TOKSIČNE CVATNJE ALGI U SLATKOVODNIM EKOSUSTAVIMA

Horvatić, Dora

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

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:181:218394

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-19**

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 J. J. Strossmayera u Osijeku
Odjel za biologiju
Preddiplomski studij biologije

Dora Horvatić

Toksične cvatnje algi u slatkovodnim ekosustavima

Završni rad

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Melita Mihaljević

Osijek, rujan 2015.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku **Završni rad**
Odjel za biologiju
Preddiplomski sveučilišni studij Biologija; smjer: znanstveni

Znanstveno područje: Prirodne znanosti
Znanstveno polje: Biologija

TOKSIČNE CVATNJE ALGI U SLATKOVODNIM EKOSUSTAVIMA

Dora Horvatić

Rad je izrađen: Zavod za ekologiju voda, Odjel za biologiju, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Mentor: izv. prof. dr. sc. Melita Mihaljević

Kratak sažetak završnog rada

U ovom su radu istraženi i pregledno iznijeti dostupni podatci o toksičnoj cvatnji cijanobakterija u slatkovodnim ekosustavima, s posebnim naglaskom na pojavi cvatnji cijanobakterija u Kopačkom ritu. Dobiveni rezultati ukazuju da se cijanobakterije često masovno razvijaju u eutrofnim slatkovodnim ekosustavima, a posebno u plitkim jezerima kao što su jezera u poplavnom području Kopačkog rita. Njihov je razvoj uvjetovan brojnim čimbenicima, među kojima su najvažniji koncentracija nutrijenata, temperatura i prozirnost vode, morfometrija jezera, struktura hranidbenih lanaca, kao i uvjeti miješanja vode i sedimenta. Mnoge vrste cijanobakterija iz rodova *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Cylindrospermopsis* i *Planktothrix*, a koje se pojavljuju i u vodama Kopačkog rita sadrže različite vrste toksina (mikrocistin, anatoksin-a, saxitoksin, cilindrospermopsin). Tijekom njihova masovnog razvoja dolazi do otpuštanja cijanotoksina u vodu, što može dovesti do trovanja i pomora živog svijeta (biljaka, beskralješnjaka, riba i drugih životinja) koji žive u vodi ili piju vodu, pa su tako u opasnosti i ljudi. Posebna pozornost u posljednjim desetljećima pridaje se praćenju širenja tropske invazivne toksične vrste *Cylindrospermopsis raciborskii* u europskim vodama.

Broj stranica: 21
Broj slika: 10
Broj tablica: 2
Broj literaturnih navoda: 23
Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi:cijanobakterije, toksini, „cvjetanje“ alga, slatkovodni ekosustavi

Rad je pohranjen u:knjižnici Odjela za biologiju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku te je objavljen na web stranici Odjela za biologiju.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek **Final Paper**
Department of Biology
Undergraduate studies in Biology

Scientific Area: Natural Science
Scientific Field: Biology

TOXIC ALGAL BLOOMS IN FRESHWATER ECOSYSTEMS

Dora Horvatić

Paper performed at: Subdepartment of Water Ecology, Department of Biology,Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Supervisor: Melita Mihaljević, PhD, Associate Professor

Summary

This paper represents a comprehensive review of the available data on toxic algal blooms in freshwater ecosystems, with emphasis on the appearance of cyanobacterial blooms in Kopački rit floodplain. The results indicate that cyanobacteria often bloom extensively in eutrophic freshwater ecosystems, especially in shallow lakes such as lakes in the floodplain wetland of Kopački rit. Their development is determined by many factors, among which the most important are nutrient concentrations, temperature, and watertransparency. Lake morphometry, the structure of the food chain, as well as conditions of mixing of water and sediment are also considered important. Many cyanobacterial species of the genera *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Cylindrospermopsis* and *Planktothrix*, which are appearing in the waters of Kopački rit, contain different types of toxins (microcystin, anatoxin-a, saxitoxin, cylindrospermopsin).During their development, the presence of high levels of cyanotoxins may occur, and this can lead to poisoning and the increased mortality of the living world (plants, invertebrates, fish and other animals) that live in the water or drink water. Particular attention in recent decades is given to monitoring the spread of tropical invasive species *Cylindrospermopsisraciborskii* in European waters.

Number of pages: 21
Number of figures: 10
Number of tables: 2
Number of references: 23
Original in: Croatian

Keywords: cyanobacteria, toxins, algal blooms, freshwater ecosystems

Thesis deposited in: Library of Department of Biology, University of Josip Juraj Strossmayer in Osijek

Sadržaj:

1. UVOD 1

1.1. Građa i podjela cijanobakterija 1
1.2. Toksini cijanobakterija 2
1.3.Cijanobakterije u slatkovodnim ekosustavima 5

2. OSNOVNI DIO 6

2.1. Dinamika razvoja fitoplanktona u slatkovodnim ekosustavima 6
2.2. Abiotički uvjeti i razvoj toksičnih cijanobakterija 7
2.2.1. Svjetlost i miješanje vode 7
2.2.2. Nutrijenti i razvoj cijanobakterija 11
2.3. Razvoj cijanobakterija u poplavnom području Kopačkog rita 12
2.4. Širenje tropske invazivne cijanobakterije *Cylindrospermopsis raciborskii* 14
2.5. Toksičnost u uvjetima „cvjetanja“ cijanobakterija 16

3. ZAKLJUČAK 19

4. LITERATURA 20

1. UVOD

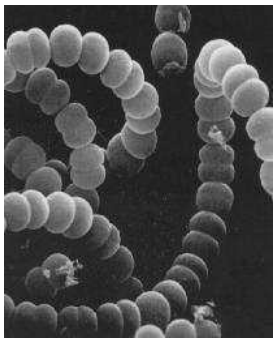
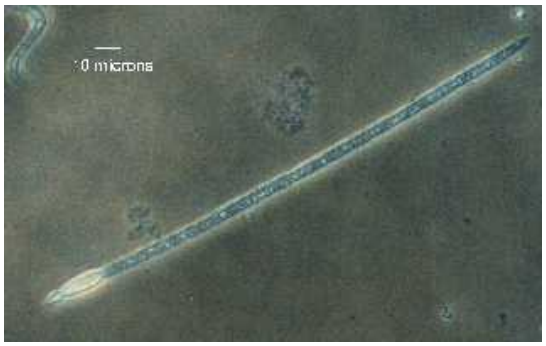
1. 1.Građa i podjela cijanobakterija

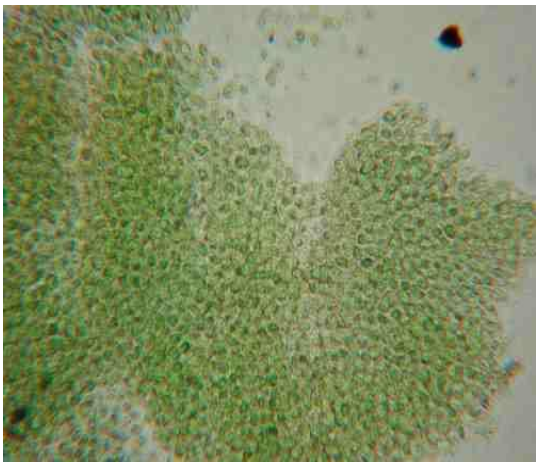
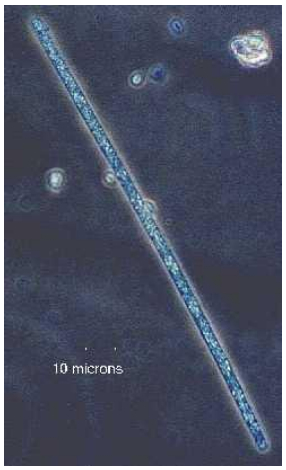
Cijanobakterije predstavljaju vrlo raznovrsnu grupu prokariotskih fotosintetskih mikroorganizama koji se odlikuju specifičnim ekološkim, fiziološkim i biokemijskim svojstvima. Cijanobakterije imaju specijalizirane proteinske komplekse fikobilisome koji su sastavljeni od fikobiliproteina. Fikobiliproteini sadrže biline, fikobiline i fikocijanine (koji zajedno s klorofilom-a daju karakterističnu plavo-zelenu boju mnogim vrstama) i alofikocijanine. Također mogu biti prisutni karotenoidi i fikoeritrin, koji daje crvenu boju u mnogih vrsta cijanobakterija. Protein-sintetizirajuće organele, ribosomi određuju tip bakterija.

