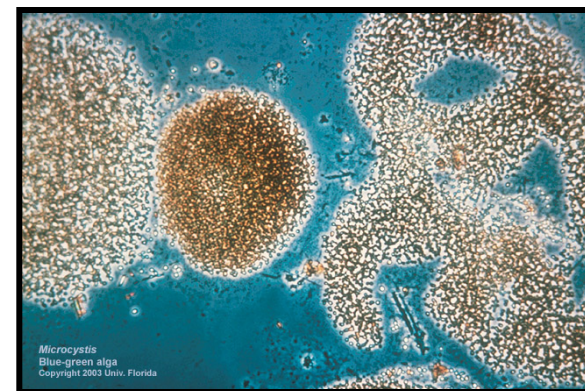
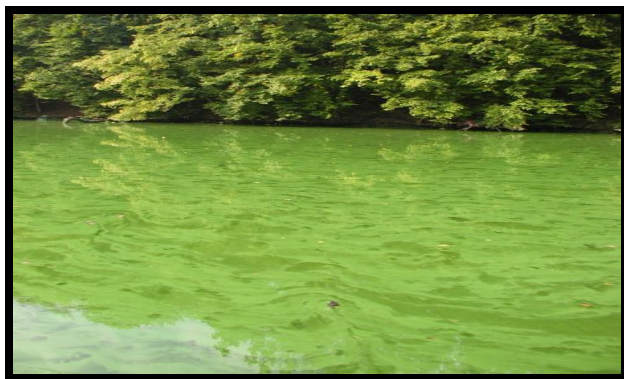
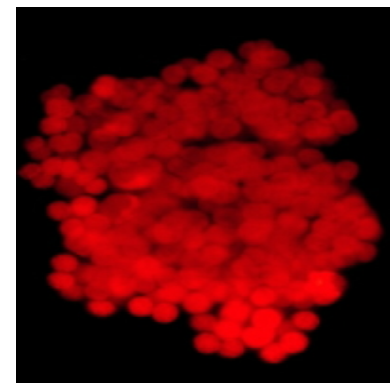
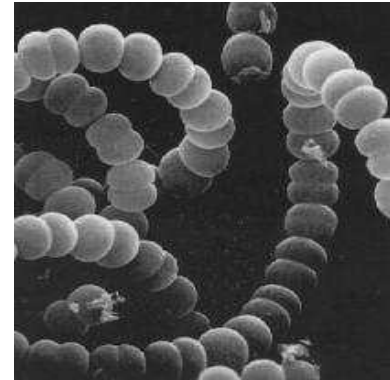


MASOVÉ ROZVOJE SINIC



SINICE (=CYANOBAKTERIE)

- fotosyntetizující prokaryota
- osidlují **rozmanité biotopy** (sladké i slané vody, vlhká půda, ledovce, kůra dřevin, fykobionti v lišejnících...)
- většina druhů se vyskytuje ve **vodních ekosystémech**
- produkce **biologicky aktivních látek**
 - cca 3.5 mld let staré
 - vytvoření kyslíkové atmosféry Země



Masový rozvoj sinic - globální problém



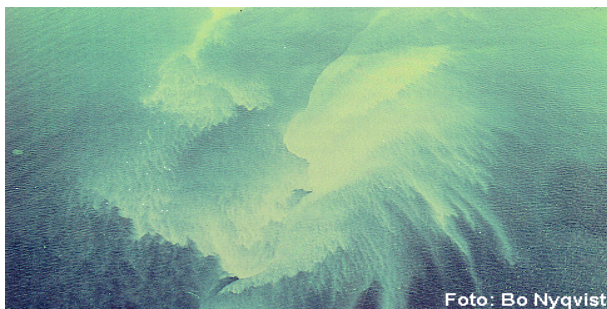
Upper Saranac River, USA



Bedetti Lake, Argentina



Neuse River, USA



Baltské moře, Evropa



Nové Mlýny, Česko



Žluté moře, Čína



Lake Mokoan, Austrálie



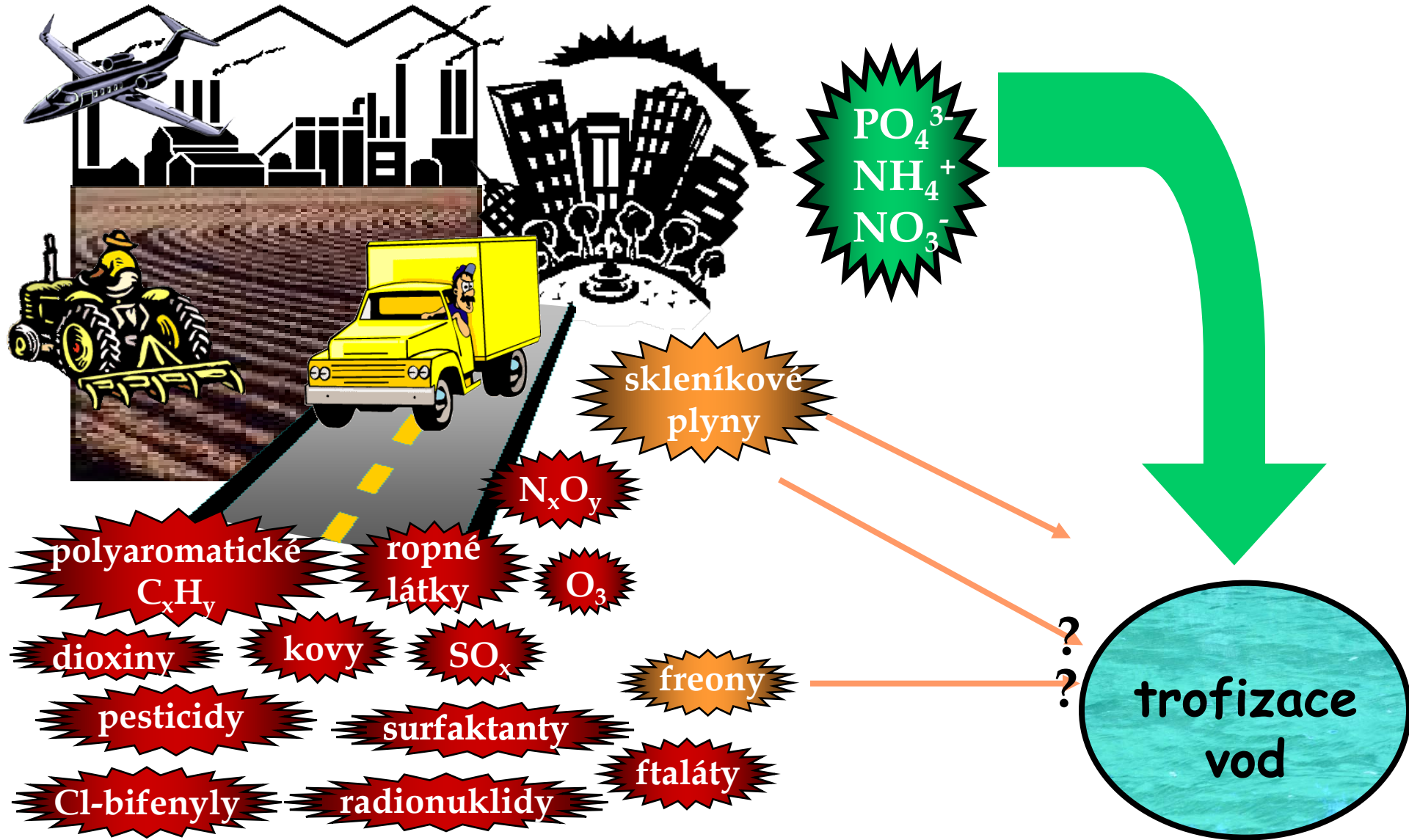
Jihoafrická republika

Podmínky masového rozvoje

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

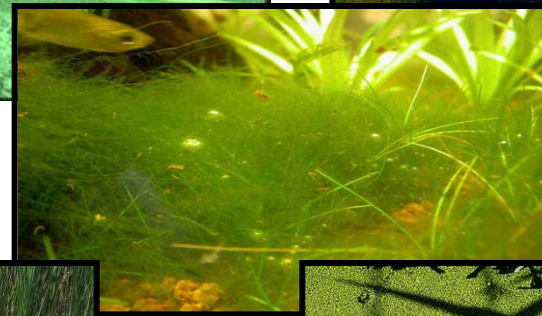
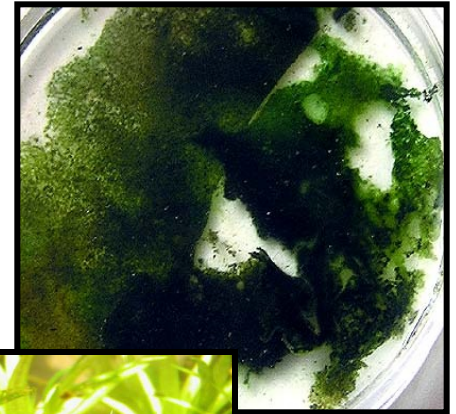


