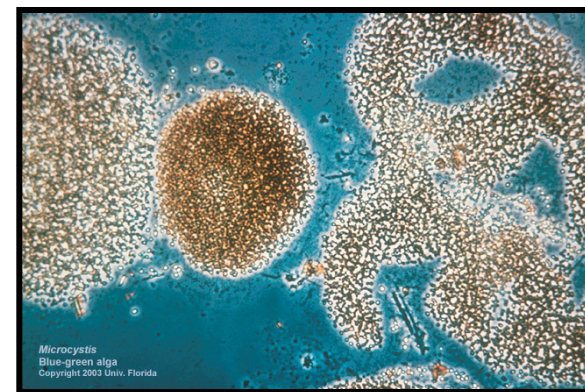
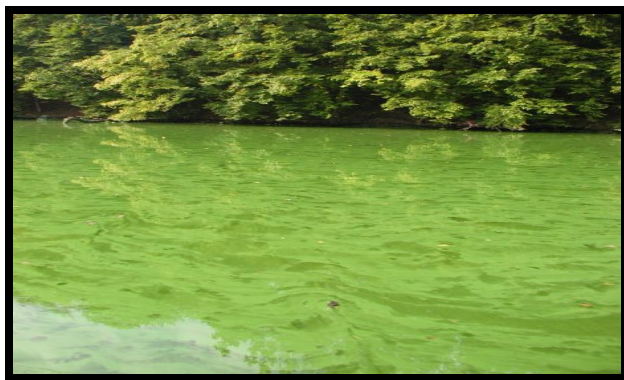
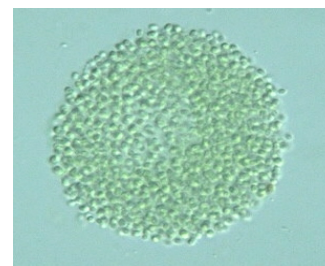
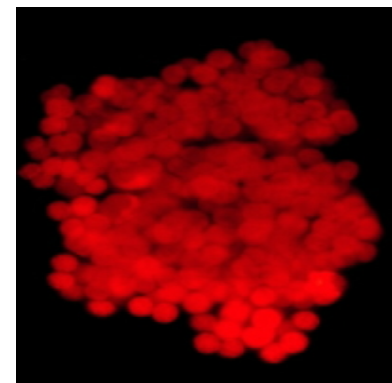
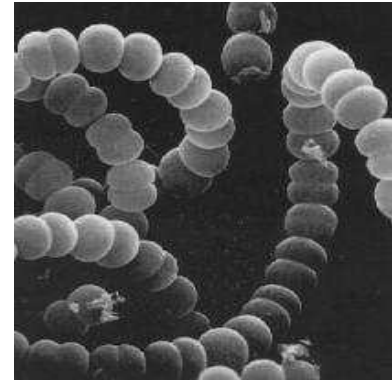


MASOVÉ ROZVOJE SINIC



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

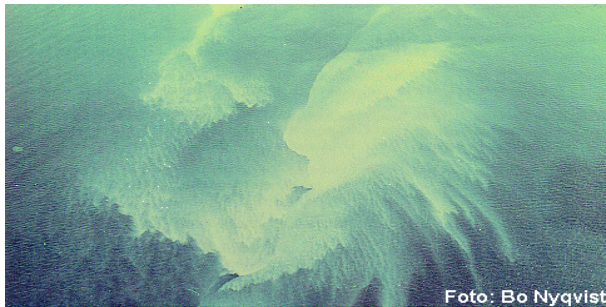


Bedetti Lake, Argentina



ASM MicrobeLibrary.org © Paerl

Neuse River, USA



Baltské moře, Evropa



Nové Mlýny, Česko



Žluté moře, Čína



Lake Mokoan, Austrálie



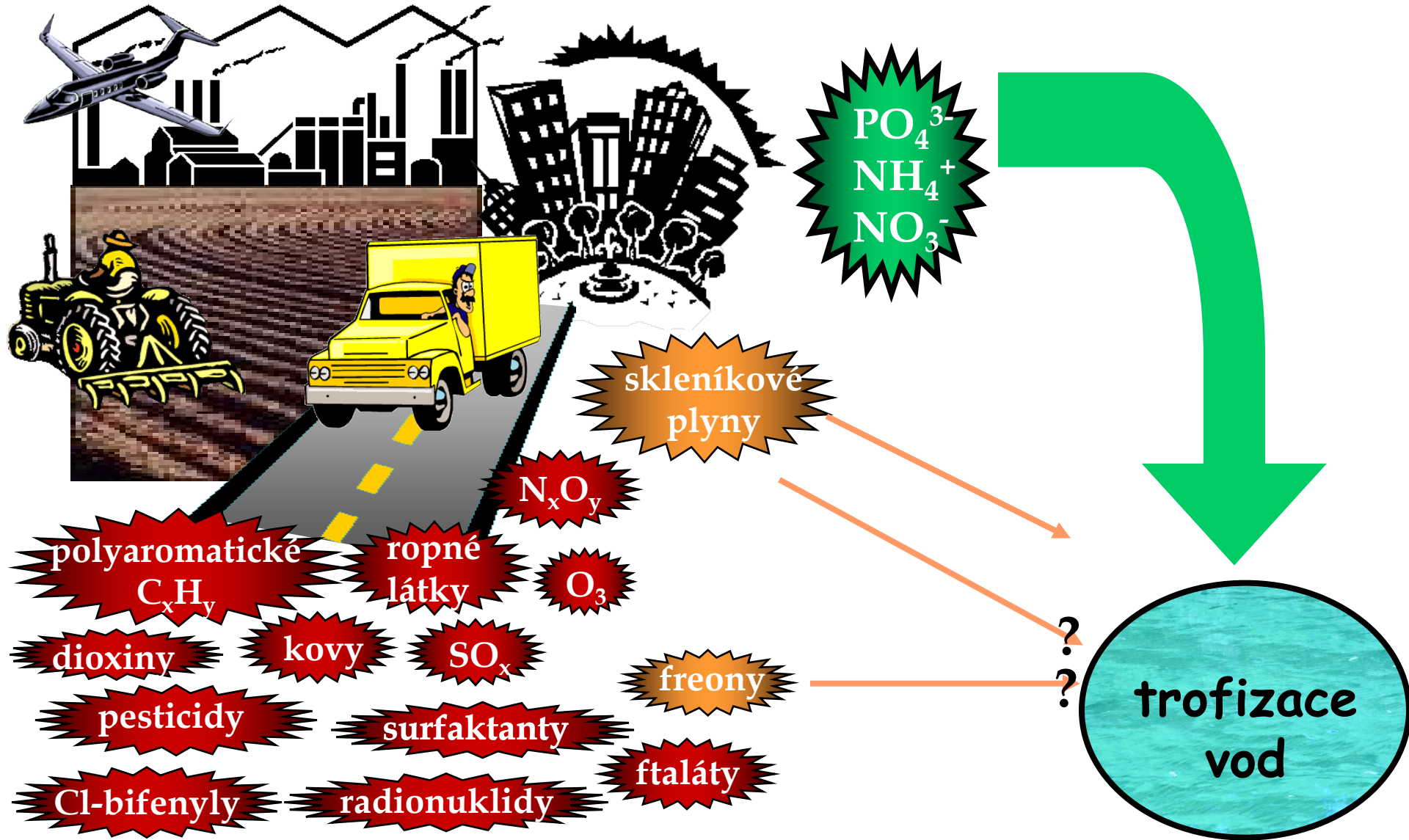
Jihoafrická republika

Podmínky masového rozvoje

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

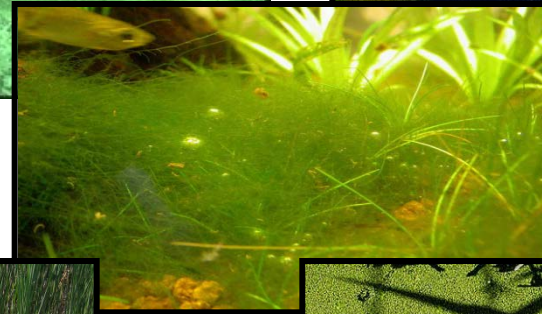
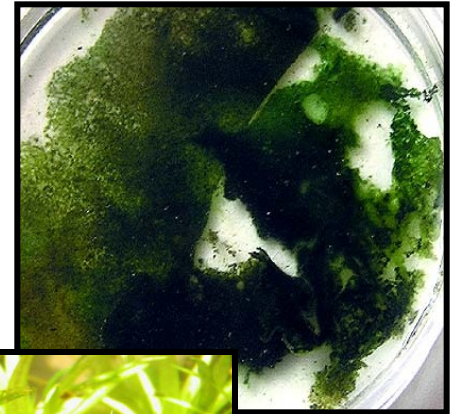