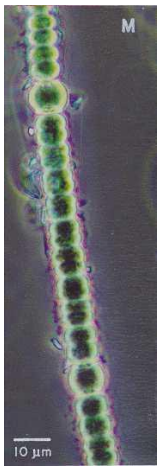
Fiksacija dušika je važna osobina nekih vrsta cijanobakterija. Kod nitastih cijanobakterija anaerobni uvjeti se postižu u specijaliziranim stanicama, heterocitama koje imaju debelu stijenku. Heterocite su poseban tip stanica koje nastaju reorganizacijom membranskih sustava unutar vegetativnih stanica. Vrste cijanobakterija koje nemaju heterocite mogu fiksirati dušik samo u anaerobnim uvjetima. Zbog razlike u veličini, obliku i položaju heterocita, one čine značajnu komponentu u identifikaciji vrste. Unutar heterocite enzim nitrogenaza reducira molekularni dušik do amonijaka, koji se ugrađuje u amino grupu glutamina (Falconer, 2005).

Drugi karakterističan tip stanica koje nalazimo kod filamentoznih cijanobakterija su akinete koje su obično veće od vegetativnih stanica sa zadebljanom staničnom stijenkom, a citoplazma im je više granulozna. Prema biljnoj klasifikaciji struktura organizama i kolonija koje formiraju cijanobakterije predstavlja temelj za njihovu klasifikaciju i identifikaciju. Neke od najčešćih i najzastupljenijih toksičnih cijanobakterija vidljive su na slici 1.

Postoji pet morfološki odvojenih skupina cijanobakterija: *Chroococcales, Oscillatoriales, Pleurocapsales, Nostocales* i *Stigonematales*. Razlikuju se jednostanični, lančasti (filamentozni ili nitasti ili končasti) i kolonijalni oblici sastavljeni od okruglih, štapićastih ili končastih stanica. Vanjski čimbenici (promjena biotopa) znatno utječu ne samo na oblik već i na boju cijanobakterije. Prilagodile su se različitim ekološkim uvjetima na Zemlji pa ih možemo naći u najrazličitijim staništima, od arktičkih i antarktičkih do vrućih izvora zahvaljujući njihovom vrlo fleksibilnom metabolizmu (Kunst, 2013).

a)  b)  c) 

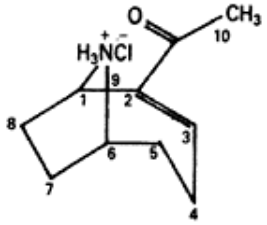
d)  e) 

f) 

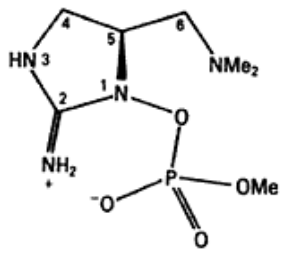
Slika 1. Odabrane vrste toksičnih cijanobakterija: a) *Anabaena circinalis* (Web 1), b) *Anabaena flos-aquae* (Web 2), c) *Cylindrospermopsis raciborskii* (Web 3), d) *Microcystis aeruginosa* (Web 4), e) *Planktotrix (Oscillatoria) agardhii*(Web 5), f) *Nodularia sp.* (Web 6)

1.2. Toksini cijanobakterija

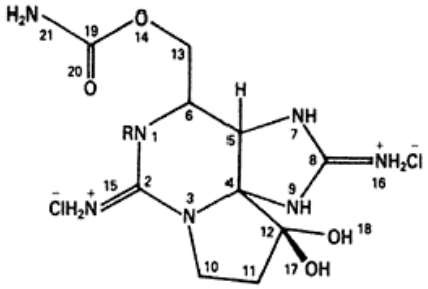
U uvjetima kada su slatkovodni ekosustavi bogati nutrijentima, a temperatura vode između 15 i 30^{o}C cijanobakterije i alge se mogu pojačano razvijati te se naglo povećava njihova ukupna biomasa, poznato kao „cvjetanje“ algi. Cijanobakterije mogu producirati široki spektar sekundarnih metabolita.Toksične biološki aktivne tvari različite kemijske strukture i djelovanja koji nisu dio metaboličkih puteva, već predstavljaju produkte sekundarnog biljnog metabolizma nazivaju se kod cijanobakterija cijanotoksini. Poznato je da mnogi rodovi cijanobakterija proizvode široki spektar toksina i bioaktivnih spojeva, a najćešći cijanotoksini su hepatotoksini, nakon čega slijede neurotoksini (Pavić i sur., 2012). Toksini cijanobakterija uključuju niz kemijskih spojeva među kojima dominiraju alkaloidi i peptidi. Kada se voda kontaminirana stanicama koje sadrže toksine konzumira, toksini se oslobađaju u probavni trakt. U povećanoj koncentraciji toksini izazivaju kliničko oštećenje ili čak smrt. Iz cijanobakterija su izolirana tri tipa alkaloida neurotoksina, prikazana na slici 2.



Anatoksin-a-hidroklorid



Anatoksin-a(s)

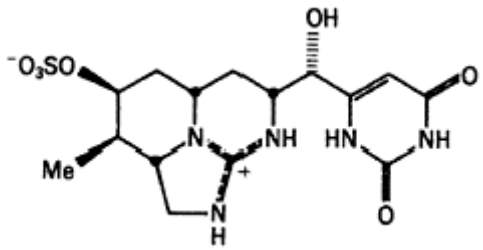


Slika 2. Neurotoksični alkaloidi u cijanobakterija (Falconer, 2005).

R = H; saksitoksin dihidroklorid

R = OH; neosaksitoksin dihidroklorid

Anatoksin-a djeluje na neuromuskularnu vezu pri čemu dolazi do vrtoglavice, otežanog disanja, paralize grudnih mišića, konvulzije i smrti. Anatoksin-a(s) ireverzibilno inhibira enzim acetilkolin esterazu, što kod životinja izaziva dijareju, cijanozu (modar jezik i usta) i smrt. Treći neurotoksični alkaloidi u cijanobakterija su saksitoksini koji predstavljaju grupu karbamidnih alkaloida. Najintenzivnije otrovanje izazvao je slučaj uzrokovan saksitoksinima iz slatkovodne cijanobakterije *Anabaena circinalis* koja je tvorila „vodni cvijet“pokrivajući oko 1000 km rijeke Darling u Australiji ljeti 1990. godine.

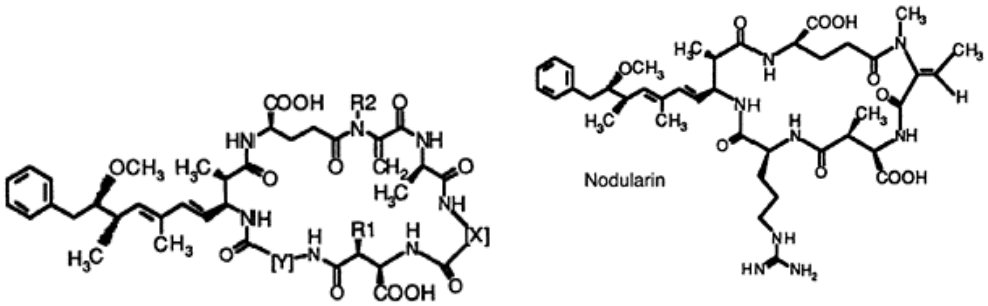


Cilindrospermopsin

Slika 3. Citotoksični alkaloid u cijanobakterija (Falconer, 2005).

