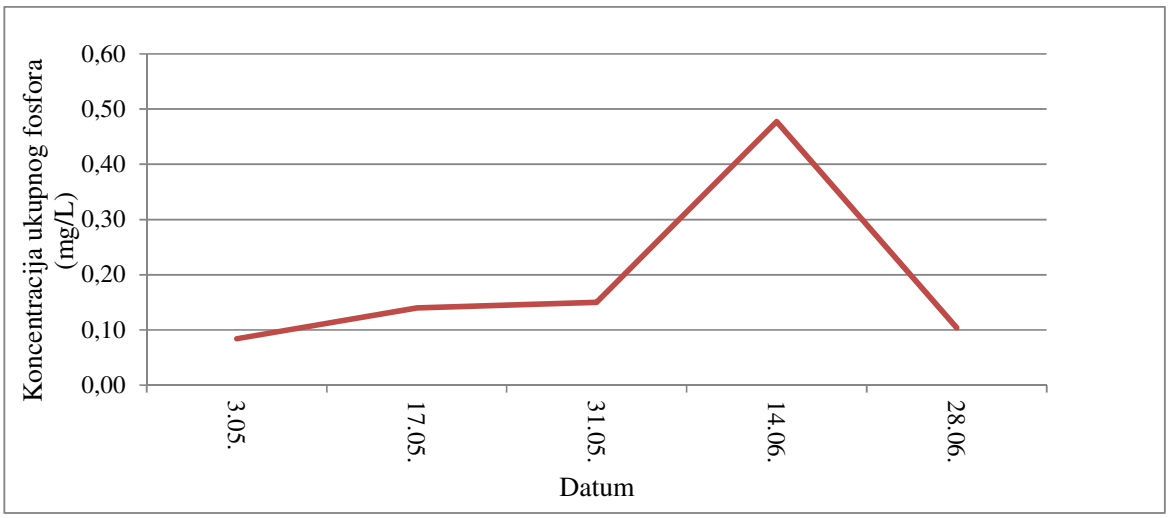
Slika 17. Koncentracija amonijevih iona na postaji istraživanja obraštaja u Sakadaškom jezeru u razdoblju od svibnja do lipnja 2011. godine

Najviša koncentracija ukupnog dušika zabilježena je na početku istraživanja u svibnju i iznosila je 0,741 mg/L. Od sredine svibnja do sredine lipnja koncentracija ukupnog dušika nije se značajno mijenjala i bila je u granicama od 0,4313–0,4419 mg/L, nakon čega je krajem lipnja zabilježen ponovni porast (Sl. 18).



Slika 18. Koncentracija ukupnog dušika (TN) na postaji za istraživanje obraštaja u Sakadaškom jezeru u razdoblju od svibnja do lipnja 2011. godine

Koncentracija ukupnog fosfora u vodi kontinuirano se povećavala tijekom svibnja, a najviša je koncentracija zabilježena sredinom lipnja (0,4775 mg/L). Na kraju istraživanja u lipnju koncentracija ukupnog fosfora značajno smanjila se i iznosila je 0,1043 mg/L (Sl. 19).



Slika 19. Koncentracija ukupnog fosfora (TP) na postaji za istraživanje obraštaja u Sakadaškom jezeru u razdoblju od svibnja do lipnja 2011. godine

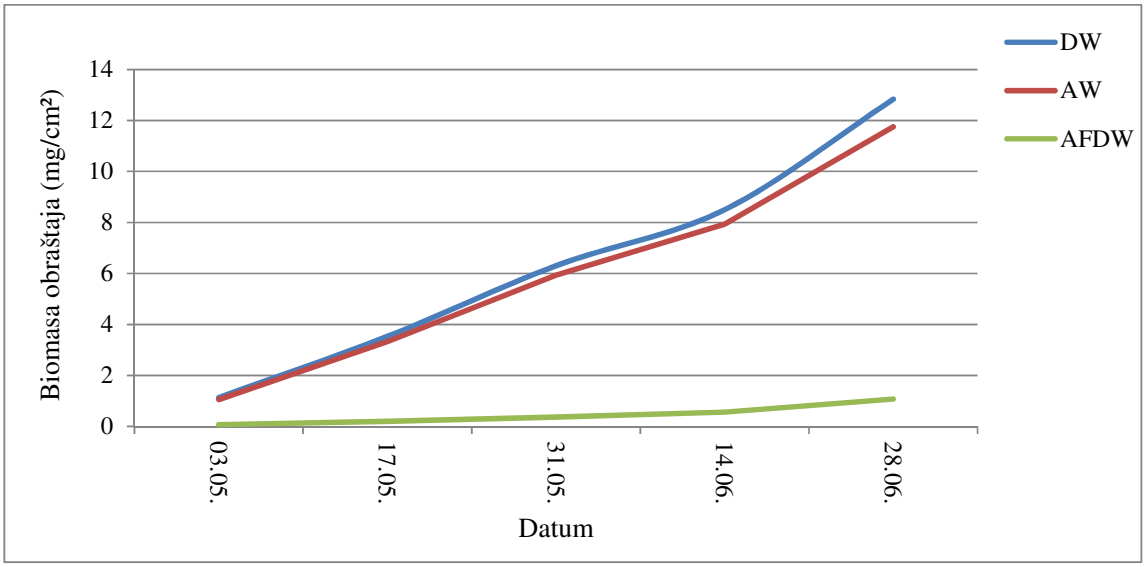
Tablica 1. Korelacija (r) parametara fizikalno-kemijskih svojstava vode Sakadaškog jezera u razdoblju od 3. svibnja do 28. lipnja 2011. godine.

	Dubina vode (WD)	Prozirnost (SD)	Temperatura zraka (AT)	Otopljeni kisik (DO)	pH	Provodljivost vode	NH_4^+	NO_3^-	NO_2	Ukupni dušik (TN)	Ukupni fosfor (TP)	Vodostaj
Dubina vode (WD)	1,0000 p= ---	-0,8948 p= 0,040	0,7384 p= 0,172	0,6841 p= 0,203	0,9076 p= 0,033	-0,8617 p= 0,060	0,5142 p= 0,375	0,6819 p= 0,205	0,6305 p= 0,254	0,1011 p= 0,872	0,4604 p= 0,435	0,7552 p= 0,140
Prozirnost (SD)	-0,8948 p= 0,040	1,0000 p= ---	-0,8999 p= 0,037	-0,5112 p= 0,379	-0,7415 p= 0,152	0,7334 p= 0,158	-0,7583 p= 0,137	-0,4041 p= 0,500	-0,3562 p= 0,556	0,3160 p= 0,604	-0,6749 p= 0,211	-0,8517 p= 0,067
Temperatura zraka (AT)	000,7184 p=00,172	-0,8999 p= 0,037	1,0000 p= ---	0,6101 p= 0,274	0,5723 p= 0,313	-0,5596 p= 0,327	0,5566 p= 0,330	0,1252 p= 0,841	0,2561 p= 0,678	-0,3833 p= 0,524	0,4127 p= 0,490	0,8264 p= 0,085
Temperatura vode (WT)	0,7844 p= 0,116	-0,9275 p= 0,023	0,9496 p= 0,013	0,5058 p= 0,385	0,7418 p= 0,151	-0,7588 p= 0,137	0,5687 p= 0,317	0,3743 p= 0,535	0,4609 p= 0,435	-0,4336 p= 0,466	0,4751 p= 0,419	0,9602 p= 0,009
Otopljeni kisik (DO)	0,6841 p= 0,203	-0,5112 p= 0,379	0,6101 p= 0,274	1,0000 p= ---	0,5695 p= 0,316	-0,4544 p= 0,442	-0,0714 p= 0,909	0,2709 p= 0,401	0,4912 p= 0,401	0,4849 p= 0,408	-0,2145 p= 0,729	0,3834 p= 0,524
pH	0,9076 p= 0,033	-0,7415 p= 0,152	0,5723 p= 0,313	0,5695 p= 0,316	1,0000 p= ---	-0,9883 p= 0,002	0,2748 p= 0,665	0,8814 p= 0,048	0,8814 p= 0,048	0,1005 p= 0,872	0,2719 p= 0,658	0,8225 p= 0,087
Provodljivost vode	-0,8617 p= 0,060	0,7334 p= 0,158	-0,5596 p= 0,327	-0,4544 p= 0,442	-0,9883 p= 0,002	1,0000 p= ---	-0,3089 p= 0,613	-0,8872 p= 0,045	-0,8739 p= 0,053	0,0219 p= 0,972	-0,3222 p= 0,597	-0,8649 p= 0,058
NH_4^+	0,5142 p= 0,375	-0,7583 p= 0,137	0,5566 p= 0,330	-0,0714 p= 0,909	0,2748 p= 0,655	-0,3089 p= 0,613	1,0000 p= ---	0,0768 p= 0,902	-0,1886 p= 0,761	-0,5776 p= 0,308	0,9790 p= 0,004	0,4851 p= 0,407
NO_3^-	0,6819 p= 0,205	-0,4041 p= 0,500	0,1252 p= 0,841	0,2709 p= 0,659	0,8814 p= 0,048	-0,8872 p= 0,045	0,0768 p= 0,902	1,0000 p= ---	0,9000 p= 0,037	0,2612 p= 0,671	0,1649 p= 0,791	0,5516 p= 0,335
NO_2	0,6305 p= 0,254	-0,3562 p= 0,556	0,2561 p= 0,678	0,4912 p= 0,401	0,8814 p= 0,049	-0,8739 p=00,53	-0,1886 p= 0,761	0,9000 p= 0,037	1,0000 p= ---	0,3048 p= 0,618	-0,1558 p= 0,802	0,6178 p= 0,267
Ukupni dušik (TN)	0,1011 p= 0,872	0,3160 p= 0,604	-0,3833 p= 0,524	0,4849 p= 0,408	0,1005 p= 0,872	00,219 p= 0,972	-0,5776 p= 0,308	0,2612 p= 0,671	0,3048 p= 0,618	1,0000 p= ---	-0,5731 p= 0,312	-0,4389 p= 0,460
Ukupni fosfor (TP)	0,4604 p= 0,435	-0,6749 p= 0,211	0,4127 p= 0,490	-0,2145 p=729	0,2719 p= 0,658	-0,3222 p= 0,597	0,9790 p= 0,004	0,1649 p= 0,791	-0,1558 p= 0,802	-0,5731 p= 0,312	1,0000 p= ---	0,4401 p= 0,458
Vodostaj	0,7552 p= 0,140	-0,8517 p= 0,067	0,8264 p= 0,085	0,3834 p= 0,524	0,8225 p= 0,078	-0,8649 p= 0,058	0,4851 p= 0,407	0,6178 p= 0,267	0,6178 p= 0,267	-0,4389 p= 0,460	0,4401 p= 0,458	1,0000 p= ---

*Statistički značajne vrijednosti naznačene su crvenom bojom.