TROFIZACE VOD - antropogenní příčiny



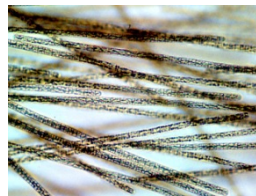
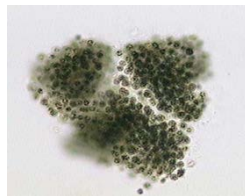
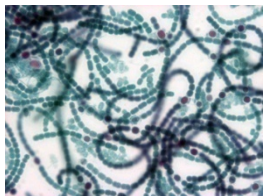
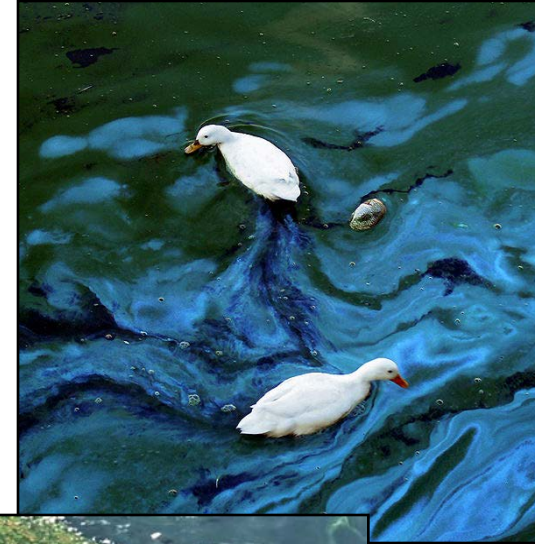
Dominanty trofizovaných vod

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



Důsledky masového rozvoje sinic

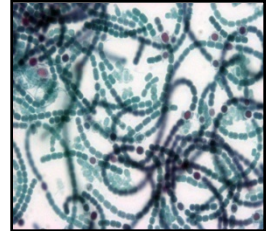
- snížení biodiverzity
- narušení kyslíkového režimu (ranní anoxické zóny; rozklad biomasy)
- snížení kvality vod (produkce pachů a pachutí)
- hospodářský dopad (rekreace, rybářství)
- **produkce cyanotoxinů**
- **nejznámější producenti:**



SINICE

produkují stovky sekundárních metabolitů

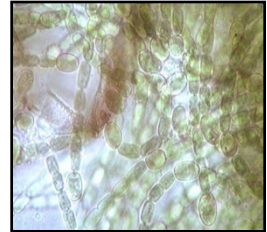
- rozmanité struktury:
 - peptidy a depsipeptidy (lineární, cyklické)
 - heterocyklické sloučeniny
 - lipidické látky



BIOTOXINY - vysoká akutní toxicita pro savce
- dle specifických účinků:



neurotoxiny, hepatotoxiny, 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* ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 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
produkujících tyto látky):

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

Aphanizomenon (anatoxiny, saxitoxiny,
cylindrospermopsin)

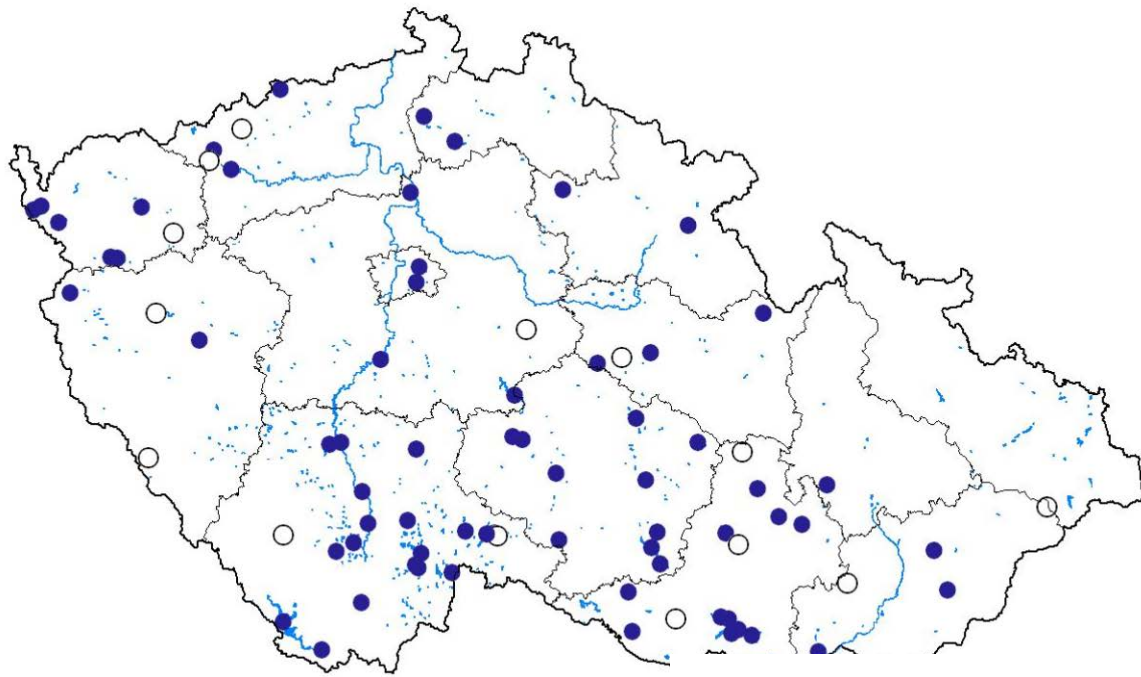
Microcystis, *Nodularia* (microcystiny a nodulariny)

Planktothrix/Oscillatoria (microcystiny, anatoxiny,
saxitoxiny)

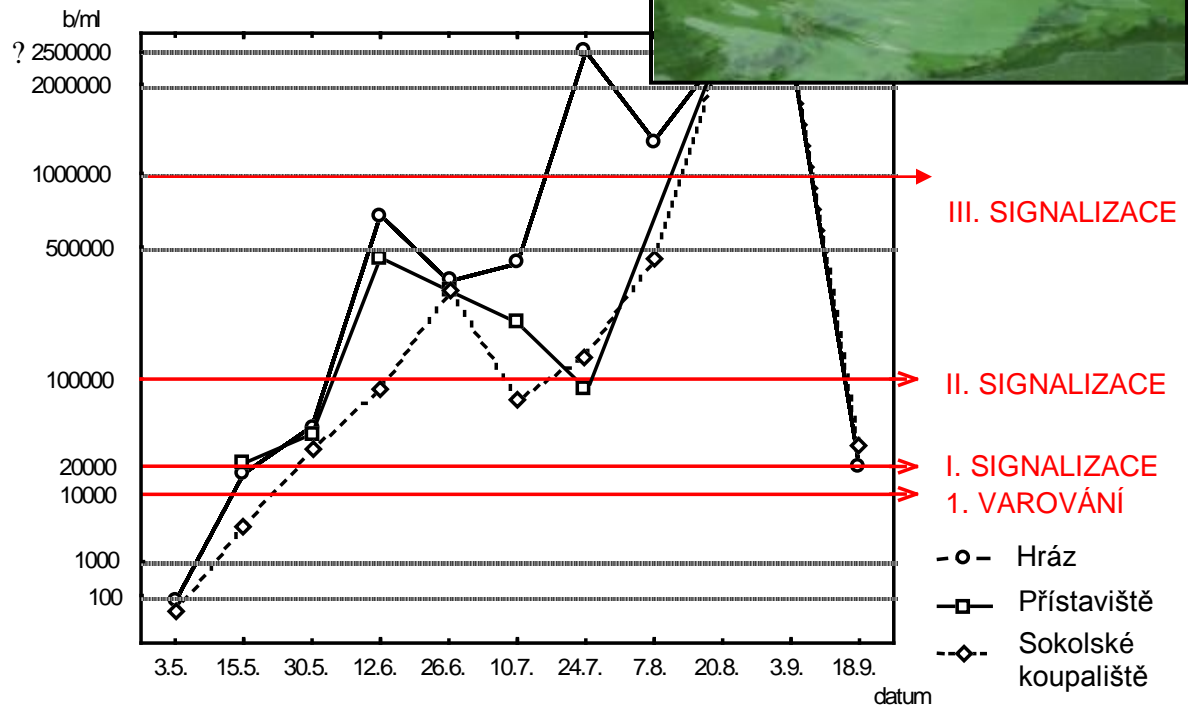
Cylindrospermopsis (cylindrospermopsin, saxitoxiny)



