

# EKOLOŠKO STANJE POVRŠINSKIH VODA

## ECOLOGICAL STATUS OF SURFACE WATERS

### POLETNA ZDRUŽBA FITOPLANKTONA V SLOVENSКИH JEZERIH IN ZADRŽEVALNIKIH

#### Summer phytoplankton community in Slovene lakes and reservoirs

Špela Remec-Rekar

Fitoplankton v stojećih ali počasi tekoćih celinskih vodah je združba većinoma avtotrofnih organizmov, predvsem alg in cianobakterij, ki cel življenjski cikel preživijo lebdeć v prosti vodni masi. Njihovo bivanje in razvoj populacij je zato v celoti odvisen od fizikalnih in kemijskih lastnosti vode, razporejanja vodnih mas, svetlobnih razmer in predvsem prisotnosti in razpoložljivosti limitirajoćega nutrienda, to je tistega nujno potrebnega – esencialnega hranila, ki ga v ekosistemu najbolj primanjkuje. Iz teh razlogov je fitoplankton najprimernejši biološki element za oceno trofićnosti jezer in zadrževalnikov.



Slika 1. Pred zajemom vzorcev fitoplanktona se določi globino vzorčenja s pomoćjo Secchijeve plošće s katero merimo prosojnost jezera in potopne sondo, ki po globinah meri splošne fizikalno – kemijske parametre, kot je temperatura, vsebnost kisika, pH in prevodnost. Za analizo kolićine fitoplanktona se zajame kvantitativne vzorce iz eufotićne, to je presvetljene cone s pomoćjo integriranega vzorćevalnika, kvalitativne vzorce za analizo vrstne sestave pa s primerno planktonsko mrežo.

Figure 1. Sampling depth for phytoplankton is determined with the aim of Secchi disc for the lake transparency determination and depth multivariate water probe for determination general physical and chemical water quality parameters as temperature, oxygen, pH and conductivity. Samples for quantitative phytoplankton examination are taken with the integrated water sampler from the lake euphotic zone and quality samples for the species composition with the suitable phytoplankton nets.

Trofićno stanje jezer in zadrževalnikov določa kolićina prisotnih hranil, ki jih predstavljajo jezeru lastne ali iz pojezerja prinešene, v vodi raztopljene različne dušikove, predvsem pa fosforjeve organske in anorganske spojine, ki jih mineralizirane uporabi rastlinski plankton za rast populacij. Kolićina hranil pogojuje razvoj fitoplanktona, ki je vir hrane za rastlinojedi zooplankton, ta pa je pomemben vir za

nadaljnje porabnike v ekosistemu. Zaradi te primarne vloge, lahko rečemo, da je fitoplankton primarni producent, ki preko svoje produktivnosti uravnava prehranbene procese in produktivnost celotnega jezerskega ekosistema. Tudi reakcije fitoplanktona na razpoložljive koncentracije hranil v vodi so izredno hitre. Iz obeh razlogov je fitoplankton za oceno trofičnosti jezer nepogrešljiv biološki element, ki ga za določitev ekološkega stanja jezer zahteva Uredba o stanju površinskih voda (UR.L.RS 14/2009, 98/10, 96/13, 24/16), skladno z zahtevami Vodne direktive (2000/60/ES), ki usmerja vodno politiko Evropske skupnosti.

Preobremenjenost s hranili in spremljajoči proces evtrofikacije je osnovni problem večine evropskih jezer in zadrževalnikov in tudi v Sloveniji. Pojav prekomerne razrasti planktonskih alg ali cianobakterij, ki je posledica obremenjenosti s hranili ter drugih ugodnih dejavnikov v jezeru, ki spodbujajo rast in razvoj populacije ene vrste, imenujemo »cvetenje«. Značilna tvorba prevlek iz zgoščenih celic alg ali cianobakterij na površini jezera in obarvanost vode pritegne tudi pozornost laičnega opazovalca.