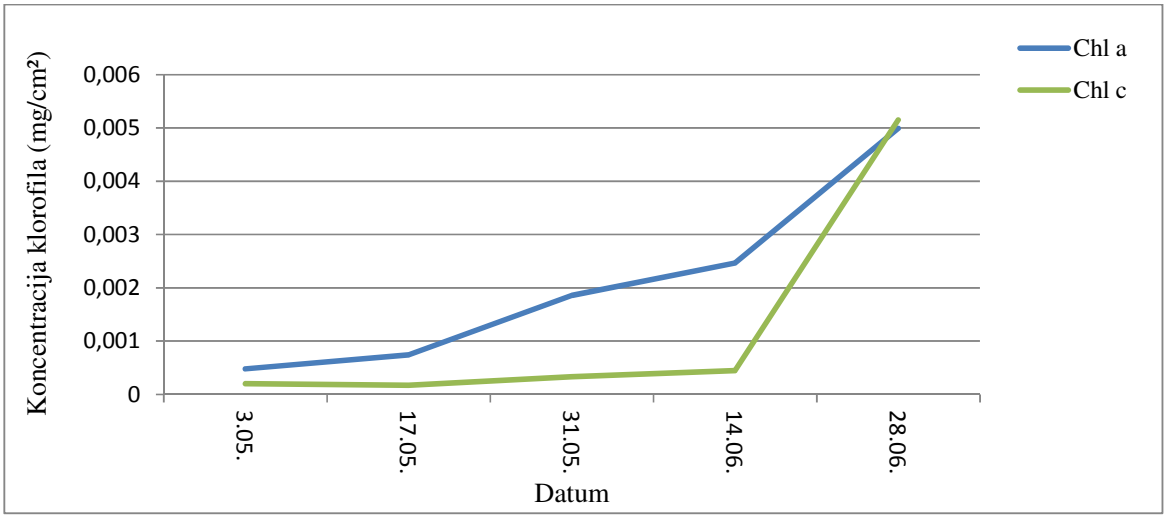
4.2. Ukupna biomasa obraštaja

Masa suhe tvari (DW) obraštaja kontinuirano se povećavala tijekom istraživanja. Tako je najmanja masa zabilježena početkom istraživanja u svibnju (1,13265 mg/cm²), a najveća zadnjeg dana istraživanja u lipnju (12,83163 mg/cm²). Masa organske tvari obraštaja (AFDW) također se povećavala od 0,07398 mg/cm² utvrđenih početkom svibnja do 1,07908 mg/cm² utvrđenog zadnjeg dana istraživanja u lipnju. Masa anorganske tvari (AW) se povećavala od 1,05867 mg/cm² na početku istraživanja do 11,75255 mg/cm² do kraja istraživanja (Sl. 20).



Slika 20. Masa suhe (DW), organske (AFDW) i anorganske (AW) tvari obraštaja u Sakadaškom jezeru u razdoblju od svibnja do lipnja 2011. godine

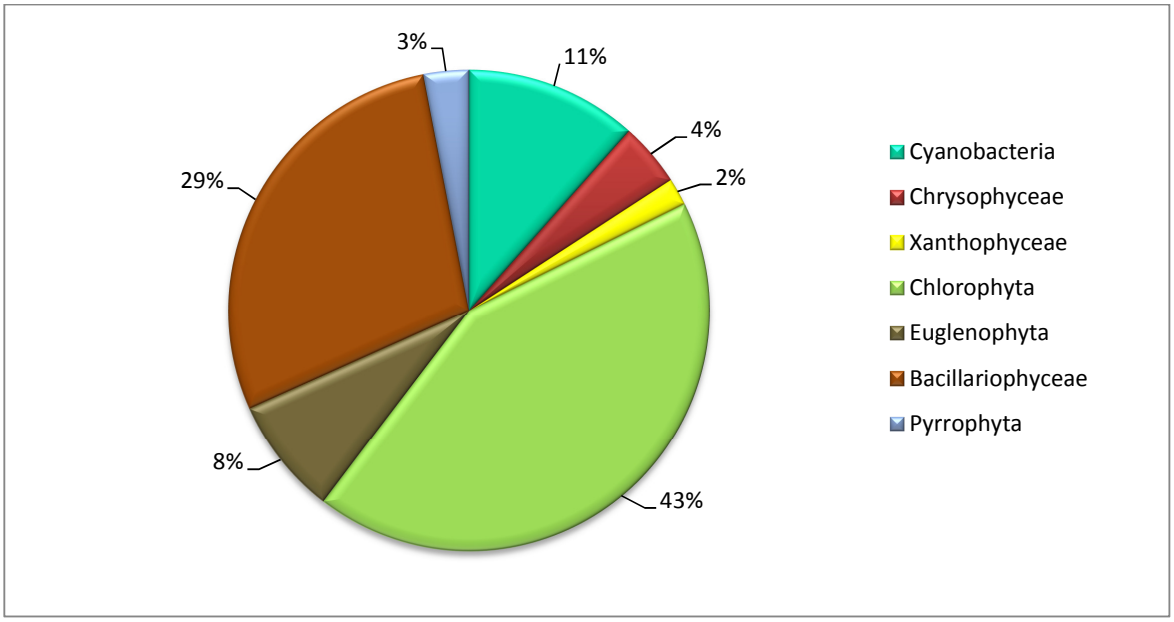
Koncentracija klorofila *a* u obraštaju kontinuirano je rasla tijekom istraživanja od 0,000479 mg/cm² do 0,004992 mg/cm². Koncentracija klorofila *c* također se kontinuirano povećavala od 0,000201 mg/cm² utvrđenih na početku istraživanja u svibnju do 0,00515 mg/cm² zabilježenih zadnjeg dana istraživanja u lipnju (Sl. 21).



Slika 21. Koncentracija klorofila *a* i klorofila *c* u obraštaju u Sakadaškom jezeru u razdoblju od svibnja do lipnja 2011. godine

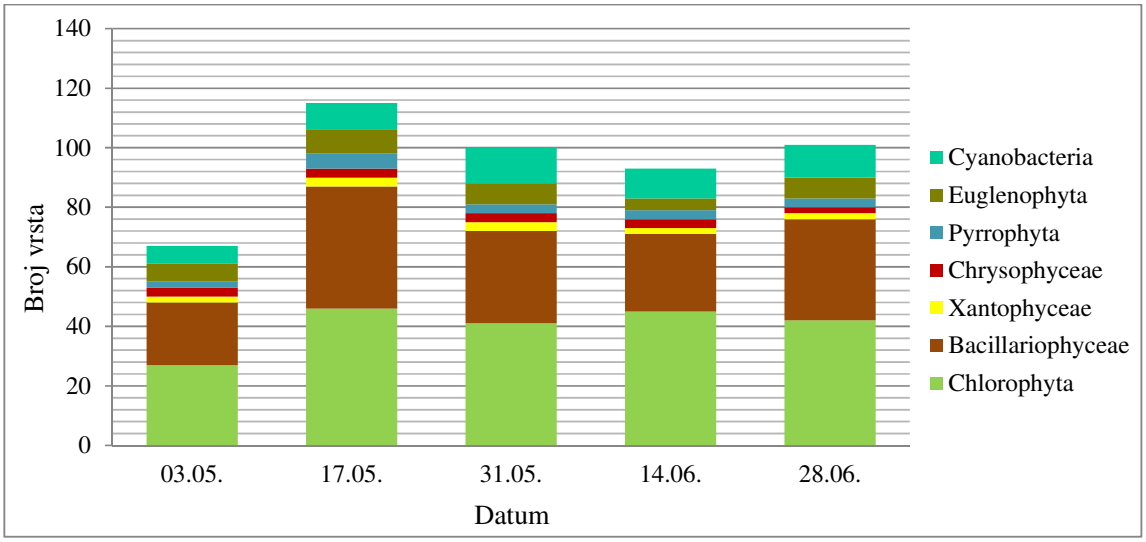
4.3. Kvalitativni i kvantitativni sastav alga u obraštaju

Tijekom istraživanja utvrđeno je ukupno 163 vrste alga. Od toga su najzastupljenije bile vrste iz skupine Chlorophyta koje su činile 43% ukupnog broja vrsta te vrste iz razreda Bacillariophyceae koje su činile 29 % ukupnog broja vrsta (Sl. 22). Iz odjeljka Cyanobacteria utvrđeno je 19 vrsta (11%), a iz skupine Euglenophyta 13 vrsta (8%). Iz razreda Chrysophyceae utvrđeno je 7 vrsta (4%), Xanthophyceae 3 vrste (2%), a iz skupine Pyrrophyta 5 vrsta (3%).



Slika 22. Zastupljenost vrsta alga u obraštaju izražena u postotcima u Sakadaškom jezeru u razdoblju od svibnja do lipnja 2011. godine

Ukupan broj utvrđenih vrsta mijenjao se tijekom istraživanja. Tako je na početku istraživanja (14. dan) u obraštaju utvrđeno ukupno 67 vrsta alga, a 28. dana 115 vrsta. Od 42. do 56. dana broj vrsta se nije značajno mijenjao, a kretao se između 93 i 99 vrsta. Na kraju istraživanja odnosno 70. dan izlaganja podloga broj vrsta se povećao na 101 (Sl. 22). Tijekom cijelog razdoblja istraživanja u obraštaju su utvrđene vrste iz skupina Chlorophyta, Pyrrophyta te razreda Chrysophyceae, Bacillariophyceae i Xanthophyceae. Najmanji broj vrsta iz skupine Chlorophyta (27 vrsta) i razreda Bacillariophyceae (21 vrsta) zabilježen je 14. dan izlaganja umjetnih podloga. Nakon toga, sve do kraja istraživanja broj vrsta iz skupine Chlorophyta je varirao od 27 do 46 vrsta, a iz razreda Bacillariophyceae od 21 do 41 vrste. Broj vrsta iz skupine Cyanobacteria mijenjao se od 6 do 12, iz skupine Euglenophyta između 4 i 8, Pyrrophyta između 2 i 5, a iz razreda Xanthophyceae i Chrysophyceae od 2 do 3 vrste.



