

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta



**Omezení masového rozvoje sinic rodu *Microcystis*
provzdušňováním sedimentu v zimních měsících**

Bakalářská diplomová práce

Václav Kotil

2008

Vedoucí práce: RNDr. Jakub Borovec, Ph.D.

KOTIL V., OMEZENÍ MASOVÉHO ROZVOJE SINIC RODU *MICROCYSTIS* PROVZDUŠŇOVÁNÍM SEDIMENTU V ZIMNÍCH MĚSÍCÍCH (ELIMINATION OF WATER BLOOMS CAUSED BY THE CYANOBACTERIUM *MICROCYSTIS* USING THE AERATION OF THE SEDIMENT IN WINTER MONTHS.) 15 p., Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Anotace

This bachelor thesis is presented in a form of a scientific project. A new method against the nuisance water bloom caused by the cyanobacterium *Microcystis* in freshwater reservoirs is discussed. This method employs the aeration of reservoir sediments in winter months, which efficiently reduces the amount of overwintering colonies. Presented work includes the description of *Microcystis* life-cycle and a brief comparison of existing methods.

Čestně prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pouze s použitím citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

.....
V Českých Budějovicích, 30. dubna 2008

Poděkování

Chtěl bych poděkovat všem lidem v laboratoři za příjemnou atmosféru a hlavně Jakubovi Borovcovi za odbornou pomoc při vzniku této práce. Dále bych chtěl poděkovat Petře Mošnerové za slohovou korekturu a mamince za zázemí, které mi poskytla.

Obsah

1.	Abstrakt	4
2.	Cíle a hypotézy předkládané bakalářské práce	4
3.	Literární přehled	5
3.1	Životní cyklus <i>Microcystis</i>	5
3.2	Zdroje energie a metabolické cesty k přežití zimního období	6
3.3	Zimní úbytek biomasy	6
3.4	Popis stávajících metod	7
3.5	Princip navrhované metody	10
3.6	Určení místa instalace technického vybavení	10
3.7	Návrh ověření metody	11
4	Kritické zhodnocení	12
5	Shrnutí	12
6	Seznam citované literatury	14

1. Abstrakt

Většina stojatých vod v České republice je postižena snížením kvality vlivem eutrofizace, což je mnohdy doprovázeno masivním letním rozvojem sinic rodu *Microcystis*. Tyto sinice mohou být toxické a způsobují mnoho problémů, včetně ohrožení zdraví lidí, případně volně žijících i domácích živočichů. Dále snižují ekonomické využití vodního tělesa - omezením rekreačního využití, zvýšenými náklady na úpravu pitné vody nebo ztrátou rybí obsádky.

Je známo mnoho metod k potlačení obtížného vodního květu. Tyto metody fungují buď na chemickém principu (srážení fosforu, který je limituje růst sinic), nebo využívají biologických zákonitostí, kdy se snaží konkurenčně potlačit nebo jinak zvýšit tlak na dominující skupinu sinic či řas. Tyto metody však často nevedou k požadovaným výsledkům nebo mají vedlejší negativní účinky.

Navrhovaná metoda omezení masového rozvoje sinic rodu *Microcystis* využívá skutečnosti, že kolonie *Microcystis* přezimují v anoxii na povrchu nebo v sedimentech nádrží, odkud později rekolonizují vodní sloupec. Provozdušňování sedimentu a hypolimnia v zimních měsících by mělo snížit jejich možnosti přežití do dalšího roku. Přidáním kyslíku do sedimentu dojde ke zvýšení aktivity ostatních mikroorganismů, zvýší se tak i jejich požadavky na zdroj energie. Tím se sníží zásoby organických látek v sedimentech, které *Microcystis* může využívat při přezimování. Tímto relativně levným způsobem by mohly být odstraněny negativní vlivy spjaté s masivním letním přemnožením sinic rodu *Microcystis*.

2. Cíle projektu:

- Navrhnout a otestovat metodu pro potlačení letního rozvoje sinice rodu *Microcystis*.
- Ověřit hypotézu, že při prokysličení sedimentu v zimních měsících se sníží množství vnějšího zdroje uhlíku využitelného pro heterotrofní metabolismus sinic rodu *Microcystis*.