TROFIZACE VOD - antropogenní příčiny

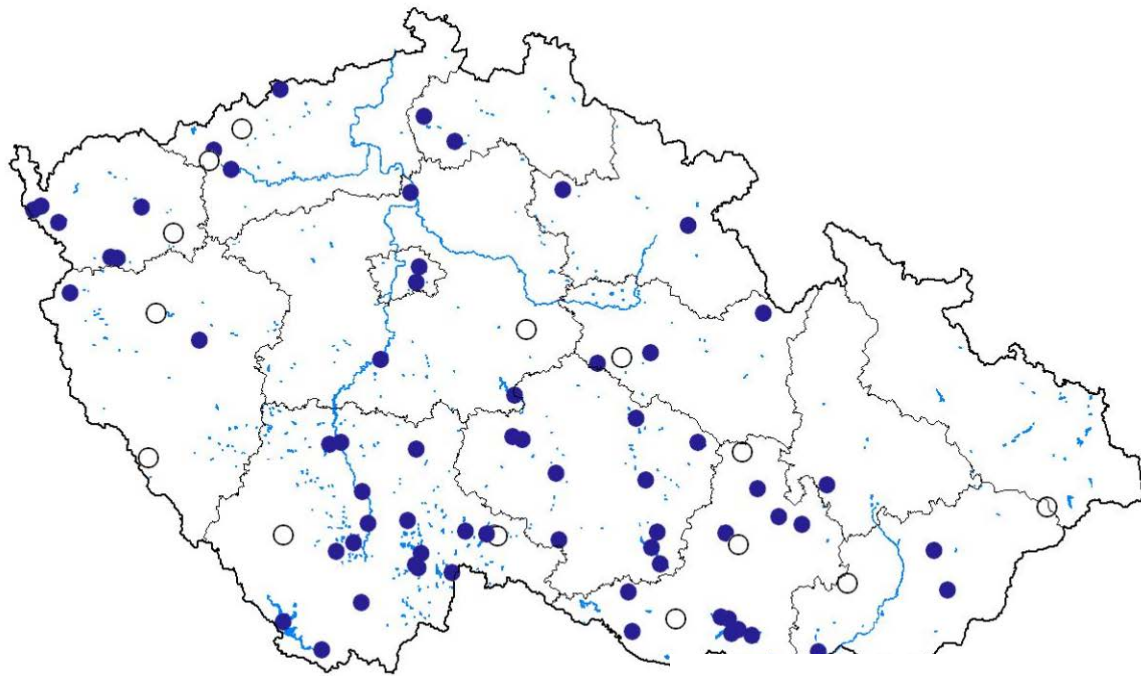


Dominanty trofizovaných vod

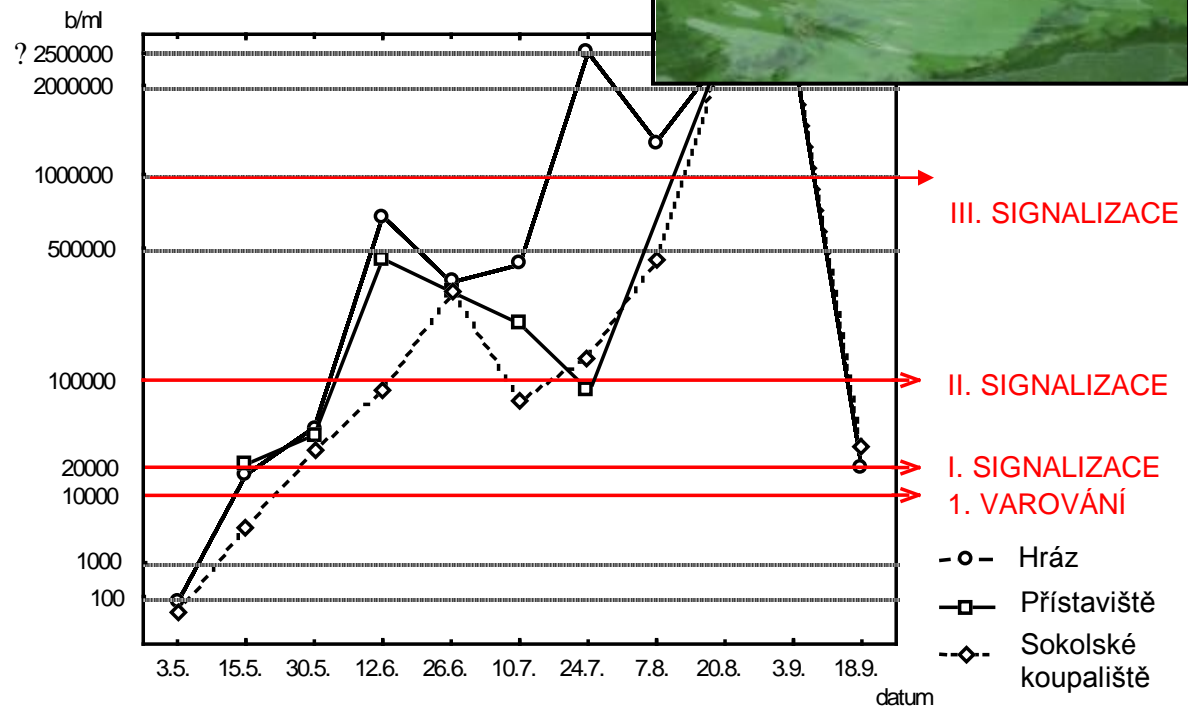
1. drobné planktonní řasy
(vegetační zbarvení)
2. koloniální a vláknité sinice
(tzv. vodní květ)
3. bentické sinice a rozsivky
4. litorální vláknité řasy
5. vyšší vodní vegetace
- rostliny



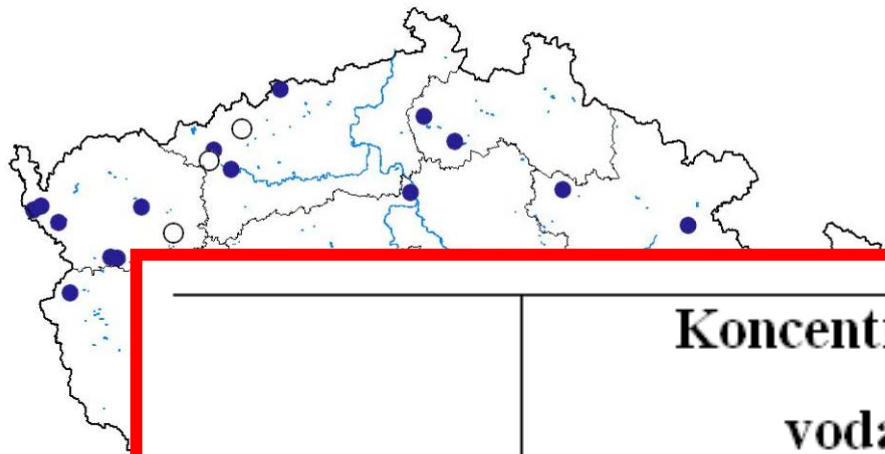
WHO (ČR) **1 $\mu\text{g/l}$**
MC-LR v pitné vodě
 při 100 000 buněk/ml
 - **zákaz koupání**



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

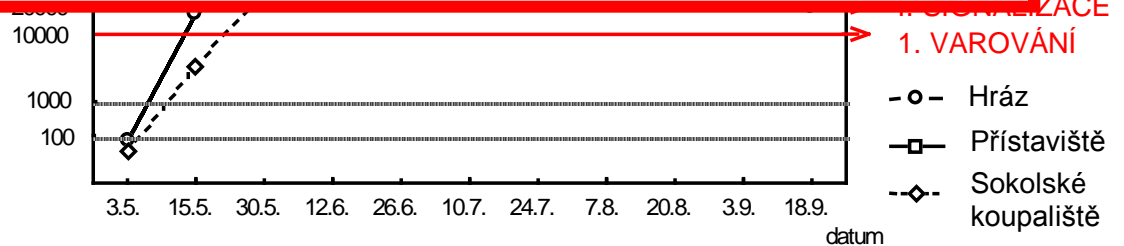


WHO (ČR) **1 $\mu\text{g/l}$**
MC-LR v pitné vodě
 při 100 000 buněk/ml



**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



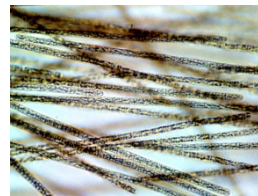
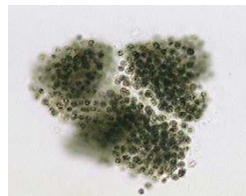
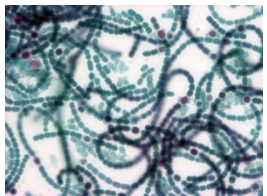
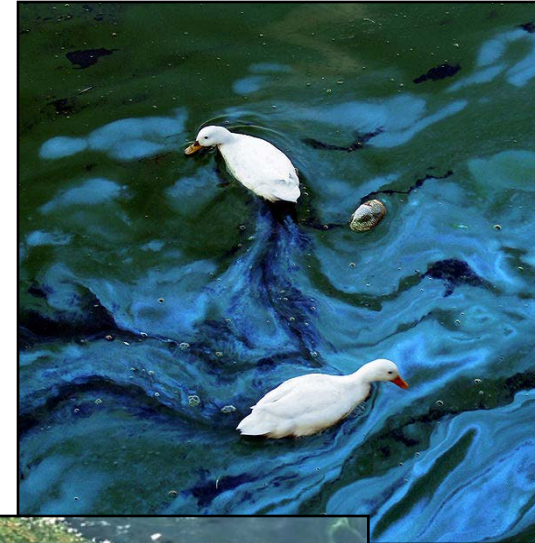
LIZACE

