

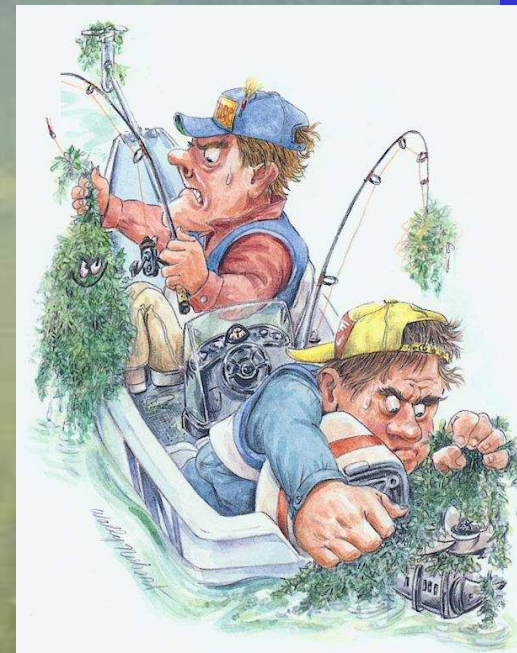
Vnitřní zatížení a eutrofizace

Nežádoucí důsledky eutrofizace



Fytoplankton a vodní květ:

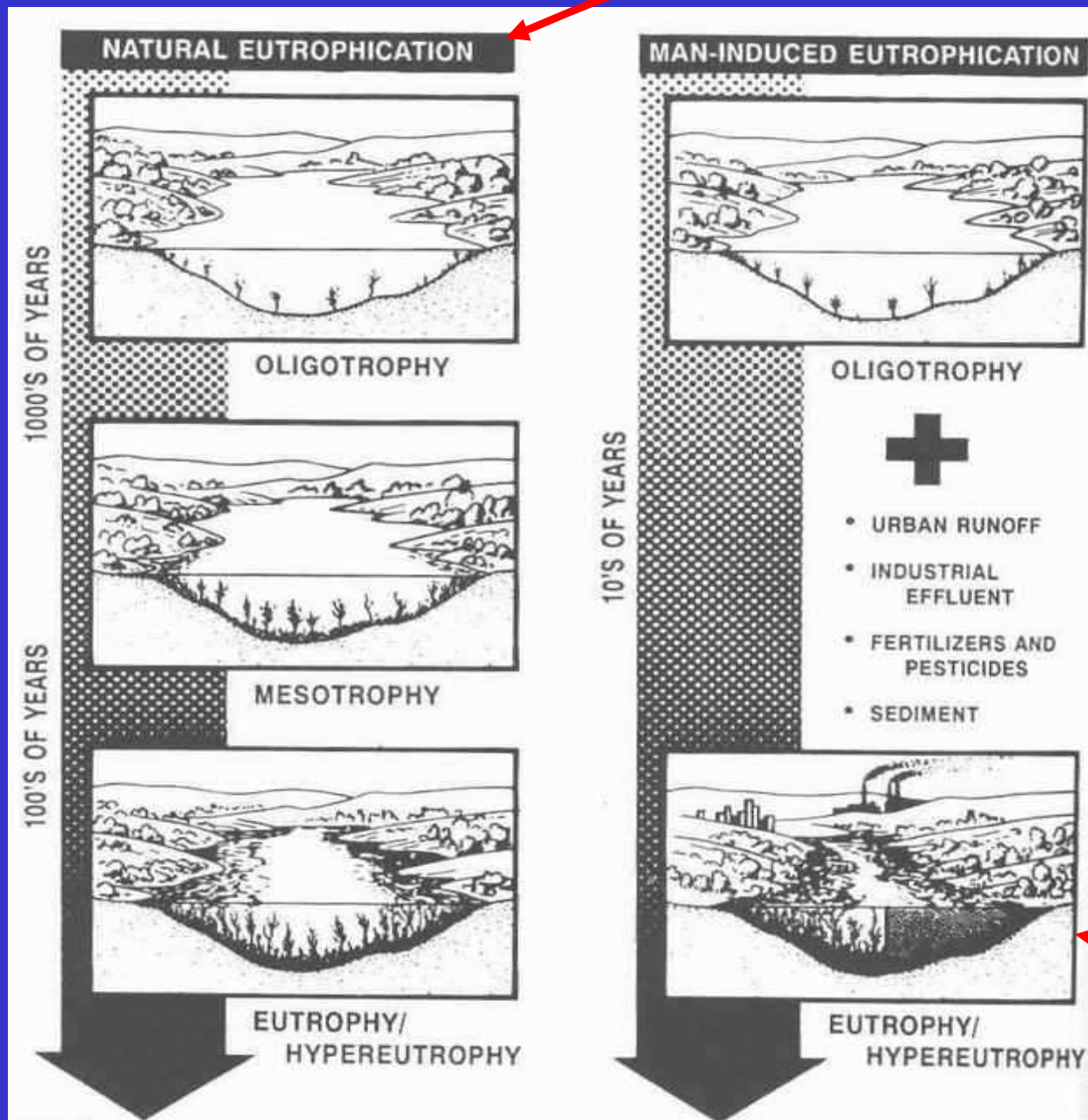
- pitná voda (toxiny, organismy, ...)
- rekreace
- anoxie hypolimnia
(ryby, koroze, ...)



Makrofyta:

- rekreace
- rybářství
- zvýšení koloběhu živin

Eutrofizace - přírodní vs. antropogenní



Přírodní eutrofizace:

- dlouhodobý jev
- poslední fáze zazemňování
- fytoplanktonní dominance není nevyhnutelná (záleží na koncentraci živin v přítoku)
- odraz charakteru povodí

Umělá eutrofizace:

- řádově rychlejší průběh
- důsledek znečištění
- obvykle vede k dominanci fytoplanktonu

Žádoucí důsledky eutrofizace: produkce ryb

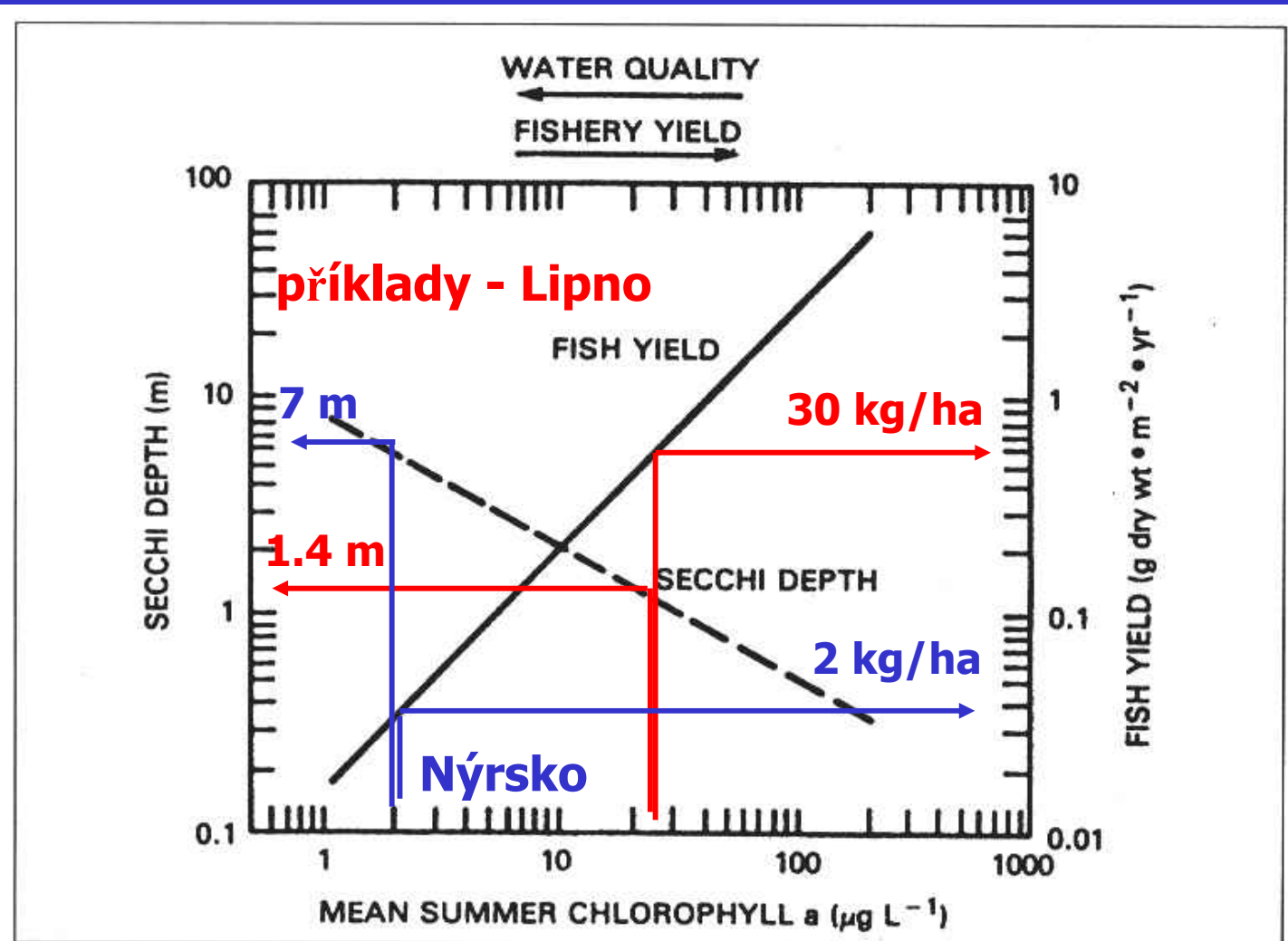


Figure 2-24.—Relationship between lake characteristics (e.g., Secchi depth, chlorophyll) and management objectives (e.g., water quality, fishery yield). Arrows denote decreased clarity and increased fish yield. Modified from Wagner and Oglesby (1984).

Eutrofizace - je nevratný proces?