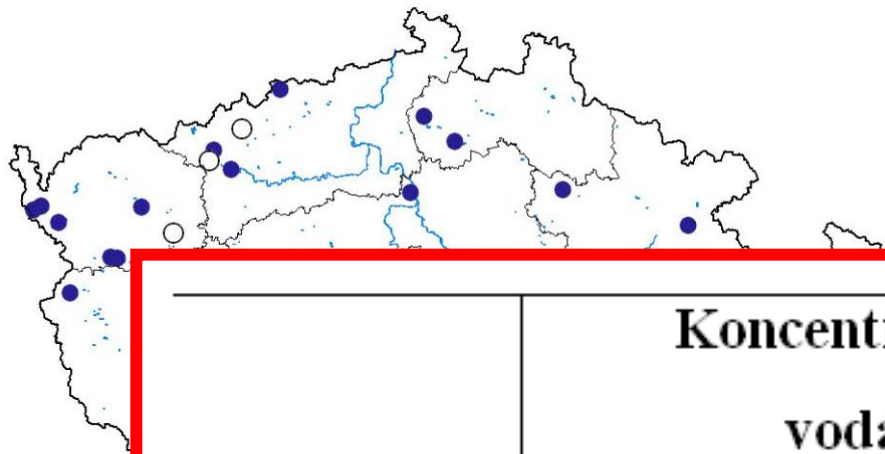
WHO (ČR) **1 $\mu\text{g/l}$**
MC-LR v pitné vodě
 při 100 000 buněk/ml
 - **zákaz koupání**



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



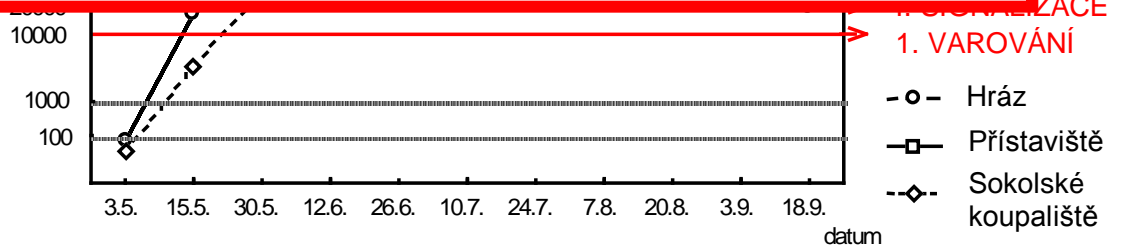
LIZACE

ZACE

IZACE

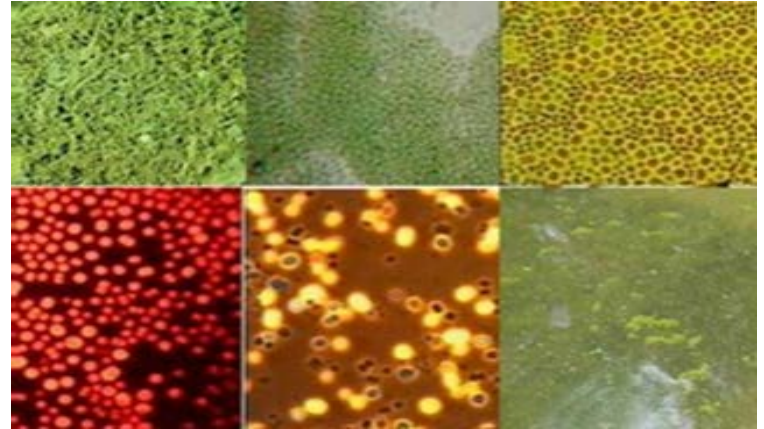
Koncentrace microcystinu ($\mu\text{g/L}$) na vodárenských nádržích ČR

| | 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 |



„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



Sinice & ekosystém

MASOVÝ
ROZVOJ
SINIC



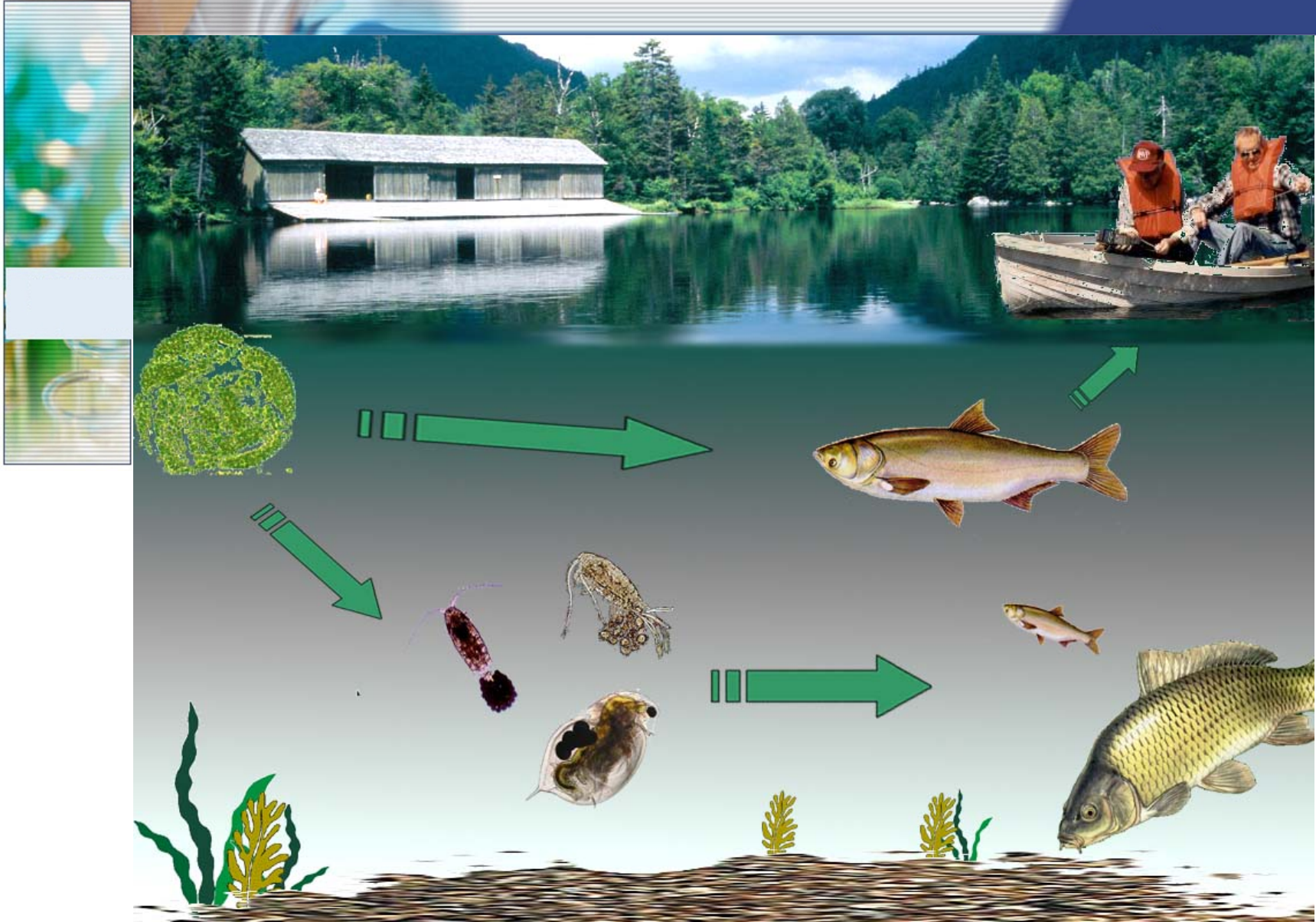
Cyanotoxiny - zdravotní a ekologická rizika ?

