Struktura fitoplanktona u Kopačkom jezeru u ljetnom i zimskom razdoblju

Kovačević, Kristina

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:181:504728

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

ODJEL ZA BIOLOGIJU
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Repository / Repozitorij:

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

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA BIOLOGIJU

Diplomski sveučilišni studij Zaštita prirode i okoliša

Kristina Kovačević

STRUKTURA FITOPLANKTONA U KOPAČKOM JEZERU U LJETNOM I ZIMSKOM RAZDOBLJU

Diplomski rad

OSIJEK, 2017.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku **Diplomski rad**
Odjel za biologiju
Diplomski sveučilišni studij: Zaštita prirode i okoliša
Znanstveno područje: Prirodne znanosti
Znanstveno polje: Biologija

STRUKTURA FITOPLANKTONA U KOPAČKOM JEZERU U LJETNOM I ZIMSKOM RAZDOBLJU

Kristina Kovačević

Rad je izrađen: Odjel za biologiju, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Mentor: Doc. dr. sc. Filip Stević

Istraživanje je provedeno u svrhu utvrđivanja strukture fitoplanktonskih zajednica u poplavnom području tijekom ljetnog i zimskog razdoblja u 2013. i 2014. godini. Na temelju statističke obrade podataka, prema fizikalno-kemijskim čimbenicima i funkcionalnim skupinama fitoplanktona, jasno je vidljiva podjela uzoraka u dvije osnovne grupe. Prva grupa je zimsko razdoblje koje karakteriziraju stabilni hidrološki uvjeti i visoke koncentracije hranjivih tvari. Takvi uvjeti omogućili su razvoj C, D i X1 (X3 u 2013. i J i TB u 2014. godini) funkcionalnih skupina fitoplanktona. Druga grupa je podijeljena na dvije podgrupe: kasno proljetno razdoblje koje karakterizira visok vodostaj rijeke Dunav i plavljenje poplavnog područja, a dominantne skupine su bile J, Y i X1 (uz prisutnost C i D skupina) i ljetno razdoblje koje karakteriziraju stabilni hidrološki uvjeti i niža koncentracija hranjivih tvari. Takvi uvjeti pogodovali su razvoju H1, S1, J i X1 funkcionalnih skupina. Istraživanja zimske fitoplanktonske zajednice u plitkim jezerima su iznimno značajna jer je struktura zimske zajednice važna za razumijevanje sezonskih i godišnjih promjena u plitkim jezerima.

Ključne riječi: fitoplankton, Kopačko jezero, Hordovanj, ljetno razdoblje, zimsko razdoblje, funkcionalne skupine fitoplanktona
Broj stranica: 45
Broj slika: 24
Broj tablica: 1
Broj literaturnih navoda: 65
Jezik izvornika: Hrvatski
Datum obrane:
Stručno povjerenstvo za obranu:
1. Doc. dr. sc. Tanja Žuna Pfeiffer
2. Doc. dr. sc. Filip Stević
3. Doc. dr. sc. Dubravka Čerba
4. Doc. dr. sc. Dubravka Špoljarić Maronić
Rad je pohranjen u:
u knjižnici Odjela za biologiju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek **MS thesis**

Department of Biology

Graduate university study programme in Nature and Environmental Protection

Scientific Area: Natural science

Scientific Field: Biology

STRUCTURE OF PHYTOPLANKTON IN KOPAČKO LAKE IN SUMMER AND WINTER PERIODS

Kristina Kovačević

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

Supervisor: Filip Stević, PhD, Assistant Professor

The study was conducted to determine the structure of phytoplankton communities in the main area during the summer and winter periods in 2013 and 2014. Based on statistical data processing, according to physico-chemical factors and functional groups of phytoplankton, it is clearly visible the division of samples into two basic groups. The first group is a winter period characterized by stable hydrological conditions and high concentrations of nutrients. Such conditions enabled the development of C, D and X1 (X3 in 2013 and J and TB in 2014) of functional phytoplankton groups. The second group is divided into two subgroups: the late spring period characterized by high water level of the Danube River and flooding of the floodplain and the dominant groups were J, Y and X1 (with the presence of C and D groups) and the summer period characterized by stable hydrological conditions and lower concentration of nutrients. Such conditions favored the development of H1, S1, J and X1 functional groups. Studies of the winter phytoplankton community in shallow lakes are extremely significant because the structure of the winter community is important for understanding seasonal and annual changes in shallow lakes.

Key words: phytoplankton, Kopačko lake, Hordovanj lake, summer periods, winter periods, funkcional groups

Number of pages: 45

Number of figures: 24

Number of tables: 1

Number of references: 65

Original in: Croatian

Date of the thesis defence:

Reviewers:

1. Doc. dr. sc. Tanja Žuna Pfeiffer

2. Doc. dr. sc. Filip Stević

3. Doc. dr. sc. Dubravka Čerba

4. Doc. dr. sc. Dubravka Špoljarić Maronić

Thesis deposited in:

Library of Department of Biology, J.J. Strossmayer University of Osijek.

Ovim putem se zahvaljujem svom mentoru doc.dr.sc. Filipu Steviću na prenesenom znanju i velikoj pomoći pri izradi ovog diplomskog rada.

Hvala doc.dr.sc. Dubravki Špoljarić-Maronić, doc.dr.sc. Tanji Žuni-Pfeiffer i prof. Vandi Cvijanović na pomoći pri determinaciji fitoplanktonskih vrsta.

Hvala doc.dr.sc. Dubravki Čerba koja mi je ustupila uzorke u sklopu svog projekta.

Veliko hvala mojoj kumi i prijateljici Nikolini Bek koja je bila uz mene tijekom cijelog fakultetskog putovanja, a naročito u danima izrade diplomskog rada.

Hvala svim prijateljima koji su bili tu i s kojima sam provela najbolje dane.

Ali najviše se zahvaljujem svojim roditeljima, sestrama, mužu i sinu jer su bezuvjetno bili uz mene i pružali mi svu podršku i razumijevanje.

SADRŽAJ

1. UVOD……1

1.1. Ekološke značajke plitkih jezera i poplavnih područja……..…1

1.2. Opće značajke fitoplanktona…….2

1.3. Cilj istraživanja…….5

2. MATERIJALI I METODE……..…6

2.1. Područje istraživanja…….……6

2.2. Prikupljanje uzoraka…….8

2.3. Određivanje fizikalno-kemijskih svojstava vode……..…8

2.4. Analiza fitoplanktona……9

2.5. Statistička obrada podataka……...9

3. REZULTATI……...10

3.1. Fizikalno-kemijska svojstva vode……...10

3.2. Struktura i dinamika fitoplanktonskih zajednica…….19

3.3. Statistička obrada podataka…….32

4. RASPRAVA…….35

5. ZAKLJUČAK……..….39

6. LITERATURA……40

1. **UVOD**

1.1. Ekološke značajke plitkih jezera i poplavnih područja

Karakteristika plitkih jezera je da često nisu dublja od 3 m s površinom od otprilike 1 ha do 10000 ha te su polimiktična (Schefer, 1998). Svjetlost i temperatura su najvažniji fizikalni čimbenici u plitkim jezerima. Svjetlost utječe na fotosintetsku aktivnost fitoplanktona, a temperatura vode utječe na rasprostranjenost i razvoj fitoplanktona. Zbog svoje male dubine, plitka jezera uglavnom nisu stratificirana kao što su duboka jezera gdje dolazi do stratificaranja jezera na temelju temperature (epilimnion, metalimnion, hipolimnion) i svjetlosti (eufotički i afotički sloj). Intenzivna interakcija sedimenta i vode i potencijalno veliki utjecaj vodenog bilja dovodi do toga da je funkcioniranje plitkog jezera bitno drugačije od dubokog vodenog tijela. Odlika većine plitkih jezera je bistra voda i bogata vodena vegetacija, no količina hranjivih tvari često može promijeniti tu sliku. Plitka jezera vrlo brzo mogu prijeći iz stanja „bistre vode“ (eng. „*clear water state*“) i ujednačene količine hranjivih tvari doći do stanja „mutne vode“ (eng. „*turbid water state*“) vrlo bogate hranjivim tvarima, ali i obrnuto (Kong i sur., 2017). Prijelaz iz stanja „mutne vode“ bogate hranjivim tvarima u stanje „bistre vode“ vrlo je zahtjevan postupak. Redukcija hranjivih tvari ima malo učinka jer se tijekom perioda eutrofikacije fosfor taloži u sedimentu. Kada se koncentracija hranjivih tvari u vodenom stupcu smanji fosfor se otpusti iz sedimenta (Hein i sur., 2003) te postaje limitirajući faktor za fitoplankton. Fitoplankton dominira u plitkim jezerima koja su u stanju „mutne vode“ i osjetljiv je na unutarnje fluktuacije vode i određene vremenske uvjete koji utječu na gustoću i distribuciju fitoplanktona (Cony i sur., 2017). Isto tako važnu ulogu u obnavljanju stanja „mutne vode“ jezera ima i vodena vegetacija koja svojom odsutnošću drastično mijenja sliku plitkog jezera. Isušivanje za poljoprivredne potrebe smanjila je brojnost plitkih jezera diljem planete, dok je eutrofikacija promijenila prirodu mnogih plitkih jezera i poplavnih područja oko njih.

Poplavna, vlažna i močvarna područja predstavljaju jedna od najproduktivnijih ekoloških sustava na Zemlji. Pojam močvara se često koristi kao sinonim za plitka jezera i vlažna područja oko njih. Do 1960. godine 80% svih prvobitnih poplavnih područja rijeke Dunava i njezinih pritoka bilo je isušeno. Krajem '60-tih znanstvena istraživanja dovode do spoznaje da vlažna i poplavna područja obavljaju vrlo značajne ekološke i hidrološke funkcije (Mihaljević i sur., 2013). Tijekom porasta vodostaja u rijekama dolazi do izlijevanja vode iz korita. Ako se pored rijeke nalazi poplavno područje ono će biti poplavljeno tj. putem retencijskog kapaciteta doći će do usporavanja vodenog vala i sprječavanja poplava izvan poplavnog područja. Poznato

je da poplave imaju značajnu ulogu u razvoju i distribuciji fitoplanktona te su idealna područja za istraživanja zbog brze dinamike fitoplanktona i hranjivih tvari u vodenom stupcu koja dolaze uslijed poplave (Roozen i sur., 2008).

Junk i sur. (1989) bavili su se ovom problematikom i opisali tzv. „koncept poplavnog područja" (eng. *flood pulse concept*). Prema ovom konceptu rijeke i njihova poplavna područja su integrirane komponente jednog dinamičkog sustava koje su međusobno povezane djelovanjem hidroloških i ekoloških procesa. Vrijeme, trajanje i intenzitet poplave nije moguće predvidjeti, a na nju djeluje niz čimbenika. Kada voda dođe u poplavno područje ona mijenja uvjete života, a samim time i strukturu zajednice koja se nalazi na tom području (Mihaljević i sur., 2014). Nakon povlačenja vode ona za sobom ostavlja niz staništa koja su bogata hranjivim tvarima. Poplava na ovaj potpomaže biološku raznolikost i distribuciju fitoplanktona unutar poplavnog područja (Junk i sur., 1989).

Raznolikost i brojnost fitoplanktonske zajednice unutar poplavnog područja uvelike ovisi o razini vodenog stupca. Visoki vodostaji dovode do povećanja biološke raznolikosti fitoplanktonskih vrsta (Mihaljević i sur., 2009). Ukoliko dolazi do izolacije poplavnog područja od matične rijeke više ne dolazi do plavljenja područja te se trofičko stanje izoliranog područja uglavnom povećava. Povećanjem trofičkog stanja izoliranog područja može doći do smanjenja biološke raznolikosti fitoplanktonskih vrsta (Reynolds, 2006).

1.2.Opće značajke fitoplanktona

Fitoplankton je slobodno lebdeći, fotosintetski, vodeni organizam koji se kreće pomoću svojih lokomotornih organa (flagela) ili pasivno vođen vodenom strujom. Riječ fitoplankton dolazi od grčkih riječi *phyton* što znači biljka i *planktos* što znači „lutalica". Termin plankton prvi put koristi njemački biolog Victor Hensen 1887. godine i objašnjava ga kao „ lebdeću organsku česticu koja slobodno lebdi u vodenom stupcu neovisnu o obali ili dnu" (Ruttner, 1953; Hutchinson, 1967).

Fitoplankton je najznačajniji primarni producent u vodenim ekosustavima jer procesom fotosinteze pretvara kemijsku energiju u svjetlosnu te stvara kisik i organske spojeve koji su potrebni za rast i razvoj vodenih organizama. Fitoplanktonska zajednica u jezerima čini više od 60% ukupne primarne produkcije te je pokazatelj trofičkog stanja nekog vodenog ekosustava. Osim što je pokazatelj trofičkog stanja nekog vodenog ekosustava fitoplankton čini temelj

trofičke piramide vodenih ekosustava. Zbog velikog značaja fitoplanktona u smislu primarne produkcije i trofičkog stanja nekog vodenog ekosustava, postoje mnoga istraživanja tih organizama. Nedosljednost u taksonomiji i nomenklaturi, ali i brojna svakodnevna istraživanja, utječu na česte promjene u taksonomskoj kategorizaciji fitoplanktona (Krienitz, 2009). Prema veličini fitoplankton se dijeli na: mikroplankton čije su stanice veće od 20 µm, nanoplankton čije su stanice veličine između 2 i 20 µm te pikoplankton čije su stanice veličine između 0,2 i 2 µm (Sieburth i sur., 1978).

Promjene brojnosti i raznolikosti fitoplanktonske zajednice ovisno o abiotičkim i bitičkim čimbenicima nazivaju se sezonske sukcesije fitoplanktona. Temperatura vode, dostupna svjetlost i količina hranjivih tvari u vodi, te ukupna koncentracija dušika i fosfora (Reynolds, 2006) abiotički su čimbenici koji utječu na sezonske sukcesije. Glavni izvor dušika u vodi su nitriti, nitrati, amonijevi ioni i otopljeni organski spojevi. Dušik može biti limitirajući faktor u vodama s visokom koncentracijom fosfora ili vodama gdje dolazi do njegovog naglog smanjenja (Reynolds i sur., 1984). Fosfor u vodi dolazi u obliku ortofosfata, kao suspendirani anorganski fosfor i kao dio organskih spojeva.

Odnos između populacija je jedan on najznačajnijih biotičkih čimbenika koji utječe na strukturu fitoplanktonske zajednice. Fitoplankton i zooplankton stvaraju vrlo složen odnos u kojem struktura fitoplanktona ovisi o hranidbenom pritisku (eng. *grazing process*). Lekowicz i sur. (1981) te Gliwicz (1990) utvrdili su da je sukcesijski slijed fitoplanktona rezultat djelovanja abiotičkih i biotičkih čimbenika vodenog ekosustava. PEG- model (*Plankton Ecology Group*) sezonskih sukcesija planktonskih zajednica (Sommer i sur., 1989) potvrđuje dotadašnja istraživanja fitoplanktonskih zajednica. Prema PEG-modelu završetkom zimskog razdoblja dolazi do rasta i razvoja fitoplanktona zbog povećanog dotoka hranjivih tvari i količine svjetlosti. Prilikom dominacije herbivornog zooplanktona dolazi do opadanja populacije algi malih dimenzija („grazing“). Kada herbivorni zooplankton prekorači reprodukciju i brojnost fitoplanktona dolazi do naglog smanjenja biomase fitoplanktona. Tijekom proljeća dolazi do naglog pada biomase fitoplanktona i ta faza se naziva „faza čiste vode“. Tijekom ljetnog razdoblja zbog nedostatka hrane dolazi do povećane aktivnosti riba i smanjenja populacije zooplanktona. U jesen dolazi do smanjena temperature vode i manje količine svjetlosti što dovodi do smanjenja biomase fitoplanktona i do zimskog minimuma tijekom kojeg dolazi do recikliranja hranjivih tvari i njihove akumulacije.