3. Literární přehled

3.1 Životní cyklus

V eutrofních jezerech přezimovávají sinice rodu *Microcystis* v sedimentu a na jaře potom znovu obsazují vodní sloupec (Verspagen, 2005). To je však možné pouze pokud přežijí zimní období a pokud jsou schopny se ze sedimentu dostat (Verspagen, 2004). Do vodního sloupce stoupají jak staré kolonie, které sedimentovaly minulý podzim (Preston, 1980), tak i nové kolonie, které vznikly po krátké době dělení na jaře (Brunberg and Blonqvist, 2003). Za faktory ovlivňující začátek reinokulace byly označeny zvýšení teploty, slabé záření a anoxie (Reynolds et al., 1981), avšak za nejdůležitější faktor je dnes považováno zvýšení teploty vodního sloupce (Ihle, 2005). Tyto fyzikálně-chemické změny jsou impulsem k získání pozitivní vznášivosti *Microcystis* (Brunberg and Blonqvist, 2003). Proces je často doprovázen významnějším pasivním vznosem řízeným resuspendací sedimentu (Verspagen, 2005). Po uvolnění kolonie ze sedimentu začíná fáze růstu ve vodním sloupci.

Růst *Microcystis* je autotrofní a vyžaduje anorganický uhlík, světlo a jednoduché živiny, stejně jako u planktonních řas (Reynolds et al., 1981). Masový rozvoj sinic pozitivně ovlivňuje mnoho faktorů: pomalé míchání vody, malý poměr eufotické vrstvy k míchané vrstvě vody, vysoká teplota, nízká koncentrace CO₂ a vyšší pH, nízké koncentrace celkového i anorganického N (Marinho, 2007), hlavním předpokladem je, ale fosforem bohaté prostředí (Brunberg and Blonqvist, 2002). V našich zeměpisných šířkách bývá limitujícím prvkem růstu sladkovodního fytoplanktonu fosfor (Lewandowski et al., 2003).

Microcystis mají aerotopy, které jim umožňují se vznášet (Walsby, 1994). Jsou schopné regulovat vznášivost, a tím i své potenciální umístění ve vodním sloupci. Tato adaptace jim pomáhá vyhnout se disturbancím, turbulencím i nadměrnému ozáření a udržet se v eufotické vrstvě (Reynolds et al., 1981), zatímco rozsivky a zelené řasy klesají v teplotně stratifikované nádrži ke dnu (Furusato, 2004). Vznášivé cyanobakterie tak disponují výhodou v kompetici o světlo, protože si mohou zvýšit jeho přísun a zastínit ostatní nevznášivý fytoplankton. Tato výhoda se může uplatnit zejména při vyšší teplotě, kdy vzrůstá stabilita stratifikace (Huisman et al., 2004).

Microcystis má nízkou růstovou rychlost a poměrně vysoké teplotní optimum růstu (28,2 °C, Jöhnk, 2008). Díky velikosti kolonií, dosahujících velikostí větších než 60µm (Reynolds et al., 1981), je minimálně spásána zooplanktonem, což v kombinaci s přítomností aerotopů vede k tzv. nízké ztrátovosti z vodního sloupce. Kombinací relativně nízké růstové

rychlosti a nízké ztrátovosti kolonií může ve výsledku překonat objem maximální biomasy konkurenčních řas (Reynolds et al., 1981).

Po ukončení vegetační sezóny kolonie *Microcystis* klesají ke dnu. Jako hlavní spouštěč klesání uvádí Ihle (2005) snížení teploty vody. Klesání je způsobeno enzymatickým zeslabením stěn aerotopů (Reynolds et al., 1981) a je umocněno nabalením detritu a jílu na kolonie. Na povrchu sedimentu zůstává populace životaschopná v podobě vegetativních buněk (Stal and Moezelaar, 1997).