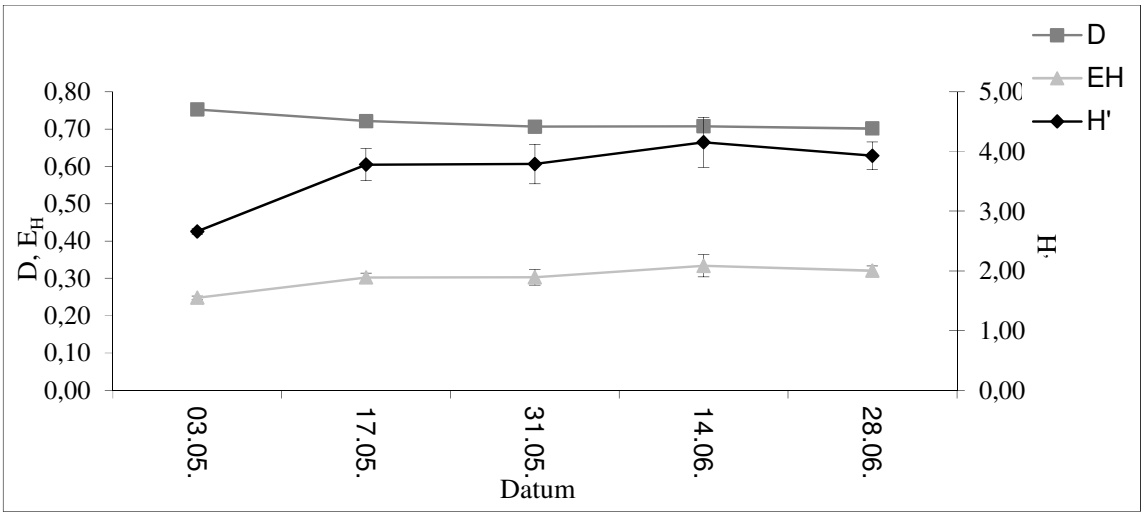
Slika 23. Promjene broja vrsta alga u obraštaju po skupinama na postaji istraživanja u Sakadaškom jezeru u razdoblju od svibnja do lipnja 2011. godine

Ukupno 37 vrsta utvrđeno je samo jednom u obraštajnim zajednicama (Tabl. 2). Vrste koje su se pojavljivale samo jednom tijekom istraživanja mogu se okarakterizirati kao slučajne vrste u obraštajnoj zajednici. Analizom pojavljivanja pojedinih vrsta u procesu razvoja obraštaja uočeno je da je konstantno prisutno čak 26 vrsta.

Tablica 2. Učestalost pojavljivanja obraštajskih alga na postaji istraživanja obraštaja u Sakadaškom jezeru u razdoblju od svibnja do lipnja 2011. godine (nazivi vrsta prema kodovima nalaze se u Tabl. 6)

Učestalost pojavljivanja tijekom eksperimenta	**Vrste (kod)**
1 puta	ANAAFF, GOMAPO, GOMFUS, MERGLA, MERPUN, EUGACU, LEPOVU, PHABRE, PHACAU, PHAPLE, PHATOR, PERBIP, CYMVEN, DIAVUL, NAVEXI, NAVPLA, NITACT, ACTBIB, ANKGRA, CHAELE, COLSCU, COSGRA, CRUREC, DICPUL, GLESP, HYADIS, KIRLUN, KIRCON, PEDBOR, PHALEN, SCEALT, SCEDEN, STAGRA, STASP STEWAL, TETINC, TETSTA
2 puta	CHRTUR, GOMLAC, MERELE, MERTEN, MICAER, SPHAMP, PHAORB, GLEEDA, PERSP, OPHPAR, ASTFOR, CALSP, CYMAFF, CYMASP, FRACON, GYRACU, NAVCAP, NAVMIN, NITFRU, NITPAL, ACTHAN, ANKFUS, GONPEC, MONCON, MONIRR, NEPWIL, PEDSIM
3 puta	GOMPUS, TRAHIS, TRAPLA, TRAVER, SYNUVE, ACHMIN, AULGRA, CYCMEN, FRACRO, MELVAR, NAVCRY, NAVPUT, ANKFAL, MONGRI, OOCMAR, OOCPAR, SCECOM, SCEOPO, SCESPI, TETTRL
4 puta	APHDEL, GLESP, LYNKUE, NOSCAR, PHOMUC, SYNSP, TOLDIS, PHASCU, PERACI, PERINC, AMPOVA, AMPVEN, CYMLAN, EPHSOR, EPHZEB, EUNLUN, FRACAP, GOMAUG, GOMOLI, GOMPAR, GOMSUB, GOMTRU, NAVAVE, NAVRAD, NITAMP, NITDIS, ROPGIB, CLAGLO, CLOACI, COEAST, COEMIC, COSIMP, CRUTET, CRUQUA, EUDELE, KOLLON, LAGGEN, LAGSUB, MON MIN, RADNIM, SCEABU, SCEINT, SPHAMP, STITEN, TETTRI
5 puta	TRAOVL, TRAVOL, DYNDIV, KEPRUB, OPHCAP var. LON, OPHCAP, CYMCIS, CYMTUM, FRAULN, FRAULN var. ACU, GOMACU, STEHAN, STEROT, ASTSUP, KIROBE, OOCLAC, OEDSP, PEDTET, SCEACU, SCEACT, SCEBIC, SCEECO, SCEQUA, TETCAN, TETMIN, TETGLA

Najmanje vrijednosti Shannon-Weavero-ovog indeksa raznolikosti (H') utvrđene su 14. dana razvoja obraštaja, a najveće 56. dana (Sl. 23). Simpson-ov indeks raznolikosti (D) bio je najveći 14. dana i iznosio je 0,7524, dok su najmanje vrijednosti (0,7015) utvrđene na kraju istraživanja (70. dan). Ujednačenost vrsta (E_H) u obraštaju (Sl. 24) bila je najveća 56. dana (0,33), dok su najmanje vrijednosti (0,25) utvrđene 14. dana razvoja obraštaja.



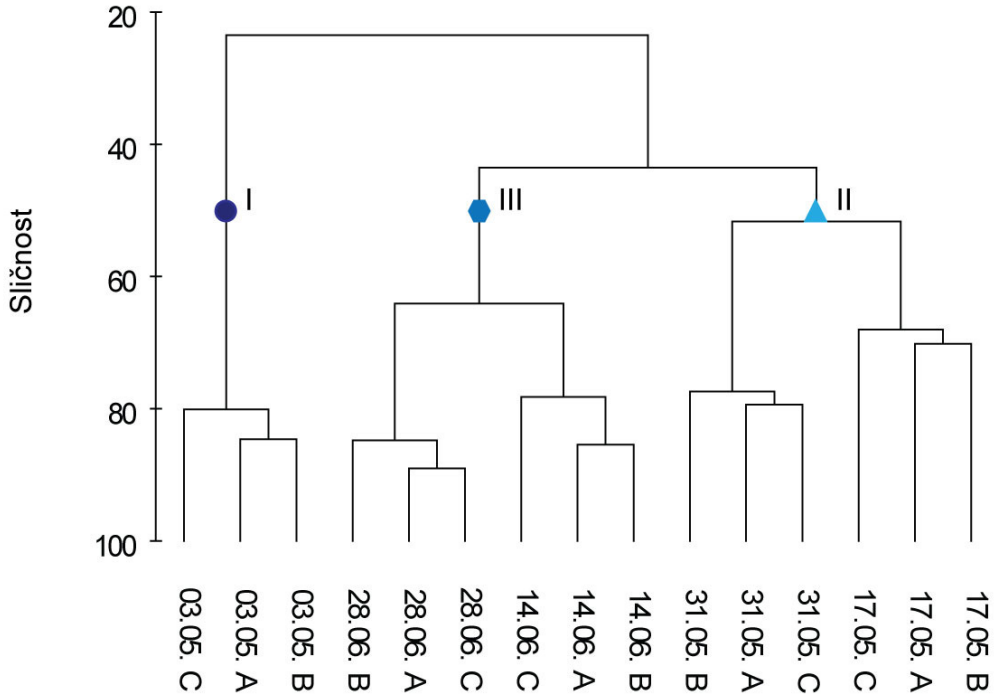
Slika 24. Ujednačenost vrsta (E_H) i indeksi raznolikosti alga u obraštaju (Shannon–Weaver–ov indeks-H', Simpson–ov indeks-D) Sakadaškog jezera u razdoblju od svibnja do lipnja 2011. godine

Utvrđene su statistički značajne korelacije između ujednačenosti vrsta i indeksa raznolikosti (Tabl. 3). Između Simpson-ovog (D) i Shannon-Weaver-ovog indeksa raznolikosti (H') te ujednačenosti vrsta (E_H) utvrđena je negativna statistička korelacija, dok je između Shannon-Weaver-ovog indeksa i ujednačenosti vrsta utvrđena pozitivna statistička korelacija. Također su utvrđene statistički značajne korelacije između fizikalno-kemijskih parametara i ukupne biomase obraštaja (Tabl. 5). Tako su između ukupne biomase obraštaja (DW, AFDW i AW) i provodljivosti vode utvrđene negativne statističke korelacije. Biomasa obraštaja je u značajnoj pozitivnoj statističkoj koreaciji sa vodostajom Dunava. Broj jedinki i klorofil *a* i *c* su u značajnoj pozitivnoj statističkoj korelaciji sa koncentracijom nitrata i organskom tvari (AFDW).

Tablica 3. Korelacije (r) između broja vrsta alga, ujednačenosti vrsta (E_H) i indeksa raznolikosti (H', D) alga u obraštaju Sakadaškog jezera u razdoblju od svibnja do lipnja 2011. godine

Uspoređivani parametri	H'	D	E_H	Broj vrsta
H'	1,0000 p= ---	-0,9396 p= 0,018	0,9867 p= 0,002	0,7716 p= 0,126
D	-0,9396 p= 0,018	1,0000 p= ---	-0,9280 p= 0,023	-0,7000 p= 0,188
E_H	0,9867 p= 0,002	-0,9280 p= 0,023	1,0000 p= ---	0,6833 p= 0,203
Broj vrsta	0,7716 p= 0,126	0,7000 p= 0,188	0,6833 p= 0,203	1,0000 p= ---

Radi utvrđivanja sličnost između obraštajnih zajednica s obzirom na broj jedinki alga po jedinici površine korištena je hijerarhijska klaster analiza. Prema klaster dendogramu na ≈ 55% Bray Curtis sličnosti (Sl. 25) vidljivo je razdvajanje podataka tri grupe. Prva grupa obuhvaća prvih 14 dana razvoja obraštaja (3. svibnja), druga grupa obuhvaća razdoblje od 17. svibnja (28. dan razvoja) do 31. svibnja (42. dan razvoja), a treća razdoblje od 14. do 28. lipnja (56. do 70. dan razvoja).