Istraživanje provedeno na šest različitih jezera pokazuje kako se zajednica fitoplanktona u zimskom razdoblju razlikuje od zajednice u ljetnom razdoblju (Dokulil i sur., 2014). Alge manjih dimenzija (< 100 μm^3) dominirale su u svim istraživanim jezerima. 1993. i 1994. godine istraživanja starog korita rijeke Dunav u zimskom razdoblju utvrdila su dominaciju invazivne fitoplanktonske vrste *Cylindrospermopsis raciborskii.* No nakon obnavljanja vode 1995. godine, kvaliteta vode se promijenila i apsolutnu dominaciju preuzimaju dijatomeje s blagim primjesom fitoplanktona iz skupine Cryptophyta. U jezeru Balaton tijekom zime dominirao je pikoplankton čija biomasa nerijetko zauzima više od pola ukupne biomase fitoplanktona u jezeru (Vörös i sur., 2009). Zimska zajednica jezera bila je karakterizirana vrstama iz rodova Cryptomonas, Rhodomonas, Chrysochromulina te drugim malim kokalnim zelenim algama. Mihaljević i sur. (2015) objavljuju rad u kojem prikazuju da su dijatomeje najdominantnije u riječnom fitoplanktonu tijekom zime te značajno doprinose ukupnoj biomasi jezera. Fitoplanktonske zajednice koje se razvijaju tijekom zimskog razdoblja uvelike ovise o prethodnoj zimi, ledenom pokrivaču i klimatskim promjenama (Dokulil i sur., 2009)

Općenito je tijekom ljeta fitoplanktonska zajednica bogatija vrstama. Uvjeti unutar jezera tijekom ljeta, tj. uvjetima visoke koncentracije hranjivih tvari, stabilnog stupca vode i visoke temperature vode dovode do velikog povećanja biomase fitoplanktona (Mihaljević i sur., 2013). Tijekom istraživanja u sušnom razdoblju u poplavnom području Kopačkog rita (2007.godine) dominantne su bile cijanobakterije s predstavnikom *Planktothrix agardhii* i invazivnom vrstom *Cylindrospermopsis raciborskii*. U poplavnim područjima gdje se pravilno izmjenjuju dugi periodi suše i poplave, tijekom ljetnog razdoblja dolazi do cvjetanja cijanobakterija (Mihaljević i sur., 2011). Ulaskom vode i miješanjem stupca vode cijanobakterije smanjuju svoju biomasu i počinju dominirati klorokokalne alge iz roda *Monoraphidium.*. Ljetne zajednice fitoplanktona koje se razvijaju u poplavnom području tijekom ljeta uvelike ovise o periodima suše i periodima poplave (Mihaljević i sur., 2013).

Razvoj ekoloških klasifikacija fitoplanktona i njihovo korištenje u svrhu opisivanja promjena strukture jezera ima dugu povijest (Hutchinson, 1967). Kako su fitoplanktonske vrste osjetljive i brzo reagiraju na različite promjene abiotičkih i biotičkih faktora u vodi, fitoplankton je podijeljen u skupine kojima odgovaraju određeni ekološki uvjeti ovisno o fiziološkim i morfološkim karakteristikama vrste. Takve skupine omogućuju ekološku klasifikaciju fitoplanktona i objašnjavaju životne strategije različitih fitoplanktonskih vrsta te su prediktori dinamike određenog ekološkog sustava (Reynolds i Irish, 1997). Takva podjela fitoplanktona po skupinama se sve više primjenjuje u ekološkim istraživanjima fitoplanktona i takav model

podjele naziva se model funkcionalnih skupina fitoplanktona koji vrste svrstava prema morfološkim, ekološkim i fiziološkim karakteristikama (Reynolds i sur, 2001; Padisak i sur, 2009). Prema dosadašnjim istraživanjima fitoplankton je podijeljen u 41 funkcionalnu skupinu. Skupine se razlikuju prema tipu staništa (jezera različite dubine, veličine, stupnja trofije), toleranciji vrste (npr. tolerancija na stratifikaciju) i/ili osjetljivosti (npr. osjetljivost na promjenu pH vrijednosti), ali i po posebnim značajkama određenih vrsta fitoplanktona (npr. visoki afinitet vrste za fosforom).

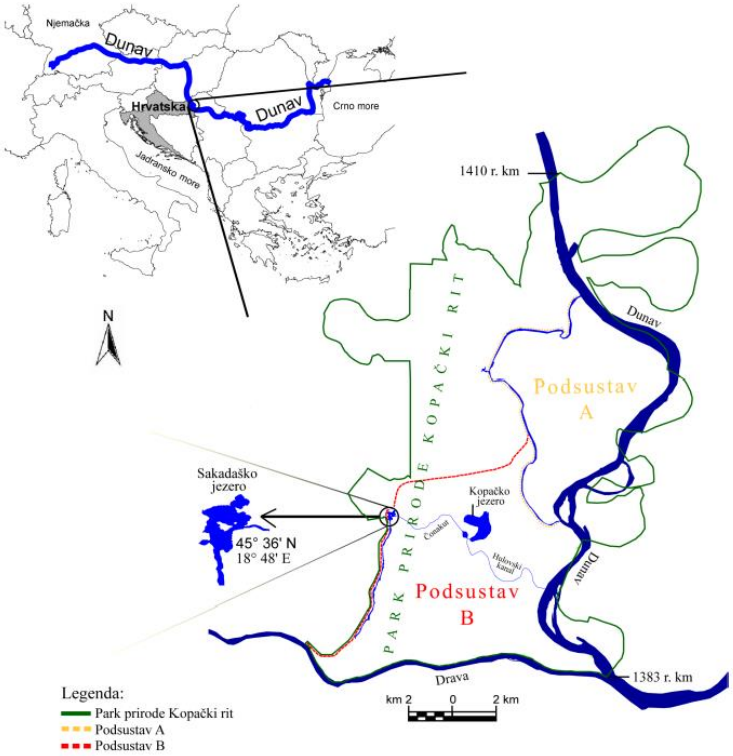
1.3. Cilj istraživanja

Cilj ovog istraživanja je utvrditi strukturu fitoplanktona u poplavnom području Kopačkog rita u ljetnom i zimskom razdoblju u odnosu na promjene okolišnih čimbenika.

2. MATERIJALI I METODE

2.1. Područje istraživanja

Park prirode Kopački rit je poplavno područje u Baranji, na sjeveroistoku Hrvatske, između rijeka Dunav na istoku i Drave na jugu. Položaj koji zauzima Park prirode je između 45°15´ - 45°53´ geografske širine i 16°06´- 16˙41´ geografske dužine. Kopački rit je ovalnog oblika i zauzima površinu od oko 23 000 ha od čega 7 000 ha pripada Posebnom zoološkom rezervatu. Hidrografsku mrežu, pored Dunava i Drave, čine Hulovski kanal, Čonakut, Novi kanal, Renovo ili Pusta fok, Nađhat, Vemeljski Dunavac, Kopačko, Bijelo i Sakadaško jezero. Kopački rit je jedna od najvećih fluvijalno-močvarnih nizina u Europi. Ovo područje tijekom godine značajno mijenja svoj izgled, ovisno o intenzitetu plavljenja, najvećim dijelom iz rijeke Dunav, a manjim dijelom iz rijeke Drave. Najveće je mrijestilište slatkovodne ribe u Podunavlju i najvažniji ornitološki rezervat u Hrvatskoj. Isto tako uvršten je i u listu ornitološki značajnih područja - IBA (eng. *Important Bird Area*), a nominiran je i za uvrštavanje u UNESCO.



Slika 1. Karta Parka prirode Kopački rit (izradio Filip Stević)

U mikroreljefnoj strukturi Kopačkog rita mogu se izdvojiti plitke ovalne (polumjesečaste) udubine koje su stalno pod vodom i nazivaju se jezerima, dok su povremeno plavljene površine bare. Linearna, uska i relativno duboka udubljenja izravno povezana s Dravom ili Dunavom su fokovi. Na fokove se nadovezuju žile koje su znatno šira i plića linearna udubljenja u kojima voda otječe u najniže dijelove Kopačkog rita (Mihaljević i sur., 1999). U Parku se nalaze dva veća jezera, Kopačko i Sakadaško jezero koje povezuje kanal Čonakut, dok su Kopačko jezero i rijeka Dunav povezani Hulovskim kanalom (Mihaljević i sur., 1999).

U ovom radu istraživana područja su Kopačko jezero i Hordovanj koji je završni dio kanala Čonakut. Kopačko jezero se nalazi su središnjem dijelu samog Parka prirode i najveća je depresija Kopačkog rita stalno ispunjena vodom. Polumjesečastog je oblika, a površina mu iznosi 200-500 ha. Kopačko jezero se puni vodom iz Vemeljskog dunavca. Tijekom visokih vodostaja dubina jezera iznosi ~ 5m, dok za vrijeme sušnih razdoblja ne prelazi dubinu od 2 m. Obale jezera postupno prelaze u ritske livade i mlade šume vrbe te je zbog toga Kopačko jezero u uskoj vezi s kopnenim biocenozama.



/Slika 2. Kopačko jezero (izvor: web 1)

Kanal Čonakut ili Sunčani kanal (Gucunski, 1972) trajni je vodeni lokalitet unutar Kopačkog rita. Dužina kanala iznosi oko 3 km, a širina 30 m. Kanal Čonakut preuzima vodu iz Sakadaškog kanala koji je nastao za vrijeme izgradnje dionice nasipa Drava-Dunav. Uz obale kanala Čonakut prisutne su grede koje su nastale taloženjem krupnijih čestica nakon izlijevanja matičnog supstrata. Sam kanal Čonakut povezuje Kopačko i Sakadaško jezero.

Većina bara i jezera su ostaci nekadašnjeg korita rijeke, dok su neke nastale zbog riječne erozije prilikom povlačenja voda s poplavnog područja. Grede su najviše točke u rezervatu Kopački

rit, a jedna od najpoznatijjih je Hordovanj s 83 m nadmorske visine. Hordovanj je granični dio kanala Čonakut koji odjeljuje Kopačko jezero od samog kanala.

2.2.Prikupljanje uzorka

Uzorci vode za hidrobiološka istraživanja uzeti su na postaji u Kopačkom jezeru u prosincu 2013. godine te u svibnju, srpnju i prosincu 2014. godine. Uzorak vode iz kanala Čonakut (Hordovanj) uzet je u prosincu 2013. godine.

2.3. Određivanje fizikalno-kemijskih svojstava vode

Podaci o vodostaju rijeke Dunav preuzeti su od javne ustanove Hrvatske vode za mjernu postaju Apatin koja je smještena na 1401,4 r.km. Temperatura zraka mjerena je u sjeni 10 cm iznad površine vode. Prozirnost vode mjerena je Secchi pločom promjera 30 cm, dok je dubina vode mjerena baždarenim konopcem s utegom. Pomoću prijenosnog minilaboratorija WTW Multi 340i (Wissenshaftlich-Technische Werkstätten, Weilheim, Njemačka) mjereni su koncentracija kisika, zasićenost vode kisikom, pH i električna provodljivost vode. Uzorci za analizu nitrata, nitrita, ukupnog dušika i ukupnog fosfora uzeti na mjestu uzorkovanja u površinskom sloju vode. Koncentracije su određene standardnim metodama. Za analizu klorofila-a (Chl-a) uzorci su uzeti u površinskom sloju vode te je po 1 L uzorka vode profiltrirane kroz vakuum sisaljku kroz filter-papir Whatman GF/C (promjera 55 mm s otvorom pora 1,2 µm). Ekstrakcija je obavljena s 90%-tnim acetonom, a apsorbancija izmjerena spektrofotometrom pri 630, 645, 663 i 750 nm. Koncentracije klorofila izračunate su upotrebljavanjem metoda SCOR-UNESCO (1966) te Strickland i Peterson (1972) uz pomoć sljedećih jednadžbi:

Chl-a (µg/L) = $(11{,}64 \times A_{663} - 2{,}16 \times A_{645} + 0{,}10 \times A_{630}) \times v/V \times d$

Chl–b (µg/L) = $(20{,}97 \times A_{663} - 3{,}94 \times A_{645} - 3{,}66 \times A_{630}) \times v/V \times d$

Chl–c (µg/L) = $(54{,}22 \times A_{663} - 5{,}53 \times A_{645} - 14{,}81 \times A_{630}) \times v/V \times d$

gdje su A_{663}, A_{645}, A_{630} apsorbancije pri 663, 645, 630 nm; v (mL) volumen ekstrakta, V(L) volumen profiltriranog uzorka vode i d (cm) duljina kivete unutar koje se mjerila aporbancija.

2.4. Analiza fitoplanktona

Kako bi se fitoplankton analizirao potrebno je uzorak vode od 10 L profiltrirati kroz fitoplanktonsku mrežicu veličine pora 22,5 μm. Fitoplanktonske vrste su određene uz pomoć inverznog svjetlosnog mikroskopa (Axiovert 25, Carl Zeiss, Ine, Göttingen, Njemačka), a determinirane uz pomoć priručnika za determinaciju fitoplanktonskih vrsta (Hindak, 1977-1990; Hindak i sur., 1978; Huber-Pestalozzi, 1961-1990; Pascher, 1976; Komarek. 1973 i dr.). Nakon determinacije vrsta nomenklatura istih provjerena je u bazi podataka AlgaeBase (Guiry i Guiry, 2014)

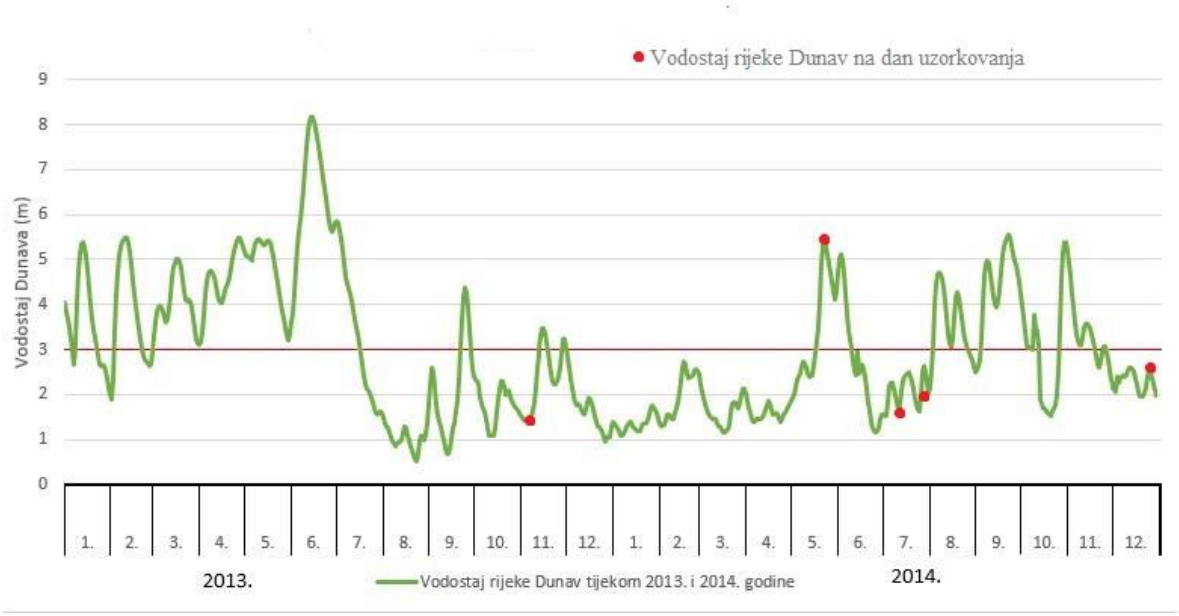
2.5.Statistička obrada podataka

Utvrđivanje sličnosti između Kopačkog jezera i Hordovanja u istraživanom razdoblju na temelju fizikalno-kemijskih čimbenika vode i funkcionalnih skupina fitoplanktona provedeno je pomoću hijerarhijske klaster analize i nemetrijskog višedimenzijskog grupiranja (eng. „non-metric Multidimensional Scaling“, nMDS) u računalnom programu Primer 6. Fizikalno-kemijski čimbenici (dubina vode, prozirnost, pH, električna provodljivost, vodostaj Dunava, koncentracija nitratnih i nitritnih iona, TN, TP i koncentracija otopljenog kisika) su prije analize logaritamski transformirani. Na funkcionalne skupine fitoplanktona je primijenjena transformacija drugi korijen jer smanjuje važnost izrazito brojnih vrsta tako da i manje brojne vrste doprinose analizi (Clarke i Warwick, 2001). U svrhu objašnjavanja međusobnih odnosa funkcionalnih skupina fitoplanktona i fizikalno-kemijskih čimbenika odabrana je redundacijska analiza (Ter Braak i Šmilauer, 1998).

