

Eutrofizace



Sekundární znečištění vod - eutrofizace

Proces obohacování vod o rostlinné živiny (N, P, C) - stojaté nebo pomalu tekoucí vody.

Při nadbytku živin - **bouřlivý rozvoj sinic, jejich rychlé odumírání, rozklad bakteriemi, na rozklad se spotřebovává kyslík - vznik anaerobních podmínek.**

Ty neumožňují život vyšších forem života, voda je kalná, zapáchá, obsahuje toxické produkty anaerobního rozkladu (H_2S , NH_3).

Přírodní - redukce objemu vody, zvětšování sedimentovaných nerozpuštěných podílů na dně (zásoby živin) - v rovnováze s rozpuštěnými anorganickými látkami.

Umělá (indukovaná, civilizační, kulturní) - povrchové toky a nádrže se obohacují anorganickými živinami v důsledku splachů dusíkatých a fosforečných hnojiv z polí, používání syntetických detergentů, atmosférického spadu, zvětšování množství splaškových OV ze zemědělských závodů.

Eutrofizace

- proces zvyšování produkce organické hmoty ve vodě zejména vlivem zvýšeného přísunu živin
 - obohacování vod o živiny - **DUSÍK** a **FOSFOR**
 - od 50. let 20. století

Zdroje živin

- Autochtonní
 - rozklad organické hmoty, mrtvých organismů
 - vyluhování sedimentů a hornin, výplach z půdy
 - biogenní fixace dusíku - bakterie a cyanobakterie
- Allochtonní
 - eroze půdy - povrchový odtok
 - znečištění atmosféry NO_x
 - odpadní vody - odtoky z ČOV bez terciálního čištění, prací a čisticí prostředky, průmyslové odpadní vody, zvýšená produkce komunálních odpadních vod
 - splachy hnojiv ze zemědělství

Fosfor jako limitující prvek

Element	Symbol	Supply in water (%)	Demand by plants (%)
Oxygen	O	89.0	80.5
Hydrogen	H	11.0	9.7
Carbon	C	0.0012	6.5
Silicon	Si	0.00065	1.3
Nitrogen	N	0.000023	0.7
Calcium	Ca	0.0015	0.4
Potassium	K	0.00023	0.3
<u>Phosphorus</u>	<u>P</u>	<u>0.000001</u>	<u>0.08</u>
Magnesium	Mg	0.0004	0.07
Sulfur	S	0.06	0.06
Sodium	Na	0.0006	0.04
Iron	Fe	0.00007	0.02

Zákon minima: limitujícím prvkem pro růst rostlin je ten prvek, který je v prostředí v minimu

Stupně trofie

Trofický stav	Koncentrace celkového fosforu ve vodě ($\mu\text{g/L}$)
Oligotrophic	$< 10 \mu\text{g/L}$
Mesotrophic	$10-30 \mu\text{g/L}$
Eutrophic	$30-100 \mu\text{g/L}$
Hypertrophic	$> 100 \mu\text{g/L}$

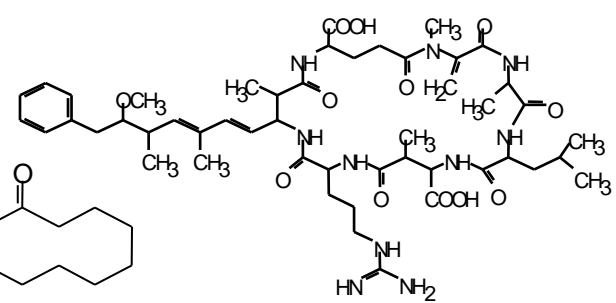
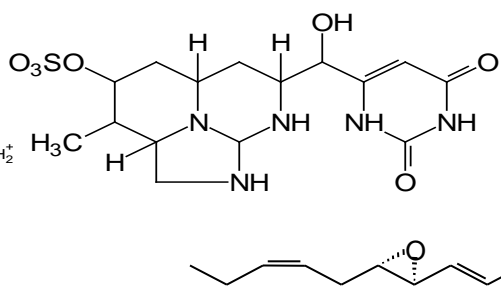
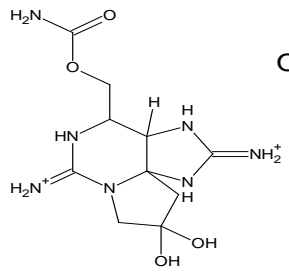
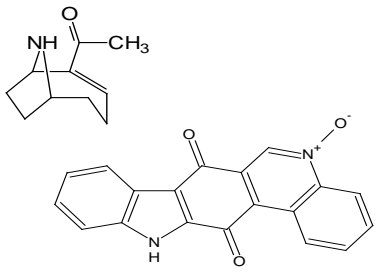
Pro masový rozvoj sinic postačuje koncentrace fosforu cca 20-25 $\mu\text{g/L}$