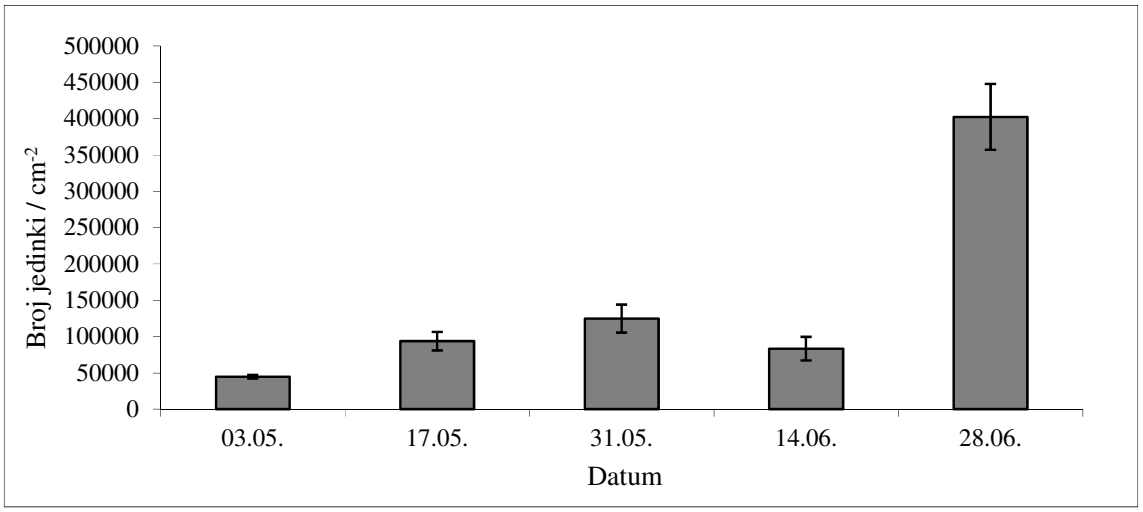
Slika 25. Ordinacijski dijagram klaster analize kvantitativnog sastava alga u obraštaju u Sakadaškom jezeru tijekom 2011. godine

Koeficijenti florne sličnosti (IFS) bili su visoki tijekom cijelog razdoblja istraživanja (Tabl. 4). Najmanji koeficijent florne sličnosti bio je između sastava alga u obraštajnim zajednicama 14 dana (03.05.) i 70. dana (18.06.), a iznosio je 49,55 %. Najveći koeficijent florne sličnosti utvrđen je između taksonomskog sastava alga u obraštajnim zajednicama nakon 28. dana izlaganja (17.05.) i 70. dana, a iznosio je 96,12 %.

Tablica 4. Koeficijent florne sličnosti (IFS) prema Sörensen-u (1948) između alga u obraštaju u Sakadaškom jezeru tijekom 2011. godine

Datum	3.05.	17.05.	31.05.	14.06.	28.06.
3.05.		61,15%	64,22%	57,14%	49,55%
17.05.			81,81%	72,59%	96,12%
31.05.				76,42%	68,29%
14.06.					75,59%
28.06.					

Ukupan broj jedinki alga po jedinici površine povećavao se do 42. dana razvoja obraštaja (od 44559±2380,212 do 1247618,8±19277,38 jedinki/cm²). Manji pad ukupnog broja jedinki zabilježen je 56. dana razvoja obraštaja, dok je najveći broj jedinki alga utvrđen zadnjeg dana istraživanja u lipnju, a iznosio je 402521,1 (Sl. 26).



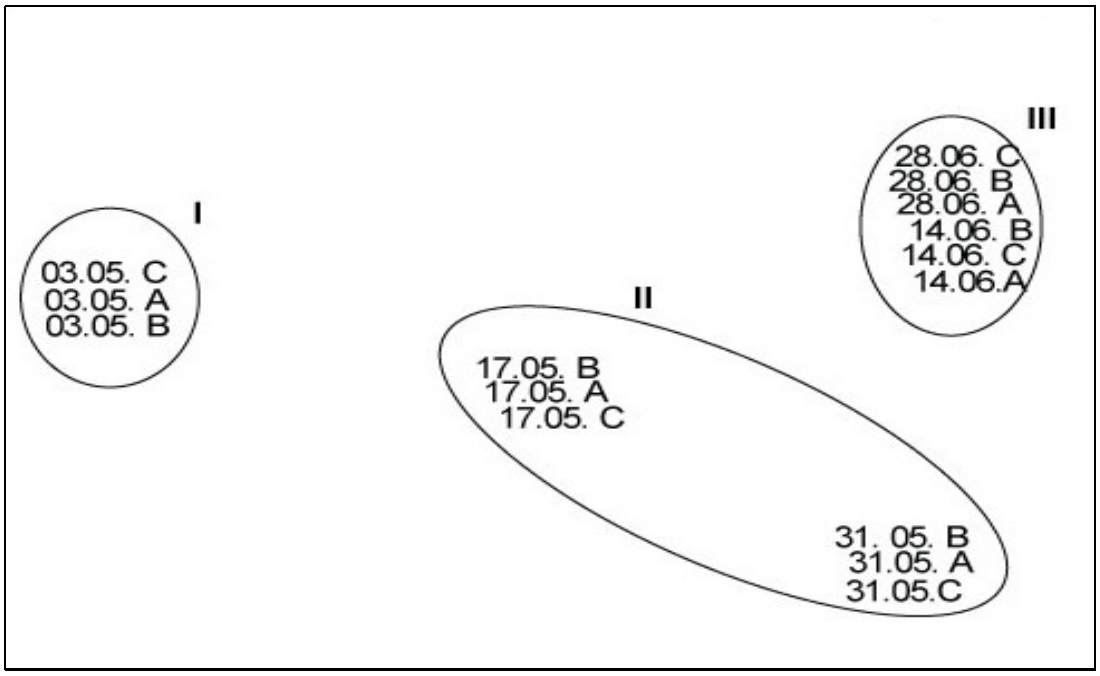
Slika 26. Ukupan broj jedinki alga u obraštajnim zajednicama u Sakadaškom jezeru od svibnja do lipnja 2011. godine

Tablica 5. Korelacije (r) fizikalno-kemijskih parametara s biomasom obraštaja, brojem jedinki i koncentracijama klorofila *a* i klorofila *c*

Uspoređivani parametri	Provodljivost vode	NH_4^+	NO_3^-	NO2	Ukupni fosfor (TP)	Vodostaj Dunava	DW	AFDW	AW	Chl *a*	Chl *c*	Broj jedinki
Provodljivost vode	1,0000 p= ---	0,3089 p= 0,613	-0,8872 p= 0,045	-0,8739 p= 0,053	0,3222 p= 0,597	-0,9876 p= 0,002	-0,9648 p= 0,008	-0,9696 p= 0,006	-0,9603 p= 0,009	-0,9629 p= 0,009	-0,8503 p= 0,068	-0,8039 p= 0,101
NH_4^+	-0,3089 p= 0,613	1,0000 p= ---	0,0768 p= 0,902	-0,1886 p= 0,761	0,9790 p= 0,004	0,2746 p= 0,655	0,2614 p= 0,671	0,1175 p= 0,851	0,2679 p= 0,663	0,0924 p= 0,882	-0,2361 p= 0,702	-0,2927 p= 0,633
NO_3^-	-0,8872 p= 0,045	0,0768 p= 0,902	1,0000 p= ---	0,9000 p= 0,037	0,1649 p= 0,791	0,8844 p= 0,046	0,7852 p= 0,116	0,8579 p= 0,063	0,7786 p= 0,121	0,8357 p= 0,078	0,8743 p= 0,052	0,7791 p= 0,120
NO_2	-0,8739 p= 0,053	-0,1886 p= 0,0761	0,9000 p= 0,037	1,0000 p= ---	-0,1558 p= 0,802	0,8814 p= 0,048	0,8472 p= 0,070	0,9316 p= 0,021	0,8388 p= 0,076	0,9354 p= 0,020	0,9980 p= 0,000	0,95720 p= 0,007
Ukupni fosfor (TP)	-0,3222 p= 0,597	0,9790 p= 0,004	0,1649 p= 0,791	-0,1558 p= 0,802	1,0000 p= ---	0,2725 p= 0,657	0,2616 p= 0,671	0,1303 p= 0,835	0,2698 p= 0,661	0,0902 p= 0,885	-0,2062 p= 0,739	-0,2758 p= 0,653
Vodostaj Dunava	0,9876 p= 0,002	-0,5776 p= 0,308	0,8844 p= 0,046	0,8814 p= 0,048	0,2725 p= 0,657	1,0000 p= ---	0,9262 p= 0,024	0,9459 p= 0,015	0,9181 p= 0,028	0,9493 p= 0,014	0,8568 p= 0,064	0,7934 p= 0,109
DW	-0,9648 p= 0,008	0,2614 p= 0,671	0,7852 p=0,116	0,8472 p= 0,070	0,2616 p= 0,671	0,9262 p= 0,024	1,0000 p= ---	0,9823 p= 0,003	0,9997 p= 0,000	0,9758 p= 0,004	0,8368 p= 0,077	0,8426 p= 0,073
AFDW	-0,9696 p= 0,006	0,1175 p= 0,851	0,8576 p= 0,063	0,9316 p= 0,021	0,1303 p= 0,835	0,9459 p= 0,015	0,9823 p= 0,003	1,0000 p= ---	0,9792 p= 0,004	0,9965 p= 0,000	0,9232 p= 0,025	0,9147 p= 0,030
AW	-0,9603 p= 0,009	0,2679 p= 0,663	0,7786 p= 0,121	0,8388 p= 0,076	0,2698 p= 0,661	0,9181 p= 0,028	0,9997 p= 0,000	0,9792 p= 0,004	1,0000 p= ---	0,9713 p= 0,000	0,8287 p= 0,083	0,8373 p= 0,077
Chl *a*	-0,9629 p= 0,009	0,0924 p= 0,862	0,8357 p= 0,078	0,9354 p= 0,020	0,0902 p= 0,885	0,9493 p= 0,014	0,9758 p= 0,004	0,9965 p= 0,000	0,9713 p= 0,006	1,0000 p= ---	0,9287 p= 0,023	0,9223 p= 0,026
Chl *c*	-0,8509 p= 0,068	-0,2361 p= 0,702	0,8743 p= 0,052	0,9980 p= 0,000	-0,2062 p= 0,739	0,8558 p= 0,064	0,8368 p= 0,077	0,9232 p= 0,025	0,8287 p= 0,083	0,9287 p= 0,023	1,0000 p= ---	0,9796 p= 0,003
Broj jedinki	-0,8039 p= 0,101	-0,2927 p= 0,633	0,7701 p= 0,120	0,9672 p= 0,007	0,2758 p= 0,653	0,7394 p= 0,109	0,8426 p= 0,073	0,9147 p= 0,030	0,8373 p= 0,077	0,9223 p= 0,003	0,9796 p= 0,003	1,0000 p= ---