Ciklični alkaloid guanidina cilindrospermopsin (slika 3) izoliran je iz vrste *C. raciborskii*. Toksično djelovanje se iskazuje kao inhibicija sinteze proteina, oštećenje bubrega, crijeva,

srca. Toksin izaziva nekrozu hepatocita, što dovodi do ozbiljnih oštećenja jetre. Također djeluje i na druge stanice različitih tkiva zbog čega se svrstava u citotoksične cijanotoksine. Najzastupljeniji u površinskim vodama su mikrocistini. Mikrocistin inhibira serin/treonin protein fosfataze koje su važne u regulaciji genetičkih, metaboličkih i fizioloških procesa kod svih živih organizama. Dolazi do poremećaja strukture i funkcije jetre, a može se javiti i kolaps srca i šok. Mikrocistin i nodularin nazvani su prema rodovima *Microcystis* i *Nodularia,* prva dva roda toksičnih cijanobakterija iz kojih su izolirani toksini, slika 4 (Falconer, 2005).



Mikrocistin Nodularin

Slika 4. Ciklični peptidni hepatotoksini u cijanobakterija (Falconer, 2005).

Tijekom razdoblja intenzivnog rasta cijanobakterije troše puno kisika, a kada ga nestane dolazi do njihova odumiranja i kao posljedica, dolazi do otpuštanja cijanotoksina u vodu, što može dovesti do trovanja i pomora živog svijeta (biljaka, beskralješnjaka, riba i drugih životinja) koji žive u vodi ili piju zatrovanu vodu. Jednako tako u opasnosti su i ljudi koji se hrane ribama koje su prethodno bile izložene djelovanju cijanotoksina, te kupači u vodama tijekom intenzivnog cvjetanja. Mnogo je slučajeva smrti stoke nakon konzumiranja vode u kojima je zabilježeno cvjetanje cijanobakterija, slika 5.

a)  b) 

Slika 5 a) Vodni cvijet vrste *Aphanizomenon flos aquae* jezeru Surrey, UK. (Web 7); b) Toksini cijanobakterija ugrožavaju sve organizme (Web 8).

1.3. Cijanobakterije u slatkovodnim ekosustavima

Dominacija cijanobakterija u slatkovodnim ekosustavima uvjetovana je brojnim čimbenicima, među kojima su najvažniji koncentracija nutrijenata, temperatura vode, prozirnost vode, morfometrija jezera, struktura hranidbenog lanca, kao i uvjeti miješanja vode i sedimenta.

U jezerima razlikujemo osvijetljeni (eufotični) i neosvijetljeni (afotični) sloj. U afotičnom sloju je zbog odsutnosti svjetlosti količina fitoplanktona uglavnom izrazito mala. U pojedinim sezonama u jezerima postoji vertikalna stratifikacija temperature vode tako da možemo razlikovati nekoliko slojeva: epilimnion, metalimnion ili termoklinu i hipolimnion. Epilimnion je površinski sloj vode i prati sezonske promjene temperature zraka. Ispod njega se nalazi metalimnion ili termoklina, sloj u kojem dolazi do nagle promjene temperature vode, a hipolimnion je donji sloj koji ima stalno nisku temperaturu vode. U jezerima umjerenog pojasa postoji ljetna ili direktna i zimska ili obrnuta stratifikacija. U proljeće i jesen u takvim jezerima dolazi do pojave izotermije, tj. do izjednačavanja temperature vode u cijelom vertikalnom stupcu.

Uslijed mogućih posljedica klimatskih promjena na slaktovodne ekosustave, u slijedećoj bi dekadi moglo doći do porasta cvjetanja cijanobakterija. Široko prihvaćeni scenarij klimatskih promjena (IPCC i sur. 2007) ukazuje na globalno zagrijavanje sa povećanjem temperature vode i promjenama u hidrološkom režimu slatkovodnih ekosustava u umjerenoj zoni. U posljednjih 100 godina temperatura je rasla između 1 – 3^{o}C u velikim europskim rijekama kao što su Rajna i Dunav. Prema Mihaljević i Stević (2011) očekuje se visoka ljetna koncentracija klorofila-a i snažna dominacija cijanobakterija tijekom ljeta te smanjenje gustoće zooplanktona u plitkim jezerima. Nadalje, klimatske će promjene imati dalekosežne posljedice na režim rijeka, a čini se da će u slijedećim dekadama poplavna područja i slatke vode umjerenih područja u Europi koje su kroz povijest bile pod utjecajem krčenja i eutrofizacije biti osjetljive na klimatske promjene (Mihaljević i Stević, 2011).

Cilj je ovog rada je istražiti i pregledno iznijeti dostupne podatke o toksičnoj cvatnji cijanobakterija u slatkovodnim ekosustavima. Poseban naglasak biti će na pojavi cvatnji cijanobakterija u Kopačkom ritu i širenju tropske invazivne vrste roda *Cylindrospermopsis*.

2. OSNOVNI DIO

2.1. Dinamika razvoja fitoplankton u slatkovodnim ekosustavima

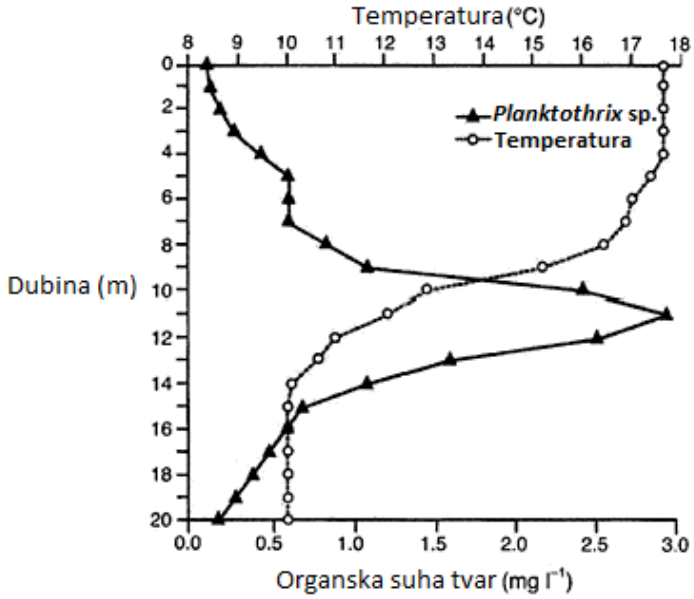
Fitoplankton je jedan od najznačajnijih pokazatelja promjena koje se događaju u slatkovodnim ekološkim sustavima. Za razvoj fitoplanktona od posebnog je značaja količina hranjivih tvari, prvenstveno dušika i fosfora. Glavni izvor dušika u vodi su nitrati, amonijevi ioni i otopljeni organski spojevi, ali pojedine cijanobakterije koje sadrže heterocite mogu fiksirati atmosferski dušik. Dušik može biti limitirajući faktor u razvoju fitoplanktona u jezerima koja imaju visoku koncentraciju fosfora ili u uvjetima u kojima dolazi do naglog smanjenja njegove koncentracije, posebno ljeti u epilimnionu (Reynolds, 1984).

Biotičke interakcije unutar hranidbenog lanca, tj. međusobni odnosi zooplanktona i fitoplanktona imaju utjecaj na sezonske sukcesije fitoplanktona. Do sukcesijskog slijeda zajednica fitoplanktona dolazi zbog zajedničkih utjecaja abiotičkih i biotičkih čimbenika. To potvrđuju i sustavna istraživanja planktonskih zajednica čiji su rezultati istraživanja poznati kao PEG model (Plankton Ecology Group–model) sezonskih sukcesija planktonskih zajednica (Sommer 1989). Prema tom modelu završetkom zimskog razdoblja dolazi do nesmetanog rasta i razvoja fitoplanktona zbog povećanog dotoka hranjivih tvari i količine svjetla. Počinje dominirati herbivorni zooplankton što dovodi do opadanja populacije algi malih dimenzija („grazing“). Kada populacija herbivornog zooplanktona prekorači reprodukciju i brojnost fitoplanktona dolazi do naglog smanjenja biomase fitoplanktona. Takav nagli pad količine fitoplanktona se uglavnom događa u proljetnom razdoblju i naziva se „faza čiste vode“. Ovo razdoblje može potrajati sve dok ne dođe do masovnog razvoja zooplanktonu „nejestivih“ algi. Tijekom ljetnog razdoblja rast herbivornog zooplanktona ograničava nedostatak hrane i dovodi do povećanja predacije ribe što uzrokuje smanjenje brojnosti zooplanktona. Kao posljedica toga dolazi do povećanja raznolikosti fitoplanktonskih zajednica. Dominantne postaju vrste iz razreda *Cryptophyceae* i *Bacillariophyceae* koje iscrpljuju ortofosfate. U jesenskom razdoblju uslijed niže temperature vode i manje količine svjetla dolazi do smanjenja biomase fitoplanktona i do zimskog minimuma, a za vrijeme tog procesa dolazi do recikliranja nutrijenata i njihove akumulacije.

