Sezonska raspodjela fitoplanktona u akumulaciji Butoniga

Šimunović, Maja

Master's thesis / Diplomski rad

2008

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:088122

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

BIOLOŠKI ODSJEK

MAJA ŠIMUNOVIĆ

SEZONSKA RASPODJELA FITOPLANKTONA U AKUMULACIJI BUTONIGA

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2008.

Rad je napravljen na Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom prof. dr. sc. Anđelke Plenković-Moraj. Predan je na ocjenu Vijeću Biološkog odsjeka PMF-a Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja dipl. ing. biologije-ekologije.

Sadržaj

1. Uvod 1

1.1. Plankton 1

1.2. Sezonska raspodjela fitoplanktona 5

1.3. Cilj istraživanja 7

1.4. Područje istraživanja 8

2. Materijali i metode 11

3. Rezultati 13

3.1. Sezonska raspodjela fitoplanktona u akumulaciji Butoniga u 2007. godini 13

3.2. Taksonomski sastav zajednice fitoplanktona u razdoblju od 2000. do 2007. godine 25

3.3. Usporedba ukupne brojnosti fitoplanktona u razdoblju od 2000. do 2007. godine 29

3.4. Fitoplanktonska zajednica u akumulaciji Butoniga 32

4. Rasprava 33

5. Zaključak 36

6. Literatura 37

7. Prilog 43

Rad je napravljen na Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom prof. dr. sc. Anđelke Plenković-Moraj. Predan je na ocjenu Vijeću Biološkog odsjeka PMF-a Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja dipl. ing. biologije-ekologije.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Anđelki Plenković-Moraj i dr. sc. Mariji Gligori na strpljivosti i trudu uloženom u realizaciji ovog diplomskog rada;
Obitelji, svim prijateljima i dobrim ljudima s pozitvnim mislima koji mi svaki dan daju inspiraciju i bez kojih ne bih bila osoba kakva sam danas.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek Diplomski rad

Sezonska raspodjela fitoplanktona u akumulaciji Butoniga

Maja Šimunović

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek
Rooseveltov trg 6, Zagreb

SAŽETAK

Istraživanje fitoplanktona provedeno je u akumulaciji Butoniga (Istra) s ciljem definiranja sezonske raspodjele, utvrđivanja dominantnih vrsta te kvalitativnih i kvantitativnih promjena unutar fitoplanktonske zajednice. Uzorci fitoplanktona sakupljani su tijekom svibnja, lipnja, srpnja, kolovoza i listopada 2007. godine na četiri postaje. U fitoplanktonskoj je zajednici ukupno utvrđeno 36 vrsta. Brojnošću vrsta dominira skupina Chlorophyta, a dominantna vrsta po broju stanica je Cyclotella sp. (razred Bacillariophyceae) koja maksimum razvoja dostiže u proljeće. U ljeto dominira Dinobryon divergens, a u jesen Dinobryon bavaricum. S obzirom na promjenu metode uzorkovanja (od 2000. do 2005. - planktonska mrežica; 2006. i 2007. - Utermöhl metoda) zabilježena je razlika u ukupnoj brojnosti fitoplanktona koja se očituje u odvajanju po taksonomskom sastavu.

Karakteristična zajednica fitoplanktona u akumulaciji Butoniga je Cyclotella sp. - Dinobryon divregens - Dinobryon bavaricum - Ceratium hirundinella - Peridinium umbonatum. Taksonomski sastav i dominantne vrste u razdoblju od 2000. do 2007. godine idu prema povećanju brojnosti vrsta iz razreda Bacillariophyceae i Chrysophyceae što upućuje na poboljšanje kakvoće vode akumulacije Butoniga.

(43 stranice, 9 slika, 1 prilog, 8 tablica, 63 literaturnih navoda, hrvatski jezik)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici, Marulićev trg 20/II, 10 000 Zagreb

Ključne riječi: fitoplankton, sezonska distribucija, akumulacija Butoniga, Cyclotella ocellata, Dinobryon divergens, Dinobryon bavaricum, Ceratium hirundinella

Mentor: prof. dr. sc. Anđelka Plenković-Moraj

Ocjenjivači: prof. dr. sc. Anđelka Plenković-Moraj
prof. dr. sc. Mirjana Pavlica
doc. dr. sc. Ivančica Ternjej

Rad prihvaćen: 21. 5. 2008.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Division of Biology

Graduation Thesis

Seasonal distribution of phytoplankton in Butoniga accumulation

Maja Šimunović

University of Zagreb
Faculty of Science
Division of Biology
Rooseveltov trg 6, Zagreb

Abstract

Phytoplankton assemblages in Butoniga accumulation (Istria) were studied with the goal to describe the phytoplankton community, seasonal distribution, dominant species during 2007, and to find the changes through comparison of the data from previous research. The samples during 2007 were collected in May, June, July, August and October on 4 stations. During the investigation a total number of 36 phytoplankton species were found. The dominant group considering the number of species was Chlorophyta and dominant species in regard to number of cells was Cyclotella sp. (Bacillariophyceae). Because of the change of selective methodology (net phytoplankton: 2000 - 2005, and Utermöhl method: 2006 and 2007) there was established a taxonomical difference between 2006 and 2007 and other researched years. The characteristic community of phytoplankton in accumulation Butoniga is Cyclotella sp. - Dinobryon divergens - Dinobryon bavaricum - Ceratium hirundinella - Peridinium umbonatum. According to composition of phytoplankton community the quality of water in accumulation Butoniga is improving.

(43 pages, 9 figures, 1 plate, 8 tables, 63 references, original in Croatian language)

Thesis deposited in Central Biological Library, Marulićev trg 20/II, 10 000 Zagreb

Key words: accumulation Butoniga, phytoplankton, seasonal distribution, Cyclotella sp., Dinobryon divergens, Dinobryon bavaricum, Ceratium hirundinella

Supervisor: prof. dr. sc. Anđelka Plenković-Moraj

Reviewers: prof. dr. sc. Anđelka Plenković-Moraj
prof. dr. sc. Mirjana Pavlica
doc. dr. sc. Ivančica Ternjej

Thesis accepted: 21. 5. 2008.

1. Uvod

1.1. Plankton

Pojam plankton obuhvaća zajednicu organizama koji su prilagođeni životu u slobodnoj vodi slatkih voda i mora. To su slabo pokretljivi organizmi koji najvećim dijelom mijenjaju lokaciju pasivno nošeni strujanjem vode. Naziv plankton je prvi upotrijebio njemački biolog Viktor Hensen koji je u drugoj polovici 19. stoljeća započeo opsežna istraživanja distribucije, abundancije i sastava mikroskopskih organizama u oceanu (Reynolds 1984).

Predstavnici planktona su: bakterije, protisti, gljive i metazoa. S obzirom na njihovu ulogu u ekosustavu plankton dijelimo na fotosintetski aktivne proizvođače (fitoplankton), fagotrofne potrošače (zooplankton) i heterotrofne razlagače (bakterioplankton).

Prema Haeckelu (1890) postoji holoplankton (organizmi koji su cijeli život u planktonu) i meroplankton (organizmi koji provode samo dio života lebdeći u stupcu vode, a dio u bentosu ili nekom drugom mikrostaništu) (Reynolds 1984). Veličina planktonskih organizama varira od nekoliko nanometara (virusi) do nekoliko metara (velike meduze i lanci salpi).

S obzirom na veličinu stanica planktonskih vrsta (Tablica 1.1) razlikujemo: piko-, nano-, mikro-, mezo- i makroplankton (Sieburth i sur. 1978).

Tablica 1. 1: Klasifikacija planktona prema veličini stanica (preuzeto iz Reynoldsa 1997.)

Maksimalna linearna dužina stanice	Naziv
0,2-2 μm	pikoplankton
2-20 μm	nanoplankton
20 μm-200 μm	mikroplankton
200 μm-2 mm	mezoplankton
>2 mm	makroplankton

Riječ fitoplankton se koristi za skup fotosintetskih jednostaničnih i višestaničnih organizama koji dijelom ili potpuno žive u slobodnoj vodi (pelagijalu). Primarni su proizvođači slatkih voda, mora i oceana i temelj su hranidbene piramide ekosustava. Fotosinteza u zoni pelagijala ostvaruje značajnih 45% ukupne primarne produkcije Zemlje (Reynolds 1984).

Opisano je oko 10000 vrsta fitoplanktona (Sournia i sur. 1991, Tett i Barton 1995). U literaturi se spominje 5000 slatkovodnih vrsta (Reynolds 2006) koje dijelimo u skupine: Cyanobacteria, Glaucophyta, Euglenophyta, Cryptophyta, Chrysophyta, Dinophyta i Chlorophyta.

Cyanobacteria (modrozelene alge) su prokariotski autotrofni organizmi. Nalazimo ih gotovo u svim tipovima ekosustava na Zemlji, a najbrojnije su zastupljene u slatkim vodama i morima. Uzrok njihove široke rasprostranjenosti je činjenica da osim fotoautotrofnog načina prehrane, kao dopunski izvor energije za svoj rast i razvoj, koriste i organske supstance iz okoliša. Do danas je opisano preko 2000 vrsta Cyanobacteria, svrstanih u 150 rodova. To su jednostanični, kolonijalni ili nitasti organizmi koji ponekad stvaraju oku vidljive strukture. Veličine jednostaničnih cijanobakterija su između 0,6 i 30 μm, a nitastih oblika od 0,4 do 45 μm. Njihova se starost procjenjuje na oko 3 milijarde godina. U planktonu slatkih voda i mora zastupljeni su redovi Chroococcales, Oscillatoriales i Nostocales.

Glaucophyta čine poseban odjel slatkovodnih eukariotskih algi koje pokazuju istodobno sličnost s cijanobakterijama (peptidoglikanska stanična stijenka, pojedinačni tilakoidi, fikobilisomi s fikobilinima te karboksisomi) i zelenim algama (prisutnost organela, klorofila b, škroba i bičeva).

Euglenophyta su eukariotski organizmi većinom s pojedinačnim stanicama vretenastog oblika koje su prekrivene proteinskom pelikulom (periplast). Iako su prvenstveno autotrofni organizmi ovi organizmi mogu biti i heterotrofi i saprofiti. Stanice imaju prednji veći bič (pantonema) i drugi manji koji je okrenut prema natrag. Bič služi pokretanju, ali se ove stanice mogu pokretati i prelijevanjem plazme s jednog kraja stanice na drugi (tkz. metabolizam). U citoplazmi se uz osnovicu biča nalazi očna pjega ili stigma koja služi kao fotoreceptor, a sastoji se od lipidnih kapljica s pigmentom astaksantinom (derivat karotena). Rezervna tvar u stanicama je paramilum (β-1,3 glukan). U stanici se nalaze kontraktilne vakuole, koje služe za regulaciju osmotskog pritiska i za ekskreciju. Razred Euglenophyceae obuhvaća šest redova (oko 40 rodova i 800 vrsta).

Za Cryptophyta je karakterističan uzdužno položen nabor periplasta (ždrijelo) u prednjem dijelu stanice duž kojeg su položeni ejektosomi, tip ejektilnih organela (ekstrusomi ili trihociste) koji jako lome svjetlo. Stanice imaju dva nejednaka biča; dulji bič sadrži dvostranu, a kraći jednostranu mastigonemu. Poznato je oko 100 slatkovodnih i 100 morskih vrsta koje su svrstane u jedan razred (Cryptophyceae) i jedan red (Cryptomonadales).

Chrysophyta neki nazivaju i zlatno-žutim algama (grčki chrysos = zlatnožut) jer sadrže žućkaste plastide. Svojstveni pigmenti su im Chl c1, Chl c3, a od karotenoida fukoksantin 19'-heksanoiloksifukoksantin, 19'-butanoiloksifukoksantin i vaucheriaksantin. Rezervna tvar je polimer glukoze krizolaminarin. Ova skupina ima široku rasprostranjenost, a najčešće obitava u čistim slatkim vodama. Značajni su primarni producenti organske materije u vodenim ekosustavima. Pokreću se s dva nejednako dugačka biča pa ih neki sistematičari izdvajaju u poseban odjel Heterokontophyta (Chrysophyceae, Xanthophyceae, Bacillariophyceae, Dictyochales, Raphidophyta, Phaeophyta). Veliki broj vrsta je bez membrane (gimnoblasti), pa mogu mijenjati oblik tijela i stvarati pseudopodije (rizoidni tip). Kod drugih postoji jasno diferencirana membrana iz pektina te je u tom slučaju često prožeta

kremičnom kiselinom (silicijev dioksid) ili kalcijevim karbonatom. Planktonske predstavnike nalazimo u svih pet razreda (Chrysophyceae, Prymnesiophyceae, Xanthophyceae, Chlorarachniophyceae i Bacillariohyceae). Posebno se izdvaja razred Bacillariophyceae (sin. Diatomeae ili alge kremenjašice). Čitavu stanicu dijatomeje obavija kremena kućica (frustulum) s dvjema ljušturicama (thaecae) koje se preklapaju poput kutije i poklopca. Svaka ljušturica se sastoji od valve (epivalva i hypovalva) i pojasa (mantellum) koji čine copulae i pleurae. Dodatne naslage silicija na ljušturici stvaraju zadebljanja – rebra (costae). Između rebara se nalaze šupljine (areolae). Rebra u nekih dijatomeja mogu ići radijalno od kružne formacije (anulus) ili se mogu širiti od jednog zadebljalog rebra (sternum). Uz sternum dijatomeja s bilateralnom simetrijom (red Pennales) nalazi se uzdužni prorez (rapha). Rafa može biti premošćena silicijevim mostovima (fibulae) pa se tako stvara rafa s kanalom. Kod reda Centrales koji obuhvaća vrste s radijalno simetričnim stanicama ne postoji rapha. Na površini valve česti su izdanci (portulae) koji otpuštaju sluz (poliksiloze i galaktani) kojom se stanice pokreću po podlozi. Stanice se uvijek dijele u valvalnoj ravnini (dijeli stanicu na gornju i donju polovicu) tako da epiteka ostaje, a hipoteka se ponovno stvara. Sinteza nove kremene valve započinje stvaranjem opne (silikalema) koju čini kompleks vakuola, endoplazmatskog retikuluma i mikrotubula. Uzastopnom diobom stanice se sve više smanjuju jer se pri diobi sintetizira manja ljušturica kućice. Veličina stanica se vraća na prvobitnu spolnim načinom razmnožavanja. Vegetativne stanice su diploidne što ukazuje na evolucijski napredak.

