

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra aplikované ekologie



Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta životního
prostředí**

Vodní květy v povrchových vodách

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Vymazal Jan, doc. Ing., CSc.

Zpracoval: Milan Suchan

2012

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra ekologie krajiny

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Suchan Milan

Územní technická a správní služba

Název práce

Vodní květy v povrchových vodách

Anglický název

Water blooms in surface waters

Cíle práce

1. Popsat princip eutrofizace povrchových vod, základní projevy a důsledky eutrofizace
2. Popsat vznik řasových a sinicových vodních květů
3. Charakterizovat hlavní druhy řas a sinic, které tvoří vodní květy v České republice
4. Shrnout negativní důsledky vodních květů z hlediska kvality vody, hygieny vody a úpravy pitné vody

Metodika

Jedná se o práci rešeršního typu, takže základ práce bude ve studiu literatury a shromažďování literárních údajů.

Harmonogram zpracování

duben - prosinec 2011: rešerše

leden - březen 2012: sepsání práce

Rozsah textové části

40 stran včetně příloh

Klíčová slova

řasy, sinice, povrchové vody, fosfor, eutrofizace

Doporučené zdroje informací

Adámek, Z., Helešic, J., Maršálek, B. a Rulík, M., 2008. Aplikovaná hydrobiologie. VÚRH Vodňany.

Ambrožová, J., 2007. Aplikovaná a technická hydrobiologie. VŠCHT Praha.

Carmichael, W.W., 1992). Cyanobacterial secondary metabolites, A review. J. App. Bacteriol. 72: 445 – 459.

Maršálek, B. a Keršner, V., 2009. Možnosti omezení rozvoje vodních květů sinic v údolních nádržích. In: Maršálek B., Keršner V., Marvan P. (eds.) Vodní květy sinic, Nadatio flos – aquae, Brno: 125 - 135

Maršálek, B., Feldmanová, M a Maršálková, E. (Eds.), 2006. Cyanobaktérie 2006. Biologie, toxikologie a management. Botanický ústav AV ČR, Průhonice.

Vyhláška č. 135/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch

Vedoucí práce

Vymazal Jan, doc. Ing., CSc.


doc. RNDr. Miroslav Martiš, CSc.

Vedoucí katedry




prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod odborným vedením Ing. Jana Vymazala, doc. CSc., a že jsem uvedl všechny literární i ostatní prameny, ze kterých jsem čerpal.

V Kladně2012

.....

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou výskytu masového rozvoje vodního květu, který je následkem procesu eutrofizace povrchových vod. Nejdříve je popisován princip eutrofizace vodního toku, její příčiny, druhy a základní projevy. Dále se práce věnuje vzniku řasových a sinicových vodních květů. Další část práce se zaměřuje na základní charakteristiku sinic a popisuje nejhlavnější druhy sinic a řas, které tvoří vodní květy v České republice. V konečné části jsem se soustředil na možnosti omezení vodního květu a shrnul jsem zdravotní účinky cytotoxinů z hlediska kvality vody, hygieny vody a požadavků na jakost vody podle vyhlášky 238/2011 Sb.

Klíčová slova

Eutrofizace, řasy, sinice, povrchové vody, fosfor

Abstract

This thesis deals with the occurrence of mass development of water bloom, which is a consequence of the surface water eutrophication. In the first part, the eutrophication principle, its causes, types and consequences are described. The second part of this thesis is focused on the origin of algal and cyanobacteria water blooms. Also, the attention is paid to the basic characteristics of cyanobacteria, and the description of the main cyanobacterial and algal species which create the water blooms in the Czech Republic. In the last part of my thesis, the possibilities of water bloom reduction are mentioned and the effects of cyanotoxins on health from the water quality point of view, water hygiene and the demands on water quality according to Decree No. 238/2011 Sb. are summarized.

Key words

Eutrophication, algae, cyanobacteria, surface water, phosphorus

Obsah práce

1. Úvod.....	8
1.1 Cíle bakalářské práce.....	8
2. Eutrofizace povrchových vod.....	9
2.1 Eutrofizace.....	9
2.1.1 <i>Hypertrofizace</i>	10
2.1.2 <i>Druhy eutrofizace</i>	10
2.1.3 <i>Příčiny eutrofizace</i>	11
2.1.3.1 <i>Fosfor</i>	11
2.1.4 <i>Dělení vod podle trofie</i>	11
2.1.4.1 <i>Rozdělení vod podle množství fosforu obsaženého ve vodách</i>	12
2.1.5 <i>Faktory podporující eutrofizaci</i>	12
2.1.6 <i>Projevy eutrofizace</i>	13
2.1.7 <i>Primární produkce eutrofizace</i>	14
3. Vodní květy povrchových vod.....	15
3.1 Vodní květ a vegetační zbarvení.....	15
3.2 Faktory ovlivňující vodní květ.....	17
3.3 Historie výskytu vodního květu.....	19
3.4 Výskyt vodních květů v České republice.....	19
3.5 Problémy způsobené vodními květy při úpravě vod.....	20
4. Cyanobakterie – základní charakteristika.....	21
4.1 Základní struktury cyanobakterií.....	21
4.1.1 <i>Aerotopy</i>	21
4.1.2 <i>Heterocyty</i>	23
4.1.3 <i>Akinety</i>	23
4.2 Životní cyklus.....	23
4.3 Historie.....	24
4.4 Základní charakteristika cyanobakterií tvořících vodní květ v ČR.....	24
4.4.1 <i>Charakteristika rodu Microcystis</i>	24
4.4.1.1 <i>Výskyt</i>	25
4.4.1.2 <i>Výživa subpopulací</i>	25
4.4.1.3 <i>Rozšíření</i>	25
4.4.2 <i>Charakteristika rodu Anabaena</i>	26

4.4.3	<i>Charakteristika rodu Aphanizomenon</i>	27
5.	Možnosti boje s eutrofizací a vodním květem.....	29
5.1	Způsob odstranění a prevence před vodním květem v nádrži.....	30
5.1.1	<i>Mechanický způsob odstranění vodního květu</i>	30
5.1.2	<i>Biologický způsob odstranění vodního květu</i>	30
5.1.3	<i>Fyzikální způsob odstranění vodního květu</i>	30
5.1.4	<i>Chemický způsob odstranění vodního květu</i>	30
5.2	Způsob odstranění a prevence před vodním květem v povodí.....	31
5.2.1	<i>Omezení přísunu živin z povodí</i>	31
5.2.1.1	<i>Bezfosfátové prací prostředky</i>	31
5.2.2	<i>Opatření na přítoku</i>	32
5.2.2.1	<i>Přednádrže</i>	32
5.2.2.2	<i>Odklonění přítoku</i>	32
5.3	Faktory podmiňující masový rozvoj cyanobakterií.....	33
6.	Toxické účinky cyanotoxinů.....	35
6.1	Cyanotoxiny.....	35
6.1.1	<i>Rozdělení</i>	36
6.2	Charakteristika nejvýznamnějších cytotoxinů.....	36
6.2.1	<i>Neurotoxiny</i>	36
6.2.2	<i>Hepatotoxiny</i>	36
6.2.3	<i>Dermatotoxiny</i>	37
6.3	Cyanotoxiny a lidské zdraví.....	37
6.3.1	<i>Intoxikace Cyanotoxiny v pitné vodě</i>	37
6.3.2	<i>Intoxikace Cyanotoxiny při rekreaci</i>	37
6.3.3	<i>Řasy a sinice jako alergen</i>	38
6.3.4	<i>Sledování výskytu sinic na koupalištích</i>	38
7.	Závěr.....	40
8.	Seznam literatury.....	41

1. ÚVOD

Proces znehodnocování a zhoršování kvality povrchové vody se v praxi označuje jako eutrofizace. Jedná se o složitý proces obohacování stojatých a tekoucích povrchových vod živnými minerálními látkami, které zpětně vedou ke zvýšení biologické produkce a k nežádoucímu zarůstání vodního biotopu (Ambrožová, 2001). Eutrofizace je dnes strašidlem obcházejícím nejen Evropou, ale takřka celým světem (Marvan et Maršálek, 2004). Všeobecně známým projevem eutrofizace je pravidelný masový rozvoj vodního květu sinic či vegetačního zabarvení, tvořeného zelenými řasami nebo i rozsivkami, případně některými druhy vyšších rostlin. Nastává obvykle v letních měsících, kdy je dostatek tepla a slunečního světla (Kočí et al., 2000). Nejdůležitějším negativním projevem eutrofizace ve sladkých vodách ovlivňujícím lidské zdraví je masový rozvoj sinic ve vodárenských a rekreačních nádržích. Největším přímým zdravotním rizikem z nadměrného rozvoje sinic je koupání v těchto vodách, jakož i pobyt v jejich bezprostřední blízkosti a dále pití pitné vody z takové vody vyrobené (SZO, 2002). Masový rozvoj sinic není problém jen v České republice, ale jedná se o problém celosvětový, přičemž neexistuje žádné jednoduché opatření, které by bylo proti rozvoji sinic účinné, aplikovatelné na různé typy vodních nádrží a zároveň by nepoškozovalo vodní ekosystém. Neznamená to ale, že žádné metody omezení sinic neexistují. Ve světě i u nás jich je známa dokonce celá řada. Ovšem úspěchu lze dosáhnout většinou až jejich kombinací (Drábková et Maršálek, 2004).

1.1 Cílem této bakalářské práce je :

- popsat princip eutrofizace povrchových vod, základní projevy a důsledky eutrofizace
- popsat vznik řasových a sinicových vodních květů
- charakterizovat hlavní druhy řas a sinic, které tvoří vodní květy v České republice
- shrnout negativní důsledky vodních květů z hlediska kvality vody, hygieny vody a úpravy pitné vody

2. Eutrofizace povrchových vod

2.1 Eutrofizace

Lidská společnost produkuje velké množství látek, které svými účinky ovlivňují kvalitu životního prostředí. Vedle toxických látek je možné se dnes setkat i s látkami, které nejsou ve své podstatě jedovaté, jejichž vlastnosti však způsobují či podporují jiné negativní jevy. Mezi takové odpadní látky lze počítat nutrienty (živiny), které svou narůstající koncentrací v povrchových vodách zvyšují jejich trofii – úživnost. V této souvislosti lze hovořit o „zamoření živinami“ – eutrofizaci, která se projevuje řadou symptomatických změn vodního ekosystému, změnami v kvalitě vody nebo ovlivněním ekologické rovnováhy (Gowan et al., 1999).

Punčochář a Desortová (1994) uvedli, že proces eutrofizace je znehodnocování a zhoršování kvality povrchové vody. Jedná se o složitý proces obohacování stojatých a tekoucích povrchových vod živými minerálními látkami, které zpětně vedou ke zvýšení biologické produkce a k nežádoucímu zarůstání vodního biotopu. Obecně je za příčinu eutrofizace považována zvýšená koncentrace biogenních mikroelementů, sloučenin dusíku a fosforu. Tento fakt je ale velmi zjednodušený, protože na eutrofizaci a tedy zhoršování kvality vody se podílí zejména biocenóza a probíhající biologické pochody. Povrchová voda s vysokým obsahem dusíku, fosforu a dalších biogenních prvků je nezávadná do té doby, než se v ní vyskytnou bakterie, sinice, řasy a živočichové, jejichž biologickou činností se její kvalita začne zhoršovat.

