

4. konferenca z mednarodno udeležbo
Konferenca VIVUS – s področja kmetijstva, naravovarstva, hortikulture in floristike ter živilstva in prehrane
»Z znanjem in izkušnjami v nove podjetniške priložnosti«
20. in 21. april 2016, Biotehniški center Naklo, Strahinj 99, Naklo, Slovenija

4th Conference with International Participation

Conference VIVUS – on Agriculture, Environmentalism, Horticulture and Floristics, Food Production and Processing and Nutrition

»With Knowledge and Experience to New Entrepreneurial Opportunities«

20th and 21st April 2016, Biotechnical Centre Naklo, Strahinj 99, Naklo, Slovenia

Sezonska sukcesija fitoplanktona in kvaliteta vode Koseškega bajerja

Tinkara Rozina

Envit d.o.o., Slovenija, tinkara.rozina@envit.si

Maja Zupančič Justin

Arhel d.o.o., Slovenija, maja.justin@arhel.si

Tina Eleršek

Nacionalni inštitut za biologijo, Slovenija, tina.elersek@nib.si

Bojan Sedmak

Nacionalni inštitut za biologijo, Ljubljana, bojan.sedmak@nib.si

Domen Leštan

Biotehniška fakulteta, Slovenija, domen.lestan@bf.uni-lj.si

Izvleček

Koseški bajer je plitvo vodno telo antropogenega izvora, locirano na obrobju Ljubljane, in je tako z vidika naravne kot tudi kulturne dediščine pomemben element mesta. Izkazuje evtrofno do hiperevtrofno stanje. Kljub svoji biotski raznovrstnosti in potencialu za masovni razvoj toksičnih cianobakterij zaradi svoje majhnosti ni vključen v državni monitoring. O njegovem ekološkem stanju tako obstaja relativno malo podatkov. Raziskava je obsegala dvoletno sezonsko spremljanje številčnosti in vrstne sestave fitoplanktona ter fizikalnih in kemijskih parametrov. Standardne metode spremljanja fitoplanktona z odvzemi vzorcev vode za laboratorijsko izolacijo barvil in mikroskopsko identifikacijo fitoplanktonskih vrst smo primerjali z *in-situ* meritvami fluorescence klorofila in cianobakterijskega pigmenta fikocianina. S tem smo želeli oceniti, ali lahko senzorji fluorescence nadomestijo oziroma nadgradijo standardne metode ovrednotenja fitoplanktona, ter napovedati možnost razvoja strupenih cianobakterij. Ujemanja med obema pristopoma so bila visoka. Primerjava kaže visoko uporabno vrednost uporabe senzorske metode za upravljalce in uporabnike malih vodnih teles, kjer drage laboratorijske preiskave niso dostopne. Taksonomske analize so pokazale, da je bil kljub prisotnosti številnih fitoplanktonskih predstavnikov, ki so značilni za evtrofna vodna telesa, delež cianobakterij v letih 2014 in 2015 zelo nizek. Cianobakterije so v povprečju predstavljale le 0,5 % celotnega biovolumna fitoplanktona, kar si razlagamo z nestabilnimi vremenskimi pogoji v omenjenih dveh letih.

Ključne besede: cianobakterije, zelene alge, fikocianin, klorofil *a*, fluorescenca, monitoring vode

Seasonal succession of phytoplankton and water quality of Koseze pond

Abstract

Koseze pond is an anthropogenic, shallow water body, located on the outskirts of Ljubljana and an important element in terms of natural and cultural heritage of the city. It shows eutrophic to hypereutrophic status. Despite its biodiversity and the potential for massive development of toxic cyanobacteria, it is not included in the national monitoring program because of its small size. There are therefore relatively little data on its ecological condition. The study covered a two-year seasonal monitoring of phytoplankton abundance and species composition including physical and chemical parameters. The standard methods of phytoplankton monitoring, with abstractions of water samples for laboratory quantification of pigments and microscopic identification of phytoplankton species, were compared to *in-situ* measurements of the fluorescence of chlorophyll and cyanobacterial pigment phycocyanin. Our goal was to assess whether we can replace or upgrade the standard methods of phytoplankton quantification with the use of sensors and predict the possibility of mass development of dangerous cyanobacteria. Correlations between the two approaches were high. The comparison shows a high applicability of fluorescence sensors for operators and users of small water bodies, where expensive laboratory tests are not affordable. Taxonomic analysis showed that in spite of abundant presence of phytoplankton groups typical for eutrophic water bodies the share of cyanobacteria in the years 2014 and 2015 remained low and on average accounted only for 0.5% of the total phytoplankton biovolume. We ascribe the unusual absence of cyanobacterial blooms to abnormal weather conditions in the last two years.