2.2. Abiotički uvjeti i razvoj toksičnih cijanobakterija

2.2.1. Svjetlost i miješanje vode

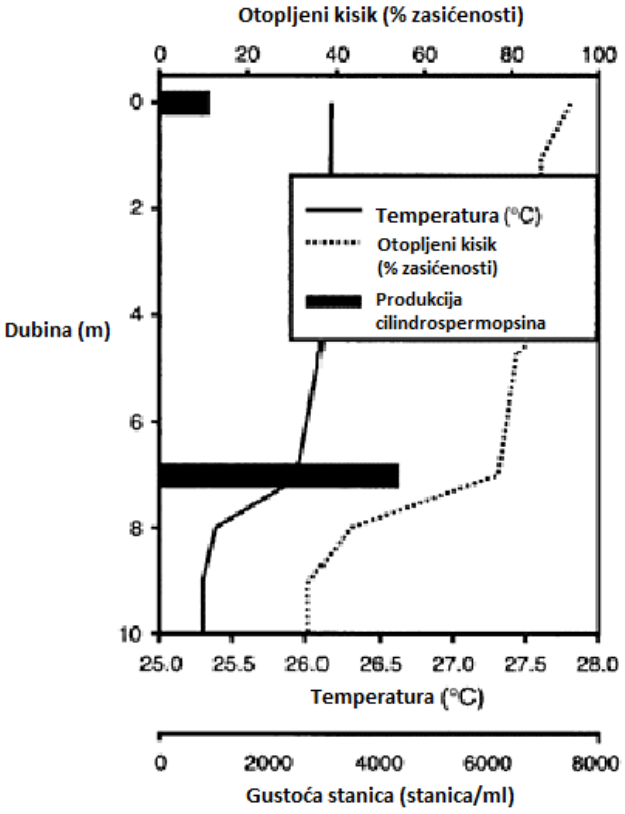
Dostupnost svjetla ima snažan utjecaj na dominaciju vrsta cijanobakterija i dubinu u kojoj se pojavljuju. Na primjer, u čistim hladnim jezerima sjeverne Europe i Skandinavije toksična filamentozna cijanobakterija *Planktothrix agardhii* stvara guste filamentozne lance u metalimnionu gdje je visok intenzitet svjetla pogodan za njezin rast, a prisutno je i obogaćivanje nutrijentima iz dubljih slojeva. U dovoljno čistim jezerima P. agardhii može tijekom ljeta biti razvijen u cijelom metalimnionu, što je prikazano na slici 6. U eufotičnoj, odnosno u dubini u kojoj se može detektirati 1% površinskog intenziteta svjetlosti odvija se fotosinteza. U vrlo čistim jezerima eufotična zona se pruža do najmanje 12 m, omogućujući efektivnu fotosintezu. Vrsta *P. agardhii* je posebno adaptirana na uvjete niskog osvjetljenja i stoga se može razvijati u dubinama ispod onih u kojima se nalaze druge cijanobakterije ili zelene alge. Budući da su nutrijenti u hipolimnionu obično u višim koncentracijama, mogućnostza rast u dubini je povoljna kada su iscrpljeni nutrijenti u epilimnionu (Falconer, 2005). Temperaturni profil i vertikalna distribucijavrste *Planktothrix sp*u dubokom stratificiranom jezeru u sjevernoj Europi ljeti je prikazan na slici 6.



Slika 6. Vertikalna distribucija vrste *Planktothrix sp.* u dubokom, termalno stratificiranom mezooligotrofnom jezeru tijekom cvjetanja), (Falconer, 2005).

U dubljim rijekama, jezerima i rezervoarima u subtropskom području koji su također karakteristični po ljetnoj stratifikaciji cijanobakterija *Cylindrospermopsis raciborskii* čini

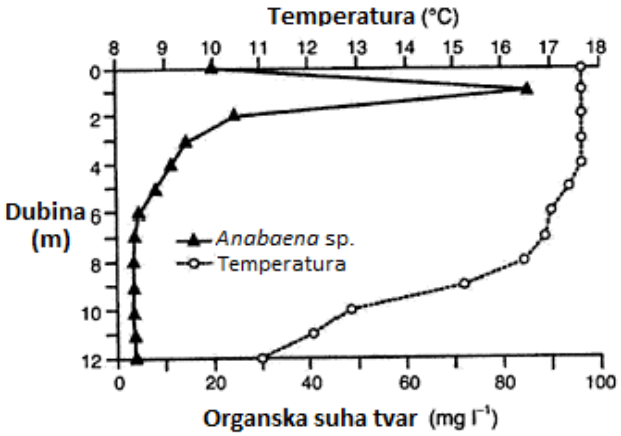
filamentozne oblike u dubljim slojevima do dna u eufotičnoj zoni (slika 7). Obje vrste toleriraju niske intenzitete svjetla i mogu biti udružene sa drugim sitnim filamentoznim cijanobakterijama, kao što su *Limnothrix redekei, Pseudanabaena limnetica* i *Planktolyngbya subtilis*.



Slika 7. Temperatura, zasićenost kisikom i produkcija cilindrospermopsina ovisno o gustoćistanica (st./ml), (Falconer, 2005).

Druge vrste cijanobakterija prevladavaju u plitkim, miješanim jezerima sa visokim intenzitetima svjetlosti. *Microcystis aeruginosa* pojavljuje se obično i u stratificiranim i u jezerima u kojima dolazi do miješanja vodenog stupca, s najvećom brzinom rasta u stratificiranim uvjetima. Nakon turbulentnog miješanja vode, fotosinteza cijanobakterija je privremeno inhibirana na površini, ali se obnavlja nakon dva ili više dana bez vjetra. Adaptacija na promjene intenziteta svjetla javlja se kao rezultat promjene u sastavu pigmenata, uključujući sadržaj karotena. Omjer klorofila-a i fikobiliproteina, veličina fikobilisoma kao i broj fotosintetskih jedinica mijenja se sa promjenom intenziteta svjetla. Budući da mogu koristiti zeleno svjetlo i djelovati na niskim intenzitetima svjetla, to daje prednost cijanobakterijama i omogućava njihovu visoku koncentraciju u fitoplanktonu eutrofnih jezera.

U eutrofnim jezerima sa visokom biološkom produktivnosti i niskom prolaznosti svjetla, druge vrste cijanobakterija, kao što je filamentozni dušik-fiksirajući rod *Anabaena*, stvaraju nakupine ispod površine vode (slika 8). Oni preferiraju više intenzitete svjetlosti nego rod *Planktotrix* i stvaraju guste nakupine u vodi stratificiranih jezera malih dubina. U tim uvjetima eufotična dubina može biti plića i često iznad metalimniona, tako da normalni proces miješanja u gornjim slojevima vode može donijeti fitoplankton u veće dubine. To može koristiti cijanobakterijama jer mnoge vrste mogu ostati u vodenom stupcu same zbog miješanja vode (Falconer, 2005).