3.2 Zdroje energie a metabolické cesty k přežití zimního období

Microcystis, jako většina cyanobakterií, je schopna oxické fotosyntézy s využitím vody jako donoru elektronů (Stal and Moezelaar, 1997). Ve světelných podmínkách hromadí glykogen, který je využíván jako zdroj energie za tmy (Stal and Moezelaar, 1997). Cyanobakterie obecně využívají vnitřní zásoby uhlovodíků k aerobnímu dýchání, při anoxii si musejí najít alternativní způsob získávání energie (Stal and Moezelaar, 1997). Ve tmě tyto organizmy degradují glykogen Embden-meyerhof-Parnas cestou, produkty této fermentace jsou CO₂, etanol, acetát a H₂ (Stal and Moezelaar, 1997). Avšak glykogen je jen krátkodobá zásoba energie určená pouze k přežití noci. Reynolds et al. (1981) zjistil vyčerpání glykogenových inkluzí po 48 h, kdy byly buňky udržovány ve tmě. *Microcystis* ukládá poly-β-hydroxybutyrát jako zásobní polymer (Reynolds et al., 1981), ale zatím nebyl doložen důkaz o jeho použití v temnostní fermentaci (Stal 1992).

Glykogen je jako substrát pro fermentaci používán koloniemi *Microcystis* na hladině, kde přes noc mohou nastat anoxické podmínky. Pro dlouhodobé přezimování je využití vnitřních zásob sacharidů nepravděpodobné (Verspagen, 2004). Stále není jasné, jakým způsobem získává *Microcystis* energii k přezimování. Mc Kinght et al. (2000) potvrdil významný heterotrofní příjem sacharidů z vnějšího prostředí u fytoplanktonu během arktické zimy a stejně tak Quesada (2002) u sinic ze slaného jezera na Sibiři. Příklad příjem glukózy *Microcystis aeruginosa* prokázal Stal and Moezelaar (1994). Na úrovni maximálních koncentrací změřil příjem mnoha cukrů a aminokyselin včetně glukózy Comte et al. (2007). Dále byl prokázán externí příjem leucinu. (Kamjunke, 2000).

3.3 Zimní úbytek biomasy

Tsujimura, (2000) dokumentoval větší koncentrace buněk *Microcystis* v hlubších částech sedimentu než na povrchu, což vysvětluje tím, že buňky, které jsou osvětleny v teplotách pod 15 °C ztrácejí životaschopnost. Naopak žádný výrazný úbytek kolonií

Microcystis nenaměřil Wu (2008), který sledoval jejich přežívání po dobu 30 dní při teplotě 4°C a ve tmě. Přežívání kolonií ovlivňuje i aktivita okolních organismů. Boström et al. (1989) uvádí, že 10% ztrát buněk *Microcystis* na povrchu sedimentu během zimního období bylo možné přičíst „grazingu“. Kolonie ukryté v sedimentu v podmínkách nízké teploty, tmy a anoxie přežívaly déle.

V sedimentu kolonie nezůstávají nezměněny, nejprve dochází k odumření vnějších buněk, kdežto buňky ve středu kolonie mají životnost nejdéle (Latour, 2007, Reynolds et al., 1981). Kolonie překryté sedimentem jeden a půl roku měly periferní buňky přeměněny na sliz (Latour, 2007). Nebyly nalezeny žádné morfologické změny buněk nebo adaptace na dlouhé přežívání v sedimentu (Latour, 2007). Ultrastruktura buněk ukrytých v sedimentu nebyla změněna a nelišila se od buněk na povrchu. Latour (2007) udává 14 let staré, životaschopné buňky uprostřed zeslizovatělé kolonie, která se nacházela v hloubce 70 cm pod povrchem sedimentu.

3.4 Popis stávajících metod

Přestože výčet metod snažících se řešit problémy s masovým rozvojem vodních květů sinic je velmi dlouhý, v principu lze tyto metody rozdělit do dvou skupin: i) metody snižující koncentrace limitující živiny, a ii) metody působící přímo na nežádoucí organismus. Stručně jsou metody komentovány níže a zhodnocení jejich účinností a rizik je uvedeno v Tabulce 1.

i) Metody snížení fosforu

Principem těchto metod je snížit koncentraci limitujícího prvku (většinou fosforu) ve vodním sloupci na hranici, která zabrání masivnímu rozvoji sinic.