Je dobré si uvědomit, že trofie je stav a eutrofizace (či hypertrofizace) je proces. V aktuální mezinárodní odborné terminologii je termín eutrofizace vnímán jako překonaný či dokonce zastaralý a je více a více nahrazován termíny, které exaktně popisují reálný stav konkrétního vodního ekosystému (Adámek et al., 2010):

- **(eu)trofizace** – je proces znečištění povrchových vod živinami. Teprve, když známe konkrétní situaci vodního útvaru nebo mluvíme o konkrétní lokalitě, můžeme se exaktně vyjadřovat termíny hypertrofizace, eutrofizace atd. Jde o jednoslovný termín, který používají více odborníci, nebo

- „**nutrient pollution**“ – toto sousloví v angličtině jasně vystihuje podstatu problému, je daleko čitelnější i pro neoborníky a do češtiny lze překládat jako „znečištění živinami“ – tedy v plné souvislosti jde o proces znečišťování povrchových vod živinami.

2.1.1 Hypertrofizace

Nejčastěji používaný termín eutrofizace byl zaveden pro případy, kdy se na oligotrofním jezeře, nádrži, či řece začaly projevovat procesy charakteristické pro znečištění vody makronutrienty. Zde je označení eutrofizace přijatelné. V současnosti se však nezdá setkávat s případy, kdy se z typicky eutrofní nádrže stává ekosystém ještě „eutrofnější“, například polytrofní, či hypertrofní. Zde už vlastně nejde o eutrofizace v pravém slova smyslu. Mělo by se mluvit konkrétně – např. o hypertrofizaci. Eutrofizace takového vodního ekosystému by vlastně, přesně vzato, znamenala, že se výchozí stav zlepšil natolik, že je již voda jen eutrofní (Adámek et al., 2008).

2.1.2 Druhy eutrofizace

Podle Borovce a Hejzlara (2006) se eutrofizace dělí na přirozenou, která je způsobena přísunem sloučenin dusíku a fosforu vyluhovaných z půdy a z rozkladu odumřelých vodních organismů. Eutrofizace může být také antropogenní, ta je způsobená smýváním dusíkatých a fosforečných hnojiv z polí, nesprávným hospodařením, atmosférickým spadem, splaškovými vodami a fekáliemi.

Maršálek (2004) uvedl, že člověku se podařilo v krátké době obohatit fosforem i ty vodní ekosystémy, v nichž by přirozená eutrofizace probíhala po staletí. V této akcelerované podobě představuje pro lidstvo jako celek krajně nežádoucí zpětnou vazbu kladoucí překážky dalšímu rozvoji civilizace v jiných směrech. Obdobné platí i pro vystupňovanou podobu eutrofizace, označitelnou termínem hypertrofizace, při níž už bývají významně překročeny hranice betamesosaprolity. Hypertrofizované biotopy se lokálně zpravidla víceméně přechodně vyskytují i v přírodě, nastupují však v měřítku nesrovnatelně menším než u antropicky podmíněné hypertrofizace.

2.1.3 Příčiny eutrofizace

Příčinou eutrofizace je vyšší koncentrace sloučenin dusíku a fosforu. Fosfor je biogenní prvek, který zásadním způsobem ovlivňuje primární produkci zelených rostlin. Vedle dusíku je základním prvkem výživy sinic a řas (Smith et al., 1999). Poměr těchto prvků (N:P) pro optimální růst je 100:1. Z Liebigova zákona minima je možné říci, že fosfor hraje hlavní roli v nárůstu biomasy. Čím více je fosfor v povrchových vodách, tím je větší nárůst produkce sinic a řas (Kočí et al., 2000).

2.1.3.1 Fosfor

Přírodním zdrojem fosforu je zvětvávání minerálu apatit. Do vodního prostředí se fosfor dostává i rozkladem biologické hmoty. Antropogenním zdrojem fosforu jsou odpadní vody z prádelny a textilního průmyslu, komunální odpadní vody a používání fosforečných hnojiv v zemědělství. Fosforečnany z hnojiv se do povrchových vod dostávají především erozními splachy z polí. Splachy z polí představují jen menší část celkového fosforu z použitých hnojiv, jelikož fosfor částečně zůstává vázán v půdě (Kočí et al., 2000).

2.1.4 Dělení vod podle trofie

Slovo trofie znamená úživnost. Bylo použito E. Naumannem, jenž rozděloval vody podle těchto ukazatelů: letní teploty při hladině, obsah vápníku, dusíku, fosforu a podle huminových látek. Tím položil základ typologie jezer měřené stupněm úživnosti vody. Rozdělil vody do tří tříd (Strnadová, 1976):

- Oligotrofní
- Mezotrofní
- Eutrofní

Oligotrofní vody jsou vodní plochy obsahující málo nutrientů, proto je zde poměrně méně rostlinných a živočišných druhů. Vody, které jsou na nutrienty bohatší, obsahující větší množství druhově rozmanitých organismů se nazývají mezotrofní. Nutričně velmi bohaté prostředí (eutrofní, hypertrofní) je však ideální pouze pro některé druhy organismů, jež se pak nelimitovány jinými faktory nadměrně množí (Kočí, 2000).

2.1.4.1 Rozdělení vod podle množství fosforu obsaženého ve vodách

I když je eutrofizace jako každý přírodní jev způsobena celým komplexem faktorů, je obsah fosforu uváděn jako limitující faktor (zejména ve srovnání s obsahem dusíku). To potvrzuje i výzkum závislosti trofie jezer na obsahu dusíku a fosforu. Určující pro růst řas byla vždy koncentrace fosforu (Hutzinger, 1992).

OECD (1982) rozlišilo vody podle množství fosforu obsaženého ve vodách do následujících tříd (Tab. 1):

- Oligotrofní
- Oligo-mesotrofní
- Mesotrofní
- Eutrofní
- Hypertrofní

Tab. 1: Rozdělení vod podle množství fosforu obsaženého ve vodách. Dle OECD, (1982).

Úroveň trofie	Celkový fosfor [$\mu\text{g.l}^{-1}$]
oligotrofní	< 10
oligo-mesotrofní	10 - 20
mesotrofní	20 - 50
eutrofní	50 - 100
hypertrofní	> 100

2.1.5 Faktory podporující eutrofizaci

První podmínka podporující eutrofizaci, kromě přísunu živin, je čistě fyzikální, je to doba zdržení vody. Ta může být způsobena různou hustotou vodních vrstev (jako je tomu u jezer nebo dokonce pomalu proudících řek – vrchní a spodní vrstvy se vzájemně nemísí).

Z ostatních fyzikálních faktorů, které mohou eutrofizaci ovlivňovat, je to termální stratifikace stojatých vod (jezera a nádrže), teplota a světlo. Zvýšení teploty vody a zlepšení světelných podmínek během jara a v létě by mohly vysvětlovat, proč se

s fenoménem eutrofizace setkáváme hlavně v těchto ročních obdobích. Samotný proces eutrofizace však také ovlivňuje propustnost vody pro světlo, protože rostoucí řasy stíní a negativně ovlivňují fotosyntézu v hlubších vrstvách vody, a tím i růst vodních makrofyt na dně (SZO, 2002).

2.1.6 Projevy eutrofizace

Všeobecně známým projevem eutrofizace je pravidelný masový rozvoj vodního květu sinic či vegetačního zabarvení, tvořeného zelenými řasami nebo i rozsivkami, případně některými druhy vyšších rostlin. Nadměrný nárůst fytoplanktonu způsobuje problémy vyšším rostlinám a zapříčiňuje jejich úbytek. Jedním z důsledků je pak snížená samočisticí schopnost řek a jezer. Řasy a sinice, jež se shromažďují u hladiny, vytvářejí bariéru slunečním paprskům, které se nedostanou k organismům ve větší hloubce. Velká koncentrace fytoplanktonu způsobuje úbytek citlivějších organismů, jejichž místo pak zaujmají výhradně organizmy odolnější, které se v důsledku malého množství přirozených více citlivých konzumentů a predátorů přemnoží a způsobují další, mnohdy nevratné změny v ekosystémech. Odolná makrofyta pak například rychlým a nelimitovaným růstem způsobují zarůstání toků či snižují retenční kapacitu nádrží. Bentické řasy nadměrnou produkcí biomasy snižují poréznost dnových sedimentů či šterkových loží filtračních nádrží. Takže čím více narůstá produktivita či biomasa, tím klesá biodiverzita (Kočí, 2000).

Dalším negativním faktorem zvýšeného výskytu řas a sinic je narušení kyslíkového režimu. Při hladině se fotosyntetickou činností vytvářejí podmínky přesycení kyslíkem a narůstá pH. Ve vodě pak zejména v ranních hodinách vzniká anoxické prostředí nepřijatelné pro ostatní organizmy. K dalšímu úbytku kyslíku dochází mikrobiálním rozkladem velkého množství odumřelých sinic a řas. Následkem toho je uvolňování fosforu ze sedimentu. Po úhynu řas a sinic jejich biomasa klesne ke dnu. Zde pak vlivem činnosti bakterií rozkládajících řasovou hmotu dochází k úbytku rozpuštěného kyslíku a opět vznikají anoxické zóny, na což jsou citlivé zejména některé bentické organizmy (Kočí, 2000).

2.1.7 Primární produkce eutrofizace

Možností, jak se zvýšená nabídka živin může projevit v primární produkci společenstev autotrofních organismů ve vodních ekosystémech, je v podstatě několik. Podle povahy vodního ekosystému a dané konfigurace vnějších podmínek (hydrochemických, hydrologických, meteorologických a hydrobiologických atd.) mohou dosáhnout dominantního postavení (Kočí et al. 2000):