Dinophyta ili svijetleći bičaši (u mnogih susrećemo bioluminiscenciju) su uz dijatomeje najznačajniji predstavnici mrežnog planktona u morima i slatkim vodama. Postoje heterotrofne vrste pa se ova skupina po klasičnoj zoološkoj nomenklaturi ubrajala u porodicu Dinoflagellata. Na površini svojih stanica imaju modifikaciju periplasta nazvanu amfijezma. Vezikule amfijezme mogu biti prazne pa takve dinoflagelate nazivamo atekatnim ili ispunjene celuloznim pločama i tada ih nazivamo tekatnim. Na ventralnoj strani stanice sijeku se uzdužna brazda (sulcus) i poprečna brazda (cingulum). Iz sjecišta brazda izlaze bičevi. Celulozne ploče tekatnih vrsta spojene su šavovima (suturae), a njihov raspored i oblik je važan za sistematiku. Stanice imaju veliku jezgru s trajno kondenziranim kromosomima (dinokarion). Mnoge vrste razvijaju guste populacije u moru (cvjetanje) pa mogu promijeniti boju mora u crvenu (engl. red tide) ili zelenu (engl. green tide). Poznato je oko 2000 vrsta koje su svrstane u jedan razred (Dinophyceae) i osam redova (Prorocentrales, Dinophysiales, Gymnodiniales, Noctilucales, Pyrocystales, Peridinales, Blastodiniales i Thoracospaerales).

Odjel Chlorophyta (zelene alge) je vrlo velika skupina alga koje imaju talus s različitim stupnjem organizacije. Kod planktonskih vrsta možemo razlikovati pojedinačne pokretne stanice, kolonijalne flagelate, pojedinačne stanice povezane sluzavim omotačem (palmeloidni ili tetrasporalni talus), te nepokretne pojedinačne okrugle stanice (kokoidni talus). Kod odvedenijih zelenih alga možemo na stelji razlikovati dijelove koji podsjećaju na biljku (rizoide, kauloide i filoide). Pokretni oblici imaju bičeve

jednake dužine pa ih nazivaju Isocontae. Pretežno su to autotrofni organizmi, ali sekundarno mogu biti i heterotrofni. Predstavnici planktona dolaze u sva tri razreda: Prasinophyceae (Pedinomonadales, Pterospermatales, Mamiellales, Pyramimonadels, Halosphaerels, Prasinocladales), Chlorophyceae (Volvocales i Chlorococcales) i Conjugatophyceae (Desmidiales). Ishodište zelenih alga su prabičaši, što se vidi i po najprimitivnijim algama ove skupine, koje nisu otišle dalje od flagelatnih oblika (Volvocales).

Fitoplankton čini dio ili gotovo sav organski ugljik dostupan u pelagičkom hranidbenom lancu u otvorenoj vodi mora, jezera (i akumulacija), bara, močvara i velikih rijeka. Za njihov razvoj potrebni su elementi: P, N, Si, Fe, H, O, S, Ca, Mg, Na, K, Cl, Zn, Cu, Co, Mo, Ba i Va. Šest elemenata (C, H, O, N, P i S) su klasificirani kao makronutrijenti i čine barem 1% suhe tvari zdrave aktivne stanice.

Ako oduzmemo pepeo iz mineralima pojačanih staničnih stijenki, ugljik zauzima 50% suhe tvari, dušik oko 8-9 % i fosfor između 1 % i 1,2 %. Relativno prema fosforu, ove količine odgovaraju atomskom omjeru 109C: 16N: 1P, što je blizu Redfieldovog omjera za partikularnu tvar u oceanima (Reynolds 1997).

U stanicama fitoplanktonskih organizama dušik zauzima 7-8,5 % suhe tvari zdrave aktivne stanice. Osnovna uloga dušika je u sintezi aminokiselina i proteina. Najznačajniji izvori dušika su nitrati, nitriti i amonijak, te otopljeni organski oblici koji uključuju ureju i slobodne aminokiseline, a određene cijanobakterije mogu fiksirati atmosferski dušik (vrste reda Nostocales: Anabaena, Anabaenopsis, Aphanizomenon, Cylindrospermopsis, Gloeotrichia i Oscillatoriales).

Fosfor zauzima 1-1,2 % ukupne mase suhe tvari zdrave aktivne stanice. Minimalna količina u stanici može interspecijski varirati od 0,02 do 0,4 % suhe tvari. Prirodne koncentracije fosfora dostupnog živim organizmima su oko 0,2 μM. Koncentracije potrebne da zasite brzinu rasta obično su ispod 0,13 μM i većina vrsta može normalno živjeti pri koncentracijama između 0,01 i 0,001 μM (Reynolds 2006).

Od ostalih, željezo je mikronutrijent čija je dostupnost rijetko problem za fitoplankton. Potrebe za silicijem iznose od 0,5 % do 35 % suhe mase. U vezikulama stvorenim u Golgijevom aparatu se sintetizira netopljivi opal (SiO_2xH_2O) iz topljivog silicija koji je u vodi prisutan u obliku ortosilicijeve kiseline (H_2SiO_4) i njezinih polimera što znatno povećava suhu masu stanice (Reynolds 1997).

Unos hranjivih tvari kod “izgladnjelih” stanica fitoplanktona slijedi modele bazirane na Michaelis-Menten modelu (Reynolds 1997, 2006). To je dobar opis prijenosa čestica preko ulaza koji se može zasititi iako je razvijen u svrhu kinetike enzima. Pri niskim koncentracijama model izražava brzinu asimilacije proporcionalnu koncentraciji dok pri visokim koncentracijama izražava brzinu asimilacije kao funkciju kapaciteta ulaza. Mogućnost unosa hranjivih tvari definirana je odnosom maksimalnog kapaciteta za određenu hranjivu tvar i njegove koncentracije u vodi koja će do pola zasititi maksimalnu

brzinu unosa. Velika brzina unosa u odnosu na biomasu i/ili mogućnost da dođe do polovice zasićenja pri malim koncentracijama je važna prilagodba koja daje prednost.

1.2. Sezonska raspodjela fitoplanktona

Na populacije fitoplanktona u slatkovodnim ekosustavima utječu kemijski, fizikalni i biološki čimbenici. Dostupnost hranjive tvari (Mortensen i sur. 1994), CO_2 (Shapiro 1997), količina svjetlosti i gustoća zooplanktona (Carpenter i Kitchell 1993) najviše određuju sezonsku raspodjelu i strukturu fitoplanktona.

Sukcesija je slijed pojavljivanja različitih vrsta u određenom vremenu na određenom prostoru koji teži dinamički stabilnom stanju zajednice, klimaksu (Reynolds 2006). Tijekom godine zajednica fitoplanktona prolazi kroz promjene u sastavu, brojnosti i biomasi što nazivamo sezonska raspodjela ili sukcesija. Tri najznačajnija modela razvoja fitoplanktona su: Hutchinsonov model, Sommerov PEG model i Reynoldsov model.

Hutchinson (1967) je opisao sezonske sukcesije fitoplanktona kao međudjelovanje fizičkih (temperatura, svjetlost, miješanje),biokemijskih (anorganske hranjive tvari, organske čestice, vitamini, antibiotici) i bioloških čimbenika okoliša (parazitizam i predatorstvo).

Osnovne postavke Sommer PEG modela (Plankton Ecology Group) (Sommer i sur. 1986) su: (1) hranjive tvari i resursi potrebni za razvoj planktona predstavljaju ograničavajuće uvjete u jezeru; (2) u zajednici postoji stalna kompeticija među vrstama; (3) maksimalni razvoj algi kod optimalnih fizikalnih i kemijskih uvjeta; (4) zooplankton se hrani malim vrstama fitoplanktona; (5) tijekom faze čiste vode dio hranjivih tvari će se regenerirati; (6) nakon faze čiste vode u planktonu će se razviti velike vrste; (7) fosfor kao ograničavajući čimbenik u kombinaciji s visokim koncentracijama silicija omogućava razvoj dijatomeja; (8) silicij i fosfor kao ograničavajući čimbenici dovode do razvoja dinoflagelata, a opadanje koncentracije dušikovih spojeva dovodi do razvoja cijanobakterija; (9) abundancija fitoplanktona ljeti rezultat je ograničavajućih čimbenika i selektivnog grejzinga. Sukcesijske faze čine slijed koji započinje razvojem fitoplanktona krajem zime i dostizanjem proljetnog maksimuma. Kad brzina filtracije zooplanktona postane veća od brzine razmnožavanja fitoplanktona (grejzing) uslijedi faza čiste vode, koja traje sve dok se u velikom broju ne razviju alge kojima se zooplankton ne hrani. Populacija herbivornog zooplanktona smanjuje se predacijom riba. Tijekom ljeta razvija se fitoplanktonska zajednica velike raznolikosti. U toj fazi iscrpljivanje hranjivih tvari ograničava razvoj „jestivih“ algi (Cryptophyceae). U zajednici fitoplanktona razvijaju se vrste koje mogu iskoristiti hranjive tvari, osobito fosfor iz hipolimniona (Ceratium) i koje mogu fiksirati dušik (cijanobakterije), dok je razvoj dijatomeja

ograničen niskim koncentracijama silicija. Velike vrste herbivora zamijenjuju rotatorija. Povećanjem dubine miješanja vodenog stupca i smanjenjem količine svjetlosti završava razdoblje autogene sukcesije. Razvijaju se veliki oblici nejestivih alga te dijatomeje. Smanjuje se utjecaj riba na zooplankton pa se razvija zajednica zooplanktona (jesenski maksimum zooplanktona). Smanjenjem količine svjetlosti u vodenom stupcu smanjuje se i primarna produkcija, a biomasa planktona ide prema zimskom minimumu.

Reynolds predstavlja model fitoplanktonskih zajednica i sezonskih sukcesija pri čemu povezuje fizikalno-kemijske čimbenike u epilimnionu, strategiju razvoja, individualne grupe u kojima su vrste tih strategija i funkcionalnu morfologiju.

Postoji nekoliko strategija razvoja fitoplanktonskih vrsta. "r-vrste" (velocity-adapted) imaju sposobnost brzog iskorištavanja hranjivih tvari te naglog povećanja brojnosti i biomase velikom brzinom razmnožavanja (r). Takve su vrste malih dimenzija s velikim omjerom površine i volumena. Javljaju se početkom svake sukcesije, a iscrpljivanjem hranjivih tvari tonu i postaju plijen herbivora te ih zamijenjuju tzv. "K-vrste". K-vrste nemaju visok omjer površine i volumena i često su pokretne. Imaju visok afinitet prema hranjivim tvarima i posebne mehanizme kojima mogu doći do hranjivih tvari u malim ograničenim koncentracijama.

Reynolds (1988 a, b) je opisao strategiju razvoja fitoplanktona prema intenzitetu stresa i narušavanja u ekosustavu. Kod jako izraženog stresa i narušavanja u pelagijalu nije moguć opstanak zajednici fitoplanktona. Ako se stres i narušavanje snize razvijaju se C-vrste invazivne strategije koje brzo iskorištavaju dostupne hranjive tvari. Kada su hranjive tvari i svjetlost u niskim koncentracijama, a narušavanje beznačajno, preživjet će samo efektivni kompetitori otporni na stres. Te S-vrste imaju posebne prilagodbe kao što su spremišta hranjivih tvari, male konstante poluzasićenja da bi mogle učinkovito uzimati hranjive tvari, migrirati i koristiti organske izvore. Treći tip su R-vrste neosjetljive na narušavanje i prilagođene na prijelazna staništa i uvjete koje se najbolje razvijaju kada ima dovoljno hranjivih tvari pri limitiranoj svjetlosti. Sezonska sukcesija fitoplanktona ide od r-selektiranih vrsta C strategije razvoja prema K-selektiranim vrstama S strategije.

S obzirom na kozmopolitske značajke fitoplanktonskih vrsta često se nailazi na slične zajednice. Zato se uz taksonomski sastav zajednice moraju promatrati i specifični ekološki uvjeti vezani za njihov razvoj. Fitoplankton je podijeljen u funkcionalne grupe koje objedinjuju morfološki, fiziološki i ekološki slične vrste u kojima su određeni karakteristični predstavnici, stanište i optimalni ekološki uvjeti.

1.3. Cilj istraživanja

U ekologiji je problematika istraživanja slatkih voda u osnovi nedvojbeno povezana sa strukturom zajednice, sastavom vrsta te sezonskom sukcesijom i dominacijom pojedinih fitoplanktonskih vrsta te je važan zadatak bazičnih znanosti istražiti prirodu takvih stanja. Struktura zajednice određena je odnosom između abiotičkih i biotičkih čimbenika okoliša te je sama po sebi i važan pokazatelj i deskriptor stanja vodenih ekosustava.

Predmet ovog istraživanja je fitoplanktonska zajednica u akumulaciji Butoniga tijekom 2007. godine i usporedba fitoplanktonske zajednice kroz sedam godina istraživanja na 4 postaje u akumulaciji, s ciljem:

- Opisati sezonsku raspodjelu fitoplanktona u akumulaciji Butoniga tijekom 2007. godine.
- Definirati zajednicu fitoplanktona i dominantne vrste tijekom 2007. godine
- Na osnovi ukupne brojnosti (broj stanica/l) i dominantnih vrsta odrediti promjene fitoplanktonske zajednice u razdoblju od 2000. do 2007. godine.
- Odrediti mogući utjecaj metodologije uzorkovanja na razlike u taksonomskom sastavu zajednice u razdoblju od 2000. do 2007. godine.
- Definirati fitoplanktonsku zajednicu na temelju sedmogodišnjih istraživanja.
- Odrediti vrste koje tipiziraju zajednicu fitoplanktona u akumulaciji Butoniga.

1.4. Područje istraživanja

Akumulacija Butoniga (Slika 1.1) je umjetno jezero smješteno u dolini ispod istarskih brda u slivu rijeke Mirne, na području gradova Buzet i Pazin i općine Cerovlje (Slika 1.2). Jezero ima tri kraka koji se spajaju u središnje vodeno tijelo. Najveća pritoka po kojoj je akumulacija i dobila ime je rječica Butoniga i stvara južni krak jezera. Centralni krak nastaje utokom potoka Podmerišće, a potok Račice tvori sjeveroistočni krak akumulacije. Jezero se osim iz pritoka dohranjuje vodom iz slivnog područja površine 73 km². Toponim doline nalazimo u dvije verzije: Butoniga i Botonega. Toponim Butoniga je starijeg porijekla i znači lijevi pritok, a toponim Botonega se javlja kasnije u doba Venecijanske republike i u prijevodu znači brzo plavljenje i dokazuje bujičnost vodotoka.