ZACE

1. VAROVÁNÍ

Důsledky masového rozvoje sinic

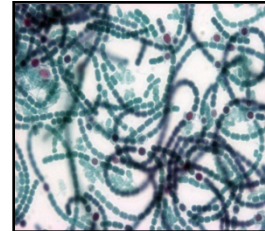
- snížení biodiverzity
- narušení kyslíkového režimu (ranní anoxické zóny; rozklad biomasy)
- snížení kvality vod (produkce pachů a pachutí)
- hospodářský dopad (rekreace, rybářství)
- **produkce cyanotoxinů**
- **nejznámější producenti:**



SINICE

produkují stovky sekundárních metabolitů

- rozmanité struktury:
 - peptidy a depsipeptidy (lineární, cyklické)
 - heterocyklické sloučeniny
 - lipidické látky

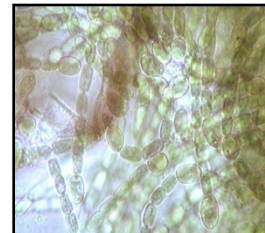


BIOTOXINY - vysoká akutní toxicita pro savce

- dle specifických účinků:



neurotoxiny, hepattoxiny, dermatotoxiny, genotoxiny, imunotoxiny a embryotoxiny



CYTOTOXINY - biologická aktivita, nízká akutní toxicita
(př. protirakovinné metabolity-cryptophyciny)

Specifické účinky cyanotoxinů

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



Lipopolysacharidy - narušení gastrointestinálního traktu,
kožní iritant



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

CYANOTOXINY

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

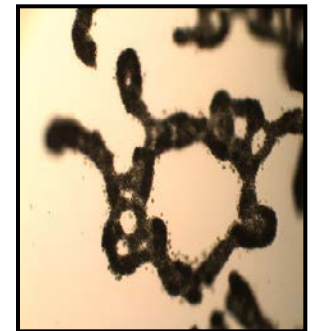
Anabaena (microcystiny, anatoxiny, anatoxin-a(S),
saxitoxiny, cylindrospermopsin)

Aphanizomenon (anatoxiny, saxitoxiny,
cylindrospermopsin)

Microcystis, *Nodularia* (microcystiny a nodulariny)

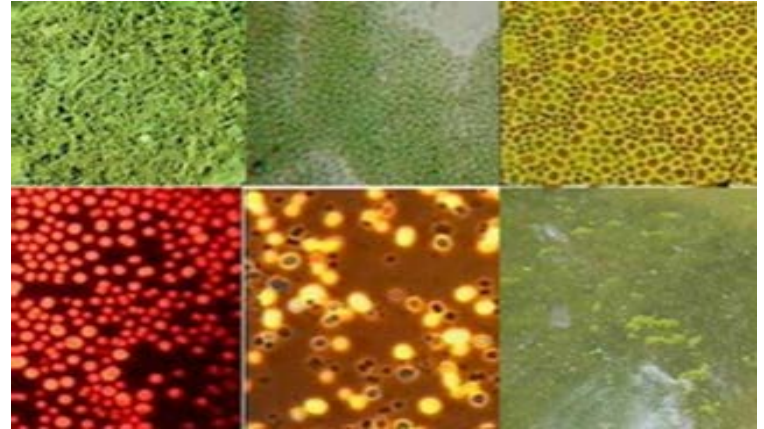
Planktothrix/Oscillatoria (microcystiny, anatoxiny,
saxitoxiny)

Cylindrospermopsis (cylindrospermopsin, saxitoxiny)



„Nové“ cyanotoxiny

- Ohromné množství sloučenin (anagnostec.com: 5000 látek)
- Minimum informací:
 - toxikologie ?
 - výskyt a osud v prostředí ?
 - vliv na volně žijící organismy ?
 - účinky složitých směsí ?
 - přirozená funkce těchto látek ?
- Podle mnoha indicií existuje **mnoho dalších dosud neobjevených toxických metabolitů sinic** (sinice jsou často toxické i když neobsahují žádný z dosud identifikovaných cyanotoxinů!!!).
- **Farmakologicky slibné látky**
- **Tříděné látek, nomenklatura..... nejednotné**
- detailní studium - nutnost LC/MS instrumentace



Hypotézy o vzniku/fci cyanotoxinů

1% suché váhy - microcystiny

1. Role v metabolismu živin

- Zásoba dusíku? Skladování železa (chelatace)

2. Vnitrodruhovú komunikace a signalizace

- Geny ovlivněny světlem, hustotou kultury

- Spojitost s látkami účastnícími se na shlukování buněk (formování / rozpad kolonií) - migrace ve vodním sloupci

Protein pro transport MC z buňky, ale 90% v buňce

Fce MC extracelulární ?

Hypotézy o vzniku/fci cyanotoxinů

Obrana proti predátorům

- Zooplankton (přirodní koncentrace rozpuštěného MCs neúčinné)
- Synergické působení více toxinů
- Produkce zvyšována v prostředí s predátory (nebo látkami, které vylučují)
- **Geny pro syntézu MCs** existovaly už ve **starohorách** -eukaryota později (MC cíl jsou Protein fosfatázy)
- Sinice bez MC odolávají predáční tlakům
- Je to varovný signál ? Organismy jej nejsou schopny rozlišit

Hypotézy o vzniku/fci cyanotoxinů

4. Alelopatické působení

- Jen některé fotoautotrofní organismy jsou ovlivněny již v přírodních koncentracích MC
- Inhibice růstu, fotosyntézy, ox.stres, inhibice enzymu a buněčných procesů
- Řada z fotoautotrofů ovlivnitelná až při vysokých koncentracích
- Hlavní konkurenti řasy - žádné účinky v přírod. podmínkách
- **Řasy = eukaryota**
- **Většina MCs uvnitř buněk sinic**