Nemusí být - závisí např. na procesech v povodí, průtočnosti, hloubce, typu ekosystému (litorální, pelagický)

Příklad:

Lago di Monterosi, Itálie - palaeolimnologický záznam (Frey, 1980)

Vznik jezera
24 000 let př.n.l.

Smýcení povodí
pro via Casia
200 let př.n.l.

Trofie obnovena
700 let n.l.

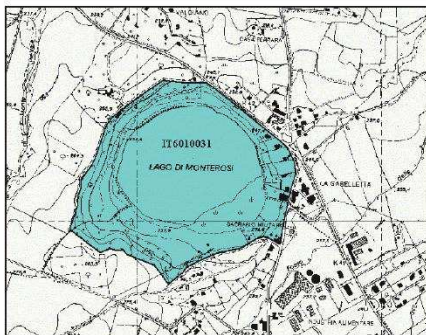
1970

Oligotrofní

Eutrofní

Oligotrofní

LAGO DI MONTEROSI



TIPOLOGIA	SIC (B)
REGIONE BIOGEOGRAFICA	Mediterranea
PROVINCIA	Viterbo
COMUNI	Monterosi, Nepi.
ESTENSIONE (ha)	51,1
ALTEZZA MEDIA (m s.l.m.)	236
RICADE IN DOCUP	Ob2

HABITAT

3150 Laghi eutrofici naturali con vegetazione del *Magnopotamion* o *Hydrocharition*



Faktory řídící úživnost nádrží a jezer

- koncentrace živin v přítoku:

geologie, morfologie, klima, hydrologie, půdy

- doba zdržení vody:

v kombinaci s přítokovou koncentrací určuje látkové zatížení

- hloubka:

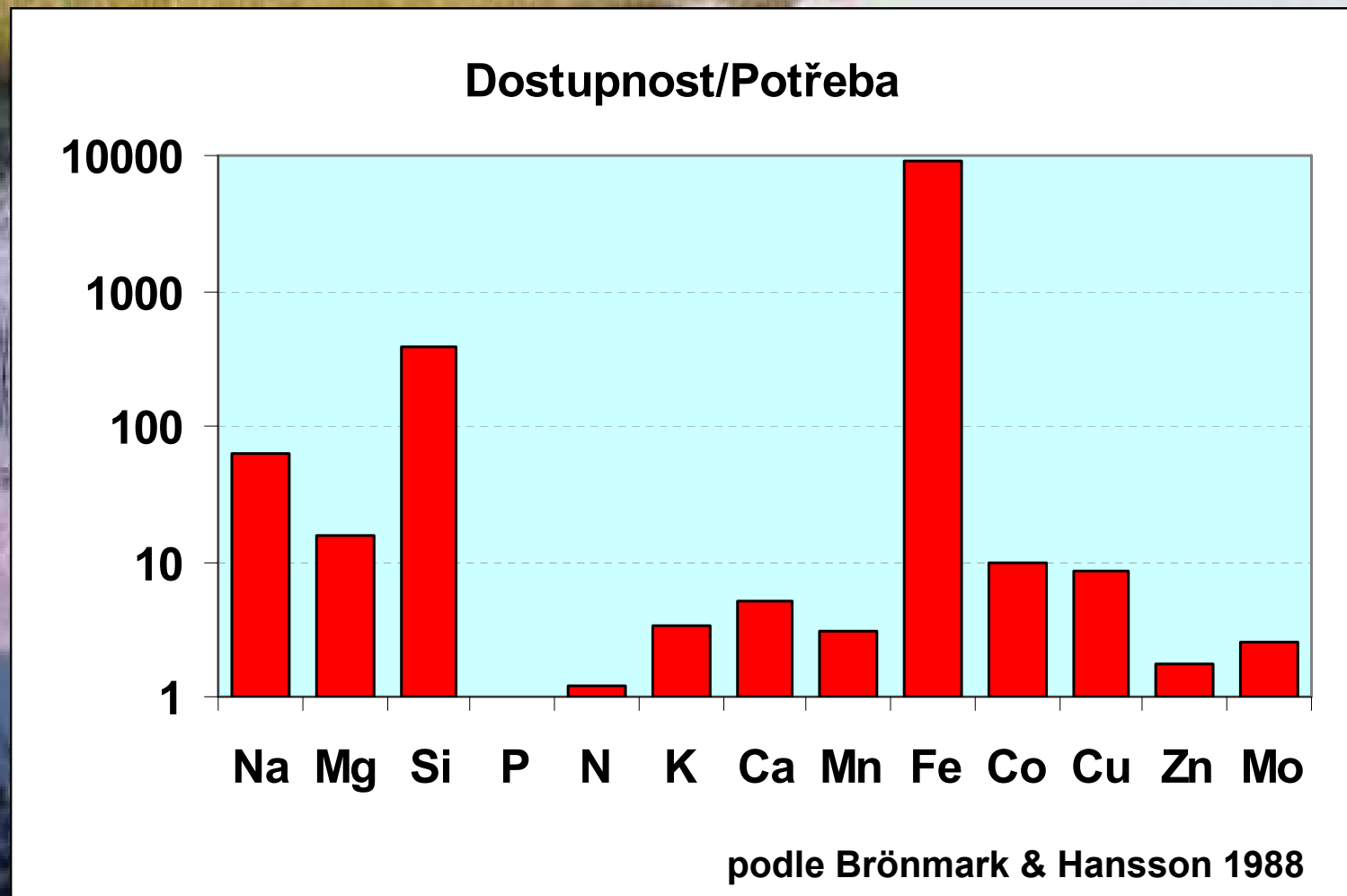
vliv na stratifikaci, sedimentaci, styk produkční vrstvy se sedimenty

- dominance typu vodního ekosystému:

litorální - retence živin vysoká, koloběh v příbřežních zónách

pelagický - zakalená voda, resuspenze, sedimentace v nejhlubších částech vodního tělesa

Fosfor – klíčová živina vodních ekosystémů



Vnější zdroje fosforu

Atmosférická depozice – aeolitická eroze, sopky, emise, kosmický prach, organogenní částice, fosfin
 $P_{\text{celk}} \sim 0,01-0,03$ (max 0,1) mg/l

Povrchový odtok - přírodní pozadí

koncentrace závisejí na geologii, typu a druhu půd a erozi
 $RRP \sim <0,01-0,03$ mg/l, $P_{\text{celk}} \sim <0,01-10^{-1}$ mg/l

Povrchový odtok – zemědělství

důsledky zvýšené eroze, hnojení (kapacita půdního komplexu, povrchové splachy), odvodnění
 $RRP \sim <0,01-0,5$ mg/l, $P_{\text{celk}} \sim <0,01-10^0$ mg/l

Odpadní vody

lidská produkce $\sim 1,5$ g/d + 0,8 g/d
 $P_{\text{celk}} \sim 8-15$ mg/l; 0,004 mg/l/obyv./km² (v podmínkách ČR)

Modely koncentrace živin

(Vollenweider 1969, Chapra 1975)

Předpoklady:

- ustálený stav (ideálně míchaný reaktor)
- retence je závislá na koncentraci (tj. reakční mechanismus 1. řádu)

Retenční koeficient R :

$$R = \frac{vstup - výstup}{vstup}$$

mechanismy retence: usazování, ztráty do atmosféry, změna formy

Dva základní přístupy:

A. Retence - funkce objemu (Vollenweider, 1969)

vstup

odtok

sedim./
ztráta

$$\frac{d[X]}{dt} = \frac{1}{\tau} [X_{in}] - \frac{1}{\tau} [X] - \sigma_X [X]$$

$$\sigma_X = \frac{1}{\tau} \frac{[X_{in}] - [X]}{[X]}$$

$$R = \frac{\sigma_X}{\sigma_X + \frac{1}{\tau}} = \frac{\sigma_X \tau}{\sigma_X \tau + 1}$$

B. Retence - funkce zatížení (Chapra, 1975)

vstup

odtok

sedim./
ztráta

$$\frac{d[X]}{dt} z = \frac{z}{\tau} [X_{in}] - \frac{z}{\tau} [X] - v_X [X]$$

$$v_X = q_w \frac{[X_{in}] - [X]}{[X]}$$

$$R = \frac{v_X}{v_X + q_w} = \frac{v_X \tau + z}{v_X \tau + z}$$

$[X]$ – koncentrace látky X v jezeře ($\mu\text{g l}^{-1}$; mg l^{-1})

$[X_{in}]$ – koncentrace ve vstupech ($\mu\text{g l}^{-1}$; mg l^{-1})

τ – doba zdržení vody (rok)

q_w – plošné zatížení vodou (m rok^{-1})

σ_X – sedimentační / rychlostní součinitel (rok^{-1})

v_X – usazovací rychlost (m rok^{-1})

Príklady modelů P:

Vollenweider (1969)

konstanta

$$R_P = \frac{0.5\tau}{0.5\tau + 1} \quad (\sigma_P = 0.5 \text{ yr}^{-1})$$

Chapra (1975)

závislost na z

$$R_P = \frac{16\tau}{16\tau + z} \quad (\sigma_P = 16/z)$$

Vollenweider (1976),
Mercier&Larsen (1976)

$$R_P = \frac{\sqrt{\tau}}{\sqrt{\tau} + 1} \quad (\sigma_P = \frac{1}{\sqrt{\tau}})$$

závislost na τ

Frisk (1980)

závislost na $[P_{in}]$

$$R_P = \frac{0.034[P_{in}]\tau}{0.034[P_{in}]\tau + 1} \quad (\sigma_P = 0.034[P_{in}])$$

OECD (1982)

$$R = 1 - \frac{1.55 \left(\frac{[P_{in}]}{1 + \sqrt{\tau}} \right)^{0.81}}{[P_{in}]}$$