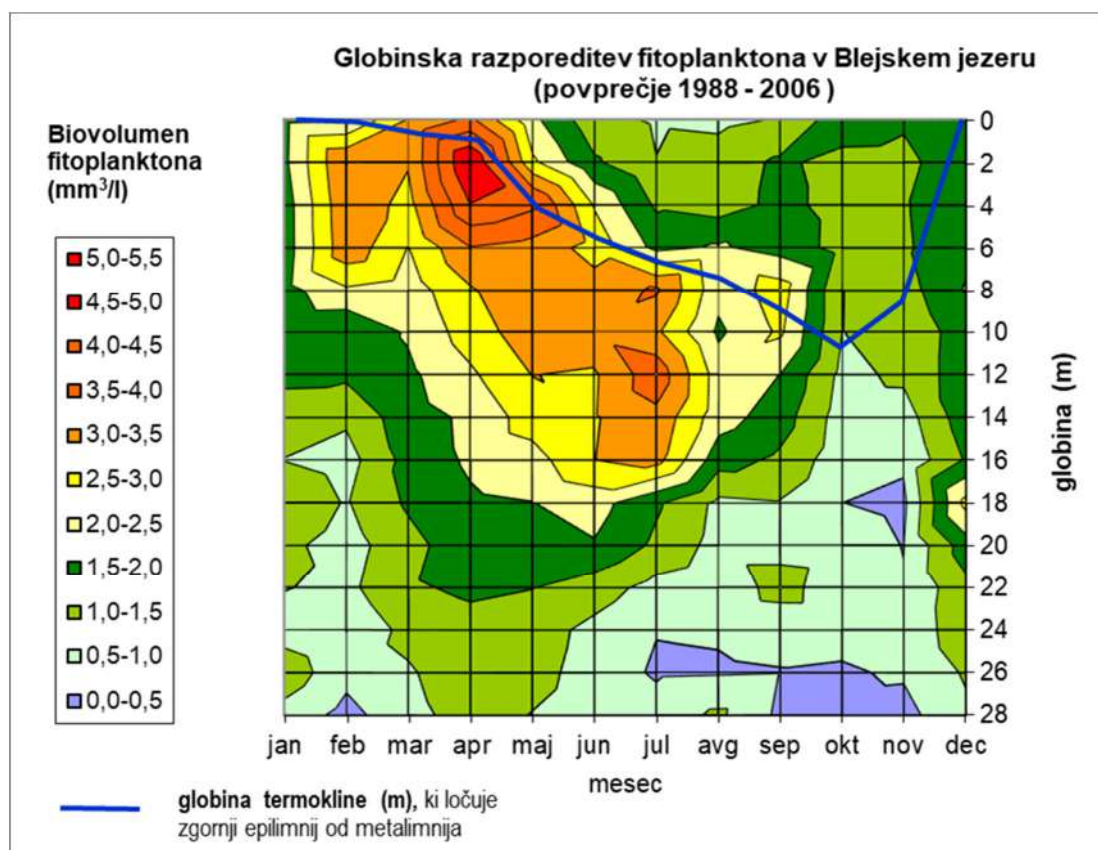
Slika 2. Značilen neprijeten pogled na »cvetenje«, ki ga povzročajo različne vrste alg in cianobakterij (*Planktotrix rubescens*, *Uroglena americana*, *Dolichospermum lemmermannii*, *Peridinium cinctum*)

Figure 2. Unpleasant view of water bloom caused by different algal and cyanobacterial taxa (*Planktotrix rubescens*, *Uroglena americana*, *Dolichospermum lemmermannii*, *Peridinium cinctum*)