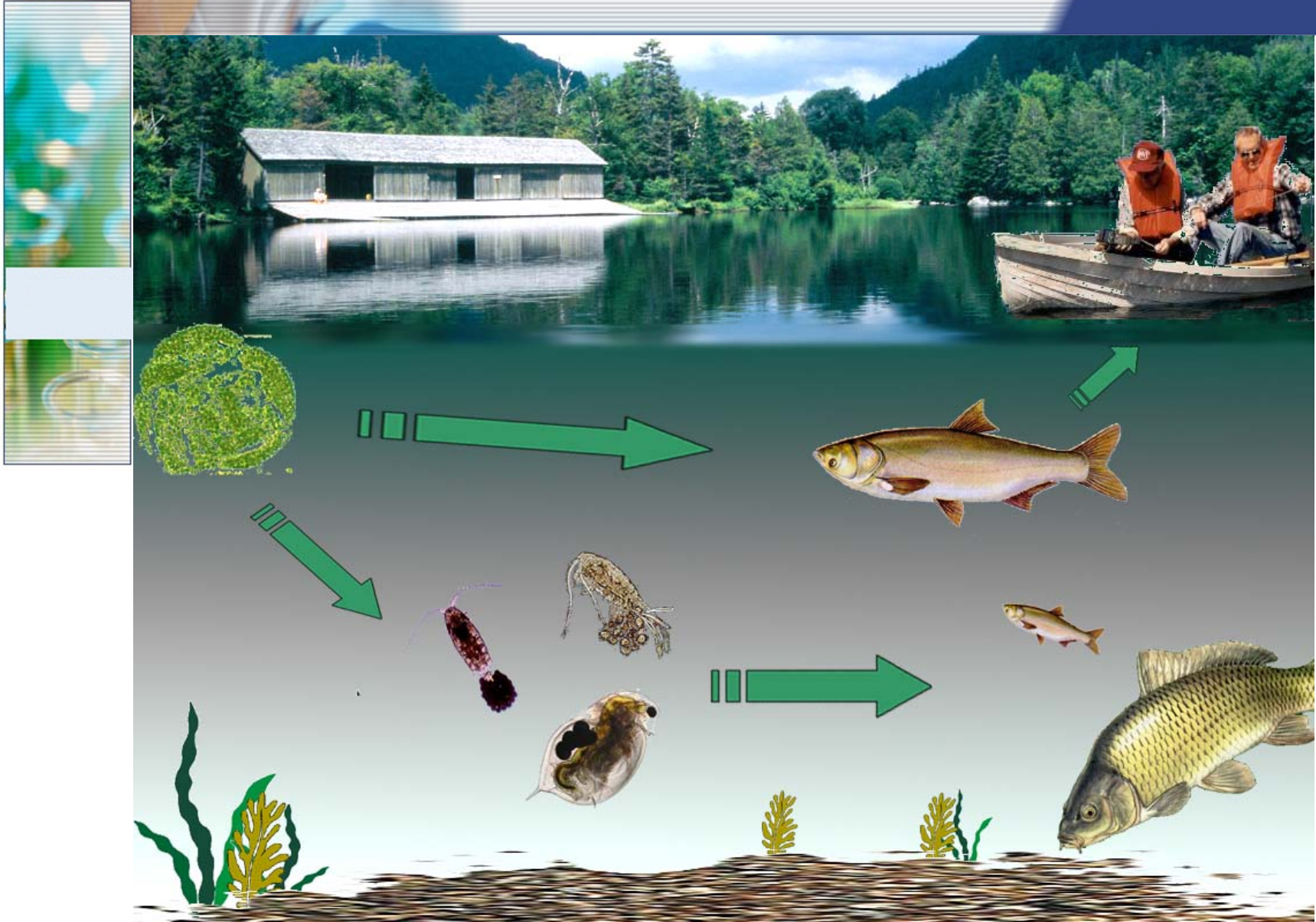
Sinice & ekosystém

MASOVÝ
ROZVOJ
SINIC



Bioakumulace

MICROCYSTINU



Toxins

Animal Health Effects



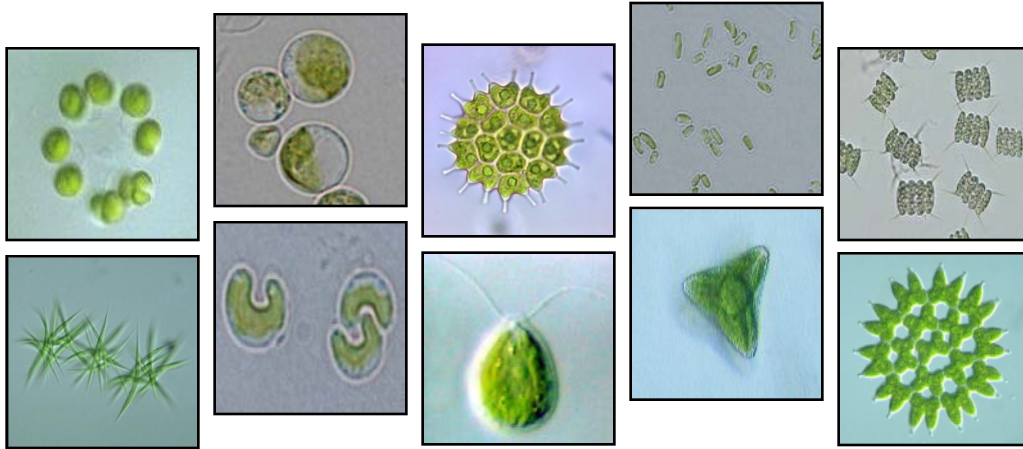
<u>Country</u>	<u>Species Killed</u>
• Argentina	• cattle
• Australia	• cattle, sheep
• Canada	• cattle, waterfowl
• England	• dogs, fish
• USA	• dogs, cattle, human?

In July 2002, a Wisconsin teenager died two days after swimming in a golf-course pond that had a bloom of *Anabaena flos-aquae*. A year later, an autopsy reported the death was due to cyanotoxins in the pond water (Anatoxin-a).

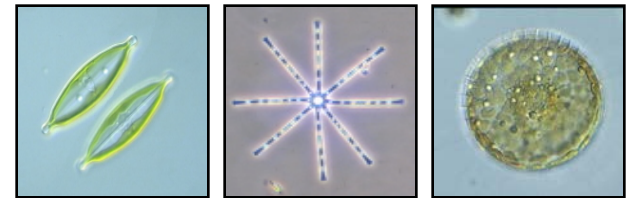
Účinky na fotoautotrofní organismy

- studium alelopatických interakcí
- objasnění možné funkce některých cyanotoxinů

Zelené řasy (*Chlorophyta*)



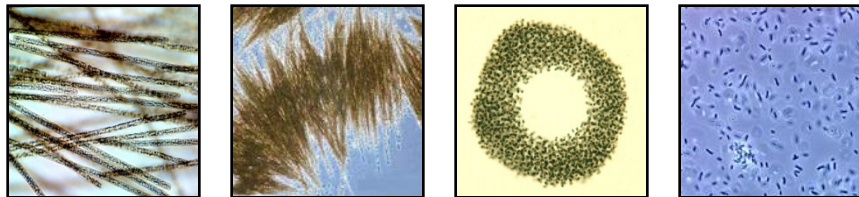
Rozsivky (*Chromophyta*)



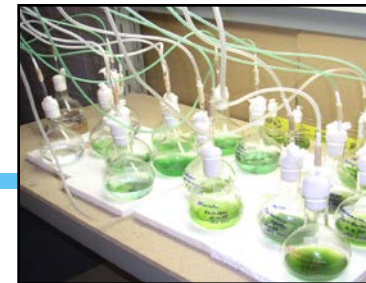
Skrytěnky (*Cryptophyta*)



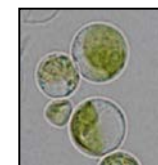
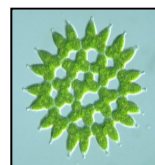
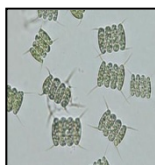
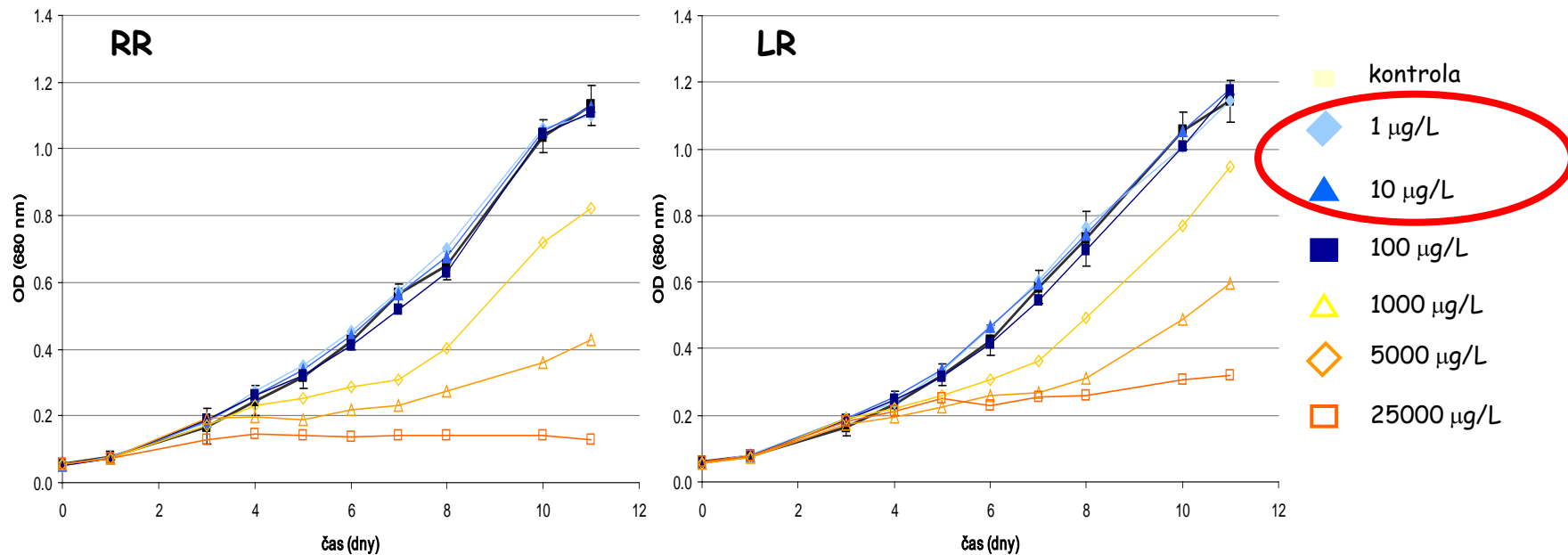
Sinice (*Cyanophyta*)



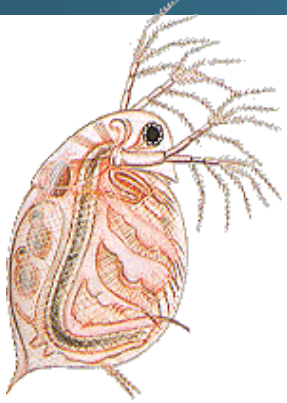
Sinice, cyanotoxiny a řasy



Pseudokirchneriella subcapitata



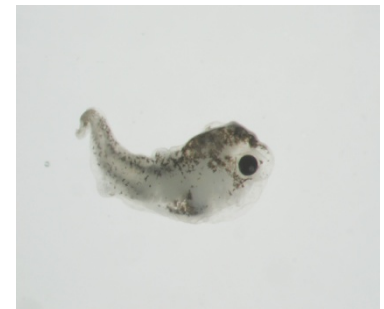
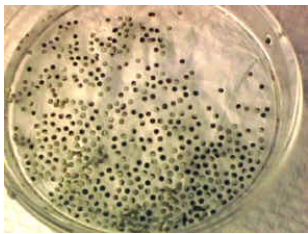
Účinky na živočichy