- Srážení fosforu z vodního sloupce pomocí Al, Fe, nebo Ca

Principem je „vyvázání“ P do nerozpustných sloučenin s kovy a jejich následná sedimentace. Vločky s adsorbovaným fosforečnanem klesají ke dnu do sedimentu a jsou vyloučeny z koloběhu fosforu ve vodním sloupci. Aplikace je vhodná pro hluboká jezera s dlouhou dobou zdržení. Pro stabilitu sloučenin Al-P je nutné zabránit změnám pH mimo rozmezí 5,5 až 8, kdy dochází k jejich rozpouštění. Při srážení fosforu solemi železa se mohou fosforečnany uvolňovat zpět do vodního sloupce po vytvoření anoxie nad sedimentem.

- Odstraňování sedimentu

Odstraněním sedimentu, ve kterém je koncentrace fosforu o mnoho řádů větší než ve vodním sloupci, je odstraněn také hlavní zásobník fosforu. Tato metoda je doprovázena likvidací bentosových společenstev a možným problémem s pozdějším transportem a uložením sedimentu. Nespornou výhodou je odstranění inokula sinic, které je přítomno v sedimentu celoročně. Tato metoda je vhodná pro mělké rezervoáry a jedná se o drahé, ale zato konečné řešení v sanaci sedimentů.

- Provzdušňování vodního sloupce nebo hypolimnia

Principem metody je zabránění vzniku anoxií doprovázených uvolňováním fosforu ze sedimentu. Jediné riziko v metodě provzdušňování vodního sloupce je vynesení živin k hladině, kde mohou být využity fytoplanktonem.

Tabulka 1: Porovnání metod snažících se snížit koncentraci fosforu.

Název metody	Účinnost	Cena	Riziko
srážení P hliníkem	XXX	XXX	XX
srážení P železem	XXX	XX	X
srážení P vápníkem	X	X	X
odstranění sedimentu	XXXXX	XXXXX	X
provzdušňování hypolimnia	XXX	XXX	
provzdušňování vodního sloupce	XXX	XX	X

Stupnice hodnocení: 0-X nejnižší, 5-X nejvyšší

Jak vidíme z Tabulky 1., účinnost zmíněných metod není nikterak velká. Většinou není zaručeno dosažení dostatečného snížení koncentrace fosforu na koncentraci, která by zabránila masivnímu letnímu rozvoji fytoplanktonu. Proto jsou tyto metody často používané jako doplňkové. Výjimku tvoří odstranění sedimentu, které je však považováno za nejdražší řešení a mělo by být realizováno jako poslední možnost.

Metody působící přímo na fytoplankton

Tyto metody jsou velmi variabilní. Liší se principem i výsledným efektem omezení vodního květu (Tabulka 2.).

- Míchání vodního sloupce při letní teplotní stratifikaci

Princip metody spočívá v konkurenčním potlačení sinic jinými, netoxickými druhy fytoplanktonu. Rozsivky a zelené řasy jsou lépe adaptovány ke změnám světelných

podmínek v míchaném vodním sloupci než vznášivé sinice (Huisman et al., 2004). Tato metoda je finančně nenáročná, avšak nemusí být vždy účinná, jak ukazuje případová studie na jezeře Sheldon (Oberholster et al., 2006).

- Použití cyanotoxinů

Principem metody je přímé otrávení sinic. Použití cyanotoxinů je krajním řešením, protože tato metoda má kromě rychlé účinnosti mnoho negativ, jako jsou: krátkodobá účinnost, nízká selektivita, relativně vysoká cena, zanášení cizorodých látek do vodního ekosystému a následné ovlivnění všech trofických úrovní.