3. REZULTATI

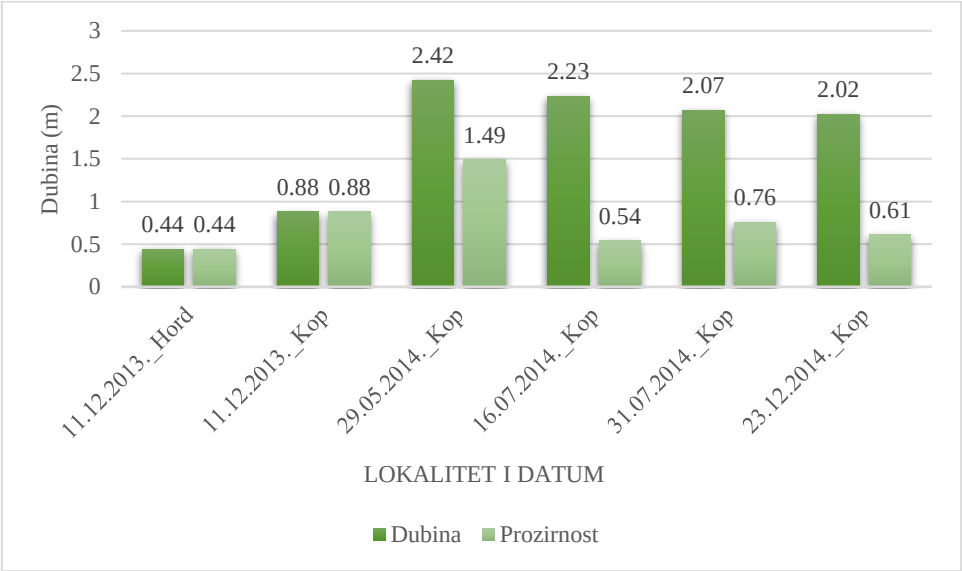
3.1.Fizikalno-kemijska svojstva vode

Najniži zabilježeni vodostaj (Slika 3) tijekom razdoblja istraživanja bio je u prosincu 2013. godine (0,96 m), dok je najviši bio u svibnju 2014. godine (5,46 m). U prosincu 2013. godine vodostaj je iznosio 1,66 m i nije se značajno mijenjao do uzimanja idućeg uzorka. U svibnju 2014. godine je zabilježen vrlo visoki vodostaj rijeke Dunav, a iznosio 4,32 m. Tijekom mjeseca srpnja kada su uzeta još dva uzorka vodostaj je postupno opao do tada najniže zabilježene vrijednosti od oko 2,50 m. U lipnju je došlo do naglog pada vodostaja rijeke Dunav te su u srpnju vladali stabilni hidrološki uvjeti, a vodostaj se nije značajno mijenjao između dva uzorkovanja (kretao se u granicama od 2,04 m do 2,43 m). Nakon toga je dolazilo do izmjene visokih (5,54 m) i niskih (1,53 m) vodostaja Dunava. Takvi su uvjeti trajali do početka prosinca nakon čega je uslijedio nizak vodostaj Dunava koji se zadržao do zadnjeg uzorkovanja u prosincu 2014. godine (1,30 m).



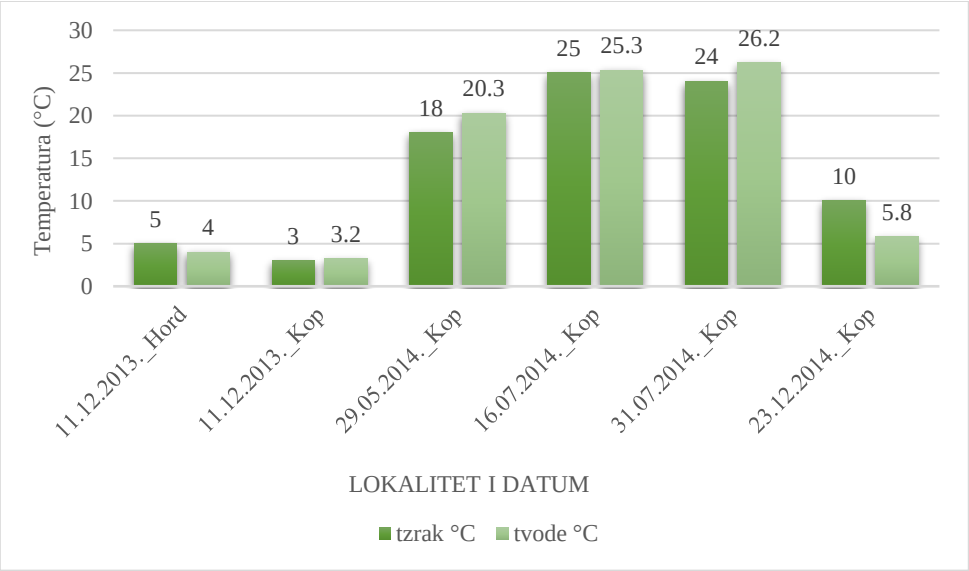
Slika 3. Vodostaj rijeke Dunav na mjernoj postaji Apatin (1404,4 r. km.) u razdoblju od siječnja 2013. do prosinca 2014. godine

Najmanje dubine (0,44 m) i prozirnosti (0,44 m) vode utvrđene su u prosincu 2013. godine na lokalitetu Hordovanj, a najveće (dubina 2,42 m, prozirnost 1,49 m) u Kopačkom jezeru krajem svibnja 2014. godine (Slika 4).



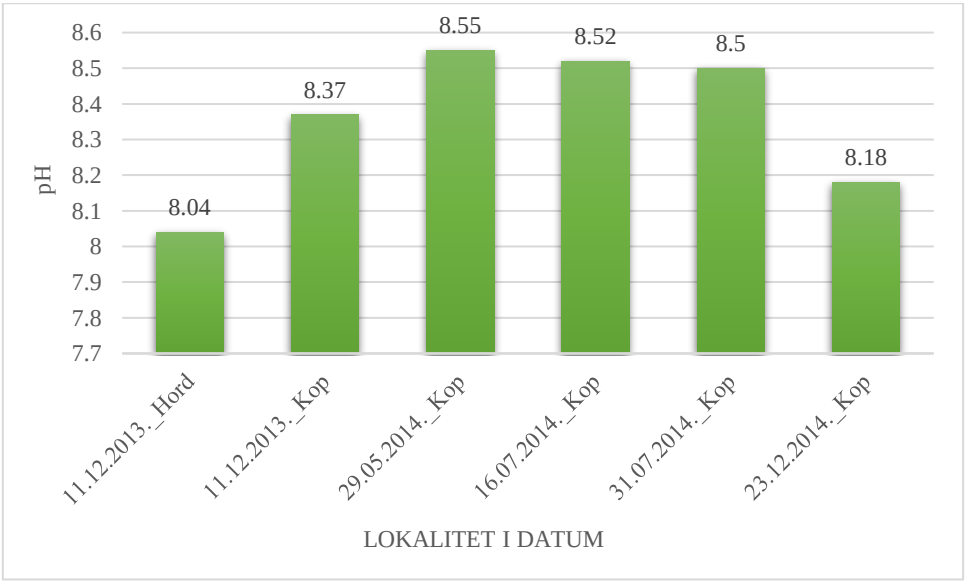
Slika 4. Promjene dubine i prozirnosti vode tijekom istraživanja na lokalitetima Kopačko jezero i Hordovanj

Temperature zraka mijenjale su ovisno o sezoni istraživanja (Slika 5). Tako su najniže temperature zraka utvrđene u zimskom razdoblju (3 – 10 °C), a u kasno proljetnom i ljetnom razdoblju kretale su se od 18 °C do 25 °C. Promjene temperature vode pratile su promjene temperature zraka. Najniže temperature vode su utvrđene u zimskom razdoblju (3,2 do 5,8 °C), zatim u kasno proljetnom do najviših vrijednosti u ljetnom razdoblju (26,2 °C). Temperatura vode tijekom prosinca 2013. godine iznosila je 4°C, dok je u prosincu 2014. godine ona bila 5,8°C. U kasno proljetnom razdoblju 2014. godine temperatura vode iznosila je 20,3°C.



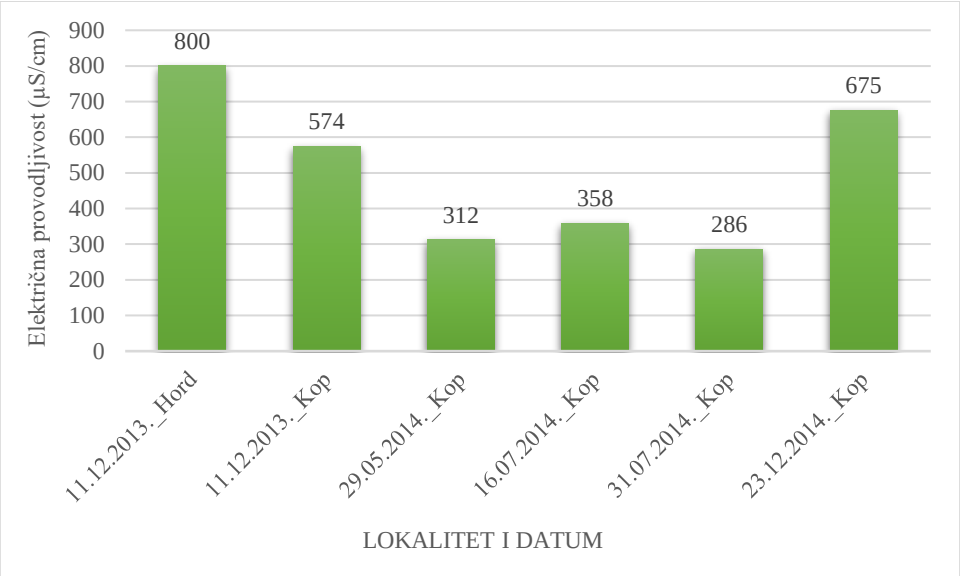
Slika 5. Promjene temperature zraka i vode na tijekom istraživanja na lokalitetima Kopačko jezero i Hordovanj

Prema pH vrijednostima (Slika 6) na lokalitetima su vladali blago lužnati uvjeti, a pH se nije značajno mijenjao tijekom istraživanih razdoblja (od 8,04 do 8,55).



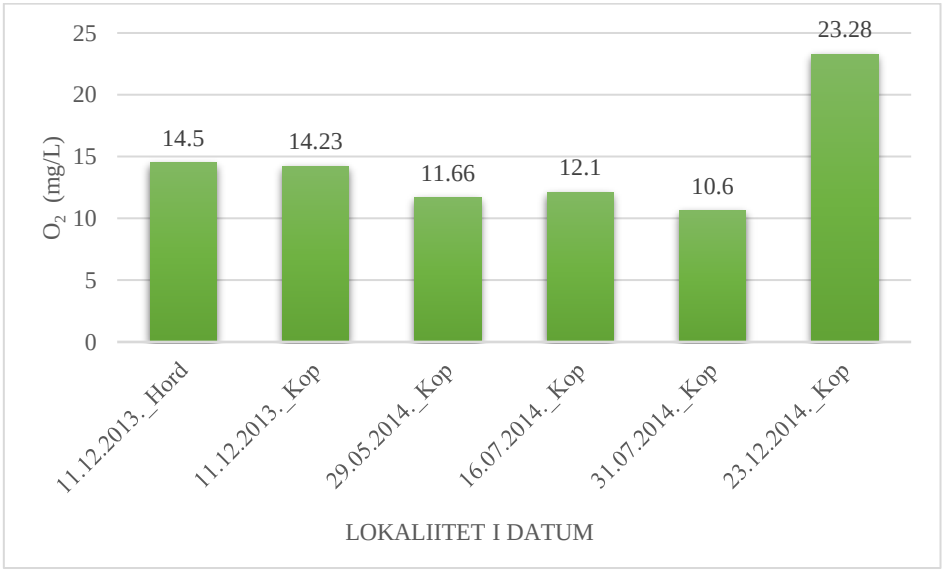
Slika 6. Promjene pH vrijednosti vode tijekom istraživanja na lokalitetima Kopačko jezero i Hordovanj

Više vrijednosti provodljivosti vode utvrđene su u zimskom razdoblju (574 - 800 µS/cm), dok su u kasno proljetnom i ljetnom razdoblju utvrđene niže vrijednosti (286 – 358 µS/cm) (Slika 7).



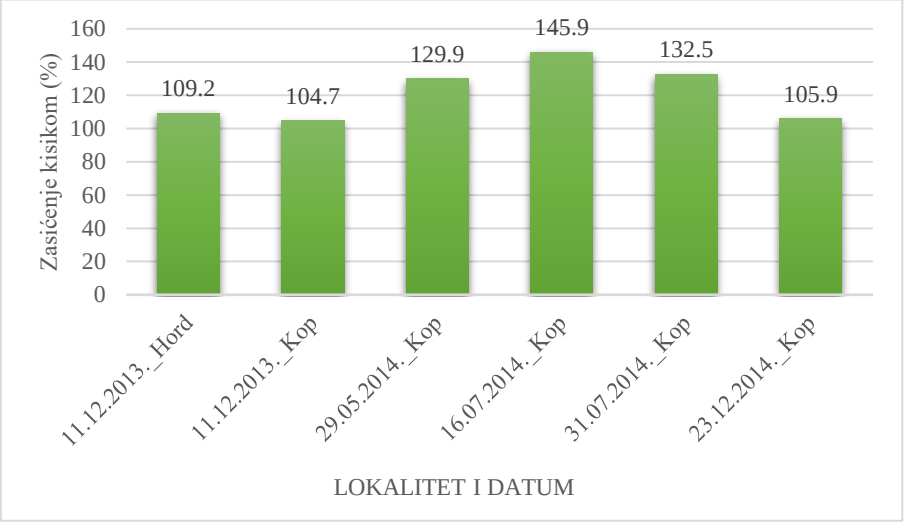
Slika 7. Promjene električne provodljivosti vode tijekom istraživanja na lokalitetima Kopačko jezero i Hordovanj

Tijekom istraživanja koncentracije kisika (Slika 8) su uvijek bile veće od 10 mg/L. Najveća zabilježena koncentracija otopljenog kisika utvrđena je u Kopačkom jezeru u prosincu 2014. godine (23,28 mg/L), a najniža zabilježena vrijednost u srpnju 2014. godine u Kopačkom jezeru (10,6 mg/L).