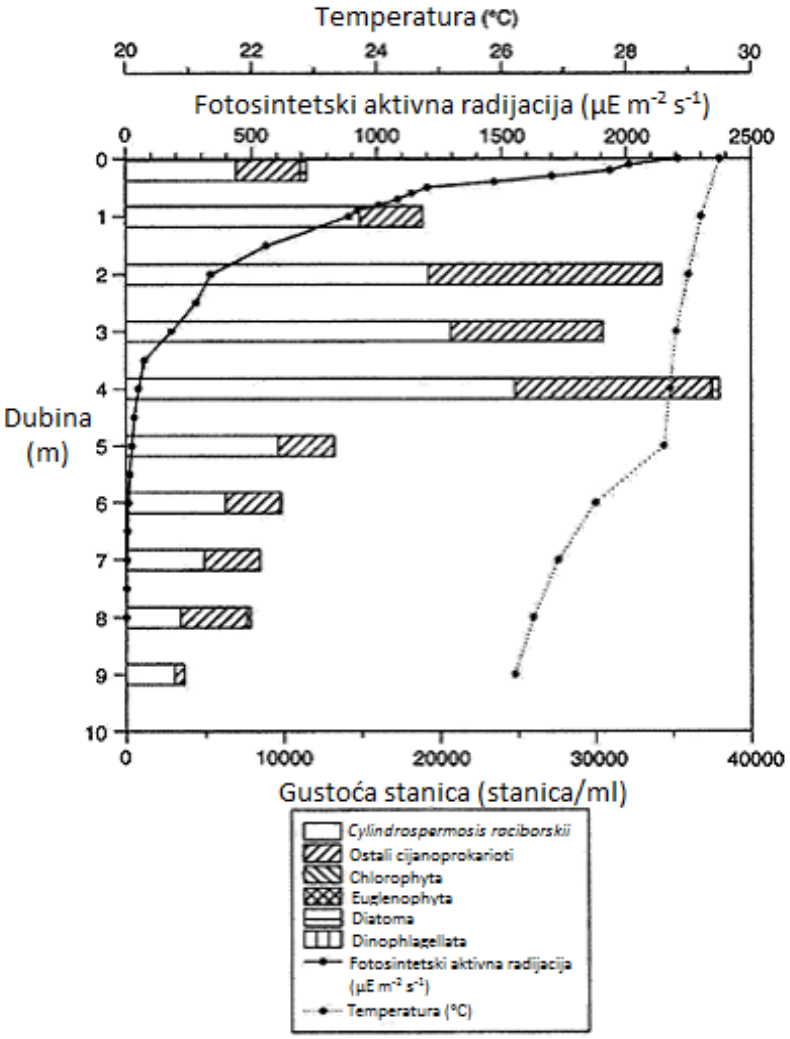


Slika 8. Vertikalna distribucija *Anabaena sp*. u termalno stratificiranom eutrofnom jezeru tijekom cvjetanja (preuzeto iz Falconer, 2005).

Kapacitet stvaranja nakupina cijanobakterija u stupcu vode odraz je promjenjivog miješanja vode, a postiže se prisutnošću plinskih vakuola i različitom gustoćom stanica. Mogu se sakupiti u povoljnim slojevima vode stratificiranog jezera i kretati se gore i dolje u vodenom stupcu, pri čemu ostvaruju maksimalnu fotosintezu u površinskom sloju, a unos nutrijenata u dubljim slojevima. Plinske vakuole su ispunjene mnoštvom plinskih vezikula, koje imaju vrlo malu gustoću u usporedbi sa citoplazmom: kao rezultat, vakuole imaju gustoću približno jednu četvrtinu gustoće vode. Vezikule imaju čvrstu staničnu stijenku i slobodno propuštaju plinove, ali ne i tekućine. Plinske vezikule imaju unutrašnji tlak sličan atmosferskom tlaku, ali hidrostatski tlak raste sa dubinom, kao i turgorski tlak u stanici. Regulaciju miješanja vode omogućava velika razlika u gustoći staničnog sadržaja, djelomično sadržaja ugljikohidrata i proteina u stanici. Prema tome, dostupnost svjetla, ugljikova dioksida, dušika i fosfora će utjecati na rast i gustoću stanica. U uvjetima obilja nutrijenata miješanje vode će biti određeno balansom između rasta i osvjetljenja. Ako je svjetlo limitirajuće stanični rast će iscrpiti

pohranjene ugljikohidrate i smanjiti gustoću stanica, zbog čega će se povećati miješanje vode i pomoći stanicama podići se u vodenom stupcu u sloj sa većom dostupnosti svjetla (Falconer, 2005). Obrnuto, ako su nutrijenti, kao što je dušik i fosfor limitirajući, a dostupna svjetlost velika tada će stanice akumulirane ugljikohidrate pohraniti, ali će moći manje rasti zbog manjka nutrijenata. Mnoge toksične vrste cijanobakterija stvatraju plutajuće nakupine (pjenu) u uvjetima mirnog vremena. Jedna od najčešćih vrsta koja formira nakupine je *M. aeruginosa* koja ima plinske vakuole i može stvarati nakupine brzinom do 250 m/dan. U uvjetima mirnog vremena one se brzo kreću prema gore stvarajući mala vjetrom upravljana miješanja na površini, omogućujući organizmima uz povećanje svjetla ubrzan potencijal rasta. Ove nakupine nošene vjetrom akumuliraju se uz obalu i uz zidove ustava (brana). To može stvarati značajne probleme u vodama za rekreaciju, ali i u pitkim vodama (Falconer, 2005).
Velika temperaturna razlika između epilimniona (oko 17^{o}C) ispod 6 m dubine i hipolimniona (10^{o}C) od 14 do 20 m dubine pokazuje visoki stupanj stabilne stratifikacije.

Kao rezultat potrošnje kisika od strane mikroorganizama u organski obogaćenom sloju sedimenta dolazi do potrošnje kisika u hipolimnionu i može u dubokim, kao i organski obogaćenim plitkim stratificiranim jezerima doći do anaerobije, što je prikazano na slici 7. Anaerobni okolišni uvjeti rezultiraju mobilizacijom nutrijenata iz sedimenta koji difundiraju u susjedni sloj vode, stvarajući uvjete za rast cijanobakterija (Falconer 2005).



Slika 9. Distribucija vrste *C. raciborskii* i drugih cijanobakterija u profilu povećanja dubine u tropskom vodenom tijelu. Najveća koncentracija cijanobakterija bila je između 2. i 4. m ispod površine i pružala se do zone minimalne fotosintetski aktivne radijacije (Falconer, 2005).

2.2.2. Nutrijenti i razvoj cijanobakterija

Dostupnost fosfora ima vrlo snažan utjecaj na brzinu rasta cijanobakterija. Kada je koncentracija otopljenog fosfora u vodi ispod 10 µg/L, rast populacije stanica cijanobakterija je limitiran nutrijentima. Broj stanica cijanobakterija dovodi se u linearnu vezu s koncentracijom fosfora – za duboka jezera granica koncentracije otopljenog fosfora je između 10 i 20 µg/l, a za plitka jezera ta je koncentracija između 50 i 100 µg/L. Ipak, afinitet cijanobakterija za fosfor je veći nego što je kod fotosintetskih zelenih algi, jer cijanobakterije snažnije konkuriraju za fosfor nego zelene alge u uvjetima njegove limitacije. Cijanobakterije imaju dvije prednosti u metabolizmu fosfora: mogu pohraniti suvišak polifosfata za dvije do

četiri stanične diobe u vodama siromašnim fosfatima i mogu iskoristiti sposobnost vertikalne migracije kako bi se spustile u dubinu gdje je veća dostupnost fosfata. One mogu čak potonuti niže, do površine sedimenta, gdje u ih anoksičnim uvjetima obično nalazimo u eutrofnim jezerima, ili je neotopljeni fosfor mobiliziran u topljive biološki dostupne oblike koji difundiraju u hipolimnion. Na taj način cijanobakterije mogu pohraniti fosfate i tada se uzdizati prema slojevima s višim intenzitetima svjetla koji su im pogodni za rast i diobu. *Microcystis* je jedna od cijanobakterija koja može dobro iskoristiti ove prednosti s velikim kapacitetom za skladištenje fosfora (Falconer 2005).