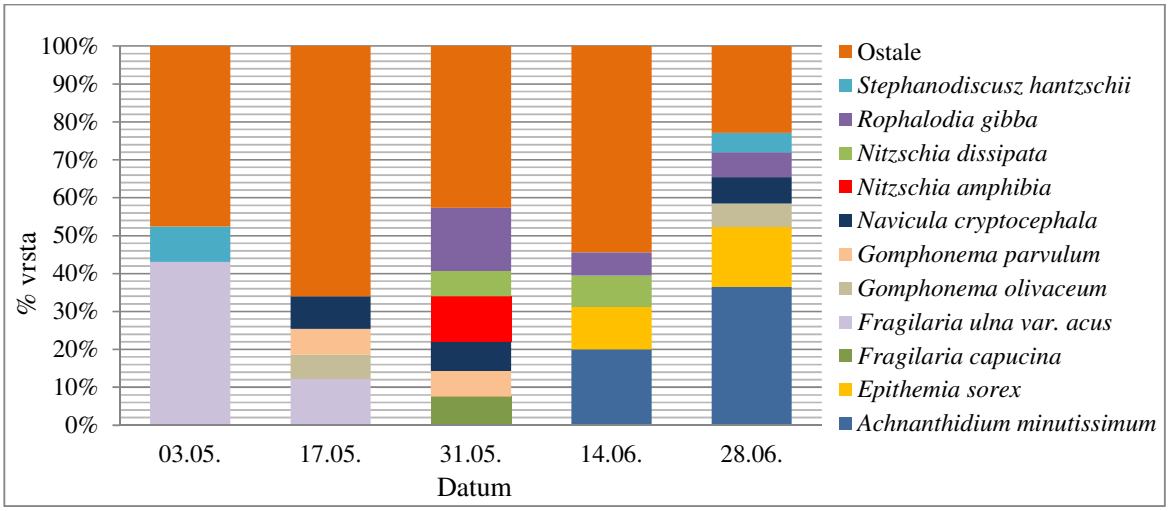
*Statistički značajne vrijednosti naznačene su crvenom bojom.

NMDS ordinacijski prikaz na temelju kvantitativnog sastava alga u obraštajnim zajednicama pokazuje jasno razdvajanje podataka u tri grupe (Sl. 27). Prva grupa obuhvaća prvih 14 dana razvoja obraštaja (3.05.). Druga grupa obuhvaća razdoblje od 17.05. (28. dan razvoja) do 31.05. (42. dan razvoja), a treća od 14.06. (56. dan razvoja) do 28.06. (70 dan razvoja).



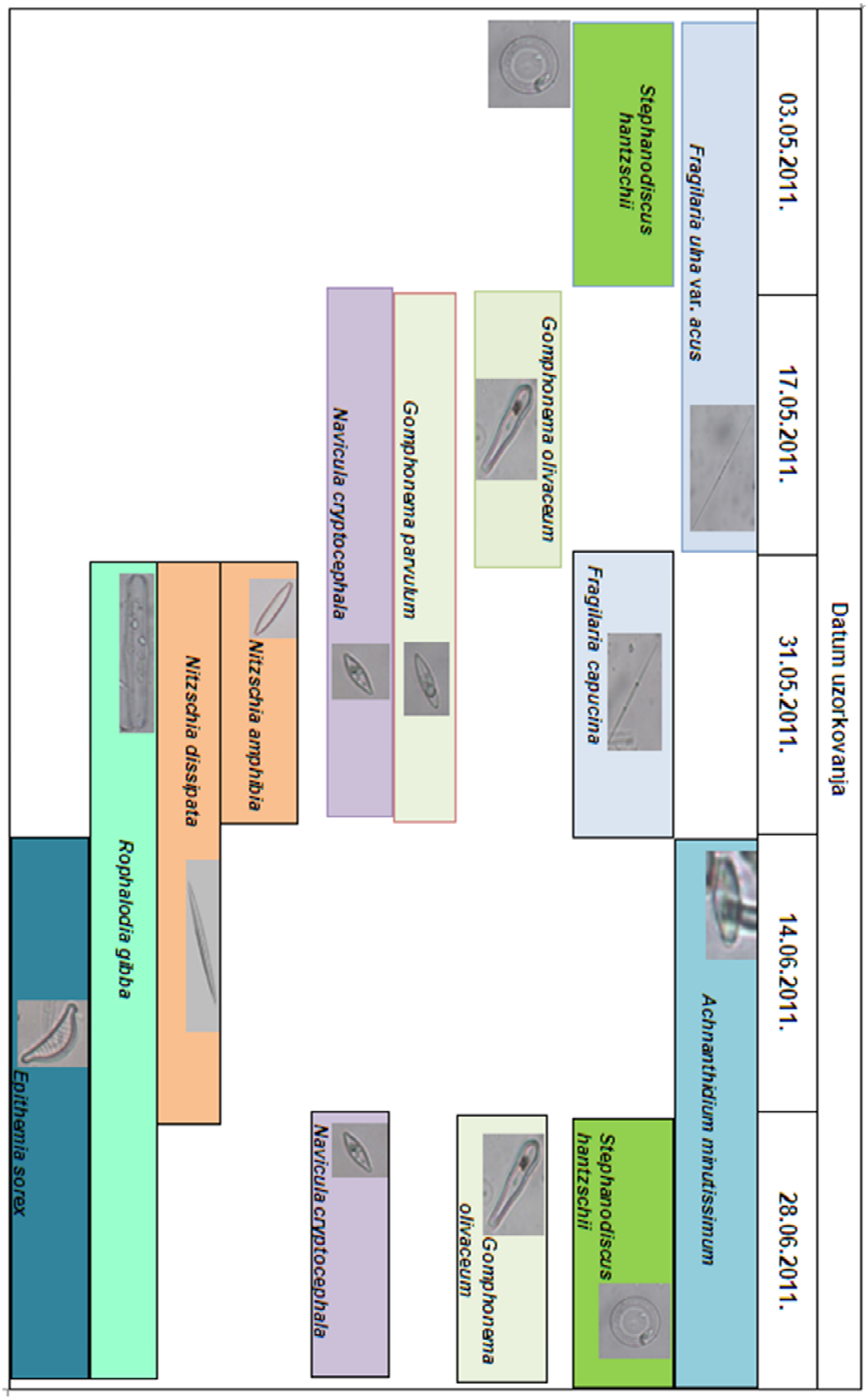
Slika 27. NMDS ordinacijski prikaz kvantitativnog sastava alga u obraštaju Sakadaškog jezera u razdoblju od svibnja do lipnja 2011. godine

Ukupno 11 vrsta alga činile su tijekom istraživanja više od 5 % ukupnog broja jedinki (Sl. 28), a pripadale su razredu Bacillariophyceae *(Achnanthidium minutissimum* KŰTZ.*, Epithemia sorex* KŰTZ.*, Fragilaria capucina* DESM.*, F. ulna* var. *acus* KŰTZ.*, Gomphonema olivaceum* (LYNGB.) DESM.*, G. parvulum* KŰTZ.*, Navicula cryptocephala KŰTZ., Nitzschia amphibia GRUN., N. dissipata* (KŰTZ.) GRUN.*, Rophalodia gibba* (EHRENB.) O. MŰLL i *Stephanodiscusz hantzschii* GRUN.).



Slika 28. Relativna brojnost dominantnih vrsta alga u obraštaju u ukupnom kvantitativnom sastavu obraštajnih zajednica Sakadaškog jezera od svibnja do lipnja 2011. godine

Dominantne vrste alga mijenjale su se tijekom istraživanja (Sl. 29). U prvom razdoblju razvoja obraštaja odnosno 14. dan (3.05.), dominantne vrste bile su *Fragilaria ulna* var. *acus* i *Stephanodiscusz hantzschii.* Broj dominantnih vrsta se povećao 28. dana razvoja obraštaja. Tako su 28. dana (17.05.) diminantne bile *Fragilaria ulna* var. *acus, Gomphonema olivaceum, G. parvulum* i *Navicula cryptocephala,* dok su 42. dana (31.05.) dominantne bile *Fragilaria capucina, Gomphonema parvulum, Nitzschia amphibia, N. dissipata* i *Rophalodia gibba.* Nakon toga, u drugom razdoblju razvoja obraštaja (od 17. – 31. svibnja) uz vrstu *Fragilaria ulna* var. *acus* dominantne vrste bile su *Gomphonema olivaceum, G. parvulum, Navicula cryptocephala, Nitzschia amphibia, N. dissipata i Rophalodia gibba.* Uočeno je da u drugome dijelu drugoga razdoblja razvoja obraštaja (31. svibnja) dominaciju preuzela *Rophalodia gibba.* 42. dana razvoja obraštaja dominantna je ostala *Gomphonema parvulum*, a zajednicu su upotpunjavale *Fragilaria capucina, Nitzschia amphibia, N. dissipata* i *Rophalodia gibba.* Najzastupljenija vrsta bio je *A. minutssimum* koji je čini 19,98 % ukupnog broja jedinki. Njegova se brojnost značajno povećala zadnjeg dana istraživanja kada je činio čak 36,51 % ukupnog broja. Zadnjeg dana istraživanja uz *A. minutissimum* dobro su bile zastupljene *Epithemia sorex, Gomphonema olivaceum, Navicula cryptocephala i Rophalodia gibba.*



Slika 29. Sukcesije dominantnih vrsta alga u obraštaju Sakadaškog jezera u razdoblju od 20.04.-28.06.2011. godine

Tablica 6. Kvalitativni sastav i procjena učestalosti pojavljivanja alga u obraštaju Sakadaškog jezera u razdoblju od svibnja do lipnja 2011. godine