Z naraščanjem koncentracije hranil v jezeru količina - biomasa fitoplanktona narašča, spreminja pa se tudi vrstna sestava fitoplanktonske združbe. Vrstna pestrost fitoplanktona je zelo velika. Šifrant fitoplanktonskih organizmov vključuje kar 2294 vrst. Naravnost osupljiva je tudi sezonska variabilnost fitoplanktona, zato je za oceno ekološkega stanja naravnih jezer na podlagi fitoplanktona potrebno najmanj 3-letno zaporedno spremljanje stanja, z letno frekvenco, ki zajame vsako od limnoloških obdobj: spomladansko homotermijo, začetno poletno plastovitost, višek poletne plastovitosti in jesensko homotermijo. Z razporejanji vodnih mas, ki so značilna za ta obdobja, se poleg drugih abiotičnih dejavnikov bistveno spreminja tudi razporeditev in koncentracija hranil v jezerskem ekosistemu. S temi spremembami se spreminja tudi združba fitoplanktona.

Prisotnost in razpoložljivost limitirajočega hranila, ki je v jezerih zmerne pasu večinoma fosfor, je glavni dejavnik, ki vpliva na količino in spremembe vrstne sestave fitoplanktona, oziroma na populacijsko dinamiko fitoplanktona.

Osnova variabilnosti fitoplanktonske združbe so prilagoditve posameznih vrst na različne fizikalno-kemijske razmere v vodnem stolpcu. Prilagoditve fitoplanktona na zahteve okolja so lahko morfološke, fiziološke, morfološko-fiziološke in reprodukcijsko strateške. Skupaj predstavljajo evolucijsko strategijo organizma, ki vrsti omogoča, da je v boju za obstanek in limitirajoče hranilo v določenih razmerah uspešnejša od drugih organizmov. Svojo uspešnost v določenem okolju vrsta kaže z oblikovanjem najštevilčnejše populacije v združbi.



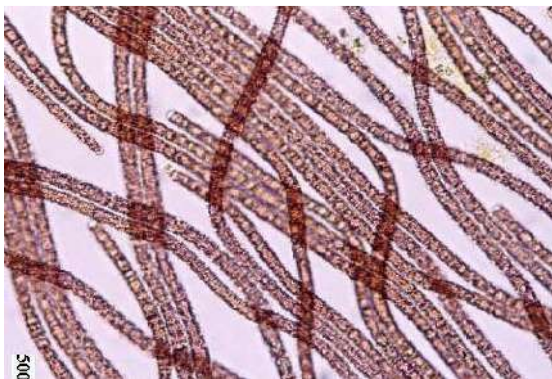
Slika 3. Globinska razporeditev fitoplanktona v Blejskem jezeru na osnovi analiz fitoplanktona v obdobju 1988–2006, izražena kot biovolumen ( $\text{mm}^3/\text{L}$ ). Za poletno obdobje je značilen »pobeg« fitoplanktona iz površine v globino. Glavnina fitoplanktona se poleti zadržuje pod globino termokline, ki označuje gostotni temperaturni preskok med zgornjim segretim epilimnijem in spodnjim metalimnijem.

Figure 3. Phytoplankton depth distribution in the Lake Bled on the base of phytoplankton analyses during the period 1988–2006, expressed in phytoplankton biovolume ( $\text{mm}^3/\text{L}$ ). Typical for the summer period is the "phytoplankton escape" from the surface deeper depths. During the summer main phytoplankton biomass is concentrated under the thermocline depth that represents a density and thermal barrier between epilimnion and metalimnion.

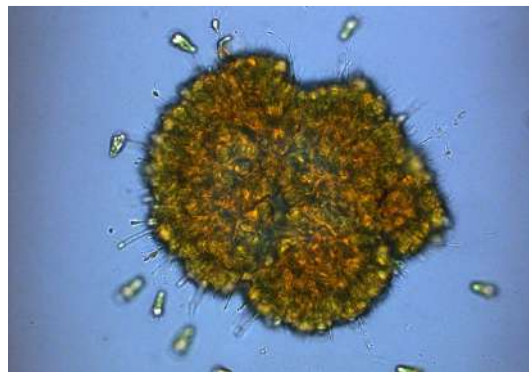
Po obdobju spomladanske homotermije, ob koncu aprila, v Bohinjskem jezeru pa približno mesec kasneje, se s segrevanjem vode in z značilno temperaturno plastovitostjo vode začne poletje tudi v globokih alpskih in predalpskih jezerih. Vrste značilne za obdobje spomladanske homotermije izginjajo, postopno jih izpodrivajo poletne vrste.