Slika 1.1: Akumulacija Butoniga – Pogled s brane (Foto: P. Mustafić)



Slika 1.2: Položaj akumulacije Butoniga na karti Hrvatske

Prema podacima iz studije istraživanja akumulacije Butoniga (Mrakovčić i sur. 2005) ukupna površina akumulacije je 2,5 km² kod ispunjenosti do kote 41 m nad morem. Najveća dubina iznosi oko 16 m kod te iste ispunjenosti. Volumen vode je 20 milijuna prostornih metara. Normalna razina ispunjenosti akumulacije je do kote 36 metara nad morem zimi i 38 metara nad morem ljeti radi kapaciteta prihvata poplavnih voda. Nivo vode u akumulaciji se regulira ispuštanjem kroz temeljni ispust koji je na koti 22,5 metara nad morem. Kad je akumulacija ispunjena do kote 41 metar nad morem najveći kapacitet protoka kroz temeljni ispust je 87 prostornih metara u sekundi.

Prvobitna namjena akumulacije je bila obrana od poplava u dolini rijeke Mirne i navodnjavanje, ali se tijekom planiranja izgradnje pojavio i problem vodoopskrbe na južnom dijelu istarskog poluotoka pa je namjena proširena za osiguranje vode za vodoopskrbu. Osnovano je poduzeće Vodoopskrbni Sustav Istre–Vodovod Butoniga sa zadatkom izgradnje cjevovoda u dužini od 80 km do Pule i postrojenja za kondicioniranje vode kapaciteta 1000 l u sekundi u prvoj fazi. Nakon te prenamjene izrađen je glavni projekt koji je odredio tehničke karakteristike buduće nasute brane Butoniga i akumulacijskog jezera:

- maksimalna visina (kota krune)	+ 44,7 m. n. m.
- dužina brane po kruni	576 m
- kota preljeva	+ 41,0 m. n. m.
- volumen do kote preljeva	$19,7 \times 10^6$ m³
- mrtvi prostor (za nanos)	$2,2 \times 10^6$ m³

Brana Butoniga je sagrađena 1987. godine, akumulacija je prvi puta napunjena 1988. godine. Brana je od nasutog materijala s glinenom jezgrom.

Akumulacija Butoniga kao kapitalni objekt obrane od poplave pokazala je svoje značenje, i to posebno za vrijeme velikih poplava u 9. mjesecu 1991. i u 10. i 12. mjesecu 1992. godine.

Da bi akumulacija Butoniga i dalje mogla zadovoljavati svoju vodoopskrbnu funkciju potrebno je posvetiti pažnju kakvoći vode u jezeru, dakle cijelom jezeru kao ekosustavu zajedno sa slivnim područjem.

2. Materijali i metode

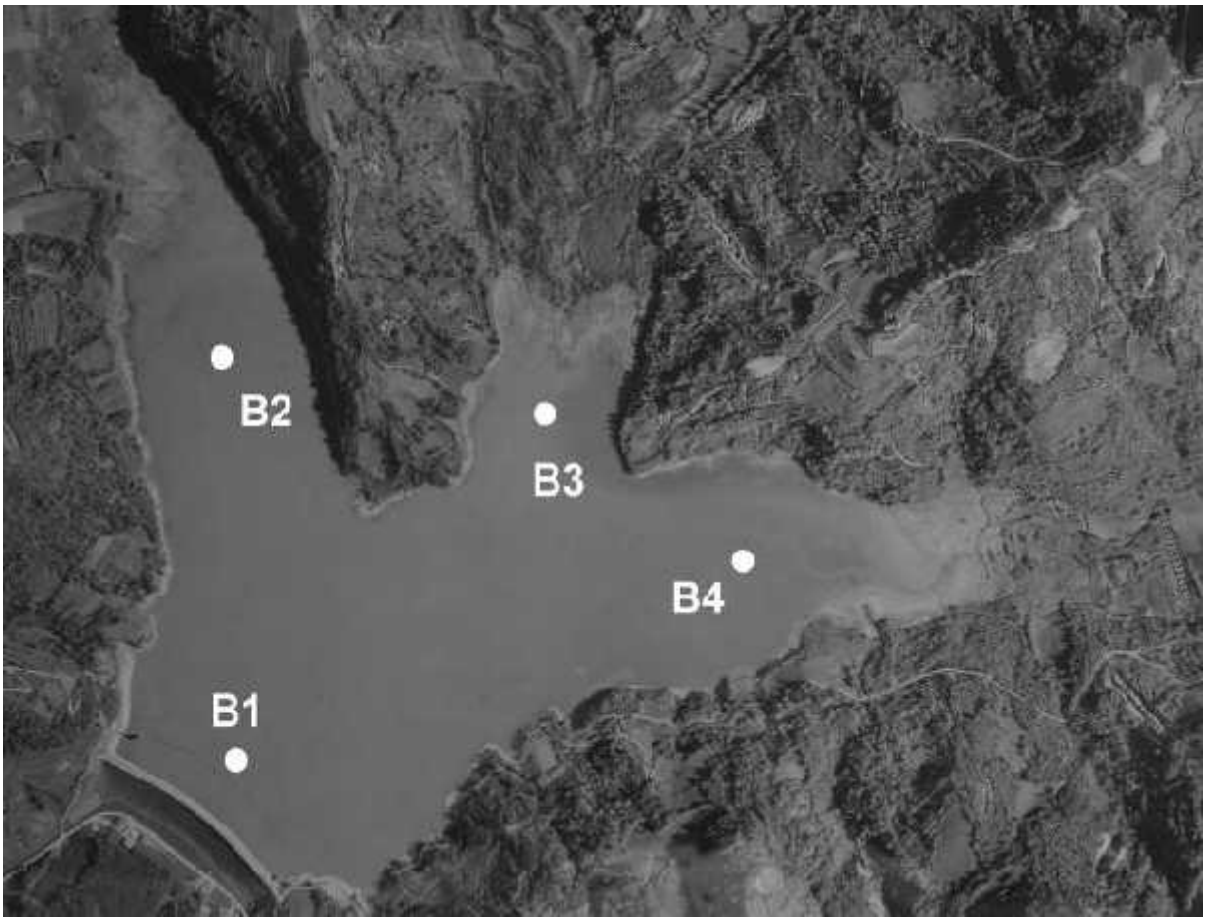
Na području akumulacije Butoniga uzorci su sakupljeni tijekom svibnja, lipnja, srpnja, kolovoza i listopada 2007. godine na četiri postaje.

Postaja B1 – dubina vode iznosi 12–13 metara ovisno o razini vode u akumulaciji i predstavlja najdublji dio. Nalazi se uz branu.

Postaja B2 – nalazi se na mjestu gdje utječe potok Račice. Dubina vode 12 metara.

Postaja B3 – nalazi se nasuprot brani blizu utoka potoka Podmerišće na plićem dijelu akumulacije na dubini 6-8 metara.

Postaja B4 – nalazi se na utoku potoka Butoniga. Dubina vode 6-9 metara (Slika 2.1).



Slika 2.1: Položaj istraživanih postaja akumulacije Butoniga (Foto: P. Mustafić)

Na svakoj su postaji uzorci sakupljani iz epilimnija (površinski sloj) i hipolimnija (dno) osim na postaji B1 na kojoj su uzorci sakupljani na 5 dubina (površina, 3, 6, 9 i 12 metara). Voda je crpljena pomoću vodene pumpe. Uzorci su na terenu fiksirani 2 %-tnim formaldehidom. Svaki poduzorak od 50 ili 10 ml sedimentiran je najmanje 24 sata. Stanice manje od 20 µm (nanofitoplankton) prebrojavane su u najmanje 15 nasumično odabranih vidnih polja uz pomoć invertnog mikroskopa Zeiss Axiovert 200 pri povećanju od 1000 X prema Utermöhl metodi (1958). Stanice i kolonije veće od 20 µm prebrojavane su u transektu pri povećanju od 400 X. Minimalno 400 sedimentiranih jedinica brojano je po uzorku uz pogrešku pri brojanju manju od 10 % (Lund i sur. 1958).

Fitoplanktonske vrste mikroskopirane su svjetlosnim Zeiss Standard 20 opremljenim analognim Contax167MT fotoaparatom i invertnim Zeiss Axiowert 200 mikroskopom. Fotografije dominantnih vrsta napravljene su uz pomoć analognog fotoaparata te uz pomoć računalnog programa Axio Vision. Također su korištene i fotografije fitoplanktonskih vrsta dobivene elektronskim skenirajućim mikroskopom (SEM) Hitachi S-2600.

Za determinaciju korištena je relevantna taksonomska literatura (West i West 1904, 1905, 1908, 1912, Huber-Pestalozzi 1950, Zabelina i sur. 1951, Golerbach i sur. 1953, Patrick i Reimer 1966, Patrick i Reimer 1975, Hindak i sur. 1978, Coesel 1982, Huber-Pestalozzi 1982, Coesel 1983, 1985, Jensen 1985, Popovsky i Pfiester 1990, Round i sur. 1990, Coesel 1991, Krammer i Lange-Bertalot 1991a, 1991b, Coesel 1994, Lenzenweger 1996, Coesel 1997, Lenzenweger 1997, 1999, Lange-Bertalot 2001, John i sur. 2002, Wehr i Sheath 2003).

Analiza strukture i sastava fitoplanktonske zajednice provedena je uz pomoć opisne statistike i to uz pomoć klaster metode i ordinacijske metode nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja (NDMS) i analize glavnih komponenti (PCA). Da bi se izbjegla veličinska razlika u brojnosti fitoplanktona između dominantnih i ostalih vrsta te sezonskih razlika u brojnosti, matrice su logaritamski transformirane (log (x+1)). Klaster i NMDS analiza su provedene na matrici dobivenoj izračunavanjem Bray-Curtis indeksa sličnosti. Analize su provedene uz pomoć računalnih programa Microsoft Excel 2003 (Microsoft Corporation 2003) i Primer 5.0 (Primer-E Ltd 2002). Pri obradi fotografija korišteni su Paint Shop Pro 7 (Jasc Software 2003) i Corel Graphics Suite 11 (Corel Corporation 2002).

3. Rezultati

3. 1. Sezonska raspodjela fitoplanktona u akumulaciji Butoniga u 2007. godini

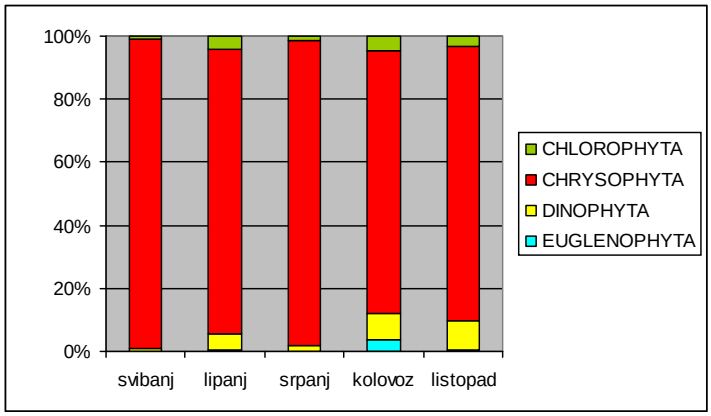
Sezonska raspodjela fitoplanktona na postaji B1 (Slika 3.1.1) ukazuje na dominantnost skupine Chrysophyta tijekom svih godišnjih doba. Skupine Chlorophyta i Dinophyta su kodominantne, a Euglenophyta se značajnije pojavljuju u kolovozu. U proljeće dominantna vrsta iz skupine Chrysophyta u akumulaciji Butoniga je Cyclotella sp. Tijekom ljetnog razdoblja u srpnju dominantna vrsta iz skupine Chrysophyta je Dinobryon divergens dok je u kolovozu i listopadu dominantna vrsta Dinobryon bavaricum (Tablica 3.1.1). Vrste s niskom abundancijom, ali s visokom učestalosti pojavljivanja su Ceratium hirundinella i Peridinium umbonatum prisutne tijekom čitavog perioda istraživanja osim u svibnju kad nije zabilježena vrsta Peridinium umbonatum.

Na postaji B2 također dominiraju Chrysophyta kroz cijelu godinu (Cyclotella sp. u proljeće i vrste roda Dinobryon u ljeto). Može se primijetiti veća brojnost Chlorophyta u svibnju (Pandorina morum) i lipnju (Crucigenia fenestrata) dok u kolovozu uz Chlorophyta kodominiraju Euglenophyta (Euglena sp.). U listopadu uz stalno visoko zastupljene Chrysophyta dominiraju Dinophyta (Ceratium hirundinella) (Tablica 3.1.2).

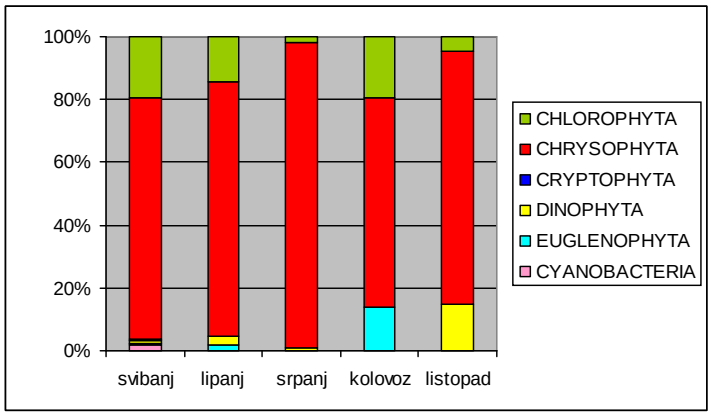
Chrysophyta dominiraju i na postajama B3 i B4 s istim vrstama. U lipnju kodominiraju Chlorophyta (na postaji B3 Pediastrum duplex, a na postaji B4 Crucigenia fenestrata). U listopadu se značajnije pojavljuju Dinophyta (Ceratium hirundinella) (Tablica 3.1.3, Tablica 3.1.4).

Bitno je napomenuti da se na postajama B1 i B4 ne pojavljuju skupine Cyanobacteria i Cryptophyta.