Brněnská přehrada (před zásahy): 200-300 $\mu\text{g/L}$

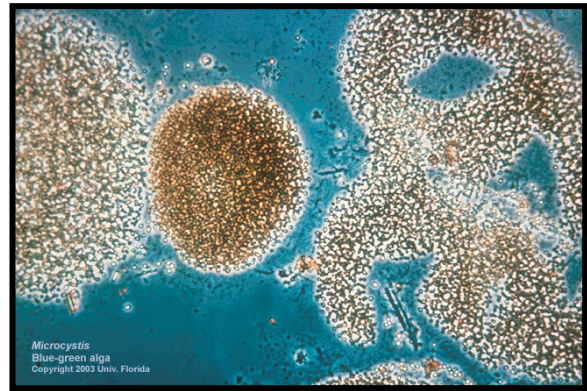
Plumlov: 40-50 $\mu\text{g/L}$

Máchovo jezero - 20-30 $\mu\text{g/L}$

Zvýšená trofie - Vodní květ - rychlejší vývoj řas a sinic

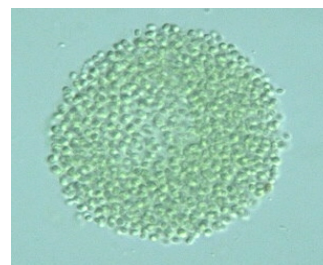
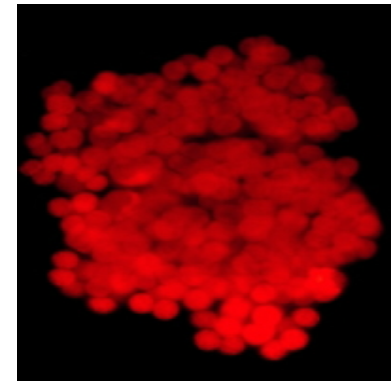
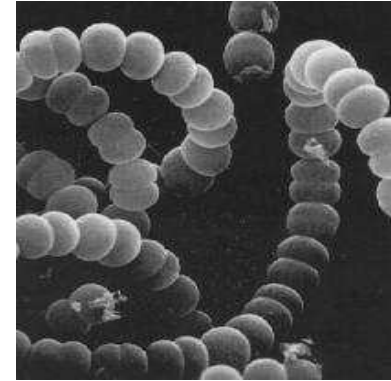


MASOVÉ ROZVOJE SINIC



SINICE (=CYANOBAKTERIE)

- fotosyntetizující prokaryota - bakterie
- jednobuněčné či vláknité organismy
- modrozeleně zbarvené (blue-green algae)
- velikost 1-10 μm
- přes 2000 druhů
- osidlují **rozmanité biotopy** (sladké i slané vody, vlhká půda, ledovce, kůra dřevin, fykobionti v lišejnících...)
- většina druhů se vyskytuje ve **vodních ekosystémech** - v sladkých i slaných vodách
- produkce **biologicky aktivních látek**
 - cca 3.5 mld let staré
 - vytvoření kyslíkové atmosféry Země



Přemnožení
→ **vodní květ**

! LIDSKÉ AKTIVITY !

spalování

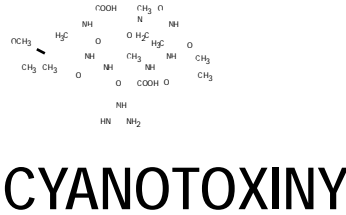
*zemědělství,
odpadní vody*

nárůst koncentrace
CO₂ v atmosféře,
nárůst UV radiace

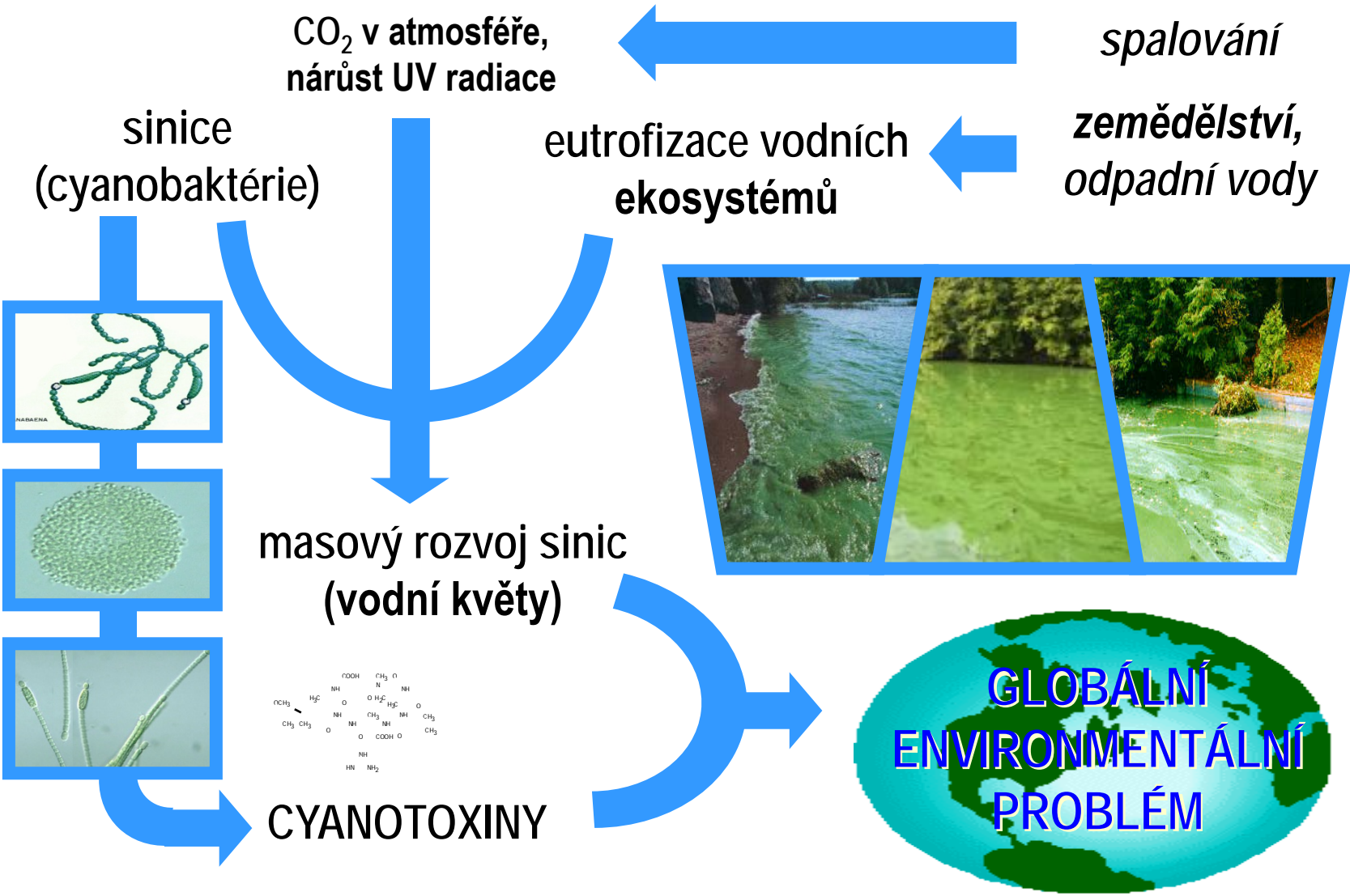
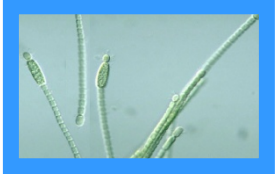
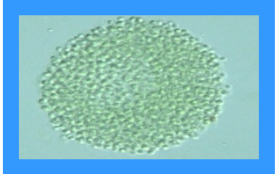
eutrofizace vodních
ekosystémů

sinice
(cyanobaktérie)

masový rozvoj sinic
(vodní květy)