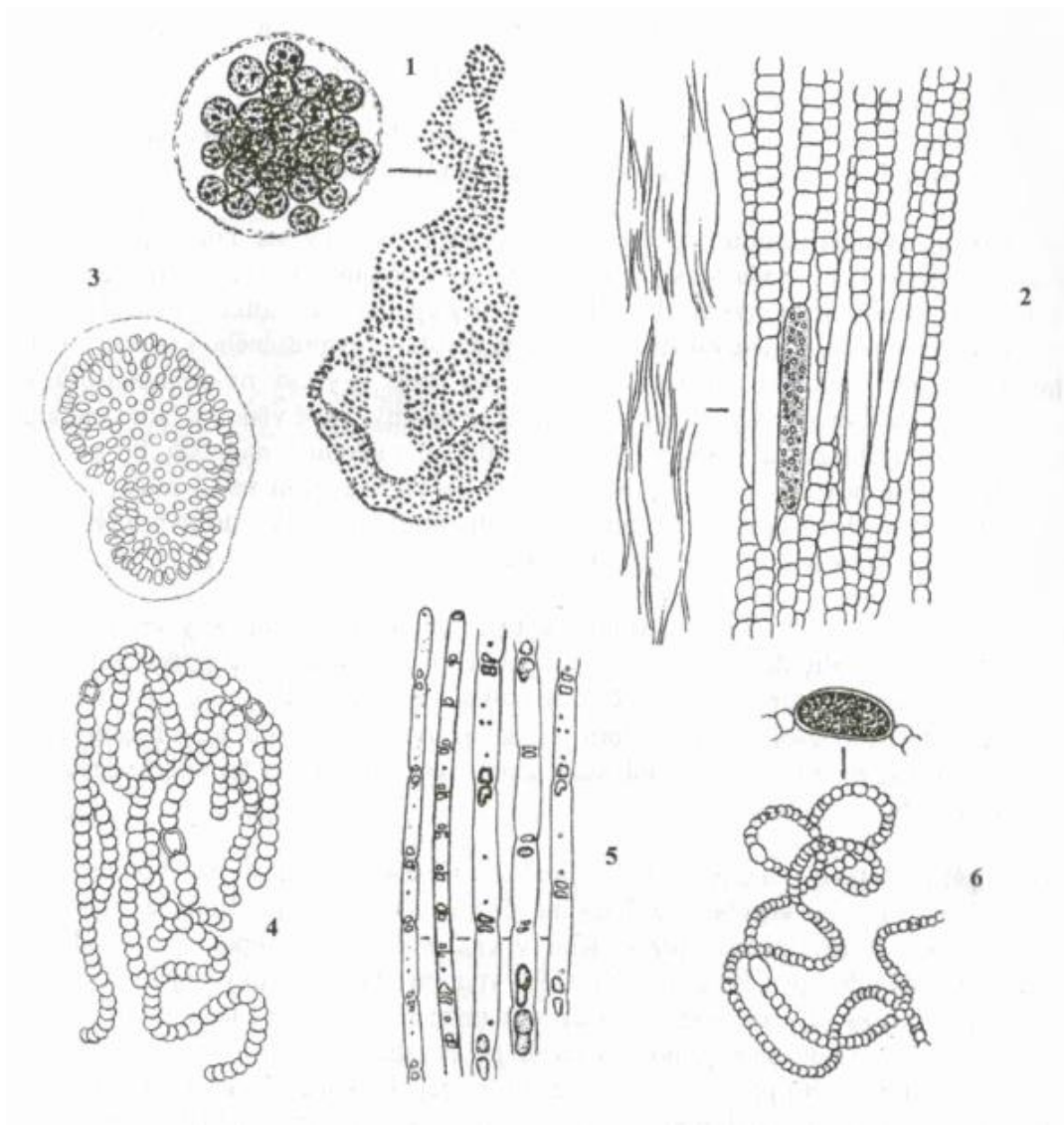
- Drobné planktonní řasy, vytvářející opticky homogenní suspenzi (vegetační zbarvení či vegetační zákal).
- Bentické sinice a rozsivky, jejichž iniciální vývojová stádia se vyvíjejí na povrchu sedimentů, později však přecházejí do natantních stádií.
- Zelené vláknité řasy.
- Vyšší vodní vegetace.
- Větší koloniální či vláknité sinice, vytvářející tzv. **vodní květ**.

3. Vodní květy povrchových vod

3.1 Vodní květ a vegetační zbarvení

Vodní květ se používá k označení hromadného výskytu takových druhů organismů, které mají schopnost se shromažďovat při hladině a zde se kumulovat, čímž vytvářejí okem patrné shluky. Vodní květ vytvářejí větší koloniální či vláknité sinice (řidčeji i řasy), (Obr. 1). Někdy se však užívání tohoto pojmu rozšiřuje vůbec na všechny planktonní sinice s plynovými měchýřky, jejichž specifická hmotnost biomasy je menší než $1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (Adámek et al., 2010).

Komárek (1999) uvádí, že vodní květ je způsoben masovým rozvojem a produkcí sinic, které jsou schopné tvořit povlaky na vodní hladině. Ale vegetační zbarvení vody je způsobeno produkcí fytoplanktonu rovnoměrně se vyskytujícího v celém vodním sloupci. K tomu patří snížení průhlednosti a zvýšení zákalu. Vodní květy se vytváří ve vodách, které mají pH vyšší než 6,5. U vodního květu je celkový objem biomasy 10 cm^3 biomasy na 1 m^3 vody. Ale vegetační zbarvení je už při 5 cm^3 biomasy na 1 m^3 vody.



Obr. 1: Vybrané příklady sinic tvořících vodní květ ve stojatých vodách: (1) *Microcystis aeruginosa*, (2) *Aphanizomenon flos-aquae*, (3) *Woronichinia naegeliana*, (4) *Nostoc pruniforme*, (5) *Limnothrix redekei*, (6) *Anabaena flos-aquae*. Dle Sládeček et Sládečková, (1996).

V buňkách sinic vodního květu jsou hojné plynné vezikuly, sdružené v aerotopy, které usnadňují vznášení v povrchových vodách (Tab. 2). V našich rybnících se vodní květ vyskytuje v letních měsících, kdy často tvoří mohutnou biomasu. Ve vodním květu rozeznáváme několik druhů sinic, jedná se o *Microcystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flos-aquae* a několik druhů rodu *Anabaena*. Tyto květy jsou problémem pro technické, rybářské a vodohospodářské využití nádrží (Kalina, 1997).

Tab. 2: Významné rody planktonních sinic obsahující plynové měchýřky. Dle Oliver et Ganf (2000).

Cyanobakterie	Druh	Fixace N ₂	Pododdělení	Čeď
Vláknité	<i>Anabaena</i>	+	<i>Nostocales</i>	<i>Nostocaceae</i>
	<i>Anabaenopsis</i>	+		<i>Nostocaceae</i>
	<i>Aphanizomenon</i>	+		<i>Nostocaceae</i>
	<i>Nodularia</i>	+		<i>Nostocaceae</i>
	<i>Cylindrospermopsis</i>	+		<i>Nostocaceae</i>
	<i>Gloeotrichia</i>	+		<i>Rivulariaceae</i>
	<i>Oscillatoria</i>	?	<i>Oscillatoriales</i>	<i>Oscillatoriaceae</i>
	<i>Spirulina</i>	-		<i>Oscillatoriaceae</i>
Koloniální	<i>Microcystis</i>	-	<i>Chroococcales</i>	<i>Chroococcaceae</i>
	<i>Gomphosphaeria</i>	-		<i>Chroococcaceae</i>
	<i>Coelosphaerium</i>	-		<i>Chroococcaceae</i>

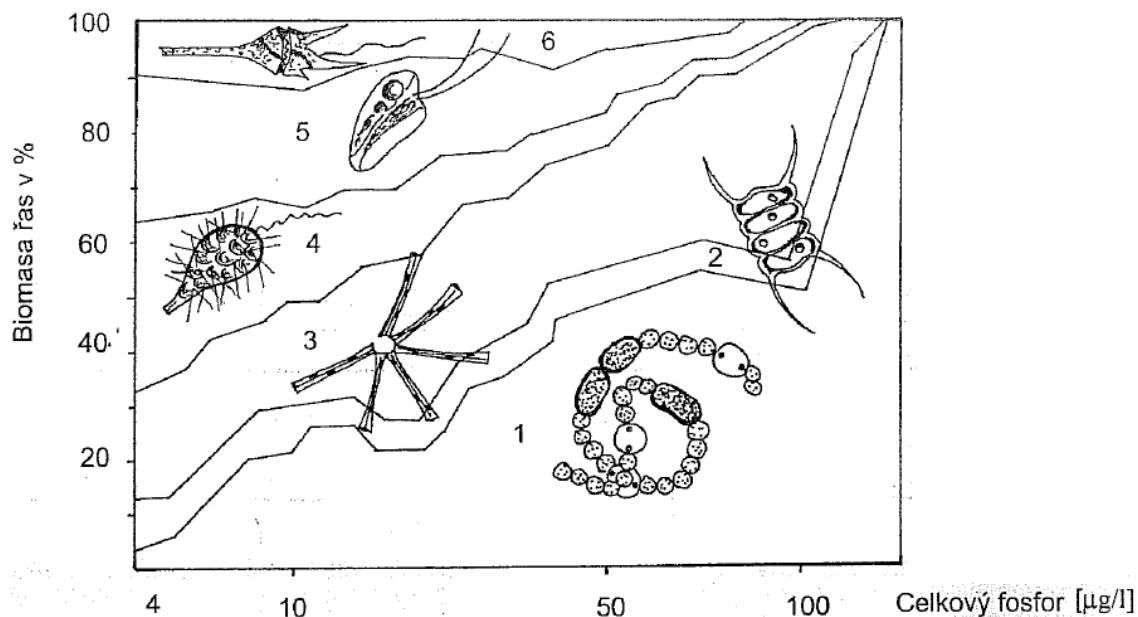
Když se ve vodním sloupci vyskytuje převládající druh, tak svoji bioaktivitou a vylučováním metabolitů do bezprostředního okolí vytváří špatné podmínky pro další druhy. Tyto druhy vytlačuje a sám tvoří monokulturu. Optimální teplota pro rozvoj vodního květu je v rozmezí 25 °C až 35°C (Komárek, 1999).

3.2 Faktory ovlivňující vodní květ

Tvorbu vodního květu ovlivňuje celá řada faktorů a ze znalostí těchto faktorů také vychází přehled metod omezení rozvoje sinic. Těmito faktory jsou (Adámek et al., 2010):

- **Fosfor** – je biologicky využitelný jako fosfát. K rozvoji vodních květů sinic dochází zpravidla, až když je v nádrži dosaženo eutrofie nebo hypertrofie – tedy při > 50 µg.l⁻¹ fosforu. Běžná biocenóza fytoplanktonu nádrže ale může být za určitých podmínek přivedena k reprodukci buněk již při 15 µg biodostupného fosforu na litr. Pro prevenci vodních květů je potřeba koncentrace fosforu menší než 20 µg.l⁻¹. Dlouhodobý průměr koncentrací fosforu nádrží jako například Máchovo jezero a Lipno, je kolem 25 µg.l⁻¹ fosforu, a přesto zde dochází k rozvoji vodních květů sinic. Ačkoliv biomasa sinic potřebuje fosforu méně než dusíku, je fosfor limitujícím faktorem častěji (Obr. 2).

- **Teplota** – planktonní sinice upřednostňují vody s vyššími teplotami. Teplota vody pro jarní rozvoj populací je udávána minimálně 10 °C, ale pozorování z Novomlýnských nádrží a nádrží kolem Berlína potvrzují předpoklad, že vodní květ může být za mírné zimy přítomen i při teplotě vody cca 6-7 °C i nižší (pod ledem).
- **Teplotní stratifikace** – vyhovuje rozvoji sinic schopných regulovat svoji pozici ve vodním sloupci.
- **Sluneční záření** – sinice mají relativně rychlejší růst za nízkých světelných podmínek než jiné druhy fytoplanktonu, tedy mají výhodu v kalných jezerech a dokážou růst ve stínu ostatního fytoplanktonu. Sinice obsahují kromě chlorofylu i další pigmenty, které zachycují světlo v zelené, žluté a oranžové části spektra, které už nedokážou využívat jiné fytoplanktonní druhy. Pigmenty umožňují sinicím využívat efektivněji sluneční energii a růst i v prostředí s pouze zeleným světlem. Sinice formující vodní květ mají také vyšší toleranci pro vyšší světelnou intenzitu.
- **CO₂ a pH** – při vyšších hodnotách pH silně klesá ve vodě koncentrace CO₂. Sinice nabývají svého dominantního postavení nad řasami právě při těchto nižších koncentracích.
- **Dusík** – fytoplankton přijímá dusík v podobě nitrátu, nitritu a amonných iontů. Ovšem řada druhů sinic dokáže kompenzovat nedostatek dusíku fixací dusíku atmosférického (*Anabaena*, *Aphanizomenon*).