Poletni predstavniki fitoplanktona so dobro prilagojeni na stres, ki ga predstavlja predvsem pomanjkanje nutrientov v epilimniju kar premagujejo z ustvarjanjem zalog, z aktivnim gibanjem in z različnimi prilagoditvami, s katerimi lažje uravnavajo zadrževanje na globinah, kjer si zagotovijo čim bolj ugodne razmere, dovolj esencialnih nutrientov in predvsem še dovolj svetlobe za rast populacije. V globokih jezerih se namreč z začetkom termalne stratifikacije v epilimniju zmanjša založenost s hranili, medtem ko v meta in hipolimniju narašča. Večina fitoplanktona se zato zadržuje v metalimniju (Slika 3), kjer se izogne tudi prevelikemu UV sevanju na površini, ki je značilno za poletne mesece.





Slika 4. Cianobakterija *Planktothrix rubescens*, ki je v preteklosti povzročala masovna in dolgotrajna cvetenja v Blejskem jezeru se poleti umakne v globino, kjer s pomočjo kolektorskih pigmentov lahko izkoristi le 1 % fotosintetsko aktivne radiacije za rast populacije  
Figure 4. The cyanobacterial species *Planktothrix rubescens* form dense and long lasting blooms in Lake Bled in the past. The species migrate to the metalimnion depth in the summer, where with the aid of collector pigments can utilize only 1 % of photosynthetic active radiation for the population growth.



Slika 5. Zelena alga (Chlorophyta) *Botryococcus braunii* je izredno bogata z olji, ki vsebujejo nafti podobne ogljikovodike. Najboljši črni premog iz J Avstralije in iz J Škotske je večinoma iz fosiliziranih ostankov te vrste, ki je pogosta tudi v oligotrofnem Bohinjskem jezeru.  
Figure 5. Green algae (Chlorophyta) *Botryococcus braunii* is extremely rich with the oils consist from the same carbohydrates as oil. The best black coal from south Australia and Scotland is made from the fossil rest of this species frequent also in the oligotrophic Lake Bohinj.

V plitvih zadrževalnikih, kot so Šmartinsko, Slivniško, Perniško, Ledavsko in Gajšavsko jezero, kjer plastovitosti praktično ni ali pa je omejena le na najgloblji del zadrževalnika in zelo kratko obdobje, so razmere seveda povsem drugačne. V njih pomanjkanja hranil večinoma ni zaznati, zato je v plitvih zadrževalnikih vrstna sestava fitoplanktonske združbe drugačna in vrste uporabljajo drugačno strategijo preživetja. Zaradi učinka samozasenčenja (»self-shading effect«), ki jo povzroča prekomerna produkcija, oziroma »cvetenje« fitoplanktona s formacijo gošče na površini, pogosto prihaja do pomanjkanja svetlobe že kmalu pod površino. V takšnih razmerah, ki se zaradi vetra lahko zelo hitro spreminjajo, so uspešne vrste, ki lahko zelo hitro izkoristijo izboljšane svetlobne razmere in ponujena hranila. Uspešne so tudi vrste, ki ob pomanjkanju svetlobe in obilici prisotne organske snovi, ki jo predstavljajo odmrle alge preidejo celo na heterotrofen način prehranjevanja. To so predvsem vrste iz skupine evglan (Euglenophyta).

**Metodologiji za vrednotenja ekološkega stanja jezer na podlagi fitoplanktona** je nastala v alpski geografski interkalibracijski skupini za jezera (Alpski GIG), v kateri je sodelovalo 5 držav, Avstrija, Italija, Francija, Nemčija in Slovenija, ki so v skupno podatkovno bazo prispevale hidromorfološke, kemijske in biološke podatke za 161 jezer v območju Alp, iz obdobja od 1930 do 2006 (Wolfram G. et al. 2009).