Nürnberg (1984)

$$R_P = \frac{15\tau}{18\tau + z}$$

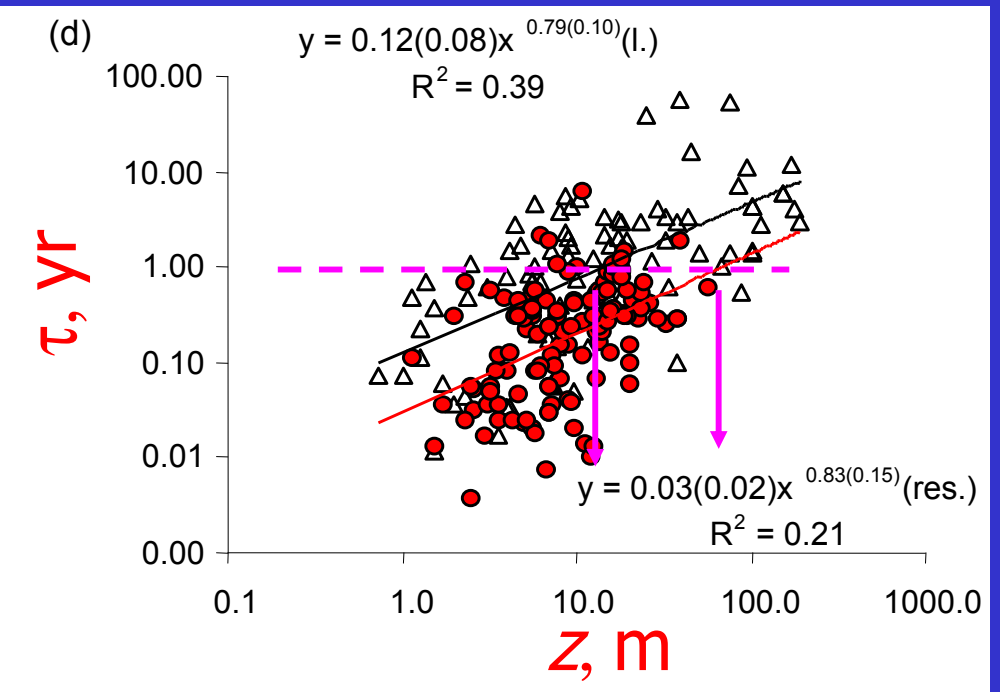
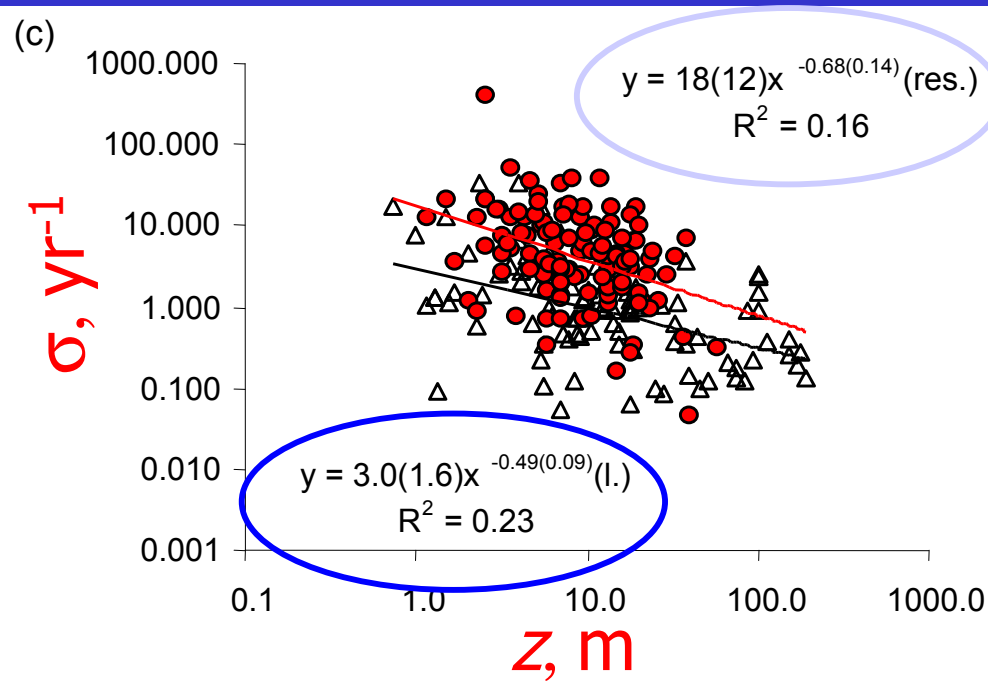
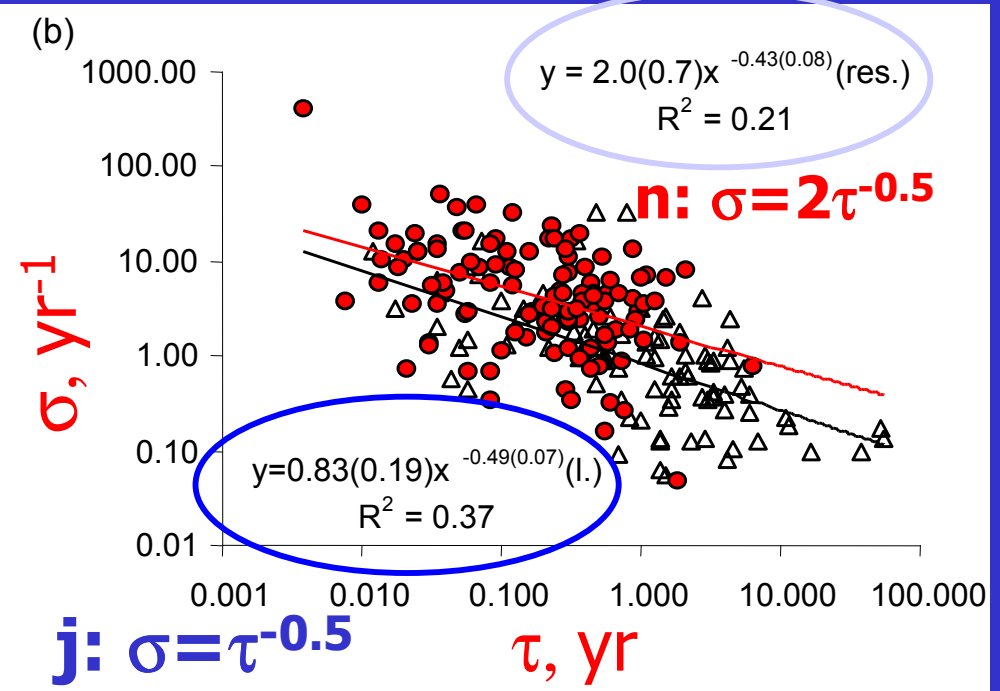
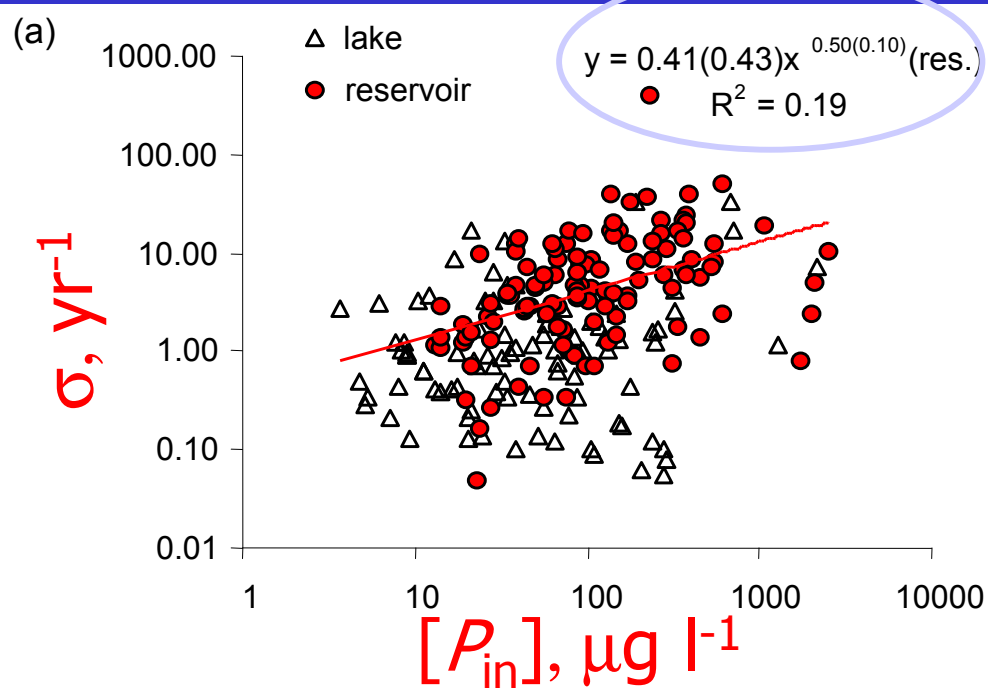
Prairie (1989)