Key words: cyanobacteria, green algae, phycocyanin, chlorophyll *a*, fluorescence, water monitor

1 Uvod

Koseški bajer je manjše, plitvo vodno telo, ki je nastalo ob zaprtju glinokopa pred približno 200 leti. Leži na obrobju urbanega središča Ljubljane, ob soseski Mostec, in je pomemben element mesta z vidika naravne in tudi kulturne dediščine (Bizjak et al., 1996). Bajer predstavlja pomembno rekreativno območje z didaktično funkcijo, saj ob obali poteka učna pot. Poleg tega bajer nastopa v vlogi ribnika, ki ga upravlja ribiška družina. V krajini, ki jo je človek spremenil, predstavljajo ribniki pomemben habitat in zatočišče za različne ptice in žuželke, imajo pa tudi močno socialno vlogo.

Trofično stanje Koseškega bajerja je bilo v letih 2012 in 2013 evtrofno, meritve prosojnosti so kazale celo hiperevtrofno (Germ et al., 2013). Ribniki s ciprinidnimi vrstami rib sicer potrebujejo visok delež alg, ki predstavljajo hrano ribam. Ob ribolovu se pogosto z vabami vnašajo v vodno telo še dodatne organske snovi, ki povečujejo trofičnost oziroma previsoko obogateno s hranili. Ob določenih okoljskih razmerah lahko pride v takšnem vodnem telesu do prekomernega razvoja fitoplanktona, ki lahko popolnoma prekrije vodno površino. Do takih pojavov prihaja pozno spomladi ali poleti, v obdobjih z visokimi temperaturami in intenzivno osvetljenostjo vode (Cvijan in Blazenčič, 1996). V takih razmerah prihaja do pomanjkanja kisika za vodne živali predvsem v nočnem času, ko alge porabljajo kisik. V času odmrtja alg se kisik izdatno porablja pri njihovi mikrobnih razgradnjah. Oboje vodi v anoksije. Še bolj problematično je, ko namesto alg prevladujejo cianobakterije, ki proizvajajo cianotoksine. Ob razpadu cianobakterijskega cveta ti toksini predstavljajo grožnjo vodni biocenozi (Sedmak in Kosi, 1998), živalim in ljudem. Ob kroničnem vnosu v telo sesalcev, najpogosteje z vdihavanjem aerosolov, lahko cianotoksini povzročijo rakave bolezni in degenerativna obolenja (Carmichael, 1992). Cianobakterije so se v večjih koncentracijah že pojavljale tudi v Koseškem bajerju. Poleti 2012 so se poleg *Planktothrix agardhii* masovno pojavile tudi druge potencialno toksične vrste. V letu 2013 so zasledili *Limnothrix redekei* (Germ et al., 2013).

Spremljanje fitoplanktona je v skladu z okvirno direktivo o vodah eden ključnih elementov ocene kakovosti vode in določanja ekološkega stanja jezer. Direktiva o vodah (Direktiva 2000/60/ES) in na njej temelječ Pravilnik o monitoringu površinskih voda (2009) ne narekujeta spremljanja fitoplanktona vseh vodnih telesih. Izključena so številčna in biotsko raznovrstna majhna jezera, ribniki in vodna telesa mestnih zajetij, ki so velika le nekaj hektarjev. Neizvajanje nadzora ne pomeni, da ta vodna telesa niso potencialno problematična. Ena največjih z njimi povezanih skrbi je prav pojav cianobakterijskih cvetov (Lüring Faassen, 2013).

Ker Koseški bajer ni vključen v državni monitoring, je o njegovem ekološkem stanju relativno malo podatkov. Namen prispevka je predstaviti dvoletna opazovanja sezonskega spreminjanja koncentracije in vrstne sestave fitoplanktona ter fizikalno-kemijskih parametrov. Pridobljene podatke o vrstni sestavi smo primerjali z rezultati predhodnih raziskav. Meritve so bile opravljene v okviru testiranja senzorske opreme za spremljanje bioloških in kemijskih parametrov vode in primerjave pridobljenih rezultatov s standardnimi metodami monitoringa površinskih voda v okviru projekta LIFE Stop CyanoBloom. Meritve koncentracije klorofila *a*, mikroskopsko identifikacijo fitoplanktona in na njej temelječi izračun biovolumna, torej metode, ki jih določa zakonodaja za večja vodna telesa, smo primerjali z meritvami fluorescence fikocianina in klorofila *in vivo*. Želeli smo preveriti, ali lahko meritve fluorescence nadomestijo oziroma nadgradijo standardne metode za kvantifikacijo fitoplanktona. Gre za hitrejše in natančnejše sledenje spremembam, ki ne zahtevajo odvzema vzorcev vode in njihove laboratorijske obravnave. S tega vidika je lahko testirana nadzorno-merilna oprema odlična rešitev za manjša vodna telesa, ki niso vključena v redne programe monitoringa.