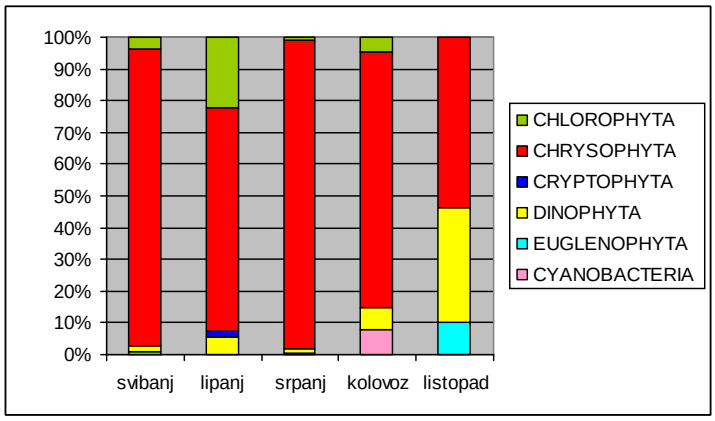
B1



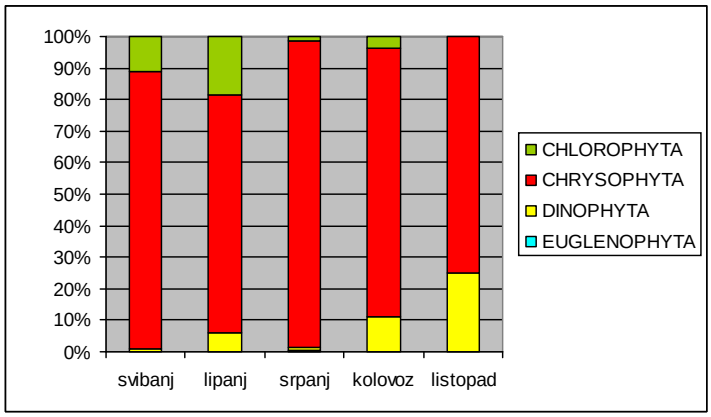
B2



B3



B4



Slika 3.1.1: Sezonska raspodjela fitoplanktona prikazana kao udio fitoplanktonskih skupina u ukupnom broju stanica po litri u akumulaciji Butoniga tijekom 2007. godine

Tijekom istraživanja u 2007. godini u fitoplanktonskoj zajednici na četiri postaje akumulacije Butoniga ukupno je utvrđeno 36 vrsta (Tablica 3.1). Brojnošću vrsta dominira skupina Chlorophyta (13). Skupina Chrysophyceae zastupljena je sa šest vrsta, Bacillariophyceae također sa šest vrsta, Dinophyta s pet, Euglenophyta s dvije, Cyanobacteria s tri te Cryptophyta s jednom vrstom. Najveći je broj vrsta utvrđen na postaji B3 (24), a najmanji na postaji B4 (20).

Na postaji B1 (Tablica 3.1.1) tijekom istraživanog razdoblja sa 6 vrsta dominiraju skupine Chlorophyta i Chrysophyceae. Subdominantne skupine su Dinophyta i Bacillariophyceae (4). Prosječna brojnost vrsta u stupcu vode podjednaka je tijekom svibnja, srpnja, kolovoza i listopada (5-6 vrsta/l), dok je u lipnju uočen porast (7 vrsta/l). Najmanja gustoća fitoplanktona zabilježena je u stupcu vode tijekom kolovoza (15,35 x 10^4 st/l), a najveća (52,9 x 10^4 st/l) tijekom lipnja. Brojem stanica dominiraju vrste Cyclotella sp. (62,8 x 10^4 st/l u svibnju), Dinobryon divergens (85,0 x 10^4 st/l u srpnju) i Dinobryon bavaricum (60,3 x 10^4 st/l u listopadu).

Na postaji B2 (Tablica 3.1.2) kvalitativno dominiraju zelene alge (Chlorophyta) i Chrysophyceae sa šest vrsta, a subdominantna je skupina Bacillariophyceae (4). Prosječna brojnost vrsta u stupcu vode podjednaka je u srpnju, kolovozu i listopadu (4-5 vrsta/l), dok je u lipnju zabilježen maksimum (9 vrsta/l). Najmanja gustoća fitoplanktona je zabilježena tijekom listopada (8, 85 x 10^4 st/l), a najveća (43, 35 x 10^4 st/l) tijekom lipnja. Brojem stanica dominiraju vrste: Cyclotella sp. (29,1 x 10^4 st/l u svibnju), Dinobryon divergens (36, 2 x 10^4 st/l u srpnju), Dinobryon bavaricum (18, 8 x 10^4 st/l u srpnju) i Pandorina morum (12, 8 x 10^4 st/l u svibnju).

Na postaji B3 (Tablica 3.1.3) podjednaka je brojnost vrsta skupina Chlorophyta, Bacillariophyceae i Chrysophyceae (6). Najmanji je broj vrsta u stupcu vode zabilježen u listopadu (prosječno 3 vrsta/l), a najveći u kolovozu (prosječno 9 vrsta/l). Najmanja gustoća fitoplanktona utvrđena je u stupcu vode tijekom listopada (3, 9 x 10^4 st/l), a najveća tijekom srpnja (63, 6 x 10^4 st/l). Dominiraju vrste Dinobryon divergens (52, 5 x 10^4 st/l u srpnju), Dinobryon bavaricum (27, 6 x 10^4 st/l u srpnju) i Cyclotella sp. (26, 6 x 10^4 st/l u svibnju).

Na postaji B4 (Tablica 3.1.4) podjednaka je kvalitativna brojnost skupina Chlorophyta, Bacillariophyceae i Dinophyta (5). Subdominantna skupina je Chrysophyceae s tri vrste. Prosječna brojnost vrsta po litri najmanja je u listopadu (4), a najveća u lipnju i kolovozu (9). Najmanja gustoća fitoplanktona utvrđena je tijekom listopada (2, 8 x 10^4 st/l), a najveća tijekom svibnja (61, 2 x 10^4 st/l). Dominiraju vrste Cyclotella sp. (79, 5 x 10^4 st/l u svibnju), Dinobryon divergens (65, 4 x 10^4 st/l u srpnju) i Pandorina morum (12, 8 x 10^4 st/l u svibnju).

Tablica 3.1: Popis vrsta u fitoplanktonskoj zajednici na istraživanim vertikalnim profilima akumulacije Butoniga tijekom 2007. godine

T A X A	PROFILI			
	B1	B2	B3	B4
CYANOBACTERIA				
Pseudanabaena sp.			*	
Romeria sp.		*		
Trochiscia granulata	*	*		*
EUGLENOPHYTA				
Euglena sp.	*	*	*	*
Euglena acus	*			
CRYPTOPHYTA				
Cryptomonas sp.		*	*	
DINOPHYTA				
Ceratium hirundinella	*	*	*	*
Peridinium cinctum	*			*
Peridinium umbonatum	*	*	*	*
Peridiniopsis cunningtonii	*		*	*
Peridiniopsis polonicum				*
CHRYSOPHYTA				
Chrysophyceae				
Bitrichia chodatii	*	*	*	
Dinobryon bavaricum	*	*	*	*
Dinobryon crenulatum	*	*	*	*
Dinobryon divergens	*	*	*	*
Dinobryon sertularia	*	*	*	
Dinobryon sociale	*	*	*	
Bacillariophyceae				
Achnanthidium sp.	*		*	*
Cyclotella sp.	*	*	*	*
Navicula sp.		*	*	
Nitzschia sp.	*	*	*	*
Synedra acus	*	*	*	*
Gyrosigma acuminatum			*	*
CHLOROPHYTA				
Carteria globosa	*	*	*	
Cosmarium sp.			*	*
Crucigenia fenestrata	*	*	*	*
Elakatotrix sp.	*	*	*	
Gonatozygon sp.			*	
Monoraphidium irregulare				*
Monoraphidium minutum	*			
Pandorina morum		*		*
Pediastrum duplex			*	
Scenedesmus acuminatus	*			
Scenedesmus quadricauda		*		
Staurastrum tetracerum				*
Volvox sp.	*	*		

Tablica 3.1.1: Kvalitativan i kvantitativan (broj stanica x 10^4/l) sastav fitoplanktona u akumulaciji Butoniga na profilu B1 tijekom 2007. godine

T A X A	Mjesec uzorkovanja / dubina u m / broj stanica x 10^4																					
	svibanj					lipanj					srpanj					kolovoz				listopad			
	pov.	3	6	9	dno	pov.	3	6	9	dno	pov.	3	6	9	dno	pov.	3	6	dno	pov.	3	6	9
CYANOBACTERIA																							
Trochiscia granulata										7,1			1,1										
EUGLENOPHYTA																							
Euglena sp.			0,4						1,4									1,4	0,7				0,4
Euglena acus															0,4								
DINOPHYTA																							
Ceratium hirundinella	0,4	0,4	0,4					0,7	1,1				0,4	2,1		0,7	0,7	2,1		4,3	1,4	0,7	
Peridinium cinctum	0,4											0,4											
Peridinium umbonatum						2,5	5,7	0,4	3,2		0,7	0,4	0,4			0,4	1,1	0,4		4,3	1,4		0,4
Peridiniopsis cunningtonii			0,4						0,4			0,4											
CHRYSOPHYTA																							
Chrysophyceae																							
Bitrichia chodatii		0,4							0,4														
Dinobryon bavaricum			0,4			9,9	12,8	1,8		2,8	22,3	4,3	13,1		3,5	8,2	13,5	7,8		14,2	60,3	3,5	7,1
Dinobryon crenulatum	1,1	2,1	0,4	0,7		1,1	4,3	0,4	0,4	2,8		0,4				0,4		0,4					
Dinobryon divergens	0,4	1,1	1,4	0,7		22,7	19,9	25,5	7,4	17,0	17,7	5,3	39,0	85,0	12,4	7,1		1,8	2,5				
Dinobryon sertularia																						1,1	
Dinobryon sociale									3,2				9,9	3,5						1,4			
Bacillariophyceae																							
Achnanthidium sp.								0,4															

nastavak Tablice 3.1.1:

T A X A	Mjesec uzorkovanja / dubina u m / broj stanica x 10^4																					
	svibanj					lipanj					srpanj					kolovoz				listopad			
	pov.	3	6	9	dno	pov.	3	6	9	dno	pov.	3	6	9	dno	pov.	3	6	dno	pov.	3	6	9
Cyclotella sp.	22,0	37,9	62,8	46,1	43,2	19,1	19,9	19,1	22,0	21,3	4,2	1,4	0,4	12,0	0,4	3,5	2,1	1,8	2,1	8,5	3,9	8,9	2,8
Nitzschia sp.		0,4																			0,4	0,4	0,7
Synedra acus								0,4		1,4										1,4			
CHLOROPHYTA																							
Carteria globosa	1,4																						
Crucigenia fenestrata																							1,4
Elakatotrix sp.		0,7						1,4	0,7														
Monoraphidium minutum																			1,4	1,4	0,4	0,4	0,4
Scenedesmus acuminatus						1,4									2,8				1,4				
Volvox sp.																					0,4		

Tablica 3.1.2: Kvalitativan i kvantitativan (broj stanica x 10^4/l) sastav fitoplanktona u akumulaciji Butoniga na profilu B2 tijekom 2007. godine

T A X A	Mjesec uzorkovanja / dubina u m / broj stanica x 10^4								
	svibanj		lipanj		srpanj		kolovoz	listopad	
	površina	dno	površina	dno	površina	dno	površina	površina	dno
CYANOBACTERIA									
Romeria sp.		1,4							
Trochiscia granulata				3,5					
EUGLENOPHYTA									
Euglena sp.		0,4		1,4			2,7		
DINOPHYTA									
Ceratium hirundinella	0,4					0,7		0,4	2,2
Peridinium umbonatum			1,8	0,7					
CRYPTOPHYTA									
Cryptomonas sp.	0,4								
CHRYSOPHYTA									
Chrysophyceae									
Bitrichia chodatii	0,7								
Dinobryon bavaricum			8,2	3,9	18,8				
Dinobryon crenulatum	1,4	0,4	1,1	1,8					
Dinobryon divergens	0,4	1,8	4,6	1,8	12,8	36,2	0,9		
Dinobryon sertularia							0,9		
Dinobryon sociale				3,2		7,1		3,5	0,7
Bacillariophyceae									
Cyclotella sp.	29,1	21,3	21,3	22,3	2,1	1,8	11,0	2,5	5,2
Navicula sp.	0,7								1,5
Nitzschia sp.			1,1					0,4	
Synedra acus				0,7					0,7
CHLOROPHYTA									
Carteria globosa	0,7								
Crucigenia fenestrata				7,1			3,7		
Elakatotrix sp.		0,7		0,4					
Volvox sp.									0,8
Scenedesmus quadricauda				1,4		1,4			
Pandorina morum		12,8							

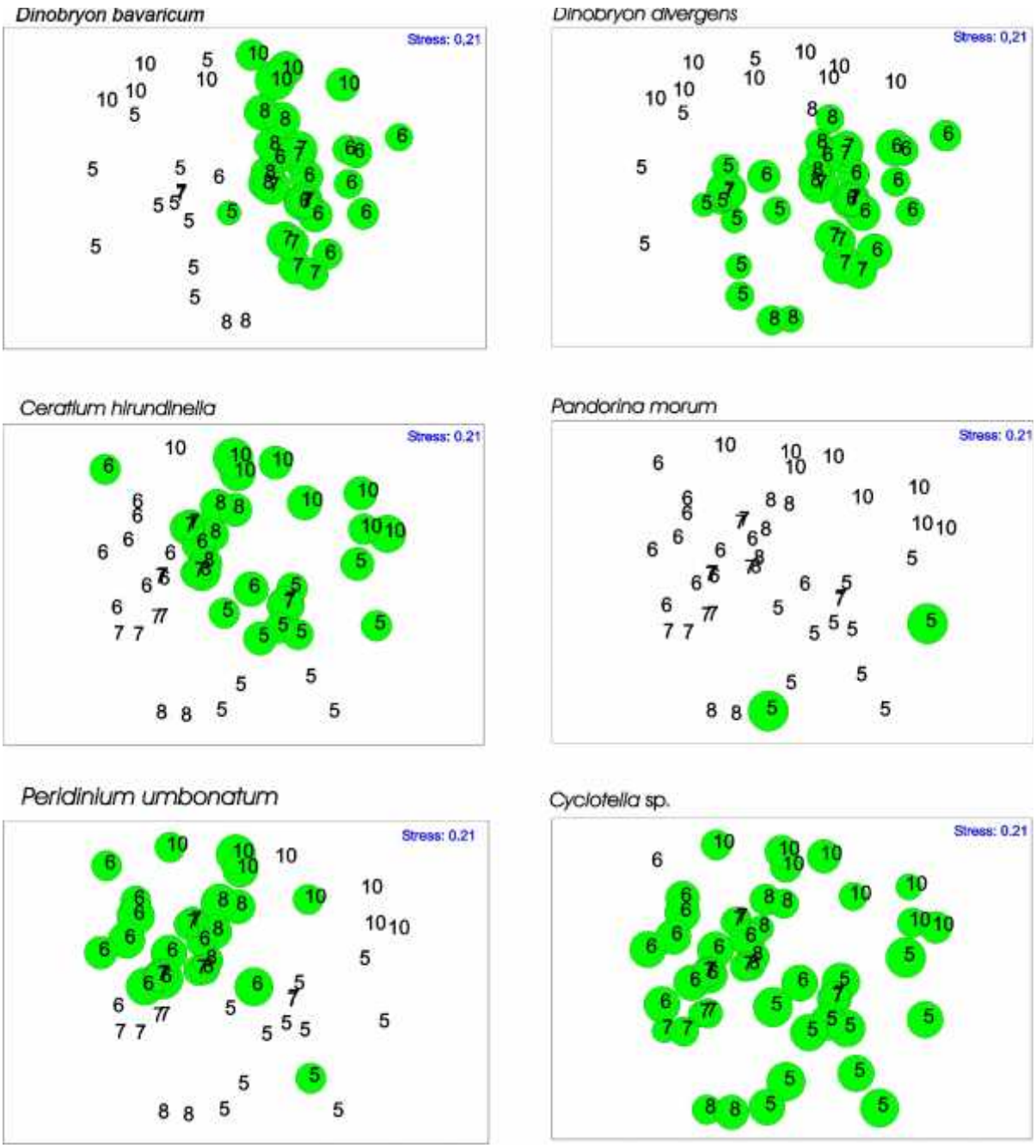
Tablica 3.1.3: Kvalitativan i kvantitativan (broj stanica x 10^4/l) sastav fitoplanktona u akumulaciji Butoniga na profilu B3 tijekom 2007. godine