Datum		**03.05.**	**17.05.**	**31.05.**	**14.06.**	**28.06.**
Dan naseljavanja		**14**	**28**	**42**	**56**	**70**
CYANOBACTERIA	**Kod vrste**					
Anabaenna affinis LEMM	ANAAFF				1	
Aphanocapsa delicatissima W. WEST & G. S. WEST	APHDEL	3	3	3		3
Chroococcus turgidus (KÜTZ.) NÄG	CHRTUR			3		3
Gleocystis sp.	GLESP	1	1	1		1
Gomphosphaeria aponina (KÜTZ.)	GOMAPO			3		
Gomphosphaeria fusca SKUJA	GOMFUS				1	
Gomphosphaeria lacustris CHOD.	GOMLAC				3	3
Gomphosphaeria pusilla (VAN-GOR) KOM.	GOMPUS			1	3	1
Lyngbya kuetzingii SCHMIDLE	LYNKUE	3	3	3		3
Merismopedia elegans A. BRAUN in KÜTZ.	MERELE			3		1
Merismopedia glauca (EHRENB.) KÜTZ.					3	
Merismopedia punctata MEYEN	MERPUN			1		
Merismopedia tenuissima LEMM.	MERTEN				1	3
Microcistys aeruginosa (KÜTZ.) KÜTZ.	MICAER	1	3			
Nostoc caervuleum LYNGB ex BORN et. FLAH	NOSCAE	3	3	5	3	
Phormidium mucicola HUB.-PEST et. NAUM	PHOMUC		3	3	3	3
Sphaerelocystis ampla (KÜTZ.) NOVÁKOVÁ	SPHAMP	3	3			
Synechococcus sp. NÄG	SYNSP		5	5	3	5
Tolypothrix distorta KÜTZ ex. BORN. et FLAH.	TOLDIS		1	3	3	5
EUGLENOPHYTA						
Euglena acus EHRENB.	EUGACU		3			
Lepocinclis ovum (EHRENB.) LEMM.	LEPOVU	3				
Phacus brevicaudatus LEMM	PHABRE		3			
Phacus caudatus HÜBN	PHACAU	1				
Phacus orbicularis HÜBN	PHAORB		3	1		
Phacus pleuronectes (O. F. MÜLL) DUJ.	PHAPLE			1		1

Phacus skujai SKUORC.	PHASKU	3	3	3		3
Phacus tortus (LEMM.) SKVORC.	PHATOR		1			
Trachelomonas hispida (PERTY) STEN Em. DEFL.	TRAHIS	3	3			1
Trachelomonas oblonga LEMM.	TRAOBL	3	3	3	3	3
Trachelomonas planctonica SVIR	TRAPLA			3	3	1
Trachelomonas verucosa ??	TRAVER			3	3	1
Trachelomonas volovocina EHRENB.	TRAVOL	3	3	5	3	3
PYRROPHYTA						
Glenodinium edax SCHILLING	GLEEDA		3			1
Peridinium aciculiferum LEMM.	PERACI	1	3		3	3
Peridinium bipes STEIN	PERBIP		1			
Peridinium inconspicuum LEMM.	PERINC	3	3		3	3
Peridinium sp.	PERSP		3		3	
Chrysophyceae						
Dinobryon divergens IHM.	DINDIV	3	5	3	3	3
Kephirion rubi-calustri CONRAD	KEPRUB	5	5	3	3	3
Synura uvella EHRENB. em. KORŠ.	SYNUVE	3	3		3	
Xantophyceae						
Ophyocitium capitatum var. Longispinum (K. MÖBIUS) LEMM.	OPHCAP var. LON	1	3	3	1	1
Ophyocitium capitatum WOLLE	OPHCAP	3	5	3	3	3
Ophyocitium parvulum A. BR.	OPHPAR		3	1		
Bacillariophyceae						
Achnanthidium minutissimum KÜTZ.	ACHMIN			3	5	5
Amphora ovalis (KÜTZ.) KÜTZ.	AMPOVA		3	5	3	3
Amphora veneta KÜTZ.	AMPVEN		3	3	3	1
Asterionella Formosa NASS	ASTFOR	3	3			
Aulacoseira granulata (HER.) SIMONS	AULGRA		3	1		3
Caloneis sp.	CALSP			1		1
Cyclotella meneghiniana KÜTZ.	CYCMEN	3		3		3
Cymbella affinis KÜTZ.	CYMAFF			3		1
Cymbella aspera (EHRENB.) CL.	CYMASP		1			1
Cymbella cistula (HEMPR.) KIRCHN.	CYMCIS	3	3	3	3	3
Cymbella lanceolata (EHRENB.) V. HEURCK	CYMLAN	1	3	3	1	
Cymbella tumida (BRÉB.) V. HEURCK	CYMTUM	3	1	5	1	3
Cymbella ventricosa KÜTZ	CYMVEN	3				

Diatoma vulgare BORY	DAIVUL	3				
Epithemia sorex KÜTZ	EPISOR		3	5	5	5
Epithemia zebra (EHRENB.) KÜTZ	EPIZEB		3	3	3	3
Eunotia lunaris (EHRENB.) GRUN.	EUNLUN	3	3	3		3
Fragilaria capucina DESM.	FRACAP	3	3		3	3
Fragilaria construens (EHRENB.) GRUN.	FRACON				3	3
Fragilaria crotonensis KITT.	FRACRO		1	3		1
Fragilaria ulna (NITZSCH.) EHRENB.	FRAULN	5	5	3	3	1
*Fragilaria ulna var. acus (*KÜTZ) LANGE-BERT	FRAULN var. ACU	5	3	5	3	3
Gomphonema acuminatum EHRENB.	GOMACU	3	3	3	3	5
Gomphonema augur EHRENB.	GOMAUG		1	3	1	3
Gomphonema olivaceum (LYNGB.) DESM.	GOMOLIV		5	3	3	5
Gomphonema parvulum (KÜTZ.) KÜTZ.	GOMPAR	3	3		3	5
Gomphonema subclavatum (GRUN.) GRUN.	GOMSUB	1	3		3	3
Gomphonema truncatum EHRENB.	GOMTRU	3	3	3		3
Gyrosigma acuminatum (KÜTZ.) RABENH	GYRACU		1	3		
Melosira varians AG.	MELVAR		3	3	1	1
Navicula avenacea GRUN.	NAVAVE	1	3	3		3
Navicula capitata EHRENB.	NAVCAP		3	5		
Navicula cryptocephala KÜTZ.	NAVCRY		5		3	5
Navicula exigua GRUN.	NAVEXI		1			
Navicula minusculus GRUN.	NAVMIN	1	3			
Navicula placentula GRUN.	NAVPLA		1			
Navicula pupula KÜTZ.	NAVPUP		1	1		1
Navicula radiosa KÜTZ.	NAVRAD	3	3	3		3
Nitzschia actinastroides (LEMM.) V. GOOR	NITACT		1			
Nitzschia amphibia GRUN.	NITAMP		3	5	3	3
Nitzschia dissipata (KÜTZ.) GRUN.	NITDIS		3	5	5	3
Nitzschia frustulum (KÜTZ.) GRUN.	NITFRU		3		3	
Nitzschia palea (KÜTZ.) W. SMITH	NITPAL	3	3			
Rophalodia gibba (EHRENB.) O. MÜLL	ROPGIB		5	5	5	5
Stephanodiscusz hantzschii GRUN.	STEHAN	5	5	3	3	3
Stephanodiscusz rotula (KÜTZ.) HENDEY	STEROT	3	3	3	3	3

CHLOROPHYTA						
Actinastrum bibraianus (REINSCH) KORŠ.	ACTBIB		1			
Actinastrum hantzschii LAGERH.	ACTHAN	1	3			
Ankistrodesmus falcatus (CORDA) RALFS	ANKFAL	3	1		1	
Ankistrodesmus fusiformis CORDA	ANKFUS			3		3
Ankistrodesmus gracilis (REINSCH) KORŠ.	ANKGRA		3			
Asterococcus superbus (SCHERFF.)	ASTSUP	3	3	3	3	3
Chaetophora elegans (ROTH) AG	CHAELE				1	
Cladophora glomerata (L.) KÜTZ.	CLAGLO	3	3		3	3
Closteriopsis acicularis (G.M. SMITH) BELTCH et SWALE	CLOACIC	3	3	3	3	
Coelastrum astroideum (DE-NOT)	COEAST		3	1	1	1
Coelastrum microporum (NÄG.)	COEMIC		3	1	3	3
Coleochaete scutata BRÉB.	COLSCU		1			
Cosmarium granatum BRÉB.	COSGRA		3			
Cosmarium impresulum ELFV.	COSIMP		1	1	1	1
Crucigenia rectangularis (NÄG.) KOM.	CRUREC				3	
Crucigenia tetrapedia (CIRCHN.) W. et G. S. WEST	CRUTET		3	3	3	3
Crucigenia quadrata MORREN.	CRUQUA		1	3	1	1
Dictyosphaerium pulchellum WOOD	DICPUL		3			
Eudorina elegans EHRENB.	EUDELE		1	1	1	1
Gleocystis sp.	GLESP		1			
Gonium pectorale O. F. MÜLLER	GONPEC		1			1
Hyalotheca dissiliens	HYADIS				1	
Kirchneriella lunaris (KIRCH.) MÖB.	KIRLUN				3	
Kirchneriella contorta (SCHMIDLE) BOHL.	KIRCON				1	
Kirchneriella obesa (W. WEST) SCHMIDLE	KIROBE	1	3	3	3	3
Koliella longiseta (VISCH.) HIND	KOLLON	3	3	3		1
Lagerheimia genevensis CHOD.	LAGGEN		5	3	1	3
Lagerheimia subsala LEMM.	LAGGEN	1	3		3	
Monoraphidium arcuatum (KORŠ.) KIND.	MONARC			3		3
Monoraphidium contortum (THUR.) KOM.-LEGN.	MONCON	3	3	3	3	3
Monoraphidium griffithii (BERK.) KOM.-LEGN.	MONGRI			1	3	3