2 Materiali in metode dela

2.1 Opis območja preiskav in vzorčnih mest

Spremljali smo biološke in fizikalne parametre vode Koseškega bajerja s površino 37.000 m² in volumna približno 55.000 m³. Bajer napaja Mostnica na jugovzhodnem delu in površinski odtok s širšega območja. Izliva se v potok Pržanec (Bizjak et al., 1996).

Vzorčenje smo izvajali enkrat tedensko med deveto in dvanajsto uro zjutraj od maja do oktobra v letih 2014 in 2015. V letu 2014 smo meritve opravljali na sedmih vzorčnih mestih. Na podlagi rezultatov, ki so pokazali relativno homogeno razporejenost fitoplanktona v vodnem telesu v letu 2014, smo v letu 2015 vzorčili samo na sredinski točki G. V tem prispevku smo predstavili primerjavo rezultatov, izmerjenih v točki G, za enaki obdobji v letih 2014 in 2015.

Vodo smo vzorčili s pomočjo palice za zajemanje vzorcev na globini od 0,3 do 0,5 metra. Zaradi majhne globine vodnega telesa je bila vertikalna razporeditev fitoplanktona homogena in zato vzorčenje na različnih globinah ni bilo potrebno. Fotična cona, območje, kjer je dovolj svetlobe za potek fotosinteze, ki je določena z 2,5-kratno globino, izmerjeno s Secchijevo ploščo (ISO 3864), sega praktično do dna jezera. Zajeti vzorec smo v plastični embalaži shranili za nadaljnje analize, kot so ekstrakcije klorofila *a*, ugotavljanje vrstne sestave, biovolumnov, motnosti in meritve s senzorji fluorescence.

2.2. Meritve fizikalnih in kemijskih parametrov

Temperaturo vode, pH, elektroprevodnost in nasičenost s kisikom smo izmerili s pomočjo merilnega kovčka Multi 3430 (WTW, Nemčija). Na vsakem vzorčnem mestu smo senzorje potopili 0,3 metra globoko. Motnost smo merili s spektrofotometrom Nanocolor VIS (Macherey-Nagel, Nemčija). Izmerili smo absorbcijo pri 750 nm. Podatke temperature zraka smo pridobili iz vremenske postaje Koseze; podatki o padavinah so uradni podatki Agencije Republike Slovenije za okolje, merilno mesto Bežigrad. Prikazana je tedenska vsota padavin.

2.3 Kvantifikacija fitoplanktona

Vsebnost klorofila *a* smo določali po metodi ekstrakcije z etanolom (ISO 10260:2001). Vzorce (0,1 do 0,5 litra, odvisno od koncentracije fitoplanktona) smo prefiltrirali skozi stekleni filter Glass-Microfibre discs (Sartorius Stedim Biotech, Nemčija) premera 50 mm. Filter s celicami smo dali v stekleno centrifugirko in dodali 10 ml 90-odstotnega etanola. Vzorce smo čez noč shranili v zamrzovalniku. Naslednji dan smo jih ekstrahirali v vodni kopeli pri 75 °C. Vzorce smo centrifugirali v centrifugi T52 (MLW, Nemčija) in izmerili absorbcijo pri 665 in 750 nm s spektrofotometrom Nanocolor VIS (Macherey-Nagel, Nemčija). Nato smo vzorce zakisali z 3M HCl in pri istih valovnih dolžinah ponovno izmerili absorbcijo. Za izračun koncentracij smo uporabili formulo, ki jo navaja SIST ISO 10260:2001. Ekstrakcija je bila izvedena v dveh paralelkah.

Fluorescenco klorofila in fikocianina smo merili s prenosnim sistemom za spremljanje kakovosti vode (KM 245, Arhel), ki je opremljen s klorofilnim in fikocinanskim senzorjem fluorescence (Cyclops 7, Turner, ZDA). Senzorji so bili nameščeni v temno merilno komoro z volumnom 800 ml. Za merjenje fluorescence klorofila smo vzorce vzbujali pri 460 nm in merili emisijo pri 685 nm. Za merjenje fluorescence fikocianina smo vzorce vode vzbujali pri 595 nm in merili emisijo pri 650 nm. KM 245 je opremljen z elektronskim vmesnikom z analogno-digitalnim pretvornikom (ADC) in RS232 vodilom za komunikacijo z računalnikom, ki služi kot zapisovalnik in prikazovalnih podatkov. Meritve so izražene v relativnih enotah [r.e.], ki ustrezajo izmerjeni napetosti na izhodu senzora.

Vzorec, namenjen določevanju vrstne sestave in biovolumnov, smo zgostili v posedalniku (Hydro-bios, Nemčija). 100 ml nefiksiranega vzorca smo zgostili na 2,973 ml. Za določanje vrstne sestave smo uporabili nefiksiran vzorec, medtem ko smo za določanje relativne pogostnosti fitoplanktona vzorce fiksirali v 3-odstotnem formaldehidu.