- Biomanipulace s rybí obsádkou

Měla by být uvažována jako komplexní metoda, jejímž cílem je převedení nežádoucích planktonem dominovaných systémů na ekosystémy s dominancí makrofyt. Snížený predční tlak bílých ryb na zooplankton, vyvolaný změnou rybí obsádky na dravou umožní rozvoj velkého zooplanktonu, efektivního konzumenta fytoplanktonu. Problémem této metody je, že není vodná pro všechny typy vodních těles a doba její aplikace trvá až několik let. Výhodou této metody je její přirozenost bez nebezpečí jakéhokoliv toxického vlivu.

- Přímá predace rybami

Bylo zjištěno, že sinice po pozření a průchodem trávicím traktem Tilapie nilské, vykazovaly minimální životaschopnost (Jančula et al., 2008). Tato metoda je však v našich zeměpisných šířkách nerealizovatelná, z důvodu absence rybích druhů, které by *Microcystis* účinně eliminovali.

Tabulka 2: Porovnání metod zaměřených „na organismus“.

Název metody	Účinnost	Cena	Riziko
biomanipulace	XX	X	X
predace rybami		X	X
použití cyanotoxinů	XXXXX	XX	XXXXX
míchání vodního sloupce	XX	XX	X

Stupnice hodnocení: 0-X nejnižší, 5-X nejvyšší

Komentář ke stávajícím metodám

Stávající metody jsou často specializované na určité typy rezervoárů a jejich účinnost často neodpovídá požadavkům společnosti. To lze odvodit z heterogenity principů těchto metod a lze je hodnotit pouze soliterně.

3.5 Princip navrhované metody

Dosud používané metody jsou aplikovány v období jaro-léto, kdy biomasa sinic prudce narůstá a výsledek zásahu se zde jeví neúčinný. Nově navrhovaná metoda je aplikována v zimě, kdy biomasa *Microcystis* ubývá samovolně. Provzdušnění sedimentu ještě snížení biomasy urychlí a sníží možnost následné rekolonizace vodního sloupce.

Při okysličení hypolimnia a následné difúzi kyslíku do sedimentu se zvýší rychlost rozkladných procesů, a tím i úbytek buněk *Microcystis*. Příčinou je vyhladovění způsobené snížením zásob uhlíkatých substrátů v okolním sedimentu, jejichž dostatečné množství se jeví klíčový faktor pro přezimování *Microcystis*. K této hypotéze vedou poznatky, ze kterých vyplývá, že v anoxickém prostředí je fermentován glykogen, avšak zásoby glykogenu jsou pouze krátkodobé. U jiného typu energetických zásobních látek, jako např. poly- β -hydroxybutyrát, nebylo jejich využití prokázáno. Při fermentaci je sice nízký energetický výtěžek, ale i toto relativně malé množství energie stačí *Microcystis* k udržování své celistvosti a k nízkému růstu (Stal and Moezelaar, 1997). Příjem glukózy či jiných jednoduchých organických látek je fyzikálně možný a již byl prokázán u jiných druhů sinic (Stal and Moezelaar, 1997).

Zvýšení koncentrace kyslíku v sedimentu zvýší rovněž aktivitu ostatních heterotrofních mikroorganismů, které přispějí k rychlejšímu rozkladu povrchových buněk kolonií *Microcystis* a snížit tak možnost přežití buněk ve středu kolonie.

Použitím provzdušňování se neodstraní veškerá biomasa, ale výrazně se sníží. Omezí se návrat kolonií ze sedimentu, který je v našich podmínkách jediný zdroj pro inokulaci. V letních měsících tak nedojde k ustavení dominance ve vodním sloupci. V jiných typech nádrží, například v mělkém dimiktickém jezeře, může přežívat určitá část populace i ve vodním sloupci (Verspagen, 2005).

3.6 Určení místa instalace technického vybavení

Výběr místa pro instalaci provzdušňovacího potrubí je velmi důležitý. Správný výběr místa umožní snížit náklady při instalaci i při následné údržbě.