Cyanotoxiny

The diagram illustrates the health and ecological risks of cyanotoxins. At the top center, the word "Cyanotoxiny" is written in a blue oval. Below it, several chemical structures of cyanotoxins are shown. Red arrows point from these structures to illustrations of a swimmer in green water, a child drinking from a tap, and a person eating a sandwich. Green arrows point from the structures to illustrations of various organisms: a duck, a goose, a fish, a clam, a snail, a frog, and a plant. The bottom section contains a grid of images showing various aquatic organisms, including insects, crustaceans, and mollusks, representing the ecological impact of cyanotoxins.

Bioakumulace

MICROCYSTINU



Toxins

Animal Health Effects



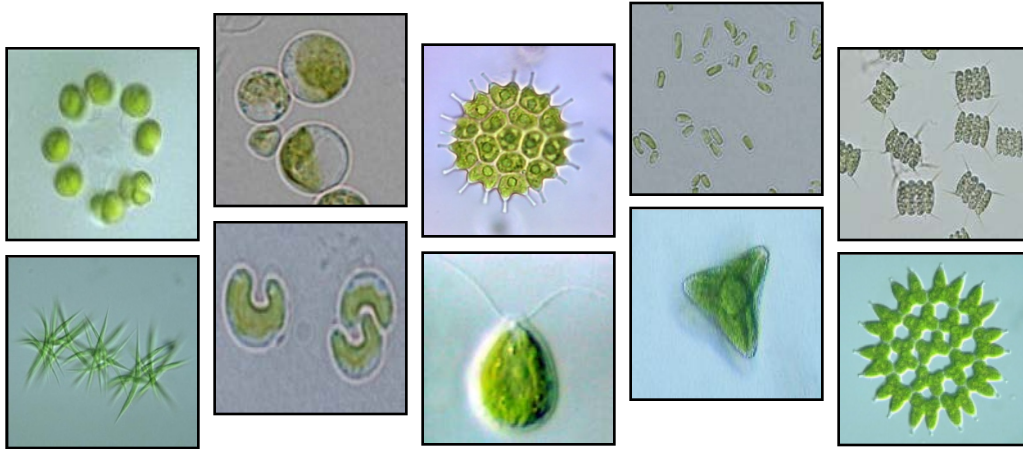
| <u>Country</u> | <u>Species Killed</u> |
|----------------|------------------------|
| • Argentina | • cattle |
| • Australia | • cattle, sheep |
| • Canada | • cattle, waterfowl |
| • England | • dogs, fish |
| • USA | • dogs, cattle, human? |

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).

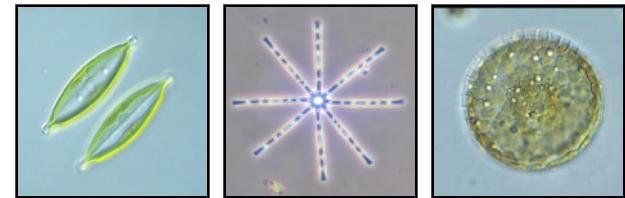
Účinky na fotoautotrofní organismy

- studium alelopatických interakcí
- objasnění možné funkce některých cyanotoxinů

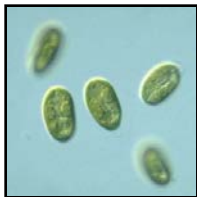
Zelené řasy (*Chlorophyta*)



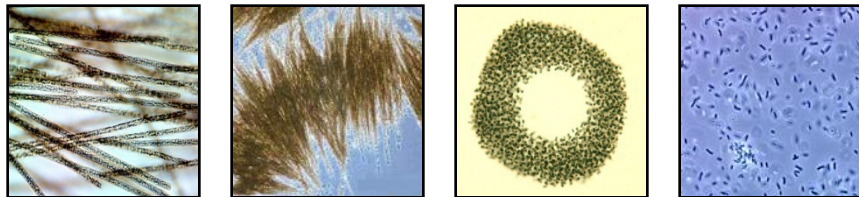
Rozsivky (*Chromophyta*)



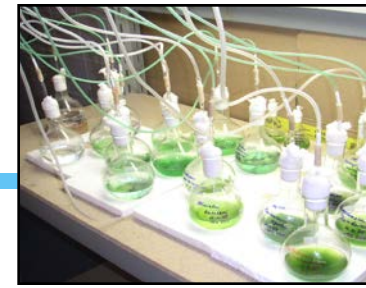
Skrytěnky (*Cryptophyta*)



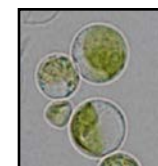
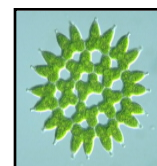
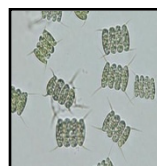
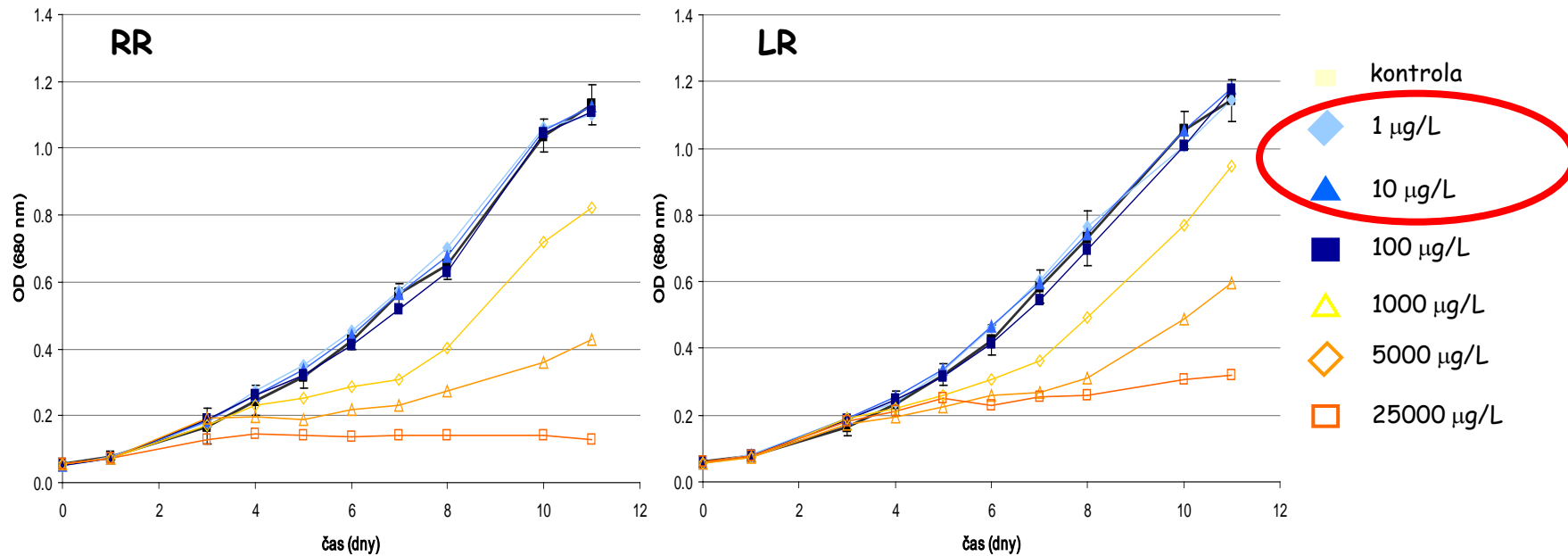
Sinice (*Cyanophyta*)