Vrstno sestavo fitoplanktona smo določili s pomočjo svetlobnega mikroskopa (Nikon, Japonska) pod 40-kratno povečavo. Uporabili smo različne določevalne ključe, predvsem iz zbirke Süswasserflora von Mitteleuropa (John in sod., 2012; Eleršek, 2014).

Za določanje številčnosti oziroma pogostnosti fitoplanktona smo uporabili metodo za štetje fitoplanktona po Utermöhlju (1958), ki je standardizirana (SIST EN 15204:2007), in števno komoro Nageotte (Asistent, Germany). Biovolumen fitoplanktona smo izračunali iz pogostnosti posamezne vrste in povprečnega celičnega biovolumna posamezne vrste, ki temelji na izračunu volumna na osnovi izmerjenih dimenzij povprečne celice (povprečje vsej 12 izmerjenih celic). Skupni biovolumen fitoplanktona je seštevek biovolumnov posameznih vrst, ki so zastopane v vzorcu. Relativni biovolumen posamezne vrste je delež biovolumna, ki ga vrsta dosega v skupnem biovolumnu fitoplanktona.

3 Rezultati in razprava

3.1 Fizikalni in kemijski parametri vode

V letu 2014 je bila povprečna temperatura vode 21,2 °C, z najvišjo temperaturo 26,3 °C v tretjem tednu julija (tabela 1). Podobno je tudi s temperaturo zraka, ki se je gibala med 13,5 in 23,2 °C. Temperatura vode v manjših, plitkih vodnih telesih običajno sledi temperaturi zraka. V času maksimalnih temperatur vode sta maksimalno vrednost dosegli tudi elektroprevodnost in motnost. Kisik je v tem obdobju dosegel najmanjšo vrednost, kar je posledica visoke organske obremenitve ter povišanega metabolizma na račun visokih temperatur.

V letu 2015 je bila povprečna temperatura vode za 2,1 °C višja kot v enakem obdobju 2014. Minimalna temperatura vode je znašala 17,7 °C, najvišja pa 34 °C. pH-vrednosti so bile kljub apnenju ribnika v letu 2014 v povprečju nižje. Najvišja vrednost pH-ja je bila v začetku julija, 8,74. Višja je bila tudi povprečna vrednost elektroprevodnosti.

Motnost vode je bila v letu 2015 za 30 % nižja kot v letu 2014. Podatek se sklada z dejstvom, da so spomladi 2015 v jezero vnesli 500 kg apna. Gre za ukrep ribičev, s katerim povečajo prosojnost vode.

Zaradi tega sončna svetloba prodre globlje v vodni stolpec in omogoči večjo rast fitoplanktona, ki je hrana ribam.

Tabela 1: Fizikalni in kemijski parametri vode Koseškega bajerja, merjeni enkrat tedensko v obdobju med majem in oktobrom 2014 in 2015. Predstavljena je izmerjena povprečna, minimalna (min.) in maksimalna (maks.) vrednost v obdobju merjenja.

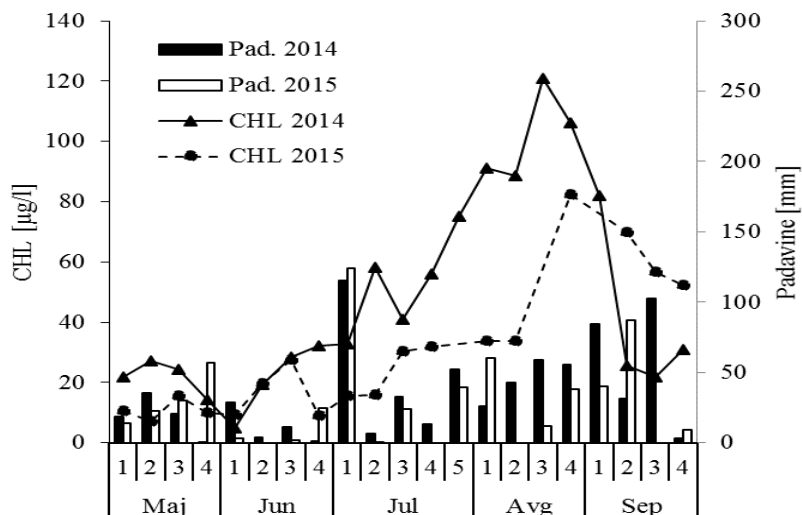
	2014	2015
	povprečje (min.–maks.)	povprečje (min.–maks.)
Temperatura vode [°C]	21 (16–26)	23 (18–34)
Elektroprevodnost [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	203 (174–230)	219 (204–228)
pH	8,1 (7,2–8,8)	7,7 (7,2–8,7)
Nasičenost s kisikom [%]	87 (38–146)	100 (55–150)
Motnost (A_{750}) [a.u.]	0,016 (0,006–0,024)	0,011 (0,006–0,016)