$$R_P = \frac{0.25 + 0.18\tau}{1 + 0.18\tau}$$

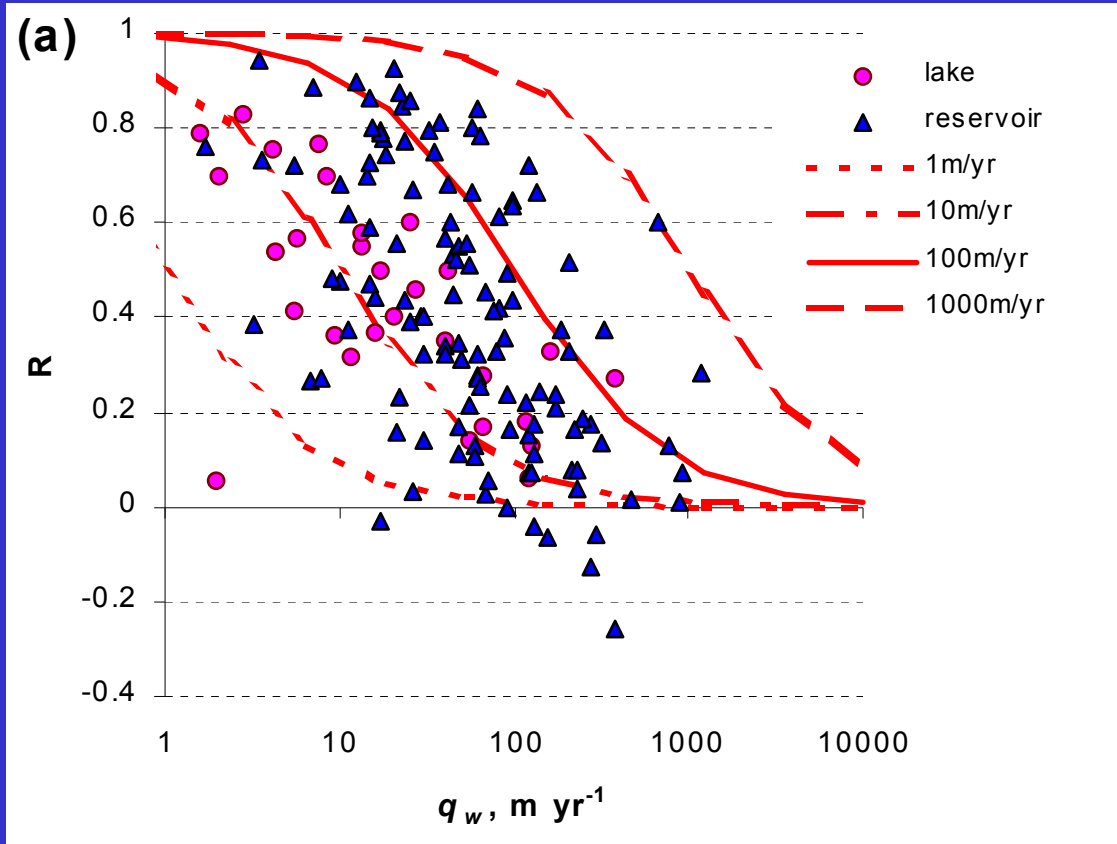
empirické

Autokorelace $\sigma, \tau, z, [P_{in}]$

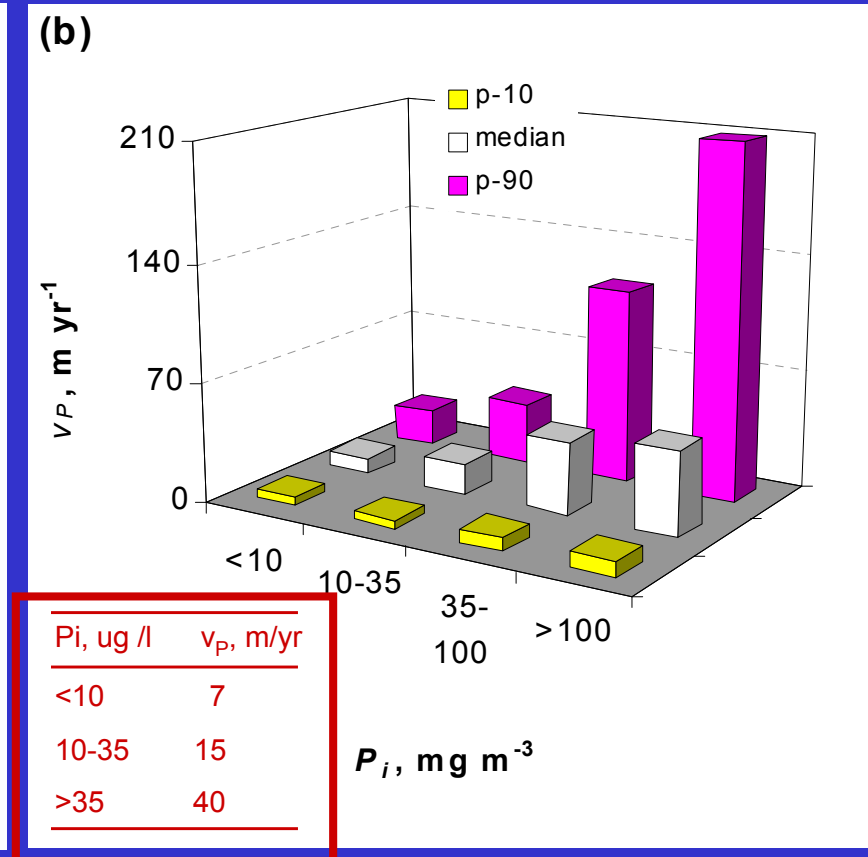
(soubor 93 jezer a 120 nádrží)



Závislost $R_P = v_P / (v_P + q_W)$



Závislost $v_P = f(P_i)$

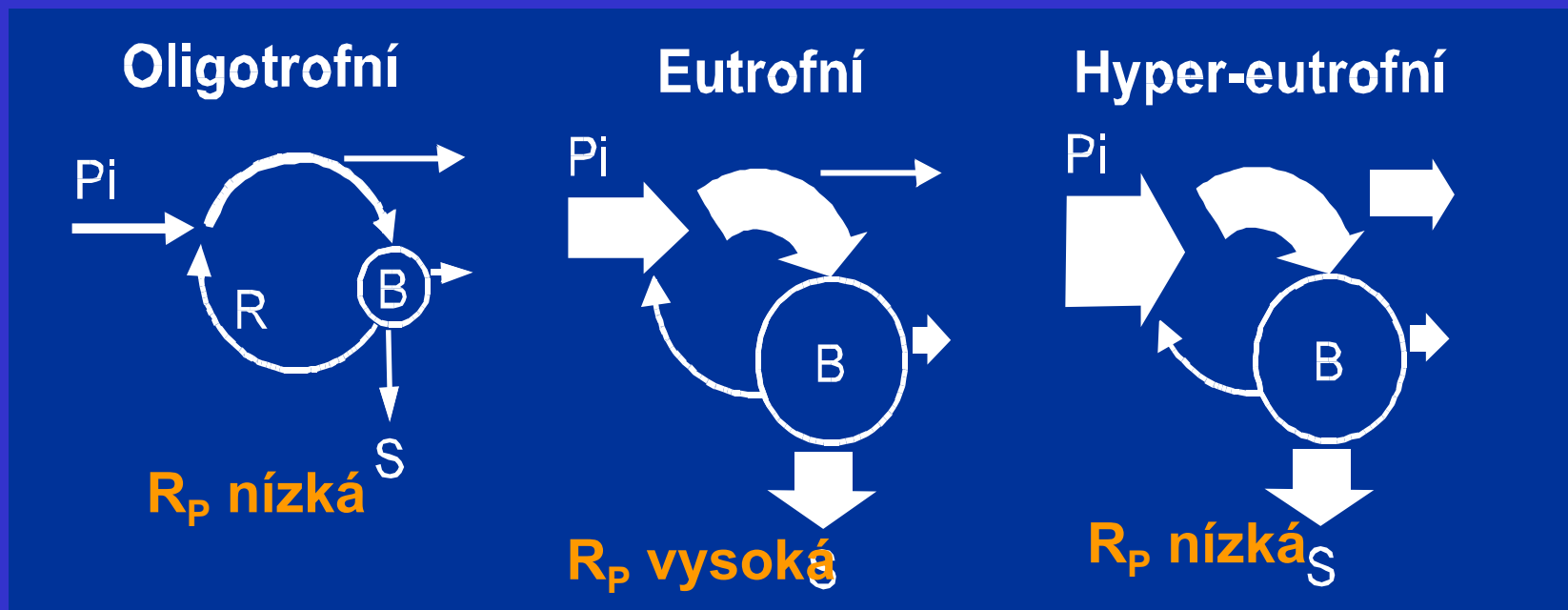


Absolutní průměrná chyba (AME) modelu R_P :

P_i , ug/l	<10	10-35	35-100	>100
AME	0.09	0.13	0.16	0.19
(rozsah)	(0.05-0.19)	(0.01-0.42)	(0-0.54)	(0-0.59)

Faktory ovlivňující R_p :

- formy P ve vstupech (PP - minerální / organický)
(Wetzel 1975, Straškraba et al. 1995)
- hydrodynamika (stratifikace, hloubka výpustí)
(Straškraba et al. 1995, Duras & Hejzlar 2001, Kennedy et al. 2002)
- stupeň limitace fytoplanktonu P (recyklace / sedimentace)
(Reynolds 1984)



Faktory ovlivňující R_p :

- formy P ve vstupech (PP - minerální / organický)
(Wetzel 1975, Straškraba et al. 1995)
- hydrodynamika (stratifikace, hloubka výpustí)
(Straškraba et al. 1995, Duras & Hejzlar 2001, Kennedy et al. 2002)
- stupeň limitace fytoplanktonu P (recyklace / sedimentace)
(Reynolds 1984)
- typ vodního ekosystému (dominance makrofyta / fytoplankton)
(Hansson 1992)
- chemismus vody a sedimentů (O_2 , NO_3^- , SO_4^{2-} , S^{2-} , Ca, Al, Fe)
(Mortimer 1941, Bostrom 1988, Gachter & Muller 2002)
- morfologie (protáhlá/kompaktní vodní tělesa)
(Higgins & Kim 1981, Hejzlar & Vyhnálek 1988)

Závěry k modelům P

- popisují "průměrný" stav
- přesnost je malá
- příčiny odchylek tkví v koloběhu živin uvnitř vodního ekosystému

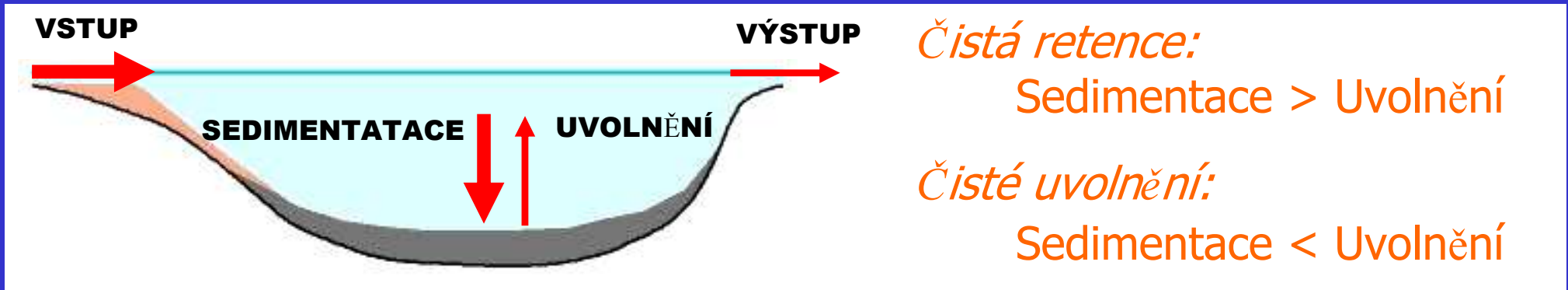
Koloběh P ve vodním ekosystému (vnitřní zatížení)