Obr. 2: Vliv celkového fosforu na strukturu společenstva: 1 – sinice, 2 – zelené řasy, 3 – rozsivky, 4 – zlativky, 5 – skrytěnky, 6 – obrněnky. Dle Kalf, (2002).

3.3 Historie výskytu vodního květu

Vodní květ byl v roce 1638 pozorován rybáři severozápadně od Islandu. Rybáři hlásili, že voda ve fjordech je krvavě zbarvena a v noci fosforeskuje. Rybáři se domnívali, že voda byla zbarvena krví bojujících velryb nebo nějakým hmyzem či rostlinami (Olafsson et Palmsson, 1772). To je tzv. „red tide“ a způsobují je obrněnky. První vědecky dokumentovaná zpráva o úhynu domácích zvířat, která se údajně otrávil pitím vody postižené vodním květem sinic, pochází z roku 1878 a popisovala situaci na jezeře Alexandrina v Austrálii (SZO, 2002).

3.4 Výskyt vodních květů v České republice

Typickými společenstvy tvořícími vodní květy v našich přehradách a rybnících jsou zástupci z řádů Nostocales (nejčastěji *Anabaena*, *Aphanizomenon*), Chroococales (*Microcystis*) a zelených řas (*Botryococcus*). *Botryococcus braunii* je kokální druh, jediná zelená řasa, která vytváří vodní květ. Její vznášení je ve vodním sloupci způsobeno vysokým obsahem oleje v jejích buňkách (Kaštovský et al., 2009).

Vodní květy tvořené sinicemi rodu *Anabaena* bývají obvykle smíšené (Zapomělová, 2006). Vyskytují se během celého léta až do podzimu. Květy rodu *Microcystis* mohou dominovat od počátku sezóny, nebo během ní nahradit rod *Anabaena*

(Znachor et al., 2006). Například *Microcystis aeruginosa* je dominantním druhem na Brněnské přehradě už několik let (Maršálek et al., 1996). Mohutný a cyklický rozvoj vodního květu složeného z monokultury sinic rodů *Aphanizomenon* a *Microcystis* je po řadu let popisován z nádrže Skalka u Chebu (Fiala et al., 1975). Velké množství toxických látek produkované sinicemi bylo naměřeno na přehradách Sedlice, Hněvkovice, Orlík a vranov, kde dominuje druh *Microcystis aeruginosa*, který patří mezi nejrozšířenější sinice. Špatná kvalita vody je také na Máchově jezeře (Znachor, 2004).

Vodní květy jsou v České republice pravidelně sledovány kromě orgánů hygienické správy, pracovníků povodí, vodáren a dalších institucí také výzkumnými ústavy Akademie věd České republiky. Výskyt vodního květu je totiž v našich přehradách každým rokem větší, a v posledních deseti letech je vodní květ opakovaně nalézán v 70 až 80 procentech sledovaných přehrad. V převážné většině vzorků převažuje koloniální sinice *Microcystis aeruginosa*, která patří mezi nejvíce toxické. Dřívě poměrně hojné vodní květy vláknitých sinic *Anabaena*, *Planktothrix* a *Aphanizomenon* se nyní vyskytují pouze ojediněle (Znachor, 2005).

3.5 Problémy způsobené vodními květy při úpravě vod

Zvýšený obsah fosforečnanů působí komplikace vodárnám, protože zhoršuje upravitelnost vody. To je závažný problém zejména v našich podmínkách, kdy je zhruba 60% zdrojů pitné vody získáváno z povrchových zdrojů (Žáček, 1993). Fosforečnany se významně sorbují na dnových sedimentech. Za určitých podmínek může dojít k jejich uvolňování, což následně vede opět ke zvýšené koncentraci fosforečnanů ve vodách. Následkem je velká koncentrace řas a sinic ve zdrojích pitné vody způsobující problémy vodárenským provozům. Dochází zde k ucpávání filtrů, zhoršení organoleptických vlastností upravené vody, vzniku sekundárního mikrobiálního znečištění při rozkladu organismů v rozvodné síti či k uvolňování hygienicky nepřijatelných látek do vody (Kočí, 2000).

4. Cyanobakterie – základní charakteristika

Sinice jsou autotrofní prokaryotické organismy s jednobuněčnou nebo vláknitou stélkou. V jejich buňkách nenajdeme jádro, chloroplasty ani mitochondrie. Chybějí také bičíky. DNA je obsažena v nukleoplazmatické oblasti, podobné nukleoidu bakterií. Sinice mají fotosyntézu rostlinného typu, spojenou s produkcí kyslíku. Fotosyntetické pigmenty (chlorofyl α , β -karoten, xantofyly a fykobiliny) jsou obsaženy v thylakoidech volně prorůstajících plazmou. Četné sinice mají schopnost fixovat plynný dusík a redukovat jej na amonné soli (Kalina, 1997). Rozmnožování probíhá jedině nepohlavně. Dělení buněk probíhá zaškrcováním plazmatické membrány (Kaštovský et al., 2009).

4.1 Základní struktury cyanobakterií

4.1.1 Aerotopy

Jedná se o válcovité struktury ve tvaru mnohostěnu. V buňce je jich většinou přítomno mnoho. Jejich stěna je složená z glykoproteinů a je propustná pro všechny plyny rozpuštěné ve vodě. Směs těchto plynů uvnitř aerotopů pak sinice nadlehčuje a umožňuje jim snadno splývat ve vodním sloupci. Tyto organely jsou jedinou strukturou v živých buňkách, která je naplněná plynem. Sinice si je mohou tvořit a dezorganizovat v závislosti na abiotických faktorech prostředí a tím regulovat svoji polohu ve vodním sloupci (Obr. 3,4). Občas jsou ještě udávány pod starým názvem gas vezikuly či zcela nesprávně “plynové vakuoly” (Kaštovský et al., 2009).



Obr. 3: Sinice - Otavské rameno nádrže Orlík, červenec 2004. Dle Znachor, (2004).



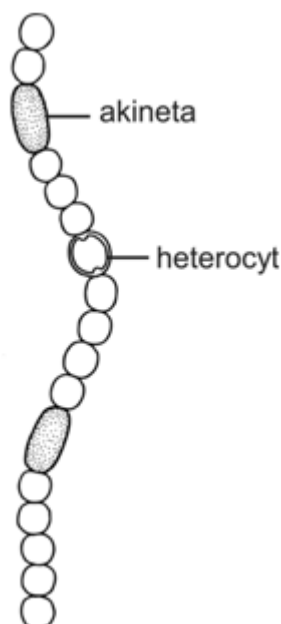
Obr. 4: Sinice – Přehrada Sedlice u Želivy, srpen 2003. Dle Znachor, (2004).

4.1.2 Heterocyty

Jsou to tlustostěnné buňky, větší než jsou buňky vegetativní. Vznikají z vegetativních buněk. Za účasti nitrogenázy se v nich fixuje vzdušný dusík, vzniká amoniak, ten je vázaný jako glutamin a v této formě je transportován do sousedních buněk. Občas jsou uváděny pod značně nepřesným názvem heterocysty.

4.1.3 Akinety

Vznikají z jedné nebo více vegetativních buněk a bývají ještě větší než heterocyty (Obr. 5). Slouží k přežití nepříznivých podmínek. Je známo, že akinety rodu *Nostoc* přežily usušené v herbáři životaschopné po dobu 86 let. Lze je najít označené i archaickým názvem artrospory (Kaštovský, 2009)



Obr. 5: Struktura Cyanobakterie – specializované buňky. Dle Kraulová, (2009).

4.2 Životní cyklus

Sinice jsou ve vodohospodářské praxi známy především z hladiny a vodního sloupce. Tato pelagická fotosyntetizující část je však pouze přibližně 1/3 životního cyklu, zbylé 2/3 se odehrávají skrytě na dně nádrží v sedimentech v naprosto rozdílných podmínkách, než které panují ve vodním sloupci. Během životního cyklu dochází tímto k rozdělení populace v nádrži na dvě subpopulace mající naprosto jiné

ekologické nároky, které úzce souvisí s morfologií (především kompaktnost kolonie, míra slizového obalu) a způsobem výživy kolonií. Jedná se o subpopulace:

- pelagická (ve vodním sloupci),
- bentická (v sedimentech).

Pelagická fotosyntetizující subpopulace se každoročně obnovuje z bentické subpopulace, kdežto bentická heterotrofně se vyživující subpopulace v sedimentech je stálá zásobárna kolonií, která musí být zpětně doplňována podzimní sedimentací pelagické subpopulace. Tyto subpopulace mezi sebou navzájem přecházejí, přechody jsou spojeny s přestavbou ultrastruktury, se změnou metabolismu a ekofyziologických nároků. Při vyšších intenzitách osvětlení dochází ke snížení počtu gas vezikul o 50% a současně k intenzivní syntéze uhlovodíků, která způsobí ztrátu buoyancy. Tímto způsobem dochází k migraci kolonií, která účinně reguluje množství dopadajícího světla na thylakoidy a dochází tak k regulaci fotosyntetické aktivity (Oliver et Walsby, 1984). K přechodům dochází na jaře (bentická subpopulace reinvazní) a na podzim (pelagická subpopulace pozdní), a to působením mnoha faktorů (Šejnohová et Maršálek, 2006).

4.3 Historie

Sinice jsou nejstarší organismy s fotosyntézou rostlinného typu. Přesto nepředpokládáme přímý vývoj rostlinných buněk ze sinic (Kalina, 1997). Na Zemi se vyskytly již v prekambriu, před 2,5 – 3 miliardami let (Volf et al., 1988). Před 2 miliardami let se dokonce staly dominující skupinou organismů na Zemi (Kalina, 1997) a předpokládá se, že měli i značný vliv na vznik kyslíkaté atmosféry, jelikož jsou významnými producenty kyslíku. Provedený výzkum u fosilních sinic prokázal, že jejich vývoj skončil v dávných geologických dobách a do dnešních dnů se zachovaly stejné morfologické typy (Volf et al., 1988).

4.4 Základní charakteristika cyanobakterií tvořících vodní květ v ČR

4.4.1 Charakteristika rodu *Microcystis*

Sinice rodu *Microcystis* je považován za nejdůležitější cyanobakteriální rod z hlediska tvorby vodních květů i toxicity. Moderními metodami bylo jednoznačně prokázáno, že *Microcystis* představuje geneticky velmi jednotný genotyp, ovšem jen

v užším slova smyslu, tj. výhradně s druhy obsahujícími plynové měchýřky (Komárek, 1999).