T A X A	Mjesec uzorkovanja / dubina u m / broj stanica x 10^4							
	svibanj		lipanj		srpanj		kolovoz	listopad
	površina	dno	površina	dno	površina	dno	površina	površina
CYANOBACTERIA								
Pseudanabaena sp.							3,5	
EUGLENOPHYTA								
Euglena sp.		0,4				0,4		0,4
DINOPHYTA								
Ceratium hirundinella		0,7		0,4	0,7	0,4	0,7	1,1
Peridinium umbonatum	0,4		2,8	0,4	0,4	0,4	2,5	0,4
Peridiniopsis cunningtonii			1,1			0,4		
CRYPTOPHYTA								
Cryptomonas sp.				1,4				
CHRYSOPHYTA								
Chrysophyceae								
Bitrichia chodatii	0,4							
Dinobryon bavaricum			1,8	1,1	27,6	21,6	18,1	
Dinobryon crenulatum	0,7		1,1	0,4				
Dinobryon divergens		0,7	25,5	4,2	12,4	52,5	1,8	
Dinobryon sertularia							11,0	
Dinobryon sociale					5,3			
Bacillariophyceae								
Achnanthidium sp.			1,8	5,3				0,7
Cyclotella sp.	24,1	26,6	15,2		1,8	2,1	4,2	1,4
Navicula sp.							0,4	
Nitzschia sp.			0,7				1,4	
Synedra acus				0,7				
Gyrosigma acuminatum				0,4				
CHLOROPHYTA								
Carteria globosa	1,4							
Cosmarium sp.							0,4	
Crucigenia fenestrata				5,7	1,4			
Elakatotrix sp.		0,7						
Gonatozygon sp.							1,8	
Pediastrum duplex			12,8					

Tablica 3.1.4: Kvalitativan i kvantitativan (broj stanica x 10^4/l) sastav fitoplanktona u akumulaciji Butoniga na profilu B4 tijekom 2007. godine

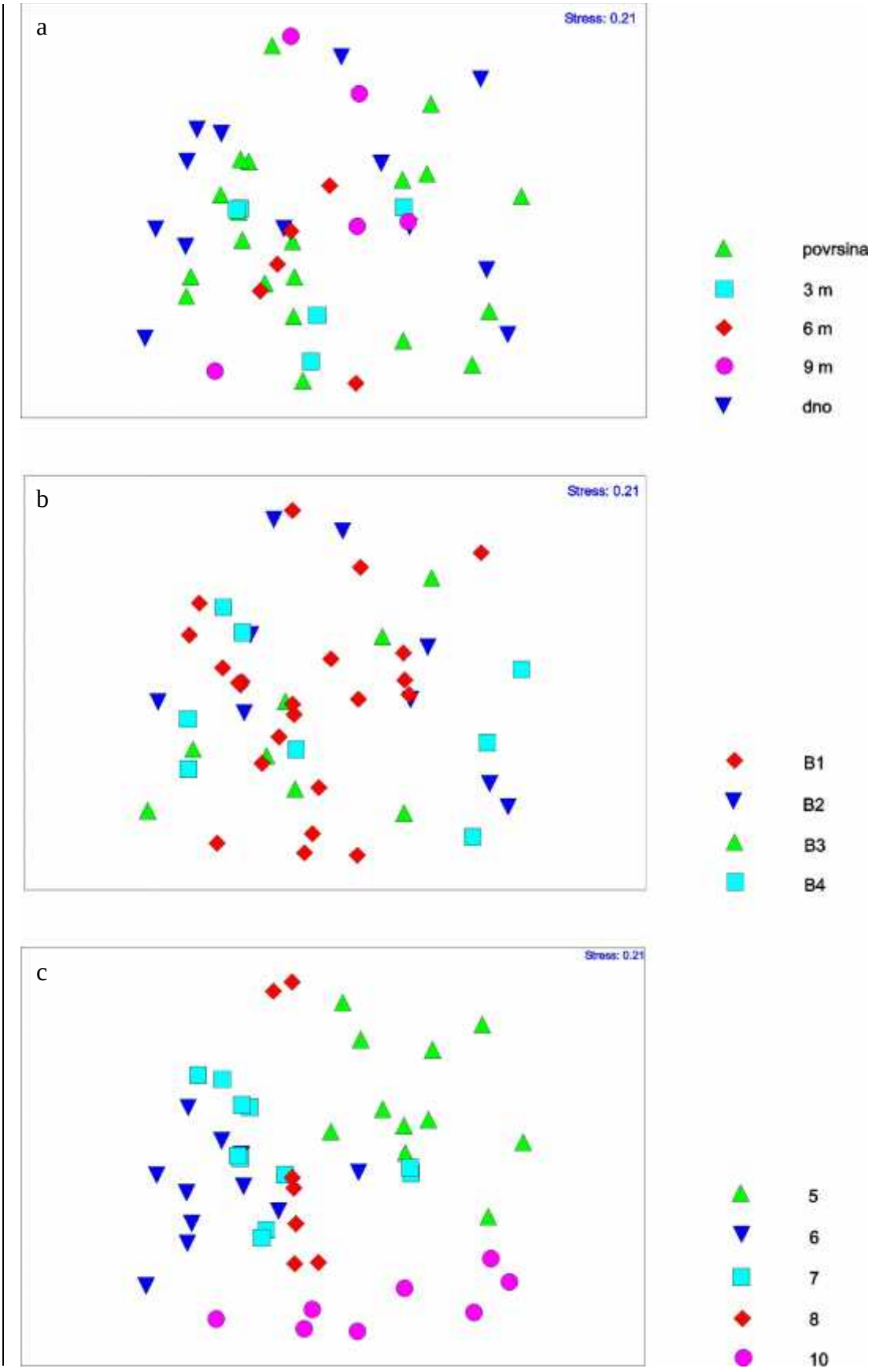
T A X A	Mjesec uzorkovanja / dubina u m / broj stanica x 10^4							
	svibanj		lipanj		srpanj		kolovoz	listopad
	površina	dno	površina	dno	površina	dno	površina	površina
CYANOBACTERIA								
Trochiscia granulata						1,4		
EUGLENOPHYTA								
Euglena sp.						0,4		
DINOPHYTA								
Ceratium hirundinella	0,4	0,7					0,7	0,7
Peridiniopsis polonicum				0,4	0,7			
Peridinium cinctum	0,4							
Peridinium umbonatum			0,4	2,1			1,1	
Peridiniopsis cunningtonii			0,7		0,4		0,4	
CHRYSOPHYTA								
Chrysophyceae								
Dinobryon bavaricum			3,5	1,8	11,7	9,9	13,5	
Dinobryon crenulatum	3,9		2,1	0,7				
Dinobryon divergens			2,8	2,1	8,9	65,4	1,4	
Bacillariophyceae								
Achnanthidium sp.			3,2	3,2				
Cyclotella sp.	22,7	79,5	10,6	16,3	0,7	2,1	0,7	0,7
Nitzschia sp.		0,7	0,4				0,7	0,7
Synedra acus			0,4					0,7
Gyrosigma acuminatum		0,7						
CHLOROPHYTA								
Cosmarium sp.							0,4	
Crucigenia fenestrata			5,7	5,7				
Monoraphidium irregulare		0,7						
Pandorina morum	12,8							
Staurastrum tetracerum							0,4	

Fitoplanktonsku zajednicu jezera Butoniga u 2007. godini karakteriziraju vrste Cyclotella sp., Dinobryon bavaricum, Dinobryon divergens, Ceratium hirundinella i Peridinium umbonatum (Slika 3.1.2). Značajna je i eksplozivna vrsta Pandorina morum (vrsta s visokom abundancijom i niskom frekvencijom) koja je prisutna u jezeru isključivo u svibnju na postaji B2 i B4. Metodom nemetričkog multidimenzionalnog skaliranja (NMDS) fitoplanktonske zajednice na osnovi broja stanica po litri grupirana je prema sezonama na ljetno razdoblje (srpanj, kolovoz), jesensko zimsko (listopad) te proljetno razdoblje (svibanj, lipanj).



Slika 3.1.2: NMDS ordinacijski prikaz sastava zajednice na temelju abundancije pojedinih vrsta (promjer kruga prikazuje logaritam apsolutne učestalosti broja stanica po litri pojedine vrste u uzroku)

Napravljene su i statističke analize s ciljem utvrđivanja utjecaja određenih čimbenika (postaje, dubine i godišnja doba) na sastav fitoplanktonskih vrsta u akumulaciji Butoniga na temelju kojih je uočeno grupiranje uzoraka prema godišnjim dobima i sastavu fitoplanktona, dok nema očitog grupiranja uzoraka prema dubini i postajama (Slika 3.1.3).



Slika 3.1.3: Dvodimenzionalni NMDS ordinacijski prikaz sastav zajednice fitoplanktona na temelju abundancije fitoplanktona prema dubini (a), postajama (b) i mjesecima (c) u akumulaciji Butoniga 2007. godine

3.2. Taksonomski sastav zajednice fitoplanktona u razdoblju od 2000. do 2007. godine

U razdoblju od 2000. do 2007. godine zabilježeno je ukupno 133 vrste (Tablica 3.2). Najzastupljenija skupina je Bacillariophyceae s 51 vrstom. Redovito prisutne vrste su: Ceratium hirundinella, Dinobryon divergens i Cyclotella sp. Povremeno zastupljene vrste su: Anabaena sp. (2002., 2003., 2004., 2005.), Romeria sp. (2005, 2006., 2007.), Euglena acus (2000., 2001., 2002., 2003., 2004., 2005., 2007.), Euglena oxyuris (2000., 2001., 2003., 2005.), Euglena sp. (2002., 2003., 2005., 2006., 2007.), Phacus longicauda (2000., 2001., 2002., 2003., 2005.), Strombomonas sp. (2001., 2002., 2003.), Trachelomonas sp. (2002., 2004., 2005., 2006.), Peridiniopsis cunningtonii (2000., 2001., 2005., 2007.), Peridiniopsis quadridens (2000., 2001., 2004.), Peridinium cinctum (2000., 2001., 2003., 2004., 2005., 2006., 2007.), Peridinium umbonatum (2005., 2006., 2007.), Bitrichia chodatii (2002., 2003., 2006., 2007.), Dinobryon bavaricum (2002., 2003., 2004., 2005., 2006., 2007.), Dinobryon crenulatum (2002., 2003., 2004., 2006., 2007.), Dinobryon sertularia (2002., 2004., 2006., 2007.), Dinobryon sociale (2003., 2004., 2006., 2007.), Asterionella formosa (2001., 2002., 2003., 2004.), Cocconeis placentula (2000., 2001., 2006.), Cyclotella ocellata (2004., 2005., 2006.), Diatoma vulgare (2003., 2005., 2006.), Fragilaria capucina (2000., 2001., 2002., 2004., 2006.), Fragilaria crotonensis (2000., 2001., 2002., 2003., 2005.), Gyrosigma attenuatum (2000., 2001., 2005., 2006.), Melosira varians (2000., 2001., 2002., 2005., 2006.), Navicula sp. (2000., 2001., 2004., 2005., 2006., 2007.), Nitzschia acicularis (2000., 2001., 2002., 2003., 2004., 2005.), Nitzschia sp. (2005., 2006., 2007.), Synedra acus (2000., 2001., 2002., 2003., 2004., 2005., 2007.), Synedra ulna (2000., 2001., 2002., 2003., 2005., 2006.), Cosmarium bioculatum (2002., 2003., 2005., 2006.), Cosmarium sp. (2002., 2003., 2004., 2005., 2007.), Pandorina morum (2002., 2003., 2005., 2007.), Pediastrum boryanum (2000., 2004., 2005.), Pediastrum duplex (2000., 2001., 2003., 2007.), Pediastrum simplex (2000., 2001., 2005.), Scenedesmus quadricauda (2001., 2002., 2007.), Staurastrum sp. (2000., 2001., 2005.), Staurastrum tetracerum (2002., 2003., 2004., 2007.).