Důležité faktory:

- využití P ve vodním sloupci (frakce P v přítoku - např. P_{rozp} , $P_{\text{p-org}}$, $P_{\text{p-min}}$)
- chemismus sedimentu
- stratifikace x míchání vodního sloupce (důsledek morfologie,
spojení koloběhu P s hydrologickým režimem nádrže)
- kyslíkové poměry v hypolimniu
- biologická struktura ekosystému (makrofyta, zooplankton, ryby, ptactvo)

Vnitřní zatížení P a jeho hodnocení

Vnitřní zatížení = Uvolňování ze sedimentu



- Vnitřní zatížení
- jedna složka koloběhu mezi sedimentem a vodou
 - vysoké v mělkých, polymiktických nádržích
 - nevýznamné, je-li doba zdržení vody krátká (<1 r)
 - závisí na poměru "zatížení P : vazebná kapacita minerální složky sedimentu"
 - ovlivňováno fyzikálními, chemickými a biologickými vlastnostmi sedimentu

Hodnocení vnitřního zatžení P:

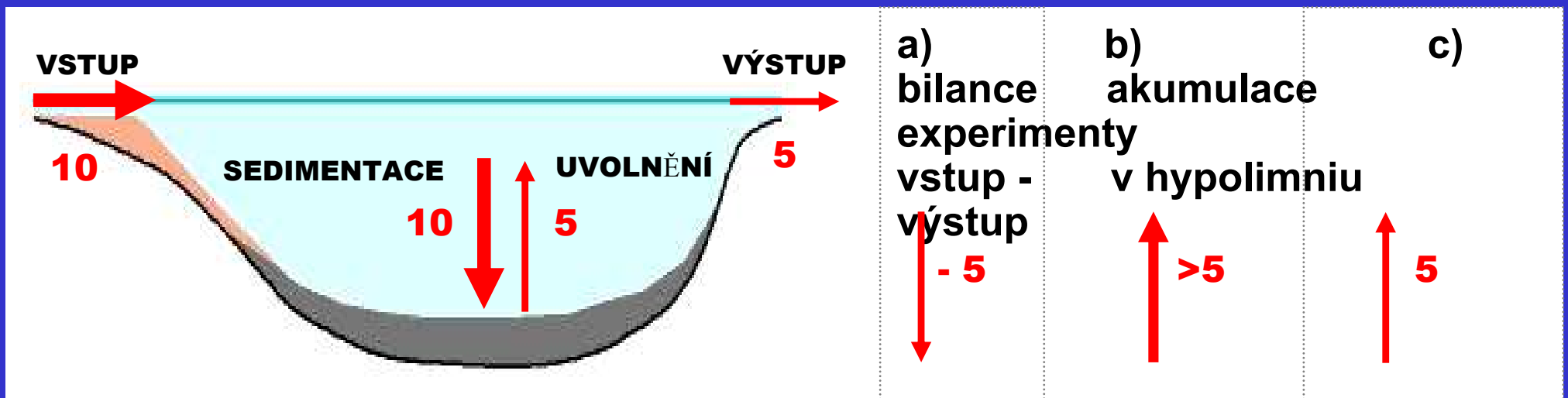
i. intenzita uvolňování, ii. potenciál, iii. mechanismy, iv. indikátory

i. Zjevná rychlost uvolňování (pro reálné podmínky v nádrži)

a) bilance "vstup – výstup – změna stavu" (pouze čisté uvolňování)

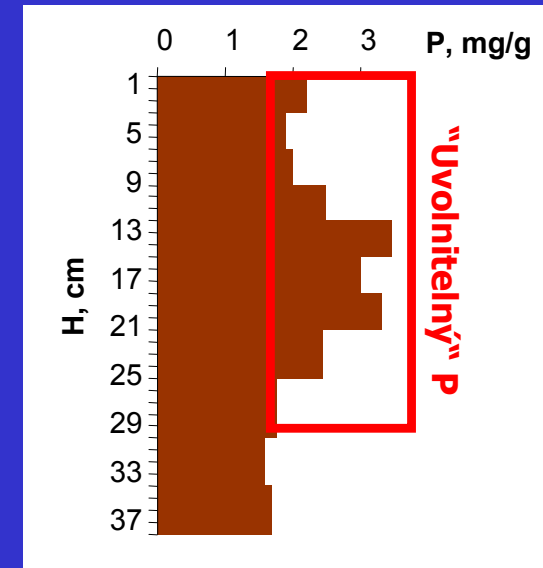
b) akumulace P in hypolimniu (uvolňování+mineralizace ve vodě)

c) experimentální inkubace / gradient v pórové vodě sedimentu (uvolňování)



ii. Potenciál uvolňování P (všechny uvolnitelné frakce za jakýchkoliv podmínek)

a) změny v koncentračním profilu P

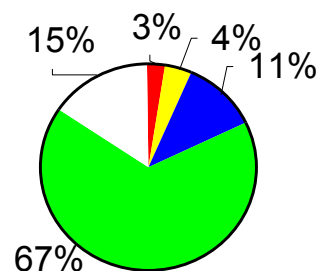


b) chemické extrakční metody

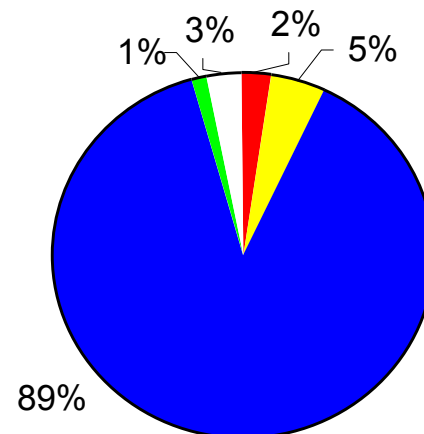
Frakcionace P (e.g., Psenner & Pucsko 1988)

1. volně vázaný (H_2O), 2. redoxně labilní (BD), 3. vázaný na hydroxyoxidy kovů ($NaOH_{20^\circ C}$), 4. apatitový (HCl), 5. refraktorní-organicky vázaný ($NaOH_{85^\circ C}$)

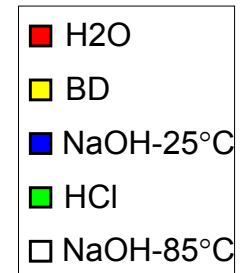
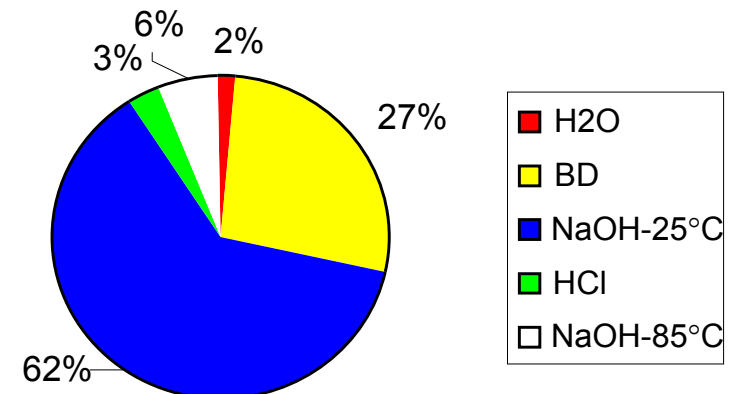
jezero s tvrdou vodou



acidifikované jezero



nádrž s měkkou vodou



iii. Mechanismy retence/uvolňování P (pro reálné nádržové podmínky)

a) hlavní vazebné sloučeniny:

Fe (nejčastěji), Al (acidifikovaná povodí), Ca (tvrdé vody),

b) retenční procesy:

sedimentace (P_{p-min}), mineralizace (P_{p-org}) + adsorpce/srážení

c) mechanismy uvolňování:

mineralizace, rozpouštění/desorpce závislé na pH-pE

resuspenze, bioturbace

hlavní faktory >>>>

Faktory ovlivňující uvolňování fosforu ze sedimentů

Teplota

zvýšení bakteriální aktivity

Oxidačně-redukční podmínky

redukce a rozpouštění sloučenin P-Fe, P-Mn

pH

výměna PO_4^{3-} za ionty OH^- ve sloučeninách s Fe, Mn, Al
rozpuštěnost Fe a Al hydratovaných oxidů

