Fitoplanktonske zajednice akumulacija rijeke Drave

Plavšić, Kristina

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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:217:784657

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

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Biološki odsjek

Kristina Plavšić

FITOPLANKTONSKE ZAJEDNICE AKUMULACIJA RIJEKE DRAVE

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2015.

Ovaj rad je izrađen u Laboratoriju za algologiju na Botaničkom zavodu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom prof. dr. sc. Anđelka Plenković-Moraj. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra edukacije biologije i kemije.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno-matematički fakultet

Biološki odsjek Diplomski rad

FITOPLANKTONSKE ZAJEDNICE AKUMULACIJE RIJEKE DRAVE

Kristina Plavšić

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Uzorci fitoplanktona prikupljeni su uz istovremeno mjerenje fizikalno-kemijskih parametra vode tijekom svibnja, lipnja, rujna, i studenog 2012. te svibnja, lipnja, kolovoza i listopada 2013. godine u tri akumulacije rijeke Drave. Uzrokovano je 8 postaja. Cilj je bio odrediti sastav fitoplanktonske zajednice primjenom funkcionalnih skupina, abundanciju i biomasu mrežnog fitoplanktona.

Brojnost fitoplanktona izračunata je iz broja stanica i pripadajućeg volumena uzorka. Mjerenjem veličine minimalno 30 stanica svake vrste, iz prosječnih vrijednosti veličina stanica, sukladno pripadajućim geometrijskim tijelima izračunati su biovolumeni svake pojedine vrste te umnoškom broja stanica i biovolumena izračunate su i biomase svake vrste. U programu Primer 6 provedeno je multidimenzionalno skaliranje i CAP analiza kojom je utvrđena korelacija biomase s fizikalno-kemijskim parametrima.

Dvije istraživane godine razlikuju se abundancijom i sastavom zajednice te u fizikalno – kemijskim parametrima. Ukupno je pronađeno 151 svojta iz 88 rodova. Najveći broj vrsta pripada funkcionalnim grupama MP,J i D, odnosno fitoplanktonskim skupinama Bacillariophyceae i Chlorophyta. Broj vrsta fitoplanktona bio je veći 2013. godine dok su abundancija i biomasa bile veće 2012. godine. Od fizikalno kemijskih čimbenika najveći utjecaj na zajednicu imale su temperatura vode, konduktivitet te količina nitrata i nitrita.

(59 stranica, 42 slika, 1 tablica, 34 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Ključne riječi: (fitoplankton, monitoring, abundancija, biomasa, funkcionalne skupine)

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

Ocjenitelji: prof. dr. sc. Anđelka Plenković-Moraj, prof. dr. sc. Ines Radanović, prof. dr. sc. Nenad Judaš

Rad prihvaćen: 03. srpnja 2015.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Faculty of Science

Department of Biology Graduation Thesis

PHYTOPLANKTON COMMUNITIES OF RESERVOIRS OF RIVER DRAVA

Kristina Plavšić

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

Phytoplankton samples were collected simultaneously with physico–chemical parameters in reservoirs of Drava river in May, June, September and November in 2012 and May, June, August and October in 2013. Samples were collected at eight sampling points. Goal of this study was to establish the composition of the phytoplankton community using functional groups, abundance and biomass of net phytoplankton.

Phytoplankton abundance was determined from number of cells in counting chamber and the corresponding volume of the sample. Minimum of 30 cells of each species was measured and from the average size of cells and corresponding geometrical bodies, biovolumes were calculated. Biomass for each species was calculated multiplying number of cells and biovolumes. Primer program was used for multidimensional scaling and CAP analysis which related the biomass and physico–chemical parameters.

Two researched years differentiate in community abundance and composition and physico–chemical parameters. Total of 151 species from 88 genuses were found. The majority of the species belong to functional groups of MP, J and D; and taxonomical groups Bacillariophyceae and Chlorophyta. The number of phytoplankton species was higher in 2013. while abundance and biomass were higher in the 2012. Water temperature, conductivity, as well as concentration of nitrates and nitrites had the highest impact on the community.

(59 pages, 42 figures, 1 table, 34 references, original in: Croatian)

Thesis deposited in Central Biological Library

Key words: phytoplankton, monitoring, abundance, biomass, funcional groups

Supervisor: prof. Anđelka Plenković-Moraj, PhD

Reviewers: prof. dr. sc. Anđelka Plenković-Moraj, prof. dr. sc. Ines Radanović, prof. dr. sc. Nenad Judaš

Thesis accepted: 03. 07. 2015.

SADRŽAJ

1. UVOD 1

1.1. Fitoplankton 1

1.2. Način uzrokovanja fitoplanktona 5

1.3. Brojanje stanica 8

1.4. Određivanje biomase fitoplanktona 9

1.5. Područje istraživanja 14

1.6. Cilj istraživanja 15

2. MATERIJALI I METODE 16

3. REZULTATI 21

3.1. Abundancija 21

3.2. Biomasa 27

3.3. Fizikalno-kemijski čimbenici 32

3.4. Funkcionalne grupe 44

4. RASPRAVA 50

5. ZAKLJUČAK 55

6. LITERATURA 56

1. UVOD

1.1.Fitoplankton

Unutar slatkovodnih ekosustava, alge se pojavljuju kao slobodno plutajući, planktonski ili za podlogu vezani, bentonski organizmi. Planktonske organizme nalazimo slobodne u stupcu vode, dok su bentonski organizmi pričvršćeni za podlogu ili se kreću unutar ili na površini podloge. Obje skupine organizama su u dinamičkoj ravnoteži i ovise o nizu fizikalno-kemijskih parametra koji uključuju dubinu vode, brzinu protoka vode, temperaturu, dostupnost svjetla, količinu organske tvari i druge. Slobodno plutajuće populacije planktona zahtijevaju malu brzinu strujanja te odgovarajuću količinu svjetlosti, tako da oni prevladavaju u fotičkoj zoni jezera i sporih tokova velikih rijeka. Bentoske alge pak obitavaju u plićim, osvijetljenim dijelovima jezera, rijeka i potoka. Isto tako, one za razliku od planktonskih organizama, mogu tolerirati veće brzine strujanja vode, tako da su u brzim rijekama i potocima jedini predstavnici primarnih proizvođača. Bentonske alge se razvijaju na podlozi – koja može biti raznolika, a uključuje anorganske podloge, potopljene vodene biljke, krupniji i sitniji sediment te čak i dijelove drugih vodenih organizama (npr. oklop kornjače). Neke vrste alga u svom životnom ciklusu imaju planktonske i bentoske oblike. U nekim slučajevima razvoj počinju kao bentonski organizmi koji se kasnije odvajaju od podloge i prelaze u plankton.

Fitoplankton čine mikroskopske alge koje se u povoljnim uvjetima brzo razmnožavaju i povećavaju biomasu u vodenim sustavima. Posjeduju ograničenu sposobnost kretanja pa njihova rasprostranjenost ovisi i o strujanju vode. Fitoplankton je prva karika hranidbenih lanaca. Njime se hrane prvenstveno manje ribe, pripadnici makrozoobentosa te zooplanktona, u moru neki kitovi, ali i čovjek. Svi pripadnici fitoplanktona za život i rast trebaju Sunčevu svjetlost, vodu i hranjive tvari. Kako najviše Sunčeve svjetlosti dopire na površinu vode i nekoliko metara ispod površine, tu se, u fotičkoj zoni, fitoplankton i zadržava. Kao i zelene kopnene biljke, fitoplanktonski organizmi sadrže pigment klorofil

pomoću kojeg obavljaju proces fotosinteze. U tom procesu koriste Sunčevu energiju za spajanje molekula vode i ugljikovog dioksida u ugljikohidrate - hranu.

Razina primarne produkcije može se mjeriti kao miligram ugljika po jedinici površine tijekom vremena ($mgCm^{-3}\ h^{-1}$), te ona jako varira. To možemo vidjeti u različitim jezerima gdje primarna produkcija ovisi o trofičkom statusu i dubini vodenog stupca. Eutrofna jezera sadrže velike koncentracije raspoloživog dušika i fosfora, imaju vrlo visoku primarnu produkciju u površinskim slojevima, koja se smanjuje s dubinom zbog apsorpcije svjetlosti unutar vodenog stupca. Nasuprot tome, mezotrofna i oligotrofna jezera imaju nižu ukupnu produkciju, ali se ona proteže dublje u stupcu vode zbog jačeg prodora svjetla. Iako su alge fundamentalno autotrofne, neke su vrste postale sekundarno heterotrofne, tj. one dobivaju složene organske spojeve (hranu) apsorpcijom preko njihove vanjske površine ili aktivnim gutanjem čestica. Iako takvi organizmi često površinski nalikuju protozoama, zbog nedostatka klorofila, snažne pokretljivosti i aktivnog uzimanja organskog materijala, još se mogu smatrati algama zbog njihove filogenetske povezanosti sa skupinama algi (Bellinger i Sigee 2010).

S obzirom na veliki raspon veličine stanica, fitoplankton se dijeli na:

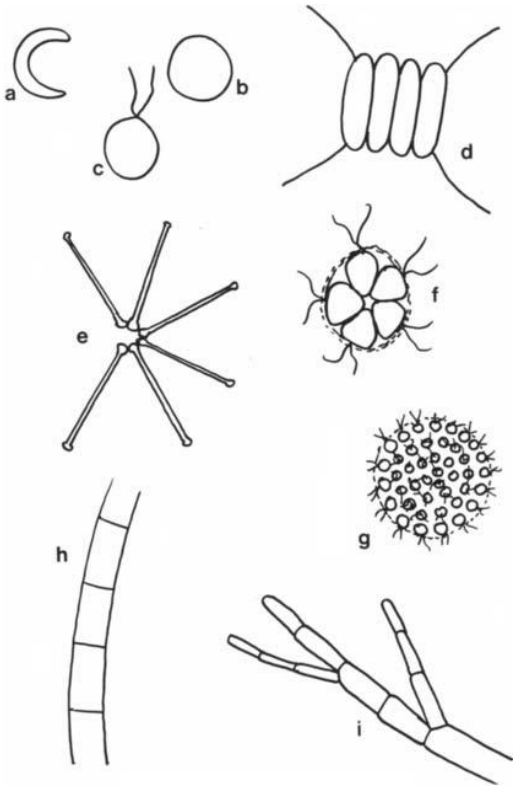
1. pikoplanktonske organizme –veličine do 2 μm
2. nanoplanktonske organizme –veličine 2 – 20 μm
3. mikroplanktonske organizme –veličine 20 – 200 μm
4. makroplanktonske organizme –veći od 200 μm

Svaka veličinska frakcija obuhvaća nekoliko različitih skupina algi (Tablica1.).

Tablica 1. Veličinski raspon fitoplanktonskih skupina (prema Sigee 1984)

KATEGORIJA	LINEARNA VELIČINA (stanica ili kolonija, μm)	BIOVOLUMEN (μm^3)	JEDNOSTANIČNI ORGANIZMI	KOLONIJALNI ORGANIZMI
Pikoplankton	0,2–2	$4{,}2\times10^{-3}$–4,2	Fotosintetske bakterije	-
			Modro-zelene alge	
			Synechococcus	
			Synechocystis	
Nanoplankton	2–20	$4{,}2$–$4{,}2\times10^{3}$	Modro-zelene alge	
			Kriptofiti	
			Cryptomonas	
			Rhodomonas	
Mikroplankton	20–200	$4{,}2\times10^{3}$–$4{,}2\times10^{6}$	Zelene alge	Dijatomeje
			Euglenophyta	
			Xantohphyta	
			Chrysophyta	
			Dinoflagelati	
			Ceratium	*Asterionella*
			Peridinium	
Makroplankton	>200	$>4{,}2\times10^{6}$	Zelene alge	Modro-zelene alge
			Crvene alge	*Anabaena*
				Microcystis

Fitoplankton obuhvaća različite oblike, od jednostavnih pojedinačnih nepokretnih sfera do složenih višestaničnih struktura. Najjednostavnije strukture jednostaničnih nepokretnih sfera (Slika 1.b) mogu postati složenije i to na nekoliko načina: stjecanjem bičeva (Slika 1.c), promjenom oblika tijela (Slika 1.a) ili razvojem bodlji (Slika 1.d). Stanice mogu doći zajedno u skupinama, bez definiranog broja ili oblika (Slika 1.e) ili mogu formirati globularne kolonije koje imaju određenu morfologiju (Slika 1.f, g). Stanice također mogu biti spojene tako da tvore linearne kolonije (niti) koje mogu biti ne razgranate ili razgranate (Slika 1. h, i). Veličina i oblik, zajedno s drugim fenotipskim značajkama, važne su u klasifikaciji i identifikaciji algi (Bellinger i Sigee 2010).



Slika 1. Opći oblici algi (prema Bellinger 1992)

Ekološko stanje jezera na temelju fitoplanktona, u jezerima u kojima je fitoplankton relevantan biološki element kakvoće, može se ocijeniti na dva načina: indirektno i direktno. Indirektan način ocjene ekološkog stanja je pomoću koncentracije klorofila *a*, a direktan pomoću multimetrijskog indeksa koji obuhvaća kvaliativan sastav i biomasu fitoplanktona.

Fitoplankton je jedan od najznačajnijih pokazatelja promjena koje se događaju u slatkovodnim ekološkim sustavima. Sastav fitoplanktonskih zajednica u vodenom ekosustavu teško je predvidjeti ako se u svrhu njegove procjene uzimaju samo taksonomske skupine, a ne i specifični ekološki uvjeti koji uzrokuju njihov razvoj. Zato su suvremena istraživanja fitoplanktona usmjerena na utvrđivanje fitoplanktonskih asocijacija (Reynolds 1997; Reynolds i sur. 2002) prema funkcionalnim kriterijima, odnosno prema utvrđenim karakterističnim morfološkim i ekološkim svojstvima vodenih ekoloških sustava. Razvoj funkcionalnih skupina fitoplanktona i mogućnost njihove primjene u opisu fitoplanktonskih asocijacija u različitim jezerima započeto je 1967. godine (Hutchinson 1967). Ideja za stvaranje ekoloških kategorija fitoplanktona odnosno funkcionalnih skupina došla je od metode sortiranja Tüxen-a i Braun-Blanquet-a (Tüxen 1955; Braun-Blanquet 1964). U njoj je vidljivo da utvrđene vrste međusobno koegzistiraju, te dolazi do povećanja ili smanjenja broja jedinki. U Reynolds-ovoj studiji iz 1980. godine određeno je 14 funkcionalnih skupina fitoplanktona (Reynolds 1980). Ovaj pristup je poboljšan i proširen (Reynolds i sur. 2002; Padisák i sur. 2009) te danas obuhvaća 41 funkcionalnu skupinu. Fitoplanktonske se vrste u funkcionalne skupine svrstavaju prema sličnim morfološkim, fiziološkim i ekološkim obilježjima, ali i prema sličnim dimenzijama jedinki, stanica ili kolonija (Reynolds i Irish 1997).

1.2.Način uzrokovanja fitoplanktona

Ovisno o veličini jezera, pritoka, različitih čimbenika koji mogu utjecati na sastav zajednice te ciljeva samog istraživanja, fitoplankton se obično prikuplja na više mjesta u nekom jezeru. To su obično mjesta u dubljim dijelovima jezera te dalje od obale, kako bi se izbjeglo onečišćenje sedimentom. Uzorci fitoplanktona uzimaju se kako bi se utvrdio broj

prisutnih populacija algi (njihova ukupna biomasa, sastav zajednice te sezonske promjene). Ovi parametri mogu pružiti korisne informacije o trofičkom statusu jezera, njegovoj produktivnosti i samom razvoju algi unutar vodenog stupca. Uzorkovanje se obično provodi u onim dijelovima jezera gdje još uvijek dolazi do prodiranja svjetlosti – eufotička zona. Ovisno o ciljevima istraživanja, učestalost uzorkovanja varira od jednom ili dva puta godišnje, mjesečno ili više puta mjesečno. Intenzivnim uzorkovanjem koje uključuje prikupljanje jednom ili dva puta tjedno moguće je zabilježiti detaljnu dinamiku vrsta u zajednici te odrediti kratkoročne oscilacije brojnosti i biomase fitoplanktona (Bellinger i Sigee 2010).

Za prikupljanje uzorka koristi se cilindričan uređaj, crpac. On se preko prijenosnog mehanizma na krajevima zatvara poklopcem. Crpac se pričvršćuje na čelično uže, opterećeno utegom i spušta u otvorenom položaju na određenu dubinu. Na željenoj dubinu, poklopci crpca se zatvaraju s pomoću metalnog „glasnika“ koji se spušta po čeličnom užetu. Crpac s uzorkom vode podiže se na površinu te se iz crpca uzimaju potrebni poduzorci. Uzorak dobiven crpcem mora se konzervirati pomoću 2%-tne otopine formaldehida ili Lugolovom otopinom. Formaldehid s vremenom reagira kiselo i tako oštećuje stanice te ga moramo neutralizirati. Neutralizacija se postiže kalcijevim karbonatom, heksametilen-tetraminom ili boraksom.

Uzorkovanje fitoplanktona obavlja se na dva načina, ovisno o tome da li će uzorak biti kvalitativno ili kvantitativno analiziran. Kvalitativni uzorci (mrežni uzorci fitoplanktona) se uzorkuju planktonskom mrežicom s određenim promjerom pora, najčešće 20 μm ili filtriranjem uzoraka u laboratoriju kroz finiju mrežu, 10 μm. Vrsta i veličina mreže određuju učinkovitost filtracije (stupanj uklanjanja čestica različitih veličina), mogućnost začepljenja, brzinu strujanja vode unutar mreže i stanje uzorka nakon prikupljanja. Tipična fitoplanktonska mreža veličine 25 μm prikupit će većinu algi koje prema veličinskim kategorijama pripadaju mikroplanktonu i makroplanktonu ('mrežni fitoplankton'). Jednostanične alge, čija se veličina kreće 2 – 20 μm (nanoplankton) mogu se prikupiti mrežama veličine oka do 10 μm, ali tu se pojavljuju problemi sa začepljenjem mreže što smanjuje protok vode. U praksi, rutinsko prikupljanje mrežnog zooplanktona i

fitoplanktona uključuje korištenje zasebne zooplanktonske (veličina pora oko 250 μm) i fitoplanktonske mreže (veličine pora 25 μm,),

Fitoplanktonska mreža može se vući horizontalno, vertikalno ili koso, ovisno o vrsti potrebnog uzorka. Ako se vuče vertikalno prikupit će se složena zajednica unutar cijelog ili jednog dijela vodenog stupca, dok će se horizontalnom vučom, kroz površinu vode, prikupiti mješoviti površinski uzorak. Volumen vode koja prolazi kroz mrežu može biti približno procijenjen iz područja otvora mreže i puta koji prijeđe mreža (okomito ili vodoravno). Prikupljanjem uzorka mrežom možemo dobiti velik broj fitoplanktonskih vrsta u kratkom vremenskom razdoblju, što je jedna od glavnih prednosti ove metode. Isto tako velika je prednost u tome što se mrežom prikupljaju koncentrirani uzorci. To je osobito korisno u oligotrofnim vodama i tijekom zime u umjerenim mezotrofnim/eutrofnim jezerima, gdje je broj stanica fitoplanktona vrlo mali.

Glavni nedostatci prikupljanja uzorka mrežom su sljedeći:

• gubitak malih algi – alge, čija je veličina manja od pora mreže ne mogu se prikupiti, te su tako isključene iz uzorka

• kontaminacija uzorka – fitoplanktonski uzorak može se kontaminirati zooplanktonom koji selektivno konzumira alge

• pogoršanje uzorka – nepovoljne promjene u vodi (npr potrošnja kisika) tijekom prijevoza, mogu dovesti do smrti nekih osjetljivijih algi

• problemi u kvantifikaciji

Kvantitativni uzorci se direktno ulijevaju u bočice za uzorke i odmah konzerviraju. Razlikujemo direktni uzorak i mrežni kvalitativni uzorak. Direktni uzorci fitoplanktona pohranjuju se u staklene bočice sa širokim grlom volumena 200-250 mL s dvostrukim čepom. Uzorci se fiksiraju Lugolovom otopinom. Kisela Lugolova otopina se koristi kada je pH vode < 7, a lužnata kada je pH vode > 7. Mrežni kvalitativni uzorci fitoplanktona se spremaju u plastične bočice volumena do 100 mL.