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



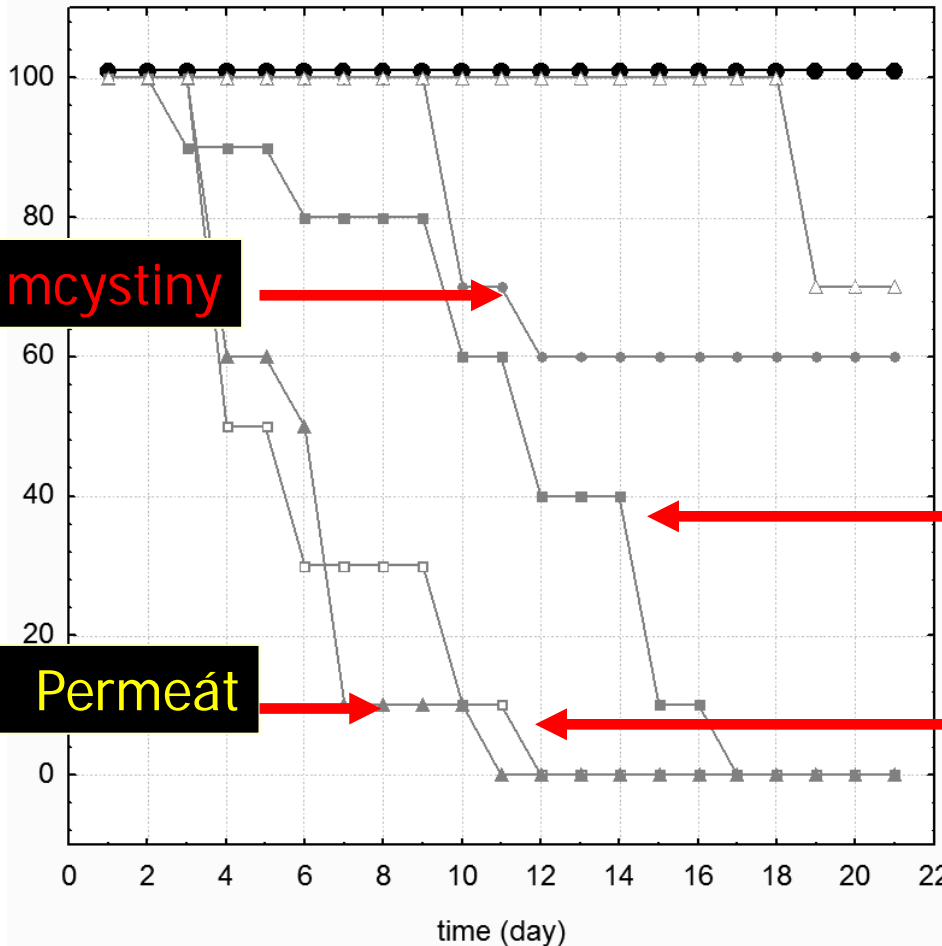
- embrya drápatek (*Xenopus laevis*)
- embryotoxicita, teratogenita



Sinice, cyanotoxiny a zooplankton



Reprodukce



Frakce - mcystiny

Permeát

Kontrola

Extrakt z řas

Celý vod. květ

Extrakt

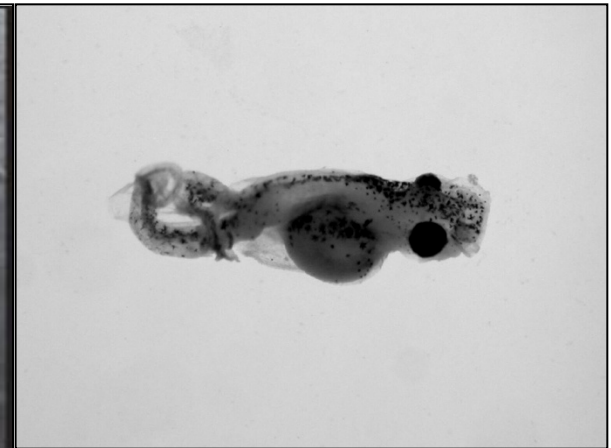
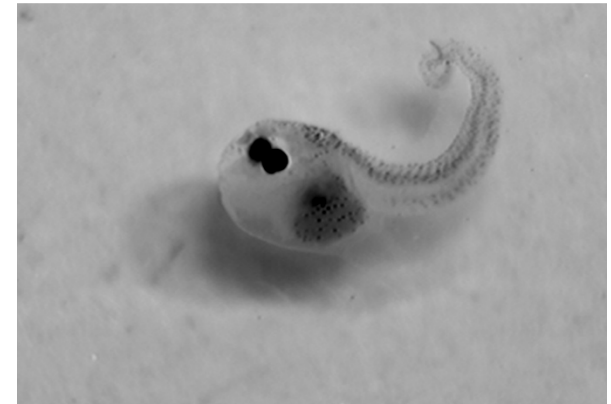
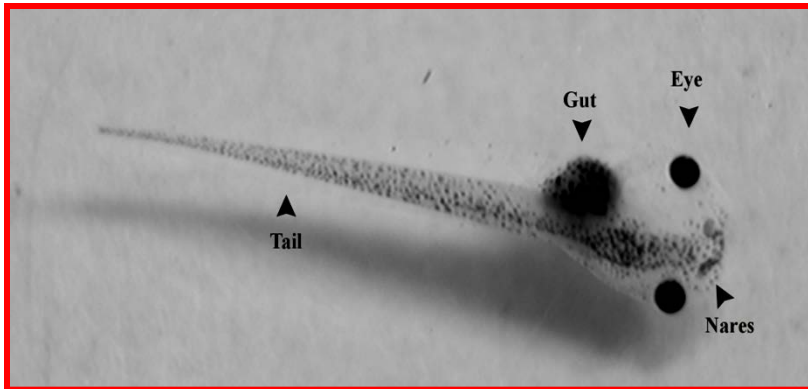
- control
- BIOM.
- AQ. EXTRACT
- ▲ C18 PERMEATE
- C18 ELUATE
- △ SPINACH