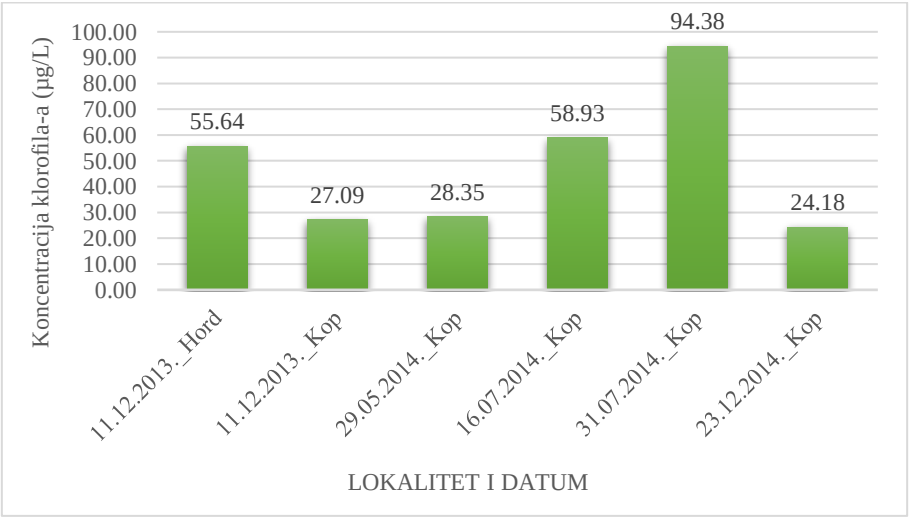
Slika 8. Promjene koncentracije otopljenog kisika u vodi tijekom istraživanja na lokalitetima Kopačko jezero i Hordovanj

Zasićenje vode kisikom pokazuje najveću vrijednost tijekom srpnja 2014. godine u Kopačkom jezeru (145,9%), dok je najmanja vrijednost zasićenja vode kisikom zabilježena u prosincu 2013. godine također u Kopačkom jezeru (104,7) (Slika 9).



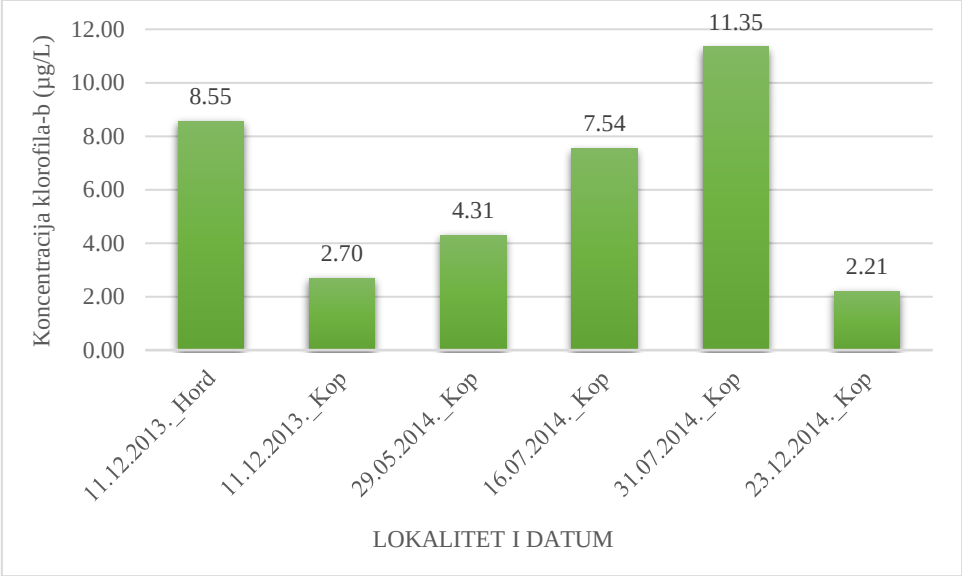
Slika 9. Promjene zasićenja vode kisikom tijekom istraživanja na lokalitetima Kopačko jezero i Hordovanj

U zimskom razdoblju koncentracije klorofila-a kretale su se od 24,18 do 27,09 µg/L u Kopačkom jezeru, a u Hordovanju je utvrđena nešto veća koncentracija klorofila-a (55,64 µg/L). U kasno proljetnom razdoblju, kada je bila velika poplava, također je utvrđena niska koncentracija klorofila-a (28,35 µg/L), dok su tijekom ljetnog razdoblja utvrđene najveće koncentracije klorofila-a (58,93 – 94,38 µg/L) (Slika 10).



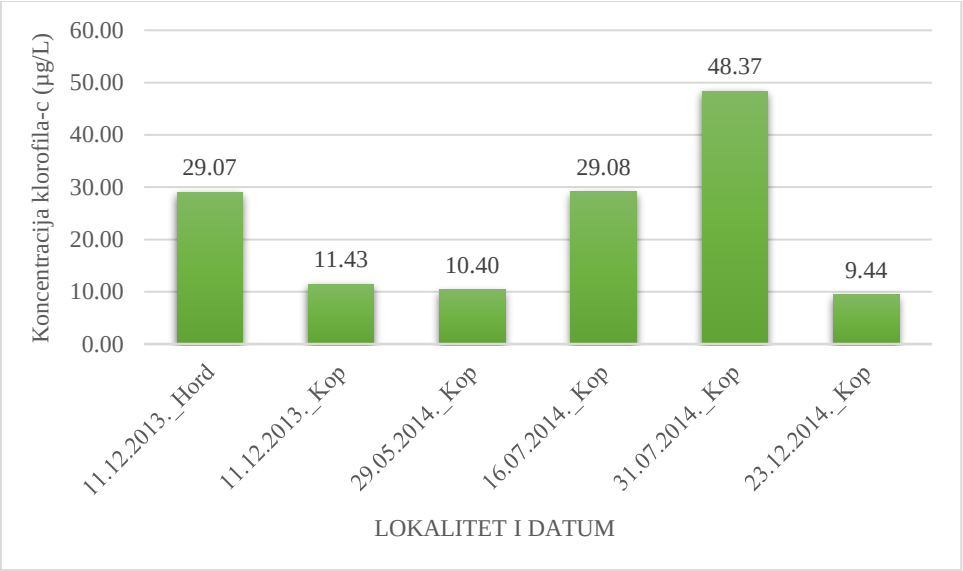
Slika 10. Promjene koncentracije klorofila-a tijekom istraživanja na lokalitetima Kopačko jezero i Hordovanj

Vrijednosti klorofila-b u zimskom razdoblju na lokalitetu Kopačko jezero kretale su se od (2,21 do 2,70 µg/L), a na lokalitetu Hordovanj koncentracija klorofila-b iznosi 8,55 µg/L. U kasno proljetnom razdoblju koncentracija klorofila-b raste u odnosu na zimsko razdoblje (4,31 µg/L), dok su najveće zabilježene koncentracije klorofila-b bile u ljetnom razdoblju (7,54-11,35 µg/L) (Slika 11).



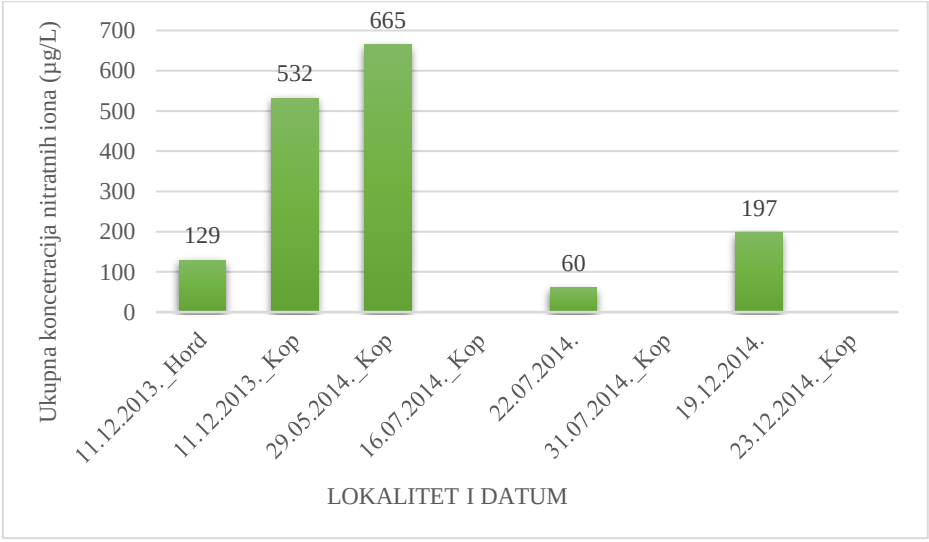
Slika 11. Promjene koncentracije klorofila-b tijekom istraživanja na lokalitetima Kopačko jezero i Hordovanj

U zimskom razdoblju koncentracije klorofila-c variraju od 9,44 do 29,07 µg/L i tada je zabilježena najveća vrijednost klorofila-c. U kasno proljetnom i ljetnom razdoblju koncentracije klorofila-c ne odstupaju značajno jedna od druge. Koncentracija klorofila-c u kasno proljetnom periodu iznosila je 10,40 µg/L, dok se u ljetnom razdoblju koncentracija klorofila-c kretala između 7,35 – 10,12 µg/L (Slika 12).

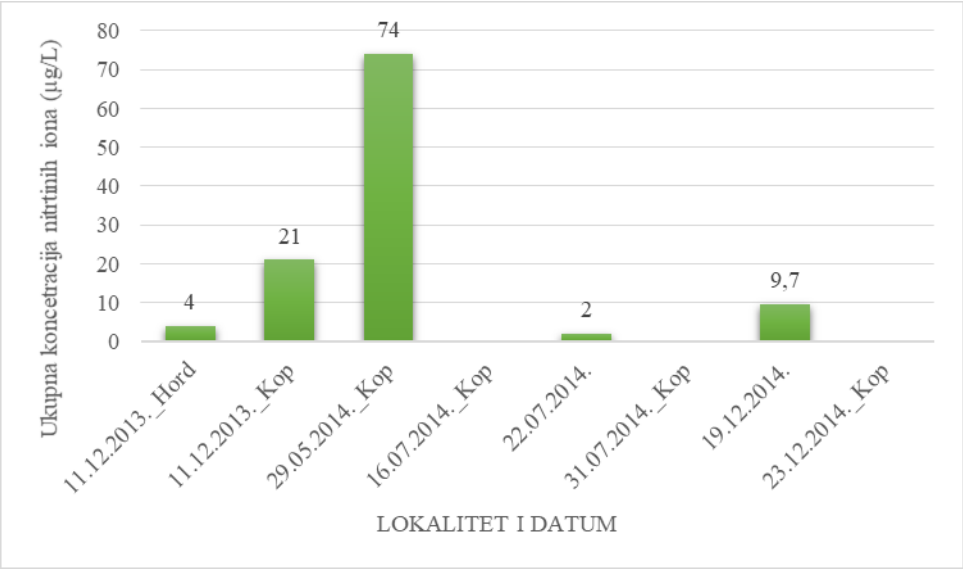


Slika 12. Promjene koncetracije klorofla-c tijekom istraživanja na lokalitetoma Kopačko jezero i Hordovanj

Tijekom zimskog razdoblja ukupna koncentracija nitranih iona (Slika 13) kretala se između 129-532 µg/L. Kasno proljetno razdoblje ima najveću zabilježenu koncentraciju nitratnih iona (665 µg/L), dok je za vrijeme ljetnog perioda ona iznimno niska i iznosi 60 (µg/L). Isto tako najveće vrijednosti nitritnih iona zabilježene su tijekom kasno proljetnog razdoblja (74 µg/L). Koncentracija nitritnih iona tijekom zimskog razdoblja (Slika 14) varira između 4 – 21 µg/L. Ljetni period bilježi najnižu koncentraciju nitrita (2 µg/L).



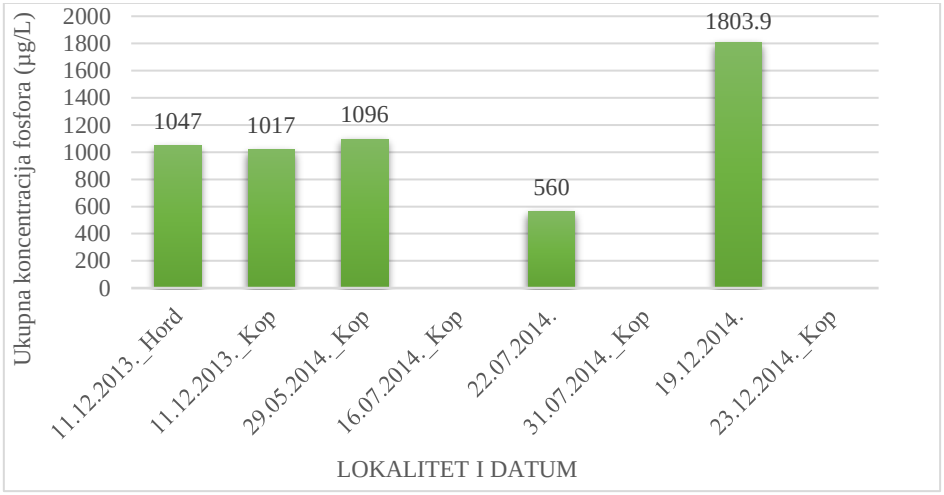
Slika 13. Promjene koncentracije nitratnih iona tijekom istraživanja na lokalitetima Kopačko jezero i Hordovanj



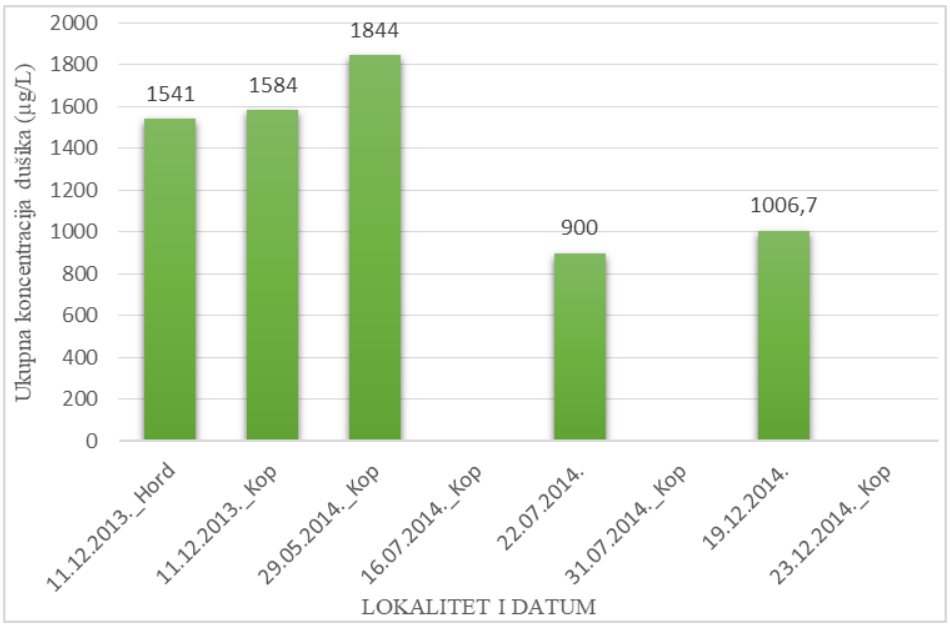
Slika 14. Promjene ukupne koncentracije nitritnih iona tijekom istraživanja na lokalitetima Kopačko jezero i Hordovanj

Više koncentracije fosfora ukupnog fosfora utvrđene su tijekom zimskog razdoblja, a najmanja je zabilježena u srpnju (Slika 15). U prosincu 2014. godine zabilježena je najveća vrijednost fosfora i iznosila je 1803,9 mg/L. Visoka vrijednost koncentracije ukupnog fosfora je utvrđena i u poplavnom kasno proljetnom razdoblju (1096 µg/L).

Također su više vrijednosti koncentracije ukupnog dušika (Slika 16) utvrđene u zimskom razdoblju (1006,7- 1584 µg/L), dok je najviša koncentracija utvrđena u kasno proljetnom razdoblju (1844 µg/L). Najmanja vrijednost utvrđena je ljetnom razdoblju (900 µg/L). Veće vrijednosti bile su tijekom zimskog razdoblja, s vrijednostima između 1006,7- 1584 mg/L. Najveća vrijednost zabilježena je u svibnju 2014. godine (1844 mg/L), dok je najmanja vrijednost bila u srpnju 2014. godine (900mg/L).