**GLOBÁLNÍ
ENVIRONMENTÁLNÍ
PROBLÉM**



Masový rozvoj sinic – globální problém



Upper Saranac River, USA



Bedetti Lake, Argentina



Neuse River, USA



Baltické moře, Evropa



Nové Mlýny, Česko



Žluté moře, Čína



Lake Mokoan, Austrálie



Jihoafrická republika

Eutrofizovány téměř všechny evropské řeky – Seina, Dunaj, Labe
Jezera – Balaton, africká jezera - Viktoriino jezero – úhyny ryb a ptáků
Moře a oceány – Finský záliv v Baltském moři, kanál La Manche

Podmínky masového rozvoje

- Sluneční záření
- Teplá voda (teplé letní dny)
- Stojatá nebo pomalu tekoucí voda
- Živiny (fosfor)

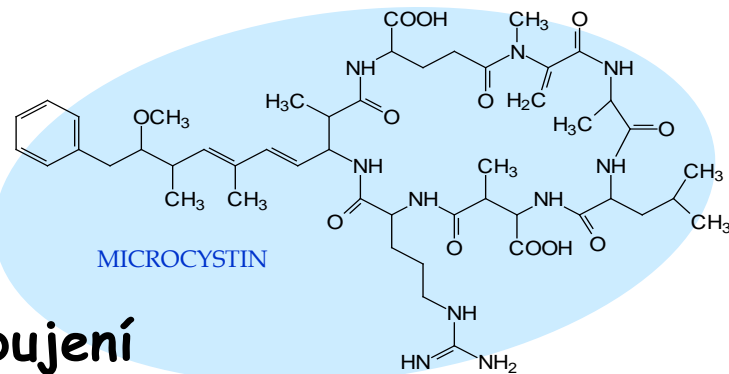
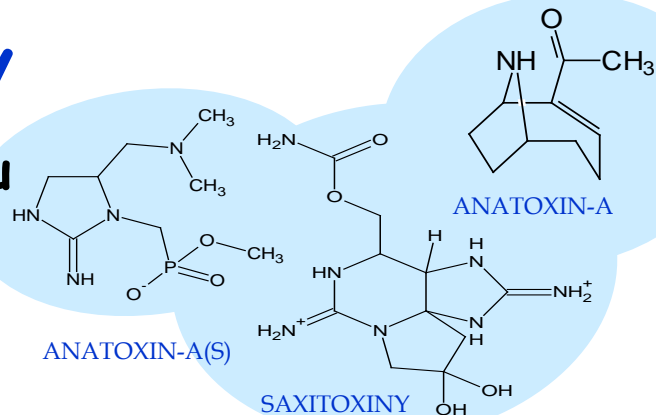


SINICE

produkují stovky sekundárních metabolitů -
rozmanité struktury
- některé s biologickou aktivitou, BIOTOXINY

Cyanotoxiny - Specifické účinky

- **Neurotoxiny - narušení nervového systému**
 - Anatoxin-a(s)
 - Saxitoxin
- **Hepatotoxiny - poškození jater**
 - Microcystiny
 - Nodulariny
 - Cylindrospermopsin
- **Dermatotoxiny - poškození kůže**
 - Lyngbyatoxin
 - Aplysiatoxin
- **Promotory nádorů - podporují nádorové bujení**
 - Microcystiny, lyngbyatoxin, aplysiatoxin



Lipopolysacharidy (součást buněčných stěn všech sinic) - narušení gastrointestinálního traktu, kožní iritant



CYANOTOXINY

Nejvýznamnější rody produkující cyanotoxiny
(dosud identifikováno cca 50 druhů
produkujících tyto látky):

Anabaena (microcystiny, anatoxiny, anatoxin-a(S),
saxitoxiny, cylindrospermopsin)

Aphanizomenon (anatoxiny, saxitoxiny,
cylindrospermopsin)

Microcystis*, *Nodularia (microcystiny a nodulariny)

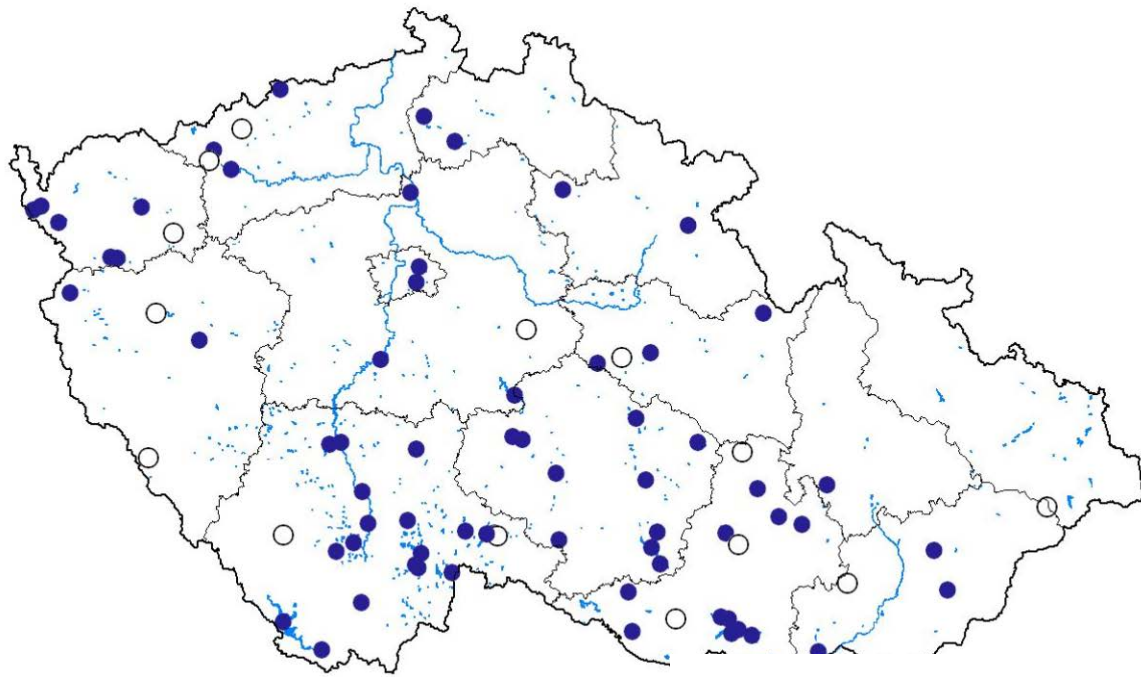
Planktothrix*/*Oscillatoria (microcystiny, anatoxiny,
saxitoxiny)