Monoraphidium irregulare (G. M. SMITH) KOM.–LEGN.	MONIRR			1		1
Monoraphidium minutum (NÄG.) KOM.-LEGN.	MONMIN	1		5	3	3
Nephroclamys willeana (PRINTZ) KORT	NEPWIL	1			3	
Oocystis lacustris CHOD.	OOCLAC	1	3	3	3	3
Oocystis marsonii LEMM.	OOCMAR		3		3	1
Oocystis parva W. et. G. S. WEST	OOCPAR			1	1	1
Oedogonium sp. LINK	OEDSP	1	1	3	3	3
Pediastrum boryanum (TURP.) MENEGH.	PEDBOR				3	
Pediastrum duplex MEYEN	PEDDUP		3		3	
Pediastrum simplex MEYEN	PEDSIM		1		1	
Pediastrum tetras (EHRENB.) RALFS	PEDTET	1	3	3	3	3
Phacotus lenticularis EHRENB.	PHALEN					1
Radiococcus nimbatus (DE-WILD.) SCHMIDLE	RADNIM	3	3		1	3
Scenedesmus abundans (KIRCHN.) CHOD.	SCEABU		3	3	3	3
Scenedesmus acuminatus (LAGERH.) CHOD.	SCEACUM	5	5	5	3	3
Scenedesmus acutus MEYEN	SCEACT	3	3	3	3	3
Scenedesmus alternans EINSCH	SCEALT			1		
Scenedesmus bicaudatus (HANG.) CHOD.	SCEBIC	3	3	3	3	3
Scenedesmus communis E. HEGEWALD	SCECOM		3	1		1
Scenedesmus denticulatus LAGERH.	SCEDEN			1		
Scenedesmus ecornis (RALFS) CHOD.	SCEECO	3	3	3	3	3
Scenedesmus intermedius CHOD.	SCEINT		3	3	3	3
Scenedesmus opoliensis P. RICHT.	SCEOPO	3		3		3
Scenedesmus spinosus RICHTER	SCESPI		1	1		3
Scenedesmus quadricauda (TURP.) BRÉB.	SCEQUA	5	5	3	3	3
*Sphaerelocystis ampla (*KÜTZ.) NOVÁKOVÁ	SPHAMP	5		3	3	3
Staurastrum gracile RALFS	STAGRA		1			
Staurastrum sp.	STASP			1		
Stephanoon walichii ?	STEWAL				1	
Stigeoclonium tenue KÜTZ.	STITEN	3	3	3		1
Tetraedron caudatum (CHORDA) HANSG.	TETCAU	3	3	3	3	3
Tetraedron incus (TEIL.) G. M. SMITH	TETINC		3			

Tetraedron minimum (A. BR.) HANSG.	TETMIN	3	5	5	3	3
Tetraedron trigonum (REINSCH) HANSG.	TETTRIG	3	5	1		1
Tetraedron trilobatum (REINSCH) HANSG.	TETTRL			1	3	1
Tetrastrum glabrum (ROLL) AHLSTR. et. TIFF.	TETGLA	1	3	3	3	3
Tetrastrum staugeniaformae (CHÖRD.) LEMM.	TETSTA				1	

Legenda:

1 – Pojedinačna zastupljenost vrste

3 – Srednja zastupljenost vrste

5 – Masovna zastupljenost vrste

5. RASPRAVA

Istraživanje razvoja alga u obraštaju na umjetnim podlogama u Sakadaškom jezeru provedeno je u proljeće, u razdoblju od svibnja do lipnja 2011. godine. Tijekom cijelog razdoblja istraživanja vodostaj Dunava nije bio viši od 3 m te je izostalo plavljenje Sakadaškog jezera. Dunavske poplavne vode obogaćene suspendiranim tvarima (Hein i sur., 2004) značajno pridonose obogaćivanju Sakadaškog jezera hranjivim tvarima (Mihaljević i sur., 2009, 2010). Međutim, i u uvjetima hidrološke izolacije jezera od matične rijeke koncentracije hranjivih tvari u jezeru bile su visoke što ukazuje da poplavne vode nisu glavni izvor hranjivih tvari u jezeru kao što je utvrđeno u tropskim poplavnim područjima (Nabout i sur., 2006; Weilhoefer i Pan, 2007). Procesi razgradnje akumulirane organske tvari (Keckeis i sur., 2003; Pithart i sur., 2007) pridonijeli su zadržavanju visokih koncentracija hranjivih tvari u vodi jezera tijekom cijelog razdoblja istraživanja.

U relativno stabilnim uvjetima bez plavljenja, razvoj obraštaja na umjetnim podlogama odvijao se postupnim i kontinuiranim prirastom ukupne biomase (Sl. 20). Općenito se tijekom faze rasta biomasa obraštaja kontinuirano povećava sve do postizanja vršnih vrijednosti, nakon čega započinje faza gubitka (Biggs, 1996). Na razvoj ukupne biomase obraštaja mogu utjecati različiti čimbenici kao što su promjene dubine vode, hidrološki režim ili povećanje ukupnog fosfora u vodi (Gaiser, 2008). Tijekom istraživanja na razvoj obraštaja utjecali su provodljivost vode, koncentracija nitrata i vodostaj Dunava na što ukazuju i visoki koeficijenti korelacije između istraživanih parametara (Tabl. 5). Značajna negativna statistička korelacija između Shannon-Weaver-ovog i Simpson-ovog indeksa raznolikosti (-0,9396, p= 0,018) pokazuje da je u obraštajnoj zajednici na početku istraživanja (14. dan razvoja obraštaja) bila zajednica sa manjim brojem dominantnih vrsta, a sa većom zastupljenosti vrsta koje su se rijeđe pojavljivale (Tabl. , Sl. 24).

S postupnim povećanjem ukupne biomase povećavala se i brojnost alga u obraštajnim zajednicama. Na to ukazuju i postupna povećanja koncentracija klorofila *a* i *c* (Sl. 21) te ukupnog broja jedinki (Sl. 26). Također je dokazana značajna statistička korelacija između brojnosti jedinki i organske tvari (AFDW), te klorofila *a* i *c* (Tabl. 5). Raznolikost vrsta alga bila je velika. Općenito se smatra da se velik broj različitih vrsta alga zadržava u obraštajnim zajednicama jer se razvijaju na granici između čvrste podloge i stupca vode što jedinkama u

obraštaju omogućuje bolju dostupnost dovoljnim količinama hranjivih tvari i svjetlosti (Makarevitz, 2008). Prethodna istraživanja alga na umjetnim podlogama u Sakadaškom jezeru također su ukazala na veliku raznolikost alga u obraštajnim zajednicama poplavnog područja (Mihaljević i Žuna Pfeiffer, 2011).

Proces naseljavanja alga na podloge je funkcija imigracije, razmnožavanja, uginuća, ispaše i emigracije (Ghosh i Gaur, 1998), a imigracija je posebno važna u početnoj fazi razvoja obraštaja. Vrijednosti Shannon-Weave-ovog indeksa raznolikosti (Sl. 24) su se povećavale na početku istraživanja što ukazuje na postupno povećanje broja vrsta alga u obraštaju. Općenito se povećanje raznolikosti u početnim fazama razvoja obraštaja može povezati s naseljavanjem novih vrsta (Hillebrand i Sommer 2000). Simpson-ov indeks raznolikosti i ujednačenost zajednice se nisu bitno mijenjali (Sl. 24). Manje promjene Simpson-ovog indeksa raznolikosti ukazuju na dominaciju manjeg broja vrsta s velikom sposobnosti razmnožavanja.

Izmjenjivanje dominantnih vrsta u obraštajnim zajednicama uglavnom je povezano s njihovim morfološkim obilježjima i mogućnostima naseljavanja (Hoagland i sur., 1982; Szabó i sur., 2008). Tako se prema rezultatima ovog istraživanja mogu razlikovati tri faze razvoja alga u obraštaju.

U prvoj fazi (3.05., prvih 14 dana) dominantne vrste su bile *Fragilaria ulna* var. *acus* i *Stephanodiscusz hantzschii. F. ulna* var. *acus* se pričvršćuje za podlogu pomoću ljepljivih jastučića na apikalnom dijelu stanice, dok *S. hantzschii* prilježe uz podlogu cijelom svojom površinom (Biggs i sur., 1998). *F. ulna* var. *acus* bila je dominantna vrsta u intermedijarnoj fazi (12. – 15. dan) razvoja obraštaja na umjetnim podlogama u Sakadaškom jezeru u proljeće 2010. godine (Mihaljević i Žuna Pfeiffer, 2010). Ács i sur. (2000) su također utvrdili vrlo brzo naseljavanje (nakon 24 sata) dijatomeja iz reda Centrales na umjetnim podlogama u Dunavu.

Druga faza je trajala od 28. do 42. dana (17.05. - 31.05.) Kako su u ovom razdoblju dominantne vrste bile *F. ulna* var. *acus, F. capucina, Gomphonema olivaceum, G. parvulum, Navicula cryptocephala, Nitzschia amphibia, N. dissipata* i *Rhopalodia gibba,* to ukazuje na značajne promjene u sastavu zajednice i postupno izdizanje alga iznad površine podloge. *R.*

gibba prilježe uz podloge, a klasificirana je kao S-strateg i ima sposobnost fiksiranja dušika zbog čega uspijeva i u uvjetima kada su joj dostupne manje količine hranjivih tvari (Biggs i sur., 1998).Vrste roda *Gomphonema* se za podlogu prvo prihvaćaju direktno, a zatim postupno formiraju kraće ili duže stapke (Ács i sur., 2007; Plenković – Moraj i sur., 2008). Sličan način prihvaćanja ima i *N. cryptocephala*, dok vrste roda *Nitzschia* formiraju rozete (Biggs i sur., 1998). Ovakve strukture omogućuju im veću dostupnost potrebnim hranjivim tvarima i svjetlosti (Bahulikar, 2006). Osim toga, *G. parvulum* klasificirana je kao R-strateg jer ima veliku sposobnost razmnožavanja i otporna je na disturbancije (Biggs i sur., 1998). Također je utvrđena i u prethodnim istraživanjima rane faze razvoja obraštaja na umjetnim podlogama u Sakadaškom jezeru (Mihaljević i Žuna Pfeiffer, 2012). *N. cryptocephala,* C-S-strateg, sporije naseljava podloge i općenito je karakteristična za kasnije faze razvoja obraštajnih zajednica (Biggs i sur., 1998).

Treća faza trajala je od 56. do 70. dana (14.06.- 28.06.) dana. S povećanjem ukupne biomase i ukupnog broja jedinki alga povećavala se kompeticija za prostor, hranjive tvari i svjetlost te su u obraštaju dominirale alge koje su prilagođene različitim uvjetima i zadržavaju se u različitim dijelovima obraštaja. Utvrđene dominantne vrste u ovom razdoblju bile su *N. dissipata, R..gibba, G. olivaceum*, *N. cryptocephala, Epithemia sorex i Achnanthidium minutissimum. R. gibba* i *E. sorex* priliježu uz podlogu, a kao S-stratezi imaju sposobnost fiksiranja dušika i mogu opstati u uvjetima kada su im dostupne manje koncentracije hranjivih tvari (Biggs i sur., 1998). Razvoju bogatije trodimenzionalne strukture obraštaja pridonijelo je izdizanje *G. olivaceum* i *N. cryptocephala* od podloge pomoću dužih stapki. *A. minutissimum* klasificiran je kao R-strateg i otporan je na različite disturbancije. Prethodna istraživanja obraštaja na umjetnim podlogama u Sakadaškom jezeru su pokazala da se ova vrsta intenzivno razvija u uvjetima plavljenja (Mihaljević i Žuna Pfeiffer, 2012). *A. minutissimum* je manjih dimenzija i može zauzeti različiti položaj u obraštajnoj zajednici, a budući da se brzo razmnožava bio je brojčano najzatupljenija vrsta u obraštaju na kraju istraživanja.