Sinice, cyanotoxiny a vodní obratlovci

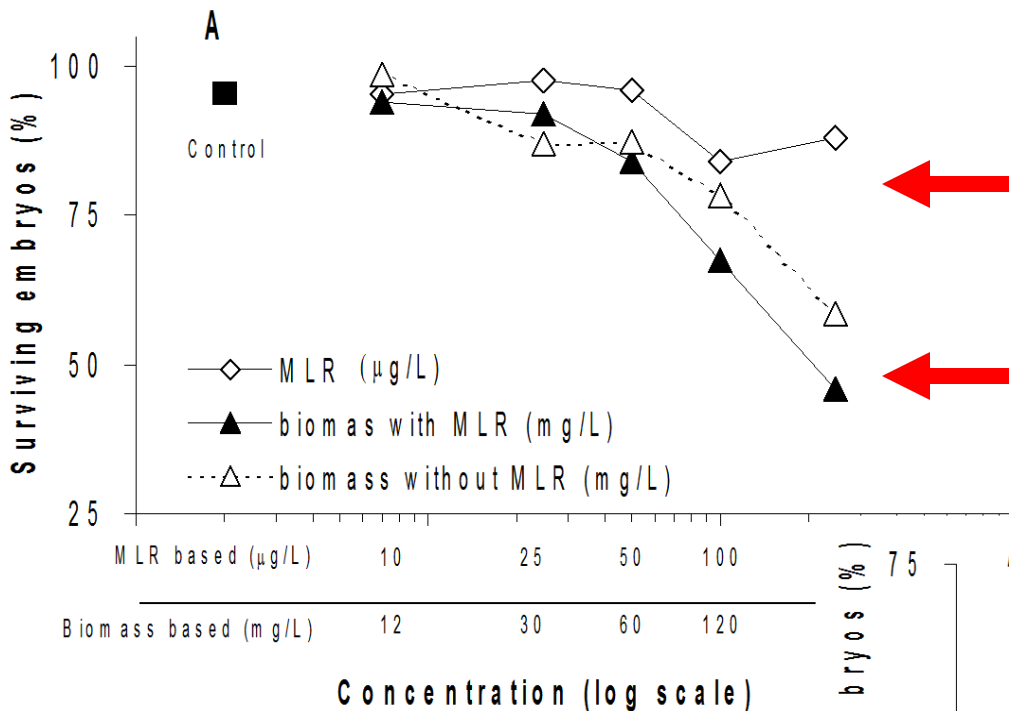
- embryotoxicita, teratogenita



Kontrola

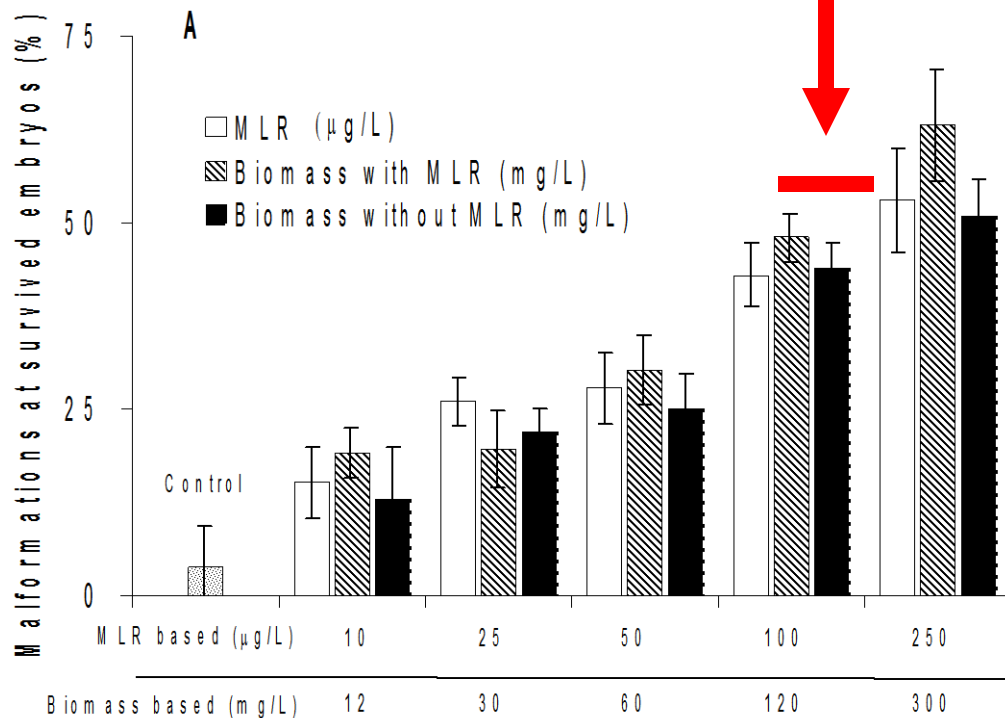


Sinice, cyanotoxiny a vodní obratlovci

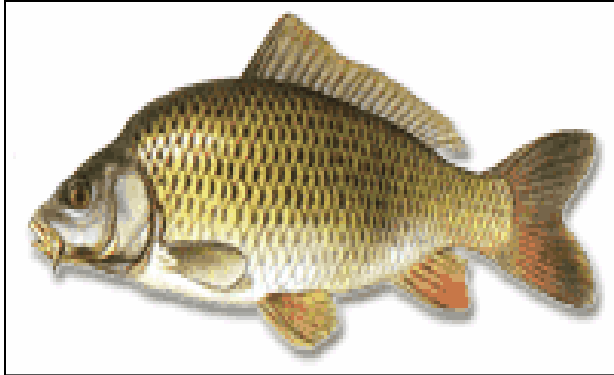


MC-LR

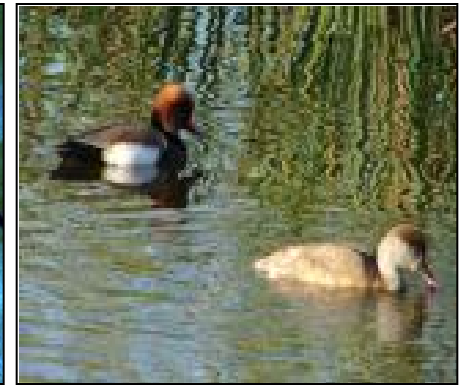
Biomasa s / bez MC



Účinky na obratlovce



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



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

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

Metody omezení masového rozvoje sinic

- Snížení koncentrace živin v povodí nad nádrží
- Snížení koncentrace živin v nádrži vlastní
- Odstraňování inokula sinic ze sedimentů
- Regulace rybí obsádky
- Rozšiřování makrofyt (vyšší vodní rostliny)
- Algicidní zásahy

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	$> 100 \mu\text{g/L}$

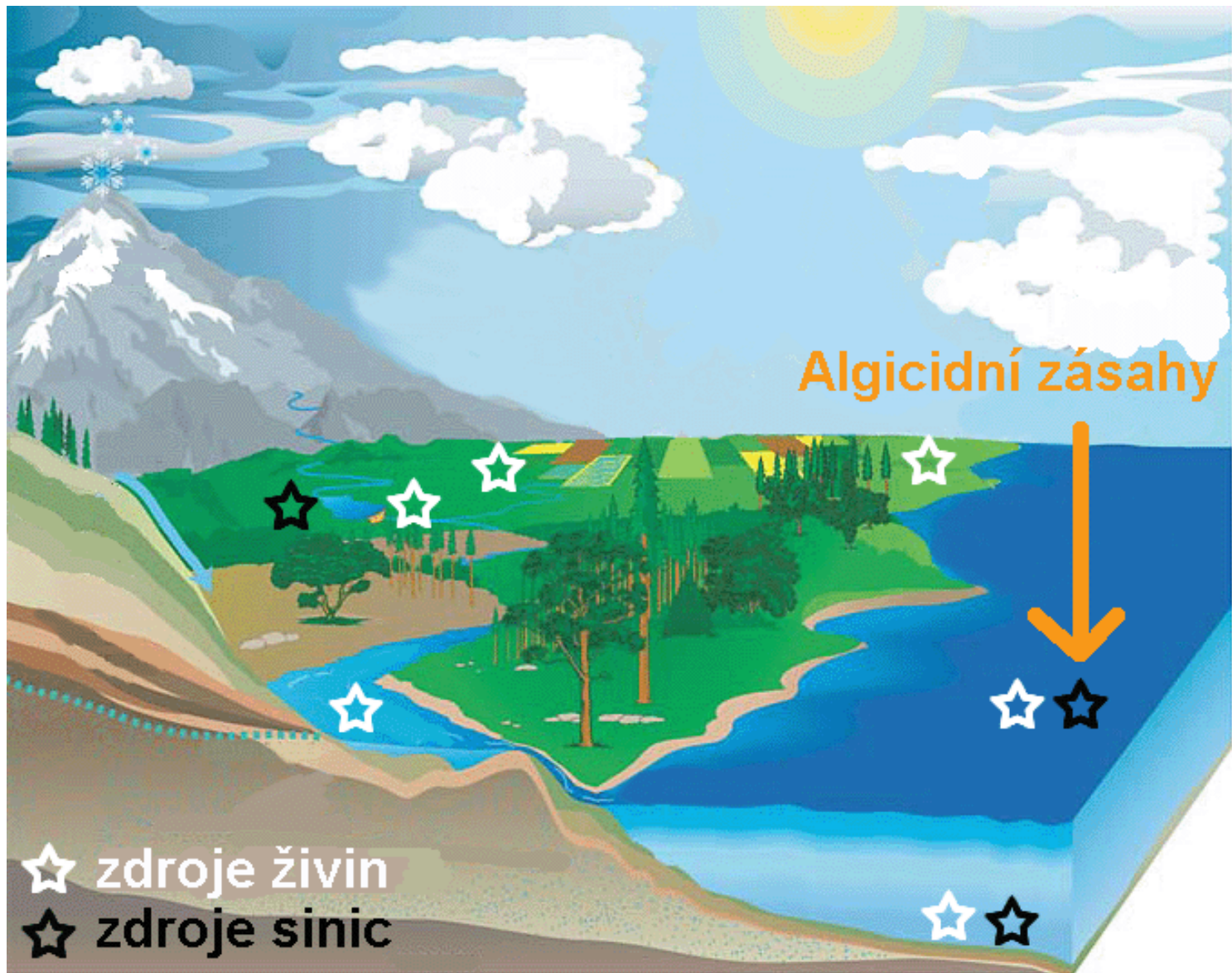
Pro masový rozvoj sinic postačuje koncentrace fosforu cca $20-25 \mu\text{g/L}$

Brněnská přehrada: $200-300 \mu\text{g/L}$

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

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

Zdroje fosforu a sinic (nejen) v nádržích



Zdroje fosforu v povodí nad nádrží

Bodové zdroje - lidská sídla (města, vesnice)