Fyzikální procesy

difuze

míchání vody nad sedimentem

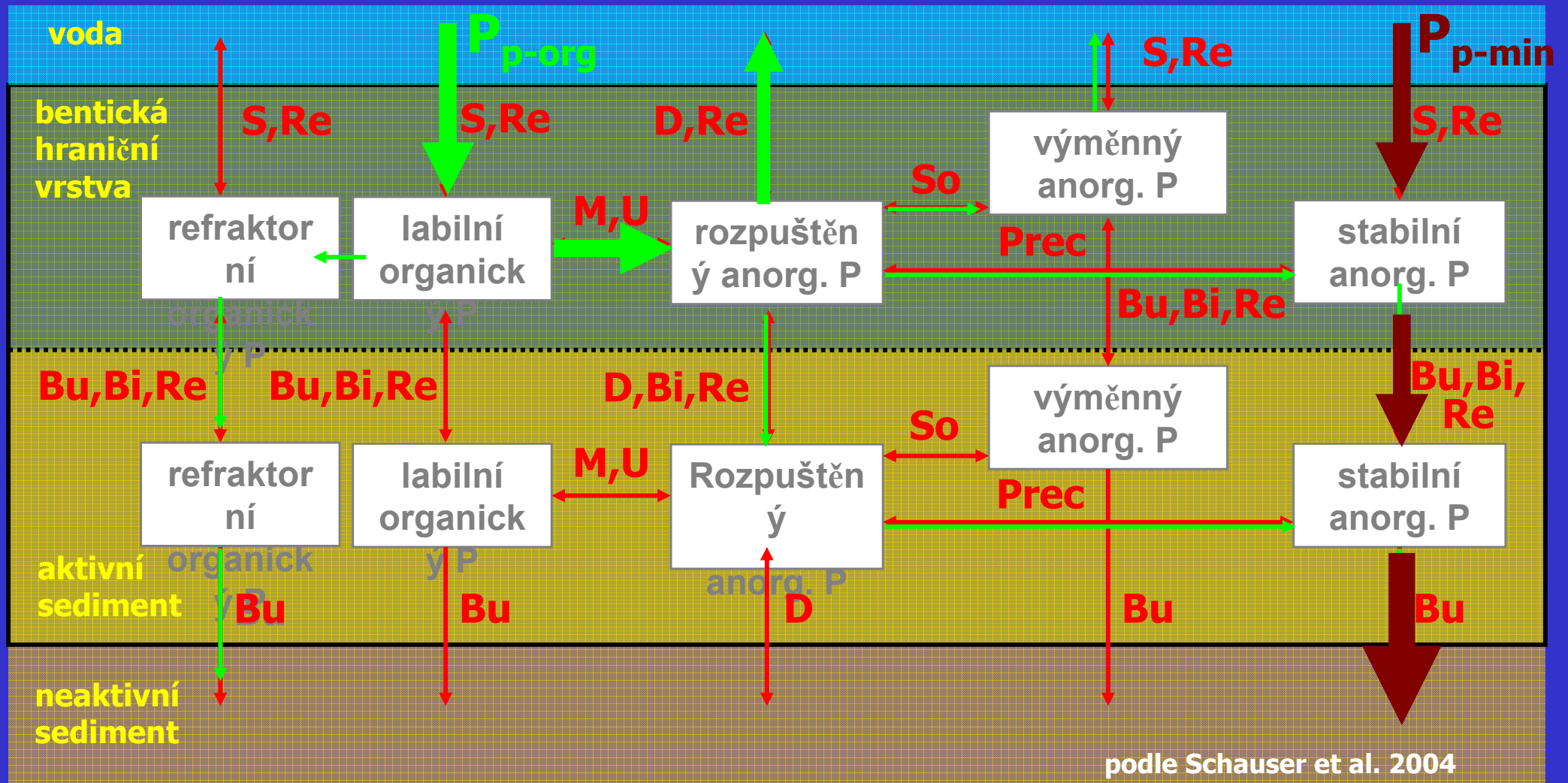
Biologické faktory

Bioturbace

- zrychlení výměny vody mezi pórovou a okolní vodou
- narušení bariéry oxidovaných sloučenin

Bakteriální aktivita a mineralizační procesy

Diagenetické přeměny forem P v sedimentech



Bi – bioturbace, Bu – pohřbení, D – difuze, M – mineralizace, Prec – srážení, U – příjem organismy, Re – resuspenze, S – sedimentace, So – sorpce

iv. Indikátory mechanismu uvolňování P

Žádné uvolňování:

P v sedimentující sestoně : P v sedimentu < 1

$\text{Fe}_{\text{celk}}:\text{P}_{\text{celk}}$ v sedimentu > 15 (Jensen et al. 1992)

$\text{Fe(II)}:\text{P}_{\text{rozp}}$ v pórové vodě > 1 (Phillips et al. 1994)

$\text{Al(OH)}_3:\text{Fe(OH)}_x$ v sedimentu > 3

nebo

$\text{Al(OH)}_3:\text{Fe(OH)}_x$ v sedimentu < 3 a dále

$\text{Al(OH)}_3:\text{P}_{\text{H}_2\text{O}+\text{BD}}$ v sedimentu > 25 (Kopáček et al. 2005)

Opatření pro snížení vnitřního zatížení P

Opatření	Řídící faktor	Efektivita	Životnost opatření
Oxidace NO_3^- nebo O_2	redox potenciál	nízká	krátkodobá
Srážení Al	chem.vazba	vysoká	krátka - dlouhodobá
Srážení Fe	chem.vazba	nízká - vysoká	krátkodobá
Koprecipitation s vápencem	chem.vazba	nízká - vysoká	krátka - dlouhodobá
Překrytí	chem.vazba a porozita	záleží na vazbě P	krátka - dlouhodobá
Odtěžení	obsah P	nízká - vysoká	krátkodobá
Hypolimnetické vypouštění	koncentrace P v hypolimniu	nízká	dlouhodobá

Revitalizace nádrže prostřednictvím řízení uvolňování fosforu ze sedimentu

EXPERTNÍ SYSTÉM (Schauer et al. 2003)



PERGAMON

Water Research 37 (2003) 801–812

**WATER
RESEARCH**

www.elsevier.com/locate/watres

Decision support for the selection of an appropriate in-lake measure to influence the phosphorus retention in sediments

Inke Schauer, Jörg Lewandowski, Michael Hupfer*

Leibniz-Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries, Müggelseedamm 301, D-12561 Berlin, Germany

Received 24 January 2002; received in revised form 8 July 2002; accepted 3 September 2002

Abstract

Many in-lake measures which aimed to influence the phosphorus retention in lake sediments have failed to improve the trophic state of the lakes. The present paper introduces a systematic approach to select an appropriate in-lake measure. Before selecting an in-lake measure the goal of the measure should be defined, the problems of the lake

Vývojový diagram expertního systému

PŘEDPOKLADY:

1. Je řízení pomocí limitace P vhodné pro danou nádrž a cíl?
2. Je dosažení cílové úživnosti realistické?
3. Je další snížení vnějšího zatížení nemožné?

3x ANO: expertní systém je vhodný

EXPERTNÍ SYSTÉM

A. Předvýběr: Vyloučí se nevhodná opatření srovnáním jednotlivých opatření s třídami vhodnosti (viz tab. Schauser et al. 2004)

- současně a kritické vnější zatížení
- časové charakteristiky nádrže – τ , adaptační doba, životnost opatření
- morfologie nádrže – hloubka, stratifikace

Formalizované hodnocení významu a vhodnosti

B. Výběr: Nejvhodnější opatření podle kritéria náklady/účinnost

Hodnocení specialisty

Vhodná opatření

Nevhodná opatření

Příklad – nádrž Jordán

(hypertrofie pro dlouhodobé zaústění splaškových odpadních vod a difusní znečištění v povodí)

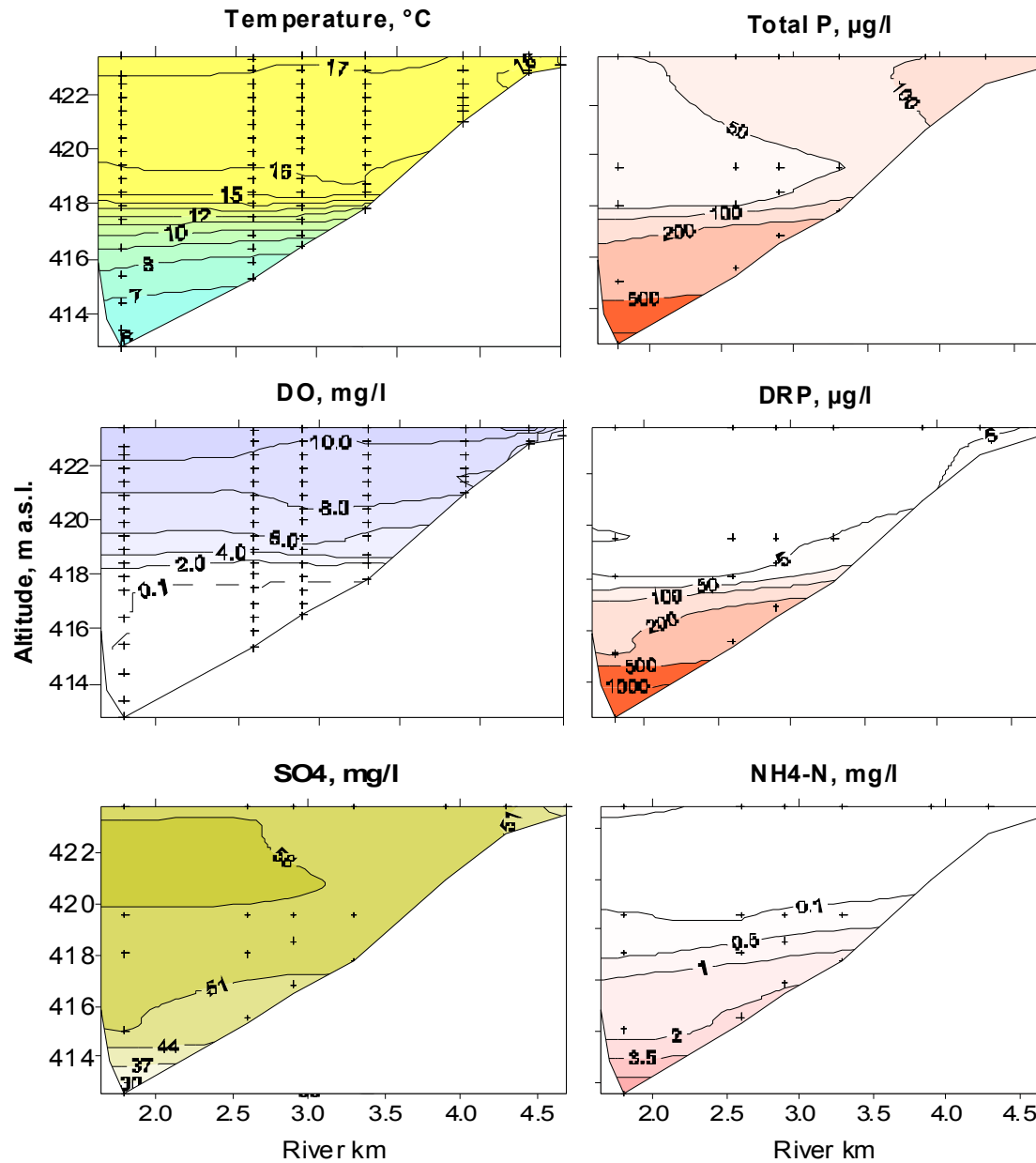
Charakteristika	Hodnota*
Plocha	0.43 km ²
Objem	2.2 mil. m ³
Max./Prům.houbka	11 m/5.1 m
Doba zdržení vody	0.25 yr
Vnější zatížení P	2.1 g m ⁻² r ⁻¹
Konc. P v přítoku	102 mg m ⁻³
Konc. P v odtoku	94 mg m ⁻³
Konc. P v nádrži	104 mg m ⁻³
Chlorofyll a	20 mg m ⁻³
Výpusti	povrchové