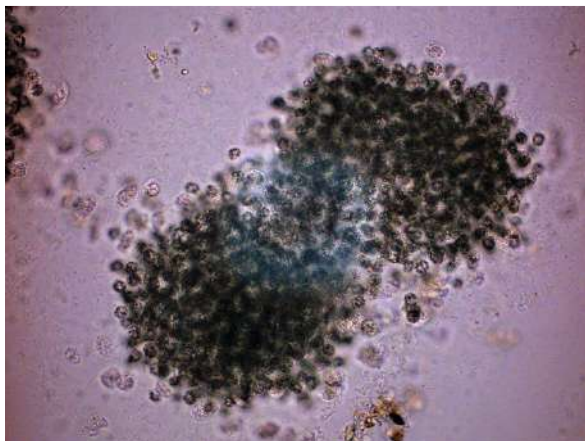
Osnova vseh z Vodno direktivo skladnih metodologij za vrednotenje ekološkega stanja na podlagi bioloških elementov, je **stresni faktor** v vodnem okolju, na katerega se organizmi razpoznavno odzivajo. Kot v večini evropskih jezer je tudi v slovenskih jezerih **fosfor** razpoznan kot limitirajoči dejavnik produkcijskih – trofičnih procesov, zato je bila **povprečna letna koncentracija celotnega fosforja** podlaga tudi za vrednotenje ekološkega stanja na podlagi fitoplanktona.

Na podlagi koncentracije celotnega fosforja, ki so značilne za referenčna jezera, oziroma po OECD kriterijih za oceno trofičnosti, za ultra-oligotrofna in oligotrofna globoka alpska in predalpska jezera, so bila najprej izbrana referenčna jezera. Analiza podatkov iz referenčnih jezer je bila osnova za izbor referenčnih in mejnih vrednosti razredov ekološkega stanja (preglednica 1) za vse parametre, s katerimi določamo količino in vrstno sestavo fitoplanktona.



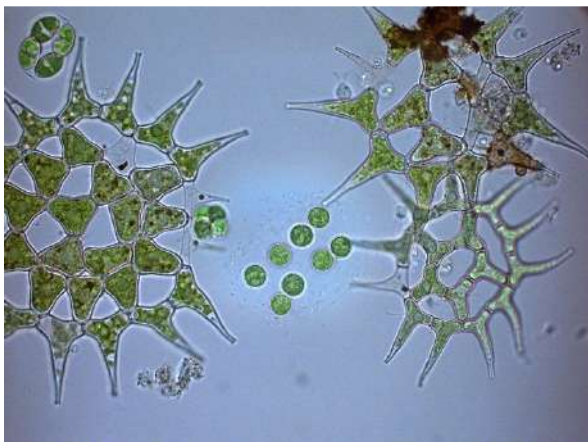
Slika 6. Ognjene alge (Dinophyta) so vključno z vrsto ***Gymnodinium uberimum*** predstavniki poletne fitoplanktonske združbe v čistih – oligotrofnih jezerih. Gre za velike, aktivno plavajoče vrste, ki s sposobnostjo kopičenja esencialnih nutrientov (luxury uptake) preživijo obdobje pomanjkanja.

Figure 6. Dinophytes (Dinophyta) including the species ***Gymnodinium uberimum*** are typical representatives of the summer phytoplankton community in clean oligotrophic lakes. Most of them are big active swimming species. With the ability of luxury uptake they survive nutrient deficiency.