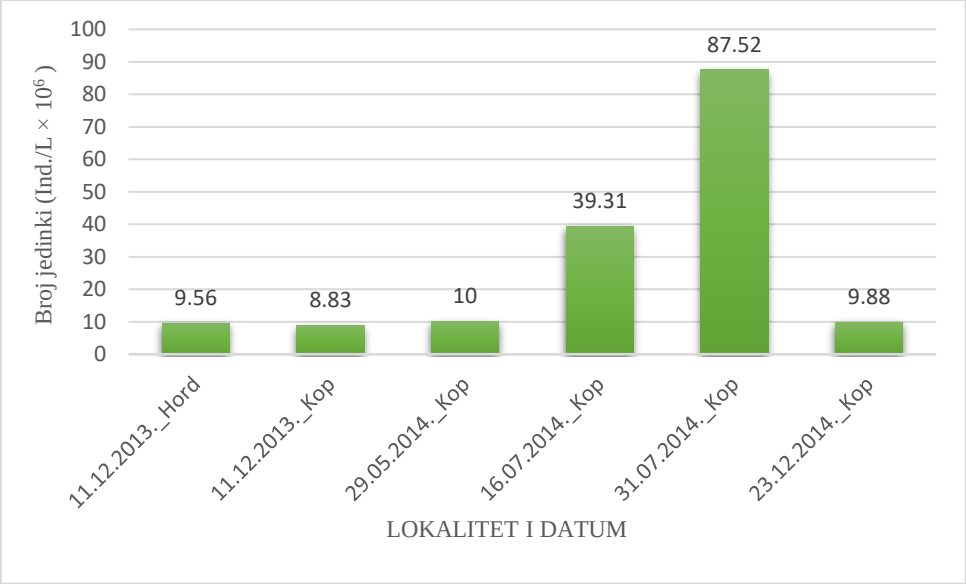
Slika 15. Promjene koncentracije ukupnog fosfora tijekom istraživanja na lokalitetima Kopačko jezero i Hordovanj



Slika 16. Promjene koncentracije ukupnog dušika tijekom istraživanja na lokalitetima Kopačko jezero i Hordovanj

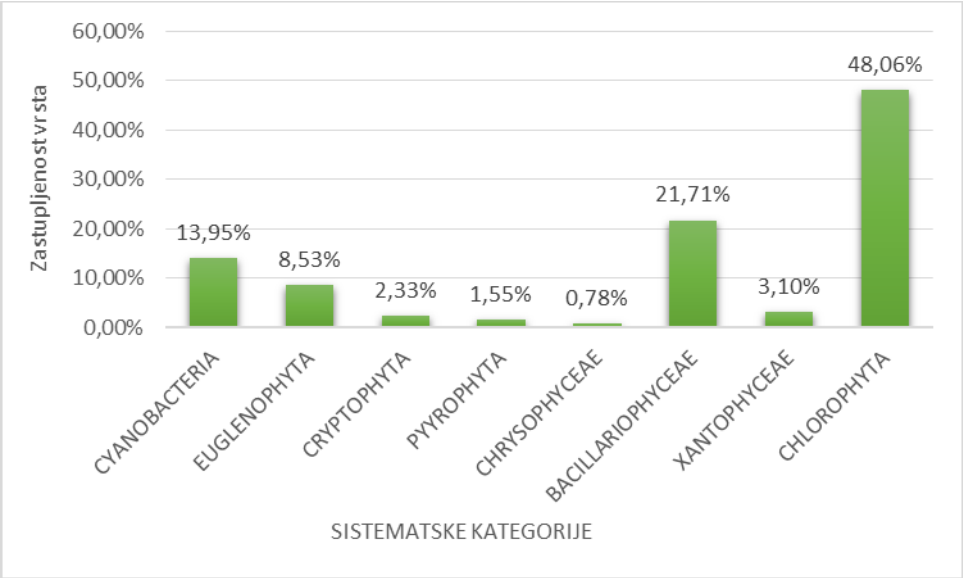
3.2. Struktura i dinamika fitoplanktonskih zajednica

Ukupan broj jedinki fitoplanktona razlikuje se između zimskog i ljetnog razdoblja. Najveći broj jedinki fitoplanktona zabilježen je u ljetnom razdoblju s najvećom vrijednosti u srpnju 2014. godine ($87,52 \times 10^6$). Najmanji zabilježeni broj jedinki fitoplanktona zabilježen je u zimskom razdoblju (prosinac 2013. godine) s vrijednošću od $8,83 \times 10^6$ (Slika 17).



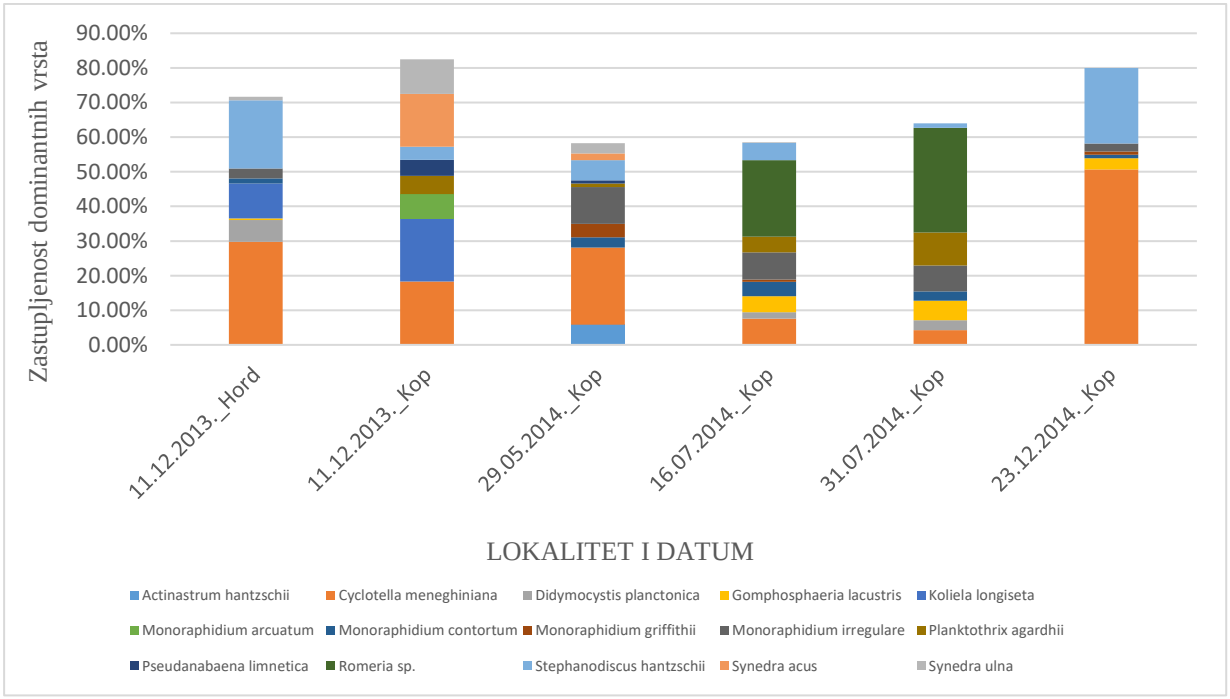
Slika 17. Promjene ukupnog broja jedinki fitoplanktona tijekom istraživanja na lokalitetima Kopačko jezero i Hordovanj

Tijekom istraživanja ukupno je utvrđeno 129 fitoplanktonskih vrsta. Najveću zastupljenost tijekom istraživanju imaju vrste iz Chlorophyta (48,06%), dok su najmanje zastupljene vrste iz skupine Chrysophyceae (0,78%). Isto tako vrlo visoku zastupljenost imaju fitoplanktonske vrste iz razreda Bacillariophyceae (21,71%), dok nešto manju zastupljenost imaju skupine Cyanobacteria (13,95%), Euglenophyta (8,53%), Cryptophyta (2,33%), Pyyrophyta (1,55%) i Xantophyceae (3,10%) (Slika 18).



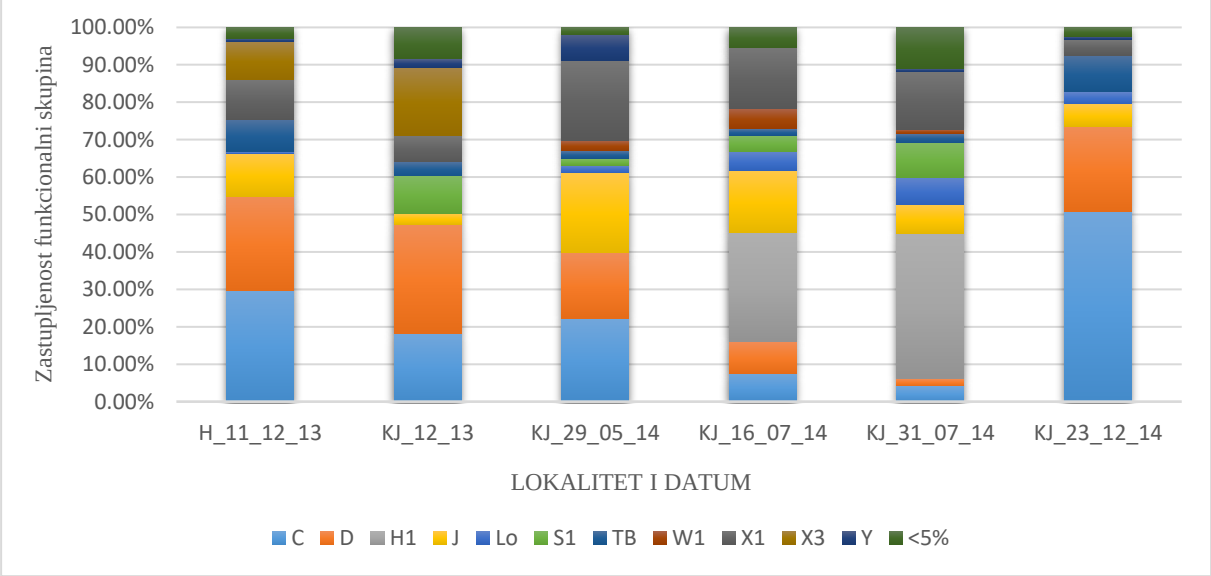
Slika 18. Zastupljenost vrsta pojedinih sistematskih kategorija tijekom istraživanja na lokalitetima Kopačko jezero i Hordovanj

Najzastupljenija vrsta brojem jedinki je bila *Cyclotella meneghiniana* (50,20%) koja je utvrđena u svakom lokalitetu. Također je vrsta *Stephanodiscus hantzschii* utvrđena u svakom uzorku, a njena se zastupljenost kretala od 1,31% do 21,86%. U ljetnom razdoblju 2014. godine dominantne vrste su bile *Romeria sp*. (30,38%), *Planktothrix agardhii* (9,48%), *Monoraphidium irregulare* (7,89%), *Gomphosphaeria lacustris* (5,62%). U zimskom razdoblju prevladavaju *Koliela longiseta* (18,32%), *Synedra acus* (15,27%), *Synedra ulna* (9,92%), *Didymocystis planctonica* (6,25%), *Monoraphidium arcuatum* (6,87%) (Slika 19).



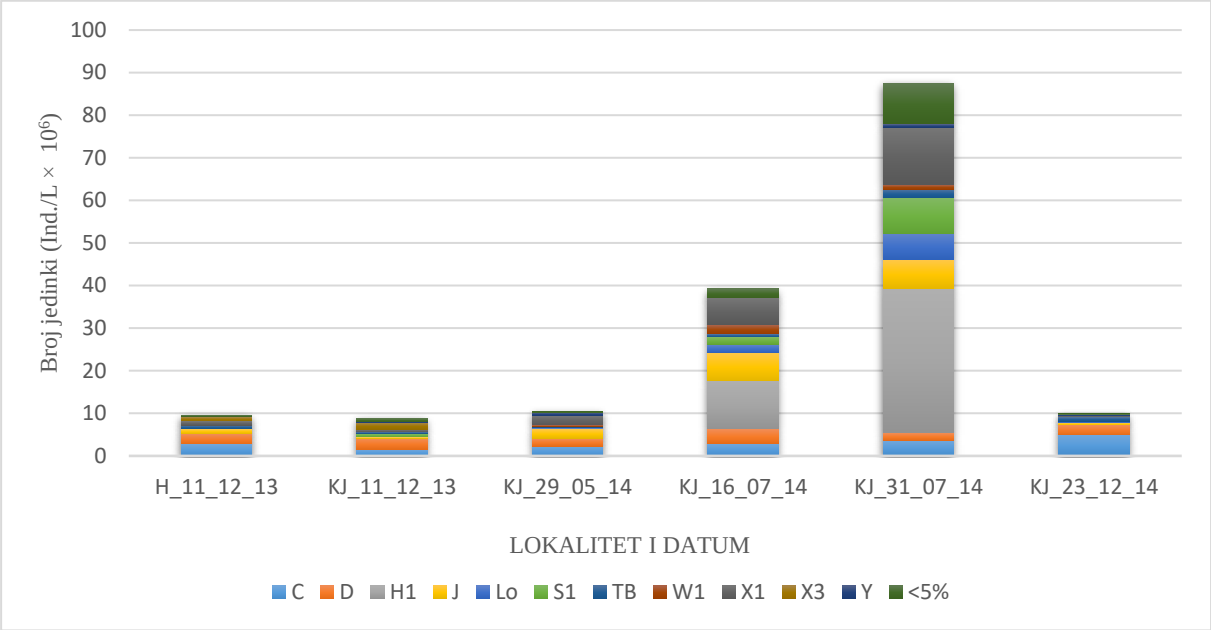
Slika 19. Prikaz zastupljenosti dominantnih vrsta tijekom istraživanja na lokalitetima Kopačko jezero i Hordovanj

Tijekom zimskog razdoblja kada su bili stabilni hidrološki uvjeti najzastupljenije funkcionalne skupine bile su: C, D, Y i X3. Funkcionalna skupina C kao najdominantnija skupina s predstavnikom *Cyclotella meneghiniana* varirala je od 4,24-50,70%, dok se D skupina u kojoj prevladava *Stephanodiscus hantzschii* kretala od 2,00-29,01%.Velika poplava koja je bila u kasno proljetnom razdoblju kao rezultat ima razvoj fitoplanktona unutar C, D, J i X1 funkcionalnih zajednica. C (22,33%) i D (17,48%) skupina dominiraju s jednakim predstavnicima kao i u zimskom razdoblju. Funkcionalna skupina J (21,36%) sadrži vrste *Actinastrum hantzschi¸ Tetraedron longispinum;* dok funkcionalnom skupiom X1 (21,36%) dominiraju vrste *Monoraphidium irregulare* i *Monoraphidium contortum*. Ljetno razdoblje koje ima stabilne hidrološke uvjete, smanjenu koncentraciju hranjivih tvari i najveću dubinu vode odlikuje se vrstama iz funkcionalnih skupina H1 (28,99-38,67%), X1 (15,41-16,12%), S1 (4,46-9,48%). Cijanobakterija iz skupine H1 kao što je *Romeria sp.* dominira tijekom ljetnog razdoblja. *Planktothrix agardhii* i *Pseudanabaena limnetica* predstavnici su S1 funkcionalne skupine (Slika 20).



Slika 20. Zastupljenost funkcionalnih skupina tijekom istraživanja na lokalitetima Kopačko jezero i Hordovanj

Najveći broj jedinki (Slika 21) bio je u ljetnom razdoblju 2014. godine kada dominiraju H1, X1 i J funkcionalne skupine, dok je najmanji broj jedinki bio u zimskom razdoblju kada dominiraju vrste iz skupine C i D. tijekom cijelog istraživanja pojavljuju se vrste iz funkcionalnih skupina C i D i to u broju od oko 2-5 × 10^6.