Cylindrospermopsis (cylindrospermopsin, saxitoxiny)

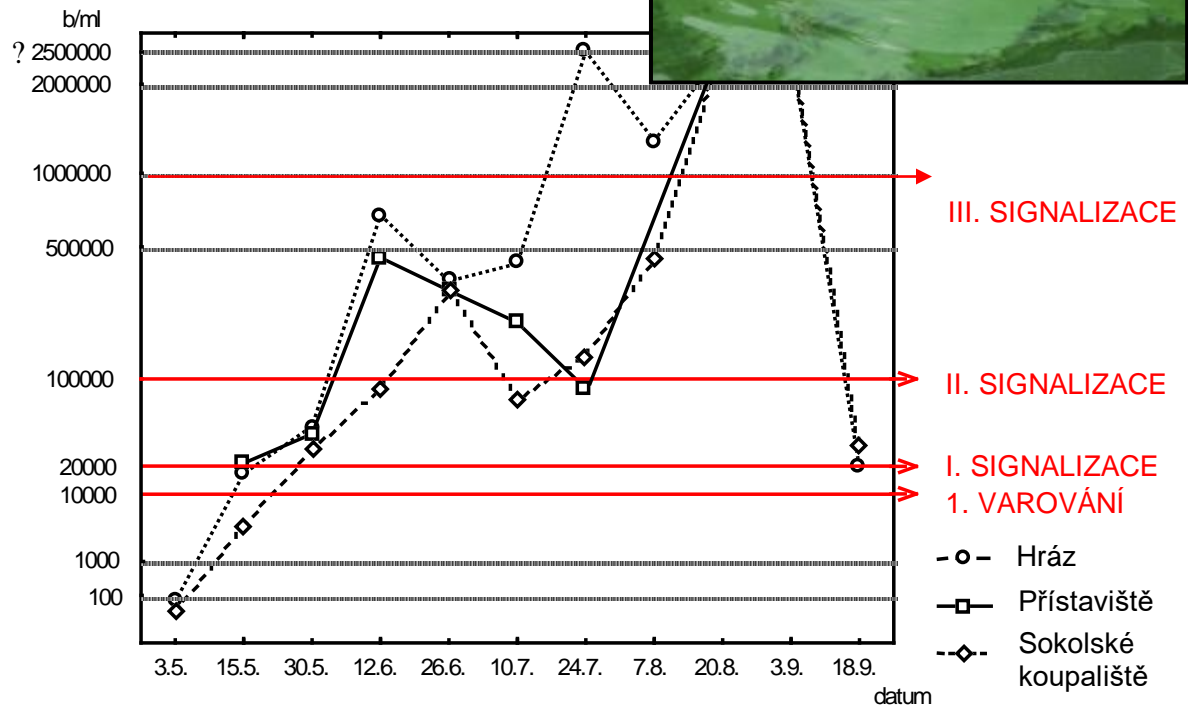


TOXIN	STRUCTURE	STRUCTURE VARIATION	LD50* (µg.kg ⁻¹)	TOXICITY
Microcystin	cyclic heptapeptide	>60	50-1200	hepatotoxicity, tumor promotion induction of oxidative stress
Nodularin	cyclic pentapeptide	7	50-2000	hepatotoxicity, tumor promotion
Anatoxin	alkaloide	2	200-250	neurotoxicity
Anatoxin-a(S)	methylphospho- ester N-hydroxy- guanine	1	20	neurotoxicity
Saxitoxin	carbamat alkaloid	19	10	neurotoxicity
Cylindrospermopsin	guanidin alkaloid	2	200**	cytotoxicity, target organs: liver and kidney
Aplysiatoxin		2		dermatotoxicity, tumor promotion
Lyngbyatoxin	modified cyclic dipeptide	1		dermatotoxicity, tumor promotion
Lipopolysaccharide				irritate effect

WHO (ČR) **1 $\mu\text{g/l}$**
MC-LR v pitné vodě
 při 100 000 buněk/ml
 - **zákaz koupání**