3.2 Kvalitativno in kvantitativno vrednotenje fitoplanktona

Razvoju fitoplanktona smo sledili z rednimi tedenskimi meritvami koncentracije klorofila *a*. Koncentracija klorofila *a* je merilo celotne vsebnosti fitoplanktona, čeprav včasih s številčnostjo fitoplanktona slabo korelira, predvsem takrat, kadar pogoste vrste vsebujejo večje deleže drugih pigmentov. Kljub temu se glede na vodno direktno uporablja kot eden izmed pomembnih parametrov za določevanje trofičnega stanja vodnega telesa.

Vrednosti klorofila *a* so sčasoma naraščale in v obeh sezonah dosegle maksimalno vrednost v drugi polovici avgusta. V septembru so vrednosti začele upadati. Gre za normalno časovno spreminjanje vrednosti, povezano s klimatskimi razmerami. Kljub višjim temperaturam v sezoni 2015 in za 20 % manjši količini padavin so bile vrednosti koncentracije klorofila *a* v letu 2015 nižje kot v letu 2014. Povprečna koncentracija klorofila *a* v obdobju opravljanja meritev v sezoni 2014 je bila 49,76 $\mu\text{g}/\text{l}$, v letu 2015 pa 34,92 $\mu\text{g}/\text{l}$. Posamezni padci koncentracije klorofila *a* sovpadajo s povečanimi padavinami v tem obdobju, kar nakazuje na spiranje planktona iz vodnega telesa. V manjših vodnih telesih so nihanja zaradi zunanjih pojavov hitrejša in izrazitejša (slika 1).

Za oceno trofičnosti stanja so potrebne povprečne letne vrednosti klorofila *a* in povprečne letne vrednosti biovolumna. Ker smo stanje bajerja spremljali le v obdobju, ko so koncentracije fitoplanktona najvišje, nimamo vseh podatkov za določitev trofičnosti na podlagi Brettumovega indeksa (Brettum, 1989). Primerjava vrednosti, izmerjenih v poletnih mesecih leta 2013, z našimi meritvami v enakem časovnem obdobju, pa kaže, da je bil bajer tudi v letih 2014 in 2015 v evtrofnem območju. Koncentracije klorofila *a* so v avgustu v letih 2013, 2014 in 2015 znašale 50,95 $\mu\text{g}/\text{l}$, 121 $\mu\text{g}/\text{l}$ in 82,20 $\mu\text{g}/\text{l}$ (Germ in sod., 2013). Omeniti moramo, da je bila meritev v letu 2013 opravljena v deževnem tednu in je na dan vzorčenja rahlo deževalo, kar delno razloži nižje izmerjene koncentracije klorofila *a*.



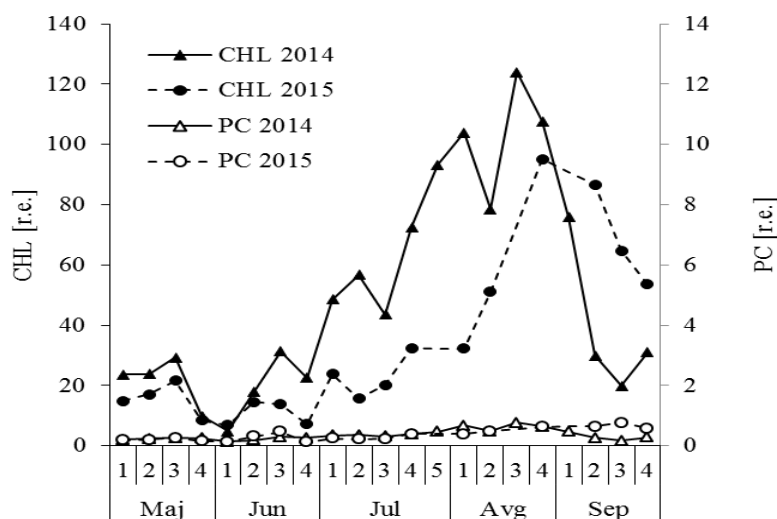
Slika 1: Primerjava koncentracije klorofila *a* (CHL) ter tedenske količine padavin (Pad. 2014 in Pad. 2015) v enakih obdobjih vzorčenja vode Koseškega bajerja v letih 2014 in 2015. S številko so označeni torki v posameznih mesecih (1–5)