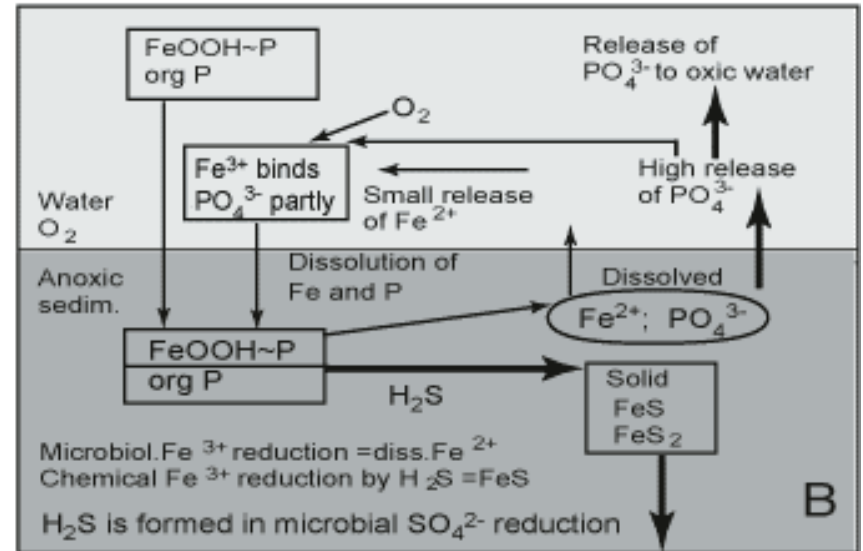
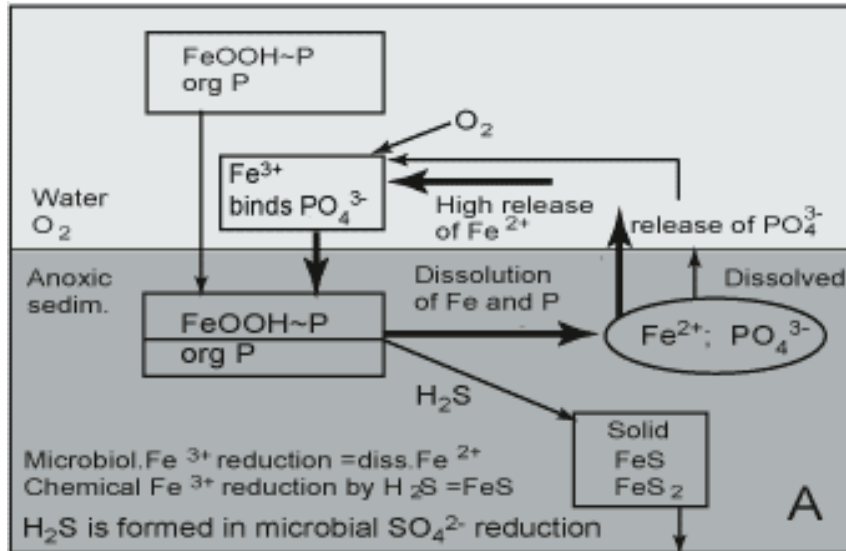
- průmyslové závody
- zemědělské objekty
- čistírny odpadních vod!
- rybníky... atd.

Difuzní zdroje - atmosferický spad

- geologické podloží
- roztroušená sídla
- pole ... atd

Zdroje fosforu v nádrži

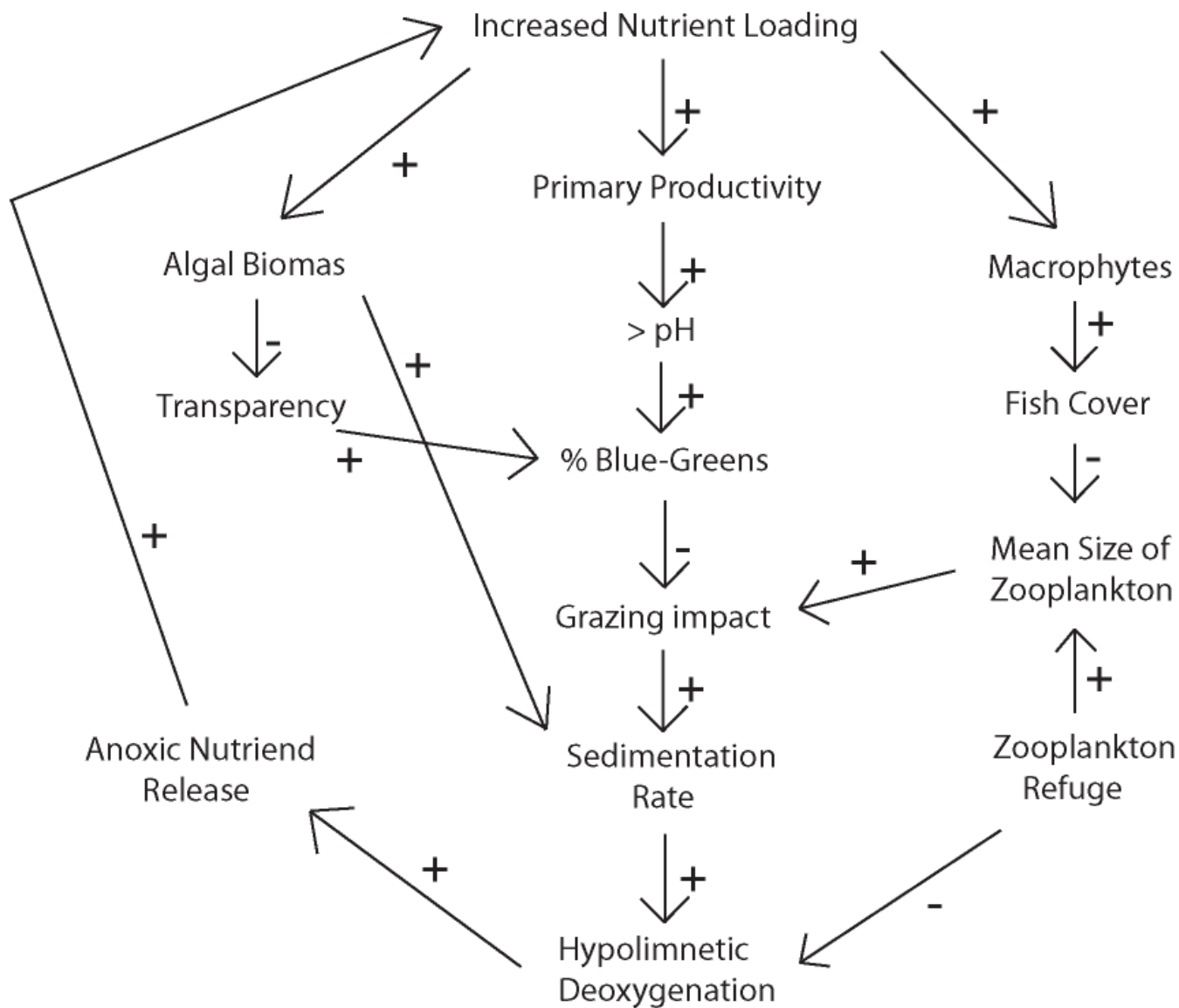
- Biomasa - řasy, rostliny, sinice, zooplankton, ryby ...
- Sediment - zásobárna fosforu nádrží
 - zpětné uvolňování do vodního sloupce za anoxických podmínek (role dusičnanů)



Zdroje sinic

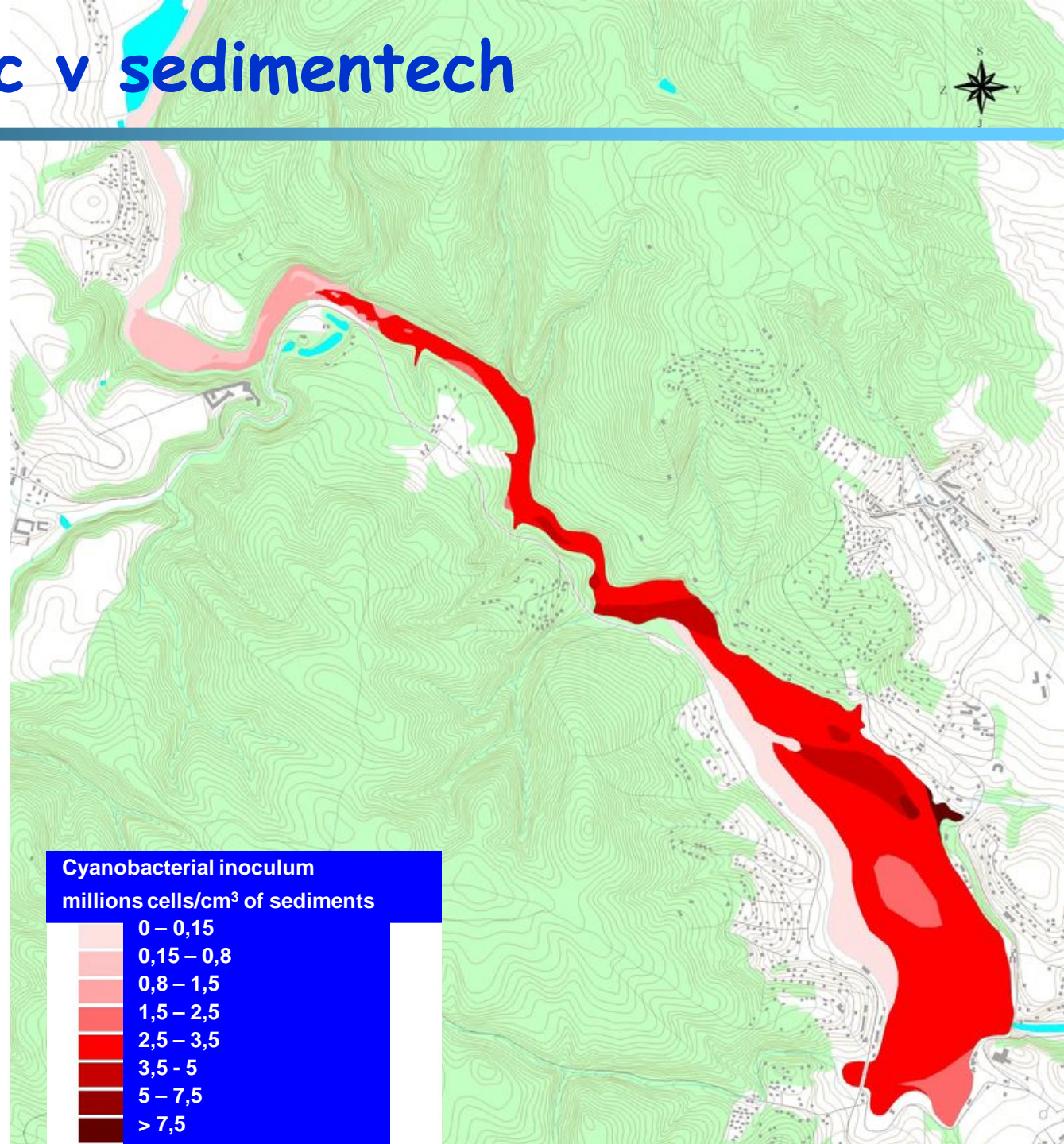
- Sinice jsou přirozenou součástí nádrží, avšak bez „pomoci“ člověka by se nikdy **znovu** nestaly dominantní skupinou autotrofů
- Povodí nad nádrží - rybníky, přehradý s masovým rozvojem sinic
- Sedimenty v nádržích s masovým rozvojem sinic