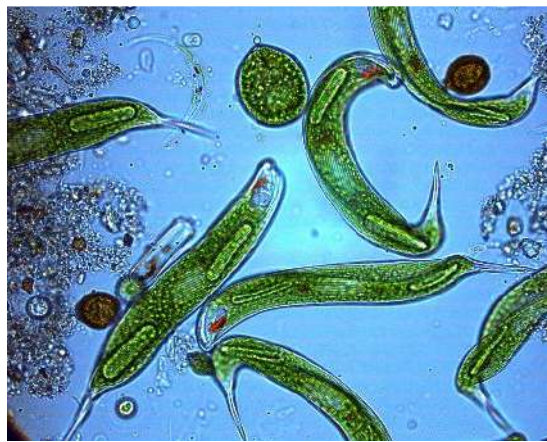
Slika 7. Cianobakterija ***Microcystis aeruginosa*** pogosto povzroča masovna strupena »cvetenja« v izredno produktivnih, s hranili bogatih zadrževalnikih SV Slovenije. Mikrocistini, ki jih izločajo cianobakterije, so hudi jetrni strupi nevarni za ljudi tudi zaradi uživanja rib iz teh zadrževalnikov.

Figure 7. Cyanobacteria ***Microcystis aeruginosa*** frequently causes massive toxic algae blooms in very productive, nutrient rich reservoirs in the north east of Slovenia. Cyanobacterial microcystins are very toxic hepatotoxins that threaten human health also by fish consumption.



Slika 8. Zelena alga ***Pediastrum simplex*** je indikator preobremenjenosti s hranili in se množično pojavlja samo v jezerskih ekosistemih, s povprečno letno koncentracijo fosforja < 60 µg P/L (preglednica 2)

Figure 8. Massive appearance of the green algae ***Pediastrum simplex*** indicate high trophic level of lake ecosystems with the annual phosphorus concentration greater than 60 µg P/L. (Table 2).



Slika 9. Prisotnost euglenofitov (Euglenophyta), predvsem iz rodu *Euglena* kaže na preobremenjenost z nutrienti in organskimi snovmi (preglednica 2). Na sliki je vrsta ***Euglena oxyuris*** iz Šmartinskega jezera.

Figure 9. Euglenophytes (Euglenophyta) specially from genus *Euglena* indicate with nutrients and organic matter overloaded lake ecosystems (Table 2). In the picture is ***Euglena oxyuris*** from the Šmartinsko Lake

Metoda upošteva vse bistvene odzive fitoplanktona na spremembe koncentracije celotnega fosforja v vodi. Z naraščanjem koncentracije fosforja v vodi narašča skupna količina fitoplanktona, ki se vrednoti z analizo abundance in določitvijo skupnega **biovolumna fitoplanktona** (SIST EN 15204; CEN TC 230/WG 2/TG 3/2007) in **koncentracijo klorofila-a** (SIST ISO 10260:2001).

Spreminjanje vrstne sestave fitoplanktona se vrednoti s pomočjo trofičnega **indeksa brettum** in predstavlja novost pri vrednotenju fitoplanktona. Indeks brettum se določa na podlagi seznama indikatorskih vrst, ki je bil prav tako oblikovan v procesu interkalibracije.

Preglednica 1. Referenčne in mejne vrednosti razredov ekološkega stanja za vse parametre fitoplanktona, z izračunanimi transformiranimi in normaliziranimi REK vrednostmi v globokih alpskih in predalpskih jezerih z razredi ekološkega stanja (Wolfram G.at all. 2009)

Table 1. Reference and boundary values of ecological classes for all phytoplankton parameters with calculated normalized and transformed values in deep Alpine and Subalpine Lakes (Wolfram G.at all. 2009)