Glede na velikost, obliko in ekološko nišo se avtotrofni organizmi razlikujejo v vrsti in količini pigmentov, ki sodelujejo v procesu fotosinteze, kakor tudi v strukturi njihove celične membrane in stene. Vse to vpliva na učinkovitost ekstrakcijskih metod in nadaljnjo natančnost interpretacije številčnosti fitoplanktona iz podatkov koncentracije klorofila. Ravno tako vsi rezultati sezonskega spremljanja parametrov s posamičnimi odvzemi vzorcev, odražajo le trenutno stanje v vodnem telesu. Poleg tega pridobimo rezultate zaradi daljše potrebne laboratorijske obdelave vzorcev z določenim časovnim zamikom. Za natančnejši vpogled v samo dogajanje v vodnem telesu bi bilo tako potrebnih več meritev kot tudi pridobitev njihovih rezultatov v realnem času. Izmerjene vrednosti, ki so podlaga za vrednotenje številčnosti oziroma biovolumna fitoplanktona, ne bi smele biti odvisne, npr. od strukture celičnih ovojev ali uspešnosti metode ekstrakcije.

Prav zaradi omenjenih dejstev in iskanja hitrih načinov ocene stanja smo sezonsko spreminjanje fitoplanktonske populacije spremljali tudi s klorofilnim in fikocianinskim senzorjem fluorescence. Gre za metodo, ki daje podatke v realnem času in omogoča hitro ter enostavno opravljanje meritev na več merilnih mestih v različnih časih. Na tak način lahko spremljamo dinamiko spreminjanja fitoplanktonske populacije. Podatki, pridobljeni v realnem času, omogočajo tudi pravočasno ukrepanje v primeru porasta koncentracije nezaželenih cianobakterij.

Merjenje fluorescence fotosinteznih barvil temelji na avtofluorescenci klorofila in fikocianina. Klorofil vsebujejo vsi fitoplanktonski organizmi in cianobakterije. Fikocianin je pomožno fotosintezno barvilo, ki je značilno za sladkovodne cianobakterije in ga evkariontske alge ne vsebujejo. Ker imata različno ekscitacijo in emisijo, nam kombinirana uporaba senzorjev omogoča ločevanje med cianobakterijami in ostalimi fotoavtotrofi. Senzorji za merjenje fluorescence zato predstavljajo učinkovit pristop za hitro zaznavanje sprememb v fitoplanktonski populaciji (Bastien in sod., 2011; Seppälä in sod., 2007; Bastien in sod., 2010).

Rezultati *in vivo* meritev fluorescence klorofila (slika 2) sledijo dinamiki izmerjene koncentracije ekstrahiranega klorofila *a* (slika 1). Korelacije med vrednostmi so bile 0,97 v letu 2014 in 0,96 v letu 2015. Iz pridobljenih rezultatov lahko zaključimo, da lahko zgolj z uporabo senzorja fluorescence klorofila sledimo naraščanju koncentracije klorofila *a* in posledično fitoplanktona. Vrednosti signala fikocianinskega senzorja (slika 2) so bile ves čas zelo nizke in večinoma odražajo le motnjo ozadja. Iz rezultatov meritev senzorja za fikocianin lahko sklepamo na nizko prisotnost cianobakterij v Koseškem bajerju v letih 2014 in 2015.



Slika 2: Meritve *in vivo* fluorescence klorofila (CHL) in fikocianina (PC), izražene v relativnih enotah [r.e.] izmerjenega signala s hkratno uporabo klorofilnega in fikocianinskega senzorja v enakih obdobjih vzorčenja Koseškega bajeja v letih 2014 in 2015

Rezultate meritev s senzorji smo preverili z določitvijo vrstne sestave fitoplanktona in izračunom biovolumnov posameznih vrst. Biovolumen cianobakterij je bil v letu 2014 najvišji konec septembra (2,8 % celotnega biovolumna). Delež cianobakterij je v povprečju predstavljal samo 0,5 % skupnega biovolumna fotoavtotrofov. V letu 2015 je bil najvišji delež 2,0 %, dosežen konec maja, povprečje pa je bilo 0,4 %. Nizki deleži biovolumna potrjujejo meritve, pridobljene s pomočjo senzorjev.