Mnoga istraživanja govore o vezi između nutrijenata, rasta fitoplanktona i relativne gustoće cijanobakterija. Jedan aspekt istraživanja je utjecaj omjera između anorganskog dušika (amonijak, nitriti, nitrati) i dostupnog fosfora u vodi na relativnu dominaciju diatomeja, zelenih algi i cijanobakterija. Općenito, mnogobrojne studije ukazuju da u suvišku dušika prevladavaju diatomeje ili zelene alge, a ako je omjer niži dominirat će cijanobakterije (Falconer 2005).

Mnoge vrste cijanobakterija mogu „fiksirati“ otopljeni plinoviti dušik u amonijev ion, čime su neovisni o otopljenom anorganskom dušiku. Većina dušik-fiksirajućih vrsta imaju specijalizirane debele stijenke stanica heterocita, koje imaju veći promjer nego normalne fotosintetske stanice. Istovremeno, ove vrste cijanobakterija mogu koristiti amonijeve ione, nitrite i nitrate iz vode, i time su u direktnoj kompeticiji nutrijenata sa dijatomejama i zelenim algama. Kada se gustoća stanica povećava smanjuje se svjetlost, što pogoduje cijanobakterijama; kada se iscrpi dostupni anorganski dušik cijanobakterije mogu fiksirati dušik čime imaju značajnu ekološku prednost. Stoga se širenje cijanobakterija pojavljuje u vodama siromašnim dušikom u površinskim slojevima gdje je svjetlo povoljno(Falconer 2005).

2.3. Razvoj cijanobakterija u poplavnom području Kopačkog rita

Poplavna područja su vrlo dinamični ekosustavi, a određena su hidrološkom povezanošću sa glavnim riječnim kanalom. Glavni upravljački mehanizam u takvim ekosistemima je pulsiranje riječnih protoka koji određuju stupanj povezanosti i procese izmjene tvari i organizama duž gradijenta rijeka – poplavno područje (Mihaljević i Stević, 2011).

Iako se općenito smatralo da poplave mogu biti stimulirajući čimbenik za razvoj fitoplanktona u poplavnim područjima (Reynolds, 1997), istraživanja Mihaljević i sur. (2009) pokazala su

da poplave imaju dvojni utjecaj na razvojfitoplanktona, ovisno o vremenu pojavljivanja. Tako je rano proljetnapoplava djelovala poticajno na razvoj fitoplanktona, dok su poplave u kasno proljeće i ljeto imale negativan učinak.

Hidrološki uvjeti u poplavnom području Kopačkog rita u razdoblju od 2003. do 2008. godine, naročito ekstremne poplave, utjecali su značajno na dinamiku cijanobakterija u Sakadaškom jezeru (Mihaljević i Stević 2011). Uz fizičko miješanje vode (disturbancija) poplave su utjecale na promjene abiotičkih uvjeta u jezeru. Dubina vode jezera iznosila je od 4 do 8 m, temperatura vode od 4,5 do 29,4^{o}C, prozirnost vode od samo 0,4 do 3,0 m. Termalna stratifikacija bila je izražena povremeno tijekom kasnog proljeća i u ljetnim mjesecima, ali je njezin opstanak ovisio o miješanju vode uslijed ulaska poplavnih voda.

Tijekom navedenog istraživanog razdoblja vrste cijanobakterija formirale su vodni cvijet u ekstremno suhim i periodično poplavnim uvjetima. Predstavnici vodnog cvijeta su bile filamentozne cijanobakterije i to vrste*Anabaena circinalis*, *Anabaena planctonica*, *Anabaena solitaria*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Limnothrix redekei*, *Planktolyngbya limnetica*, *Planktotrix agardhii* i *Pseudanabaena limnetica*(Tab. 1). Ipak, u ekstremno poplavnim godinama (2005, 2006) nije došlo do cvjetanja cijanobakterija.

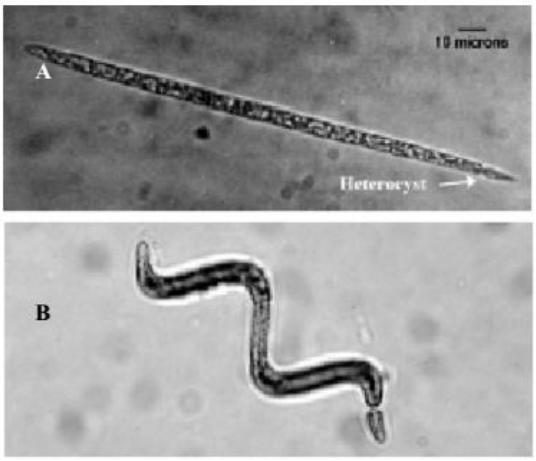
Tablica 1. Maksimalna biomasa i gustoća cijanobakterija koje su formirale vodni cvijet u jezeru poplavnog područja Kopački rit u razdoblju 2003-2008. godine (Mihaljević i Stević 2011).

Maksimalno cvjetanje			
Vrsta	**Biomasa** (mgl^{-1})	**Gustoća** (broj jedinki $l^{-1}x10^{6}$)	**Razdoblje**
Anabaena circinalis Rabenh. ex Born. et Flah	16.2	4.8	svibanj 2003.
Anabaena planctonica Brunnth.	22.4	2.7	srpanj 2008.
Anabaena solitaria Kleb.	56.0	6.6	srpanj 2008.
Aphanizomenon flos-aquae Ralfs ex Born. et Flah	131.3	30.9	srpanj 2003.
Cylindrospermopsis raciborskii (Wol.) Subba Raju	91.4	64.7	kolovoz 2003.
Limnothrix redekei (Van Goor) Mefert	73.6	35.0	rujan 2004.
Planktolyngbya limnetica (Lemm.) Komark.-Legn. et Cron.	70.1	115.3	lipanj 2003.
Planktotrix agardhii (Gom.) Adagn. Et Komarek	166,8	48,1	rujan 2008.
Pseudanabaena limnetica (Lemm.) Komarek	22.6	10.8	rujan 2003.

Vrste iz skupine cijanobakterija djelomično su osjetljive na poplave i mogu biti zamijenjene sa manjim, brzo rastućim algama, uglavnom dijatomejama i malim klorokokalnim algama (Mihaljević i sur. 2009, 2013). Unatoč promjenama u koncentraciji nutrijenata, poplavno područje Kopačkog rita je sačuvalo visoku koncentraciju nutrijenata potrebnu za rast alga i cijanobakterija i u fazi čiste i u fazi zamućene vode (Mihaljević i Stević, 2011).

2.4. Širenje tropske invazivne cijanobakterije *Cylindrospermopsis raciborskii*

Dva su glavna morfološka tipa vrste *C. raciborskii* – ravni i savijeni trihom (Sl. 10), a razlikuju se po veličini i broju stanica koje tvore trihom. Vegetativne stanice su promjenjive veličine s dobro razvijenim plinskim vakuolama. Stanice su uvijek veće dužine nego širine, a često se mogu naći stanice koje su čak i do 10 puta duže nego šire. Trihomi su suženi prema završetcima, a ovo obilježje nestaje kada se razviju specijalizirane stanice akinete i heterocite na terminalnom kraju. Općenito su akinete strukture s debelom stijenkom, a slične su sporama ili sjemenkama biljaka. Akinete mogu preživjeti godinama u nepovoljnim uvjetima i osigurati ponovni razvoj ove vrste u povoljnim uvjetima germinacijom akineta (Padisak 1997).
Optimalna temperatura za germinaciju akineta kod vrste *C. raciborskii* je 22 do 23^{o}C. Heterocite su specijalizirane stanice za prikupljanje atmosferskog dušika. Nastaju taloženjem debelih polisaharidnih slojeva koji izoliraju stanicu od vanjskog kisika i omogućuju aktivnost nitrogenaznog enzimskog kompleksa koji je odgovoran za redukciju N_2 do amonijaka. *C. raciborskii* je specifična cijanobakterija jer ne dolazi do masovnog razvoja, tj. cvjetanja u površinskim slojevima vode kao što je to slučaj kod drugih vrsta ove skupine,već se maksimalno razvija dva do tri metra ispod površine vode(Padisak 1997).