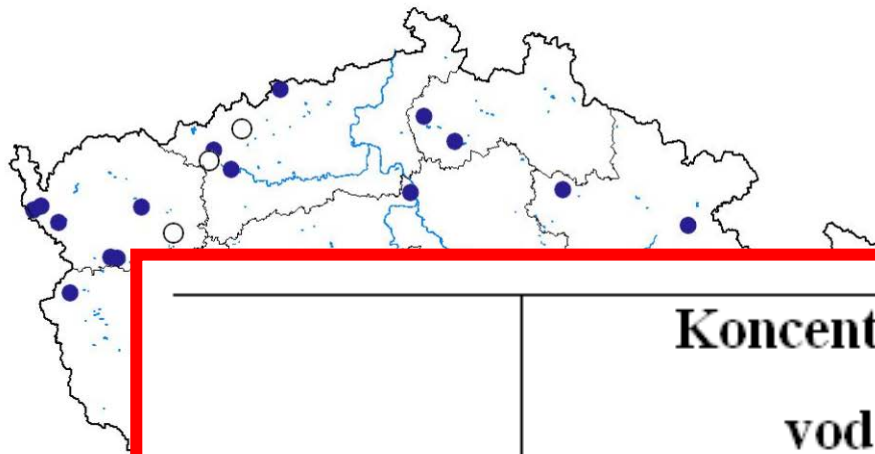


Toxické VKS
80% nádrží a
 rybníků v **ČR**



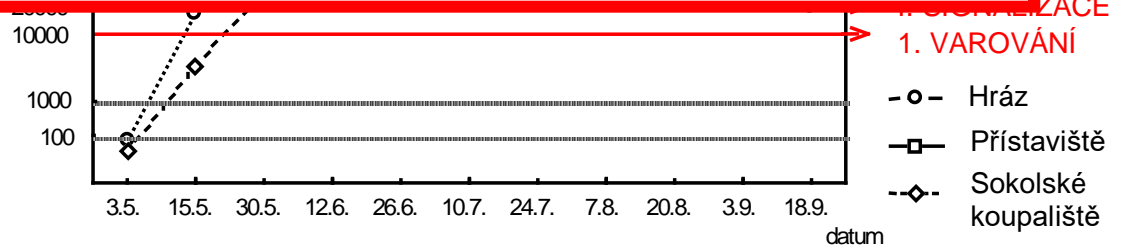
WHO (ČR) **1 $\mu\text{g/l}$**
MC-LR v pitné vodě

při 100 000 buněk/ml



**Koncentrace microcystinu ($\mu\text{g/L}$) na
vodárenských nádržích ČR**

	2004	2005	2006	2007	2008	Celkem 2004-8
N	52	46	68	111	89	366
Průměr	0.46	0.93	0.60	0.64	0.27	0.55
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum	9.18	17.27	6.76	10.59	5.05	17.27



LIZACE

ZACE

IZACE

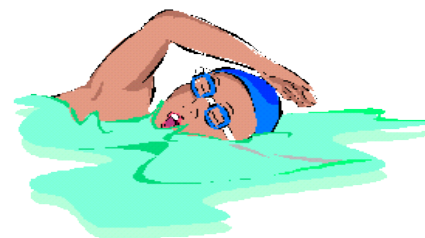
Cyanotoxiny - zdravotní a ekologická rizika ?

Otravy dobytka a domácích zvířat (psi) pijících znečištěnou vodu
Zvířata - více dokumentovaných otrav - nádrže nebo řeky kontaminované sinicemi pro zvířata často jediným dostupným zdrojem vody a jsou pak nucena konzumovat jí nesrovnatelně větší množství, než je náhodné požití lidmi při rekreaci

Vliv na člověka

- z pitné vody, z rekreační expozice

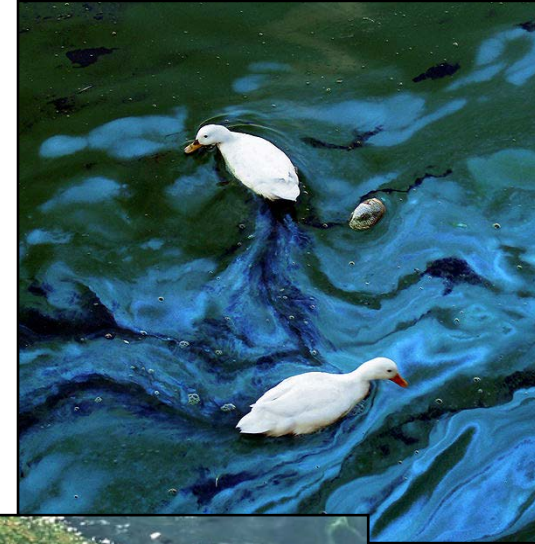
- Alergie - vyrážky
- Zánět spojivek
- Bronchitida
- Střevní a žaludeční potíže
- Bolesti hlavy
- Jaterní problémy