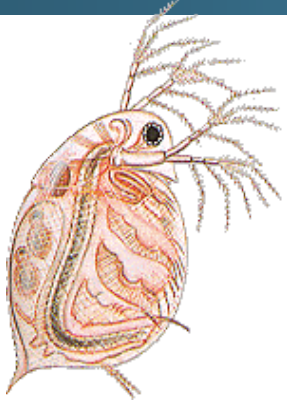
Sinice, cyanotoxiny a řasy



Pseudokirchneriella subcapitata



Účinky na živočichy



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



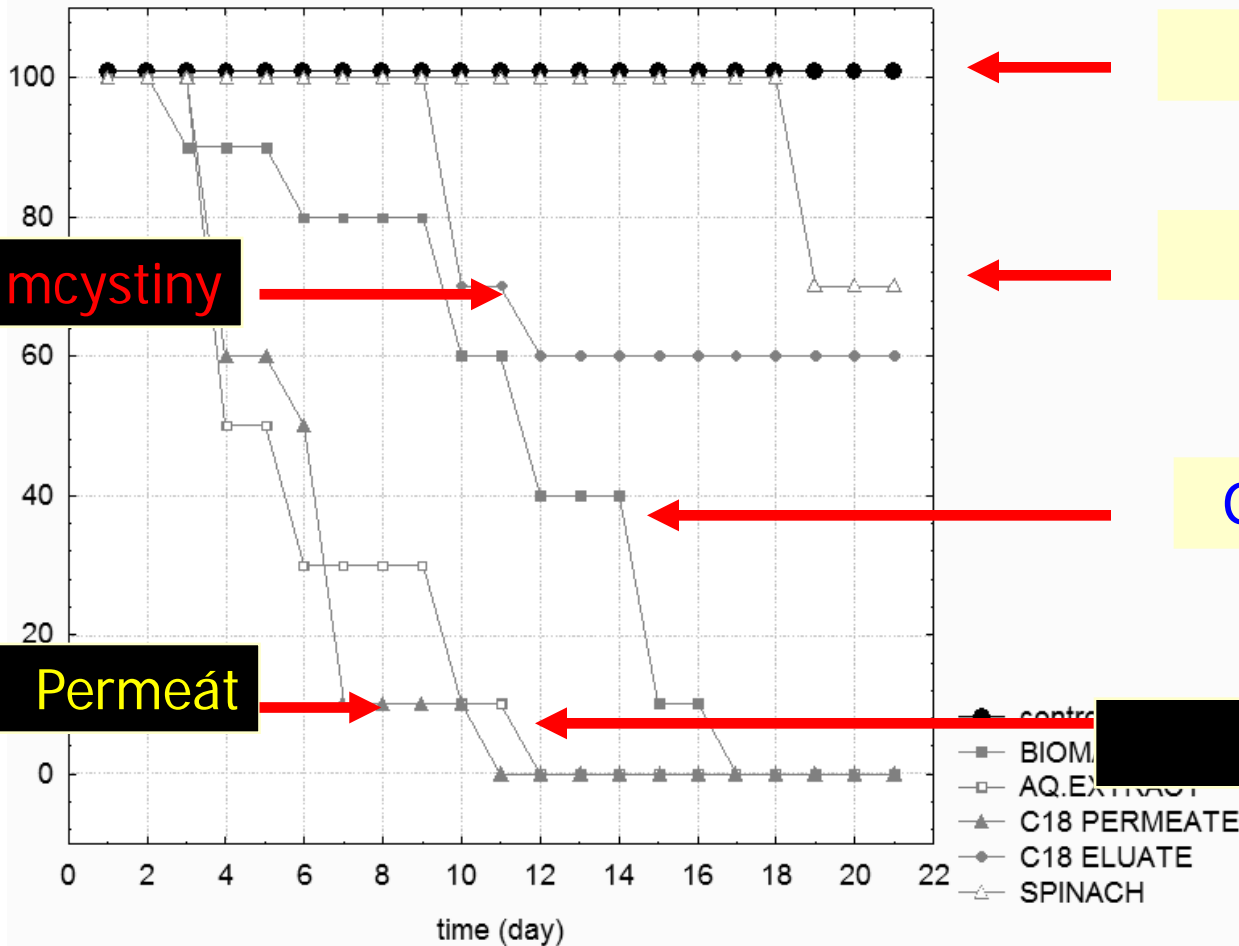
- embrya drápatek (*Xenopus laevis*)
- embryotoxicita, teratogenita



Sinice, cyanotoxiny a zooplankton



Reprodukce



Frakce - mcystiny

Permeát

Kontrola

Extrakt z řas

Celý vod. květ

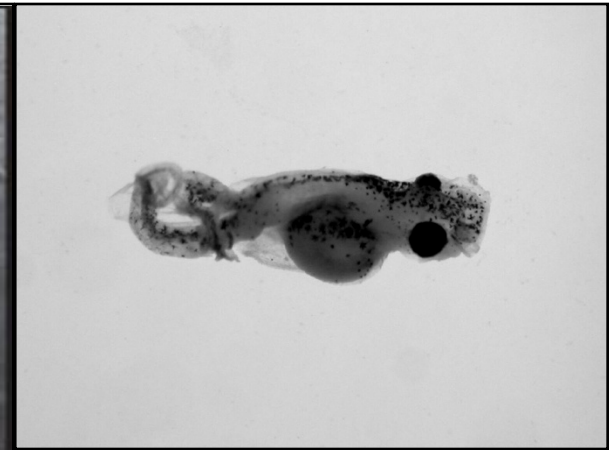
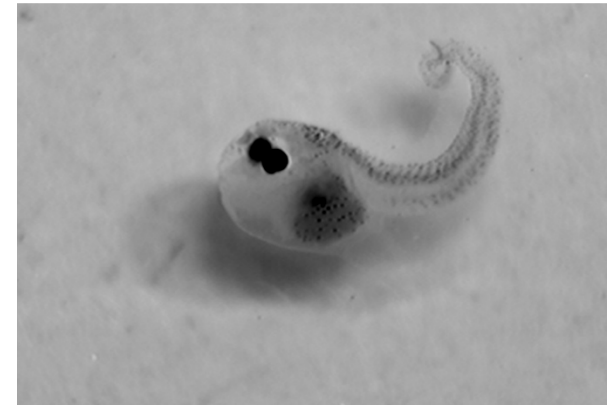
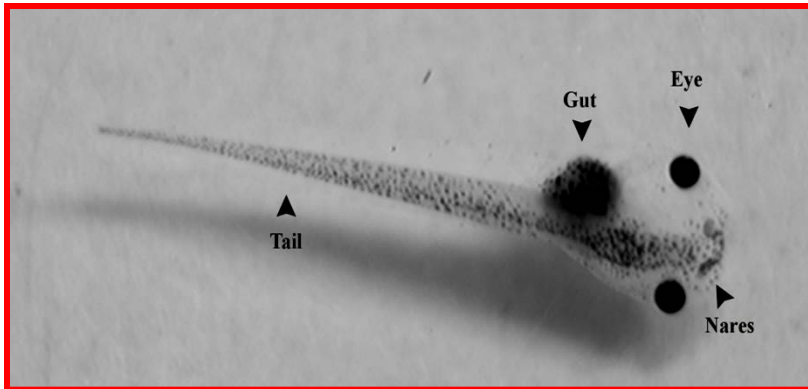
Extrakt