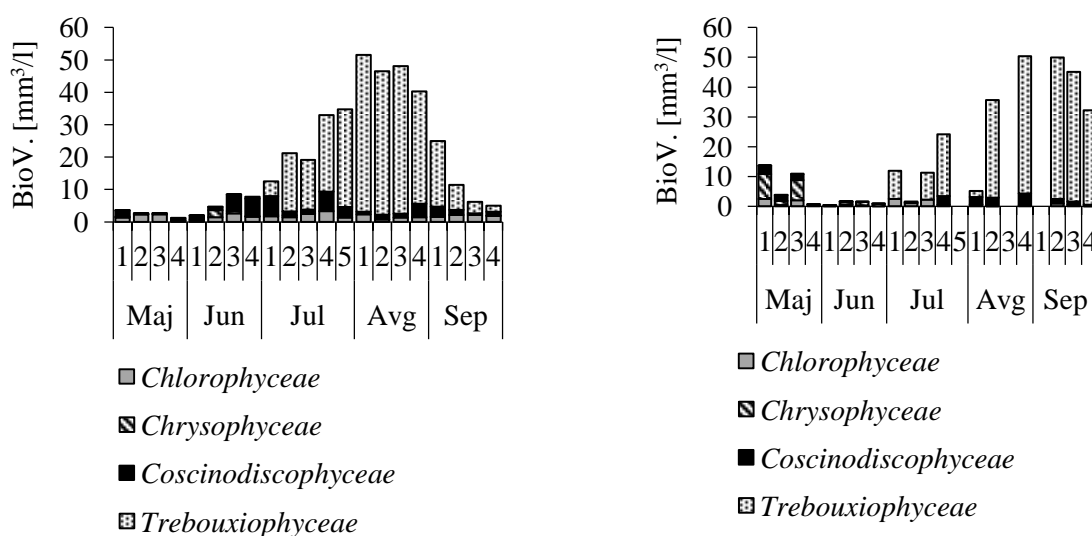
V letih 2012 in 2013 se je v Koseškem bajeju masovno pojavljalo več cianobakterijskih vrst: *Dolichospermum flos-aquae*, *Limnolix reddekei*, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis viridis* in *Microcystis wesenbergii*, *Aphanocapsa* sp., *Aphanothece* sp. ter *Planktothrix agardhii*. Z manjšim deležem so bili prisotni *Snowella lacustris* in *Snowella atomus*. Poleg teh vrst cianobakterij smo v letih 2014 in 2015 našli še *Synechococcus* sp., *Synechocystis* sp., *Cyanodictyon imperfectum* ter vrsto *Planktolyngbya limnetica*, nismo pa opazili vrste *Dolichospermum flos-aquae*. V pomladnih mesecih so v Koseškem bajeju prevladovalе alge iz razreda *Chlorophyceae*. Največji delež je predstavljal vrsta *Pediastrum tetras*. Prisotne so bile tudi *Dinophyceae*. Največji delež je predstavljal vrsta *Ceratium herundinella*. Konec junija smo opazili porast deleža alg iz razreda *Chrysophyceae*, kjer je bil glavni predstavnik *Dinobryon* sp. Poleti so začele pridobivati na biovolumnu alge iz razreda *Trebouxiophyceae* z vrsto *Planctonema lauterbornii*.

V obeh letih je največji delež k biovolumnu prinesla vrsta *Planctonema lauterbornii*. V drugem tednu avgusta 2014 je delež te vrste dosegel 89 %, v letu 2015 pa konec septembra skoraj 98 %. Takšna prevlada posamezne vrste je običajna za vodna telesa, kjer je porušeno naravno ravnovesje. Število vrst, najdenih v Koseškem bajeju, se je z začetnih 49 dvignilo na 58 v juliju, v avgustu pa upadlo na 45. V letu 2015 smo zaznali manj vrst v istih mesecih kot v letu 2014, in sicer 44, 45 ter 47.

Zastopanost vrst iz rodov, značilnih za evtrofne vode, kot so *Scenedesmus*, *Coelastrum* in *Nitzschia*, so zaznali tudi v drugih raziskavah (Krivograd Klemenčič, 2002) in v raziskavah Koseškega bajeja iz leta 2013/2014 (Germ in sod., 2013).

A

B



Slika 3: Sezonska sukcesija fitoplanktonskih organizmov od meseca maja do oktobra v letih 2014 (A) in 2015 (B). Prikazani so biovolumni štirih razredov fitoplanktona (BioV.)

4 Zaključki

Monitoring za vrednotenje kakovosti voda predpisuje analizo fitoplanktona kot enega od osnovnih parametrov, na podlagi katerega lahko sklepamo o kakovosti vodnega telesa. Vsako vodno telo ima svoje posebnosti. Morfološko razgibana in razčlenjena vodna telesa, bi za realno oceno stanja zahtevala izredno veliko število vzorčnih mest in časovno pogosta spremljanja, ki jih z obstoječim predpisanim načinom izvajanja monitoringa finančno in izvedbeno praktično ni možno izvesti. Vzorčenje zaradi zahtevnosti zato nemalokrat obsega premajhno število vzorčnih mest s prevelikimi časovnimi intervali. Zaradi specifičnih migracijskih tokov na dnevni, sezonski in vremensko pogojeni ravni lahko občasno odvzeti vzorci dajejo zavajajoče rezultate ter lahko podcenijo ali celo spregledajo prisotnost škodljivih cianobakterij (Walsby in sod., 2004).