U tohoto rodu se nevyskytují heterocyty, které fixují dusík ani tlustostěnné trvalé spóry, tedy akinety, které se vyskytují u vláknitých sinic vodního květu např. *Aphanizomenon*, *Anabaena*. Přezimování probíhá v sedimentech ve stádiích „fyziologických cyst“, které si stále zachovávají minimální schopnost metabolismu (Komárek, 1996). K nadnášení na vodní hladině slouží plynové měchýřky, které jsou sdružovány do skupin neboli aerotopů. Plynové měchýřky jsou typické útvary vyskytující se u sinic vodního květu. Jedná se o měchýřky s proteinovým obalem, které jsou vyplněny směsí vzduchu a tím zajišťují možnost pohybu ve vodním sloupci a vznášení se na hladině (Hoek et al., 1995).

Komárek (1996) uvedl, že se jedná o zástupce kokálních sinic (řád Chroococcales) tvořící mikro- nebo makroskopické slizové kolonie, které se jeví jako práškovitý vodní květ (Obr. 6). Kolonie jsou zprvu kulovité nebo mírně zploštělé, později nepravidelné, laločnaté, děrované, s nepravidelně uloženými kulovitými buňkami v homogenním amorfním bezbarvém slizu.

4.4.1.1 Výskyt

Tento rod se vyskytuje na hladině a ve vodním sloupci. Nejdůležitější část jejich životního cyklu probíhá v sedimentech. energii z organických látek získává populace ze sedimentu, jelikož tam neprochází světlo. Reinvaze *Microcystis* do vodního sloupce je spojena hlavně s faktory, mezi které patří světlo, množství kyslíku a teplota, která je u dna (Šejnohová et Maršálek, 2006).

4.4.1.2 Výživa subpopulací

Způsob Výživy je mixotrofní, tzv. fotoautotrofie je kombinována s heterotrofní výživou, a závisí na fázi životního cyklu. Subpopulace ve vodním sloupci (pelagická) získává energii fotosyntézou, kdežto subpopulace v sedimentu (bentická), kam neprochází světlo, získává energii z organických látek (Hoek et al., 1995).

4.4.1.3 Rozšíření

Rod *Microcystis* je rozšířen po celém světě s výjimkou cirkumpolárních oblastí a setkáme se s ním ve všech typech sladkých eutrofních vod. Celkem je na světě

popsáno přibližně 20 morfotypů, z nichž jsou některé známe pouze z tropických oblastí, některé lze označit také za kosmopolitní. Zástupci tohoto rodu jsou planktonní, pouze klidová stadia přetrvávají v sedimentech (Komárek et Anagnostidis, 1999).

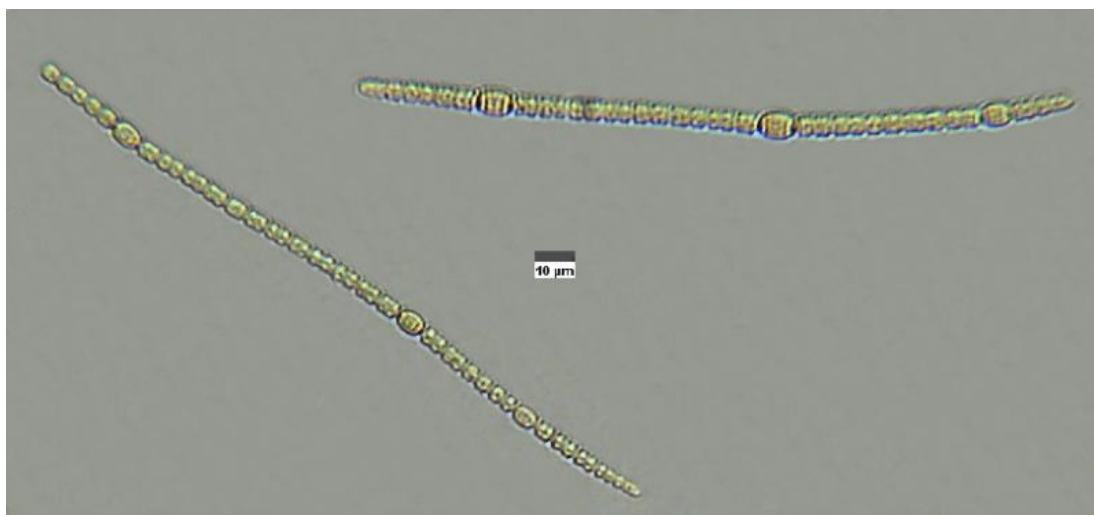


Obr. 6: *Microcystis flos-aque*, Obojský rybník u Dunajovic, jižní Čechy 2008. Dle Kaštovský et al., (2009).

4.4.2 Charakteristika rodu *Anabaena*

Anabaena je velmi častý rod, jehož větší část druhů je planktonní a tvoří významnou část vodního květu, a druhá část je bentická. Zhruba kulovité buňky tvoří charakteristické řetízky s častými heterocyty (Obr. 7). Planktonních druhů je jen u nás 15 – 20, některé jsou trochu toxické. Nejvíce se vyskytují ve slabě hnojených rybnících, s rozvojem těžkého hnojení zmizely skoro všechny kromě *Anabaena lemmermanii*. Dnes už se tolik nehnojí, takže jejich počet v planktonu opět narůstá,

ale žijí stále více v přehradách než v rybnících. Planktonní typy vytváří buď rovná vlákna (*Anabaena viguierii*), nebo jsou šroubovitě stočené (*Anabaena crassa* je stočená velice pravidelně a je z našich druhů největší). *Anabaena lemmermanii* je nejčastějším druhem, jejichž vlákna se sdružují do nepravidelných chomáčů, akinety se vyvíjejí po obou stranách heterocyty a vlákna se smotají tak, že akinety tvoří shluk uprostřed (Kaštovský et al., 2009).



Obr. 7: *Anabaena oscillarioides*, Rybník Nesyt 2007. Dle Kopp, (2009).

4.4.3 Charakteristika rodu *Aphanizomenon*

Rod *Aphanizomenon* jsou cylindrické buňky tvořící subsymetrická vlákna. Je to rozsáhlý rod planktonních sinic, tvořící rovněž vodní květy. Donedávna se u nás velmi hojně vyskytoval druh *Aphanizomenon flos-aquae* (flos-aquae = vodní květ lat.). Vodní květ tvořený tímto druhem je snadno identifikovatelný i makroskopicky, protože jeho vlákna se sdružují do jehlicovitých svazečků – voda vypadá, jako by v ní plavalo drobné jehličí (Obr. 8). Tento typ vodního květu se dnes u nás vyskytuje dosti zřídka, pravděpodobně je na něj úroveň eutrofizace našich stojatých vod příliš vysoká. Relativně hojný druh je teď u nás *Aphanizomenon issatschenkoi*, který je dnes řazen do nového rodu *Cuspidothrix* (Kaštovský et al., 2009).



Obr. 8: *Aphanizomenon flos-aque*, vodní nádrž Římov, jižní Čechy 2007. Dle Bornet et Flahault, (2009).

5. Možnosti boje s eutrofizací a vodním květem

Eutrofizace povrchových vod je komplexní problém a jeho řešení není jednoduché. Dodatečně odstraňovat fosfor a jiné nutrienty z odpadních vod je sice nutné, ale je reálné pouze na velkých ČOV. U lokálních zdrojů znečištění s ním lze jen těžko počítat. Vedle systémů zvýšeného odstraňování fosforu z odpadních vod na ČOV jsou hledány i chemicko-fyzikální postupy. Mezi moderní patří užití polymerních iontoměničů (Zhao et al., 1998). Kočí (2000) uvádí, že některé přípravky jsou již i komerčně dostupné, například australský „PHOSLOCK“, přípravek, který je vstříkován do vodních ploch s cílem snížit koncentraci biologicky dostupného fosforu.

Eutrofizaci lze potlačit tak, že se omezí přísun živin do nádrže, což lze několika způsoby. Např. dojde k rozsáhlým změnám hospodaření v povodí nádrže, zamezí se vtoku odpadních a melioračních vod, přejde se na extenzivní způsob rybnářství (bez krmení a hnojení), odstraní se sedimenty dna či se použijí biologické prostředky nebo jejich kombinaci s prostředky chemickými (Štěpánek et Červenka, 1974).

Jediná účinná cesta, jak se bránit hromadnému nárůstu sinic a řas v našich vodách, je prevence. Je nutné předcházet znečišťování vod látkami podporujícími bujení sinic a řas. V případě, že je vodní plocha již ohrožena nárůstem vodního květu, není jiné cesty, např. při rekreačním využívání, než lokalitu uzavřít nebo dávkovat do vody takové látky, které sinice a řasy hubí. Zde se však potýkáme s celou řadou problémů:

- *jakou látku dávkovat, aby hubila jen sinice či řasy a nepůsobila toxicky na jiné organizmy,*
- *jak účinně vpravit takovou látku do vody, aby nebylo ohroženo okolí, či nedocházelo k předávkování v určitých místech vodního tělesa,*
- *co s toxickými látkami, jež se do vody uvolní rozpadem buněk sinic,*
- *co s následným mikrobiálním znečištěním,*
- *co se vznikem anoxických zón u dna způsobených rozkladem uhynulých organismů (Kočí et al. 2000).*

Jednoduchým návodem, jak omezit produkci vodního květu je studovat strategii výskytu vodního květu a podmínky jeho rozvoje (Maršálek et al., 1996). Lellák a

Kubíček (1992) popisují, že v praxi se nabízí několik způsobů boje proti vodnímu květu. Procesu eutrofizace lze preventivně předcházet používáním detergentů, ve kterých je fosfor nahrazován křemíkem. Odpadním vodám s vyšším obsahem fosforu a dusíku je věnována zvýšená pozornost, vody se upravují terciálním čištěním, založeném na eliminaci srážení solemi hliníku, železa a vápníku. Sloučeniny dusíku se odstraňují nitrifikací a denitrifikací. Při masovém rozvoji vodního květu se k odstranění biomasy sinic a řas používají mechanické, biologické, fyzikální a chemické metody (Lellák et Kubíček, 1992).

5.1 Způsob odstranění a prevence před vodním květem v nádrži

5.1.1 Mechanický způsob odstranění vodního květu

V místech, kde se shromažďuje biomasa vodního květu je možný způsob mechanického odstranění. U mělkých nádrží se používá násoskový odběrák, kterým se vyplavuje část biomasy vodního květu z nádrže. U silně eutrofizovaných zdrojů se uplatnil způsob těžby sedimentů ze dna nádrží, popř. oxidace sedimentů (Ambrožová, 2001).

5.1.2 Biologický způsob odstranění vodního květu

Biologickou cestou je biomanipulace představovaná umělým vysazením rybí obsádky býložravých ryb, nejčastěji tolstolobikem bílým. Spásáním přebytečné biomasy rybami nedochází k zatěžování biotopu organickými látkami a jejich rozkladnými produkty. Z toho vyplývá, že nasazením dalšího trofického řetězce se pozitivně ovlivní oxidační poměry u dna (Rozmajzlová, 1986).

5.1.3 Fyzikální způsob odstranění vodního květu

Fyzikální cestou boje proti vývoji vodního květu je zastínění hladiny a snížení tak světelné intenzity (Ambrožová, 2001).