Vliv živin na potravní řetězec nádrže



Inokulum sinic v sedimentech

Brněnská
Přehrada
2002

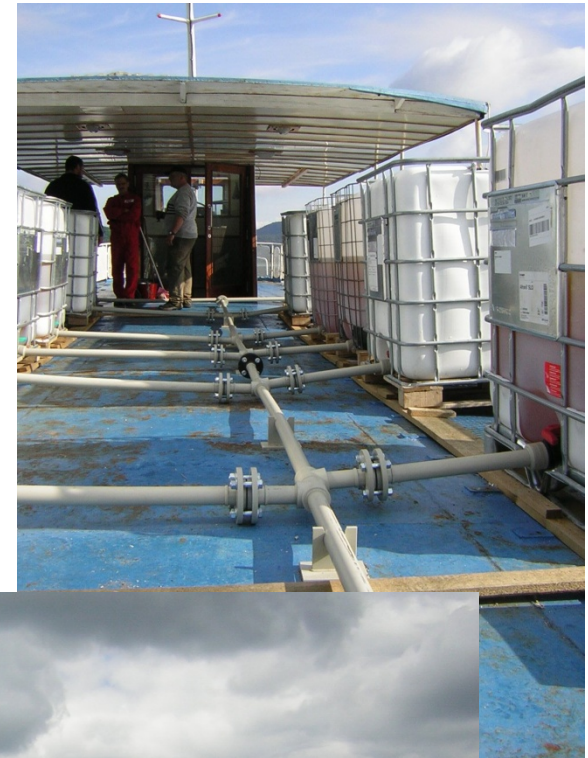


Snižování koncentrace fosforu v povodí

- Výstavba ČOV s terciálním stupněm čištění
- Zákaz používání fosfátových prášků a mycích prostředků
- Technická protierozní opatření
- Vrstevnicové hospodaření
- Ochranné travní pásy
- Zajištění úniků živin z farem
- Terasy a meze
- Decentralizované čištění odpadních vod
- Nevegetační stabilizace půdy
- Protipovodňová opatření v citlivých oblastech

Snižování koncentrace fosforu v nádrži

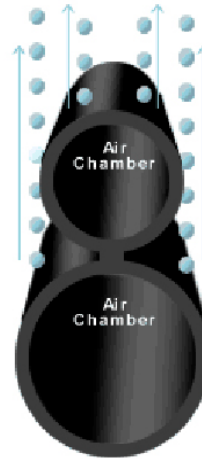
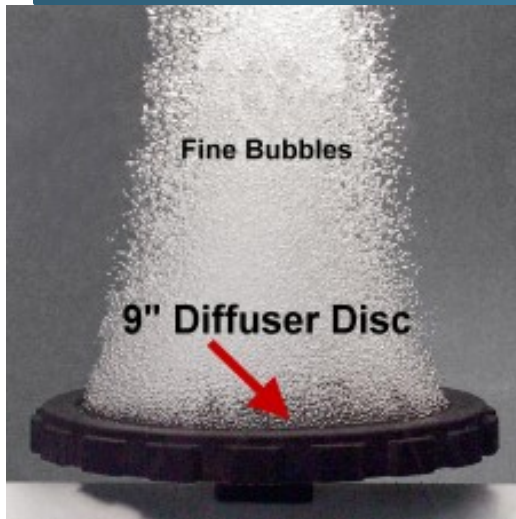
- Aplikace železa/hliníku
- Aplikace vápna
- Využití jílu
- Hypolimnické upouštění



Ošetření sedimentů

- Překrývání sedimentů - aktivní bariéry
- pasivní bariéry
- Odstraňování sedimentů - sací bagry (Vajgar)
- Oxidace sedimentů - Riplox
- provzdušňování
- Aplikace bakterií

Ošetření sedimentů



Ošetření sedimentů



Application of Composite Aggregate Capping Material Using a Helicopter



Additional open-water placement for capping

Existing discrete mounds can be effectively capped with material released from barges

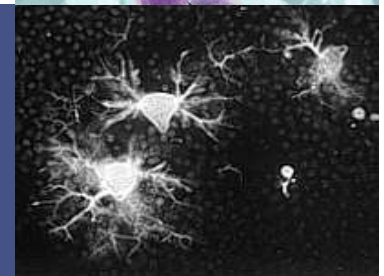
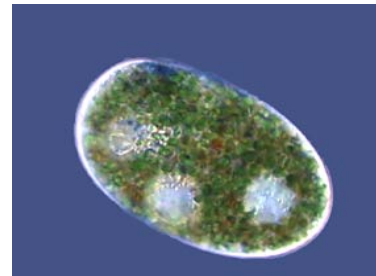
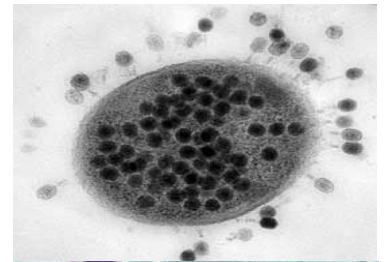


Ošetření sedimentů



Regulace struktury biotických vztahů

- Využití mikroorganismů pro omezení masového rozvoje sinic
- Viry
- Bakterie
- Řasy
- Prvoci
- Houby a houbové organismy



Regulace struktury biotických vztahů

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



Regulace struktury biotický vztahů

- Využití makrovegetace
- 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.)

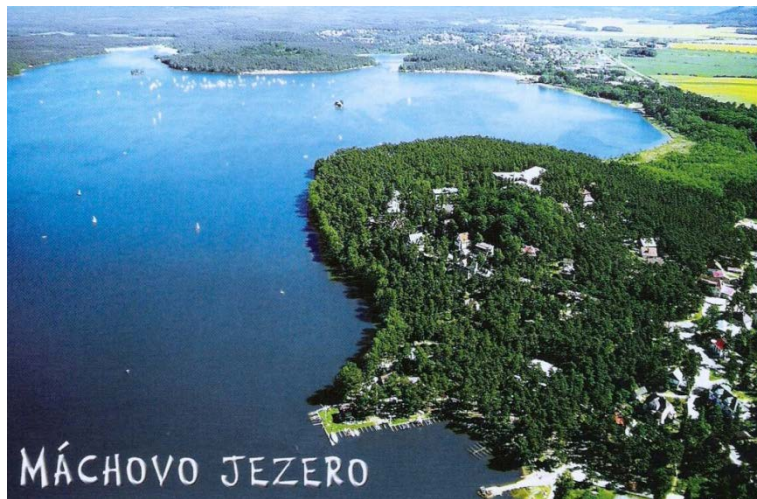


Aplikace algicidních přípravků

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...

Proč se tedy provádí algicidní zásahy?

- Máchovo jezero
- Založeno Karlem IV 1366
- Rozloha 284 ha
- 1928 otevřena první pláž
- Denně návštěva až 30.000 lidí za účelem rekreace



Aplikace přípravků sice nemůže vyřešit problém Máchova jezera, může ovšem snížit zdravotní rizika rekreatantů a udržet turistický ruch

Algicidní zásahy

• 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

Algicidní látky

- 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/sinícím, 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