Tablica 3.2: Taksonomski sastav fitoplanktona u akumulaciji Butoniga u razdoblju od 2000. do 2007. godine

TAXA	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000
CYANOBACTERIA								
Anabaena sp. Bory de Saint-Vincent ex Bornet et Flahault			+	+	+	+		
Cylindrospermum sp. Kützing ex Bornet et Flahault		+						
Merismopedia punctata Meyen					+			
Oscillatoria sp. Vaucher ex Gomont		+	+					
Oscillatoria agardhii Gomont			+					
Phormidium molle (Kützing) Gomont							+	+
Phormidium sp. Kützing ex Gomont		+						
Pseudanabaena sp. Lauterborn	+							
Romeria sp. Koczwara in Geitler	+	+	+					
Trochiscia granulata (Reinsch) Hansgirg	+	+						
EUGLENOPHYTA								
Euglena acus Ehrenberg	+		+	+	+	+	+	+
Euglena clavata Skuja				+				
Euglena oxyuris Schmarda			+		+		+	+
Euglena proxima P.A. Dangeard							+	+
Euglena sp. Ehrenberg	+	+	+		+	+		
Euglena viridis (O.F. Müller) Ehrenberg							+	+
Phacus alatus G.A. Klebs			+					
Phacus curvicauda Svirenko							+	+
Phacus longicauda (Ehrenberg) Dujardin			+		+	+	+	+
Phacus sp. Dujardin					+	+		
Strombomonas sp. Deflandre					+	+	+	
Trachelomonas hispida (Perty) F. Stein							+	+
Trachelomonas sp. C.G. Ehrenberg		+	+	+		+		
Trachelomonas superba Svirenko							+	+
DINOPHYTA								
Ceratium hirundinella (O.F. Müller) Dujardin	+	+	+	+	+	+	+	+
Peridiniopsis cunningtonii Lemmermann	+		+				+	+
Peridiniopsis polonicum (Woloszynska) Bourrelly	+							
Peridiniopsis quadridens (Stein) Bourrelly				+			+	+
Peridinium cinctum (O.F. Müller) Ehrenberg	+	+	+	+	+		+	+
Peridinium inconspicuum Lemmermann							+	+
Peridinium sp.C.G. Ehrenberg		+				+		
Peridinium umbonatum F. Stein	+	+	+					
Peridinium volzii Lemmermann			+					
CHRYSOPHYTA								
Chrysophyceae								
Bitrichia chodatii (Reverdin) Chodat	+	+			+	+		
Dinobryon bavaricum Imhof	+	+	+	+	+	+		
Dinobryon crenulatum W. West & G.S. West	+	+		+	+	+		
Dinobryon divergens O.E. Imhof	+	+	+	+	+	+	+	+
Dinobryon sertularia Ehrenberg	+	+		+		+		
Dinobryon sociale Ehrenberg	+	+		+	+			
Mallomonas sp. Perty		+						

nastavak Tablice 3.2:

TAXA	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000
Bacillariophyceae								
Achnanthes affinis Grunow							+	
Achnanthes minutissima Kützing						+	+	
Achnanthidium sp. Kützing	+	+						
Amphipleura pellucida Kützing		+						
Amphora ovalis (Kützing) Kützing		+						
Asterionella formosa Hassall				+	+	+	+	
Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsen					+			
Aulacoseira italica (Ehrenberg) Simonsen					+			
Cocconeis placentula Ehrenberg		+					+	+
Cocconeis sp.C.G. Ehrenberg						+		
Cyclotella comta (Ehrenberg) Kützing							+	+
Cyclotella melosiroides (Kirchner) Lemmermann							+	+
Cyclotella ocellata Pantocsek		+	+	+				
Cyclotella sp. (Kützing) Brébisson	+	+	+	+	+	+	+	+
Cymatopleura solea (Brébisson) W. Smith				+				
Cymbella amphicephala Näegeli								+
Cymbella cistula (Hemprich & Ehrenberg) O. Kirchner				+				
Cymbella sp.C. Agardh		+				+		
Cymbella ventricosa C. Agardh							+	+
Diatoma elongatum (Lyngbye) C. Agardh						+		
Diatoma tenuis C. Agardh					+			
Diatoma vulgare Bory de Saint-Vincent		+	+		+			
Epithemia sp. Brébisson			+					
Fragilaria capucina Desmazières		+		+		+	+	+
Fragilaria construens (Ehrenberg) Grunow								+
Fragilaria crotonensis Kitton			+		+	+	+	+
Fragilaria sp. Lyngbye						+		
Gyrosigma acuminatum (Kützing) Rabenhorst	+		+					
Gyrosigma attenuatum (Kützing) Rabenhorst		+	+				+	+
Gyrosigma distortum (W. Smith) Cleve				+				
Gyrosigma sp. Hassall					+			
Melosira granulata (Ehrenberg) Ralfs						+		
Melosira italica (Ehrenberg) Kützing							+	+
Melosira varians C. Agardh		+	+			+	+	+
Navicula cryptocephala Kützing			+	+				
Navicula gracilis Ehrenberg							+	+
Navicula minima Grunow							+	+
Navicula radiosa Kützing							+	+
Navicula sp. Bory de Saint-Vincent	+	+	+	+			+	+
Neidium sp. Pfitzer		+						
Nitzschia acicularis (Kützing) W. Smith			+	+	+	+	+	+
Nitzschia acicularis var. closterioides Grunow							+	+
Nitzschia palea (Kützing) W. Smith							+	+
Nitzschia sigmoidea (Ehrenberg) W. Smith		+						
Nitzschia sp. Hassall	+	+	+					
Pinnularia viridis (Nitzsch) Ehrenberg							+	+
Stauroneis anceps Ehrenberg							+	+
Synedra acus Kützing	+		+	+	+	+	+	+
Synedra sp. Ehrenberg		+				+		
Synedra ulna (Nitzsch) Ehrenberg		+	+		+	+	+	+
Synedra ulna var. danica (Kützing) Grunow							+	+

nastavak Tablice 3.2:

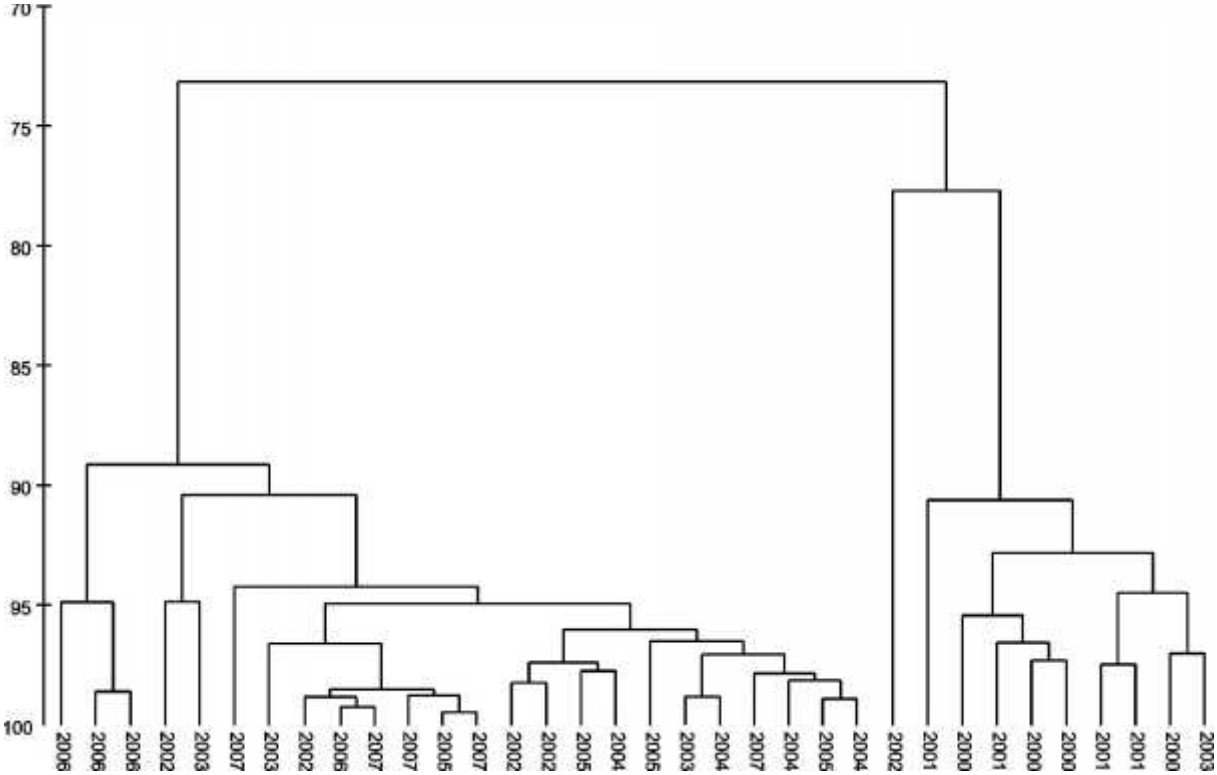
TAXA	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000
CHLOROPHYTA								
Botryococcus sp.Kützing					+			
Carteria globosa Schiller	+	+						
Coelastrum astroideum De Notaris							+	+
Coelastrum microporum Nägeli						+		
Coelastrum sp. Nägeli					+			
Cosmarium bioculatum Brébisson ex Ralfs		+	+		+	+		
Cosmarium botrytis Meneghini ex Ralfs							+	+
Cosmarium granatum Brébisson ex Ralfs						+		
Cosmarium sp. Ralfs	+		+	+	+	+		
Cosmarium tenue W. Archer		+						
Cosmarium tinctum Ralfs							+	
Crucigenia fenestrata (Schmidle) Schmidle	+			+				
Crucigeniella sp. Lemmermann		+						
Dictyosphaerium sp. Nägeli					+			
Elakatothrix sp. Wille	+	+						
Eudorina elegans Ehrenberg			+	+				
Golenkinia radiata Chodat			+					+
Gonatozygon sp. de Bary	+				+			
Hormidium flaccidum (Kützing) A. Braun							+	+
Kirchneriella sp. Schmidle					+			
Monoraphidium irregulare (G.M.Smith) Komárková-Legnerová	+							
Monoraphidium minutum (Nägeli) Komárková-Legnerová	+							
Mougeotia sp. C. Agardh			+					
Oocystis sp. A. Braun		+						
Pandorina morum (O.F. Müller) Bory de Saint-Vincent	+		+		+	+		
Pediastrum boryanum (Turpin) Meneghini			+	+				+
Pediastrum duplex Meyen	+				+		+	+
Pediastrum simplex Meyen			+				+	+
Pediastrum sp. Meyen						+		
Scenedesmus acuminatus (Lagerheim) Chodat	+							
Scenedesmus quadricauda (Turpin) Brébisson	+					+	+	
Scenedesmus sp. Meyen			+		+			
Schroederia sp. Lemmermann								+
Sphaerocystis schroeteri Chodat					+			+
Spirogyra sp. Link							+	+
Staurastrum paradoxum Meyen ex Ralfs							+	
Staurastrum sp.(Meyen) Ralfs			+				+	+
Staurastrum tetracerum Ralfs	+			+	+	+		
Tetraedron minimum (A. Braun) Hansgirg							+	+
Volvox sp. Linnaeus	+	+						
Xanthidium sp. C.G. Ehrenberg ex Ralfs				+				
CRYPTOPHYTA								
Cryptomonas sp. C.G. Ehrenberg	+							

3.3. Usporedba ukupne brojnosti fitoplanktona u razdoblju od 2000. do 2007. godine

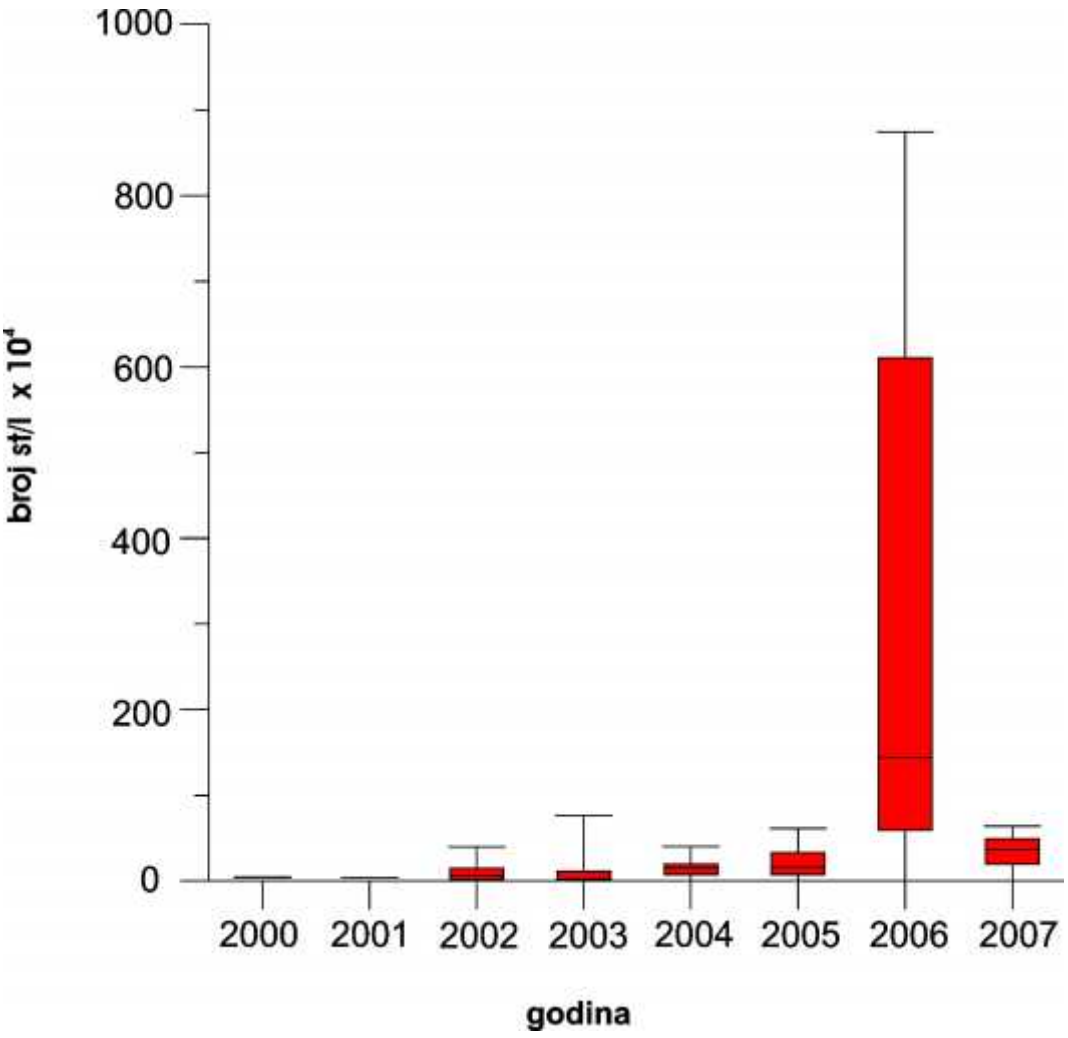
Tablica 3.3.1: Srednje vrijednosti ukupne brojnosti (st/l) fitoplanktona

		PROFILI			
GODINA	MJESECI	B1	B2	B3	B4
2000.	veljača	5098	2395	2310	1605
	srpanj	7026	7465	4131	1905
	rujan	1720	1360	995	590
	prosinac	2395	3485	2915	2240
2001.	lipanj	763	625	975	475
	srpanj	2365	925	1875	1480
	rujan	908	260	355	2405
	listopad	625	525	1075	1125
2002.	travanj	8540	40920	59394	75925
	lipanj	35471	97371	144663	121264
	srpanj	304893	350378	394833	242223
	kolovoz	20870	44955	113891	124394
	listopad	4320	393	nije uzorkovano	264
2003.	travanj	4580	2261	1212	608
	srpanj	108326	109251	90343	80963
	rujan	251362	477836	759569	63274
	studeni	10040	19841	14895	11983
2004.	ožujak	224712	193960	153423	172162
	lipanj	176286	353901	149368	103793
	rujan	46408	76942	400547	98529
	prosinac	195662	100926	72953	66749
2005.	svibanj	206155	157891	121831	297122
	srpanj	126732	43633	231981	328307
	rujan	471559	529109	244788	613566
	studeni	50375	75998	155016	36058
2006.	svibanj	589908	338193	286264	340611
	srpanj	1 265840	3 937018	1 816372	1 333806
	kolovoz	6 658143	8 181536	8 741325	6 102661
	listopad	1 434477	1 838607	1 473633	812537
2007.	svibanj	450000	361500	280000	612000
	lipanj	529000	430500	412500	310500
	srpanj	487600	404500	636000	507500
	kolovoz	153500	192000	457000	191000
	listopad	328750	88500	39000	28000

Na temelju srednjih vrijednosti ukupne brojnosti fitoplanktona (Tablica 3.3.1) napravljena je klaster analiza sastava zajednice u razdoblju od 2000. do 2007. godine (Slika 3.3). Hijerarhijsko grupiranje uzoraka (klaster) fitoplanktona po sličnosti zajednice na osnovi abundancije pojedine vrste prema Bray-Curtis indeksu sličnosti jasno je vidljivo te razdvajanje dviju grupa na 73 % sličnosti zajednice tj. 2000. i 2001. od ostalih godina. Na 89% sličnosti odvaja se 2006. godina koja ima najveće srednje vrijednosti ukupne brojnosti fitoplanktona (Slika 3.3.1).