Kvalitativna analiza obuhvaća određivanje sastava fitoplanktona (determinaciju vrsta) i ocjenu relativne brojnosti, što se postiže obradom mrežnog (živog) uzorka fitoplanktona. Postupak kvantitativne analize (određivanje brojnosti fitoplanktona) uključuje bilježenje uočenih vrsta i njihov broj na poznatoj površini komorice za brojanje. Kada su poznati površina i volumen cijele komorice izračuna se koncentracija svake pojedine vrste (broj stanica u litri, br.stan.L^{-1}). Nadalje, kvantitativna analiza uključuje i mjerenje veličine svake pojedine vrste te izračunavanje njihovog biovolumena i preračunavanje u biomasu, koja se uz poznatu površinu i volumen cijele komorice preračuna u koncentraciju (mgL^{-1}).

1.3.Brojanje stanica

Količina fitoplanktona u jedinici volumena izražava se abudancijom, tj. brojem stanica i biomasom. Gustoća populacije je broj stanica (abundancija) određene vrste po jedinici volumena. Abundancija se određuje brojanjem stanica s pomoću invertnog mikroskopa, metodom prema Utermohlu (1958). U laboratoriju se uzima homogenizirani poduzorak (direktni uzorak stupca vode, ne filtriran mrežicom), pune se komorice za sedimentaciju i stanice se sedimentiraju 24, 48 ili 72 sata. Za brojanje stanica koje su se istaložile na dno komorice koristi se invertni mikroskop. U konzerviranim uzorcima nije moguće odrediti razliku između živih i mrtvih te autotrofnih i heterotrofnih nanoplanktonskih stanica. U tu svrhu žive stanice treba profiltrirati i filtar pregledati s pomoću fluorescentnog mikroskopa.

Brojanje stanica s pomoću invertnog mikroskopa obavlja se u odabranim vidnim poljima i transektima (Hasle 1978a; Venrick 1978). Potrebno je odrediti prosječni broj stanica u volumenu suspenzije koji je određen površinom kvadrata na dnu komorice i dubinom komorice.

Broj prebrojanih stanica potrebno je preračunati na broj stanica po litri (br. stan. L^{-1}) prema sljedećoj formuli:

$$N = x * \eta$$

gdje je:

N – broj stanica po litri (br. L^{-1})

x – ukupan broj svih prebrojanih stanica, kolonija ili filamenata u transektima, probnim poljima ili komorici

η – koeficijent za preračunavanje

Koeficijent za preračunavanje (η) se računa prema sljedećoj formuli:

$$\eta = \frac{Pk\ 1000}{Px\ Vs}$$

gdje je:

η – koeficijent za preračunavanje

P_k – površina komorice izražena u mm^2 ili u postotku (100 %)

P_x – površina transekta ili svih probnih polja izražena u mm^2 ili u postotku (x %)

V_s – volumen poduzorka koji se sedimentirao (mL)

1.4. Određivanje biomase fitoplanktona

Određivanje biomase fitoplanktona je važno jer pruža informacije o primarnoj produkciji vodenog sustava i količini organske tvari. Biomasa fitoplanktona izražava se koncentracijom klorofila α, biovolumenom ili koncentracijom organskog ugljika u jedinici volumena vode. Nakon što se uzorak profiltrira kroz staklene membranske filtre s određenom veličinom pora, mjeri se koncentracija klorofila uz pomoć spektrofotometra ili spektrofluorimetra. Uz pomoć acetona, klorofil se ekstrahira i homogenizira. Zatim se mjeri

apsorpcija odnosno fluorescencija klorofila. Za ekscitaciju klorofila *a* koristi se svjetlost valne dužine od 365 nm, što daje emisiju valne dužine od 450 nm, odnosno, maksimalnu fluorescenciju. Za detekciju i izračunavanje biomase drugih taksonomskih kategorija fitoplanktona koristi se fluorescencija karakterističnih pigmenata. Tekućinska kromatografija visoke djelotvornosti je bolja metoda kojom možemo odrediti sastav i koncentraciju svih pigmenata i njihovih produkata (Hallegraf 1981). Jedino se tom metodom može procijeniti taksonomski sastav nanoplanktona i pikoplanktona, što je teško utvrditi mikroskopom (Millie i sur. 1993).

Volumen pojedine fitoplanktonske vrste izračunava se prema najsličnijem geometrijskom obliku. Ako nije moguće neku vrstu opisati jednostavnim geometrijskim tijelom, tada se koriste kombinacije geometrijskih tijela (npr. stožac s pola kugle) ili njihovi dijelovi (npr. pola kugle). U većini slučajeva dodjela geometrijskog tijela mora biti zasnovana na jednoj stanici, no kod kolonijalnih oblika gdje je teško raspoznati oblik pojedine stanice može se koristiti geometrijsko tijelo cijele kolonije.

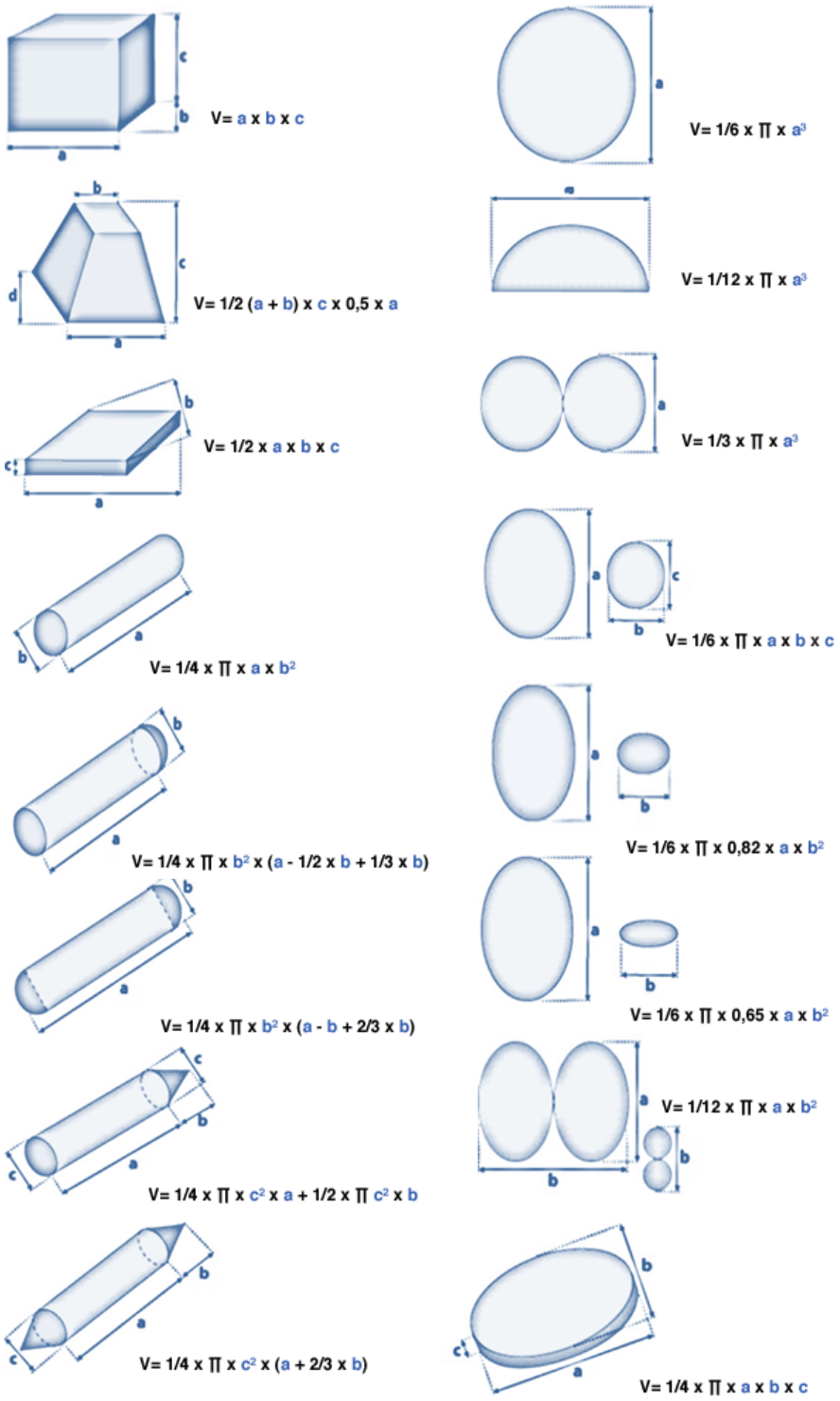
Kako bi se izračunali biovolumeni, potrebno je izmjeriti dimenzije (npr. promjer, visina, dužina, širina itd.) pripadajućeg geometrijskog tijela za svaku vrstu. Barem 20 jedinki iste vrste treba izmjeriti kako bi se osiguralo da standardna pogreška bude <10 %. Mjerenje se provodi pomoću okularnog mikrometra ili digitalne kamere i odgovarajućeg računalnog programa. Obavlja se tijekom brojenja stanica na što većem povećanju zbog što veće preciznosti, ali tako da cijela stanica stane u vidno polje.

Na temelju izračuna volumena pripadajućih geometrijskih tijela dobiva se volumen algi koji se naziva biovolumen koji se izražava u mm^3L^{-1}. S pretpostavkom da je gustoća algi i cijanobakterija jednaka gustoći vode (1 gcm^{-3}) biomasa se iz biovolumena preračunava na sljedeći način:

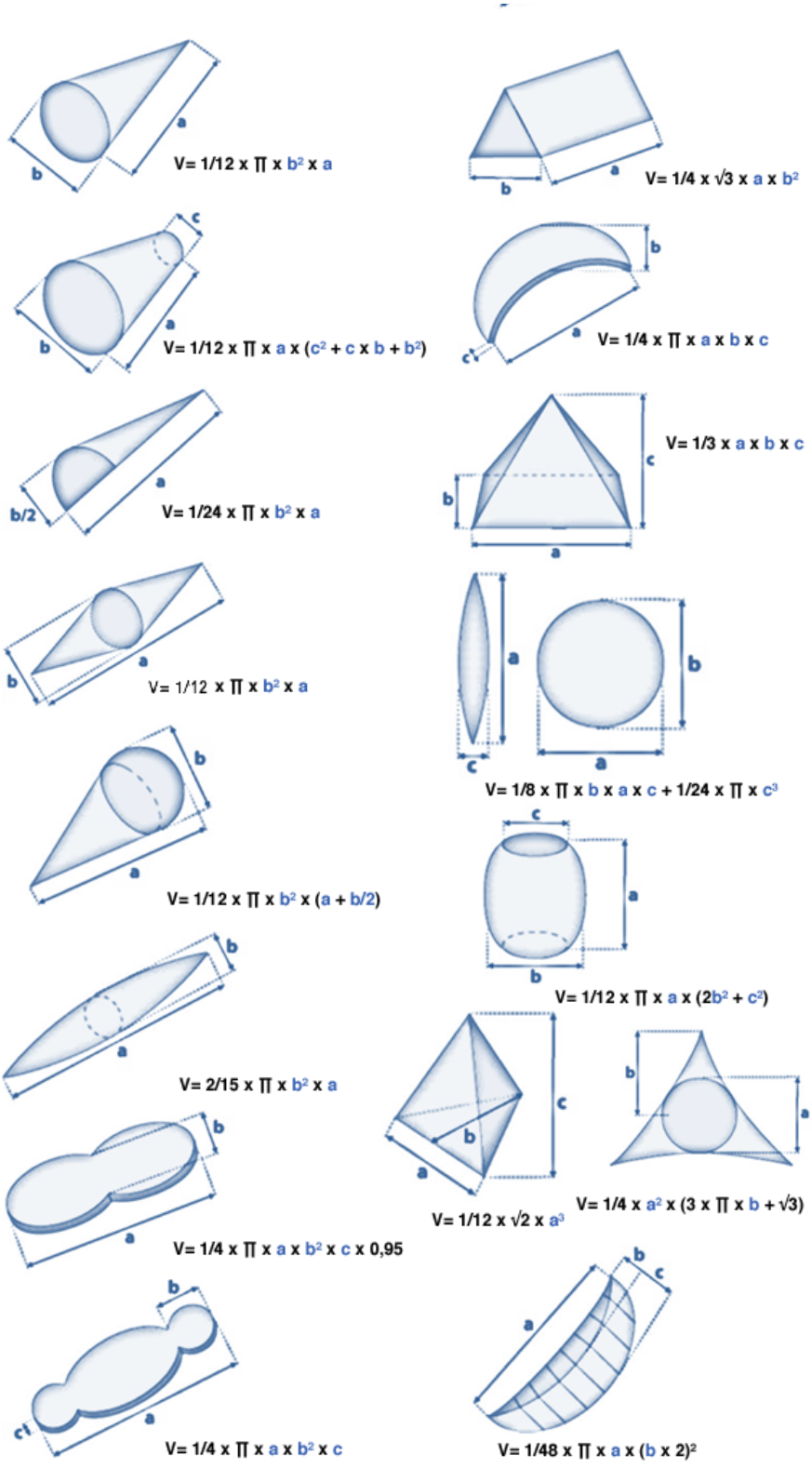
$$1\ mm^3L^{-1} = 1\ cm^3m^3 = 1\ mgL^{-1}$$

$$1\ mm^3m^3 = 10^6\mu m^3L^{-1} = 1\ \mu gL^{-1}$$

Ukupna biomasa stanica pojedine svojte se dobije tako da se izračunata biomasa stanice pomnoži s ukupnim brojem stanica. Ukupna biomasa fitoplanktona jednog uzorka zbroj je svih biomasa utvrđenih svojti.



Slika 2. Prikaz geometrijskih tijela s pripadajućim formulama za izračun volumena (prema Plenković-Moraj i sur. 2014)



Slika 3. Prikaz geometrijskih tijela s pripadajućim formula za izračun volumena (prema Plenković-Moraj i sur. 2014)

1.5. Područje istraživanja

Rijeka Drava izvire u tirolskim Alpama na austrijsko-talijanskoj granici, na području naseljenog mjesta Tolback na 1228 m nadmorske visine, odakle nastavlja teći prema istoku, kroz Alpe preko austrijske pokrajine Kärnten (Koruška) te Sloveniju i Hrvatsku. Drava u Hrvatsku ulazi kod naselja Dubrava Križovljanska s nadmorskom visinom od 197 m. Tok Drave zatim preko Varaždinske doline teče prema jugu, preko Međimurja, gdje u Dravu utječe Mura. Na području od Legrada do Terezinog polja Drava čini prirodnu granicu između Hrvatske i Mađarske. Nizvodno od Legrada dravska dolina se širi i Drava nastavlja svoj tok do ušća. Kod Donjeg Miholjca odvaja se od granice s Mađarskom i skreće u dubinu Hrvatske, a od Terezinog polja do Aljmaša, gdje se ulijeva u Dunav, dijeli Slavoniju od Baranje. U Dravu se ulijeva 24 većih vodenih tokova, od kojih je najznačajnija rijeka Mura, koja je svojom duljinom od 454 km gotovo isto toliko važna kao i njezina prihvatna rijeka. Rijeka Drava doseže dužinu do 749 km, dok je ukupna slivna površina 42.238 km^2 te prosječni istjek 620 m^3/s. Prosječne dubine rijeke Drave kreću se između 4 i 7 metara. Kišno-ledenjačkog je režima s malom vodnom količinom zimi i velikom krajem proljeća i početkom ljeta. Rijeka Drava je rijeka s velikim energetskim potencijalom te je uzvodno od ušća rijeke Mure pregrađena sa ukupno dvadeset i dvije brane .

U neposrednoj blizini gradova Čakovca i Varaždina, u sjevernom dijelu Hrvatske, postoji sustav akumulacijskih jezera iz kojih hidroelektrane Varaždin, Čakovec i Dubrava koriste vodni potencijal rijeke Drave. Prvo akumulacijsko jezero dužine je 3 km, zatim slijedi jezero dužine 7,5 km te jezero Donja Dubrava dužine 10 km. Akumulacija hidroelektrane Varaždin ima površinu od 3 km^2, ukupni volumen pri srednjem protoku 8 hm^3, vodeni stupac od 21,82 m i srednji godišnji protok od 315 m^3/s. Instalirani protok turbina je 450 m^3/s, a instalirana snaga generatora 86 MW. HE Varaždin puštena je u pogon 1975. godine. Druga u nizu akumulacija na Dravi odnosi se na hidroelektranu Čakovec površine 10,5 km^2 i ukupni volumen pri srednjem protoku 51 hm^3, vodeni stupac od 17,53 m i srednji godišnji protok od 325 m^3/s. Instalirani protok turbina je 500 m^3/s, a instalirana snaga generatora 75,9 MW. HE Čakovec puštena je u pogon 1982. godine. Treća u nizu akumulacija na Dravi je Donja Dubrava, površine 16,6 km^2 i ukupnog volumen pri

srednjem protoku 93,5 hm^3, vodenog stupca od 17,07 m i srednjeg godišnjeg protoka od 335 m^3/s. Instalirani protok turbina je 500 m^3/s, a instalirana snaga generatora 75 MW. HE Donja Dubrava je puštena u pogon 1990. godine (Grlica 2008).



Slika 4. Akumulacijska jezera rijeke Drave, Ormoško, Varaždinsko te jezero Donja Dubrava (prema www.earth.google.com)

1.6.Cilj istraživanja

Ciljevi rada su:

- odrediti sastav fitoplanktonske zajednice primjenom funkcionalnih skupina
- odrediti abundanciju fitoplanktona
- odrediti biomasu pojedine vrste
- utvrditi korelaciju fitoplanktona s fizikalno-kemijskim parametrima
- usporediti sastav, abundanciju i biomasu fitoplanktona 2012. i 2013. godine u pojedinoj akumulaciji

2. MATERIJALI I METODE

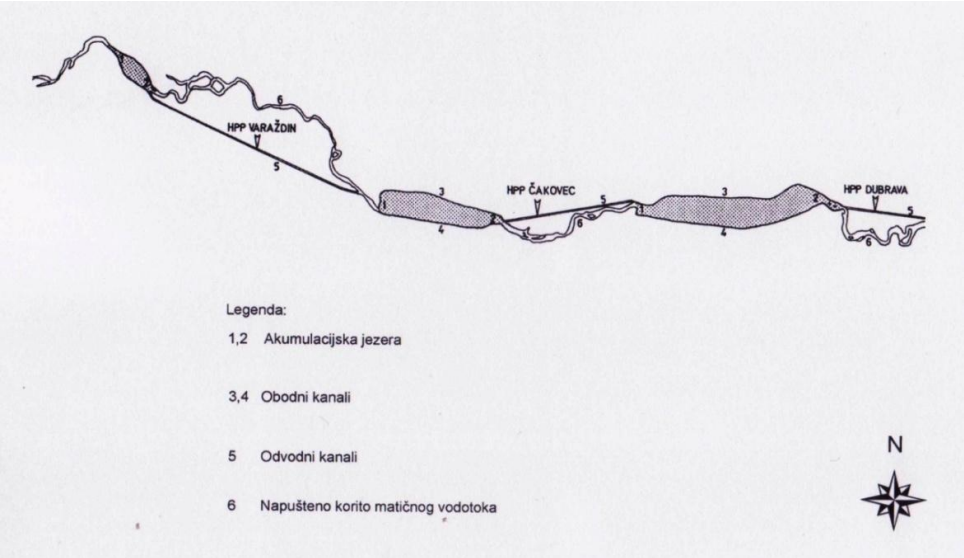
Tijekom svibnja, lipnja, kolovoza, rujna, listopada i studenog 2012. i 2013. godine provedena su istraživanja mrežnog fitoplanktona s istovremenim sabiranjem uzoraka vode za fizikalno-kemijsku analizu na postajama akumulacija rijeke Drave.