Slika 21. Prikaz zastupljenosti funkcionalnih skupina prema broju jedinki fitoplanktona tijekom istraživanja na lokalitetima Kopačko jezero i Hordovanj

Tablica 1. Popis fitoplanktonskih vrsta pronađen kvantitativnom analizom na lokalitetima Kopačko jezero i Hordovanj

	11.12.2013._H	11.12.2013._K	29.05.2014._K	16.07.2016._K	31.07.2014._K	23.12.2014._K
CYANOBACTERIA						
Anabaenopsis arnoldi Apeterkarj					2292620	
Aphanizomenon sp.				67430	269720	
Crococcus minutus (Kützing) Nägeli				67430	202290	
Crococcus turgidus (Kützing) Nägeli					67430	
Dolichospermum circinalis (Rabenhorst ex Bornet & Flahault)				269720		
Dolichospermum planctonicum (Brunnth.)				472010	1416030	
Dolichospermum solitarium (Klebahn)				404580	3034350	
Dolichospermum spiroides (Klebahn)				1483460	337150	
Glenodinium pulvisculus (Ehrenberg) Stein		67430				
Gloeocapsa punctata Nägeli					3236640	
*Merismopedia elegans*A.Braun ex Kützing					269720	
Merismopedia glauca (Ehrenberg) Kützing					269720	
Merismopedia tenuissima Lemmermann				67430	472010	

Microcystis flosaque (Wittrock) Kirchner	45970					
Microcystis viridis (A.Braun) Lemmermann					67430	
Peridinium aciculiferum Lemmermann			202280			
Planktothrix agardhii (Gomont) Anagnostidis & Komárek		472010	101140	1753180	8293890	
Pseudanabaena limnetica (Lemmermann) Komárek		404580	101140			
Romeria sp.				8698470	26499990	
EUGLENOPHYTA						
Euglena limnophila Lemmermann			101140	337150		
Euglena variabilis Klebs					269720	
Euglena virids(O.F.Müller) Ehrenberg				67430	606870	
Lepocinclis globulus Perty				134860	67430	
Lepocinclis oxyuris (Schmarda) Marin & Melkonian				539440		
Phacus caudatus Hübner			101140	472010	67430	
Phacus helikoides Pochmann			101140	134860		
Phacus longicauda(Ehrenberg) Dujardin				472010	67430	
Trachelomonas hispida (Perty) F.Stein				134860	202290	
Trachelomonas oblonga Lemmermann				202290	134860	45970

Trachelomonas planctonica Svirenko		67430	101140	67430		
CRYPTOPHYTA						
Cryptomonas erosa Ehrenberg	45970	134860	202280		539440	45970
Cryptomonas ovata Ehrenberg	45970		303420		202290	45970
Cryptomonas reflexa Skuja			202280			
PYROPHYTA						
Snowella lacustris (Chodat) Komárek & Hindák	45970			1820610	4922390	321790
CHRYSOPHYTA						
Chrysophyceae						
*Closterium kuetzingii*Brébisson	91940					
Cosmarium granatum Brébisson ex Ralfs					67430	
Cosmarium laeve Rabenhorst				134860	404580	
Cosmarium phasoeolus Brébisson ex Ralfs						45970
Dinobryon divergens O.E.Imhof		269720		202290		
Staurastrum gracile Ralfs ex Ralfs				134860		
Staurastrum orbiculare Meneghini ex Ralfs					134860	
Staurastrum plantonicum Teiling				67430		

Staurastrum polymorphum Brébisson					134860	
*Staurastrum tetracerum*Ralfs ex Ralfs					269720	
Xantophyceae						
Centritractus africanus FRITSCH. et RICH				202290		
Goniochloris mutica (A.Braun) Fott				202290		
Ophiocytium capitatum Wolle				269720		
Ophiocytium capitatum var. longispinum (Möbius) Lemmermann			101140			
Bacillariophyceae						
Amphora ovalis(Kützing) Kützing				134860	606870	45970
Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsen	91940	202290	101140	202290	1011450	91940
Aulacoseira granulata var. angustissima (O.F.Müller) Simonsen	45970				134860	
Craticula cuspidata (Kutzing) D.G.Mann				67430	67430	91940
Cyclotella meneghiniana Kützing	2850140	1618320	2326220	2966920	3708650	5010730
Cyclotella sp.			303420			
Diatoma elongata var. actinastroides Krieger						45970
Epithemia turgida (Ehrenberg) Kützing						45970

Fragilaria acus (Kützing) Lange-Bertalot		1348600	202280			
Fragilaria capucina Desmazières					67430	
Gyrosigma acuminatum (Kützing) Rabenhorst	45970	67430				45970
Halamphora veneta (Kützing) Levkov	45970			67430		
Navicula cryptocephala Kützing	91940	134860	202280	134860	337150	137910
*Navicula gracilis*Lauby, nom. illeg.	45970					91940
Navicula menisculus Schumann					67430	
Navicula rostellata Kützing	45970	67430				
Nitzschia acicularis (Nitzsch) W.Smith		134860			337150	
*Nitzschia gracilis*Hantzsch				67430		
Nitzschia hungarica Grunow				134860		
Nitzschia palea (Kützing) W.Smith	91940				741730	
Nitzschia paleacea (Grunow) Grunow					337150	
*Nitzschia sigmoidea (*Nitzsch) W.Smith					269720	
Pinnularia viridis (Nitzsch) Ehrenberg					67430	
Sellaphora pupula (Kützing) Mereschkovsky	45970	67430				45970
Stephanodiscus hantzschii Grunow	1884770	337150	606840	1955470	1146310	2160590

Synedra acus Kützing	91940		303420	876590		91940
Ulnaria ulna (Nitzsch) Compère	91940	876590	303420	67430		
Ulnaria ulna (Nitzsch) P.Compère	321790		101140	269720		
CHLOROPHYTA						
Actinastrum hantzschii Lagerheim			606840			
Acutodesmus acuminatus (Lagerheim) Tsarenko	91940			134860	67430	
Ankistrodesmus arcuatus Korshikov		606870				
Ankistrodesmus falcatus (CORDA) RALFS					67430	
Ankistrodesmus fusiformis Corda ex Korshikov				134860		
Ankistrodesmus gracilis (Reinsch) Korshikov				202290		
Asterococcus superbus(Cienkowski) Scherffel				269720	1685750	
Binuclearia lauterbornii (Schmidle) Proschkina-Lavrenko		67430				
Chlamydomonas epibiotica Ettl					269720	
Chlamydomonas globosa J.W.Snow					269720	
Cocconeis placentula Ehrenberg				202290	134860	45970
Coelastrum microporum Nägeli			202280			
Crucigenia tetrapedia (Kirchner) Kuntze	91940			876590		45970

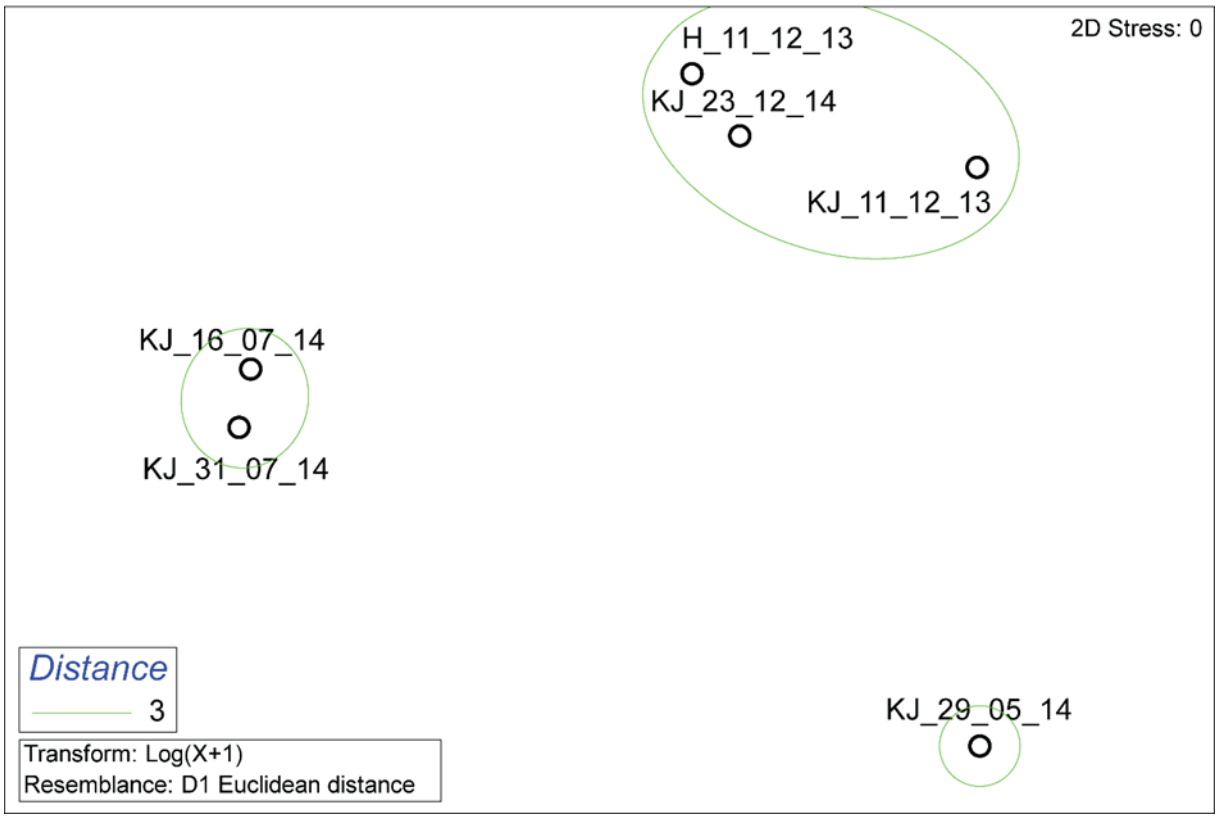
Crucigeniella rectangularis (Nägeli) Komárek			101140			
Desmodesmus abundans (Kirchner) E.Hegewald				202290	1888040	45970
Desmodesmus communis (E.H.Hegewald) E.H.Hegewald	459700	134860	202280	1348600	1753180	229850
Desmodesmus opoliensis (P.G.Richter) E.H.Hegewald		134860		134860	134860	45970
Desmodesmus spinosus (Chodat) E.Hegewald				606870	472010	91940
Golenkinia radiata Chodat				134860	337150	
Kirchneriella lunaris (Kirchner) K.Möbius				134860	202290	45970
Koliela longiseta (Vischer) Hindák	965370	1618320				
Lagerheimia ciliata (Lagerheim) Chodat					67430	
Lagerheimia genevensis (Chodat) Chodat				67430	202290	
Lagerheimia minor Fott				134860	269720	
Lagerheimia wratislaviensis Schröder					67430	
Lemmermannia triangularis (Chodat) C.Bock & Krienitz	91940					
Micractinium pusillum Fresenius				134860	337150	
Monactinus simplex (Meyen) Corda				67430	67430	
Monoraphidium contortum (Thuret) Komàrková-Legnerová	137910		303420	1618320	2292620	91940
Monoraphidium griffithii (Berkeley) Komárková-Legnerová			404560	269720		91940

Monoraphidium irregulare (G.M.Smith) Komárková-Legnerová	275820		1112540	3101780	6608140	229850
Monoraphidium minutum (Nägeli) Komárková-Legnerová			404560			
Mougotia sp.				269720		
*Oocystis lacustris*Chodat					202290	
*Oocystis solitaria*Wittrock					67430	
Pediastrum duplex Meyen				67430		
Pseudodidymocystis planctonica (Korshikov) E.Hegewald & Deason	597610			741730	2562340	
Pseudokirchneriella contorta (Schmidle) F.Hindák				67430		
Pseudopediastrum boryanum (Turpin) E.Hegewald	45970					
Pteromonas angulosa (H.J.Carter) Lemmermann				404580		
Scenedesmus bicaudatus Dedusenko	229850			202290	269720	137910
Scenedesmus ecornis (Ehrenberg) Chodat	45970			67430		
Scenedesmus obliquus (Turpin) Kützing	45970		404560			
*Scenedesmus spinosus var. Bicaudatus*Hortobágyi				134860		
Schroederia setigera (Schröder) Lemmermann						
Sphaerocystis schroeteri Chodat					2629770	

Tetraedrom caudatum(Corda) Hansgirg				134860		
Tetraedron longispinum(Perty) Hansgirg				134860	67430	
Tetraedron minimum(A.Braun) Hansgirg			303420	1146310	741730	
Tetraedron trigonum(Nägeli) Hansgirg				269720	67430	
Tetrastrum staurogeniiforme (Schröder) Lemmermann			303420			
Ulothrix tenerrima (Kützing) Kützing	137910			67430		367760
Ulothrix tenuissima Kützing	275820					
UKUPAN BROJ JEDINKI (Ind./L × $10^{6)}$:	**$9{,}56x10^{6}$**	**$8{,}83x10^{6}$**	**$10{,}4x10^{6}$**	**$39{,}31x10^{6}$**	**$87{,}52x10^{6}$**	**$9{,}88x10^{6}$**

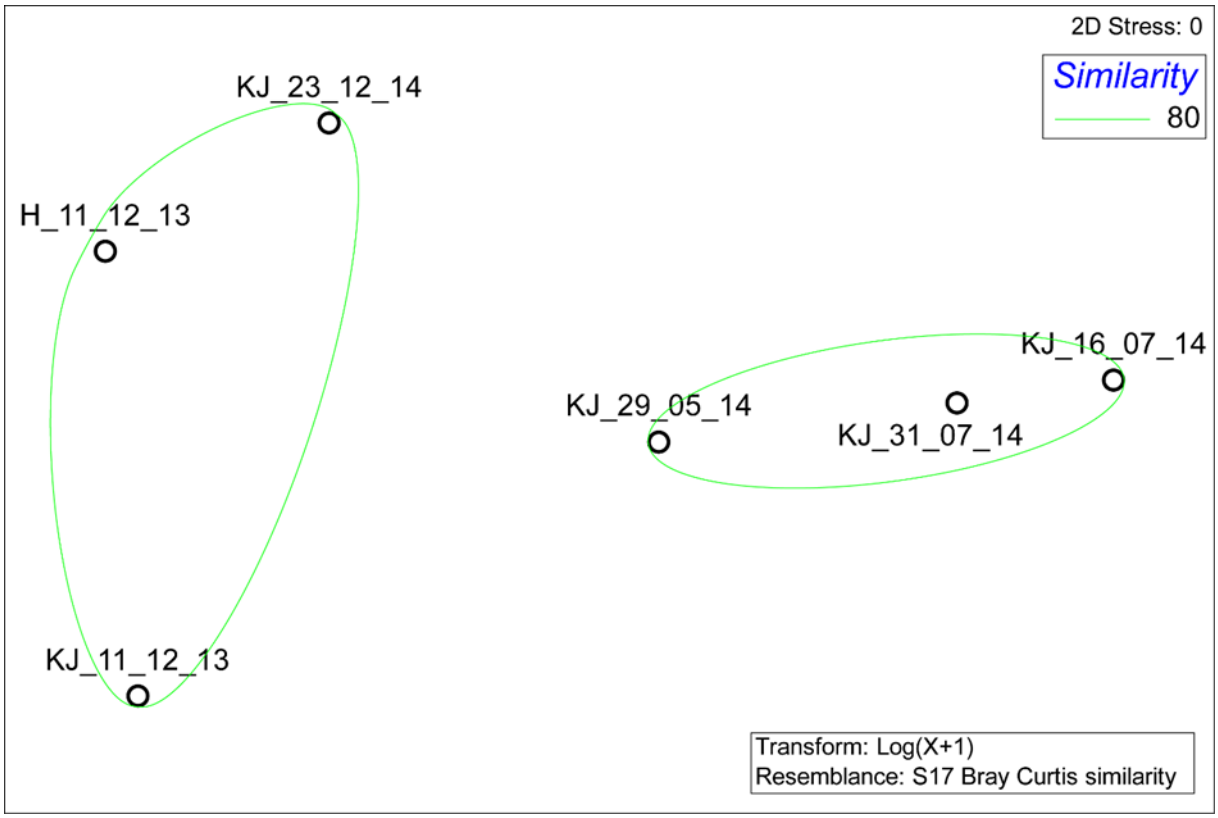
3.3.Statistička obrada podataka

Prema nMDS grafu (Slika 22) vidljivo je razdvajanje u 3 grupe prema fizikalno-kemijskim čimbenicima. Tako su se međusobno grupirala zimska razdoblja kada su vladali stabilni hidrološki uvjeti (prosinac 2013. i prosinac 2014. godine), kasno proljetni period kada je bila poplava (svibanj 2014. godine) i ljetno razdoblje kada su, opet, bili stabilni hidrološki uvjeti (srpanj 2014.godine).