Správně položené polyetylenové potrubí by se mělo překrývat s místem reinvaze sinic *Microcystis* v jarních měsících. V hloubkách pod 35 m kolonie dokáží přežít po mnoho měsíců až roků díky stálým podmínkám (Tsujimura, 2000), ale dochází zde ke kolapsu aerotopů kvůli hydrostatickému tlaku (Reynolds et al., 1981; Tsujimura, 2000). Bez aerotopů v takových hloubkách kolonie nepředstavují nebezpečí v reinvazi. Dalšími extrémními biotopy jsou nejmělkčí části rezervoáru - příbřežní partie, které jsou ovlivněny vyschnutím a vymrznutím. Tyto části byly vymezeny hloubkou kolem 0,7 m (Brunberg and Blonqvist, 2002).

Rozlišení důležitosti mělké a hluboké části nádrže je složité, protože v hlubších částech vodního tělesa jsou většinou větší koncentrace sinic *Microcystis*. Tsujimura (2000) tento jev vysvětluje jejich horizontálním přesunem z mělkých částí do hlubších. Kolonie zde díky stabilním podmínkám také déle přežijí (Reynolds et al., 1981, Tsujimura, 2000, a mnoho dalších autorů). Na rozdíl od toho jsou mělké části vodního tělesa dříve ovlivněny faktory pro návrat sinic do vodního sloupce ze sedimentu.

Mělké plochy (1-2 m) vodních těles jsou pravděpodobně klíčové pro návrat *Microcystis* ze sedimentu do vodního sloupce vzhledem k větším turbulencím, rychlejšímu prohřátí a dřívějšímu přístupu zvýšeného slunečního záření (Brunberg and Blonqvist, 2003). Tato skutečnost však není v rozporu s tvrzením, že kolonie *Microcystis* přežívají lépe v anoxickém prostředí.

3.7 Návrh ověření metody

Před použitím metody v praxi je nutné její ověření a optimalizace v laboratorních podmínkách. V následném kroku bude vhodné metodu aplikovat na menším rezervoáru, kde bude možné dobře sledovat změny vnějších vlivů na ekosystém.

1) Laboratorní testování

Vzorky sedimentu budou odebrány do trubic (sediment a voda nad sedimentem) na lokalitě po masivním rozvoji *Microcystis*. Předpokládáme dva typy vzorků ve třech opakováních: i) kontrola s anoxickými podmínkami; ii) aerobní podmínky udržované provzdušňováním. Anoxické podmínky budou udržovány pomocí generátoru dusíku, oxické podmínky, probubláváním. Inkubace sedimentů bude probíhat po dobu pěti měsíců za následujících podmínek: - teplota – 8°C, tma, pomalé míchání vody v trubici, např. peristaltickým čerpadlem.

Celkem bude odebráno pět x tři trubice sedimentu pro oxickou i anoxickou variantu. Během inkubace budou pravidelně, v intervalu jeden týden, odebírány vzorky vody nad sedimentem

na analýzy koncentrací hlavních iontů, pH, vodivosti, alkality, oxidačně-redukčního potenciálu, DOC. V intervalech jeden měsíc bude analyzována vždy jedna trojice sedimentů z každé varianty. Ve vertikálních profilech s rozlišením vrstev 0,5 – 1 cm bude sledován obsah sacharidů, aminokyselin a organických kyselin v pórové vodě a dále stanovení prováděná ve vodě nad sedimentem. Dále bude sledováno přežívání kolonií použitím redox barviva MTT (3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-difenylnitrazolium) podle metodiky (Schaller et al., 2002).

2) Použití na malém rezervoáru s letním rozvojem sinic rodu *Microcystis*. Zde by se mělo nainstalovat malé provzdušňovací zařízení s pravidelným monitoringem viz výše.

4. Kritické zhodnocení

Příjem sacharidů z vnějšího prostředí sinicemi rodu *Microcystis* dosud není dostatečně probádán. Veškeré laboratorní pokusy byly prováděny s takovými koncentracemi sacharidů, které se v přirozeném prostředí nevyskytují. Dále chybí výzkum příjmu sacharidů v závislosti na různých podmínkách prostředí jako je přítomnost kyslíku, teplota, osvětlení či jiné parametry. Nejsou známa data o přítomnosti exoenzymů k rozkladu di- a polysacharidů u *Microcystis*.