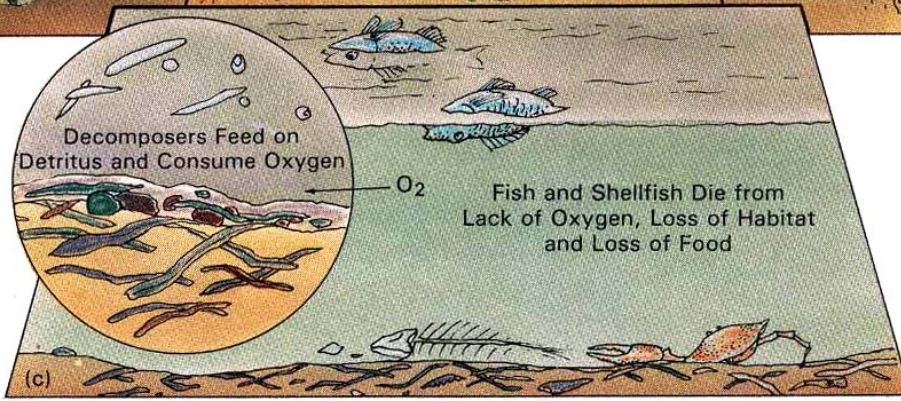
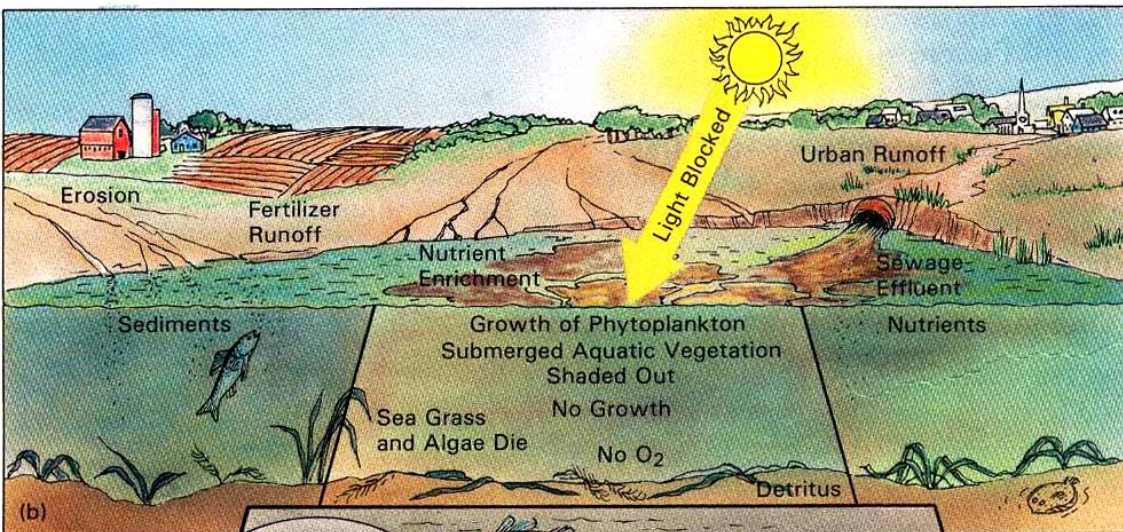
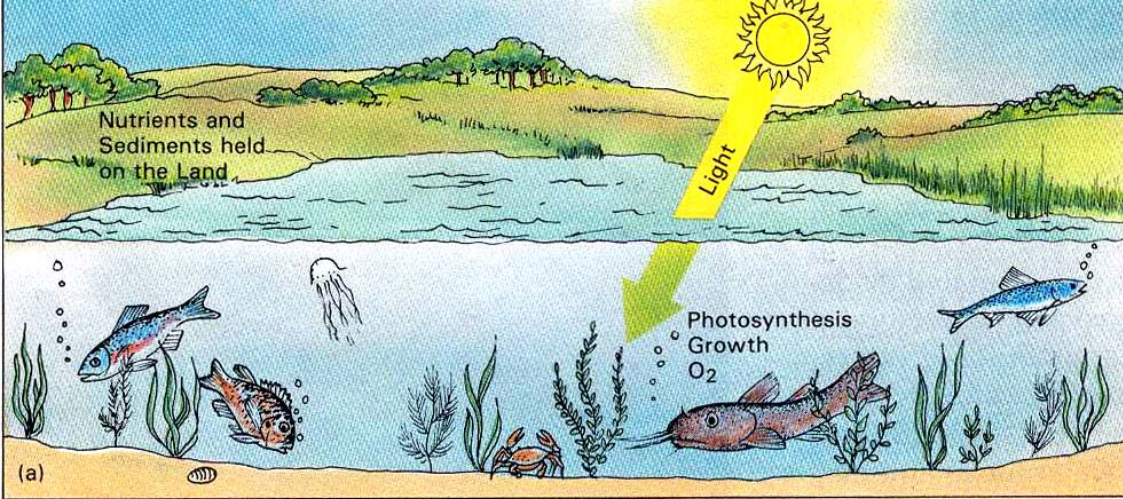
Případy otrav spojené s cyanotoxiny v pitné vodě	
1931	USA: masivní vodní květy <i>Microcystis</i> v řekách Ohio a Potomac způsobily onemocnění 5000 – 8000 lidí (převážně gastroenteritidami) v řadě měst zásobovaných vodou z těchto řek
1960 - 1965	Zimbabwe, Harare: v části města zásobované vodou z nádrže s vodním květem <i>Microcystis</i> každoročně v době kolapsu vodního květu docházelo k rozvoji gastroenteritid u dětí. Děti ze čtvrtí s jiným zdrojem vody nebyly ovlivněny a nebyly identifikovány žádné infekční faktory.
1975	Pensylvánie, USA: akutní gastroenteritidy u 62% z 8000 lidí, konzumace vody z nádrže se sinicí <i>Schizotrix</i>
1975	USA: endotoxický šok 23 dialyzních pacientů ve Washingtonu související s rozvojem sinic ve vodárenské nádrži
1979	Austrálie: po algicidním zásahu proti vodnímu květu <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> ve vodárenské nádrži na Palm Island onemocnělo přes 140 obyvatel (převážně děti) těžkými hepatoenteritidami, které si vyžádaly hospitalizaci. Symptomy byly malátnost, nechutenství, zvracení, bolesti hlavy, zvětšení jater, zácpy následované krvavými průjmy, dehydratace. Rozbory moče prokázaly poškození ledvin a rozbory krve zvýšené hladiny jaterních enzymů indikující poškození jater.
1994	Švédsko, 3 vesnice poblíž Malmö: po dobu několika hodin došlo k náhodnému míchání vodárensky neupravené říční vody s pitnou vodou. V řece v té době rostla hustě sinice <i>Planktothrix agardhii</i> produkující microcystiny. 121 obyvatel (z celkových 304) onemocnělo (nevolnosti, bolesti břicha, svalů, hlavy, zvracení, průjmy, horečky). Ovlivněna byla také domácí zvířata (psi a kočky).
Případy spojené s rekreační expozicí	
1959	Kanada, Saskatchewan: navzdory úhynům dobytka a varováním před rekreačním využitím plavali lidé v jezeře zamořeném sinicemi. 13 osob onemocnělo (bolesti hlavy, nevolnost, bolesti svalů, bolestivé průjmy). V exkrementech jednoho z pacientů, který náhodně požil asi 300ml vody, byly identifikovány sinice <i>Microcystis</i> a <i>Anabaena circinalis</i> .
1980 - 1981	Pensylvánie a Nevada, USA: u více než 100 osob podráždění očí, kůže, bolest uší, symptomy „senné rýmy“, akutní gastroenteritidy aj. po plavání a vodním lyžování v jezeře s <i>Aphanizomenon</i> a <i>Anabaena</i>
1989	Anglie: po plavání a jízdě na kanoích ve vodě se silným vodním květem sinic rodu <i>Microcystis</i> trpělo 10 z 20 branců zvracením, průjmy, bolestmi břicha, otoky rtů, bolestmi v krku. U dvou z nich se rozvinul silný zápal plic (zřejmě způsobený aspirací