Slika 22. Multivarijantna analiza (nMDS) na temelju fizikalno-kemijskih čimbenika 2013. i 2014. godine na lokalitetima Kopačko jezero i Hordovanj

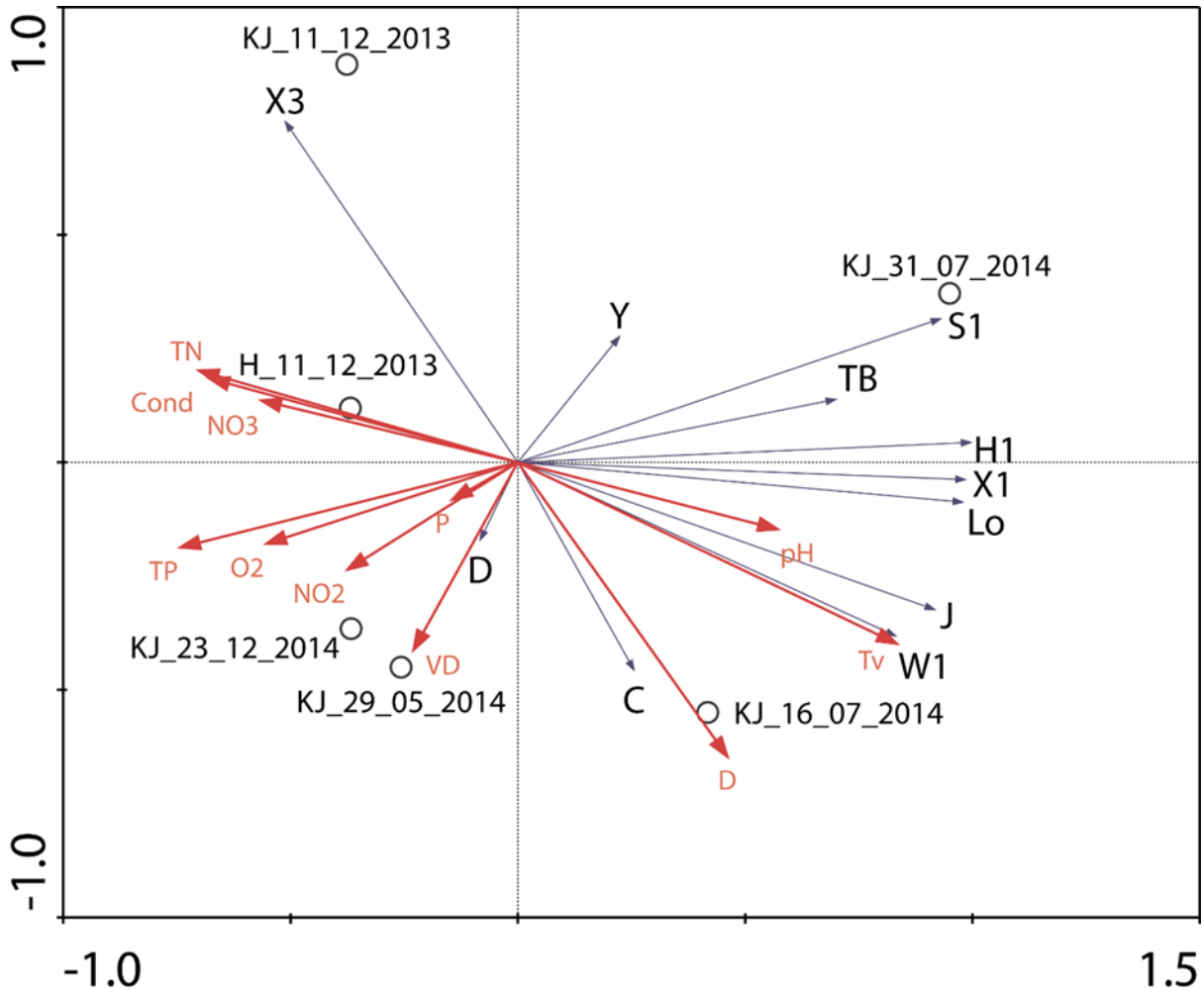
Prema funkcionalnim skupinama na nMDS grafu (Slika 23) jasno vidimo razdvajanje na dvije skupine. Prva skupina sadržava uzorke iz kasno proljetnog i ljetnog razdoblja, dok druga skupina sadržava uzorke iz zimskog razdoblja. Prema funkcionalnim skupinama jasno je vidljivo razdvajanje zimskog od kasnoproljetnog i ljetno razdoblja. Tako u prvu skupinu pripadaju uzroci s lokaliteta Kopačkog jezera i Hordovanj u prosincu 2013. i 2014. godine , dok u drugu skupinu pripadaju uzorci s lokaliteta Kopačko jezero u svibnju i srpnju 2014. godine.



Slika 23. Multivarijantna analiza (nMDS) na temelju funkcionalnih skupina 2013. i 2014. godine na lokalitetima Kopačko jezero i Hordovanj

Redundacijska analiza primijenjena je kako bi se prikazao odnos funkcionalnih skupina i fizikalno-kemijskih čimbenika tijekom istraživanja (Slika 24). Podaci su prikazani pravcima (vektorima) čija dužina i smjer pokazuju u kakvoj su međusobnoj ovisnosti. Pozitivna korelacija očituje se u približno jednakoj dužini vektora i istom smjeru, dok se negativna očituje u njihovom suprotnom smjeru i različitoj dužini. Prema redundacijskoj analizi, kasno proljetno razdoblje karakterizirano je višom koncentracijom nitrita, ukupnog fosfora, višim vodostajem Dunava i razvojem vrsta iz funkcionalne skupine D. Vidljivo je da su u ljetnom razdoblju dobro

bile razvijene vrste iz funkcionalnih skupina H1, X1, Lo. Vrste iz roda *Anabaena* pripadaju funkcionalnoj skupini H1 kojoj odgovaraju veće temperature vode, veća dubina vode i manjak hranjivih tvari. Jednako tako vrste poput *Merismopedia glauca* (Lo funkcionalna skupina) i *Monoraphidium irregulare* (X1 funkcionalna skupina) dobro se razvijaju u ljetnom razdoblju. Zimsko razdoblje karakteriziraju viša koncentracija nitrata, visoka koncetracija dušik te povećani konduktivitet. Funkcionalna skupina X3 dominira u zimskom razdoblju. Predstavnik te funkcionalne skupine je *Koliela longiseta.*



Slika 24. Ordinacijski dijagram redundacijske analize na temelju funkcionalnih skupina fitoplanktona i fizikalno kemijskih čimbenika na lokalitetima Kopačko jezero i Hordovanj tijekom 2013. i 2014. godine

4. RASPRAVA

Istraživanje je provedeno u svrhu utvrđivanja strukture fitoplanktonskih zajednica u poplavnom području tijekom ljetnog i zimskog razdoblja. Istraživani lokaliteti nalaze se u Parku prirode Kopački rit koji je poplavno područje u kojem vladaju posebni ekološki i hidrološki uvjeti. Na takvim područjima poplave su glavni pokretački mehanizmi koji određuju povezanost i fluktuaciju tvari i organizama između poplavnog područja i rijeke (Junk i sur., 1989). Uzorci su uzeti u zimskom i ljetnom razdoblju kada su vladali stabilni hidrološki uvjeti. Također je uzet uzorak u kasno proljetnom razdoblju kada je zabilježen visoki vodostaj plavljenja kako bi se mogla analizirati dinamika razvoja i gustoća fitoplanktonskih zajednica u ovisnosti o plavljenju, tj. glavnom uzroku mijenjanja strukture zajednice unutar poplavnog područja (Mihaljević i sur., 2013).

Statističkom obradom podataka (hijerarhijska klaster analiza, nemetrijsko višedimenzijsko grupiranje i redundacijska analiza), a na temelju i fizikalno-kemijskih čimbenika i funkcionalnih skupina fitoplanktona, jasno je vidljiva podjela uzoraka prema zimskom, kasno proljetnom i ljetnom razdoblju.

Poznato je da struktura i dinamika fitoplanktona tijekom zime ovise o prethodnoj sezoni, ledu i klimatskim promjenama (Dokulil i sur., 2014). Provodljivost i pH unutar vode direktno ovise o temperaturi vode. pH vrijednost se tijekom zimskog razdoblja nije značajno mijenjala već je bila u rasponu 8-8,5, što odgovara dosadašnjim istraživanjima Kopačkog rita koja su pokazala da je voda unutar rita blago alkalna (Mihaljević i sur., 2006). Kako su u prosincu 2013. i 2014. godine vladali stabilni hidrološki uvjeti koncentracija fosfora i dušika nije pokazivala značajne odmake sve do kasno proljetnog, odnosno ljetnog razdoblja. U zimskom razdoblju je utvrđen manji broj jedinki fitoplanktona ($8{,}83 \times 10^6 - 9{,}88 \times 10^6$) u odnosu na ljetno razdoblje, a poznato je da je primarna produkcija tijekom zime obično niža zbog nedovoljne količine sunčeve svjetlosti (Dokulil i sur., 2014). Provodljivost vode tijekom istraživanja bila je najveća u prosincu 2013. godine tijekom nižih vodostaja (800 µS/cm). Općenito, provodljivost vode je obrnuto proporcionalna vremenu trajanja hidrološke povezanosti rijeke i poplavnog područja (Hein i sur., 2004). Prema redundacijskoj analizi fitoplanktonskoj zajednici u zimskom razdoblju pogodovala je niža temperatura vode, manja dubina vode i veće koncentracije hranjivih tvari, posebno dušika (Slika 24). Dominantne funkcionalne skupine u obje godine u zimskom razdoblju (2013. i 2014. godine) bile su C, D i X1. U prosincu 2013. godine još je

dobro razvijena bila i X3 funkcionalna skupina, a u prosincu 2014. godine J i TB skupine. Poznato je da funkcionalnu skupinu C (*Cyclotella meneghiniana*) karakteriziraju vrste koje naseljavaju eutrofna, mala i srednja jezera, osjetljive su na temperaturnu stratifikaciju i tolerantne su na manju količinu svjetlosti (Padisák i sur., 2009). Funkcionalna skupina D (*Stephanodiscus hantzschii, Fragilaria acus, Ulnaria ulna*) karakteristična je skupina za plitka jezera s velikom količinom hranjivih tvari, uključujući i rijeke (Padisák i sur., 2009). Dominacija dijatomeja tijekom zime utvrđena je i dosadašnjim istraživanjima u Sakadaškom jezeru Kopačkog rita (Mihaljević i sur., 2009). Vrste iz X1 funkcionalne skupine (*Monoraphidium contortum, Monoraphidium irregulare* i *Didymocystis planctonica*) naseljavaju plitka jezera, tolerantne su na stratifikaciju, osjetljive su na nedostatak hranjivih tvari, a mogu se pojavljivati tijekom cijele godine pa tako i u zimskom razdoblju (Reynolds i sur., 2002; Padisák i sur., 2009). U funkcionalnoj skupini X3 (*Koliela* spp.*)* se nalaze vrste vrste koje naseljavaju plitke oligotrofne vode i osjetljive su na hranidbeni pritisak zooplanktona (Padisák i sur.,2009). Međutim, u ovom istraživanju su bile dobro razvijene u uvjetima visoke koncentracije hranjivih tvari te su vjerojatno drugi čimbenici, kao što je izrazito mala dubina jezera (0,88 m) i prozirnost koja je bila do samog dna, pogodovali njihovom razvoju. Na temelju redundacijske analize također je vidljivo da je X3 skupini pogodovala niža temperatura vode.

Ljetna zajednica razmatrala se u različitim hidrološkim uvjetima – uvjetima poplave (kraj svibnja) i uvjetima izoliranosti poplavnog područja od matične rijeke (srpanj). Općenito, plavljenje u kasnoproljetnom i ljetnom razdoblju može se okarakterizirati kao čimbenik poremećaja u sezonskom razvoju fitoplanktona koji može imati negativni utjecaj na njegov razvoj (Reynolds i sur., 1993). Vodostaj Dunava krajem svibnja iznosio je preko 5 m te je voda ulazila u poplavno područje, a takvi uvjeti pogodovali su razvoju vrsta iz C i D funkcionalnih skupina što je vidljivo i iz redundacijske analize. Razlog njihove velike brojnosti u kasno proljeće je, osim pogodnih fizikalno-kemijskih čimbenika, i njihov priljev iz rijeke Dunav. Poznato je da su vrste iz ovih skupina (*Stephanodiscus hantzschii, Fragilaria acus, Ulnaria ulna*) tipične, konstantne vrste rijeke Dunav (Schmidt, 1992). Na količinski sastav fitoplanktona utječe i količina nutrijenata, posebno fosfora i dušika (Reynolds i sur., 2002), a poznato je da je vrijeme trajanja hidrološke povezanosti poplavnog područja i rijeke jedan od glavnih čimbenika koji utječe na koncentraciju hranjivih tvari u riječnim poplavnim područjima (Hein i sur.,2003). Skupina D se razvila u uvjetima visoke koncentraciji ukupnog fosfora što je vidljivo i prema redundacijskoj analizi. Osim funkcionalnih skupina C i D, bile su dobro razvijene i skupine: J, X1 i Y. *Actinastrum hantzschii,* te vrste iz rodova *Scenedesmus* i

Tetraedron pripadaju funkcionalnoj skupini J koju odlikuju vrste koje naseljavaju vode u kojima dolazi do miješanja vodenog stupca, te su osjetljive na manjak količine svjetlosti (Padisák i sur., 2009). Rezultati pokazuju kako je najviša zastupljenost funkcionalne skupine J upravo bila za vrijeme visokog vodostaja rijeke Dunav i plavljenja Kopačkog jezera (Slika 20). Poznato je da je Dunavska voda bogata suspendiranim tvarima (Kiss i sur., 2000), a plavljenjem dolazi do razmjene čestica vode i sedimenta između poplavnog područja i rijeke (Hein i sur., 2003). Vrste roda *Cryptomonas* (funkcionalna skupina Y) se pojavljuju kada je rijeka duži period povezana s jezerom (Mihaljević i sur., 2015) te imaju bržu sposobnost iskorištavanja nutrijenata i prilagođavanja miješanju stupca vode (Oliveira i Calheiros, 2000). Funkcionalna skupina X1 (*Monoraphidium* spp.) odlikuje se vrstama koje naseljavaju plitke, eutrofne do hipertrofne vode, te su tolerantne na stratifikaciju, a osjetljive na nedostatak hranjivih tvari. Visoki vodostaj i veća temperatura vode doveli su do razvoja fitoplanktonskih vrsta iz funkcionalne skupne X1. Razvoj spomenutih vrste pokazuje početak razvoja klorokokalnih algi koje će u ljetnom periodu uz cijanobakterije preuzeti dominaciju.