Odabrano je ukupno 8 postaja, koje su obilježene početnim slovom naziva akumulacije i rednim brojem. V odgovara akumulaciji Varaždin, D odgovara akumulaciji Dubrava, a Č odgovara akumulaciji Čakovec. Tako su na akumulaciji Varaždin, uzorci prikupljeni na postajama V1 i V2, na akumulaciji Čakovec na postajama Č1, Č1A i Č2, a na akumulaciji Dubrava, na postajama D1, D2 i D5.

Na shematskim slikama od 5 - 8 označena su mjesta sabiranja uzoraka na područjima istraživanja hidroenergetskih sustava rijeke Drave. Navedene postaje označavaju:

- POSTAJA V1: rep akumulacijskog jezera HE Varaždin
- POSTAJA V2: akumulacijsko jezero HE Varaždin – oko 300 m uzvodno od ustave
    - Površina
    - Dno
- POSTAJA Č1: rep akumulacijskog jezera HE Čakovec – oko 700 m nizvodno od željezničkog mosta Varaždin
- POSTAJA Č1A: akumulacijsko jezero HE Čakovec, u blizini rekreacijskog centra
- POSTAJA Č2: akumulacijsko jezero HE Čakovec – oko 500 m uzvodno od ustave na profilu 1 – 7
- POSTAJA D1: rep akumulacijskog jezera HE Dubrava – nakon spajanja biološkog minimuma i odvodnog derivacijskog kanala HE Čakovec, stacionaža 10 + 350
- POSTAJA D2: akumulacijsko jezero HE Dubrava, stacionaža 0 + 600
    - Površina
    - Sredina
    - Dno

- POSTAJA D5: odvodni derivacijski kanal, između strojarnice i 200 m nakon utoka lijevog drenažnog jarka



Slika 5. Područje rijeke Drave obuhvaćeno ovim istraživanjem (prema Mrakovčić i sur. 2007)



Slika 6. Istraživane postaje u sustavu HE Varaždin (prema Mrakovčić i sur. 2007)



Slika 7. Istraživane postaje u sustavu HE Čakovec (prema Mrakovčić i sur. 2007)



Slika 8. Istraživane postaje u sustavu HE Dubrava (prema Mrakovčić i sur. 2007)

Uzorci fitoplanktona prikupljeni su fitoplanktonskom mrežicom promjera oka 25 µm tijekom svibnja, lipnja, kolovoza, rujna, listopada i studenog 2012. i 2013. godine u tri akumulacije (Varaždin, Čakovec i Dubrava) rijeke Drave. Uzrokovano je na 8 postaja, jedna na plićem dijelu gdje je uzet jedan uzorak i jedna (Varaždin) ili dvije (Čakovec i Dubrava) na dubljem dijelu svake akumulacije gdje su uzorci uzeti s površine, iz sredine vodenog stupca te pridnenog sloja (Mrakovčić i sur. 2007).

Uz uzorke fitoplanktona, uzimani su i uzorci vode za fizikalno-kemijsku analizu. Praćena je temperatura vode, pH vrijednost, količina otopljenog kisika (mg/L), konduktivitet, koncentracija amonijaka (mg/L), koncentracija nitrita (mg/L) i koncentracija nitrata (mg/L).

Taksonomska pripadnost pojedine vrste dobivena je korištenjem standardnih ključeva. Iz kvalitativnog sastava fitoplanktonske zajednice određene su funkcionalne skupine fitoplanktona prema Reynolds i sur. (2002).

Abundancija, odnosno brojnost fitoplanktona (broj stanica/l) izračunata je iz broja pojedinih fitoplanktonskih stanica prebrojenih na milimetarskoj mrežici površine 1 cm^2 i pripadajućeg volumena uzorka (Stilinović i Plenković-Moraj 1995).

Podaci o prisutnim vrstama i njihovoj brojnosti, sakupljeni tijekom svibnja, lipnja, kolovoza, rujna, listopada i studenog 2012. i 2013. godine na pojedinim postajama, organizirani su u obliku Microsoft Access tablice. Za svaku vrstu naveden je rod kojem pripada te autora roda. Provjereno je jesu li imena vrste taksonomski prihvaćena te uz to navedena imena autora vrste, varijeteta ili forme (www.algaebase.org). Za svaku vrstu uneseni su i fizikalno-kemijski parametri vode ovisno o postaji i periodu kada su uzorkovani.

Mjerenjem veličine minimalno 30 stanica svake pojedine vrste, iz prosječnih vrijednosti veličina stanica, sukladno pripadajućim geometrijskim tijelima (Plenković-Moraj i sur. 2014) izračunati su biovolumeni svake pojedine vrste. Mjerenja su se provodila pomoću okularnog mikrometra i odgovarajućeg računalnog programa. Za one vrste koje nisu mogle biti opisane jednostavnim geometrijskim tijelom, koristile su se kombinacije

geometrijskih tijela (npr. stožac s pola kugle) ili njihovi dijelovi (npr. pola kugle). U većini slučajeva dodjela geometrijskih tijela bila je zasnovana na jednoj stanici, no kod kolonijalnih oblika gdje je bilo teško raspoznati oblik pojedine stanice koristilo se geometrijsko tijelo cijele kolonije. Biovolumeni vrsta za koje nije bilo moguće izmjeriti 30 stanica preuzeti su iz validne literature.

Umnoškom broja stanica i pripadajućih biovolumena izračunate su biomase pojedinih fitoplanktonskih vrsta u svakom uzorku.

U programu Primer 6 provedeno je multidimenzionalno skaliranje i CAP analiza kojom je utvrđena korelacija biomase s fizikalno-kemijskim parametrima.

3. REZULTATI

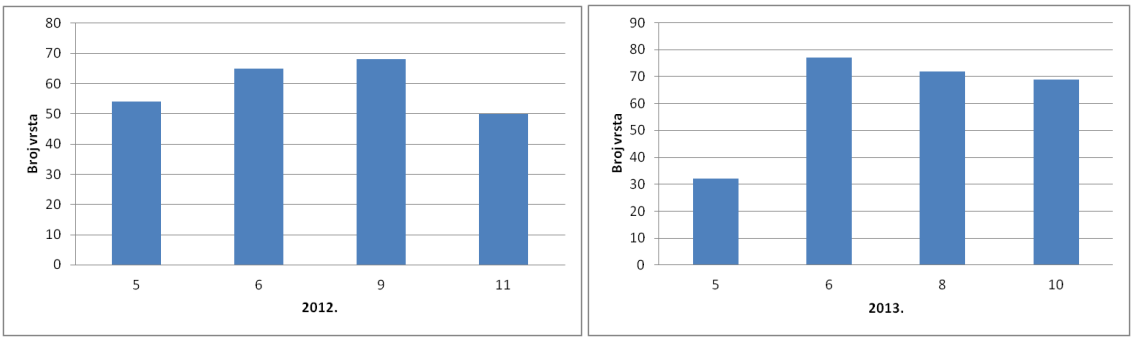
3.1.Abundancija

Tijekom svibnja, lipnja, kolovoza, rujna, listopada i studenog 2012. i 2013. godine provedena su istraživanja mrežnog fitoplanktona rijeke Drave. Ukupno je pronađeno 151 svojta iz 88 roda. Najbrojnija je skupina Bacillariophyceae s ukupno 76 svojti dok je skupina Chlorophyta zastupljena s ukupno 43 svojti, skupina Cyanobacteria s ukupno 14 svojti, skupina Dinophyta s 10 svojti, skupina Euglenophyta s ukupno 7 svojti, skupina Chrysophyceae s ukupno 6 svojti, skupine Rhodophyta i Xanthophyceae s ukupno 2 svojte i skupina Cryptophyta sa 1 svojtom.

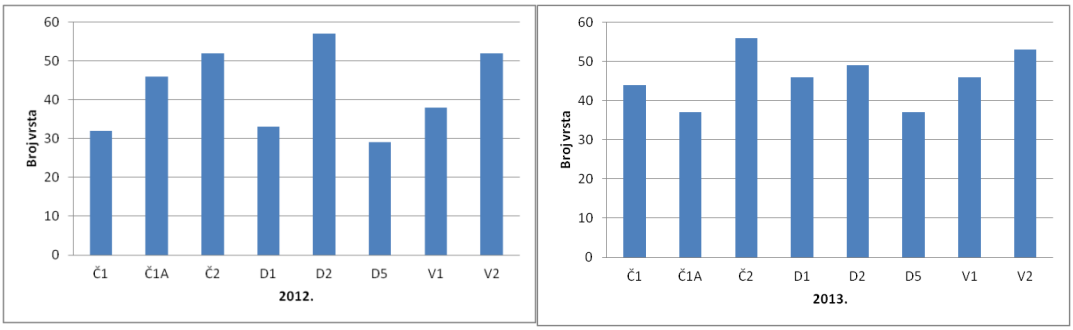
Najveći broj stanica po litri zabilježen je za vrstu *Dinobryon divergens* u 6. mjesecu 2013. godine na postaji D2 u površinkom uzorku (7,2 $x10^5$ st L^{-1}), dok je najmanji broj stanica po litri zabilježen za vrste *Craticula cuspidata* var. *major* (23 st L^{-1}), *Pinnularia* sp. (23 st L^{-1}), *Cymatopleura solea* (23 st L^{-1}) i *Ceratium hirundinella* (23 st L^{-1}) u 6. mjesecu 2013. godine na postaji V2 s površine. Najveća biomasa zabilježena je za vrstu *Ochromonas ostreaeformis* u 5. mjesecu 2012. godine na postaji D2 u površinskom uzorku (24 mg L^{-1}) i u 5. mjesecu 2012. godine na postaji D2 sa sredine (21 mg L^{-1}). Najmanja biomasa zabilježena je za vrstu *Monoraphidium* sp. u 8. mjesecu 2013. godine na postaji Č2 s površine (2,88 $x10^{-7}$ mg L^{-1}).

Tijekom dvije istraživane godine najviše je vrsta pronađeno u 9. mjesecu 2012. godine (68), i 6. mjesecu 2013. godine (77). Minimalan broj vrsta pronađen je u 11. mjesecu 2012. godine (50) i 5. mjesecu 2013. godine (32) (Slika 9.).

Ako promotrimo ukupan broj vrsta po postajama u 2012. godini vidimo kako je najviše vrsta pronađeno na postaji D2 (57), a najmanje na postaji D5 (29). U 2013. godini najviše je vrsta pronađeno na postaji Č2 (56), dok je na postajama Č1A i D5 pronađeno najmanje vrsta (37) (Slika 10.).

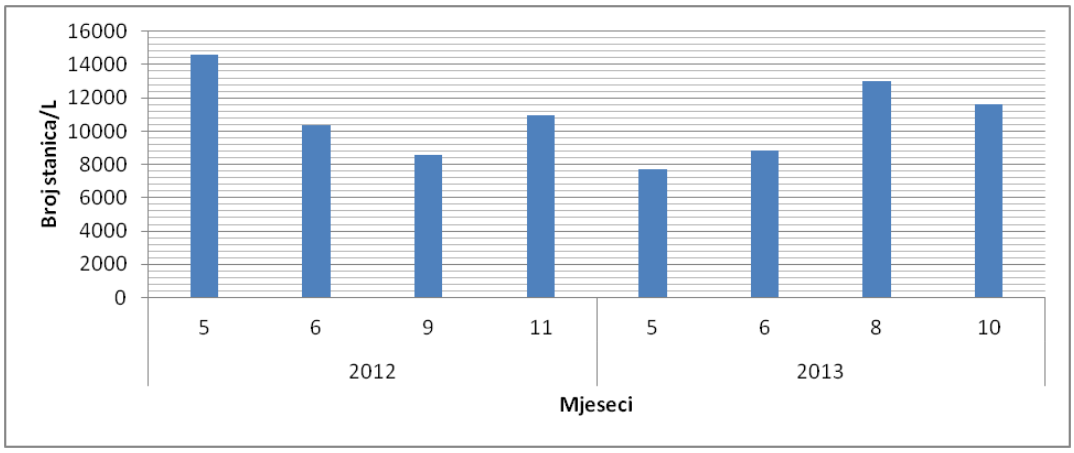


Slika 9. Ukupan broj vrsta kroz mjesece u 2012. i 2013 godini.



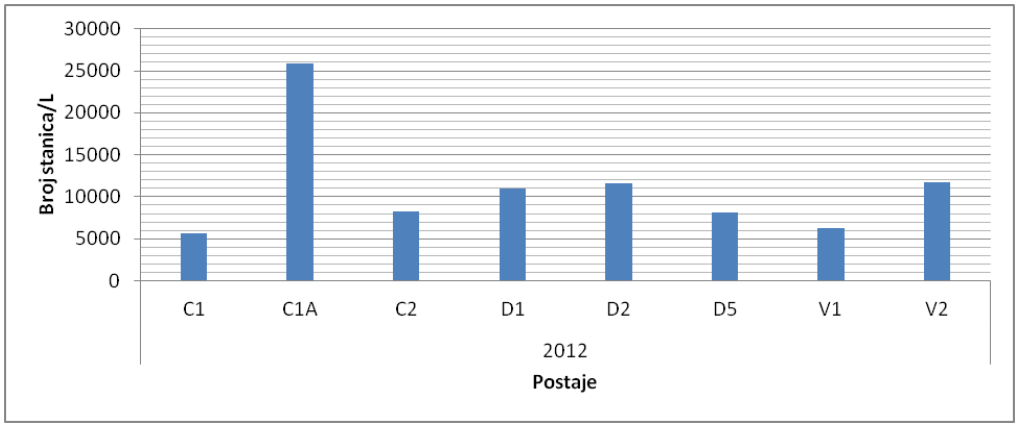
Slika 10. Ukupan broj vrsta po postajama u 2012. i 2013. godini.

Ako promotrimo pojedine mjesece u 2012. i 2013. godini vidimo kako je maksimalan broj stanici po litri zabilježen u 5. mjesecu 2012. godine i iznosi 1,4 $x10^4$ st L^{-1} i u 8. mjesecu 2013. godine iznosi 1,3 $x10^4$ st L^{-1}. Minimalan broj stanica po litri zabilježen je u 9. mjesecu 2012. godine (8,5 $x10^3$ st L^{-1}) i u 5. mjesecu 2013. godine (7,7 $x10^3$ st L^{-1}) (Slika 11.).

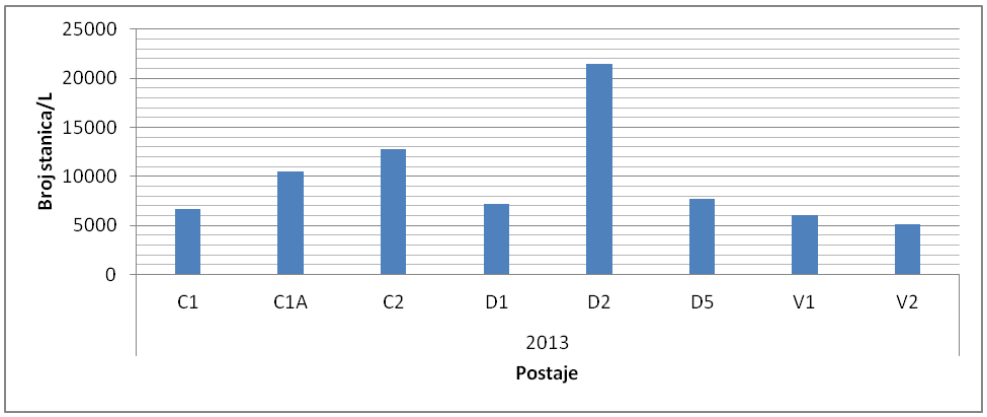


Slika 11. Ukupan broj stanica po litri tijekom istraživanih mjeseci u 2012. i 2013 godini.

U 2012. godini maksimalan broj stanica zabilježen je na postaji Č1A (2,5 x10^4 st L^{-1}), a minimalan broj stanica po litri te iste godine zabilježen je na postaji Č1 (5,6 x10^3 st L^{-1}). U 2013. godini je maksimalan broj stanica zabilježen na postaji D2 (2,1 x10^4 st L^{-1}), a minimalan broj stanica po litri te iste godine zabilježen je na postaji V2 (5,2 x 10^3 st L^{-1}). Najveći broj stanica po litri zabilježen je na postaji HE Čakovec, a najmanji na postaji HE Varaždin (Slika 12. i 13.).



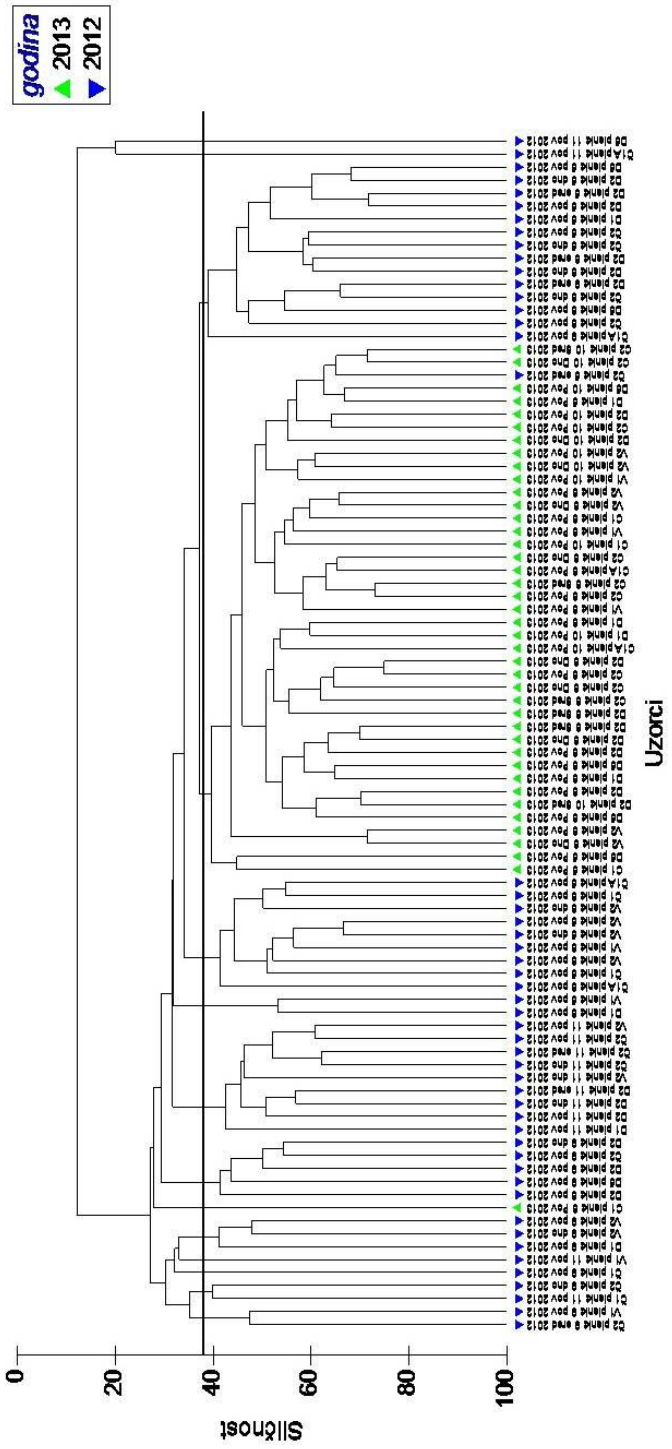
Slika 12. Ukupan broj stanica po litri po postajama u 2012. godini.