Slika 3.3: Klaster analiza srednje vrijednosti ukupne brojnosti fitoplanktona u razdoblju od 2000. do 2007. godine na postajama B1, B2, B3, i B4 u akumulaciji Butoniga

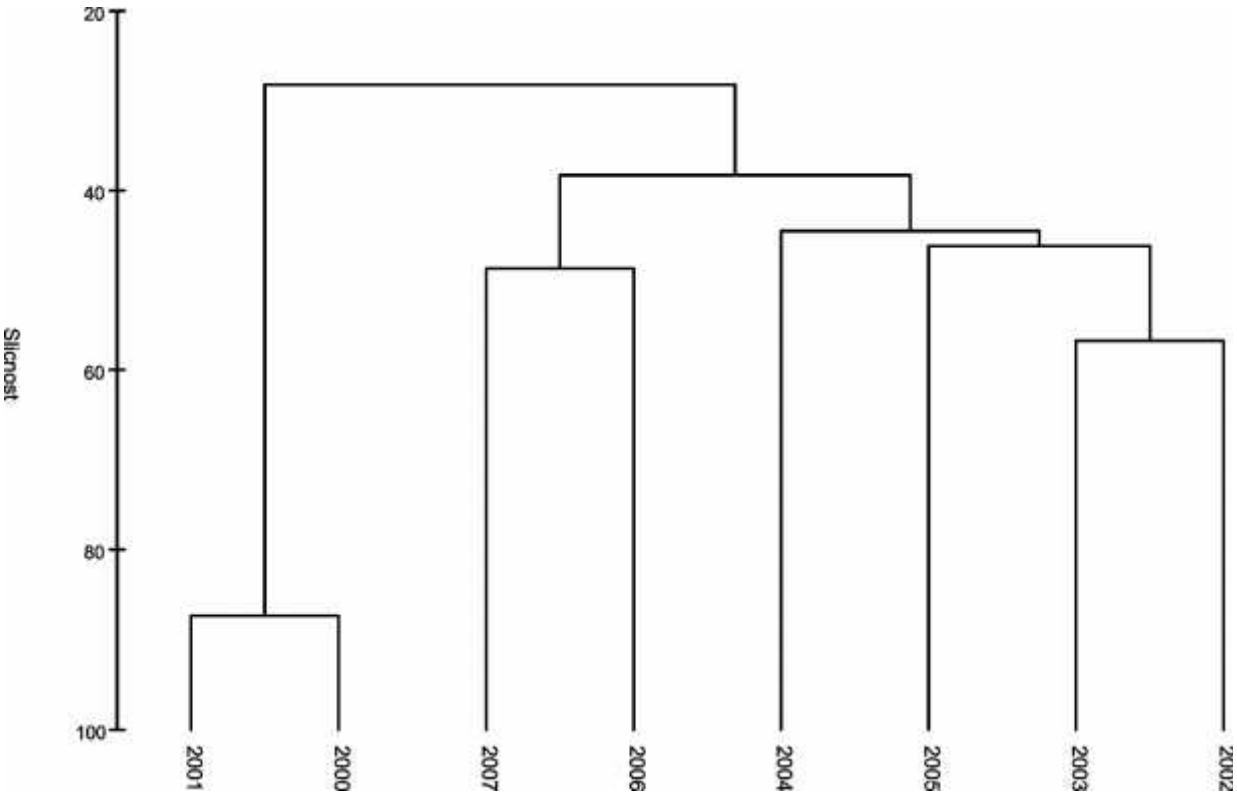


Slika 3.3.1: Srednje vrijednosti ukupnog broja stanica/l u razdoblju od 2000. do 2007. godine u akumulaciji Butoniga

3.4. Fitoplanktonska zajednica u akumulaciji Butoniga

Usporedba istraživanja fitoplanktona na ovom području ukazuje na promjene u sastavu i dominantnih vrsta. Tijekom 2000. godine u planktonskoj zajednici dominiraju rodovi Achnanthes-Cyclotella-Melosira, tijekom 2001. Aulacoseira-Cosmarium-Fragilaria, tijekom 2002. Dinobryon-Cyclotella- Cosmarium, tijekom 2003. Cyclotella-Anabaena-Dictyosphaerium, tijekom 2004. Cyclotella-Cosmarium-Dinobryon-Ceratium-Peridiniopsis, tijekom 2005. Cyclotella-Dinobryon-Romeria, tijekom 2006. Cyclotella-Dinobryon-Crucigeniella-Romeria, dok se fitoplanktonska zajednica u 2007. godini može okarakterizirati kao Cyclotella-Dinobryon-Ceratium-Peridinium.

Prema napravljenoj klaster analizi (Slika 3.4) može se vidjeti izrazito odvajanje 2000. i 2001. godine (30% sličnosti s ostalim godinama) koje se međusobno odvajaju tek na oko 90% sličnosti. Iduće se odvajaju 2006. i 2007. godina na 40% sličnosti, a od preostalih godina se grupiraju 2003. i 2002. godina koje su 57% slične.



Slika 3.4: Klaster analiza sličnosti na temelju popisa fitoplanktonskih vrsta u razdoblju od 2000. do 2007. godine u akumulaciji Butoniga

4. Rasprava

U akumulaciji Butoniga 2007. godine zabilježena je izrazita dominacija broja jedinki odjela Chrysophyta, razreda Bacillariophyceae (dijatomeje), neovisna o mjesecu uzorkovanja. Fitoplanktonske zajednice u kojima dominiraju dijatomeje razvijaju se u uglavnom dobro miješanim (nestratificiranim), često hladnim vodama gdje među prvima reagiraju na produljenje dana pri kraju zime (Reynolds, 1997). U listopadu u akumulaciji Butoniga uz stalno najzastupljeniju skupinu Chrysophyta kodominiraju Dinophyta, a u kolovozu na svim postajama osim na postaji B4 se značajnije pojavljuju predstavnici Cyanobacteria, Chlorophyta i Euglenophyta što se poklapa s ljetnim maksimumom razvoja zajednice fitoplanktona (Reynolds 1984). Na svim postajama bilježimo zajednicu vrsta Cyclotella sp., Dinobryon bavaricum, Dinobryon divergens, Ceratium hirundinella i Peridinium umbonatum.

Sastav fitoplanktonske zajednice na postajama akumulacije Butoniga ne odgovara u potpunosti sastavu niti jedne funkcionalne grupe opisane u literaturi. Utvrđena zajednica ujedinjuje vrste većeg broja grupa. Iako s obzirom na abundaciju i godišnji slijed sukcesije fitoplanktona zajednica općenito može okarakterizirati kao A funkcionalna grupa koja ljeti prelazi u Lm/E funkcionalnu grupu ipak treba naglasiti da zajednicu karakteriziraju i grupe Y i Lo. Funkcionalnu grupu A karakteriziraju r-vrste iz skupine Diatomeae. Funkcionalna grupa A razvija se u proljeće i karakteriziraju je vrste roda Cyclotella osjetljive na povećan pH, a tolerantne na nedostatak nutrijenata što je tipično za često dobro miješana čista jezera (Reynolds 2006). Razvoj vrsta iz skupine Crysophyta roda Dinobryon u zajednici s vrstama roda Mallomonas značajka su funkcionalne grupe E. Razvoj funkcionalne grupe E karakterističan je za mala oligotrofna jezera. Vrste ove funkcionalne grupe osjetljive su na promjene i dostupnost CO_2 u vodi i nisu prisutne u zajednici kada su u vodi prisutne velike količine bikarbonata. Za funkcionalnu grupu Lm karakteristični su predstavnici Cyanobacteria i Dinophyta (Ceratium), dok su za grupu Y Cryptophyta i rod Peridinium koji su prilagođeni na manjak svjetlosti. Sezonska sukcesija fitoplanktona u akumulaciji Butoniga ide od r-vrsta prema K-vrstama.

Taksonomski nije u potpunosti određena dominantna dijatomeja akumulacije Butoniga iz roda Cyloctella, ali je tijekom istraživanja nađen najveći broj vrste Cyclotella ocellata. Značajna morfološka varijabilnost vrste Cyclotella ocellata razlog je zahtjevnog taksonomskog određivanja. Vrste su zamijenjene sa sličnim taksonima roda Cyclotella, kao npr. Cyclotella comensis Grunow, Cyclotella krammeri Hakansson i Cyclotella rossii Hakansson. Cyclotella ocellata ujedinjuje karakteristike svih navedenih vrsta u jedan takson Cylcotella ocellata-kompleks (Hegewald i Hindakova 1997). Cyclotella ocellata je kontroverzna vrsta s neodređenim ekološkim karakteristikama. Padisák i Reynolds (1998) navode da je Cylclotella ocellata mezo- do eutrofna vrsta, što je u kontradikciji s pronalascima ove vrste u ultraoligotrofnim (Fritz i sur. 1993), oligotrofnim (Kiss i sur. 1996; Padisak i sur. 1998) i oligo-mezotrofnim (Reavie i Smol 2001) jezerima. Dostupni podaci o vrsti Cyclotella ocellata temelje se na

istraživanjima u mnogim različitim geografskim regijama što indicira da izračunani optimum ukupnog fosfora ovisi o regiji u kojoj Cyclotella ocellata raste. Uzimajući u obzir taksonomsku nejasnoću Cyclotella ocellata-kompleksa može se pretpostaviti da postoji nekoliko ekoloških tipova unutar ovog taksona koji pokazuju različite ekološke zahtjeve.

Najveća raznolikost zajednice u akumulaciji Butoniga 2007. godine je ljeti kada kodominiraju Dinobryon divergens i Dinobryon bavaricum (Chrysophyceae) dok se pretpostavlja da je razvoj Bacillariophyceae u tom razdoblju uglavnom ograničen količinom silicija (Sommer i sur. 1986). Razvoj vrsta iz roda Dinobryon je karakterističan za vode osiromašene fosforom i važan je u grejzingu bakterija (Bird i Kalff 1986). Ljeti je veći dio fosfora u eufotičkoj zoni organski vezan (Jurgens i Gude 1990) što dovodi do činjenice da smanjenje koncentracije nutrijenata potiče razvoj miksotrofnih vrsta iz roda Dinobryon koji ima sposobnost konzumiranja bakterija kao alternativnog načina dobivanja potrebnog fosfora za rast i preživljavanje. Prekid kompeticije za svjetlost od strane specijaliziranih autotrofnih vrsta rezultira povećanjem biomase ljeti pri nižim koncentracijama nutrijenata (Kamjunke i sur. 2006). Uz predstavnike Chrysophyceae tada se javljaju Dinophyta poglavito Ceratium hirundinella i Perdinium umbonatum. Ceratium hirundinella je vrsta sa širokom tolerancijom na različite uvjete okoliša. U plitkim stratificiranim vodama može postati kvantitativno važna fitoplanktonska vrsta, vjerojatno zbog svojih migracijskih značajki (Grigorzky i sur. 2000; Padisák i sur. 2003). Ceratium hirundinella se inače pojavljuje od petog do devetog mjeseca u umjerenim jezerima, a maksimum razvoja dostiže ljeti (Heaney i Talling 1980, Heaney 1976, Reynolds 1984). Pojavljivanje vrste Ceratium hirundinella u akumulaciji Butoniga je u skladu s mediteranskim područjima, gdje je vrlo česta vrsta tijekom čitavog sukcesijskog razdoblja (Pérez-Martínez i Sánchez-Castillo 2001). Vrsta pokazuje varijaciju u obliku i nekim morfološkim promjenama kao što su promjene u veličini i broju nastavaka na hipoteci (List 1914). U jezerima i akumulacijama u Hrvatskoj već su zabilježeni oblici s 4 nastavka na hipoteci što je slučaj i akumulaciji Butoniga (Gligora i sur. 2003).

U akumulaciji Butoniga ukupno je tijekom istraživanih godina u razdoblju od 2000. do 2007. godine utvrđeno 133 vrste fitoplanktona. Broj vrsta je najjednostavnija mjera raznolikosti te se u istraživanjima riječ biodiverzitet uobičajeno odnosi na broj vrsta. Općenito je prihvaćeno da je broj vrsta u velikim jezerima veći nego u manjim, što nije i znanstveno potvrđeno, kao ni pretpostavke da eutrofna jezera imaju manji broj vrsta u zajednici nego oligotrofna jezera (O'Sullivan i Reynolds 2003). Sustavi u kojima nema ekstremnih uvjeta kao što su visoke ili niske vrijednosti pH, provodljivosti, sastav iona, mutnoća, stres uzrokovan miješanjem, omogućavaju razvoj više stotina različitih fitoplanktonskih vrsta. Ekstremni uvjeti dovode do isključivanja iz zajednice vrsta koje nemaju široku ekološku valencu i nisu prilagođeni na razvoj pri takvim uvjetima tijekom godišnjih doba (Heaney i sur. 1988).