5.1.4 Chemický způsob odstranění vodního květu

Po chemické stránce se používají algicidní preparáty, koagulanty a flokulanty. Mezi algicidní preparáty patří např. síran měďnatý, síran hlinitý, hydroxid vápenatý, manganistan draselný, chlornan sodný, síran železitý a chlorid železitý. Nejosvědčenějšími preparáty jsou sloučeniny železa a hliníku, které srážejí fosfor přítomný v nádrži. Chemický zásah by se měl aplikovat v období před nástupem

rozvoje sinic, kdy mladé buňky přijímají co nejvíce látek ze svého prostředí a jsou zranitelné. Perspektivní je i aplikace cyanofágů, tj. virů ničících sinice (Štěpánek et Červenka, 1974).

5.2 Způsob odstranění a prevence před vodním květem v povodí

5.2.1 Omezení přísunu živin z povodí

Zdroje živin v povodí se rozdělují dle charakteru na bodové a plošné. Za plošné zdroje můžeme považovat veškeré splachy živin z půdy (především zemědělské). Tento odnos živin je těsně spojen s celkovým zvýšeným odtokem vody z krajiny, tedy možná opatření proti němu jsou v některých případech totožná s opatřeními zvyšujícími zadržení vody v krajině. Obecně je důležitá co nejvyšší diverzita krajiny, která má za následek celkovou vyšší pufrovací kapacitu. Do těchto opatření zadržujících vodu a živiny v krajině můžeme zařadit tyto obecné postupy:

- revitalizace vodních toků,
- obnova břehových porostů,
- obnova mokřadů,
- tvorba „nárazníkových pásů“.

Dále může být situace zlepšena změnou využívání zemědělské půdy nebo změnou způsobu hnojení (množství, načasování, typy hnojiv).

Nejvýznamnějšími bodovými zdroji dusíku a fosforu jsou hlavně výpusti odpadních vod. Z hlediska snižování obsahu fosforu má smysl:

- stavba nových čistíren,
- zavedení terciálního stupně čištění odstraňujícího fosfor,
- využití kořenových čistíren nebo umělých mokřadů,
- decentralizace odpadních vod a jejich čištění spíše v místě vzniku,
- zavedení bezfosfátových pracích prostředků (Maršálek et Halousková, (2004).

5.2.1.1 Bezfosfátové prací prostředky

Velká část pracích prostředků včetně prášků do myček nádobí v současnosti používaných v ČR dosud obsahuje relativně velké koncentrace fosforečnanů. Tento fosfor představuje ve splaškových odpadních vodách v současnosti zhruba jednu

třetinu celkového obsahu fosforu. Plošné zavedení bezfosfátových pracích prostředků by významně přispělo ke snížení zatěžování recipientů fosforem (Maršálek et Halousková, 2004). Ve světě bylo výrazné zlepšení po snížení fosfátových pracích prostředků zaznamenáno např. v povodí jezera Mjosa, kde podpora bezfosfátových prostředků vedla ke snížení ročního přísunu fosforu během šesti let o třetinu původního přísunu a čistě díky tomu došlo k redukci výskytu a rozsahu vodních květů sinic (Cullen et Fosberg, 1988).

5.2.2 Opatření na přítoku

Poslední možností jak snížit obsah živin přitékajících do nádrže, pokud nelze zavést dostatečná protieutrofizační opatření v celém povodí, je ošetření na přítoku, které by snížilo obsah dusíku a fosforu těsně před nádrží (Maršálek et Halousková, 2004).

5.2.2.1 Přednádrže

Vodní nádrže mohou mít vysokou schopnost retence živin v krajině. Proto se za účelem snížení přísunu živin těsně před velkými nádržemi budují tzv. přednádrže. Jedná se většinou o malé nádrže se zdržením vody jen několik dní, zařazené bezprostředně před hlavní nádrží. K zadržení fosforu dochází cestou biochemické konverze rozpuštěného fosforu na partikulární (především na buňky fytoplanktonu) a následným vysedimentováním. Sedimentace může být urychlena přítomností přirozených koagulátů a flokulantů. Maximální eliminace fosforu závisí na adekvátním designu, konstrukci, době zdržení a udržovacích procesech přednádrže. Dále závisí na vstupu světla, koncentrace orthofosfátů a teplotě vody. Hlavní nevýhodou přednádraží je malá účinnost v zimě, díky nízké teplotě a světelnému záření. V zimě a začátkem jara proto dochází k poměrně vysokému úniku fosforu do hlavní nádrže (Maršálek et Halousková, 2004).

5.2.2.2 Odklonění přítoku

Prakticky všechny zdroje fosforu mohou být odvedeny jinam pomocí cirkulárního kanálu kolem jezera odvádějícího živinami znečištěnou vodu jinam. Tato technika není příliš často využívána. Výhodou nádrží, které neleží přímo na hlavním toku (boční nádrže, nádrže po odklonu hlavního přítoku) je plně regulovatelný přítok. Hydraulika těchto nádrží je tudíž nezávislá na hydrologii odtoku z povodí a lze ji

řídit. Současnsě je možné řídit také zatížení živinami a udržovat je na žádoucí úrovni (Maršálek et Halousková, 2004).

5.3 Faktory podmiňující masový rozvoj cyanobakterií

Mezi důležité faktory, které podmiňují masový rozvoj cyanobakterií patří vyvážený poměr a dostatek biologicky přístupných makro a mikroprvků. Teplota vody pro jarní rozvoj populací je udávána minimálně 10 °C. Dostatečně dlouhé „období čisté vody“ („clear water phase“) podpoří počáteční rozvoj populace, naopak například srážky na začátku léta („Medardova Kápeř“) a zákal vody nástup vodních květů většinou oddálí. Zvýšený průtok vody, tedy snížení doby zdržení vody v nádrži oddálí počáteční rozvoj populací *Microcystis*. Optimální pro rozvoj sinic jsou vyšší hodnoty pH, sinice jsou dominantní při nižších koncentracích CO₂. Vhodné podmínky pro hibernaci (a dlouhodobé uchování) dostatečného množství infekceschopného inokula (především vhodné lokality s organickými sedimenty a anaerobními podmínkami, světlo není podmínkou). Přítomnost toxických látek v sedimentech a v přitékající vodě do nádrže ovlivňuje masový rozvoj cyanobakterií. Biotické interakce – rybí obsádka, predace zooplanktonu (většinou likviduje drobné řasy a rozsivky, koloniální sinice pak nemají konkurenci), přítomnost a metabolická aktivita parazitických hub a cyanofágů, přítomnost, abundance a aktivita bakterií, prvků. Často se zapomíná, že jiné ekologické podmínky jsou vhodné pro dlouhodobé uchování životaschopného inokula, jiné podmínky je nutno mít pro počáteční rozvoj populací cyanobakterií na počátku sezóny a jiné podmínky jsou důležité pro masový rozvoj pelagiální populace vodních květů během letní sezóny. Cyanobakterie mají mimořádnou schopnost nejrůznějších adaptačních mechanismů, kterými se brání změnám v životních podmínkách. To, že jde o funkční mechanismy, dokládá fakt, že na Zemi přežily 3,6 mld. Let. Tyto mechanismy jsou však při omezování masového rozvoje nepříjemné. Často dojde jen ke změně dominant – *Microcystis* je nahrazena *Anabaena* a *Aphanizomenon*, ale celková biomasa cyanobakterií je po jednorázovém zásahu typu odtěžení sedimentů po 3-4 letech stejná jako před ošetřením a *Microcystis* se vrátí po cca 5 letech zpět (Adámek et al., 2010).

Základním opatřením proti masovému rozvoji cyanobakterií je tedy:

- **kontrola a redukce vstupu živin** – především fosforu do vodní nádrže,
- **kontrola zdrojových lokalit**, ze kterých dochází k ožívání nových populací vodních květů.

6. Toxické účinky cyanotoxinů

Některé sinice mají schopnost tvořit toxiny, které ohrožují zdraví lidí. Toxiny se nacházejí buď uvnitř buněk sinic, nebo se z buněk uvolňují do vody. Dokud jsou buňky mladé (během růstové fáze), je 70-90 % celkového množství toxinu vázáno v buňkách. U starších buněk podíl volných toxinů může dosáhnout až 70 %. Odstranění volných toxinů z vody při její úpravě na pitnou je obtížné. Schůdnější je zabránit růstu sinic, protože je snadnější odstranit buňky sinic než volné toxiny (SZO, 2002).

6.1 Cyanotoxiny

Cyanotoxiny (tj. toxiny sinic) jsou látky sekundárního metabolismu, tedy látky, které nejsou používány organismem pro jeho primární metabolismus. Obecně jsou to endotoxiny, které nejsou do okolí aktivně vylučovány. Jsou toxičtější než toxiny vyšších rostlin a hub, vyvolávají poruchy zažívacího traktu, alergické reakce respirační a kontaktní dermatitidy a onemocnění jater. Mladé buňky jsou toxické po pozření pro zvířata, staré senescentní buňky umírají a do okolí uvolňují toxiny. Z buněk sinic se cyanotoxiny dostávají při poškození, rozkladem bakteriemi, po použití algicidních preparátů a při úmrtí buněk (Maršálek et al., 2000).

Z dostupných publikací a výsledků experimentů je známo, že toxiny sinic mají ve vodních ekosystémech vliv na:

- strukturu populací fytoplanktonu (nejcitlivější jsou rozsivky, nejodolnější zelené jednobuněčné řasy – např. *Scenedesmus*),
- výskyt makrofyt (v nádržích s pravidelným rozvojem vodních květů sinic submerzní makrofyta často zcela chybí, laboratorně je prokázáný vliv na inhibici fotosyntézy),
- věkovou i druhovou strukturu společenstev zooplanktonu,
- zdravotní stav a přírůstky ryb,
- za další výzkum stojí informace, které potvrzují vliv toxinů sinic na diverzitu a abundanci zoobentosu, a to jak v nádržích, tak v řekách pod nádržemi, ve kterých jsou masivní vodní květy,
- prokázáný je také vliv cytotoxinů a biomasy sinic na výskyt malformací a teratogenitu obojživelníku,

- výsledky terénních studií dále ukazují, že na lokalitách, kde dochází po několik let k rozvoji vodních květů sinic, nastává redukce biodiverzity prakticky veškerých vodních organismů s výjimkou bakterioplanktonu (Adámek et al., 2010).

6.1.1 Rozdělení

Toxiny sinic jsou nejčastěji děleny podle metod detekce na cytotoxiny a biotoxiny. Příkladem biotoxinů jsou neurotoxiny, hepatotoxiny, genotoxiny, imunotoxiny, embryotoxiny, mutageny a karcinogeny (Maršálek, 1997).

Cytotoxiny vykazují široké spektrum aktivit proti bakteriím, houbám, řasám, prvokům a savčím tkáňovým kulturám. Nejčastěji jsou ze sinic izolovány cytotoxiny a depsipeptidy, které mohou mít v případě sinice *Nostoc* i protinádorové účinky. Maršálek (2004) uvádí, že cytotoxiny sinic jsou nejčastěji využívány pro farmacii jako selektivní cytostatika a virocidní látky (patenty proti Herpes viru, HIV).