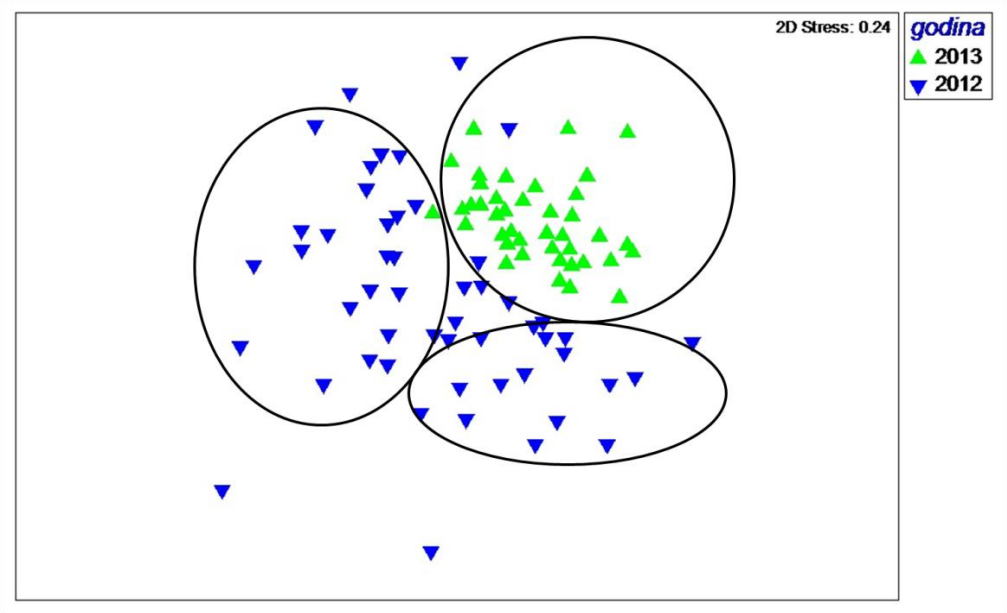
Slika 13. Ukupan broj stanica po litri po postajama u 2013. godini.

Metoda klasterske analize na osnovi broja stanice po litri razdvojila je dvije promatrane godine (2012. i 2013.), te ih grupirala u tri grupe (klastera). Grupu 2 čine uzorci iz 2013. godine dok je 2012. godina razdvojena u dvije grupe (grupu 1 i grupu 3) (Slika 14.). U prvoj grupi uzoraka iz 2012. godine našao se jedan uzorak iz 2013. godine (postaja Č1, površina, 8. mjesec 2013. godine), a u drugoj grupi uzorka iz 2013. godine našla su se dva uzorka iz 2012. godine (postaja Č2, dno i sredina, 10. mjesec 2012. godine), treća grupa uzorka iz 2012. godine je jedinstvena. Vrste sa najvećom abundancijom za grupu 1 su: *Peridinium incospicuum*, *Pandorina morum* i *Aulacoseira italica*, vrste sa najvećom abundancijom za grupu 2 su: *Dinobryon divergens*, *Peridinium* sp. i *Asterionella formosa*, a vrste sa najvećom abundancijom za grupu 3 su: *Dinobryion sociale*, *Asterionella formosa* i *Fragilaria capucina*. Navedene vrste upravo zbog svoje najveće abundancije karakteriziraju pojedinu grupu.

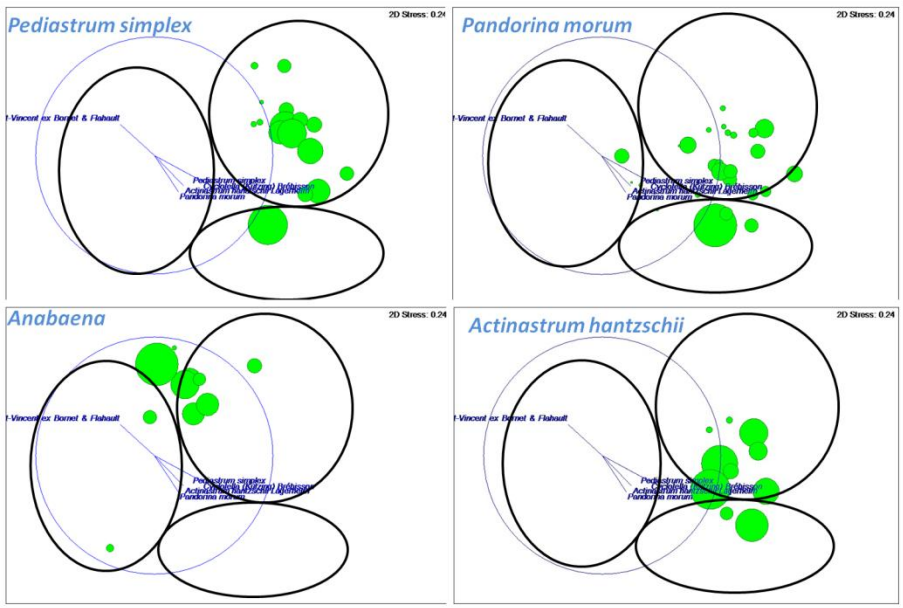
MDS ordinacijski prikaza sastava zajednice na temelju abundancije mrežnog fitoplanktona također razdjeljuje uzorke u tri grupe te tako potvrđuje metodu klasterske analize (Slika 15.). Do grupiranja dolazi jer svaku grupu opisuje određena vrsta sa svojom najvećom abundancijom, pa tako grupu 2 karakteriziraju vrste *Pediastrum simplex* i *Actinaestrum hantzschii*, grupu 3 karakterizira vrsta *Pandorina morum* dok se najveća grupa 1 ne odlikuje nekim posebnim karakteristikama (Slika 16.).



Slika 14. Ordinacijski dijagram klaster analize abundancije vrsta zabilježenih u mrežnom fitoplanktonu akumulacija rijeke Drave tijekom 2012./2013. godine



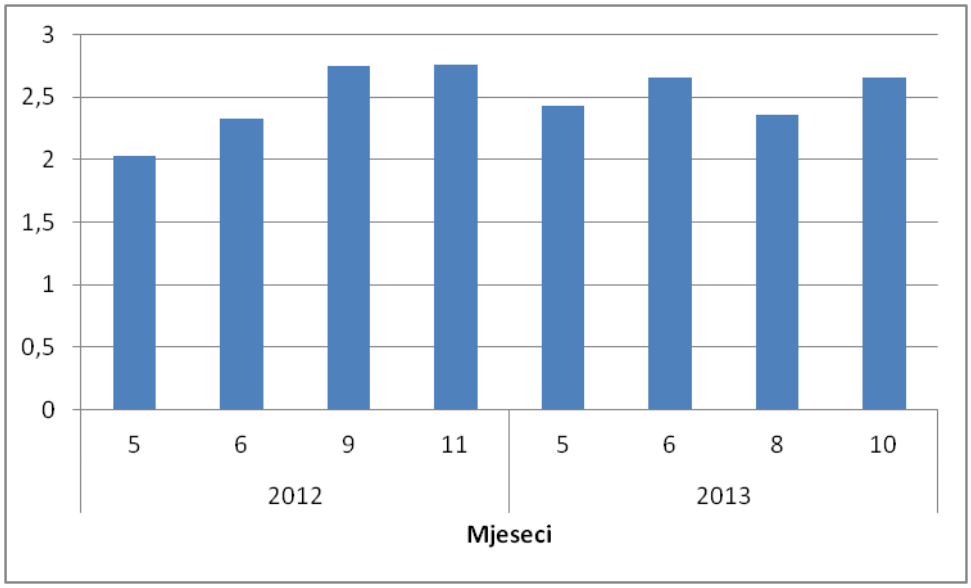
Slika 15. MDS ordinacijski prikaz sastava zajednice na temelju abundancije mrežnog fitoplanktona akumulacija rijeke Drave tijekom 2012./2013. godine



Slika 16. MDS ordinacijski prikaz sastava zajednice na temelju abundancije najzastupljenijih vrsta (promjer kruga prikazuje logaritam broja stanica pojedine vrste po litri uzorka) u akumulacijama rijeke Drave tijekom 2012./2013. godine

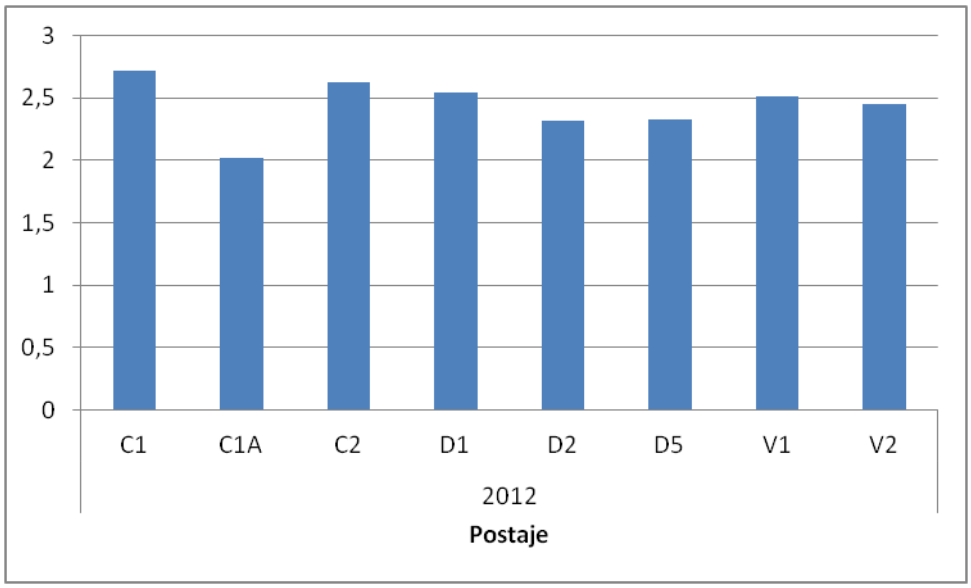
3.2.Biomasa

Maksimalna biomasa mrežnog fitoplanktona u akumulacijama rijeke Drave zabilježena je u 5. mjesecu 2012. godine (246,61 mg L^{-1}), a minimalna u 11. mjesecu te iste godine (0,52 mg L^{-1}). Maksimalna vrijednost u 2013. godini zabilježena je u 8. mjesecu (17,82 mg L^{-1}), a minimalna u 10. mjesecu (1,55 mg L^{-1}) (Slika 17.).

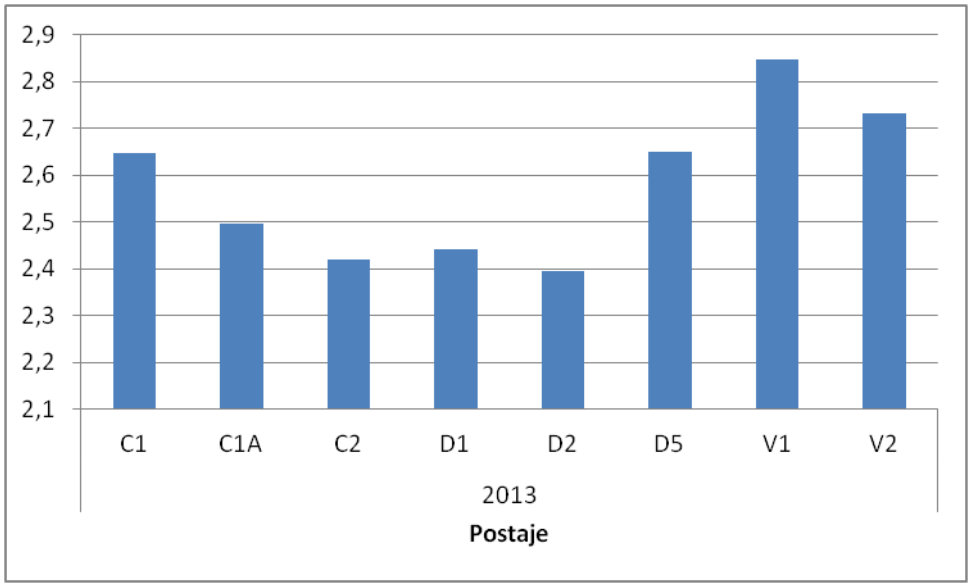


Slika 17. Biomasa mrežnog fitoplankton akumulacija rijeke Drave po mjesecima u 2012. i 2013. godini.

U 2012. godini je maksimalna vrijednost biomase zabilježena na postaji D2 (280,49 mg L^{-1}), dok je minimalna vrijednost te iste godine zabilježena na postaji V1 (0,013 mg L^{-1}). Maksimalna vrijednost zabilježena u 2013. godini je na postaji D2 (20,54 mg L^{-1}), a minimalna vrijednost te iste godine zabilježena ja na postaji V2 (0,001 mg L^{-1}) (Slika 18. i 19.).



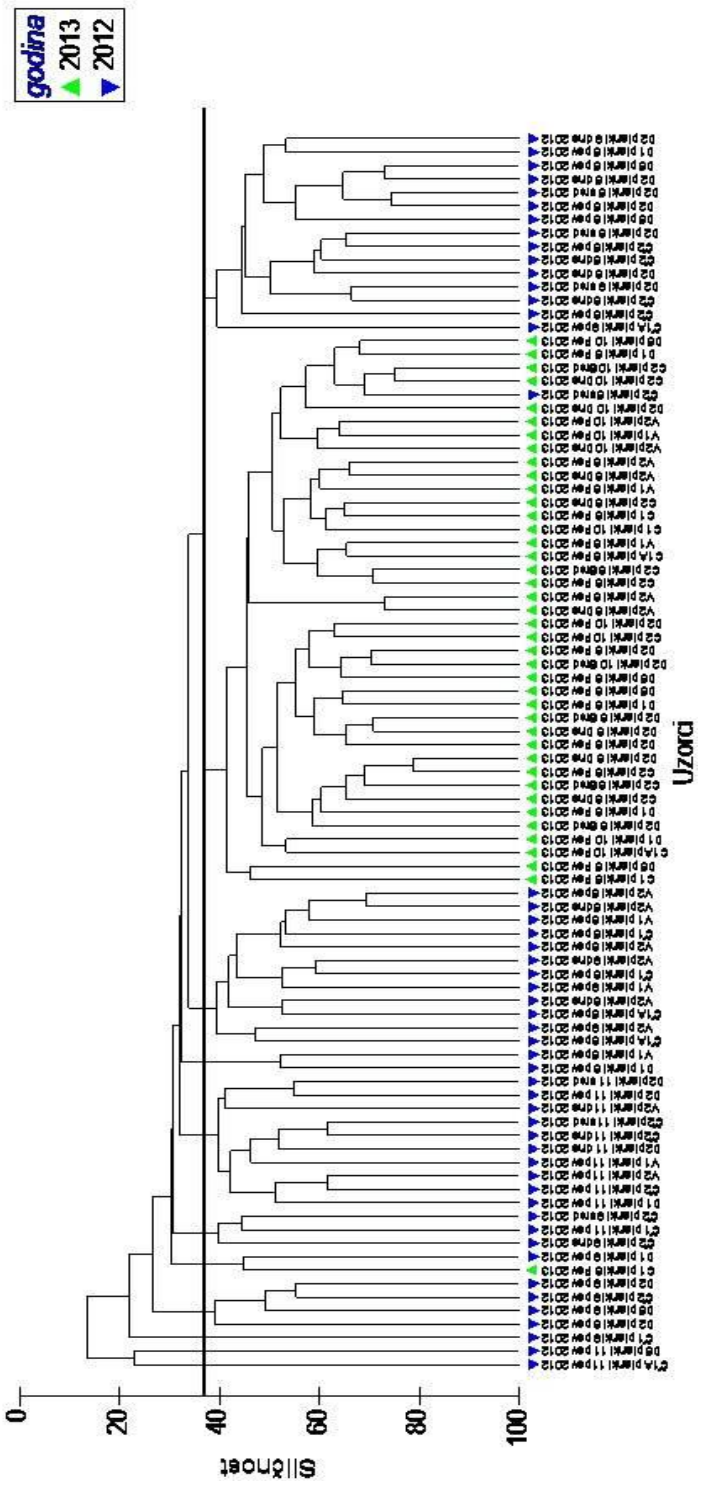
Slika 18. Biomasa mrežnog fitoplankton akumulacija rijeke Drave po postajama u 2012. godini.



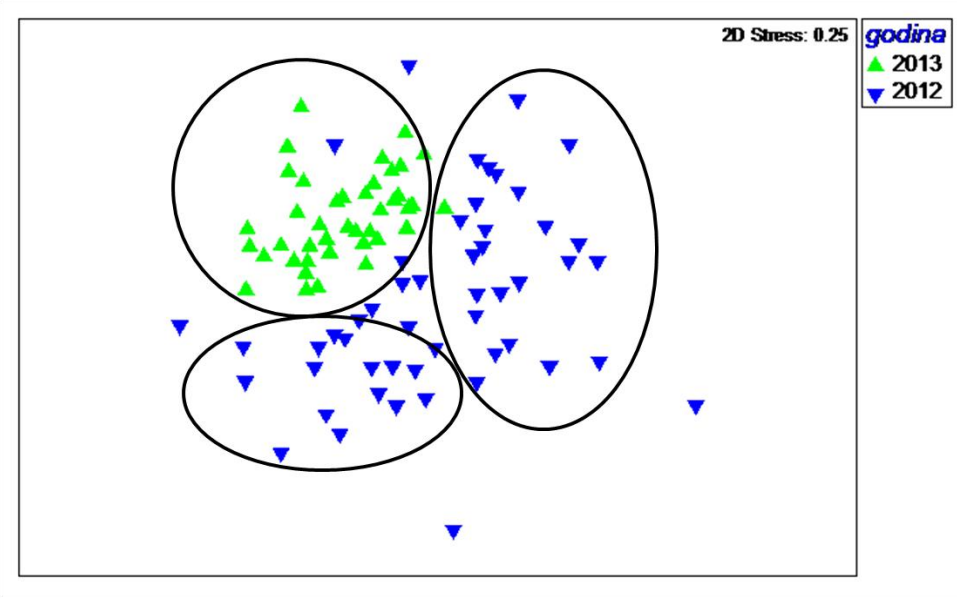
Slika 19. Biomasa mrežnog fitoplankton akumulacija rijeke Drave po postajama u 2013. godini.

Metoda klasterske analize na osnovi biomase razdvojila je dvije promatrane godine (2012. i 2013.), te ih grupirala u tri grupe (klastera). Grupu 2 čine uzorci iz 2013. godine dok je 2012. godina razdvojena u dvije grupe (Slika 20.). U prvoj grupi uzoraka iz 2012. godine našao se jedan uzorak iz 2013. godine (postaja Č1, površina, 8. mjesec 2013. godine), dok su se u drugoj grupi uzorka iz 2013. godine našla četiri uzorka iz 2012. godine (postaja Č2, dno i sredina, 10. mjesec 2013. godine, postaja D1, površina, 6. mjesec 2013. godina i postaja D5, površina, 10. mjesec 2013. godina). Grupa 3 iz 2012. godine je jedinstvena. Vrste s najvećom biomasom za grupu 1 su: *Pediastrum simplex, Anabaena* sp. i *Euglena acus*, vrste s najvećom biomasom za grupu 2 su: *Pediastrum simplex, Peridinium* sp. i *Cladophora* sp., a vrste s najvećom biomasom za grupu 3 su: *Ochromonas ostreaeformis, Pediastrum simplex* i *Pediastrum boryanum*. Navedene vrste karakteriziraju pojedinu grupu upravo zbog svoje najveće biomase.

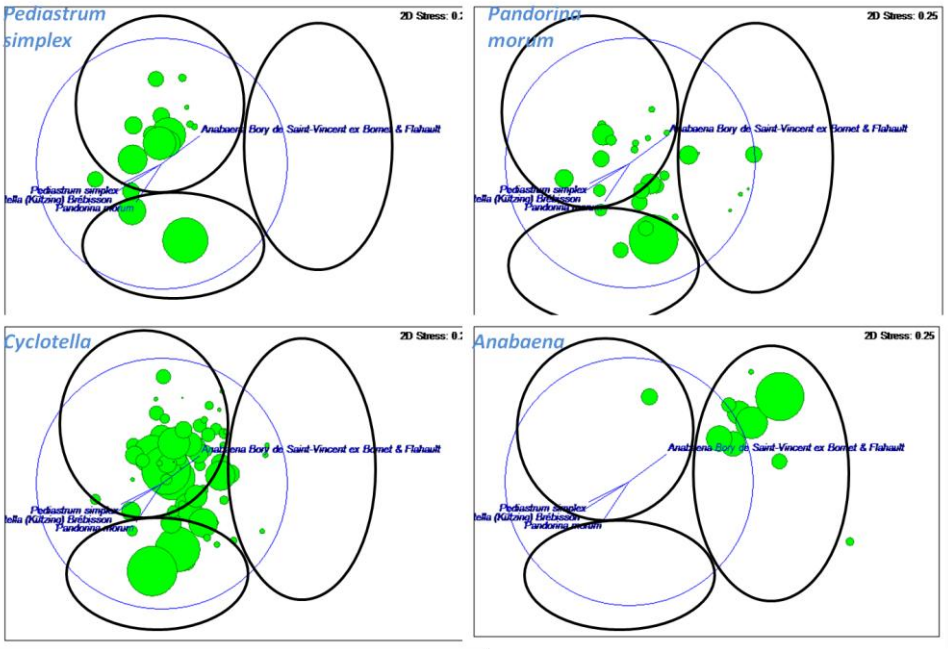
MDS ordinacijski prikaz sastava zajednice na temelju biomase mrežnog fitoplanktona također razdjeljuje uzorke u tri grupe te tako potvrđuje metodu klasterske analize (Slika 21.). Do grupiranja dolazi jer svaku grupu opisuje određena vrsta sa svojom najvećom biomasom, pa tako grupu 1 karakterizira vrsta *Anabaena* sp. u odnosu na grupu 2 koju karakteriziraju vrste *Cyclotella* sp. i *Pediastrum simplex* i grupu 3 koju karakterizira vrsta *Pandorina morum* (Slika 22.).