Je možné předpokládat, že ve vodních tělesech s populací *Microcystis*, která přežívá ve vodním sloupci, nedosáhne metoda požadované účinnosti. Navrhovaná metoda dále může způsobit vyrušení zimujících organismů především ryb.

Otsuka (1999) našel u 24 druhů rodu *Microcystis* podobné požadavky a tolerance k prostředí. Lze usoudit, že většina druhů rodu *Microcystis* bude mít podobnou ekologii.

5. Shrnutí

Dosud používané metody se jeví jako nedostatečné nebo nerealizovatelné pro široké potřeby společnosti. Příčinou může být jejich ekonomická náročnost, krátkodobost účinku, negativní vlivy na ekosystém či omezení využívání vodního tělesa různými cílovými skupinami obyvatel.

Narůstající potřeba vody a postupující eutrofizace spojená s nárůstem průměrných globálních teplot vzduchu a oceánů způsobuje nedostatek zásoby pitné vody (GEO-4, 2007). Proto se v budoucnosti bude nutnost boje s vodním květem zvyšovat.

Navrhovaná metoda provzdušňování sedimentu v zimních měsících by měla být levným řešením k předcházení mnoha negativních projevů masivního rozvoje často toxických

sinic rodu *Microcystis*. Mezi její výhody patří jednoduchá instalace, ekonomická nenáročnost, neomezení využívání vodního tělesa a nevnášení cizorodých látek do ekosystému.

Tato nová progresivní metoda má velký potenciál najít své uplatnění v boji proti vodním květům *Microcystis*.

6. Seznam citované literatury:

- Boström, B. A. K. Pettersson and I. Ahlgen (1989): Seasonal dynamics of a cyanobacteria-dominated microbial community in surface sediments of a shallow, eutrophic lake. *Aquatic Sciences* 51:153-178
- Brunberg, A. K. and Blomqvist, P (2002): Benthic overwintering of *Microcystis* colonies under different environmental conditions. *J. Of Plancton Res.* 24:1247-1252
- Brunberg, A. K. and Blomqvist, P (2003): Recruitment of *Microcystis* (Cyanophyceae) from lake sediments: The importance of littoral inocula. *J. of Phycology.* 39: 58-63
- Comte, K., D. P. Holland and A.E. Walsby (2007): Changes in cell turgor pressure related to uptake of solutes by *Microcystis sp.* strain 8401. *FEMS Microbiol. Ecol.* 61:399-405
- Furusato, E., T Aseada and J. Manatunge (2004): Tolerance for prolonged darkness of three phytoplankton species, *Microcystis aeruginosa* (Cyanophyceae), *Scenedesmus quadricauda* (Chlorophyceae), and *Melosira ambigua* (Bacillariophyceae). *Hydrobiologia* 527:153-162
- Huisman, J. E. F., J. Sharples, J. M. Stroom, P. M. Visser, W. E. A. Kardinaal, J. M. H. Verspagen and B. Sommeijer (2004): Changes in turbulent mixing shift competition for light between phytoplankton species. *Ecology*, 85:2960–2970
- GEO-4 (2007) Global Environment Outlook: environment for development (GEO-4), http://www.unep.org/geo/geo4/report/GEO-4_Report_Full_en.pdf.
- Ihle, T., S. Jähnichen, and J. Benndorf (2005): Wax and wane of *Microcystis* (cyanophyceae) and microcystins in lake sediments: a case study in Quitzdorf reservoir (Germany). *J. Phycol.* 41:479-488
- Jančula, D., M. Míková, Z. Adámek and B. Maršálek (2008): Changes in the photosynthetic activity of *Microcystis* colonies after gut passage through Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*). *Aquaculture Research* 39:311-314
- Jöhnk, K. D., J. Huisman, J. Sharples, B. Sommeijer, P. M. Visser and J. Stroom (2008): Summer heatwaves promote blooms of harmful cyanobacteria. *Global Change Biology* 14:495-512
- Kamjunke, N. and S. Jähnichen (2000): Leucine incorporation by *Microcystis aeruginosa*. *Limnol.Oceanogr.* 45:741-743
- Latour, D., M-J. Salençon, J-L. Reyss and H. Giraudet (2007): Sedimentary imprint of *Microcystis aeruginosa* (cyanobacteria) Blooms in Granget reservoir (Loire, France). *J. Phycol.* 42:417-425
- Lewandowski, J., I. Schauser and M. Hupfer (2003): Long term effects of phosphorus precipitation with alum in hypertrophic Lake Süsser See. *Wat. Res.* 37:3194-3204
- Marinho, M. M. and S. M. F de O e Azevedo (2007): Influence of N/P ratio on competitive abilities for nitrogen and phosphorus by *Microcystis aeruginosa* and *Aulacoseira distans*. *Aquat Ecol* 41:525-533
- McKnight, D. M., B. L. Howes, C. D. Taylor and D. D. Goehring (2000): Phytoplankton dynamics in a stably stratified Antarctic lake during winter darkness. *J. Phycol.* 36:852-861
- Oberholster, P. J., A-M. Botha and T. E. Cloete (2006): Toxic cyanobacterial blooms in a shallow, artificially mixed urban lake in Colorado, USA. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 11: 111–123