6.2 Charakteristika nejvýznamnějších cytotoxinů

6.2.1 Neurotoxiny

Neurotoxiny jsou produkovány zejména druhy rodů *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Oscillatoria*, *Microcystis*, *Planktothrix*. Klinickým příznakem jsou křeče a vliv na nervový systém. Neurotoxiny jsou schopny různými způsoby paralyzovat svalovou tkáň včetně dýchacího svalstva. Nejčastěji proto způsobují smrt udušením (Briand et al., 2003). U myši a vodních ptáků mohou být příčinou náhlého úhynu pro akutní zástavu dechu, ke které může dojít během několika minut po expozici (SZO, 2002). V alkalickém prostředí a při teplotě nad 40 °C nastává jejich destrukce (Štěpánek et Červenka, 1974).

6.2.2 Hepatotoxiny

Nejrozšířenější, v sinicích sladkých a brakických vod nejčastěji nalézanou a tedy i nejvíce studovanou skupinu cyanotoxinů představují hepatotoxické cyklické heptapeptidy – microcystiny. Tyto toxiny jsou produkovány sinicemi rodu *Microcystis*, *Anabaena*, *Nodularia*, *Planktothrix*, *Oscillatoria*, *Nostoc*, *Aphanizomenon*, *Gloeotrichia*. Mezi hepatotoxiny patří microviridin a microcystin produkovány sladkovodními sinicemi a dále nodularin a cylindrospermopsin.

U microcystinu byla zjištěna možnost tumorového promotoru. Toxický vodní květ zasahuje neuromuskulární a respirační systém, u lidí způsobuje lokální alergické vyrážky, celkové alergické reakce a dyzentérické poruchy. Lidskou pokožku nejvíce dráždí *Aphanizomenon flos-aquae*, způsobující puchýře, silné zčervenání, pustuly a folikulitidu (Ambrožová, 2001). Při podrobnějším průzkumu charakteru a struktury vodního květu byl u druhu *Microcystis aeruginosa* objeven C.T.BISHOPEM rychle smrtící faktor FDF (fast death faktor). Biochemici dále stanovili MU (mouse unit) představující takové množství toxinu, které usmrtí 20 g myš. Toxin působí na centrální nervový systém. U rybí obsádky se intoxikace toxinem projevuje silným neklidem, zrychleným dýcháním, nekoordinovaností pohybu, boční polohou u dna a konečným úhynem (Maršálek et al., 1996).

6.2.3 Dermatotoxiny

Tyto toxiny vyvolávají po kontaktu podráždění kůže, vyrážky, puchýřky, záněty spojivek nebo alergické reakce (SZO, 2002).

6.3 Cyanotoxiny a lidské zdraví

6.3.1 Intoxikace Cyanotoxiny v pitné vodě

Případy, které vyústily v poškození lidského zdraví cyanotoxiny, byly způsobeny nejčastěji cyanotoxiny obsaženými v pitné vodě. Jednalo se zpravidla o situace, kdy došlo k náhlému kolapsu vodních květů a hromadnému uvolnění toxinů z mrtvých buněk. Běžné technologie úpravy a čištění vody (sedimentace, filtrace, flokulace, chlorace) nejsou schopny účinně odstraňovat např. microcystiny a ty pak mohou být přítomny v pitné vodě v koncentracích až několik $\mu\text{g.l}^{-1}$ (Maršálek et Bláha, 2001). Kromě akutních efektů se zvažují také vlivy dlouhodobé expozice cyanotoxiny na lidské zdraví (Bláha et al., 2004).

6.3.2 Intoxikace Cyanotoxiny při rekreaci

Další skupinu událostí představují otravy v důsledku expozice cyanotoxiny při plavání nebo vodních sportech. Nejběžnějšími projevy byly lokální alergické nebo iritační kožní reakce a dermatitidy způsobené dermálním kontaktem se sinicemi, a dále systémové poruchy, jejichž příčinou je zřejmě náhodné požití vody s cyanobakteriemi během plavání (Fitzgerald, 2001). Obsah známých toxinů

v biomase sinic souvisí s délkou koupání a koncentrací cyanobakteriálních buněk ve vodě (Pilotto et al., 1997).

6.3.3 Řasy a sinice jako alergen

Sinice si zaslouží pozornost jako možné potencionální alergen pro své široké rozšíření a vysoký obsah proteinů. Alergie citlivých skupin lidí na řasy a sinice jsou ovšem známy již z bývalého Československa. V pitných vodách se alergenní substance posuzují z hygienického a epidemiologického hlediska obtížněji než alergen v rekreačních vodách. Analýzy prokázaly, že v sinicích z nádrží v České republice jsou vysoké aktivity imunomodulantů, a to jak imunosupresorů, tak látek způsobujících nekontrolovatelné obranné reakce organismu. Toto zjištění může mít závažné následky především při chronické expozici pitnou vodou během vegetační sezóny (Maršálek, 2000).

6.3.4 Sledování výskytu sinic na koupalištích

Požadavky na jakost vody, četnost a způsob kontroly přírodních koupacích vod jsou uvedeny ve vyhlášce č. 238/2011 Sb. Všechna přírodní koupaliště musí být sledována v rozsahu uvedeném v tabulce č. 1 přílohy č. 4 k této vyhlášce (Tab. 3).

Tab. 3: Ukazatele a jejich limitní hodnoty pro přírodní koupaliště se zvýšenou pravděpodobností rozmnožení sinic. Dle Vyhláška 238/2011 Sb.

	Ukazatel	Jednotka	Limit	Vysvětlivky
1	průhlednost	m	1	1
2	vodní květ	stupeň	0	2

Vysvětlivky:

1. Pokud je evidentně snížení průhlednosti způsobeno anorganickými částicemi, není nutné zahajovat sledování sinic podle tabulky č. 4.
2. Stanovení se provádí při odběru vzorku podle ČSN 757717, kde je uvedena následující stupnice (Tab. 4).

Tab. 4: Stupnice výskytu sinic. Dle Vyhláška 238/2011 Sb.

Stupeň	Výskyt	Popis
0	Žádný	Sinice nejsou pouhým okem pozorovatelné
1	Pozorovatelný	Ve vodě jsou zjištělné ojedinělé zelené vločky, kolonie nebo jednotlivá vlákna.
2	Hojný	Při břehu se vyskytují slabší příhladinové shluky sinic nebo je ve vodním sloupci rozptýleno větší množství kolonií nebo jednotlivých vláken sinic.
3	Masový	Výskyt silných příhladinových květů velkého rozsahu. Na břehu může být naplaveno větší množství zeleného kašovitého materiálu.

Přírodní koupaliště, u kterých lze během koupací sezóny odůvodněně předpokládat rozmnožení sinic, nebo během koupací sezóny bylo shledáno podezření na jejich výskyt, musí být dále sledována v rozsahu daném v tabulce č. 2 přílohy č. 4 k této vyhlášce (Tab. 5).

Tab. 5: Ukazatele a jejich limitní hodnoty pro přírodní koupaliště se zvýšeným rizikem vzniku masového rozvoje sinic. Dle Vyhláška 238/2011 Sb.

	Ukazatel	Jednotka	I. stupeň	II. stupeň	III. stupeň
1a	sinice	buňky/ml	20 000	100 000	250 000
1b	sinice	mm ³ /l	2	10	20
2	chlorofyl-a	µg/l	10	50	100
3	vodní květ	stupeň			2
4	mikroskopický obraz				

U všech přírodních koupališť je nutné před začátkem koupací sezóny posoudit, zda u nich lze během koupací sezóny očekávat s velkou pravděpodobností rozmnožení sinic překračující limity I. Stupně podle přílohy č. 4 k této vyhlášce tabulky 2.

Při překročení limitů I. Stupně se volí zkrácení četnosti odběrů za účelem kontroly na 5 až 9 dnů, při překročení limitů II. stupně se nedoporučuje koupání a provozování vodních sportů zejména pro děti, těhotné ženy, osoby trpící alergií a osoby s oslabeným imunitním systémem. Při přítomnosti druhů vytvářejících mohutné příhladinové květy je nutné sledovat vznik vodních květů. Při překročení limitů pro III. Stupeň nelze provozovat koupání a vodní sporty (Vyhláška č. 238/2011 Sb.).

7. Závěr

Vypracováním bakalářské práce jsem získal velké množství informací týkající se jakosti vody z hlediska přemnožení masového vodního květu v povrchových vodách. Vodní květ sinic je největším problémem v nádržích, rekreačních vodách a úpravárnách pitné vody. Je způsoben procesem eutrofizace, jejíž příčinou je vysoký přísun dusíku a fosforu do vodního toku. Eutrofizace může být přírodní, která je způsobena uvolňováním dusíku a fosforu z půdy, sedimentů a odumřelých vodních organismů. Větším problémem je však eutrofizace způsobená člověkem tzv. antropogenní eutrofizace. Ta vzniká působením celé společnosti, v důsledku intenzivního hnojení zemědělské půdy, odpadními vodami, pracími a čisticími prostředky v nich.

Sinice rodu *Anabaena*, *Aphanizomenon* a *Microcystis* tvoří nejčastěji vodní květy v našich vodách a nádržích. Vodní květy sinic obsahují toxické látky, které jsou celosvětovým problémem, a proto by jim měla být postupně věnována mnohem větší pozornost. Toxiny sinic v sobě skrývají velké riziko, které ohrožuje lidské zdraví a zvířata. Jejich omezení je velmi náročné a spočívá v kombinaci několika technik. Nejúčinnějším omezením masového vodního květu je prevence. Proto bychom se měli snažit omezovat přísun živin do povodí. Základem omezení je zmírnit hnojení zemědělských pozemků a nahrazovat práci a mycí prostředky s obsahem fosforečnanů za bezfosfátové přípravky.

V České republice pracuje odborná skupina s názvem *Sdružení Flos Aquae*, která se aktivně zajímá o vodní květy sinic. Poskytuje informace veřejnosti o problematice vodních květů sinic a cyanotoxinů ve vodním prostředí. Největší pozornost věnuje způsobům omezení masového rozvoje sinic, které jsou v dnešní době problémem na většině našich nádrží a vodních toků.

8. Seznam literatury

ADÁMEK, Z., HELEŠIC, J., MARŠÁLEK, B., RULÍK, M., (2010): Aplikovaná hydrobiologie. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, Vodňany, 350 str.

ADÁMEK, Z., HELEŠIC, J., MARŠÁLEK, B., RULÍK, M., (2008): Aplikovaná hydrobiologie. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický, Vodňany, 256 str.

AMBROŽOVÁ, J. (2001): Aplikovaná a technická hydrobiologie. VŠCHT Praha, 226 str.