Slika 20. Ordinacijski dijagram klaster analize biomase vrsta zabilježenih u mrežnom fitoplanktonu akumulacija rijeke Drave tijekom 2012./2013. godine



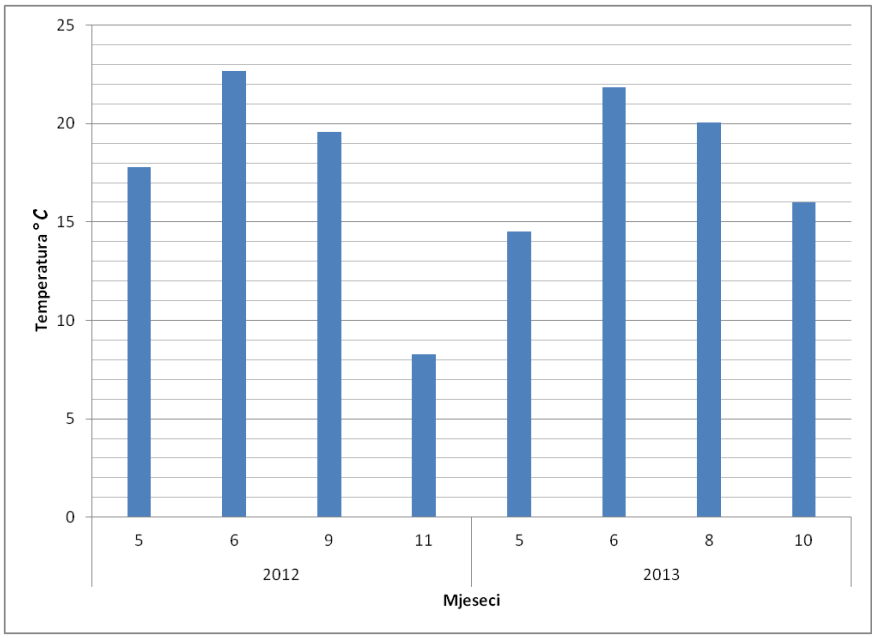
Slika 21. MDS ordinacijski prikaz sastava zajednice na temelju biomase mrežnog fitoplanktona akumulacija rijeke Drave tijekom 2012./2013. godine



Slika 22. MDS ordinacijski prikaz sastava zajednice na temelju biomase mrežnog fitoplanktona u akumulacijama rijeke Drave tijekom 2012./2013. godine

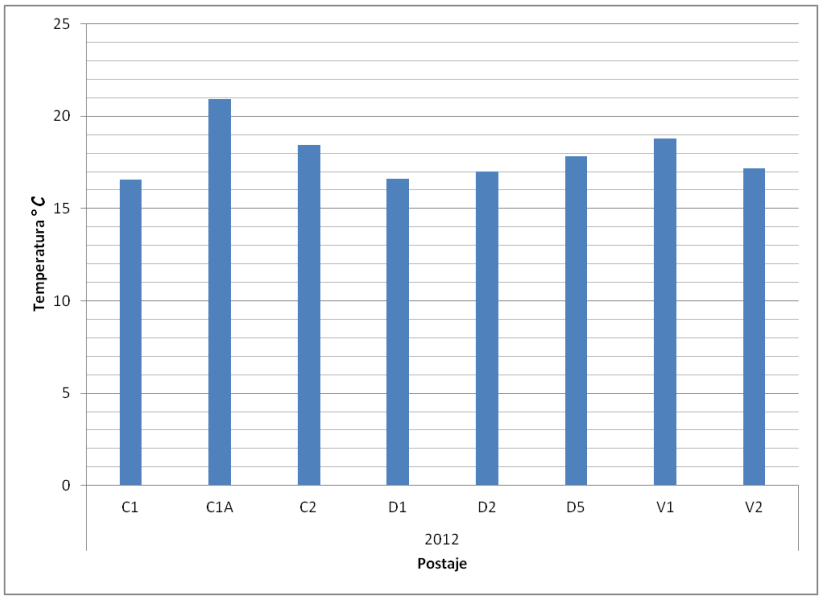
3.3.Fizikalno-kemijski čimbenici

Maksimalna temperatura izmjerena je u 6. mjesecu 2012. godine i iznosila je 22,7 ˚C, dok je u istom mjesecu 2013. godine bila nešto niža, 21,8 ˚C. Najniža temperatura vode izmjerena je u 11. mjesecu 2012. godine i iznosila je 8,3 ˚C (Slika 23.).

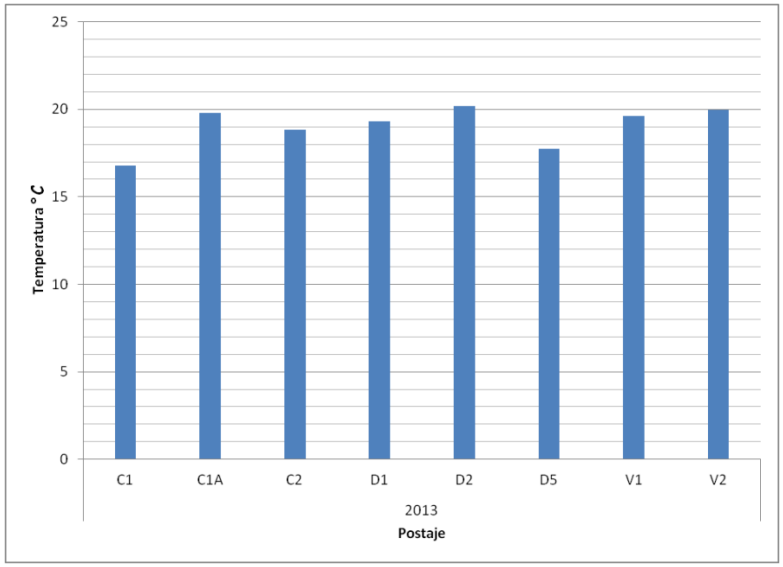


Slika 23. Temperatura vode (˚C) u akumulacijama rijeke Drave po mjesecima u 2012. i 2013. godini

Usporedbom je vidljivo kako su veće oscilacije temperature bile u 2012. godini. Maksimalna temperatura izmjerena je na postaji Č1A (20,9 ˚C), a minimalna na postaji D1 (16,6 ˚C). U 2013. godini oscilacije temperature vode su manje, maksimalna temperatura izmjerena je na postaji D2 (20,16 ˚C), a minimalna na postaji C1 (16,8 ˚C) (Slika 24. i 25.). Najviše temperature bilježe postaje HE Čakovec, potom HE Dubrava te najniže HE Varaždin. Prosječna vrijednost temperature iznosi 18,5 ˚C.



Slika 24. Temperatura vode (˚C) po postajama akumulacija rijeke Drave u 2012. godini.



Slika 25. Temperatura vode (˚C) po postajama akumulacija rijeke Drave u 2013. godini.

Maksimalna vrijednost koncentracije nitrata zabilježena je u 11. mjesecu 2012. godine i iznosila je 1,16 mgL^{-1}. Maksimalna vrijednost koncentracije nitrata u 2013. godini zabilježena je u 10. mjesecu te je iznosila 0,69 mgL^{-1}. U ostalim mjesecima 2012. i 2013.

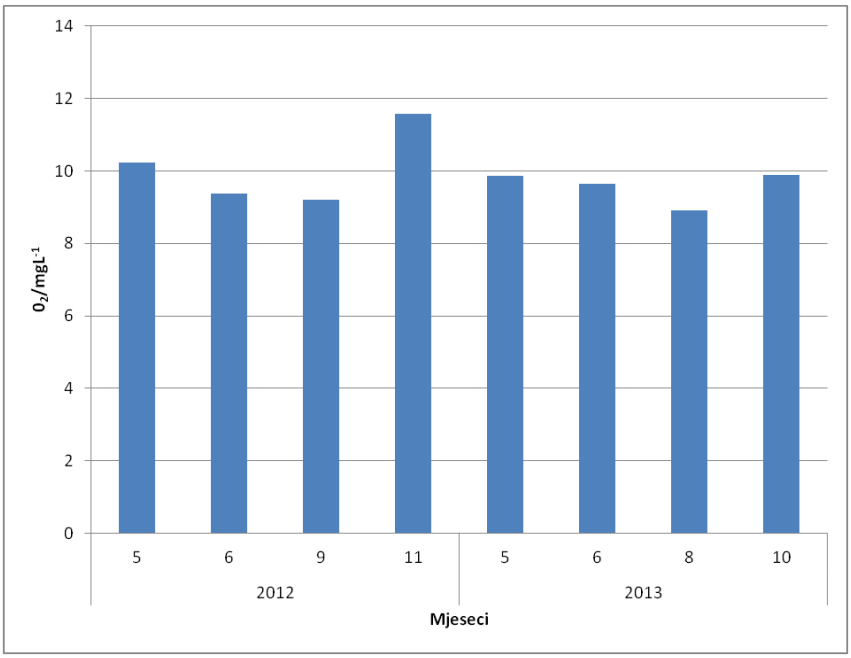
godine koncentracije nitrata nisu se mijenjale (0,56 mgL^{-1}). Maksimalne vrijednosti koncentracije nitrata u 2012. godini zabilježene su na postaji D1 (0,79 mgL^{-1}), a minimalne vrijednosti te iste godine zabilježene su na postaji Č1A (0,60 mgL^{-1}). Maksimalne vrijednosti koncentracije nitrata u 2013. godini zabilježene su na postaji D1 (0,78 mgL^{-1}), a minimalne vrijednosti te iste godine zabilježene su postajama Č1A, Č2, D2, D5, V1 i V2 (0,56 mgL^{-1}). Maksimalne vrijednosti koncentracije nitrata javljaju se na postajama HE Dubrava, a minimalne na postaji HE Varaždin. Prosječna vrijednost koncentracije nitrata iznosi 0,63 mgL^{-1} .

Maksimalna vrijednost koncentracije nitrita zabilježena je u 5. mjesecu 2013. godine te je iznosila 0,058 mgL^{-1}. Maksimalna vrijednost koncentracije nitrita u 2012. godini zabilježena je u 5. mjesecu (0,01 mgL^{-1}). U ostalim mjesecima 2012. i 2013. godine koncentracije nitrita nisu se mijenjale (0,01 mgL^{-1}). Maksimalne vrijednosti koncentracije nitrita u 2012. godini zabilježene su na postaji Č1A (0,015 mgL^{-1}) i Č1 (0,014 mgL^{-1}), a minimalne vrijednosti te iste godine zabilježene su na preostalim postajama (0,010 mgL^{-1}). Maksimalne vrijednosti koncentracije nitrita u 2013. godini zabilježene su na postaji Č1 (0,44 mgL^{-1}), a minimalne vrijednosti te iste godine zabilježene su na preostalim postajama (0,01 mgL^{-1}). Maksimalne vrijednosti koncentracije nitrita javljaju se na postajama HE Čakovec, dok su na postajama HE Varaždin i HE Dubrava one minimalne i konstantne. Prosječna vrijednost koncentracije nitrita iznosi 0,012 mgL^{-1} .

Koncentracija amonijaka zabilježena u 2012. je konstantna (0,015 mgL^{-1}), dok je maksimalna vrijednost koncentracije amonijaka u 2013. godini zabilježena u 8. mjesecu iznosila 0,038 mgL^{-1}. Maksimalna vrijednost koncentracije amonijaka zabilježena je na postaji Č2 (0,046 mgL^{-1}) u 2013. godini. Minimalne vriednosti zabilježene su na postajama Č1A, D1, D2, V1 i V2 (0,015 mgL^{-1}). Prosječna vrijednost koncentracije amonijaka iznosila je 0,019 mgL^{-1}.

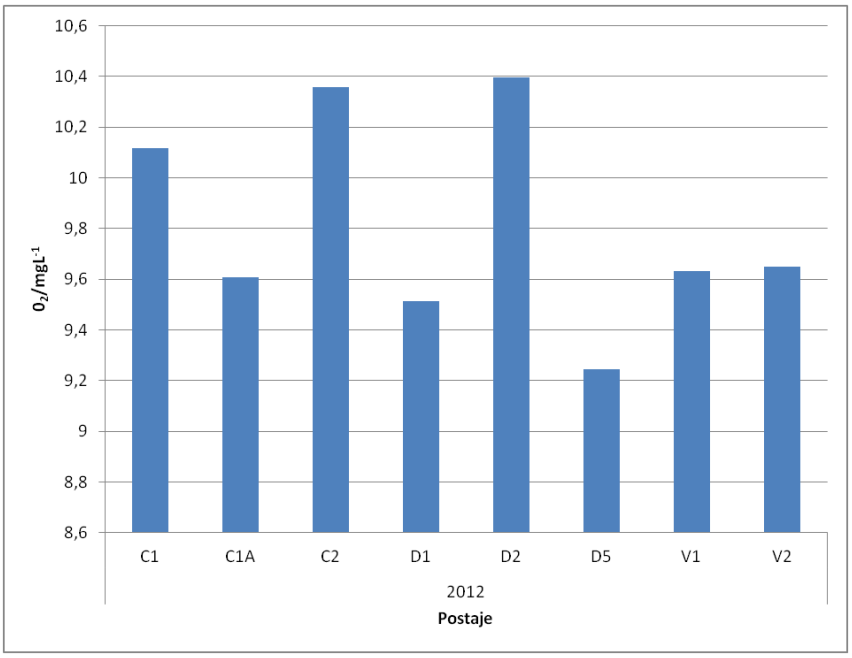
Najveća koncentracija kisika zabilježene je u 11. mjesecu 2012. godine, a iznosila je 11,56 mgL^{-1}, dok je minimalna vrijednost te iste godine zabilježena u 9. mjesecu i iznosila je 9,19 mgL^{-1}. Maksimalna koncentracija kisika u 2013. godini zabilježena je u 10.

mjesecu i iznosila je 9,88 mgL^{-1}, a minimalna koncentracija kisika te iste godine zabilježena je u 8. mjesecu i iznosila je 8,90 mgL^{-1} (Slika 26.).

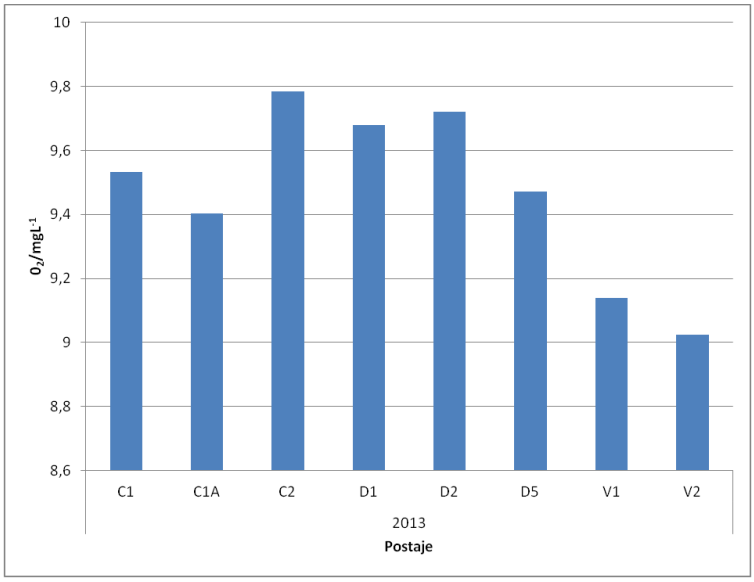


Slika 26. Koncentracija kisika (O_2/mgL^{-1}) po postajama akumulacija rijeke Drave u 2012. i 2013. godini

Maksimalna vrijednost koncentracije kisika u 2012. godini zabilježena je na postaji D2 i iznosila je 10,39 mgL^{-1}, a maksimalna vrijednost u 2013. godini zabilježena je na postaji C2 i iznosila je 9,78 mgL^{-1}. Minimalne vrijednosti koncentracije kisika u 2012. godini zabilježene su na postaji D5 (9,24 mgL^{-1}), a u 2013. godini na postaji V2 (9,02 mgL^{-1}). Koncentracije kisika u 2012. godini bile više nego u 2013. godini (Slika 27. i 28.). Maksimalne vrijednosti koncentracije kisika javljaju se na postajama HE Dubrava, a minimalne na postaji HE Varaždin. Prosječna vrijednost koncentracije kisika iznosi 9,72 mgL^{-1} .

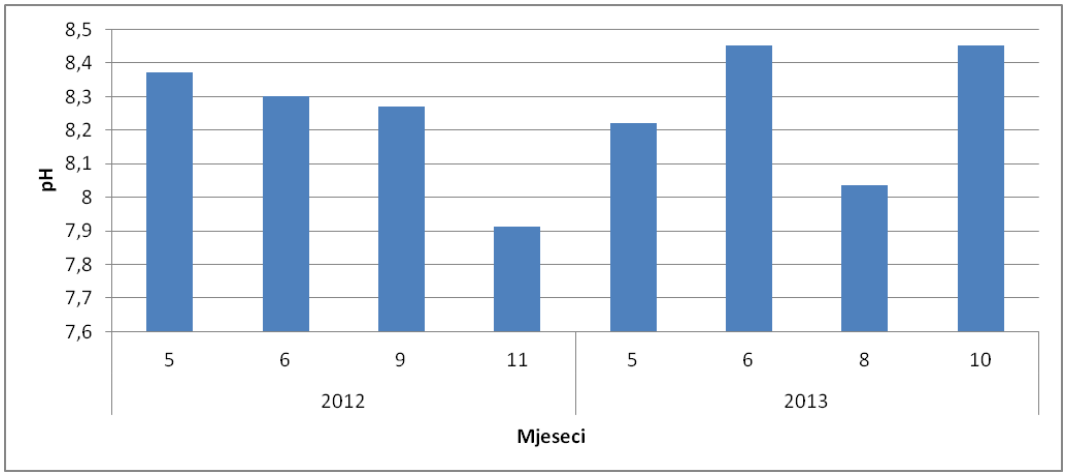


Slika 27. Koncentracija kisika (O_2/mgL^{-1}) po postajama akumulacija rijeke Drave u 2012. godini



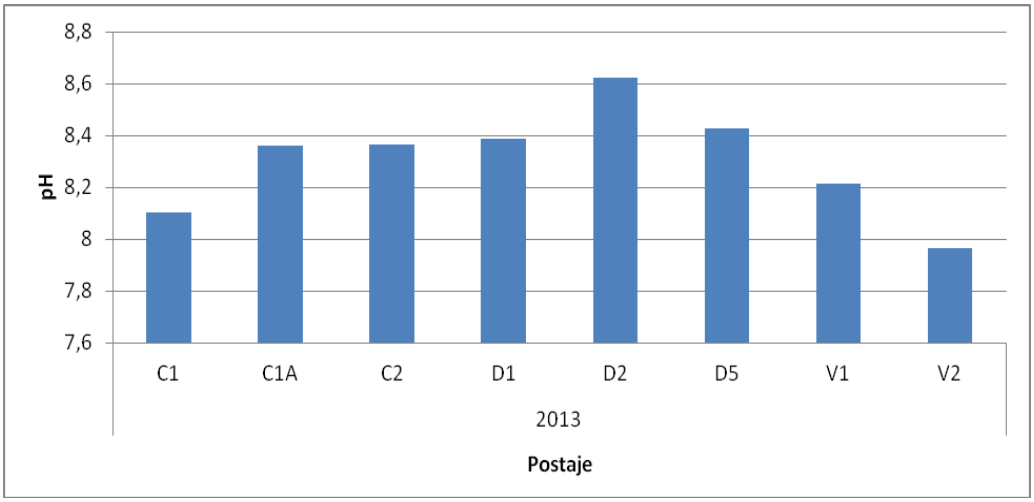
Slika 28. Koncentracija kisika (O_2/mgL^{-1}) po postajama akumulacija rijeke Drave u 2012. godini

pH-vrijednost doseže svoju maksimalnu vrijednost u 6. i 10. mjesecu 2013. godine (8,45), dok je u 2012. godini maksimalna vrijednost (8,37) izmjerena u 5. mjesecu. Te iste godine pH-vrijednost se je smanjivala kroz period istraživanja, te je tako najmanje iznosila u 11. mjesecu (7,91). Minimalna pH-vrijednost u 2013. godini zabilježena je u 8. mjesecu i iznosila je 8,03. (Slika 29.)