Sinice, cyanotoxiny a vodní obratlovci

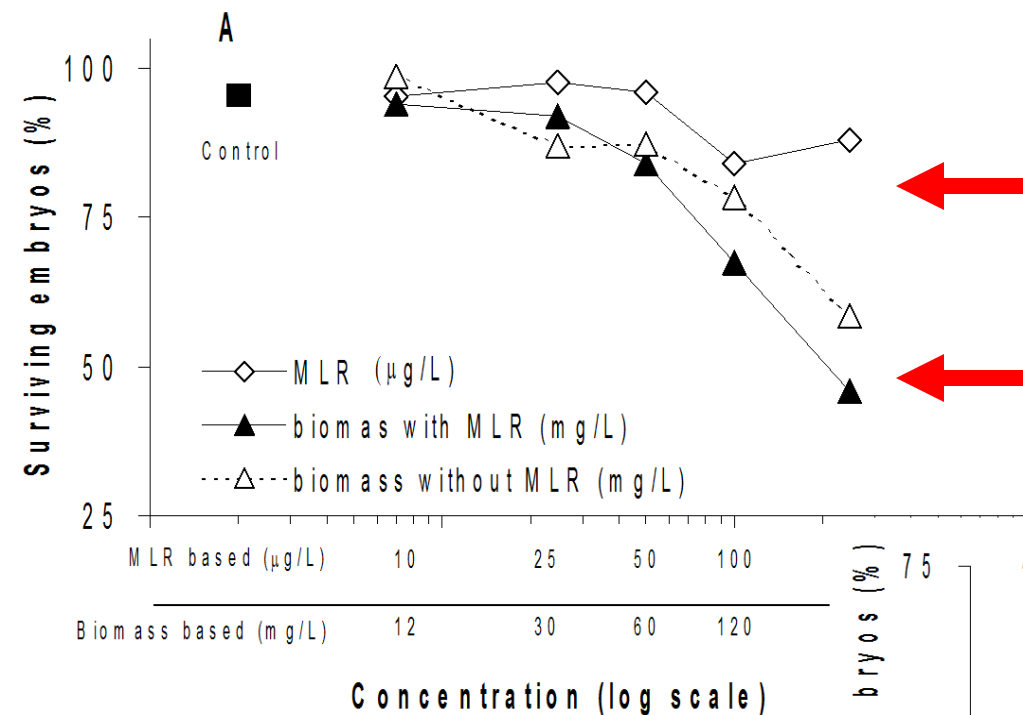
- embryotoxicita, teratogenita



Kontrola

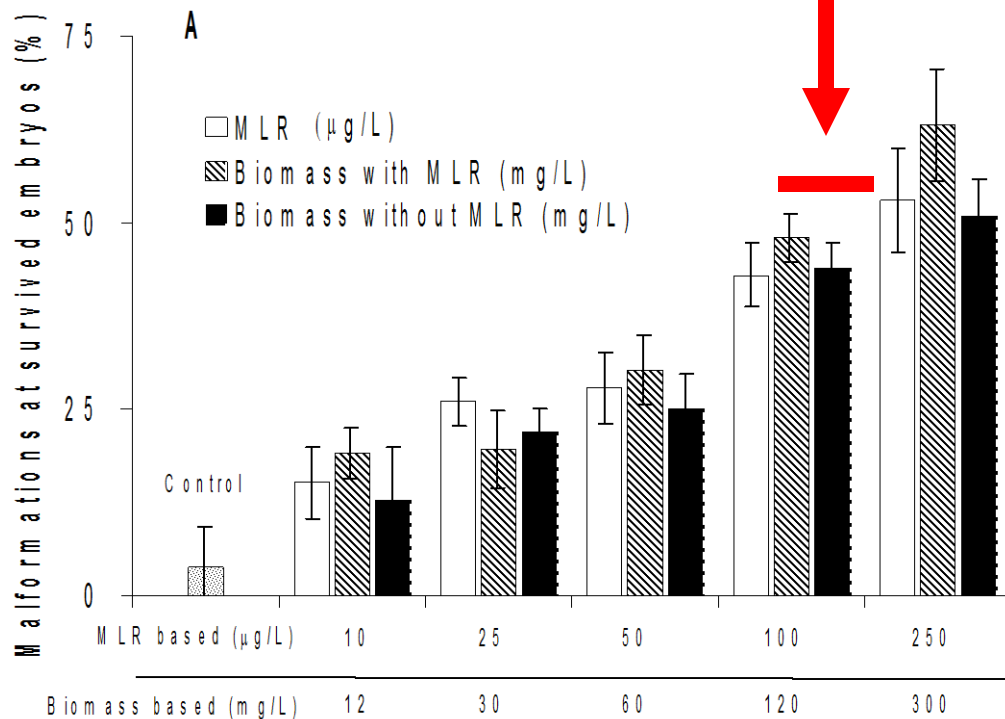


Sinice, cyanotoxiny a vodní obratlovci

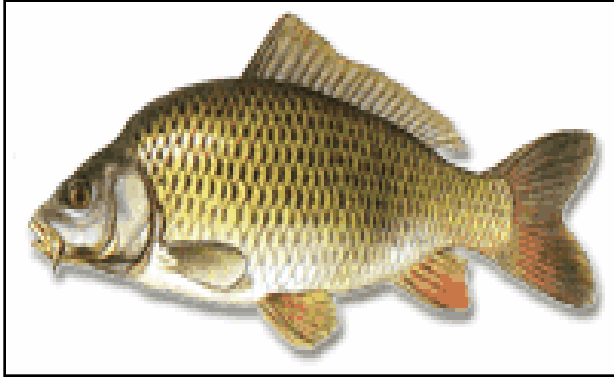


MC-LR

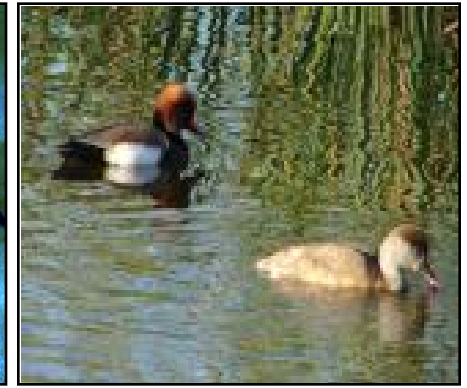
Biomasa s / bez MC



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

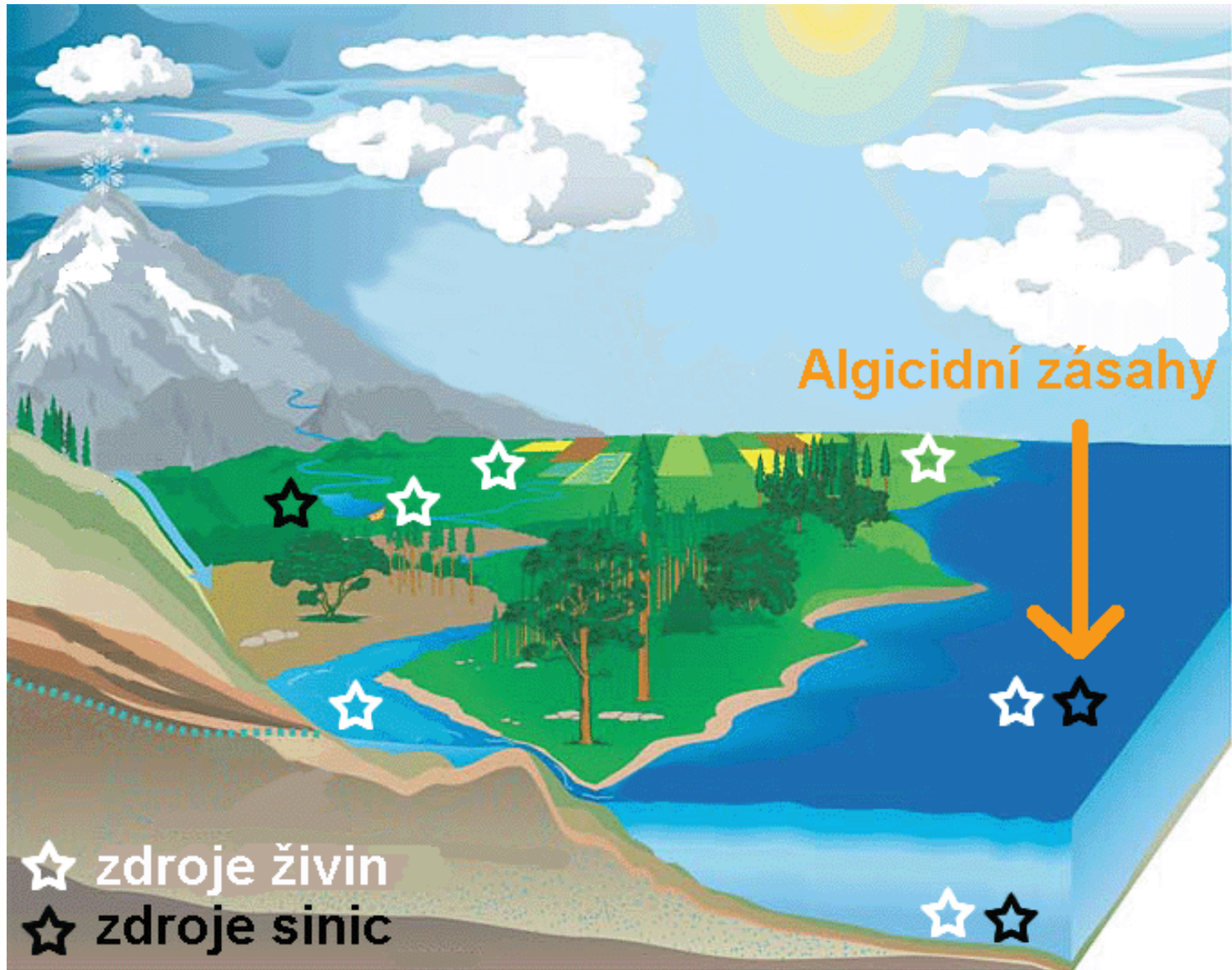
Pro masový rozvoj sinic postačuje koncentrace fosforu cca $20-25 \mu\text{g/L}$

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)