Důsledky masového rozvoje sinic

- snížení biodiverzity
- narušení kyslíkového režimu (ranní anoxické zóny) - bakteriální rozklad biomasy sinic - náhlé vyčerpání kyslíku z vody
- změna chemismu vody v průběhu jejich růstu (zejm. změny pH)
- snížení kvality vod (produkce pachů a pachutí)
- hospodářský dopad (rekreace, rybářství)
- vliv na akvatické bakterie, zooplankton, ryby a obojživelníky; vlivy na chování zvířat
- ovlivnění vodních rostlin - redukce prostupnosti světla pro fotosyntézu



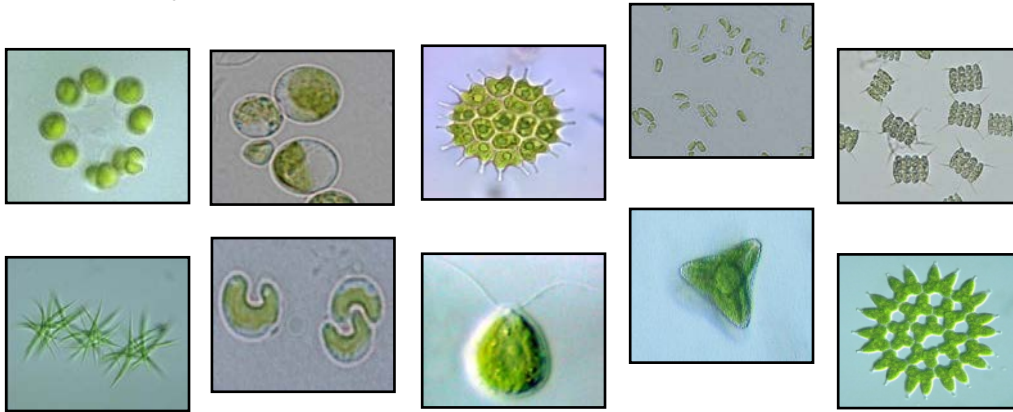
Eutrofizace



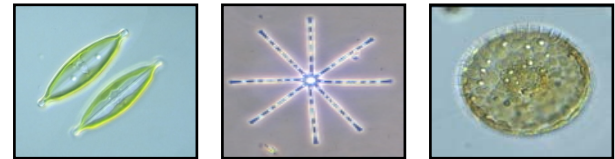
Účinky na fotoautotrofní organismy

- studium alelopatických interakcí
- objasnění možné funkce některých cyanotoxinů

Zelené řasy (*Chlorophyta*)



Rozsivky (*Chromophyta*)



Skrytěnky (*Cryptophyta*)

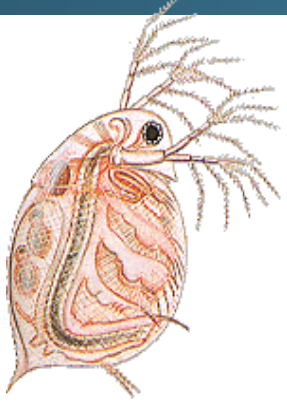


Sinice (*Cyanophyta*)



- vliv na vodní rostliny, které jsou schopny přijímat microcystiny; některé studie ukázaly účinky microcystinů na aktivitu rostlinných detoxikačních enzymů (Pflugmacher et al. 1998; Pflugmacher et al. 1999)

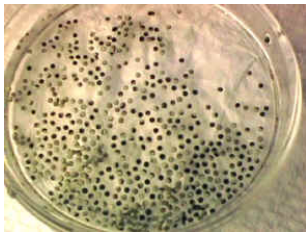
Účinky na živočichy



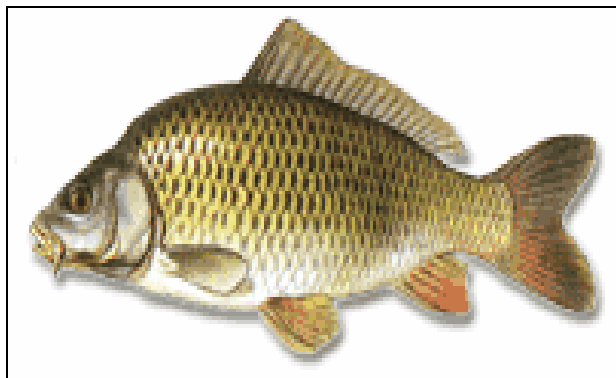
- planktonní korýši (*Daphnia magna*)
- akutní toxicita, chronická a reprodukční toxicita



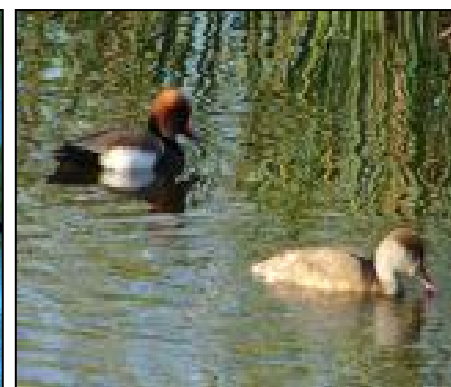
- embrya drápatek (*Xenopus laevis*)
- embryotoxicita, teratogenita



Účinky na obratlovce



- Úhyny ryb spojené především se **snížením obsahu kyslíku**



- **Hromadné úhyny ptáků** v různých částech světa spojovány s masovými rozvoji sinic - nejednoznačné důkazy

- Většinou **souhrn více faktorů** - paraziti, UV, sinice, patogeny - oslabení populací

Potlačování eutrofizace

Metody omezení masového rozvoje sinic

Snížení koncentrace živin v povodí nad nádrží

- Odstranění zdrojů z povodí

Bodové zdroje - ČOV, odpadní vody, liská sídla, zemědělské objekty, rybníky

- Výstavba ČOV s terciálním stupněm čištění
- zákaz používání fosfátových prášků a mycích prostředků (prací prášky ČR 2006, EU 2013)
- Decentralizované čištění odpadních vod