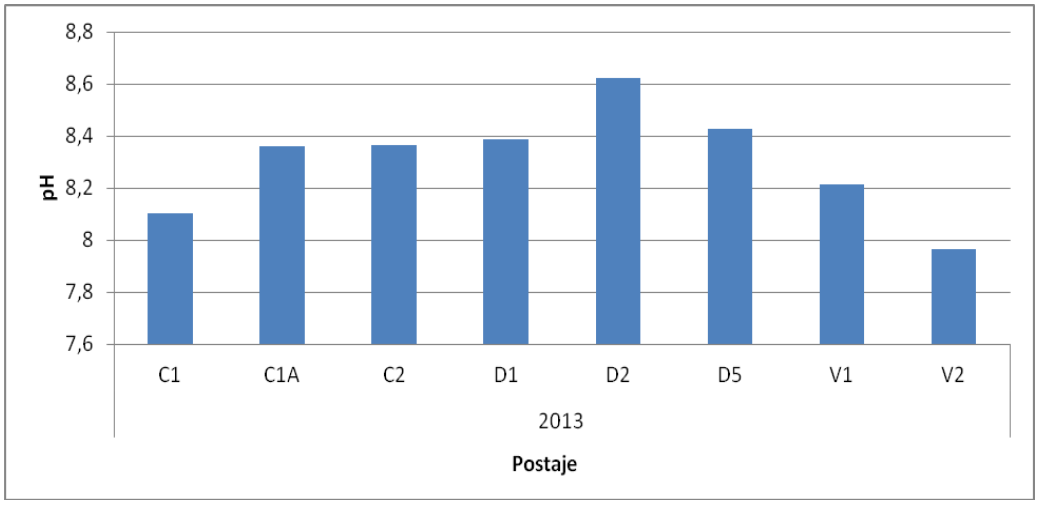


Slika 29. Vrijednosti pH u akumulacijama rijeke Drave u 2012. i 2013. godini.

Maksimalna pH-vrijednost izmjerena je 2012. godine na postaji D5 (8,42), minimalna vrijednost izmjerena je na postaji D1 (8,19). Maksimalna vrijednost u 2013. godini izmjerena je na postaji D2 (8,62), a minimalna vrijednost na postaji V2 (7,96) (Slika 30. i 31.). Maksimalne pH-vrijednosti javljaju se na postajama HE Dubrava, a minimalne na postaji HE Varaždin. Prosječna pH vrijednost iznosi 8,28.

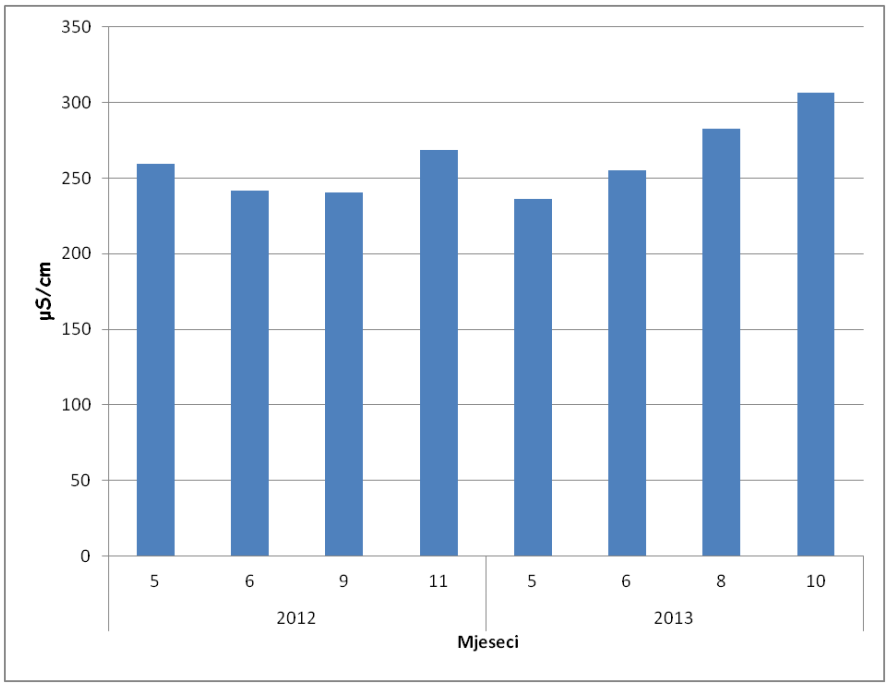


Slika 30. Vrijednosti pH u akumulacijama rijeke Drave po postajama u 2012. godini



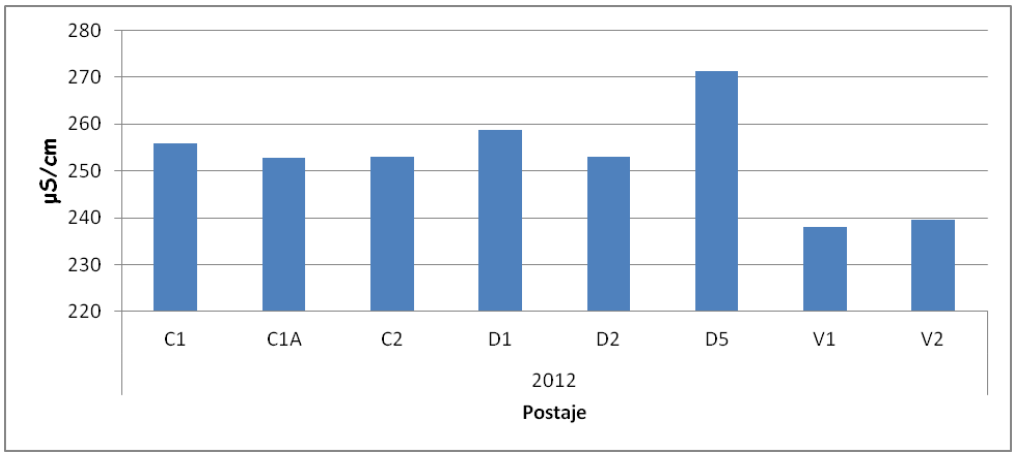
Slika 31. Vrijednosti pH u akumulacijama rijeke Drave po postajama u 2013. godini

Maksimalna električna vodljivost zabilježena je u 10. mjesecu 2013. godine i iznosila je 306,24 µS/cm. U 2012. godini maksimalna električna vodljivost zabilježena je u 11. mjesecu i iznosila je 268,75 µS/cm. Minimalne vrijednosti električne vodljivosti zabilježene su u 5. mjesecu 2013. godine (236,25 µS/cm) i u 9. mjesecu 2012. godine (240, 49 µS/cm) (Slika 32.).

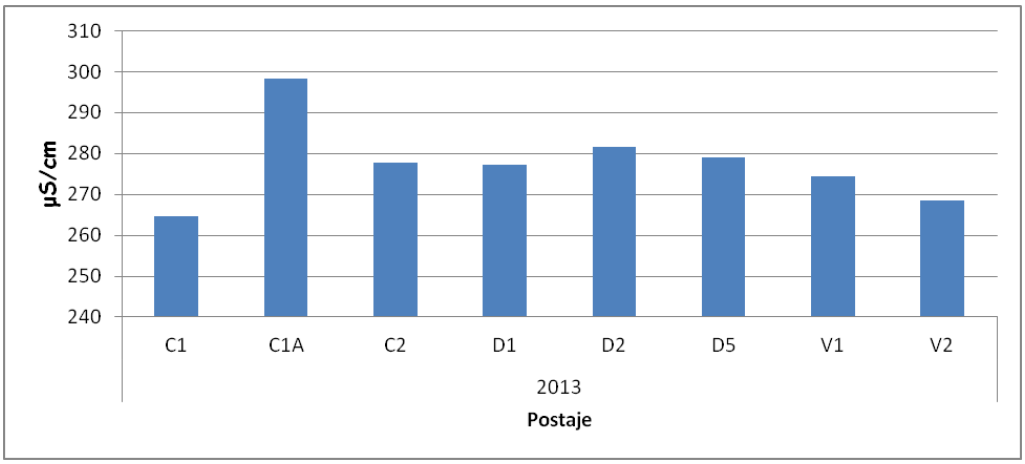


Slika 32. Električna vodljivost (µS/cm) u akumulacijama rijeke Drave u 2012. i 2013. godini.

Maksimalna vrijednost električne vodljivosti u 2012. godini zabilježena je na postaji D5 (271,20 µS/cm), a minimalna vrijednost na postaji V1 (238,00 µS/cm). Maksimalna vrijednost u 2013. godini zabilježena je na postaji Č1A (298,23 µS/cm), dok je minimalna vrijednost te iste godine zabilježena na postaji V2 (268, 23 µS/cm) (Slika 33. i 34.).



Slika 33. Električna vodljivost (µS/cm) u akumulacijama rijeke Drave po postajama u 2012. godini



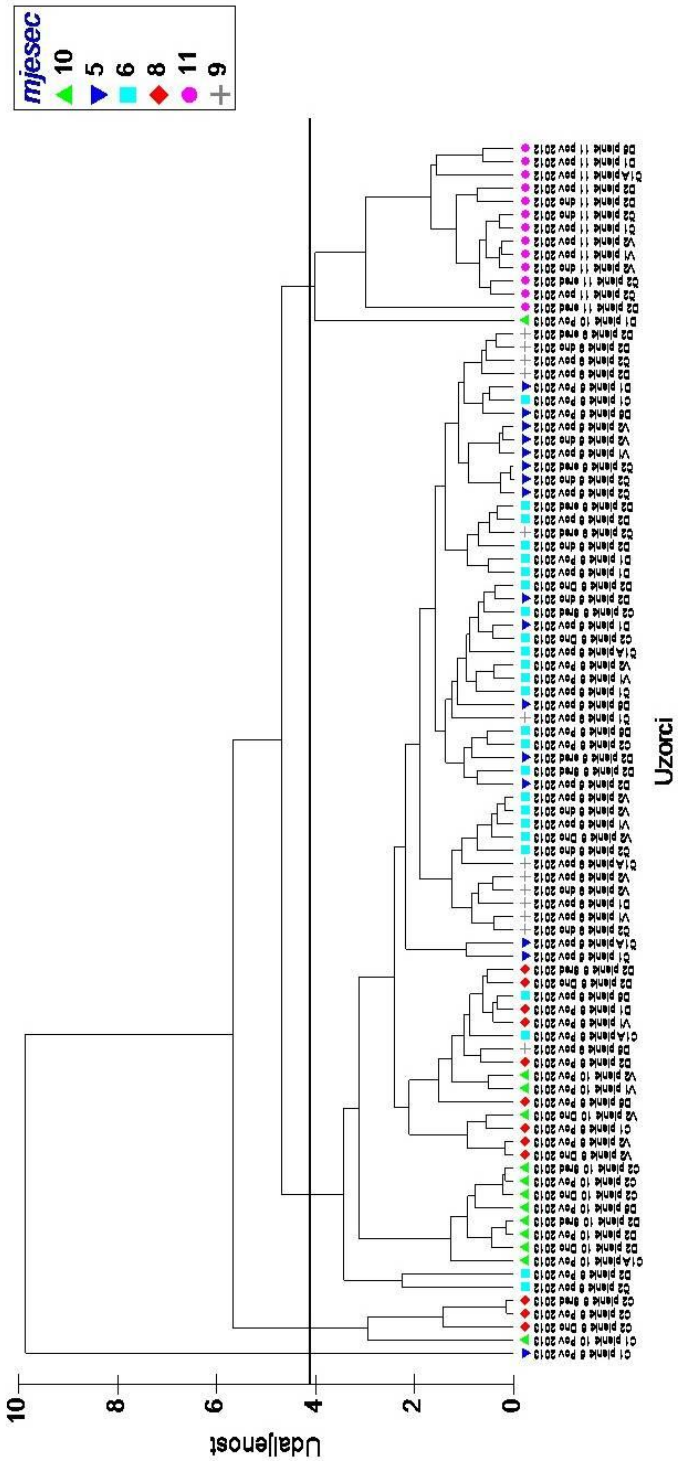
Slika 34. Električna vodljivost (µS/cm) u akumulacijama rijeke Drave po postajama u 2013. godini

Metoda klasterske analize na osnovi fizikalno-kemijskih čimbenika pokazuje grupiranje u tri grupe i dodatne podgrupe ovisno o mjesecima uzorkovanja. U grupi 1 koja je ujedno i najmanja, nalaze se uzorci iz 5., 8. i 10. mjeseca 2013. godine prikupljeni na postajama Č1 i Č2. U grupi 3 koja je nešto veća od grupe 1, nalaze se uzorci prikupljeni u 11. mjesecu 2012. godine na postajama Č1, Č1A, Č2, D1 i D2 i jedan uzorak prikupljen u 10. mjesecu

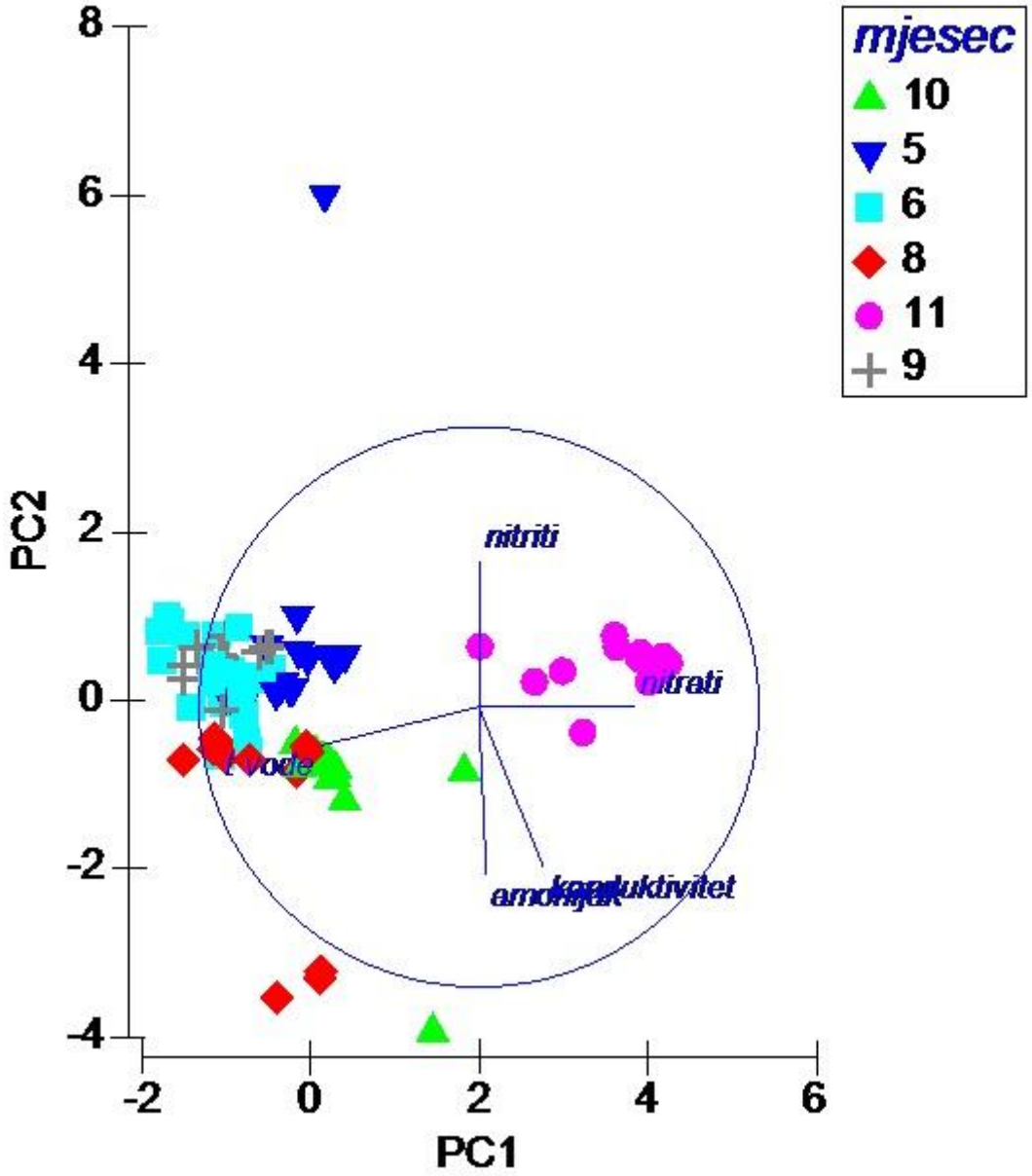
2013. godine na postaji D1. Svi ostali uzorci nalaze se u grupi 2, koja je ujedno i najveća (Slika 35.).

Multivarijantnom analizom sedam varijabli (fizikalno-kemijskih čimbenika vode) te minimuma i maksimuma protoka metodom glavnih komponenti (PCA) opisano je u tri dimenzije ukupno 71% varijance, tj. os 1 opisuje 37,4%, os 2 17,8 % a os 3 15,8 % varijance. S osi 1 najznačajnije koreliraju temperatura vode i nitrati (r=-0,567 i r=0,557; prema redoslijedu navođenja), a s osi 2 konduktivitet i amonijak (r=-0,573 i r=-0,603; prema redoslijedu navođenja). PCA analizom vidimo kako je došlo do sezonske raspodjele po mjesecima što nije vidljivo u klasterskoj analizi (Slika 36.).

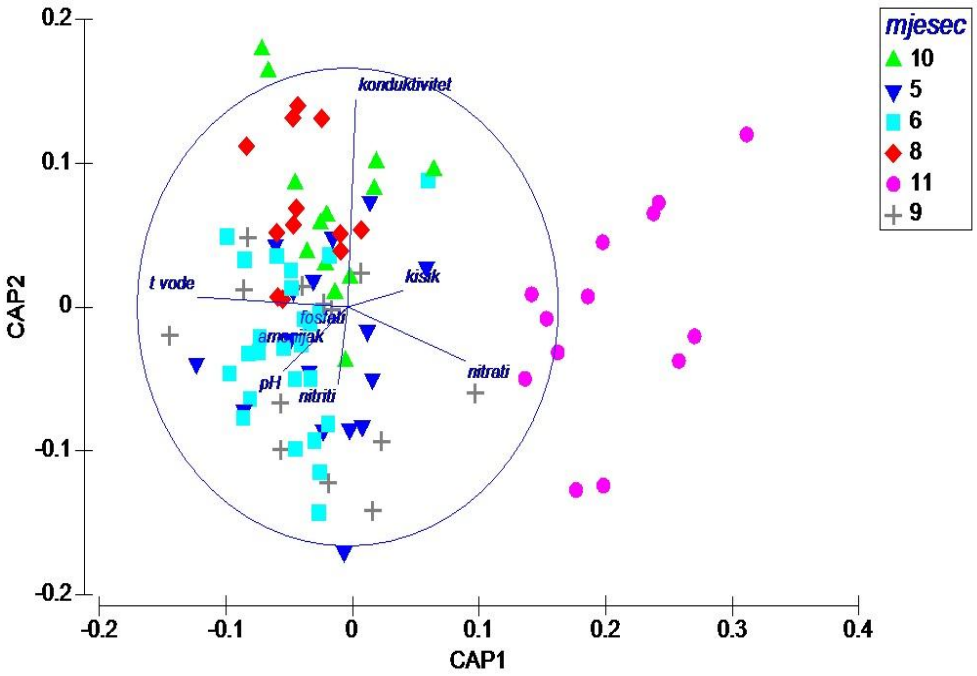
Kako bi se u vezu dovela fizikalno-kemijska svojstva vode i biomase fitoplantkona, napravljena je i CAP analiza (tr(Q_m'HQ_m)= 2.32788 uz P= 0.001 i delta_1^2= 0.80821 i P= 0.001) koja je pokazala da od fizikalno-kemijskih čimbenika najveći utjecaj na biomase fitoplanktona imaju redom: konduktivitet, temperatura vode, nitrati, pH, nitriti, kisik i amonijak. S CAP1 koreliraju temperatura vode sa r = -0,715 i nitrati sa r = 0,559, sa CAP 2 konduktivitet sa r = 0,870 i nitriti s r = -0,326. Isto tako i CAP analizom, kao i PCA analizom, vidimo kako je došlo do sezonske raspodjele po mjesecima što nije vidljivo u klasterskoj analizi (Slika 37.).