Ljetno razdoblje istraživanja karakterizirano je stabilnim hidrološkim uvjetima. Nizak vodostaj rijeke Dunav u ljetnom razdoblju dovodi do razvoja visoke gustoće fitoplanktona (Kiss i sur. 2006). Utvrđen je značajni porast broja jedinki. Pa tako od sredine mjeseca srpnja kada je broj jedinki $39{,}31\times10^6$ dolazi do kraja mjeseca na vrijednost od $87{,}52\times10^6$ jed./L. Sredinom srpnja dominantne funkcionalne skupine su bile: C, D, H1, J, W1, X1; dok su krajem mjeseca dominantne funkcionalne skupine: H1, J, Lo, S1, X1. Prema RDA može se vidjeti da su vrste iz funkcionalne skupine H1 (*Romeria* sp.) dominantne u oba uzorka u srpnju 2014. godine. Stabilni hidrološki uvjeti, nedostatak dušika, stratifikacija i mala dubina vode poznati su čimbenici (Reynolds i sur., 2002) koji pogoduju razvoju vrsta iz ove skupine. *Romeria sp.* je cijanobakterija koja je okarakterizirana kao najjednostavnija filamentozna cijanobakterija (Komárek, 2001) te ima sposobnost razvijanja heterocita u uvjetima nedostatka dušika u vodi (Komárek, 2001). Međutim, u ovom istraživanju nije utvrđen razvoj heterocita, vjerojatno jer je koncentracija dušika bila dovoljna (900 µg/L). Najdominantnija je vrsta u ljetnom razdoblju sa zastupljenošću od 28,99-38,67%. Vrste koje naseljavaju vode s izmiješanim slojevima, a osjetljive su na „ispiranje“ pripadaju u funkcionalnu skupinu S1. Ova skupina uključuje cijanobakterije koje su tolerantne na manju količinu svjetlosti, a tipični predstavnik je *Planktothrix agardhii.* Prozirnost vode, kao pokazatelj razvoja vrsta, u odnosu na dubinu vode tijekom mjeseca srpnja bila je značajno manja (Slika 4), što jasno pokazuje i RDA. Osim navedenih čimbenika intenzivna interakcija sedimenta i vode u plitkim izmiješanim slojevima

je također jedan od čimbenika koji pogoduje razvoju vrsta iz S1 funkcionalne skupine (Nixdorf i sur., 2003). Vrsta *Planktothrix agardhii* dobro je poznata i istražena u dosadašnjim istraživanjima Sakadaškog jezera. U situacijama kada dolazi do miješanja vode (prije i poslije poplave) ona predstavlja dominantnu vrstu unutar jezera (Mihaljević i sur., 2015). Prema RDA funkcionalna skupina kojoj su pogodovali stabilni hidrološki uvjeti, viša temperatura vode, te viša dubina vode jest Lo. Vrste ove skupine osjetljive su na miješanje stupca vode i tipični predstavnici su: *Merismopedia glauca, Gomphosphaeria lacustris, Snowella lacustri*. Prema rezultatima (Slika 19) *Gomphosphaeria lacustris* (zastupljenost između 4,63-5,2%) je jedna od dominantnih vrsta unutar ljetnog razdoblja.

Istraživanja plitkih jezera baziraju se na vegetacijska razdoblja, dok su zimska razdoblja vrlo slabo istražena. Okolišni čimbenici i fitoplanktonske zajednice koje se razvijaju u zimskom razdoblju bitni su za općenito razumijevanje sezonskih i godišnjih promjena unutar plitkih jezera.

5. ZAKLJUČAK

Na temelju statističkih analiza, vidljiva je podjela uzoraka u 2 grupe. Prva grupa je zimsko razdoblje koje karakteriziraju stabilni hidrološki uvjeti, mala dubina vode, nizak vodostaj rijeke Dunav, niža temperatura zraka i visoke koncentracije hranjivih tvari. Druga grupa je podijeljena na dvije podgrupe: kasno proljetno razdoblje koje karakterizira visok vodostaj rijeke Dunav i poplavno razdoblje te ljetno razdoblje koje karakteriziraju stabilni hidrološki uvjeti. Istraživanjem je utvrđeno da se fitoplanktonska zajednica u zimskom razdoblju razlikuje od zajednice u ljetnom razdoblju. Tijekom cijelog istraživanja značajna je zastupljenost vrsta iz funkcionalnih skupina C, D i X1. Zimsko razdoblje bogato je centralnim dijatomejama (*Cyclotella meneghiniana i Stephanodiscus hantzschii*) koje čine glavninu u zastupljenosti brojem jedinki. Vrste iz sve tri skupine ovise o koncentraciji hranjivih tvari, a koncentracije hranjivih tvari upravo su bile najviše u zimskom razdoblju. Tijekom kasno proljetnog razdoblja dolazi do miješanja stupca vode uslijed poplave, te takvi uvjeti pogoduju vrstama iz funkcionalnih skupina: J, Y i X1. *Monoraphidium irregulare* (J) i *Actinastrum hantzschii* (X1), kao predstavnici kasno proljetne zajednice pokazuju kako su: visok vodostaj rijeke Dunav, visoke koncentracije hranjivih tvari i visoka zasićenost kisikom pogodovali razvoju vrsta iz tih funkcionalnih skupina. Tijekom ljeta fitoplanktonska zajednica je bila bogatija vrstama, razvile su se skupine karakteristične za uvjete visoke koncentracije hranjivih tvari, stabilnog stupca vode i visoke temperature vode. Sukladno tome dominantne funkcionalne skupine su: H1, S1, J i X1. *Romeria sp*. i *Planktothrix agardhii* (H1) dominantne su vrste u ljetnom razdoblju.

6. LITERATURA

Abonyi A, Leitão M, Lançon AM, Padisák J. 2012. Phytoplankton functional groups as indicator of human impacts along the River Loire (France). Hydrobiologia 698:233-249.

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

Anagnostidis K., Komárek J. 1988. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 3. Oscillatoriales. Arch Hydrobiol Suppl 80¼: 327-472.

APHA (American Public Health Association) 1985. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, Washington, DC

Ayşe Everest, Doğan Can Aslan (2016) Seasonal Diatom Density Investigation of the Mersin Rivers. World Journal of Research and Review (WJRR) ISSN:2455-3956,

Borics G., Grigorszky I., Szabó S., Padisák J. 2000. Phytoplankton associations in a small hypertrophic fishpond in East Hungary during a change from bottom-up to top-down control. Hydrobiologia 424: 79-90.

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

Cony, N.L. & Ferrer, N.C. & Cáceres, E.J.. (2017). Dynamics of the phytoplankton community of an Argentine Pampean wetland in relation to water environmental variables. Hidrobiologica. 27. 93-102.

de Oliveira M.D., Calheiros D.F. 2000. Flood pulse influence on phytoplankton communities of the south Pantanal floodplain, Brazil. Hydrobiologia 427: 101-112.

Dokulil M.T., Mayer J. 1996. Population dynamics and photosynthetic rates of a Cylindrospermopsis - Limnothrix association in a highly eutrophic urban lake, Alte Donau, Vienna, Austria. Algological Studies 83: 179-195.

Dokulil MD, Alois Herziga, Boglárka Somogyib, Lajos Vörösb, Karl Donabaumc, Linda Mayd, and Tiina Nõgese (2014) Winter conditions in six European shallow lakes: a comparative synopsis. Estonian Journal of Ecology, 2014, **63**, 3, 111.129

Đurkić I. 2015 Horizontalna distribucija fitoplanktona u poplavnom području Kopačkog rita. Diplomski rad. Osijek

Gucunski D. 1972. Sezonske oscilacije fitoplanktona u zaštićenom području Kopačkog rita. Magistarski rad. Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, pp. 145.

Gucunski D. 1994. Važnost zaštite hidrološkog sustava Specijanog zoološkog rezervata Kopački rit. Zbornik ekoloških radova "Problemi u zaštiti okoliša", Osijek 1: 15-23.

Guiry MD, Guiry GM. 2014 Algaebase. World-wide electronic publication, National University of ireland, Galway. http://www.algaebase.org

Hein T., Baranyi C., Herndl G.J., Wanek W., Schiemer F. 2003. Allochthonous and autochthonous particulate organic matter in floodplains of the River Danube: the importance of hydrological connectivity. Freshwater Biol 48: 220-232.

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

Hillebrand H, Durselen CD, Kirchtel D, Pollingher U, Zohory T, 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. Journal of Phycology 35:403-424

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

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

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

Horvatić J., Mihaljević M., Stević F. 2003. Algal growth potential of *Chlorella kessleri* FOTT et NOV. in comparison with in situ microphytoplankton dynamics in the water of Lake Sakadaš marshes. Period Biol 105: 307-312.

Hutchinson GE, 1957. Concluding Remarks. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology, 22:415- 422.

Hutchinson, G.E. (1967). *A Treatise on Limnology*, vol.2. *Introduction to Lake Biology and the Limnoplankton*. New York: John Wiley

Junk W.J., Bayley P.B., Sparks R.E. 1989. The flood pulse concept in river floodplain system. Can Spec Publ Fish Aquat Sci 106: 110-127.

Kiss K.T., Éva Ács, Szabó E.K., Bence Tóth, Kiss A.K. Alteration in the summer phytoplankton abundance from medium to lowwater level conditions in the River Danube

Kiss K.T., Pápista É.K., Ács É., Makk J. 2000. Comparison of phytoplankton of 80s and late 90s in a large side arm of the Danube River (Soroksár-Danube - Hungary). In: Horvatić, J. (ed), Proceedings of 33rd Conference of the International Association for Danube Research. Osijek, Croatia, 3-9 September 2000. J. J. Strossmayer University, Faculty of education, Croatian Ecological Society, Osijek, pp. 103-110.

Komárek J. (2001) Review of the cyanoprokaryotic genus Romeria. Czech Phycology, Olomouc, 1: 5-19

Komarek, J. 1973. The communities of algae of Opatovicky Fishpond (South Bohemia). In: Heiny, S. (ed.), Ecosystem on Wetland Biome in Czechoslovakia. Czechosl. IBP/PT-PP Report No 3, Trebon, 179-184.

Kong, Xiang-Zhen & He, Wei & Qin, Ning & Liu, Wenxiu & Yang, Bin & Yang, Chen & Xu, Fuliu & Mooij, Wolf & Koelmans, Albert. (2017). Integrated ecological and chemical food web accumulation modeling explains PAH temporal trends during regime shifts in a shallow lake. Water Research. 119. . 10.1016/j.watres.2017.04.042.

Lebinac M. 2011. Horizontalna distribucija fitoplanktona u poplavnom području Kopačkog rit. Diplomski rad. Osijek

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

Mihaljević M, Stević F, Špoljarić D, Žuna Pfeiffer T. 2014. Spatial pattern of phytoplankton based on the morphology-based functional approach along a river-floodplain gradient. River Res Appl doi: 10.1002/rra.2739.

Mihaljević M, Špoljarić D, Stević F, Cvijanović V, Hackenberger-Kutuzović B. 2010. The influence of extreme floods from the River Danube in 2006 on phytoplankton communities in a floodplain lake: Shift to a clear state. Limnology 40:260-268.

Mihaljević M, Žuna Pfeiffer T, Stević F, Špoljarić D. 2013. Dynamics of phytoplankton and periphytic algae in a danubian floodplain lake: A comprative study under altered hydrological conditions. Fresen Environ Bull 22:2516-2523.

Mihaljević M., Getz D., Tadić Z., Živanović B., Gucunski D., Topić J., Kalinović I., Mikuska J. 1999. Kopački Rit - Research Survey and Bibliography. Croatian Academy of Arts and Sciences, Zagreb.

Mihaljević M., Novoselić D. 2000. Trophic state of Lake Sakadaš (Nature Reserve Kopački rit) in the late autumnal and winter period of 1997/98. Period Biol 102: 253-257.

Mihaljević M., Stević F., Horvatić J. 2004: The influence of extremely high floodings of the Danube River (in August 2002) on the trophic conditions of Lake Sakadaš (Nature Park Kopački rit, Croatia). Limnological Reports, Novi Sad, Serbia and Monte Negro 35: 115-121.

Mihaljević M., Stević F., Špoljarić D., Žuna Pfeiffer T. (2015) Spatial pattern of phtoplankton based od the morphology-based functional approach along a river-floodplain gradient. River Res. Applic. 31: 228–238

Mikuska J. 1979. Ekološke osobine i zaštita specijalnog zoološkog rezervata „Kopački rit“ s posebnim osvrtom na ekologiju kralješnjaka. Disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Nixdorf B., Mischke U., Rücker J. 2003. Phytoplankton assemblages and steady state in deep and shallow eutrophic lakes – an approach to differentiate the habitat properties of Oscillatoriales. Hydrobiologia 502: 111-121.

Padisák J. 1992. Seasonal succession of phytoplankton in a large shallow lake (Balaton, Hungary) - a dynamic approach to ecological memory, its possible role and mechanisms. J Ecol 80: 217-230.

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.

Padisák J., Crossetti L.O., Naselli-Flores L. 2009. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. Hydrobiologia 621: 1-19.

Reynolds C.S. 1993. Scales of disturbance and their role in plankton ecology. Hydrobiologia 249: 157-171.

Reynolds C.S. 2006. The Ecology of Phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge

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: 417-428.

Reynolds C.S., Irish A.E., 1997. Modelling phytoplankton dynamics in lakes and reservoirs: the problem of in-situ growth rates. Hydrobiologia 349: 5-17.

Reynolds, C.S., Wiseman, S.W. and Clarke, m.J.O. (1984). Growth-and loss_rate response to intermittent artificial mixing and their potential application to the control of planktonic algal biomass. *Journal of Applied Ecology*, 21, 11-39

Ruttner, F. (1953). *Fundamentals of Limnology*. (Translated by D.G. frey and F.E.D. Fry) Toronto: Universitiy of Toronto Press.

Schefer M. 2001. Ecology of Shallow Lakes. Kluwer academic publishers, the Netherlands 02-0601-350

Scheffer M. 1998. Ecology of shallow lakes. Chapman & Hall, New York.

Schmidt A. 1992. Das Phytoplankton, das Phytobenthos und die Makrophyten der Donau. Wien, Limnologische Berichte Donau 77-101.

Sieburth, J.McN., Smetacek, V. and Lenz, J.(1978). Pelagic ecosystems structure: heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnology and Oceanography*, 23. 1256-63

Sommer U, Gliwicz ZM, Lampert W, Duncan A. 1986. PEG-model of Seasonal Succession of Planktonic Events in Fresh Waters. Hydrobiology 106(4):443-471

Sommer U. 1989. Toward a Darwinian Ecology of Plankton. In Sommer, U. (ed), Plankton ecology. Springer-Verlag, Berlin, Heildelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1-8.

Stević F, Mihaljević M, Špoljarić D, (2013) Changes of phytoplankton functional groups in a floodplain lake associated with hydrological perturbations. Hydrobiologia DOI 10.1007/s10750-013-1444-6

Stević F. 2006. Sukcesije funkcionalnih skupina fitoplanktona u poplavnom području (Sakadaško jezero, PP Kopački rit). Magistarski rad. Osijek, pp. 100.

Stević F. 2011. Složenost utjecaja poplava na strukturu i dinamiku fitoplanktona poplavnog područja. Disertacija. Osijek

Strickland JDH, Parsons TR. 1972 A practical handbook of seawater analysis. Fisheries Reasearch Bord of Canada, Ottawa, Bulletin 167:1-310

Štivčević M. 2013. Utjecaj poplava na vertikalnu distribuciju fitoplanktona Sakadaškog jezera. Diplomski rad. Osijek

Ter Braak C.J.F., Šmilauer P. 1998. CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows: Software for Canonical Community Ordination. Microcomputer Power, New York.

Utermöhl H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitteilungen der internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie 9: 1-38.

Vidaković J, Bogut I, Borić E, Zahirović Ž.2002 Hidrobiološka istraživanja u parku prirode Kopački rit u razdoblju od studenog 1997. do listopada 2001. hrvatske vode 10 (39): 127-144

Vörös, L., Mózes, A., and Somogyi, B. 2009. A five-year study of autotrophic winter picoplankton in Lake Balaton, Hungary. Aquatic Ecology, 43, 727-734.

Web izvor

1. http://www.zanimljivosti.hr/park-prirode-kopacki-rit/