BLÁHA, L., MARŠÁLEK, B., BABICA, P., (2004): Mechanismy toxicity cyanotoxinů a jejich vliv na zdraví obyvatel a vodní ekosystémy. Sborník semináře "Cyanobakterie", Brno, pp. 44 – 49

BORNET, F., FLAHAULT, A., (2009): Cyanobacteria. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Přírodovědecká fakulta, online: <http://galerie.sinicearasy.cz/galerie/Cyanobacteria/Nostocales/Aphanizomenon/Aphanizomenon%20flos-aque/>, cit. 20.9.2009

BOROVEC, J., HEJZLAR, J., (2006): Hodnocení významu sedimentů v nádržích z hlediska vnitřního zatížení fosforem. In: Maršálek, B., Feldmannová, M., Maršálková, E., (eds.): Sborník konference "Cyanobakterie 2006", Brno, pp. 132 – 138

BRIAND, J.-F., S. JACQUET, C. BERNARD, J.-F. HUMBERT. (2003): Health hazards for terrestrial vertebrates from toxic cyanobacteria in surface water ecosystems. Veterinary Research 34: pp. 361 - 377

CULLEN, P., FOSBERG, C. (1988): The importance of pre-reservoirs for the control of eutrophication of reservoirs. In: Maršálek, B., Halousková, O. (eds): Sborník semináře "Cyanobakterie", Brno, pp. 114

DRÁBKOVÁ, M., MARŠÁLEK, B., (2004): Přehled možností a principů omezení masového rozvoje sinic. Sborník semináře "Cyanobakterie", Brno, pp. 113 – 136

FIALA, L., VOJTA, F., KROFTOVÁ, H. (1975): Změny jakosti vody v eutrofní nádrži Skalka. Sborník VTEI 1/1975, Praha, pp. 4 – 8

FITZGERALD, D., (2001): Cyanotoxins and human health – overview. Cyanotoxins – Occurrence, Causes, Consequences. In: Maršálek, B., Halousková, O. (eds): Sborník semináře "Cyanobakterie", Brno, pp. 47

GOWAN MC, S., BRITTON, G., HAWORTH, E., MOSS, B., (1999): Ancient blue-green blooms. American Society of Limnology and Oceanography, Vol. 44, No. 2, 436 – 439

HOEK, C. VAN DEN, MANN, D.G., JAHNS, H.M., (1995): *Algae, An introduction to phycology*. Cambridge University Press, New York, 627 str.

HUTZINGER, O., (1992): *The handbook of environmental chemistry – Detergents*. Springer, vol. 3: 418

CHVÁTALOVÁ, M., PUMANN, P., KOŽÍŠEK, F. (2011): Státní zdravotní ústav. Oddělení hygieny vody, Praha, pp. 1

KALF, J., (2002): Limnology. In: Pouličková, A., (ed.): *Základy ekologie sinic a řas*, Přírodovědecká fakulta, Olomouc, pp. 29

KALINA, T., (1997): *Systém a vývoj sinic a řas*. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha, 165 str.

KAŠTOVSKÝ, J., HAUER, T., LUKAVSKÝ, J., (2009): *Cyanobacteria*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Přírodovědecká fakulta, online: <http://www.sinicearasy.cz/pokr/sinice>, cit. 20. 9. 2009

KOČÍ, V., (2000): Sborník semináře "Eutrofizace 2000", VŠCHT Praha, 58 str.

KOČÍ, V., BURKHARD, J., MARŠÁLEK, B., (2000): Eutrofizace na přelomu tisíciletí. Sborník semináře "Eutrofizace 2000", VŠCHT Praha, pp. 3 – 6

KOMÁREK, J., (1996): Klíč k určování vodních květů sinic v České republice. In: Maršálek, B., Feldmanová, M., Maršálková, E., (eds.): Sborník semináře "Cyanobakterie 2006", Brno, pp. 142

KOMÁREK, J., (1999): Übersicht der planktischen Blaualgen (Cyanobakterien) im Elbe Flussgebiet. In: Maršálek, B., Halousková, O. (eds): Sborník semináře "Cyanobakterie", Brno, pp. 8 - 11

KOMÁREK, J., (2004): Komentář k současnému taxonomickému hodnocení planktonních sinic. Sborník semináře "Cyanobakterie", Brno, pp. 8 – 11

KOMÁREK, J., ANAGNOSTIDIS, K., (1999): Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales. In: Maršálek, B., Halousková, O., (eds.): Sborník semináře "Cyanobakterie", Brno, pp. 14

KOPP, R., (2009): Cyanobacteria. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Přírodovědecká fakulta, online: <http://galerie.sinicearasy.cz/galerie/Cyanobacteria/Nostocales/Anabaena/>, cit. 20.9.2009

KRAULOVÁ, M., (2009): Cyanobacteria. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Přírodovědecká fakulta, online: http://www.sinicearasy.cz/sites/default/files/Cyanobacteria_bunky.gif, cit. 20.9. 2009

LELLÁK, F., KUBÍČEK, F., (1992): Hydrobiologie. Univerzita Karlova, Vydavatelství Karolinum, Praha, 260 str.

MARŠÁLEK, B. (1997): Toxiny sinic – cyanotoxiny: rozdělení, funkce a detekce. Sborník semináře "Aktuální otázky vodárenské biologie", Praha, pp. 52 – 57

MARŠÁLEK, B., (2000): Biologicky aktivní látky produkované řasami a cyanobakteriemi. Sborník semináře "Eutrofizace 2000", Praha, pp. 24 – 31

MARŠÁLEK, B. (2004): Rozdělení cyanotoxinů – Legislativa. Sborník semináře “Cyanobakterie“, Brno, pp. 41 – 43

MARŠÁLEK, B., BLÁHA, L. (2001): Dissolved microcystins in raw and treated drinking water in the Czech Republic. Cyanotoxins – Occurrence, Causes, Consequences. I. Chorus. Berlin, Springer-Verlag: 212 – 217

MARŠÁLEK, B., HALOUSKOVÁ, O., (2004): Sborník semináře “Cyanobakterie“, Brno, 160 str.

MARŠÁLEK, B., JINDRA, J. & BLÁHA, L. (2000): Mikrocystiny v surové a upravené vodě a jejich odstranitelnost na vybraných úpravkách. Sborník semináře, Praha, pp. 82 – 87

MARŠÁLEK, B., KERŠNER, V., MARVAN, P. (1996): Vodní květy sinic. *Nadatio flos-aquae*, Brno, 142 str.

MARVAN, P., MARŠÁLEK, B., (2004): Živiny a jejich realizace ve vodních ekosystémech. Sborník semináře “Cyanobakterie“, Brno, pp. 79 – 84

MC GOWAN, S., BRITTON, G., HAWORTH, E., MOSS, B., (1999): Ancient blue-green blooms. *Limnology and oceanography* vol. 44, No. 2: 436 – 439

OECD, (1982): Eutrophication of water, monitoring, assessment and control. Paris, 76 str.

OLAFSSON, PALMSSON, (1772): Makroskopické řasy, fytoplankton a vodní květy sinic. In: Světová zdravotnická organizace (ed.): Eutrofizace a zdraví. Office for Official Publications of the Europea Communities, Luxembourg, pp. 9

OLIVER, R., GANF, G., (2000): Freshwater blooms. In: Whitton, B., Potts, M. (eds): The ecology of cyanobacteria - their diversity in time and space. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp. 149 – 194

OLIVER, R. L., WALSBY, A. E., (1984): Direct evidence for the role of light-mediated gas vesicle collapse in the buoyancy regulation of *Anabaena flos-aquae* (cyanobacteria). University of Bristol, England, 886 str.

PILOTTO, L., DOUGLAS, R., BURCH, M., CAMERON, S., BEERS, M., ROUCH, G., ROBINSON, P., KIRK, M., COWIE, C., HARDIMAN, S., MOORE, C., ATTEWELL, R. (1997): Health effects of recreational exposure to cyanobacteria (blue-green algae) during recreational water-related activities. In: Maršálek, B., Halousková, O. (eds): Sborník semináře, Brno, pp. 47

PUNČOCHÁŘ, P., DESORTOVÁ, B., (1994): Komplexní pohled na řešení problematiky eutrofizace. Sborník semináře "Aktuální otázky vodárenské biologie", Praha, pp. 3 - 8

ROZMAJZLOVÁ, V., (1986): Vliv rybí obsádky na upravitelnost vody. Sborník semináře "Aktuální otázky vodárenské biologie", Praha, In: Ambrožová, J., (ed.): Aplikovaná a technická hydrobiologie. VŠCHT Praha, pp. 226

SLÁDEČEK, V., SLÁDEČKOVÁ, A., (1996): Atlas vodních organismů se zřetelem na vodárenství, povrchové vody a čistírny odpadních vod. In: Ambrožová, J., (ed.): Aplikovaná a technická hydrobiologie, VŠCHT Praha, pp. 72

SMITH, V.H., TILMAN, G.D., NEKOLA, J.C., (1999): Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. Environmental Pollution, vol. 100, No. 1-3: 179 – 196

STRNADOVÁ, N., GRAU, P., (1976): Stanovení trofického potenciálu. In: Kočí, V., (ed.): Sborník semináře "Eutrofizace 2000", VŠCHT Praha, pp. 5

SVĚTOVÁ ZDRAVOTNICKÁ ORGANIZACE, (2002): Eutrofizace a zdraví, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 28 str.

ŠEJNOHOVÁ, L., MARŠÁLEK, B., (2006): Microcystis - dominující rod vodních květů. In: Maršálek, B., Feldmanová, M., Maršálková, E., (eds.): Sborník semináře "Cyanobakterie 2006", Brno, pp. 7 – 12

ŠTĚPÁNEK, M., ČERVENKA, R. (1974): Problémy eutrofizace v praxi. Avicenum Zdravotnické nakladatelství, Praha, 232 str.

VOLF, F., ŠEBÁNEK, J., PROCHÁZKA, S., SLADKÝ, Z., KUBJATKO, F., KROPÁČ, Z., (1988): Zemědělská botanika. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 383 str.

VYHLÁŠKA Č. 238/2011 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch.

ZAPOMĚLOVÁ, E. (2006): Ekologie planktonních sinic rodu *Anabaena* – literární přehled. In: Maršálek, B., Feldmannová, M., Maršálková, E. (eds): Sborník konference “Cyanobakterie 2006“, Brno, pp. 13 – 21

ZHAO, D., SENGUPTA, A.K., (1998): Ultimate removal of phosphate from wastewater using a new class of polymeric ion Exchangem. In: Kočí, V., (ed.): Sborník semináře “Eutrofizace 2000“, Praha, pp. 7

ZNACHOR, P., (2004): Sinice a vodní květ. Strany potápěčské, Praha, online: <http://www.stranypotapecske.cz/teorie/sinice.asp?str=200408091150070>, cit. 9.8.2004

ZNACHOR, P., (2005): Vodní květy řas a sinic. Scientific American 7: 50 - 51

ZNACHOR, P., JURCZAK, T., KOMÁRKOVÁ, J., JEZBEROVÁ, J., MANKIEWICZ, J., KAŠTOVSKÁ, K., ZAPOMĚLOVÁ, E. (2006): Summer Changes in Cyanobacterial Bloom Composition and Microcystin Concentration in Eutrophic Czech Reservoirs. Environ Toxicol 21: 236 – 243

ŽÁČEK, L., (1993): Úprava eutrofizovaných vod. Sborník semináře “Aktuální otázky vodárenské biologie“, ČVTVS Praha, pp. 1 – 10