| Referenčne vrednosti in<br>meje razredov | Parametri in metrike                          | Razmerje ekološke<br>kakovosti (rek) |            | Razredi<br>ekološkega stanja |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|------------|------------------------------|
|                                          | Biovolumen (mm <sup>3</sup> l <sup>-1</sup> ) | n REK                                | REK trans. |                              |
| Ref                                      | 0,2–0,3                                       | 1,00                                 | 1          | Zelo dobro                   |
| ZD/D                                     | 0,3–0,5                                       | 0,60                                 | 0,80       | Dobro                        |
| D/Z                                      | 0,8–1,2                                       | 0,25                                 | 0,60       | Zmerno                       |
| Z/S                                      | 2,1–3,1                                       | 0,10                                 | 0,40       | Slabo                        |
| S/ZS                                     | 5,3–7,5                                       | 0,04                                 | 0,20       | Zelo slabo                   |
| Referenčne vrednosti in<br>meje razredov | Klorofil (µg l <sup>-1</sup> )                | Razmerje ekološke<br>kakovosti (rek) |            | Razredi<br>ekološkega stanja |
|                                          |                                               | n REK                                | REK trans. |                              |
| Ref                                      | 1,50–1,90                                     | 1,00                                 | 1,00       | Zelo dobro                   |
| ZD/D                                     | 2,10–2,70                                     | 0,70                                 | 0,80       | Dobro                        |
| D/Z                                      | 3,80–4,70                                     | 0,40                                 | 0,60       | Zmerno                       |
| Z/S                                      | 6,80–8,70                                     | 0,22                                 | 0,40       | Slabo                        |
| S/ZS                                     | 12,5–15,8                                     | 0,12                                 | 0,20       | Zelo slabo                   |
| Referenčne vrednosti in<br>meje razredov | Indeks brettum                                | Razmerje ekološke<br>kakovosti (rek) |            | Razredi<br>ekološkega stanja |
|                                          |                                               | n REK                                | REK trans. |                              |
| Ref                                      | 5,09–5,29                                     | 1,00                                 | 1,00       | Zelo dobro                   |
| ZD/D                                     | 4,21–4,37                                     | 0,83                                 | 0,80       | Dobro                        |
| D/Z                                      | 3,33–3,46                                     | 0,65                                 | 0,60       | Zmerno                       |
| Z/S                                      | 2,45–2,54                                     | 0,48                                 | 0,40       | Slabo                        |
| S/ZS                                     | 1,57–1,63                                     | 0,31                                 | 0,20       | Zelo slabo                   |

Ref referenčne vrednosti, značilne za ekološki tip vodnega telesa

ZD/D meja zelo dobro/dobro

D/Z meja dobro/zmerno

Z/S meja zmerno/slabo

S/ZS meja slabo/zelo slabo

n REK normalizirana vrednost REK parametra z Ref vrednostjo

trans. transformirana vrednost REK

Trenutno seznam vključuje 162 vrst, ki se redno pojavljajo v različno produktivnih plitvih in globokih jezerih v območju Alp, vendar se še dopolnjuje. Za vsako indikatorsko vrsto je bila na osnovi njene relativne pogostosti v združbi pri različnih koncentracijah celotnega fosforja statistično določena njena indikatorska vrednost (preglednica 2).

Čim višja je indikatorska vrednost vrste v posameznem trofičnem razredu, tem pogostejša je vrsta in tem večji je njen delež v skupni biomasi fitoplanktona v jezerih, kjer so koncentracije celotnega fosforja, enaki koncentraciji, ki označuje trofični razred. Barvna oznaka trofičnih razredov sledi barvi razredov ekološkega stanja v preglednici 1. Ker so bili trofični razredi povzeti po OECD kriterijih na podlagi katerih se je trofičnost jezer vrednotila dolga leta pred Vodno direktivo, sta prvi in drugi trofični razred v preglednici 2, temno modre barve in označuje referenčne razmere oziroma zelo dobro ekološko – trofično stanje. Na primer, cianobakterija *Mycrocystis aeruginosa* se pojavlja v jezerih in zadrževalnikih, kjer je povprečna koncentracija celotnega fosforja od 15 do >60 µg P, vendar prevladuje v s hranili zelo obremenjenih jezerskih ekosistemih (>60 µg P), kjer lahko razvije zelo masovno in številčno populacijo. Tej vrsti nasprotne indikatorske vrednosti ima vrsta *Botryococcus braunii*, ki je indikator jezerskih ekosistemov z malo hranili.