6. ZAKLJUČCI

Razvoj obraštaja i zajednica alga na umjetnim podlogama u Sakadaškom jezeru u proljeće 2011. godine u uvjetima bez plavljenja jezera odvijao se postupno uz kontinuirano povećavanje ukupne biomase obraštaja i brojnosti alga.

Raznolikost vrsta alga u obraštaju bila je velika te je utvrđeno ukupno 163 vrste od kojih je najveći broj pripadao je skupini Chlorophyta (43% ukupnog broja vrsta) i razredu Bacillariophyceae (29% ukupnog broja vrsta). U ukupnom kvantitativnom sastavu dominantne vrste u obraštaju bile su uvijek alge iz razreda Bacillariophyceae, odnosno dijatomeje.

U razvoju zajednica alga utvrđene su tri faze. U prvoj fazi dominirale su vrste koje priliježu uz podlogu (*Stephanodiscus hantzschii*) ili se za nju prihvaćaju vršnim dijelom stanice (*Fragilaria ulna* var. *acus*). U drugoj fazi zajednica je postala složenija te su u obraštaju dominirale alge koje priliježu uz podlogu (*Rophalodia gibba*), izdižu se od podloge uz pomoć stapki (vrste roda *Gomphonema*) ili su postavljene vertikalno (*Nitzschia*). U trećoj fazi došlo je do naglog povećanja ukupnog broja jedinki alga te su u obraštaju dominirale vrste koje su bolje prilagođene uvjetima veće kompeticije za prostor, hranjive tvari i svjetlost: *Achnanthidium minutissimum, Epithemia sorex, Nitzschia dissipata, Rophalodia gibba, Gomphonema olivaceum* i *Navicula cryptocephala.*

Rezultati istraživanja pokazuju da se u relativno stabilnim hidrološkim uvjetima u Sakadaškom jezeru mogu razviti kvalitativno i kvantitativno bogatije obraštajne zajednice alga u odnosu na zajednice koje se razvijaju u uvijetima plavljenja jezera.

7. LITERATURA

Ács É., Borsodi AK., Kröpfl K., Vladár P., Záray 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 (2), 89-100

Ács É., Kiss KT. 1993. Colonization process of diatoms on artificial substrates in the river Danube near budapest (Hungary). Hydrobiologia 269/270:307-315

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). Algological Studies 135-156

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 (2 Suppl.):609-616

APHA. 1985. American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters. Washington.

Azim ME., Beverdige MCM., van Dam AA., Verdegem MCJ. 2005. Periphyton: Ecology, Exploitation and Managament. CABI, Oxfordshire i Cambridge, pp 15-55

Bahulikar R. 2006. Diatoms of littoral zone of Lake Constance: diversity, phylogeny, extracellular polysaharides and bacterial associations. Universität Konstanz, Fachbereich Biologie. Fachbereich Biologie

Biggs BJF., Smith RA. 2002. Taxonomic richness of stream benthic algae: effect of flood disturbance and nutrients. Limnology and Oceanography 47:1175-1186

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. In: Stevenson RJ., Bothwell ML., Lowe RL., (eds.). Algal ecology in freshwater benthic ecosystem, Academic Press, SanDiego, London, 31-56

Bognar A. 1990. Geomorfologija Baranje. Štamparski zavod Ognjen Prica, Zagreb, 312 pp.

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

Felisberto SA., Rodrigues L. 2010. Periphytic algal community in artificial and natural substratum in a tributary of the Rosana reservoir (Corvo stream, Paraná state, Brasil). DOI:10.4025/actascibiolsci.v32i4.4627

Gaiser E. 2008. Periphyton as an indicator of restoration in the Florida Everglades. Ekological indicators 9:31-45

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

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

Gucunski D. 1994. Važnost zaštite hidroloških sustava Specijalnog zoološkog rezervata Kopački rit. Zbornik ekoloških radova „Problemi u zaštiti okoliša“. Osijek 1:15-23

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. Science of the Total Environment 328:207-218

Hillebrand H., Sommer U. 2000. Effect of continuous nutrient enrichment on microalgae colonizing hard substrates. Hydrobiologia 426:183-190

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

Hindak F., Cyrus Z., Marvan P., Javornicky P., Komarek J., Ettl H., Rosa K., Sladečkova A., Popovsky J., Punčocharova M., Lhotsky O. 1978. Slatkovodne riasy. Slovenske pedagogicke nakladelstvo, Bratislava.

Hindak F., Komarek J., Marvan P., Ružička J. 1975. Kluč na určovanie vytrusnych rastlin. Slovenske pedagogicke nakladelstvo, Bratislava.

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

Hodoki Y. 2005. Effects of solat ultraviolet radiation on the periphyton community in lotic systems: comparison of attached algae and bacteria during development. Hydrobiologia 534:193-204

Huber-Pestalozzi G. 1961-1990. Das phytoplankton des Susswassers. Teil 1-7. E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. Germany.

Hustedt F. 1976. Bacillariophyta. Otto Koeltz Science Publishers, Koenigstein.

Junk WJ., Bayley BP., Sparks RE. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. Canadian Special Publication Of Fisheries and Aquatic Sciences, vol. 106:110-127

Keckeis S., Baranyi C, Hein T., Holarek C., Reidler P., Schiemer F. 2003. The significance of zooplancton grazing in floodplain system of river Danube. Journal of Plankton Research 25: 243-253

Kern J., Darwich A. 2003. The role of periphytic N sub(2) fixation for stands of macrophytes in the whitewater floodplain. Amazoniana. Vol. 17:3-4, pp. 361-375

Komárek J. 1973. The communities of algae of Opatovicky Fishpond (South Bohemia). In: Heiny, S. (ed.), Ecosystem on Wetland bime in Czechoslovakia. Czechosol. IBT/PT-PP Report No3, Trebon, 179-184

Komárek J., Anagnostidis K. 1989. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 4. Nostocales. Algological Studies, 56:247-375

Krebs CJ. 1999. Ecological Metodology. 2nd ed. Benjamin Cummings, Menlo Park, California, 620 pp.

Makarevitz TA., Mastitsky SE., Savich IV. 2008. Phytoperiphyton on the shels of *Dreissena polymorpha* (Pallas) in Lake Naroch. Aquatic Invasions.3:283-29

Maltais MJ., Vincent WF. 1997. Periphyton community structure and dynamicsin subarctic lake. Canadian Journal of Botany 75:1556-1569

Mihaljević M., Getz D., Tadić Z., Živanović B., Gucunski D., Topić J., Kalinović I., Mikuška J. 1999. Kopački rit-Pregled istraživanja i bibliografija. HAZU, Zavod za znanstveni rad Osijek, Zagreb-Osijek, 187 pp.

Mihaljević M., Stević F., Horvatić J., Hackenberger-Kutuzović B. 2009. Dual impact of the flood pulses on the phytoplancton assemblages in Danubian floodplain lake (Kopački rit Nature park, Croatia). Hydrobiologia, 618:77-88

Mihaljević M., Žuna-Pfeiffer T. 2010. Kolonizacija perifitonskih alga u poplavnom području Dunava. 3. hrvatski botanički kongres, Knjiga sažetaka/Jasprica, Nenad; Pandža, Marija;Milović, Milenko (ur.) Zagreb:Školska Knjiga d.o.o.213-213

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

Muñoz I., Real M., Gausch H., Navarro E., Sabater S. 2000. Resource limitation by freshwater snail (Stagnicola vulnerata) grazing pressure: an experimental study. Archiv für Hydrobiologie. 148:517-532

Nabout JC., Nogueria IS., Oliveria LG. 2006. Phytoplankton community of floodplain lakes of the Araguaia River, Brazil, in the rainy and dry seasons. Journal of plancton research. 28:181-193

Pantle R., Buck H. 1955. Die Biologische Überwaschung der Gewasser die Darstellung der Ergebnisse. GWF 96, 604 pp.

Petz B. 1985. Osnovne statističke metode za nematematičare. Sveučilišna naklada Liber, Zagreb.

Pielou EC., 1969. An introduction to Mathematical Ecology. John Wiley and Sons, New York, 286 pp.

Pithart D., Pichlová R., Bílý M., Hrbáček J., Novotná K., Pechar L. 2007. Spatial and temporal diversity of small shallow watersin river Lužnice floodplain. Hydrobiologija 584: 256-275

Plenković-Moraj A., Kralj K., Gligora M. 2008. Effect of current velocity on diatom colonization on glass slides in unpolluted headwater creek. Periodicum Biologorum. Vol. 110. No3:291-295

Rodrigues L., Bicudo D. 2001. Similarity among periphyton algal communities in a lentic-lotic gradient of the upper Paraná river floodplain, Brazil. Revta Brasil. Bot. São Paulo, Vol. 24, No3:235-248

Saikia SK. 2011. Review periphyton as mediator of nutrient transfer in aquatic ecosystems. Ecologia Balcanica. Vol.3:65-78

Shannon CE. 1984. A mathematical theory of communication. Bell Syst. Tech. J. 27: 379-423, 623-656

Sörensen T. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant society based on similarity of species content. K. Danske. Vidensk. Selsk. 5:1-3

Steinman AD. 1996. Effect of grazing on freshwater benthic alga. In: Algae Ecology, Freshwater Benthic Ecosystems (Edser J. Stevenson M.L., Bothwell i Lowe R.L.), Academic Press, Inc. 341-373

Szlauer-Lukaszewska A. 2007. Succesion of periphyton developing on artificial substrate imersed in polysaprobic wastewaterreservoir. Polish J. of Environ. Stud. Vol.16:753-762

Szabó KE., 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 Biology. 1-13

Verb RH., Vis ML. 2002. Comparison of benthic diatom assemblages from streams draining abandoned and reclaimed coal mines and nonimpacted sites. Journal of North American Benthological Society 19: 274-288

Vermat JE. 2005. Periphyton dynamics and influencing factors . In: Azim ME., Verdegem MCJ., van Dam AA., Beveridge MCM. (eds): Periphyton Ecology Exploatation and Management. CABI Publishing. Cambridge, USA, pp. 36-37

Vymazal J., Richardson CJ. 1995. Species composition, biomass and nutrient contenet of periphyton in the Florida Everglades. Journal of Phycology 31:343-354