Sl. 10 Morfološke forme *C. raciborskii*: ravni oblik (A) i uvijeni oblik (B) (Jones i Sauter, 2005).

C. raciborskii je vrsta karakteristična za tropska i subtropska područja, a prepoznata je kao invazivna vrsta u 20. stoljeću. Smatra se kako je Afrika primarna, a Australija sekundarna točka širenja ove vrste. U Europi je ova vrsta po prvi puta zabilježena u jezeru Kastoria u Grčkoj 1938. godine, a u Dunavu 1958. Vrsta je dosegnula najsjeverniju točku distribucije u Njemačkoj, a do sada je zabilježena na svakom kontinentu, osim Antartici. Neka od nalazišta ove vrste u Europi su: Slovačka, Španjolska, Mađarska, Grčka, Njemačka, Francuska, Portugal, Austrija, Srbija, Poljska, Italija, Hrvatska (Padisak, 1997).

Razvoj vrste*C. raciborskii* je intenzivno istraživan u Australiji u subtropskom jezeru maksimalne dubine 35,1 m, pri čemu je srednja ljetna temperatura iznosila 25^{o}C, a zimska 15^{o}C. Jezero je visoko stratificirano od proljeća i tijekom ljeta, do jeseni sa vrlo anoksičnim uvjetima u hipolimnionu, kada je sredinom ljeta 40% jezera imalo anoksične uvjete. Nevrijeme ljeti omogućava visoki unos nutrijenata, kada je zabilježeno pritjecanje fosfata iz potoka u koncentracijama od 150 do 900 μg/L. Tijekom 16 godina istraživanja utvrđen je nepravilan ljetni maksimum, a najveći u vrijeme jakih oborina. Suprotno tome, *Microcystis* je imao maksimum prije *C. raciborskii*, kada je stratifikacija vode bila manje stabilna (Haris i Baxter 1996).

U plitkim miješanim jezerima umjerene zone rast *C. raciborskii* je bio jako ovisan o ljetnim temperaturama. U jezeru Balaton u Mađarskoj*C. raciborskii* je imao visoku gustoću stanica samo u osobito toplim ljetima. Istraživanja germinacije akineta su pokazala da je za laboratorijsku germinaciju akineta skupljenih iz sedimenta u jezeru Balaton potrebna temperatura između 22 i 23,5^{o}C. U plitkom gradskom jezeru Alte Donau u Austriji maksimalna gustoća stanica utvrđena je na 15 do 18^{o}C (Dokulil and Mayer, 1996).

Istraživanja o potrebi za nutrijentima vrste C. *raciborskii* pokazala su da je vrsta vrlo prilagodljiva. U vodama onečišćenim amonijakom one imaju izvor dušika i trihomi općenito nemaju heterocite (Padisak i Istvanovics, 1997). S druge strane, u uvjetima limitacije dušika (nizak omjer dušika i fosfora) broj heterocita raste i rezultat rasta organizma je iskorištavanje prednosti nad vrstama koje nisu dušik-fiksirajuće. Potreba za fosforom ovog organizma, kao i kod svih cijanobakterija može ograničavati rast stanica u epilimnionu. Ipak *C. raciborskii* je izrazito sposoban apsorbirati fosfor pri niskim koncentracijama i može se tijekom miješanja vode seliti dublje u slojeve bogatije nutrijentima. Pojavljivanje *C. raciborskii* je definirano kod relativno niskih koncentracija nutrijenata. Padisak (1997) je objavila da skladištenje

fosfora u stanicama može biti 12 do 24 puta veće nego u baznoj koncentraciji, omogućujući do 5 slijedećih staničnih dioba koristeći pohranjeni fosfor. Ova sposobnost skladištenja fosfora, skupa s promjenom potiska (uzgona) podržava dvostruki rast u prirodnom ekosustavu za 2,9 do 7 dana (Padisak i Istvanovics, 1997).

Prvi masovni razvoj vrste *C. raciborskii*u Kopačkom ritu zabilježen je ljeti 2003. godine kada je *C. raciborskii* opstao uz *A. flos-aquae* i *P. agardhii* u Sakadaškom jezeru više od dva mjeseca sa udjelom većim od 80% u ukupnoj biomasi. Povoljne uvjete za njihov razvoj stvorile su visoke koncentracije nutrijenata, budući da *C. raciborski* ima visoki afinitet za fosfor i visoki kapacitet skladištenja fosfora (Mihaljević i Stević, 2011). Međutim, nedostatak dušika bio je selektivni faktor u djelotvornosti fiksacije dušika, budući da su rezultati istraživanja ovih autora pokazali znatno niže koncentracije nitrata kada je jezero bilo u zamućenom stanju pri čemu je moglo doći do proliferacije heterocita vrst *C. raciborskii*. Najveća biomasa ove vrste utvrđena u Sakadaškom jezeru pri temperaturi vode od 27^{o}C. Niska prozirnost vode ukazivala je na slabo prodiranje svjetla koje je općenito prisutno u istraživanom jezeru, međutim, ova filamentozna cijanobakterija može tolerirati niske razine svjetlosti. Stoga su vrste roda *Planktotrix*, *Limnotrix* kao i *C.raciborskii* bile bolje zastupljenne nego *Anabaena* i *Aphanizomenon* koje su osjetljive na nedostatak svjetlosti.Također, zbog sposobnosti stvaranja akineta u većoj količini po jedinici biomase nego ostale Nostocales, vrsta *C. raciborskii* se lagano širi i opstoje u okolišu. Sveukupno, interakcija između sedimenta i vode tijekom ekstremno visokih poplava može podržati uspješan rast cijanobakterija (Mihaljević i Stević,2011).

2.5. Toksičnost u uvjetima „cvjetanja“ cijanobakterija

Nakon trovanja ljudi u Australiji 1979. godine zbog pojave cilindrospermopsina, toksina *C. raciborskii*, započet je pojačani monitoring u australijskim vodama za piće. Sredinom ljetnog razdoblja, od početka studenog do početka siječnja 1997. godine maksimalna koncentracija toksina u rezervoaru dosegla je 92 µg/L, a vrhunac koncentracije stanica *C. raciborskii* iznosio je 2x10^{6} st/L. Svojstvo distribucije cilindrospermopsina tijekom vodnog cvijeta *C. raciborskii* je značajan omjer ekstracelularnog toksina u slobodnoj fazi vode. U tim rezervoarima u vrijeme maksimalne koncentracije toksina, 68% cilindrospermopsina je oslobođeno u vodu i samo 32% je ostalo unutar stanica. Kada se povećavala koncentracija

stanica i kasnije u zadnja tri tjedna visoke koncentracije toksina kada se smanjivala koncentracija stanica, u vodu je oslobođeno više od 90% toksina. To je suprotno od toksina vrste *Mictocystis*-mikrocistina koji se gotovo potpuno zadrži intracelulano do smrti stanice.
U tablici 2 prikazane su neke vrste cijanobakterija s obzirom na njihovu rasprostranjenost te toksini koje proizvode, međutim lista se kontinuirano širi i ne može se smatrati kompletnom (Falconer, 2005).

Srednja vrijednost koncentracije cilindrospermopsina u 14 rezervoara u kojima je toksin analiziran iznosila je 3,4 μg/L. Na postajama koje su sadržale *C. raciborskii* u koncentraciji preko 15.000 st/ml toksin je bio široko prepoznatljiv. Produkcija cilindrospermopsina utvrđena je u pitkim vodama na Floridi s koncentracijom iznad 90 μg/L (Falconer, 2005)
Intenzivnim programom monitoringa cijanobakterija u jezeru Kinneret u Izraelu u 1994. godini utvrđen je organizam odgovoran za izniman jesenski vodni cvijet s maksimalno 4000 trihoma/ml (oko $4x10^5$ st/ml), ravnomjerno raspoređen duž epilimniona. Organizam je bio *Aphanizomenon ovalisporum* (*Nostocaceae*) i test toksičnosti na miševima pokazao je značajnu toksičnost. Rod *Aphanizomenon* bio je ranije definiran kao neurotoksin u SAD-u, ali simptomi toksičnosti na miševima nađeni sa na jetri, bubrezima, plućima i tankom crijevu. Kemijskom izolacijom utvrđeno je da je prisutni toksin bio cilindrospermopsin.