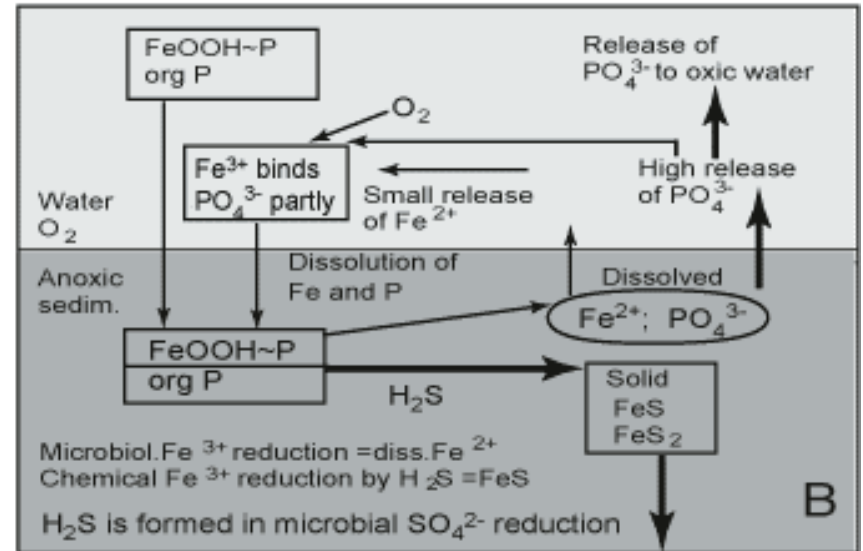
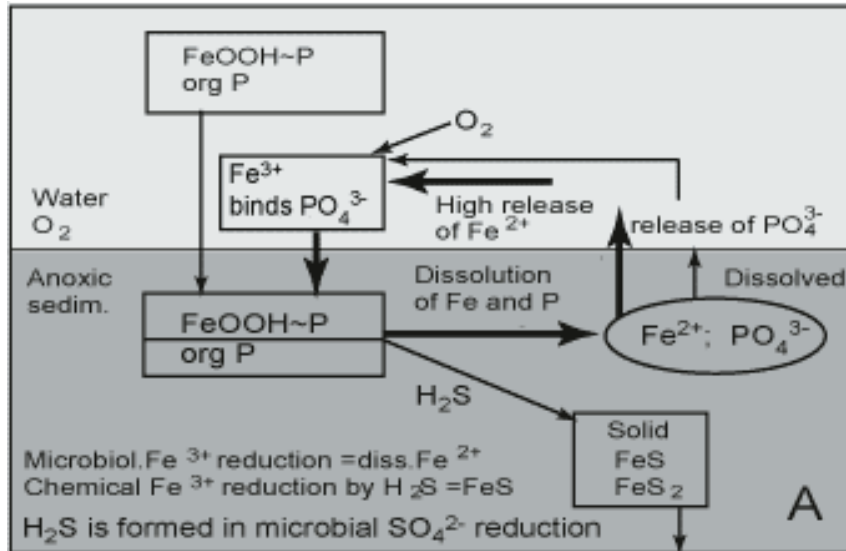
- průmyslové závody
- zemědělské objekty
- čistírny odpadních vod!
- rybníky... atd.

Difuzní zdroje - atmosferický spad

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

Zdroje fosforu v nádrži

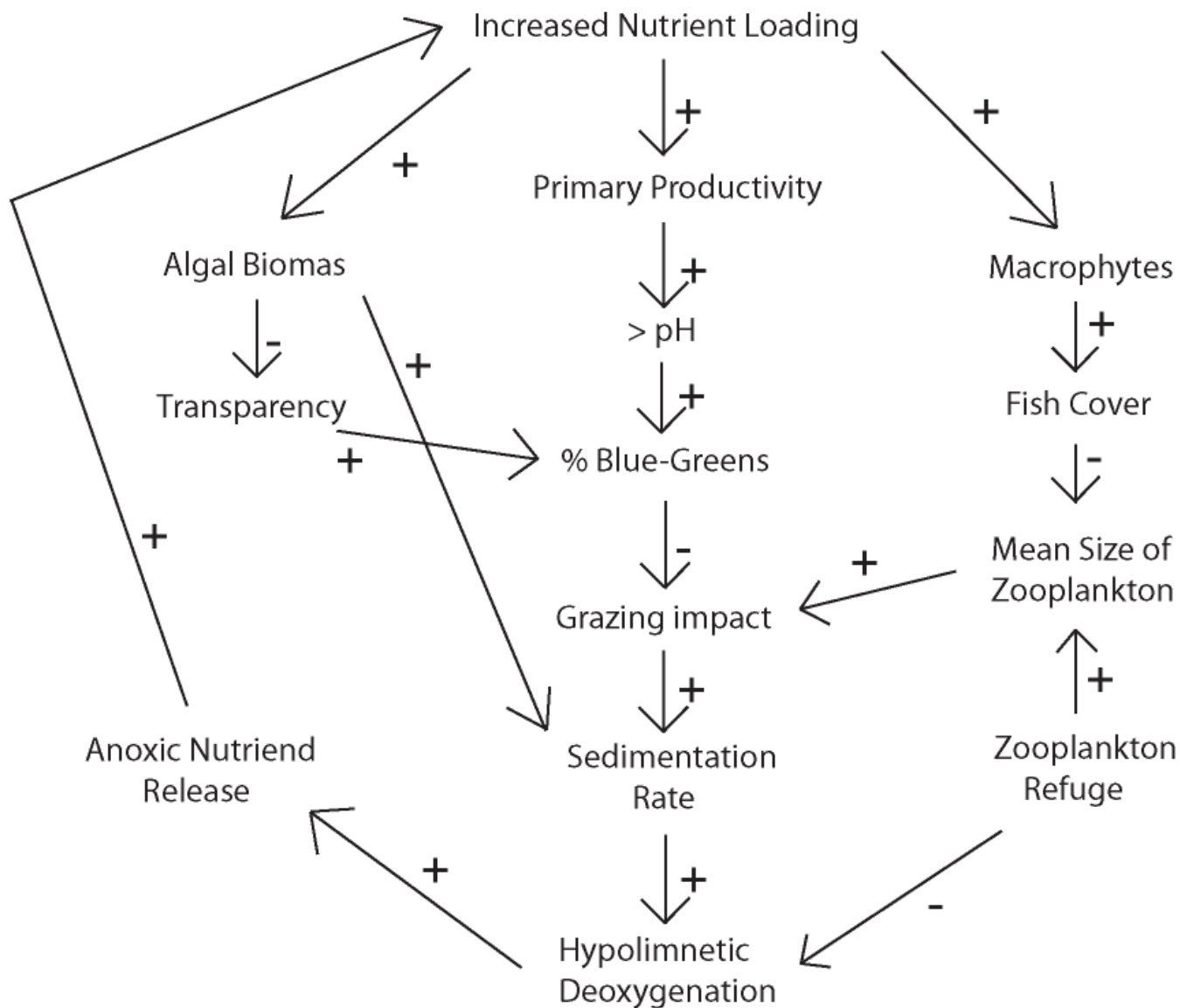
- Biomasa - řasy, rostliny, sinice, zooplankton, ryby ...
- Sediment - zásobárna fosforu nádrží
 - zpětné uvolňování do vodního sloupce za anoxických podmínek (role dusičnanů)