* průměr 2000, 2001, 2003

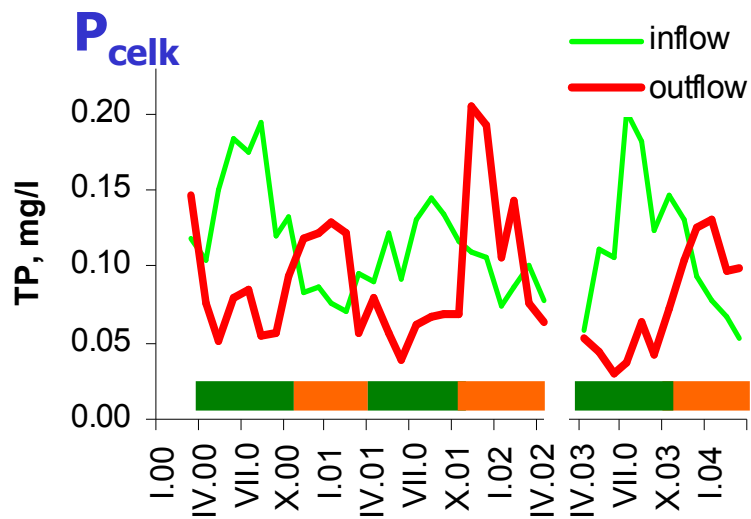


Podélný profil chemismu vody

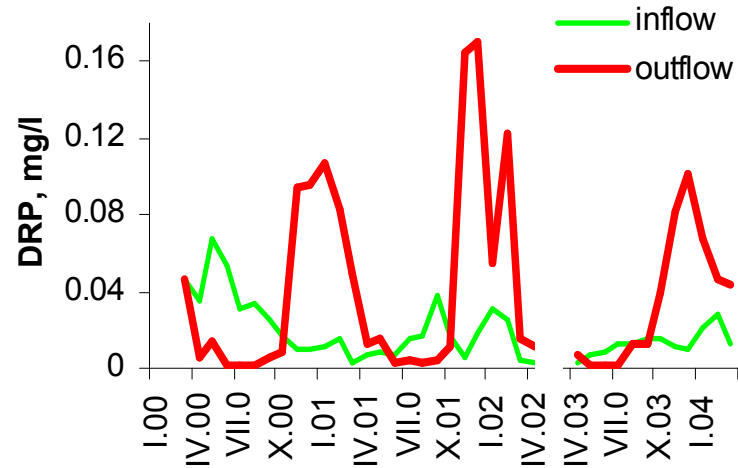
4. září 2000



Změny koncentrace P přítok-odtok



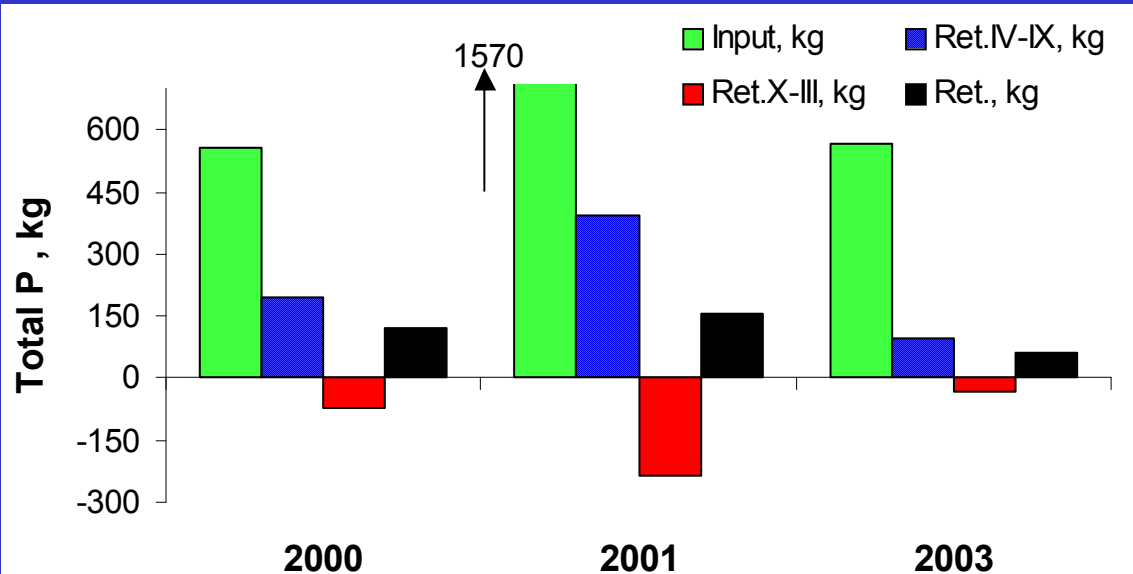
DRP



- letní stratifikace - usazování P
- mimovegetační období - mineralizace a uvolňování

Bilance přítok-odtok:

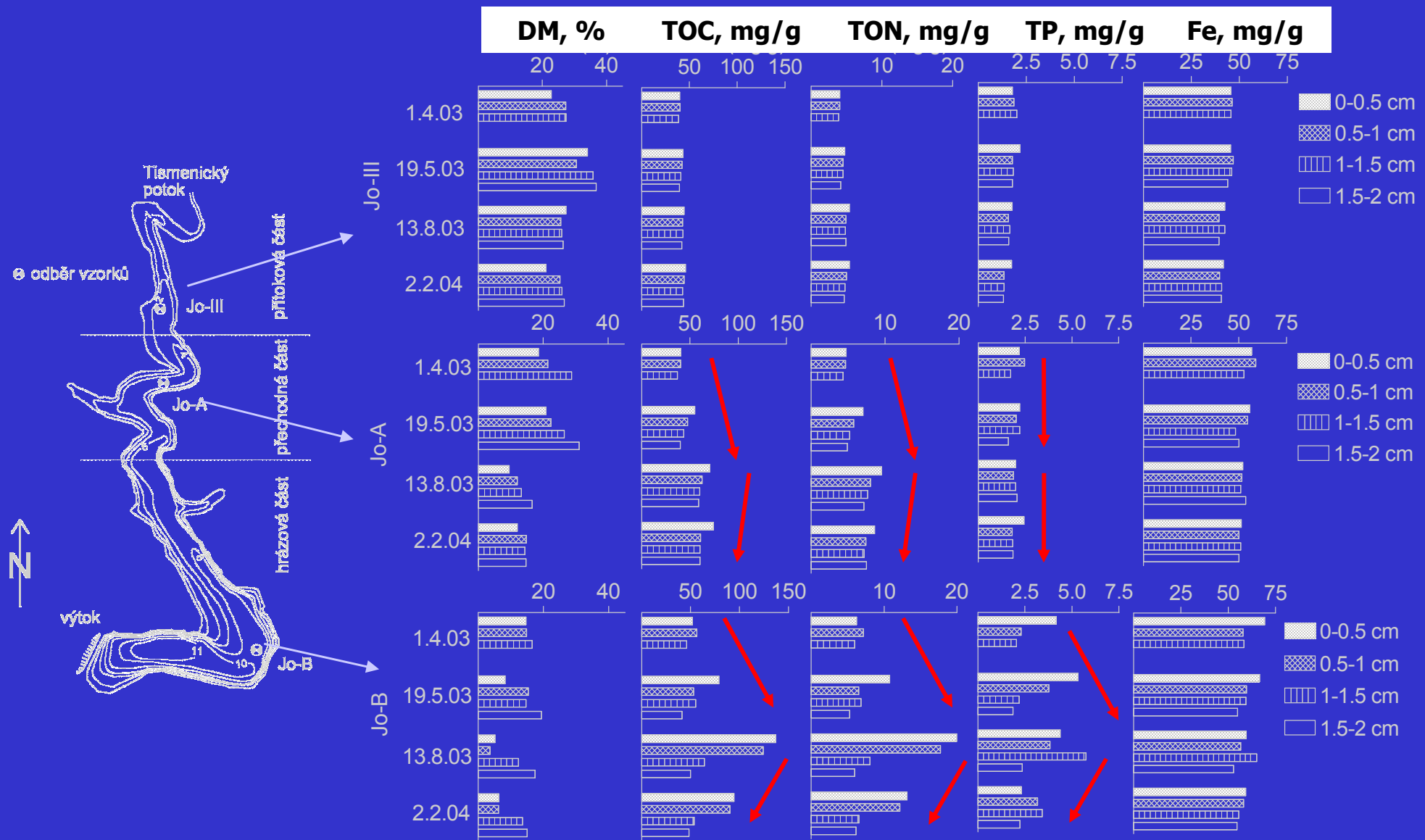
$$\text{Retence} = P_{\text{in}} - P_{\text{out}} - P_{\text{accum}}$$