Plošné zdroje - eroze půdy, znečištění ovzduší, podloží

- Omezení užití umělých hnojiv
- Technická protierozní opatření, terasy a meze, ochranné travní pásy, stabilizace půdy, vrstevnicové hospodaření
- Zajištění úniků živin z farem
- Protipovodňová opatření v citlivých oblastech

Zdroje fosforu v nádrži

- Biomasa - řasy, rostliny, sinice, zooplankton, ryby ...
- Sediment - zásobárna fosforu nádrží
 - zpětné uvolňování do vodního sloupce za anoxických podmínek (role dusičnanů)

Zdroje sinic

- Sinice jsou přirozenou součástí nádrží, avšak bez „pomoci“ člověka by se nikdy **znovu** nestaly dominantní skupinou autotrofů
- Povodí nad nádrží - rybníky, přehrady s masovým rozvojem sinic
- Sedimenty v nádržích s masovým rozvojem sinic

Snižování koncentrace fosforu v nádrži

- Aplikace železa/hliníku
- Aplikace vápna
- Využití jílu



Látky vážící fosfor aplikovány přímo do vodní nádrže. Fosfor deaktivují a snižují tak jeho dostupnost pro primární producenty.

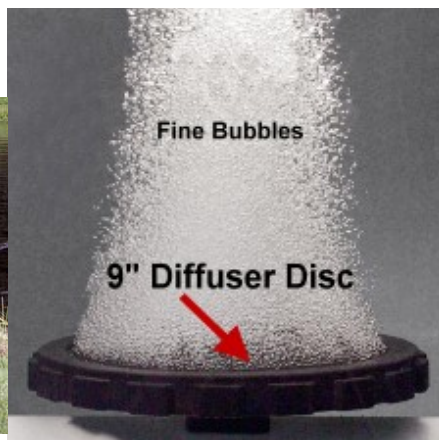
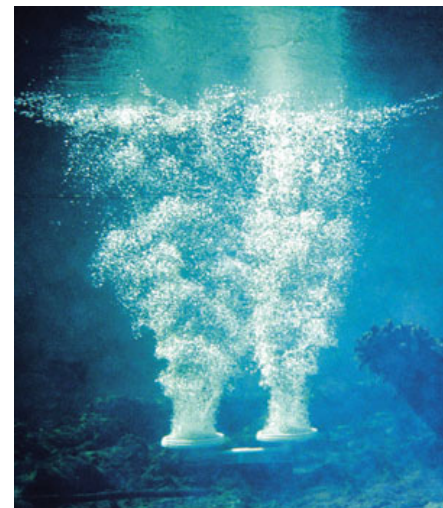
- řada komerčně využívaných látek ke srážení fosforu z vodního sloupce.
- založeny na reakcích fosforu s hliníkem, železem, kalcitem (uhličitan vápenatý), hašeným vápnem (hydroxid vápenatý) nebo jílovými částicemi (bentonity, zeolity, modifikované jíly, kaolíny apod.)
- Hypolimnické odpouštění
 - snížení obsahu živin v nádrži odpouštěním na živiny bohaté hypolimnické vody, i zlepšení kyslíkových poměrů u dna

Ošetření sedimentů

- odstranění svrchní vrstvy sedimentů (sací bagry) - nejvíc fosforu
- odkryta vrstva s větší kapacitou pro další vázání fosforu.
- odstraněna značná část inokula (dočasně inaktivního stádia) sinic, které je v sedimentu trvale přítomno.
- Překrývání sedimentů - aktivní bariéry - materiály které mohou aktivně adsorbovat fosfor (jíly, vápence)
 - pasivní bariéry - inertní materiály, geotextílie, izolační fólie, surový popel, rozdrčené cihly...

Provzdušňovací a okysličovací techniky

- teplotní stratifikace - kvůli rozkladu organické hmoty a minimální cirkulaci vody nade dnem mohou vznikat anoxické (bezokyslíkaté) podmínky - uvolnění živin ze sedimentů
- Provzdušňovací jednotky, aerátory, aerační věže



Regulace struktury biotických vztahů

Využití rybí obsádky

- Regulace rybí obsádky, Biomanipulace
- Přímá predace planktofágních ryb - ichtyoeutrofizace (Tilapie?)
- Redukce bentofágních ryb (kapr, cejn)
- Podpora dravých ryb (okoun, štika, candát,...) = podpora růstu vyšších rostlin



Využití makrovegetace

- Rozšiřování makrofyt (vyšší vodní rostliny) - podpora rozvoje litorální vegetace → redukce živin (N, P), stabilizace ekosystému
- Odstranění nežádoucích látek (kumulace těžkých kovů, pesticidů aj.)
- Produkce alelopatických látek inhibujících růst sinic (*Myriophyllum* sp.)



Aplikace algicidních přípravků (Algicidní zásahy)

Zásahy (pomocí algicidních přípravků) proti autotrofním organismům v eutrofních vodách je finančně náročný a nevede k dlouhodobým efektům pokud nejsou odstraněny živiny v povodí nad nádrží! Ale...

Výhody

- Rychlý účinek
- Relativně levné
- Snadná manipulace
- Dostupnost

Nevýhody (Rizika)

- Toxicita pro necílové organismy
 - Akumulace v životním prostředí
 - Vznik rezistence
 - Kyslíkový deficit na dně nádrže
 - Uvolňování toxinů
-
- Přírodní látky - ječná sláma, Myriophyllum, výluhy rostlin (listový opad)
 - Algicidy první generace - skalice modrá, dusičnan stříbrný, manganistan draselný
 - Algicidy druhé generace - většinou komerční přípravky biologicky rozložitelné, selektivní vůči řasám/sinicím, nezanechávají rezidua v ekosystému
 - Koagulanty - síran hlinitý, polyaluminium chlorid, síran železitý (snižují obsah živin ve sloupci, schopny i odstraňovat buňky sinic)

Jak na toxické sinice ?

Neexistuje univerzální návod

- kombinace metod

- „specifický problém“ podle nádrže