Zdroje sinic

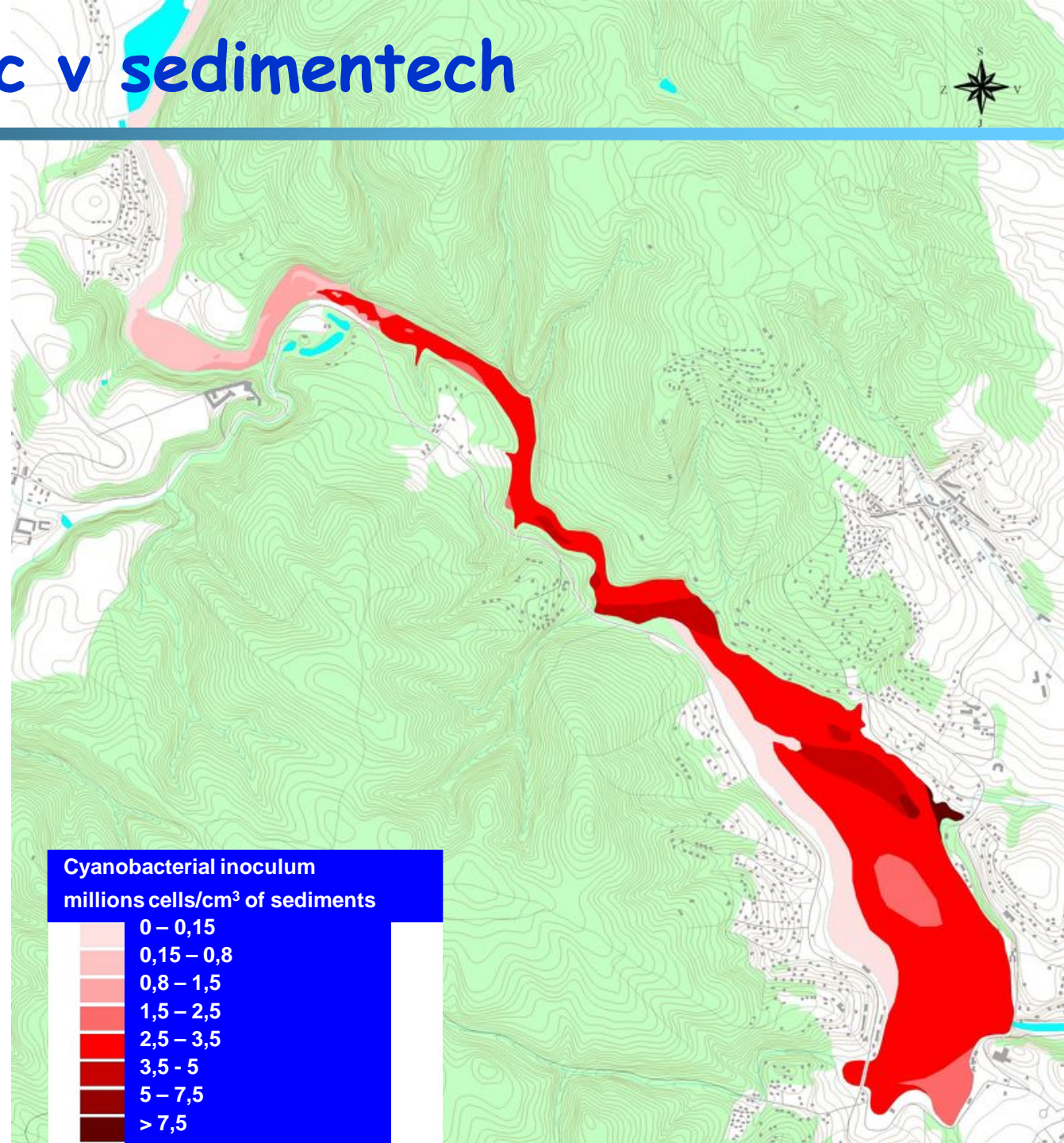
- Sinice jsou přirozenou součástí nádrží, avšak bez „pomoci“ člověka by se nikdy **znovu** nestaly dominantní skupinou autotrofů
- Povodí nad nádrží - rybníky, přehradý s masovým rozvojem sinic
- Sedimenty v nádržích s masovým rozvojem sinic

Vliv živin na potravní řetězec nádrže



Inokulum sinic v sedimentech

Brněnská
Přehrada
2002

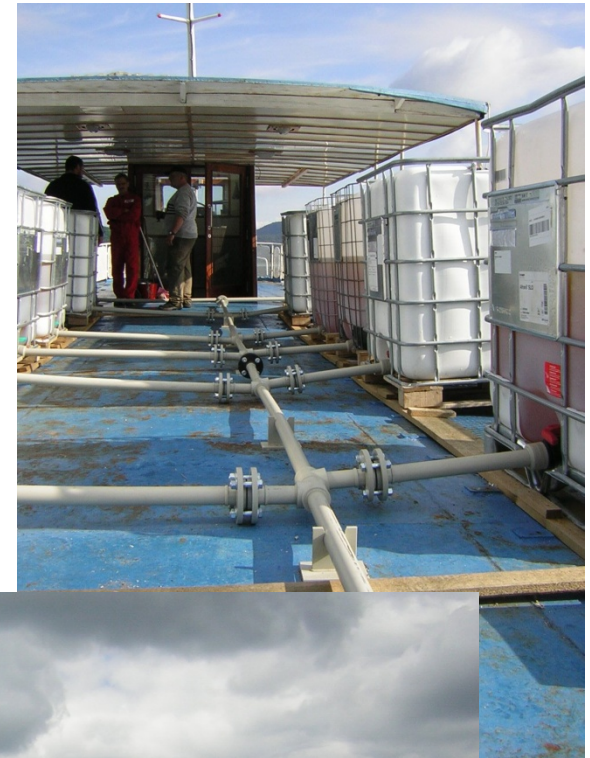


Snižování koncentrace fosforu v povodí

- 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

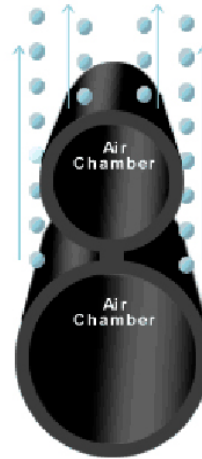
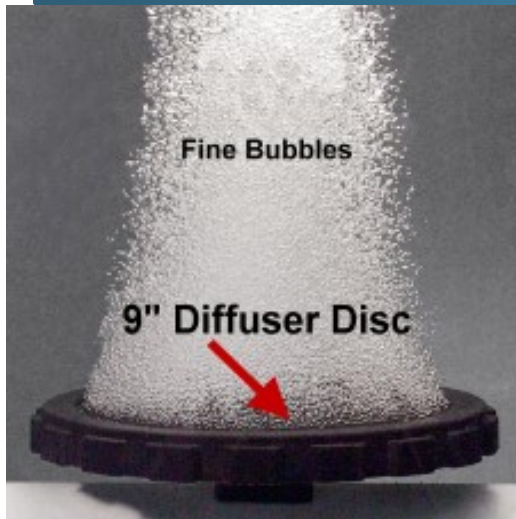
- Aplikace železa/hliníku
- Aplikace vápna
- Využití jílu
- Hypolimnické upouštění



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

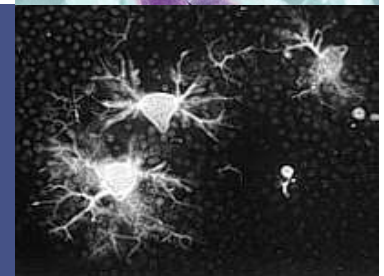
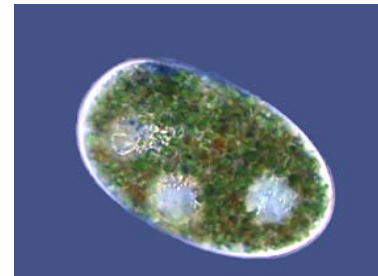
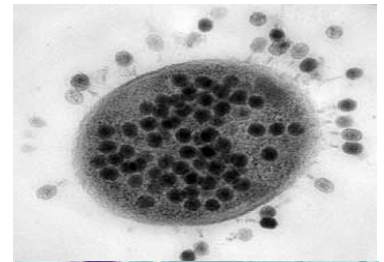


Ošetření sedimentů



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.)

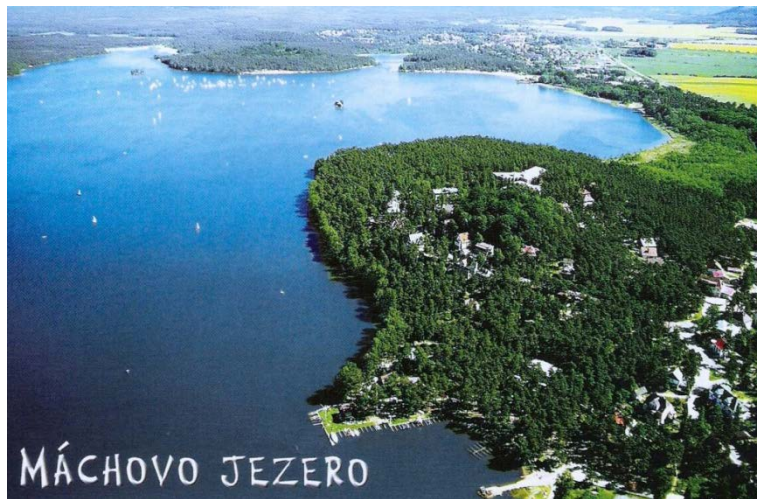


Aplikace algicidních přípravků

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