Preglednica 2. Statistično določene indikatorske vrednosti za predstavljene poletne vrste fitoplanktona v trofičnih razredih na osnovi različnih koncentracij celotnega fosforja [ $\mu\text{g P l}^{-1}$ ].

Table 2. Statistically determined indicator values for presented summer phytoplankton species in different trophic classes determined with the total phosphorus concentration [ $\mu\text{g P l}^{-1}$ ].

| Vrsta fitoplanktona    | Trofični razredi na podlagi celotnega fosforja [ $\mu\text{g P l}^{-1}$ ] |     |      |       |       |     |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----|------|-------|-------|-----|
|                        | < 5                                                                       | 5–8 | 8–15 | 15–30 | 30–60 | >60 |
| Planktothrix rubescens | 1                                                                         | 1   | 3    | 4     | 1     | 0   |
| Botryococcus braunii   | 5                                                                         | 2   | 2    | 1     | 0     | 0   |
| Gymnodinium uberrimum  | 1                                                                         | 6   | 2    | 1     | 0     | 0   |
| Microcystis aeruginosa | 0                                                                         | 0   | 1    | 1     | 3     | 5   |
| Pediastrum simplex     | 0                                                                         | 0   | 0    | 1     | 2     | 7   |
| Euglena sp.            | 0                                                                         | 0   | 1    | 2     | 2     | 5   |

Ocena ekološkega stanja je podlaga za upravljanje z vodnimi viri in njihovo trajnostno rabo. Zmerno ekološko stanje ocenjeno na podlagi fitoplanktona pomeni, da so za doseganje dobrega stanja potrebni ukrepi za zmanjšanje obremenitev jezerskega ekosistema s hranili. Najpogostejše vire obremenjevanja s hranili predstavlja intenzivna kmetijska raba in neurejena komunalna ureditev v prispevnem območju jezera. Tudi intenzivna turistična dejavnost s splošno preobremenjenostjo prostora in infrastrukture znatno vpliva na povečano obremenitev jezerskih ekosistemov s hranili.

## Literatura

1. Direktiva 2000/60/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike. Bruselj 2000
2. Metodologija vrednotenja ekološkega stanja jezer na podlagi fitoplanktona, [http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/voda/ekolosko\\_stanje/metod\\_vredn\\_ekoloskega\\_st\\_jezer\\_fitoplanktona.pdf](http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/voda/ekolosko_stanje/metod_vredn_ekoloskega_st_jezer_fitoplanktona.pdf)
3. CEN TC 230/WG 2/TG 3/2007 Kakovost vode - Smerni standard za določanje biovolumna fitoplanktona.
4. SIST EN 15204 (2007). Smerni standard za štetje fitoplanktona z invertno mikroskopijo (Utermöhl-Technik).
5. SIST ISO 10260:2001 Kakovost vode - Merjenje biokemijskih parametrov - Spektrometrično določevanje koncentracije klorofila-a.
6. Eutrophication of waters, Monitoring, Assessment and Control Anon., OECD Paris, (1982)
7. Brettum, P. 1989. Algal as indikatorer par vannkvalited i norske innsjoer. Planteplankton. NIVA, Blindern, Oslo.
8. Wolfram G., Argillier C., de Bortoli J., Buzzi F., Dalmiglio A., Dokulil M. T., Hoehn E., Marchetto A., Martinez P.-J., Morabito G., Reichmann M., Remec-Rekar Š., Riedmüller U., Rioury C., Schaumburg J., Schulz L. & Urbanič G. (2009). Reference conditions and WFD compliant class boundaries for phytoplankton biomass and chlorophyll-a in Alpine lakes. Hydrobiologia 633: 45–58

## SUMMARY

The main purpose of the article is short presentation of some summer phytoplankton species and the new Methodology for the ecological status assessment of lakes with phytoplankton. On the base of phytoplankton time and space distribution pattern from the Lake Bled the main summer phytoplankton community characteristics in different lake types are discussed. Presented are indicator values and speciality of some summer phytoplankton species.