Slika 35. Ordinacijski dijagram klaster analize fizikalno-kemijskih čimbenika izmjerenih u akumulacijama rijeke Drave tijekom 2012./2013. godine



Slika 36. Ordinacijski dijagram analize glavnih komponenti (PCA) za sedam fizikalno-kemijskih čimbenika izmjerenih u akumulacijama rijeke Drava u 2012. i 2013. godini.

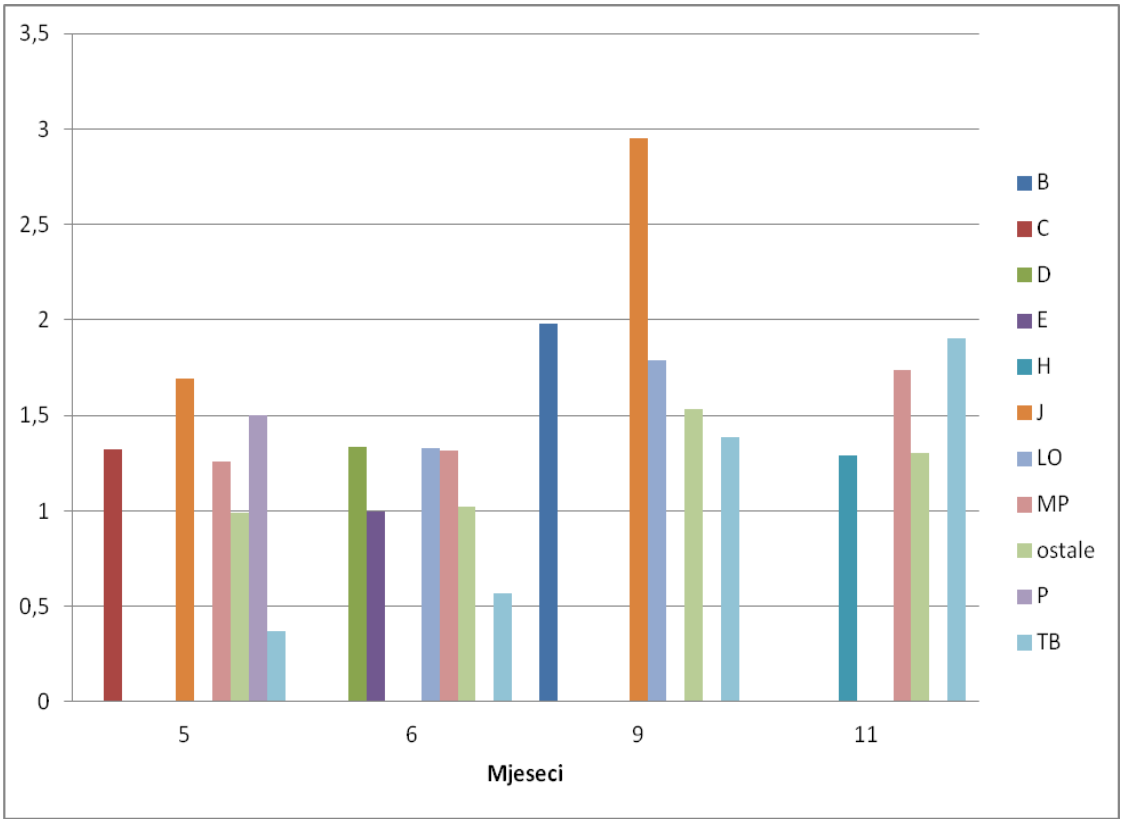


Slika 37. CAP ordinacijski prikaz odnosa fizikalno-kemijskih čimbenika i biomase mrežnog fitoplanktona u akumulacijama rijeke Drave u 2012. i 2013. godini.

3.4.Funkcionalne skupine

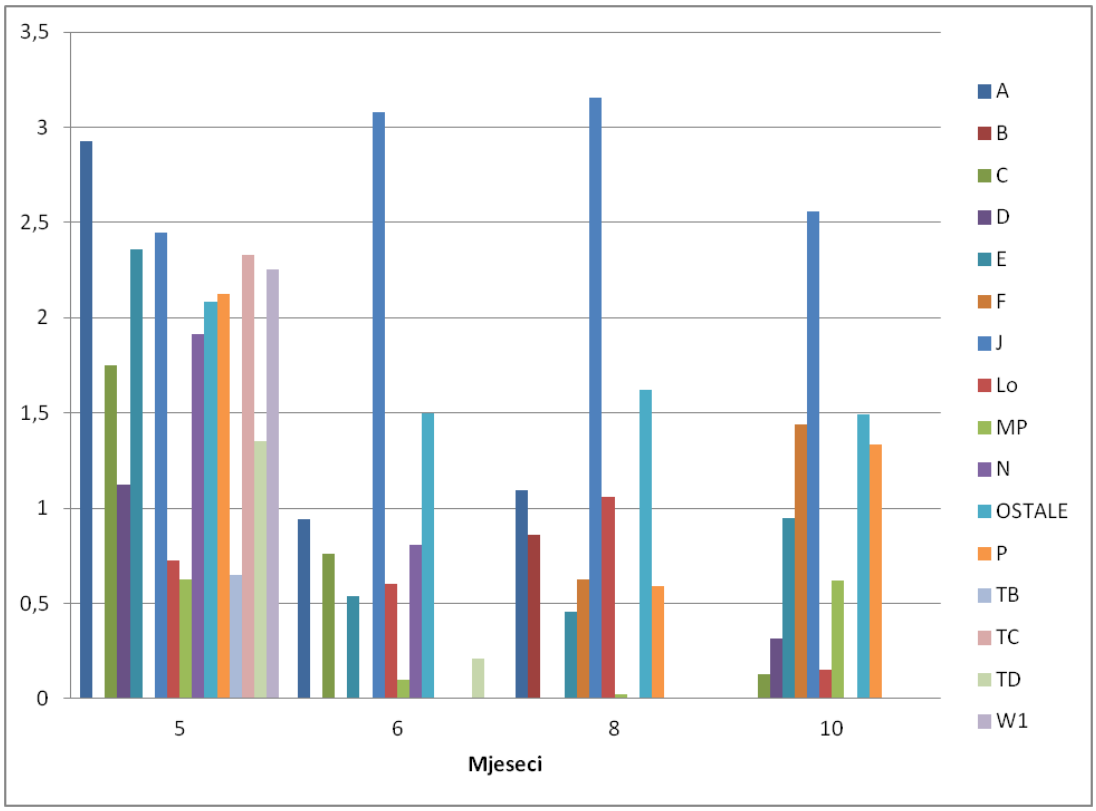
Najdominantnija funkcionalna skupina je MP u koju pripada 50 pronađenih vrsta. Zatim slijedi funkcionalna skupina J (22 pronađene vrste) i funkcionalna skupina D (10 pronađenih vrsta). Zabilježeni su predstavnici i sljedećih funkcionalnih skupina: A, B, C, E, F, G, H1, L_M, L_O, M, N, N_A, P, S1, T, T_B, T_C, T_D, W1, W2, X1, X2 i Y. Ako promotrimo funkcionalne skupine prema njihovim biomasama vidljivo je kako su najveće biomase zabilježene za funkcionalnu skupinu J, a najmanje za funkcionalnu skupinu X1.

Ako promotrimo pojedine mjesece u 2012. godini vidimo kako je prema dominaciji biomase najzastupljenija funkcionalna skupina J u 9. mjesecu (894 mg/L) i u 5. mjesecu (49 mg/L), potom slijedi funkcionalna skupina T_B u 5. mjesecu (0,42 mg/L) i u 6. mjesecu (0,27 mg/L) (Slika 39.).



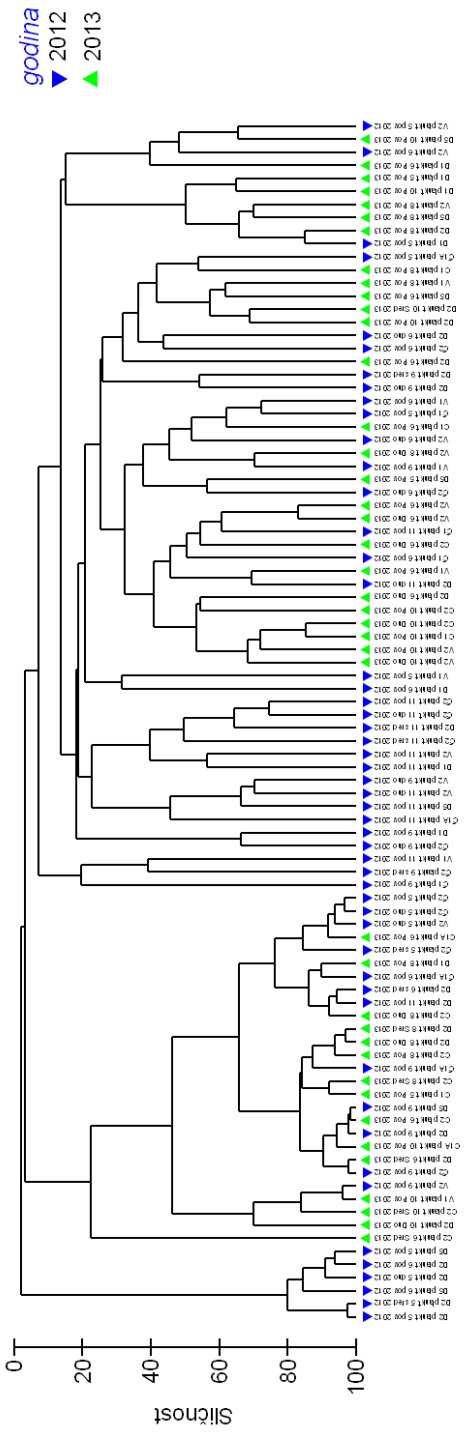
Slika 38. Funkcionalne skupine po mjesecima u 2012. godini

Ako promotrimo pojedine mjesece u 2013. godini vidimo kako je prema dominaciji biomase najzastupljenija funkcionalna skupina J u svim promatranim mjesecima, a maksimalna je u 8. mjesecu kada iznosi 1434 mg/L, potom slijedi funkcionalna skupina L_0 u 8. Mjesecu (11,4 mg/L) i u 5. mjesecu (5,3 mg/L) (Slika 40.).



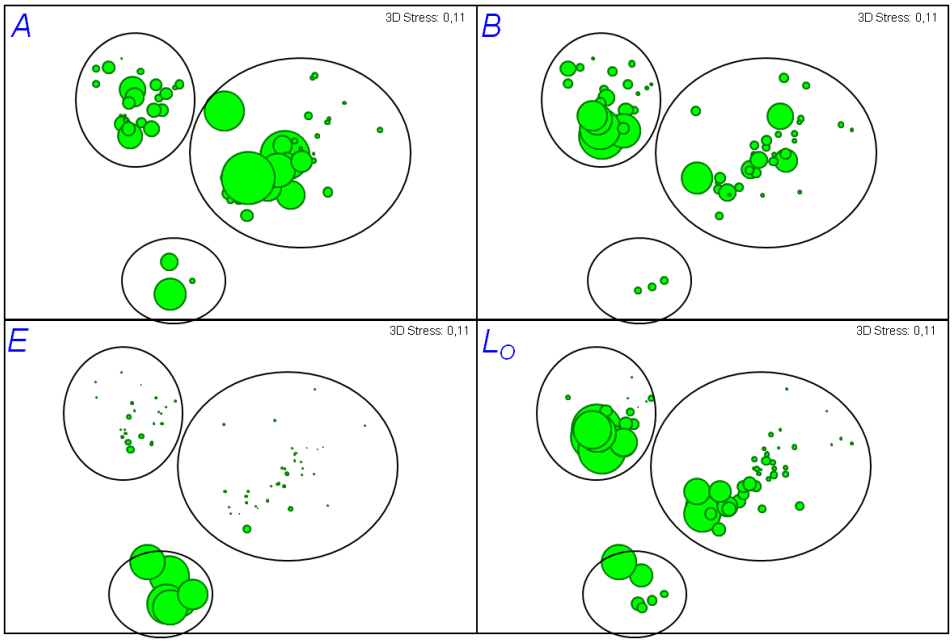
Slika 39. Funkcionalne skupine po mjesecima u 2013. godini

Metoda klasterske analize na osnovi funkcionalnih skupina grupirala je uzorke u tri grupe i dodatne podgrupe ovisno o godini uzorkovanja. U grupi 1 koja je ujedno i najmanja, nalaze se uzorci prikupljeni u 5. i 6. mjesecu 2012. godine na postajama D2 i D5. U grupi 2 koja je nešto veća od grupe jedan nalaze se uzorci prikupljeni na svim promatranim postajama i mjesecima u 2012. i 2013. godini. U grupi 3 koja je ujedno i najveća također se nalaze uzorci sa svih promatranih postaja i mjeseca u 2012. i 2013. godini (Slika 40.).



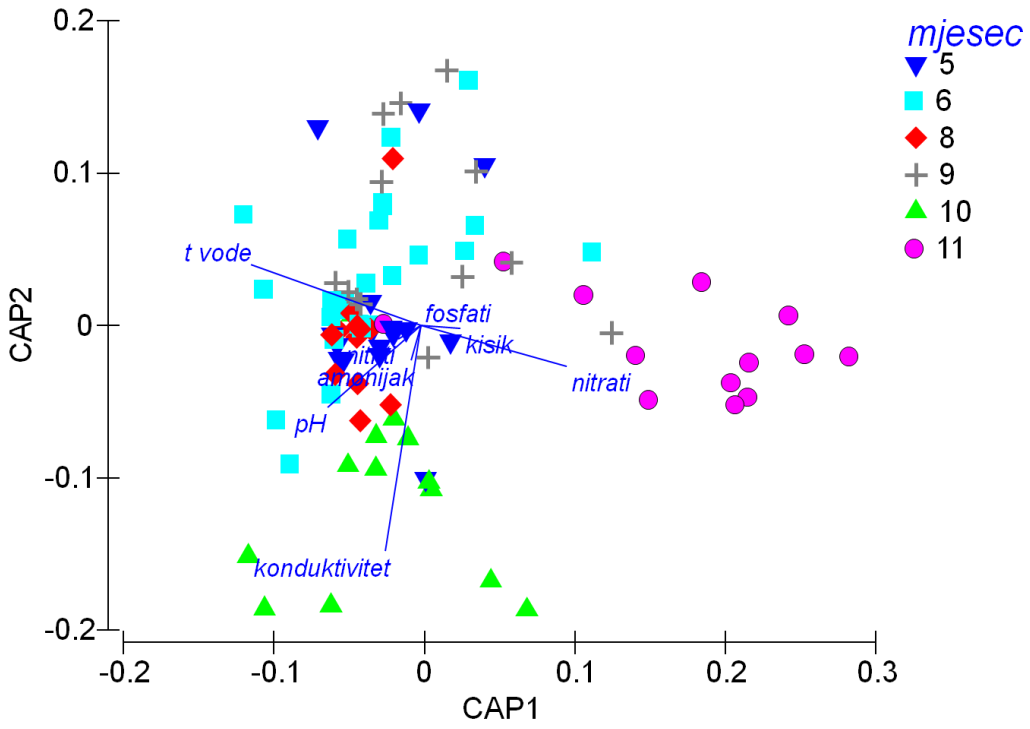
Slika 40. Ordinacijski dijagram klaster analize funkcionalnih grupa u akumulacijama rijeke Drave tijekom 2012./2013. godine

MDS ordinacijski prikaza funkcionalnih skupina također razdjeljuje uzorke u tri grupe te tako potvrđuje metodu klasterske analize. Vidimo kako grupu 1 karakterizira veća biomasa grupe E, grupu 2 veća biomasa vrsta grupe B, dok se treća najveća grupa ne odlikuje nekim posebnim karakteristikama (Slika 41.).



Slika 41. MDS ordinacijski prikaz sastava zajednice na temelju funkcionalnih skupina (promjer kruga prikazuje logaritam funkcionalnih skupina) u akumulacijama rijeke Drave tijekom 2012./2013. godine

Kako bi se u vezu dovela fizikalno-kemijska svojstva vode i funkcionalne skupine, napravljena je i CAP analiza (tr(Q_m'HQ_m)= 1,9909 uz P=0,001 i delta_1^2: 0,68621 i P= 0,00) koja je pokazala da od fizikalno-kemijskih čimbenika najveći utjecaj na funkcionalne skupine imaju redom: temperatura vode, konduktivitet, nitrati, pH, kisik, amonijak i nitriti. S CAP1 koreliraju temperatura vode sa r = -0,681 i nitrati s r = 0,584, sa CAP 2 konduktivitet sa r = -0,890. Isto tako CAP analizom vidimo kako je došlo do sezonske raspodjele po mjesecima što nije vidljivo u klasterskoj analizi, odnosno MDS-u (Slika 42.).



Slika 42. CAP ordinacijski prikaz odnosa fizikalno-kemijskih čimbenika i biomase funkcionalnih skupina mrežnog fitoplanktona u akumulacijama rijeke Drave u 2012. i 2013. godini.

4. RASPRAVA

Proučavanjem mrežnog fitoplanktona rijeke Drave tijekom svibnja, srpnja, kolovoza, rujna, listopada i studenog 2012. i 2013. godine uočen je veliki broj fitoplanktonskih organizama čija je brojnost varirala od mjesta pa do vremena pojavljivanja. Najbrojnija je skupina penatnih algi, Bacillariophyceae. One su glavni predstavnici algi kremenjašica u bentosu te se naširoko koriste za monitoring rijeka (Kelly 2000; Eloranta i Soininen 2002; Prygel 2002; Wu 1999). Dijatomeje odgovaraju brzo na promjene ekoloških varijabli te se uzimaju u obzir prilikom procjene općeg stanja kvalitete vode (Rott i Whitton 1966; Ács i sur. 2004). Potom slijedi skupina zelenih algi, Chlorophyta koje su česti stanovnici morskih, slatkovodnih i kopnenih staništa. Mnogi predstavnici Chlorophyta žive u simbiozi s eukariotima (Leliaert i sur. 2012). Pronalazimo ih i u raznim ekstremnim uvjetima, kao što su niske temperature, duboka mora i rijeke, hidrotermalni otvori itd. (Lewis 2005). I vrste skupine Chlorophyta odgovaraju brzo na promjene ekoloških varijabli te se uzimaju u obzir prilikom procjene općeg stanja kvalitete vode (Tomec i sur. 1995).