Dvije druge vrste reda *Noctocaceae* su također definirane kao producenti cilindrospermopsina: *Raphidiopsis curvata* i *Anabaena bergii*. Prva je nađena u ribnjaku u Kini, a druga riječnom sistemu Murray-Darling u Australiji (Falconer, 2005). Na različitim geografskim lokacijam ista vrsta može producirati različite toksine. Uzorkovanjem u Brazilu nađeno je da *vrsta C. raciborskii* sadrži derivat saksitoksina i djeluje otrovno na školjkaše, a uzorci prikupljeni u Europi sadržali su do tada nedefinirani toksin koji je djelovao hepatotoksično.

Tablica 2. Planktonske vrste cijanobakterija, toksini koje sadrže i neki lokaliteti na kojima su se masovno razvile (Falconer, 2005).

Vrsta	**Toksin**	**Primjer lokacije**
Anabaena bergii	cilindrospermopsin	Australia
Anabaena circinalis	mikrocistin	Francuska
Anabaena circinalis	saxitoksin	Australia
Anabaena flos-aquae	anatoksin-a	Kanada, Njemačka
Anabaena flos-aquae	anatoxin-a(s)	Kanada
Anabaena flos-aquae	mikrocistin	Kanada
Anabaena lemmermannii	anatoxin-a(s)	Danska
Anabaena lemmermannii	mikrocistin	Norveška
Anabaena planktonica	anatoksin-a	Italija
Anabaenopsis millerii	mikrocistin	Grčka
Aphanizomenon flos-aquae	saxitoksin	SAD
Aphanizomenon ovalisporum	cilindrospermopsin	Izrael, Australia
Aphanizomenon sp.	anatoxin-a	Finska, Njemačka
Cylindrospermum sp.	anatoksin-a	Finska
Cylindrospermopsis raciborskii	cilindrospermopsin	Australia
Cylindrospermopsis raciborskii	saxitoksini	Brazil
Lyngbya wollei	saxitoksin	SAD
Microcystis aeruginosa	mikrocistin	Južna Afrika, Australia, Japan, SAD
Microcystis botrys	mikrocistin	Danska
Microcystis ichthyoblable	mikrocistin	Češča
Microcistis viriddis	mikrocistin	Japan
Nodularia spumigena	nodularin	Baltičko jezero, Australia
Nostoc sp.	mikrocistin	Finska
Planktothrix agardhii	mikrocistin	Finska, Kina
Planktothrix formosa	homoanatoksin-a	Norveška
Planktothrix mougeotii	mikrocistin	Danska
Planktothrix rubescens	mikrocistin	Norveška
Raphidiopsis curvata	cilindrospermopsin	Kina
Woroninchinia naegeliana	mikrocistin	Danska

3. ZAKLJUČAK

Cijanobakterije se često masovno razvijaju u eutrofnim slatkovodnim ekosustavima, a posebno u plitkim jezerima kao što su jezera u poplavnom području Kopačkog rita. Njihov je razvoj uvjetovan brojnim čimbenicima, među kojima su najvažniji koncentracija nutrijenata, temperatura i prozirnost vode, morfometrija jezera, struktura hranidbenih lanaca, kao i uvjeti miješanja vode i sedimenta. Mnoge vrste cijanobakterija iz rodova *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Cylindrospermopsis* i *Planktothrix* sadrže različite vrste toksina (mikrocistin, anatoksin-a, saxitoksin, cilindrospermopsin). Tijekom njihova masovnog razvojadolazi do otpuštanja cijanotoksina u vodu, što može dovesti do trovanja i pomora živog svijeta (biljaka, beskralješnjaka, riba i drugih životinja) koji žive u vodi ili piju vodu, pa su tako u opasnosti i ljudi. Posebna pozornost u posljednjim desetljećima pridaje se monitoringu širenja tropske invazivne toksične vrste *Cylindrospermopsis raciborskii* u europskim vodama.

4. LITERATURA

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

Falconer, I. R., 2005: Cyanobacterial Toxins of Drinking Water Supplies. CRC Press. Boca Raton London New York Washington, D.C.

Harris, G. P. and Baxter, G., 1996: Interannual variability in phitoplankton biomass and species composition in a subtropical reservoir. Freshwater Biology 35 (3): 545-560.

IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change), Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE (eds) (2007) Climate change 2007: the physical science basis: summary for policymakers. Fourth AssessmentReport of IPCC. Cambridge University Press, Cambridge.

Jones W.W. i Sauter S., 2005: Distribution and abundance of *Cylindrospermopsis raciborskii* in Indiana Lakes and Reservoirs. Indiana University, Bloomington, Indiana, 36 pp.

Kunst A., 2013:Karakterizacija bentoskih i perifitonskih sojeva cijanobakterija vrste *Anabaena* spp. iz areala Sokolov (Češka). Diplomski rad. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za biologiju, 1-62.

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). Hydrobiologia618: 77-88.

Mihaljević M. i Stević F., 2011: Cyanobacterial blooms in a temperate river-floodplain ecosystem: the importance of hydrological extremes. Aquatic ecology 45:335-349.

Mihaljević, M., Špoljarić D., Stević, F., Pfeiffer Žuna Z., 2013: Assessment of flood-induced changes of phytoplankton along a river–floodplain system using the morpho-functional approach. Environmental Monitoring and Assessment185(10): 8601-8619.

Milić A., 2014: Vertikalna distribucija različitih morfoloških oblika vrste *Cylindrospermopsis raciborskii* u Sakadaškom jezeru. Diplomski rad. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za biologiju, 1-88.

Padisak, J., 1997: *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenaya et Subba Raju, an expanding highly adaptive cyanobacterium: worldwide distribution and review of its ecology. Arch. Hydrobiol. Suppl. 107:563-593.

Padisak, J. i Istvanovics, V. 1997: Differential response of blue-green algal groups to phosphorus load reduction in a large shallow lake: Balaton, Hungary. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie 26: 574-580.

Pavić V., Galović, D., Has-Schön E., Bogut, I., 2011: Control of algae using barley straw. Proceeding Summary, 7. Međunarodni gospodarsko-znanstveni skup o ribarstvu. Bogut I. (ur.). Vukovar: Hrvatska gospodarska komora, 21-22.

Reynolds, C. S., 1984: Phytoplankton periodicity: The interactions of form, function and environmental variability. Freshwater Biology 14:111-142.

Sommer, U., 1989: Plankton ecology. Springer Verlag, Berlin, pp. 369.

Web stranice:

http://www-cyanosite.bio.purdue.edu/images/lgimages/CIRCIN1.JPG Web 1 (23. 9. 2015.)

http://www-cyanosite.bio.purdue.edu/images/lgimages/anabfa.jpg Web 2 (23.9.2015.)

http://www-cyanosite.bio.purdue.edu/images/lgimages/CYLINDP3C.JPG Web 3 (23.9.2015.)

http://www-cyanosite.bio.purdue.edu/images/lgimages/microcy12.jpg Web 4 (23.9.2015.)

http://www-cyanosite.bio.purdue.edu/images/lgimages/PLANKT1C.JPG Web 5 (23.9.2015.)

http://www-cyanosite.bio.purdue.edu/images/lgimages/nodusp2.jpg Web 6 (23.9.2015.)

http://www-cyanosite.bio.purdue.edu/images/lgimages/bloom8.jpg Web 7 (23. 9. 2015..)

http://toxische-cyanobakterien.de/index.php?rex_img_type=big&rex_img_file=dog_photo.jpg Web 8 (23. 9. 2015.)