Ret.X-III ≈ Uvolnění

Rok	Uvolňování	
	[kg]	[% Ret.IV-IX]
2000	73	38
2001	238	60
2003	33	35

Sezónní změny ve složení sedimentu

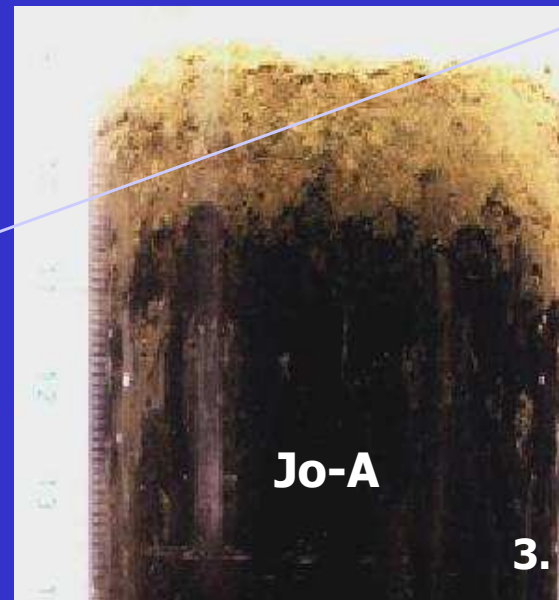
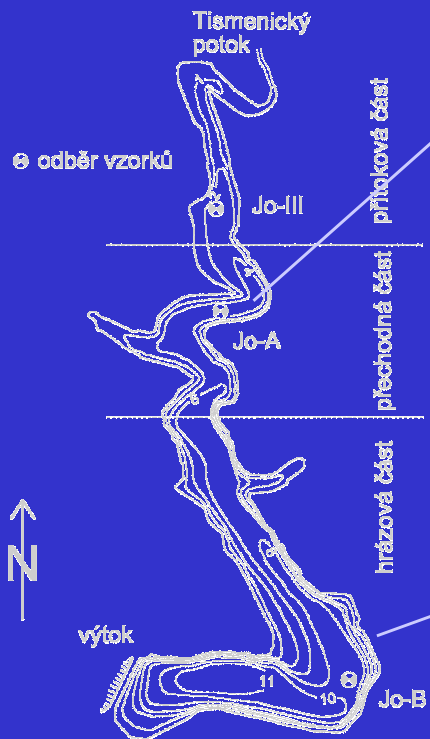
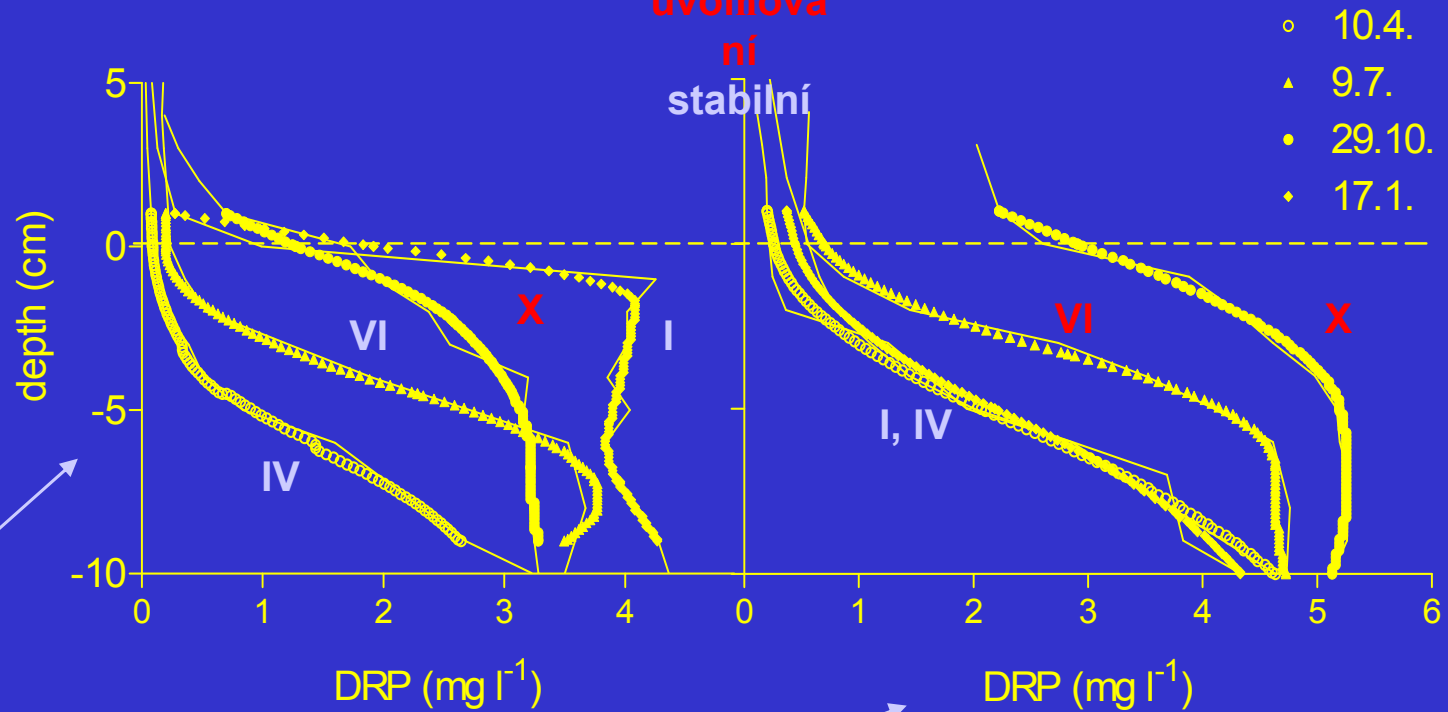


Přítoková část – rychlý obrat P ze sedimentujícího sestonu
Stratifikovaná jezerní část – roční cyklus sedimentace-uvolňování

Pórová voda – sezónní změny koncentrace P (metodika - dialyzační sondy)

Přítoková část

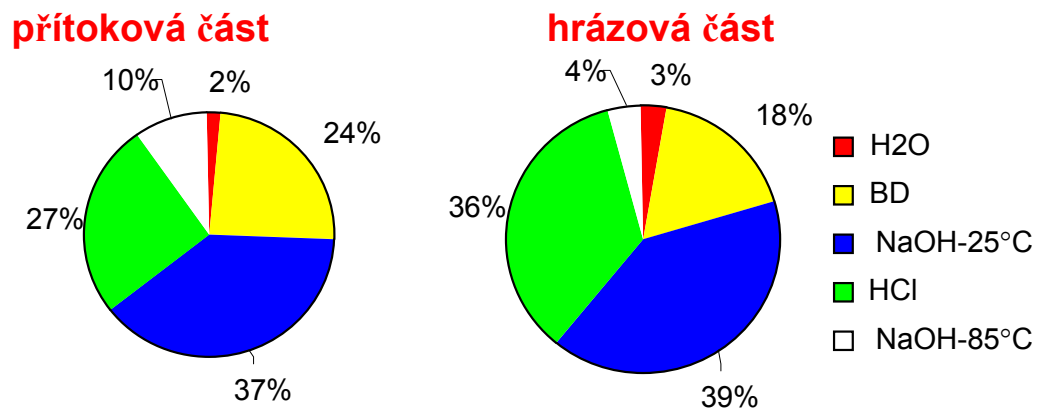
Hrázová část



3. ledna 2002

Hodnocení složení sedimentu

Frakcionace P (Psenner & Pucsko 1988)



Indikátory mechanismu uvolňování P

vysoký potenciál uvolňování P ze sestonu !

kritická hodnota

P v sestonu (9.3 mg g⁻¹) : P v sedimentu NVSS (2.8 mg g⁻¹) = **3.5** < 1

Fe:P v sedimentu = **13.5** > 15

Fe(II):P_{rozp} v pórové vodě = **0.7** (hrázová část), **7** (přítoková část) > 1

Al(OH)₃:Fe(OH)_x v sedimentu = **4** (hrázová část), **0.5** (přítoková část) > 3

or

Al(OH)₃:Fe(OH)_x v sedimentu < 3, ale

Al(OH)₃:P_{H₂O+BD} v sedimentu = **90** (hrázová část), **26** (přítoková část) >

nizký potenciál uvolňování P ze sedimentu !

Základní informace pro výběr vnitronádržových opatření v n. Jordán

Veličina	Hodnota	
Současné vnější zatížení ($P_{in} = 104 \text{ mg m}^{-3}$)	2,1 $\text{g m}^2 \text{ r}^{-1}$	Příčinou hypertrofie je vysoké vnější zatížení P
Kritické vnější zatížení ($P_{cíl} = 20 \text{ mg m}^{-3}$)	0,6 $\text{g m}^2 \text{ r}^{-1}$	
Adaptační doba	0,75 r	Rychlá odezva na pokles vnějšího zatížení P
Trvání efektu jednorázového opatření	0,9 r	Krátká životnost jednoráz.o.
Rychlost uvolňování	0,3 $\text{g m}^2 \text{ r}^{-1}$	Vysoce nepravděpodobný trvalý efekt vnitřního zatížení P po snížení vnějšího zatížení P
Potenciál uvolňování (ze 30-cm vrstvy)	0,8 g m^2	
Stratifikace	dimiktická	Srážení Al v nádrži vhodné pouze v jezerní části nádrže
Hloubka resuspenze	2 až 5 m	

**Efektivní typy opatření - kontinuální přidávání srážedla P do přítoku
- vypouštění z hypolimnia (částečně)**

Závěry

- 1. Eutrofizace – proces nežádoucí i vítaný (některými rybáři), ve stádiu před zazemněním vratný, řízený především velikostí vnějšího zatížení fosforem**
- 2. Sedimenty jsou dynamickou složkou vodního ekosystému:**
 - napojení na složení přítoku a procesy ve vodním sloupci
 - časová odezva je ve vztahu k době zdržení vody
- 3. Význam sedimentů jako zdroje vnitřního zatížení P lze vyhodnotit pomocí chemické analýzy sedimentů a látkové bilance nádrže**
- 4. Opatření proti vnitřnímu zatížení P lze optimalizovat pomocí funkčních kritérií hodnotících vhodnost-účinnost-náklady**

Děkuji za pozornost !