Broj vrsta, kao osnovni pokazatelj biocenotičke raznolikosti fitoplanktona varira prostorno i vremenski te je u sastavu HE: Varaždin determinirao 62, Dubrava 66 i Čakovec 73 mikrofitske vrste, ako promatramo 2012. godinu, dok je za 2013. godinu redoslijed isti, ali je pronađeno nešto više mikrofitskih vrsta, pa je tako u sastavu HE: Varaždin determinirao 65, Dubrava 76 i Čakovec 77 mikrofitskih vrsti. Ranija istraživanja mrežnog fitoplanktona na akumulacijama rijeke Drave također pokazuju da na istraživanim profilima dominiraju vrste skupine Bacillariophyceae te da je ukupan broj pronađenih vrsta u 2006. godine znatno manji. Na temelju navedenih podataka primjećuje se lagani porast brojnosti vrsta kroz godine. Mogući uzroci ovih razlika su izbor mjeseci za uzorkovanje koji nije bio jednak svake godine. Tako je 2006. godine istraživanje provedeno u svibnju, srpnju, kolovozu i studenom (Mrakovčić i sur. 2007), u 2012. godini ono je provedeno u svibnju, lipnju, rujnu i listopadu, a 2013. godine u svibnju, lipnju, kolovozu i studenom. Isto tako, mogući uzroci razlika su i to što uzorkovanja nisu izvedena uvijek na istim mjestima. Jednako je tako moguće da je promjena vodostaja rijeke Drave dovela do značajnih razlika u brojnosti vrsta, jer postoje vrste koje su brojne samo u plitkim dijelovima vodostaja ili toka. Primjerice vrsta *Achnanthidium minutissimum*, *Gomphonema truncatum* i

Gomphonema acuminatum zabilježena su kao najbrojnije upravo u plitkim dijelovima (Ács i Buczkó 1994).

Broj stanica po litri nije se poklopio sa vrijednostima izračunate biomase što ukazuje na to da su u nekom trenutku bile dominantne stanice s malom biomasom. Također se može primijetiti kako uzorci fitoplanktona prikupljeni sa sredine imaju najveće vrijednosti biomase, potom slijede uzorci prikupljen sa površine, dok uzorci fitoplanktona prikupljeni u pridnenim dijelovima imaju najmanje vrijednosti biomase. Prema tome, nasuprot eutrofnim jezerima koji sadrže velike koncentracije raspoloživog dušika i fosfora i imaju visoku primarnu produkciju u površinskim slojevima, koja se smanjuje s dubinom, rijeku Dravu možemo svrstati u mezotrofna i oligotrofna jezera koja imaju nižu ukupnu produkciju, ali se ona proteže dublje u stupcu vode zbog veće penetracije svjetla (Bellinger i Sigee 2010). Isto tako je vidljivo kako su vrijednosti biomase bile izrazito veće 2012. godine, za razliku od 2013. bez obzira što je u 2013. godini pronađen ukupno veći broj vrsta što objašnjava da su u 2012. godini pronađene vrste veće biomase za razliku od vrsta pronađenih u 2013. godini.

Sastav fitoplanktonskih zajednica u vodenom ekosustavu teško je predvidjeti ako se u svrhu njegove procjene uzimaju samo taksonomske skupine, a ne i specifični ekološki uvjeti koji uzrokuju njihov razvoj. Zato su suvremena istraživanja fitoplanktona usmjerena na utvrđivanje fitoplanktonskih asocijacija (Reynolds 1997; Reynolds i sur. 2002) prema funkcionalnim kriterijima, odnosno prema utvrđenim karakterističnim morfološkim i ekološkim svojstvima vodenih ekoloških sustava. Fitoplanktonske se vrste u funkcionalne skupine svrstavaju prema sličnim morfološkim, fiziološkim i ekološkim obilježjima, ali i prema sličnim dimenzijama jedinki, stanica ili kolonija (Irish i Reynolds 1997). Tako je proučavanjem mrežnog fitoplanktona rijeke Drave primijećena velika zastupljenost funkcionalne skupine MP (Reynolds i sur. 2002) koju čine predstavnici bentonskih algi otplovljenih u plankton. Navedenu funkcionalnu skupinu karakterizira česta strujanja vode i anorganski zamućena plića voda (Padisak 2009), u kojoj je prisutan i stalan dotok bentonskih vrsta koje se ispiru iz perifitona i bentosa rijeke i dovodnih kanala. Štoviše, u ovu funkcionalnu skupinu spada većina makroplanktonskih organizama, uglavnom su to dijatomeje i autotrofni organizmi koji se mogu slučajno naći u fitoplanktonskim uzorcima

(Padisak 2009). Neke od pronađenih vrsta koje pripadaju navedenoj funkcionalnoj skupini su: *Ulothrix* sp., *Ulothrix zonata, Bangia* sp., *Diatoma vulgare* var. *breve* i mnoge druge. Sljedeća po zastupljenosti je funkcionalna skupina J koja je karakterstična za plićе, obogaćene vode (Reynolds i sur. 2002). Neke od pronađenih vrsta koje pripadaju navedenoj funkcionalnoj skupini su: *Pediastrum duplex, Scenedesmus quadricauda, Pediastrum boryanum, Pediastrum simplex, Coelastrum sphericum* i mnoge druge. Funkcionalna skupina D je karakteristična za plitke, muljevite vode, bogate hranjivim tvarima (Reynolds i sur. 2002). Vrste koje pripadaju ovoj skupinu su uglavnom malog volumena ($\leq 10^3$ μm^3), jednostanični organizmi koji brzu rastu, kao npr.: *Synedra ulna, Synedra acus, Nitzschia* sp., *Nitzschia kuetzenzigii, Nitzschia acicularis* i mnoge druge (Reynolds i sur. 2002).

Biološke karakteristike navedenih dominantnih vrsta ovog istraživanja pokazuju da su to pretežito bazofilne vrste, pojavljuju se u uvjetima pH većima od 7. Vrste rodova *Navicula, Nitzschia, Gomphonema* i *Melosira*, tipične su vrste otporne na organska onečišćenja, visoke koncentracije nutrijenata hranjivih tvari i fosfora te se često spominju kao vrste koje obitavaju u uvjetima izuzetno bogatim organskim tvarima i ukazuju na pogoršane uvjete kvalitetu vode (Kelly 2000; Kelly i Whitton 1995).

Prema rezultatima mjerenja fizikalno-kemijskih parametara dobivenih tijekom istraživanja u 2012. i u 2013. godini uspoređene su vrijednosti koncentracija kisika, amonijaka, nitrita, nitrata te pH-vrijednosti i temperature vode po godinama i po postajama uzorkovanja. Prema prosječnoj pH-vrijednosti vode koja iznosi oko 8,28 kroz cijeli period i na svim postajama možemo ju definirati kao blago lužnatu, a prema "Uredbi o klasifikaciji voda" (N.N.br.77/98) svrstati u oligotrofnu ($6,5 < pH < 8,5$), ali obzirom na maksimalnu vrijednost (8,45) uočenu 2013. godine na granici mezotrofne. S druge strane, raspon vrijednosti koncentracije kisika je u svim promatranim mjesecima tijekom 2012. i 2013. godine veći od 7 mg/L te na temelju toga vodu akumulacija rijeke Drave svrstavamo u I kategoriju vrsta vode gdje je koncentracije kisika stalno blizu zasićenosti. Vrijednost otopljenog kisika koje su veće od 7 mg/L pogoduju razvoju životnih zajednica u vodi. Koncentracije kisika bilježe veće vrijednosti u 2012. godini što objašnjava povećanje broja jedinki pojedinih vrsta koje kao primarni producenti proizvode značajne količine kisika.

Isto tako udio otopljenog kisika u vodi i njime uvjetovano zasićenje vode kisikom ovise i o temperaturi vode. Kisik je bolje topljiv pri nižim u odnosu na više temperature što je i vidljivo iz rezultata (2013. godina bilježi više temperature za razliku od 2012. godine).

Za razvoj fitoplanktona od posebnog je značaja količina hranjivih tvari, prvenstveno dušika i fosfora. Fitoplanktonski organizmi hranjive tvari primaju difuzijom. Glavni izvor dušika u vodi su nitriti, nitrati, amonijevi ioni i otopljeni organski spojevi, ali pojedine modrozelene alge koje sadrže specijalizirane stanice heterocite koje mogu fiksirati atmosferski dušik. Dušik može biti limitirajući faktor u razvoju fitoplanktona u jezerima koja imaju visoku koncentraciju fosfora ili u uvjetima pri kojima dolazi do naglog smanjenja njegove koncentracije, posebno ljeti (Reynolds 1984). Koncentracija amonijaka, nitrata i nitrita ne bilježe velike promjene kroz mjesece, uglavnom su one konstantne. Najviše vrijednosti koncentracije amonijaka zabilježene su u 8. mjesecu 2013. godine kada je njegova koncentracija u jednom periodu narasla do 0,10 mgL^{-1}, u tom je periodu maksimalna brojnost vrste *Peridinium* sp.. Koncentracija nitrata u porastu je u jesenskim mjesecima 2012. i 2013. kada je njegova koncentracija u jednom periodu iznosila 1,3 mgL^{-1}. U tom periodu maksimalna brojnost vrste je *Anabaena* sp. Vrsta *Anabena* sp. pripada u skupinu modrozelenih algi ili Cyanobacteria koja za razliku od zelenih algi i dijatomeja preferiraju visoki omjer N:P = > 16 (puno dušika, a malo fosfora) jer se njihov rast, kao i rast biljaka, usporava (ili zaustavi) kod niske koncentracije dušikovih spojeva u vodi, pa su tako analogno tome vrste skupina Bacillariophyceae i Chlorophyta pronađene u uvjetima niskih koncentracija nitrata. Koncentracija nitrita u porastu je 5. mjesecu 2013. godine gdje je u jednom periodu njegova koncentracija iznosila 0,13 mgL^{-1} u tom periodu najbrojnija je vrsta *Synedra ulna.*

Maksimalna električna vodljivost zabilježena je u 10. mjesecu 2013. godine kada je zabilježena maksimalna brojnost vrste *Asterionella formosa.* Te iste godine minimalne vrijednosti električne vodljivosti zabilježene su u 5. mjesecu. Električna vodljivost vode je sposobnost vode da provodi električnu energiju. Ta sposobnost ovisi o prisutnosti iona, o njihovoj ukupnoj koncentraciji, o pokretljivosti i valenciji iona i o temperaturi mjerenja. Otopine većine anorganskih spojeva relativno su dobri vodiči. Nasuprot tome molekule organskih spojeva, koje se ne razlažu u vodenoj otopini, električnu struju provode vrlo

slabo (ako je uopće provode). Izmjerenom vrijednošću električne vodljivosti možemo procijeniti stupanj mineralizacije vode i tako ocijeniti o kojoj je vrsti vode riječ.

Sveukupno gledajući, praćenje rijeke Drave kroz period istraživanja ukazuje kako se 2012. i 2013. godina razlikuju kako u broju jedinki tako i u fizikalno–kemijskim parametrima. Srednje vrijednosti biomase kao i broj stanica po litri izrazito su više 2012. godine nego 2013. godine. Vrsta *Ochromonas ostreaeformis* čije su stanice u obliku diska veličine 25 – 50 * 25 - 50 μm (John i sur. 2002), svojom veličinom i oblikom, a samim time i biovolumenom izrazito je pridonijela biomasi kao i vrsta *Peridinium aciculiferium* čije su pak stanice četvrtastog oblika, dorzoventralno spljoštene, širine 29 – 42 μm i dužine 35 – 51 μm (John i sur. 2002). Navedene vrsta pronađene su tijekom istraživanja u 2012. godini, dok 2013. godine nisu pronađena. Zatim, vrste roda *Pediasutrum* i to *Pediastrum simplex, Pediastrum boryanum* također svojom veličinom i oblikom pridonose biomasi. Vrste su pronađene u obje istraživane godine. Vrste koje su svojom veličinom i biovolumenom najmanje pridonijeli biomasi su *Monoraphidium* sp. čije su stanice uskog vretenastog oblika širine 1 – 3 μm i dužine 18 – 60 μm (John i sur. 2002) i *Scenedesmus quadricauda* čije su stanice izduženog cilindričnog oblika širine 3,5 – 6,6 μm i dužine 9 – 17 μm (John i sur. 2002). Vrste su većinom pronađene tijekom istraživanja u 2013. godini, samo je mali broj navedenih vrsta pronađen u 2012. godini. Osim veličine stanica i biovolumena na biomasu utječe i ukupan broj stanica po litri koji je najveći za vrste *Dinobryon divergens* i *Anabaena* sp., međutim, navedene vrste se ne odlikuju veličinom i oblikom, pa samim time ni biovolumenom, stoga izrazito ne doprinose biomasi.

Glavni problem istraživanja mrežnog fitoplanktonom je što je on selekcionirana frakcija pa su tako stanice manje od 25 μm prošle kroz mrežicu te zbog toga nemamo podataka o stvarnoj ukupnoj biomasi. Kako 2013. godina bilježi male vrijednosti biomase, moguće je da su one stanice koje su zbog svoje veličine prošle kroz mrežicu upravo te godine bile dominantna frakcija.

5. ZAKLJUČAK

Korištenje fitoplanktonskih uzoraka je učinkovito sredstvo za praćenje promjena vodenih staništa hidroenergetskih sustava rijeke Drave.

Najveći broj vrsta pripada funkcionalnim skupinama MP, J i D te skupinama Bacillariophyceae i Chlorophyta.

Na svim su istraživanim profilima brojem vrsta, abundancijom i biomasom dominirale Bacillariophyceae.

Broj vrsta fitoplanktona bio je veći 2013. godine dok su abundancija i biomasa bile veće 2012. godine.

Gotovo sve vrijednosti praćenih fizikalno-kemijskih parametara bile su veće u 2013. nego u 2012. godini.

Značajan utjecaj na biomasu fitoplanktonksih stanica od praćenih ekoloških čimbenika imaju konduktivitet, temperatura vode i koncentracija nitrata.

Na biomase funkcionalnih skupina mrežnog fitoplanktona od praćenih ekoloških čimbenika značajan utjecaj imaju temperature vode, konduktivitet, nitrati i pH-vrijednost.

Biomasa fitoplanktona je veća u površinskim slojevima, a smanjuje se s dubinom i to prvenstveno zbog apsorpcije svjetlosti unutar vodenog stupca i koncentracije raspoloživog dušika i fosfora.

Ako usporedimo sastav, abundanciju i biomasu fitoplanktona 2012. i 2013. godine u pojedinoj akumulaciji najveće vrijednosti bilježe postaje HE Dubrava, a potom i HE Čakovec, dok su minimalne vrijednosti uglavnom zabilježene na postajama HE Varaždin.

6. LITERATURA

ÁCS, É., SZABÓ, K., TÓTH, B. & KISS, K. T. (2004): Investigation of benthic algal communities, especially diatoms of some Hungarian streams in connection with reference conditions of the Water Eramework Directives - Acta Bot. Hung, 46, (3), str. 225-278.

BELLINGER, E. G., SIGGE, D. C. (2010): Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators. Whiley, str. 1-4, 41-44, 56-66.

BELLINGER, E. G. (1992): A Key to Common Algae, 4th edn. London, The Institution of Water and Environmental, Management, str. 138.

BRAUN-BLANQUET, J. (1964): Pflanzensociologie. Springer, Wien.

ELORANTA, P. & SOININEN, J. (2002): Ecological status of some Finnish rivers evaluated using benthic diatom communities. J. Appl. Phycol., 14, str. 1-7.

GRLICA, I. (2008): Studija biološke raznolikosti rijeke Drave – Dravske mrtvice i odvojeni rukavci II dio. Prirodoslovno društvo „Drava“, II dio, str. 79.

HASLE, G. R. (1978a): Using the inverted microscope. In Sournia, A. (ed.), Phytoplankton manual. UNESCO, Paris, str. 191–196.

HUTCHINSON, G. E. (1967): A Treatise on Limnology. Volume II: Introduction to Lake Biology and the Limnoplankton. Wiley, New York.

JOHN, D. M., WHITTON B. A., BROOK, A. J. (2002.): The Freshwater Algal Flora of the British Isles. The University of Chicago Press, str. 201, 232, 368, 397.

KELLY, M. G. (2000): Identification of common benthic diatoms in rivers. Field Studies Council (Shrewsbury, Gran Bretana) Diatoms, str. 583-700.

KELLY, M. G. & WKITTON, B. A. (1995): The Trophic Diatom Index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. Journal of Applied Phycology 7/4, str. 433-444.

LELIAERT, F., VERBRUGGEN, H., ZECHMAN, F. W. (2011): Into the deep: New discoveries at the base of the green plant phylogeny. Bioessays, 33, (9), str. 683–692

LEWIS, L., LEWIS, P. (2005): Unearthing the Molecular Phylodiversity of Desert Soil Green Algae (Chlorophyta). Syst Biol., 54, (6), str. 936–947

MILLIE, D.F., PAERL, H. W., HURLEY, J. P. (1993): Microalgal Pigment Assessments Using High-performance Liquid Chromatography: A Synopsis of Organismal and Ecological Applications. Can. J. Fish. Aguat. Sci., VO1. 50, str. 2513-2527

MRAKOVČIĆ, M., KEROVEC, M.,MIŠETIĆ, S., PLENKOVIĆ-MORAJ, A., MIHALJEVIĆ, Z., MUSTAFIĆ, P., TERNJEJ, I., ZANELLA, D., ĆALETA, M., RADIĆ, I., GLIGORA, M. (2007): Fizikalno-kemijske, biološke i ihtiološke značajke nadzemnih voda hidroenergetskog sustava HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava u 2006. godini. Studija Biološkog odsjeka Prirodoslovnog- matematičkog fakulteta Zagreb, str. 2-7; 20-21.

NARODNE NOVINE (1998) Uredba o klasifikaciji voda, Zagreb: Narodne novine d.d., broj 77/98

PADISAK, J., CROSSETI, L. O., NASELLI-FLORES, L. (2009): Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. Hydrobiologia 621, str. 1-19.

PLENKOVIĆ-MORAJ A., KRALJ BOROJEVIĆ K., GLIGORA UDOVIČ M., ŽUTINIĆ P. (2014): Fitoplankton i Fitobentos, u Mihaljević i sur.: Testiranje bioloških metoda ocjene ekološkog stanja u jezerima dinaridske ekoregije. Studija Biološkog odsjeka Prirodoslovnog-matematičkog fakulteta Zagreb, str. 228

PRYGEL, J (2002): Management of the diatom moniroting netwoeks in France. J. Appl. Phycol. 14, str. 19-26.

REYNOLDS, C. S. (1980): Phytoplankton assemblages and their periodicity in stratifying lake systems, Holarctic Ecology 3, str. 141-159.

REYNOLDS, C. S. (1997): Vegetation processes in the Pelagic: a Model for Ecosystem Theories. ECI. Oldendorf, str. 371.

REYNOLDS, C. S., IRISH, A. E. (1997): Modeling phytoplankton dynamics in lakes and reservoirs: the problem of in-situ growth rates. Hydrobiologia, str. 5-17.

REYNOLDS, C. S., HUSZAR, V., KRUK, C., NASELLI-FLORES, L., MELO, S. (2002): Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. J. Plankton Res., 24, (5), str. 417-428

SIGEE, D. C. (1983.): Some observations on the structure, cation content and possible evolutionary status of dinoflagellate chromosomes. Botanical Journal of the Linnean Society, 88, (1-2), str. 127-147.

STILINOVIĆ, B., PLENKOVIĆ-MORAJ, A. (1995): Bacterial and phytoplanktonic research of Ponikve artificial lake on the island of Krk. Periodicum Biologorum 97, str. 351–358.

TOMEC, M., HACMANJEK, M., TESKEREDŽIĆ, Z., TESKEREDŽIĆ, E., ČOŽ-RAKOVAC, R. (1995): Kvaliteta vode i bolesti. Ribarstvo, 53, (4), str. 135.

TUXEN, R. (1955): Das Systeme der nordwestdeutschen Pflanzengesellschaft. Mitt. Florist-soziol. Arbeitsgemeinsch. 5, str. 1-119.

UTERMOHL, H. (1958): Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitteilungen der internationale Vereiningung für theoretische und angewande. Internationale Vereiningung f. Theoretische u. Angewandte Limnologie 9, str. 1-38.

VENRICK, E. L., (1978): How many cells to count? In Sournia, A. (ed.), Phytoplankton manual. UNESCO. Paris, str. 167–180.

WHITTON, B.A. & ROTT, E. (1996): Use of algae for monitoring rivers II: 196pp.-Proc. 2nd Europ. Workshop. Innsbruck 1995.

WU, J. T. (1999): A generic index of diatom assemblages as bioindicator of pollution in the Keelung River of Taiwan. Hydrobiologia 397, str. 79-87.

Internetski izvori:

http://www.earth.google.com

http://www. narodne-novine.nn.h

www.algaebase.org