Broj vrsta od 2000. do 2007. godine je relativno stalan i kreće se između 36 i 52 vrste. Po brojnosti i sastavu vrsta fitoplanktona znatno se izdvajaju 2000. i 2001. godina. Tijekom 2000. i 2001. godine zabilježena je manja brojnost, a u fitoplanktonskoj zajednici dominirao je rod Aulacoseira dok je ostale godine jasno karakterizira rod Cyclotella. S obzirom na promjenu selektivne metodologije koja podrazumijeva skupljanje uzoraka pomoću mrežice (Stilinović i Plenković-Moraj 1995) i korištenje Utermöhl metode (Utermöhl 1958) kojom se ima bolji uvid u cjelokupnu zajednicu očekivala se veća razlika između 2006. i 2007. te ostalih istraživanih godina. Navedene godine odvojile su se po taksonomskom sastavu, ali ne i na temelju srednjih vrijednosti ukupne brojnosti fitoplanktona. Izrazito se ističe 2006. godina po ukupnoj brojnosti fitoplanktona, a slične vrijednosti smo očekivali i u 2007. godini zbog primjene iste metodologije. Razlog tome je vjerojatno nepoklapanje datuma uzimanja uzoraka koje kao posljedicu ima nezabilježen maksimum razvoja fitoplanktona u 2007. godini.

5. Zaključak

1. U istraživanom razdoblju od 2000. do 2007. godine u akumulaciji Butoniga dominiraju Chrysophyta (u proljeće Cyclotella sp., a ljeti vrste roda Dinobryon). U lipnju kodominiraju Chlorophyta (Pediastrum duplex, Crucigenia fenestrata, Pandorina morum), a u listopadu Dinophyta (Ceratium hirundinella).
2. U akumulaciji Butoniga u sezonskoj sukcesiji fitoplanktona u 2007. godini zajednica se mijenja od r-vrsta prema K-vrstama.
3. Dominantna vrsta u akumulaciji Butoniga je Cyclotella sp.
4. Razlike u korištenim metodama uzorkovanja u razdoblju od 2000. do 2007. selektivno su utjecale na rezultate osobito na broj zabilježenih vrsta i maksimum broja stanica po litri.
5. Korištene metode uzorkovanja statistički nisu pokazale značajne razlike u srednjem broju stanica po litri fitoplanktona u razdoblju od 2000. do 2007.
6. Karakteristična zajednica fitoplanktona u akumulaciji Butoniga je Cyclotella sp. – Dinobryon divergens – Dinobryon bavaricum – Ceratium hirundinella – Peridinium umbonatum.
7. Sastav i dominantne vrste u razdoblju od 2000. do 2007. godine idu prema smanjenju brojnosti vrsta Cyanobacteria i Chlorophyta koji su karakteristični za jezera s povišenom trofijom i povećanju brojnosti Bacillariophyceae i Chrysophyceae što upućuje na poboljšanje kakvoće vode akumulacije Butoniga.
8. Kontinuirano praćenje sastava zajednice fitoplanktona u akumulaciji Butoniga ima višestruke koristi s obzirom na važnost ovog sustava u vodoopskrbi. Poznavanje sastava zajednice doprinosi sustavu monitoringa u budućnosti pridodavajući određene inidkatorske vrijednosti svakoj vrsti koja se pojavljuje u statistički značajnom omjeru i time određuje fitoplanktonsku zajednicu u akumulaciji Butoniga te time omogućuje sustavniji i efikasniji sustav praćenja ovog i sličnih ekosustava.

6. Literatura

Bird D, Kalff J (1986) Bacterial grazing by planktonic lake algae. Science 231: 493-495

Carpenter SR, Kitchell JF (1993) The Trophic Cascade in Lakes. Cambridge University Press, Cambridge

Coesel PFM (1982) De Desmidiaceeën van Nederland - Sieralgen - Deel 1. Fam. Mesotaeniaceae, Gonatozygaceae, Peniaceae. Wetensch Meded KNNV, Utrecht

Coesel PFM (1983) De Desmidiaceeën van Nederland - Sieralgen - Deel 2. Fam. Closteriaceae. Wetensch Meded KNNV, Utrecht

Coesel PFM (1985) De Desmidiaceeën van Nederland - Sieralgen - Deel 3. Fam. Desmidiaceae (1). Wetensch Meded KNNV, Utrecht

Coesel PFM (1991) De Desmidiaceeën van Nederland - Sieralgen - Deel 4. Fam. Desmidiaceae (2). Wetensch Meded KNNV, Utrecht

Coesel PFM (1994) On the ecological significance of a cellular mucilaginous envelope in planktic desmids. Algological Studies 73: 65-74

Coesel PFM (1997) De Desmidiaceeën van Nederland - Sieralgen - Deel 6. Fam. Desmidiaceae (2). Wetensch Meded KNNV, Utrecht

Fritz SC, Kingston JC, Engstrom DR (1993) Quantitative trophic reconstruction from sedimentary diatom assemblages: a cautionary tale. Freshwater Biol 30:1-23

Gligora M, Plenković-Moraj A, Ternjej I (2003) Seasonal distribution and morphological changes of Ceratium hirundinella in two mediterranean shallow lakes. Hydrobiologia 506: 213-220

Golerbach MM, Kosinskaja EK, Poljanksi VI (1953) Sinzelenije vodorosli. Gos Izd Sovjetskaja nauka, Moskva

Grigorszky I, Nagy S, Krienitz L, Kiss KT, Hamvas MM, Tóth A, Borics G, Máthé C, Kiss B, Borbély G, Dévai G, Padisák J (2000) Seasonal succession of phytoplankton in a small oligotrophic oxbow and some consideration to the PEG model. Verh Internat Verein Theor Angew Limnol 27: 152–156

Heaney SI (1976) Temporal and spatial distribution of the dinoflagellate Ceratium hirundinella O.F. Müller within a small productive lake. Freshwat Biol 10: 163-170

Heaney SI, Talling JF (1980) Dynamic aspect of dinoflagellate distribution patterns in a small productive lake. J Ecol 68: 75-94

Heaney SI, Lund JWG, Hilda M, Gray K (1988) Population dynamics of Ceratium spp. in three English lakes, 1945-1985. Hydrobiologia 161: 133-148

Hegewald E, Hindáková A (1997) Variability of a natural population and clones of the Cyclotella ocellata-complex (Bacillariophyceae) from the Gallberg-pond, NW-Germany. Algol Stud 86: 17-37

Hindak F, Marvan P, Rosa K, Popovsky J, Lhotsky O (1978) Sladkovodne riasy, Slovenske Pedagogicke Nakladateljstvo, Bratislava

Huber-Pestalozzi G (1950) Das Phytoplankton des Süßwassers. (Die Binnengewässer, Band XVI). Teil 3. Cryptophyceen, Chloromonadinen, Peridineen. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart

Huber-Pestalozzi G (1982) Das Phytoplankton des Süßwassers. (Die Binnengewässer, Band XVI). Teil 8. 1. halfe Conjugatophyceae, Zygnematales und Desmidiales. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart

Hutchinson GE (1967) A Treatise on Limnology, Volume 2. Introduction to lake biology and the limnoplankton. Wiley

Jensen NC (1985) Hustedt's Die Kieselalgen, 2. Teil:The Pennate Diatoms. Koeltz Scientific Books Koenigstein

John DM, Whitton BA, Brook AJ (2002) The Freshwater Algal Flora of the British Isles: An Identification Guide to Freshwater and Terrestrial Algae. Cambridge University Press, New York

Jurgens K, Gude H (1990) Incorporation and release of phosphorus by planktonic bacteria and phagotrophic flagellates. Mar. Ecol. Prog. Ser. 59: 271-284

Kamjunke N, Henrichs T, Gaedke U (2006) Phosphorus gain by bacterivory promotes the mixotrophic flagellate Dinobryon spp. During re-oligotrophication. Oxford University Press

Kiss KT, Rojo C, Álvarez-Cobelas M (1996) Morphological variability of a Cyclotella ocellata (Bacillariophyceae) population in the lake Las Madres (Spain). Algol Stud 82: 37-55

Krammer K, Lange-Bertalot H (1991a) Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2. Bacillariophyceae. Teil 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart

Krammer K, Lange-Bertalot H (1991b) Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2. Bacillariophyceae. Teil 4. Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) and Gomphonema. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart

Lange-Bertalot H (2001) Navicula sensu stricto 10 Genera Separated from Navicula sensu lato Frustulia. Diatoms of Europe: Volume 2. ARG. Gantner Verlag KG, Florida

Lenzenweger R (1996) Desmidiaceenflora von Österreich, Teil 1. Biblioteca Phycologica. J Cramer, Stuttgart

Lenzenweger R (1997) Desmidiaceenflora von Österreich, Teil 2. Biblioteca Phycologica. J Cramer, Stuttgart

Lenzenweger R (1999) Desmidiaceenflora von Österreich, Teil 3. Biblioteca Phycologica. J Cramer Stuttgart

List T (1914) Über die temporal und Lokalvariation von Ceratium hirundinella O. F. M. aus dem Plankton einiger Teiche in der Umgegend von Darmstadt und einiger Kolke des Altrheinsbei Erfelden. Arch. Hydrobiol. 9: 81-126.

Lund JWG, Kipling C, Le Cren ED (1958) The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. Hydrobiologia 11: 143–170

Mortensen E, Jeppesen E, Søndergaard M, Kamp Nielsen L (1994) Nutrient dynamics and biological structure in shallow freshwater and Brackish Lakes. Springer-Verlag, New York

Mrakovčić M, Mustafić P, Kerovec M, Mišetić S, Plenković-Moraj A, Mihaljević Z, Ternjej I, Zanella D, Ćaleta M, Buj I, Brigić A, Gligora M, Kralj K (2005) Istraživanja i optimizacija ihtiocenoze u svrhu smanjenja trofije akumulacije Butoniga tijekom 2004. godine. Studija, Biološki odsjek PMF-a, Zagreb

O'Sullivan, PE, Reynolds CS (2003) The Lakes Handbook 1. Blackwell Science Ltd, Oxford

Padisák J, Reynolds CS (1998) Selection of phytoplankton associations in Lake Balaton, Hungary, in response to eutrophication and restoration measures, with special reference to the cyanoprokaryotes. Hydrobiologia 384: 41-53

Padisák J, Krienitz L, Scheffler W, Koschel R, Kristiansen R, Kristiansen J, Grigorszky I (1998) Phytoplankton succession in the oligotrophic Lake Stechlin (Germany) in 1994 and 1995. Hydrobiologia 369/370: 179-197

Padisák J, Borics G, Fehér G, Grigorszky I, Oldal I, Schmidt A, Zámbóné-Doma Z (2003) Dominant species, functional assemblages and frequency of equilibrium phases in late summer phytoplankton assemblages in Hungarian small shallow lakes. Hydrobiologia 502: 157-168

Patrick R, Reimer CW (1966) The diatoms of the United States, exclusive of Alaska and Hawaii, Volume 1-Fragilariaceae, Eunotiaceae, Achnanthaceae, Naviculaceae. Academy of Natural Sciences of Philadelphia, Philadelphia

Patrick R, Reimer CW (1975) The diatoms of the United States, exclusive of Alaska and Hawaii, Volume 2, Part 1-Entomoneidaceae, Cymbellaceae, Gomphonemaceae, Epithemaceae. Academy of Natural Sciences of Philadelphia, Philadelphia

Pérez-Martínez C, Sánchez-Castillo P (2001) Temporal occurrence of Ceratium hirundinella in Spanish reservoirs. Hydrobiologia 452: 101-107

Popovsky J, Pfiester LA (1990) Suesswasserflora von Mitteleuropa, 2te revidierte und neu bearbeitete Auflage.Volume 6: Dinophyceae (Dinoflagellida). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart

Reavie ED, Smol JP (2001) Diatom-environmental relationships in 64 alkaline southeastern Ontario (Canada) lakes: a diatom-based model for water quality reconstructions. J Paleolimnol 25: 25-42

Reynolds CS (1984) The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press

Reynolds C (1988a) Functional morphology and the adaptive strategies of freshwater phytoplankton. U: Sandgren CD (ed.) Growth and Reproductive Strategies of Freshwater Phytoplankton. Cambridge University Press: 388–433

Reynolds CS (1988b) The concept of ecological succession applied to seasonal periodicity of freshwater phytoplankton. Verh Internat Verein Theor Angew Limnol 23: 683–691

Reynolds CS (1997) Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory. Ecology Institute, Oldendorf/Luhe

Reynolds CS (2006) Ecology of Phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge

Round FE, Crawford RM, Mann DG (1990) The Diatoms: biology and morphology of the genera. Cambridge University Press, Cambridge

Shapiro J (1997) The role of carbon dioxide in the initiation and maintenance of blue-green dominance in lakes. Freshwat Biol 37: 307–323

Sieburth JMcN, Smetacek V, Lenz J (1978) Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relations to plankton size fractions. Limnol Oceanogr 23: 1256–1263

Sommer U, Gliwicz ZM, Lampert W, Duncan A (1986) The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in freshwaters. Arch Hydrobiol 106: 433-471

Sournia A, Chrétiennot-Dinet MJ, Ricard M (1991) Marine phytoplankton: how many species in the world ocean? J Plankton Res 13: 1093–1099

Stilinović B, Plenković-Moraj A (1995) Bacterial and phytoplanktonic research of Ponikve artificial lake on the island of Krk. Period Biolog 97/4: 351-358

Tett P, Barton JD (1995) Why are there about 5000 species of phytoplankton in the sea? J Plankton Res 17: 1693-1704

Utermöhl H (1958) Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton Methodik. Mitteilungen. Verh Internat Verein Theor Angew Limnol 9: 1–38

Wehr JD, Sheath RG (2003) Freshwater Algae of North America. Academic Press, Boston

West W, West GS (1904) A Monograph of the British Desmidiaceae. Volume I. Adlard and Son, London

West W, West GS (1905) A Monograph of the British Desmidiaceae. Volume II. Adlard and Son, London

West W, West GS (1908) A Monograph of the British Desmidiaceae. Volume III. Adlard and Son, London

West W, West GS (1912) A Monograph of the British Desmidiaceae. Volume IV. Adlard and Son, London

Zabelina MM, Kiselev IA, Proškina, AI i VI Šešukova (1951) Opredelitelj presnovodnih vodoroslei SSSR. Diatomovie vodorosli. Gosudarstvenoe izdateljstvo Sovjetskaja nauka, Moskva

7. Prilog

Prilog I Dominantne vrste fitoplanktona u akumulaciji Butoniga

a) Cyclotella sp. (Kützing) Brébisson

b) Dinobryon divergens O.E. Imhof

c) Peridinium umbonatum F. Stein

d) Dinobryon bavaricum Imhof

e) Ceratium hirundinella (O.F. Müller) Dujardin - SEM

f) Ceratium hirundinella (O.F. Müller) Dujardin