Rezultati spremljanja stanja Koseškega bajerja v letih 2014 in 2015 so potrdili, da lahko zahtevne in dolgotrajne laboratorijske metode vrednotenja fitoplanktona v tem vodnem telesu nadomestimo s hitrejšimi meritvami s pomočjo senzorjev fluorescence. Visoka ujemanja med ekstrahiranim klorofilom *a* in signalom senzorjev fluorescence kažejo na to, da lahko klasične analize nadgradimo z uporabo senzorjev. S sočasno uporabo klorofilnega in fikocianinskega senzorja lahko uspešno zaznamo porast cianobakterij v celotni populaciji fitoplanktona. Hkrati s pomočjo senzorjev pridobimo podatke v realnem času in na ta način pravočasno ukrepamo in opozorimo na potencialno nevarnost, kot je pojav toksičnih cianobakterij. Podatek o koncentraciji fitoplanktona je tudi pomembna informacija ribičem o količini zelenih in drugih alg, ki so pomembna hrana ribam. Z dvoletnimi meritvami smo pridobili in predstavili veliko podatkov o dinamiki fitoplanktonske združbe Koseškega bajerja. Z nadaljnjo uporabo v prispevku predstavljene senzorske opreme bi lahko hitro in v realnem času pridobivali podatke o morebitnem prekomernem in škodljivem pojavljanju alg in cianobakterij, ki lahko ogrozijo ribjo populacijo različnih zajetij, ribnikov in bajerjev, in na ta način omogočili hitro ukrepanje in preprečitev neželenih posledic.

ZAHVALA

Raziskave smo opravili v okviru projekta LIFE+: LIFE12 ENV/SI/783 Stop CyanoBloom. Bazična laboratorijska testiranja opreme smo opravili v okviru projekta ARRS L1-5156.

Literatura in viri

- Bastien, C., Cardin, R., Veilleux, E., deblois, C., Warren, A., Laurion, I. Performance evaluation of phycocyanin probes for the monitoring of cyanobacteria. *Journal of Environmental Monitoring*, 2011, 13: 110–118.
- Bastien C., Cardin R., Veilleux E., Deblois C., Warren A., Laurion I. Performance of phycocyanin probes for the monitoring of cyanobacteria. *Journal of Environmental Monitoring*, 2010, 13: 110–118.
- Bizjak A., Vrhovšek D., Bertok M., Sovinc A., Trontelj P., Burja D., Anzeljc D., Fazarinc R. Vodnogospodarske strokovne podlage za ureditev območja Agrostroj-Koseški bajer. Ljubljanski urbanistični zavod, Ljubljana, 1996.
- Brettum, P. Algen als Indikatoren für die Gewässerqualität in norwegischen Binnenseen. Oslo, 1989, 102 pp.
- Carmichael W.W. Cyanobacteria Secondary Metabolites - the Cyanotoxins. *Journal of Applied Microbiology*, 1992, 72(6): 445–459.
- Cvijan M., Bleženčič J. Flora algi Srbije. Cyanopyta. Naučna knjiga, Beograd, 1996, 290 pp.
- Eleršek T. Potencialno toksične cianobakterije v celinskih vodah Slovenije. 1. izd. Ljubljana: Nacionalni inštitut za biologijo, 2014. isbn 978-961-93486-1-1
- Germ, M., Kuhar, U., Gaberščik, A., Eleršek, T., Urbanič, G., Kosi, G., Ivanušič, M., Fortuna, D., Hrovat, M., Pavlin Urbanič, M., Debeljak, B. Preiskave kakovosti vode ribnika Tivoli in Koseškega bajerja. Končno poročilo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 2013.
- John D.M., Whitton B.A., Brook A.J. (2002) The freshwater algal flora of the British Isles: an identification guide to freshwater and terrestrial algae, Cambridge, 702 str.
- Krivograd Klemenčič A. Alge Koseškega bajerja in Sotelskega jezera, dveh evtrofnih jezer v Sloveniji. *Natura Sloveniae*, 2002, 4, 2: 5–19
- Lürling, M., Faassen, E.J. Dog Poisoning Associated with a *Microcystis aeruginosa* Bloom in the Netherlands. *Toxins*, 2013. 5(3), 556–567.
- Pravilnik o monitoringu stanja površinskih voda. Uradni list RS, št. 10/2009.
- Sedmak B., Kosi G., The role of microcystins in heavy cyanobacterial bloom formation. *Journal of Plankton Research*, 1998, 20(4): 691–701.
- Seppälä, J., Ylöstalo, P., Kaitala, S., Hällfors, S., Raateoja, M., Maunula, P. Ship-of-opportunity based phycocyanin fluorescence monitoring of the filamentous cyanobacteria bloom dynamics in the Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, 73: 489–500.
- Utermöhl, H. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitteilungen der Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 1958, 9: 1–38.
- Walsby, A.E., Ng, G., Dunn, C., Davis, P.A. Comparison of the depth where *Planktothrix rubescens* stratifies and the depth where the daily insolation supports its neutral buoyancy. *New Phytol.* 2004, 162: 133–145.