- Otsuka, S., S. Suda, R. Li, M. Watanabe, H. Oyaizu, S. Matsumoto and M. M. Watanabe (1999): Characterization of morphospecies and strains of the genus *Microcystis* (Cyanobacteria) for a reconsideration of species classification. *Phycological Research* 47: 189–197
- Preston, T., W. D. P. Steward and C. S. Reynolds (1980): Bloom-forming cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* overwinters on sediment surface. *Nature* 288:365-367
- Reynolds, C. S., G. H. M. Jaworski, H. A. Cmiech and G. F. Leedale (1981): On the annual cycle of the blue-green alga *Microcystis aeruginosa* Kütz. Emend. Elenkin. *Philosophical Transactions of the Society of London series B-Biological Sciences*. 293:419-477
- Quesada, A., F. Jüttner, T. Zotina, A. P. Tolomeyev and A. G. Degermendzhy (2002): Heterotrophic capability of a metalimnetic plankton population in saline Lake Shira (Siberia, Khakasia). *Aquatic Ecology* 36:219-227
- Schaller, A., Z. Sun, Y. Yang, A. Somoskovi and Y. Zhang (2002): Salicylate Reduces Susceptibility of *Mycobacterium tuberculosis* to Multiple Antituberculosis Drugs. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 46:2636-2639
- Stal L. J. (1992): Poly (hydroxyalkanoate) in cyanobacteria - an overview. *FEMS Microbiology Reviews* 103:169-180
- Stal, L. J. and R. Moezelaar (1994): Fermentation in the unicellular cyanobacterium *Microcystis* PCC7806. *Arch. Microbiol.* 162:63-69
- Stal, L. J. and R. Moezelaar (1997): Fermentation in cyanobacteria. *FEMS Microbiology Reviews* 21:179-211
- Tsujimura, S., H. Tsukada, H. Nakahara, T. Nakajima and M. Nishino (2000): Seasonal variation of *Microcystis* populations in sediments of Lake Biwa, Japan. *Hydrobiologia* 434:183-192
- Verspagen, J. M. H., E. O. F. M. Snelder, P. M. Visser, J. Huisman, L. R. Mur, and B. W. Ibelings, (2004): Recruitment of benthic *Microcystis* (cyanophyceae) to the water column: internal buoyancy changes or resuspension? *J. Phycol.* 40:260-270
- Verspagen, J. M. H., E. O. F. M. Snelder, P. M. Visser, K. D. Jöhnk, B. W. Ibelings, L. R. Mur, and J. Huisman (2005): Benthic–pelagic coupling in the population dynamics of the harmful cyanobacterium *Microcystis*. *Freshwater Biology* 50:854-867
- Walsby, A. E (1994): Gas Vesicles. *Microbiological Reviews* 58:94-144
- Wu, Z., L. Song and R. Li (2008): Different tolerances and responses to low temperature and darkness between waterbloom forming cyanobacterium *Microcystis* and a green alga *Scenedesmus*. *Hydrobiologia* 596:47-55