

Hydrobiologie

pro terrestrické biologie

- Téma 7:

Voda jako životní prostředí –
rozpuštěné plyny

Plyny rozpuštěné v přírodních vodách

- Toto téma se zabývá některými z plynů, vyskytujících se v přírodě a rozpouštějících se v přírodních vodách
- Jde o dva typy plynů :
- plyny elementární – s vodou nereagují, ve vodě se rozpouštějí fyzikálním procesem : O_2 , N_2 , ...
- plynné anorganické sloučeniny, které s vodou reagují za vzniku kyselin nebo hydroxidů : CO_2 , H_2S , NH_3 , ... – pak kromě rozpouštění nutno uvažovat disociaci produktů a faktory, které o ní rozhodují

Kyslík rozpuštěný ve vodě

- Zdroji kyslíku rozpuštěného v přírodních vodách jsou :
 - 1) atmosférický vzduch
 - 2) fotosynthetická činnost vodních fototrofů (řas, sinic, ponořených cévnatých rostlin) – ti ovšem část uvolněného O_2 spotřebovávají respirací
- Na spotřebě O_2 se dále podílejí živočichové a nezelené mikroorganismy a některé chemické pochody
- výsledkem je proměnlivé množství rozpuštěného kyslíku ve vodách – jak a proč ? ./...

Kyslík rozpuštěný ve vodě

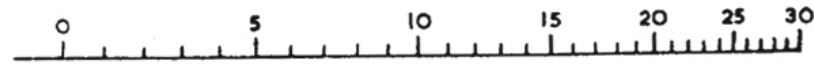
- Plynný kyslík z ovzduší se rozpouští ve vodě v závislosti na teplotě vody, na barometrickém tlaku, ...
- Množství kyslíku ($\text{mg.l}^{-1} \text{ O}_2$) rozpuštěného ve vodě o teplotě t a (normál.) atmosférickém tlaku 101 kPa ve vzduchu nad hladinou, při 100 % nasycení :

t, °C	0	5	10	15	20	25
mg.l ⁻¹	14,16	12,57	10,92	9,76	8,84	8,11

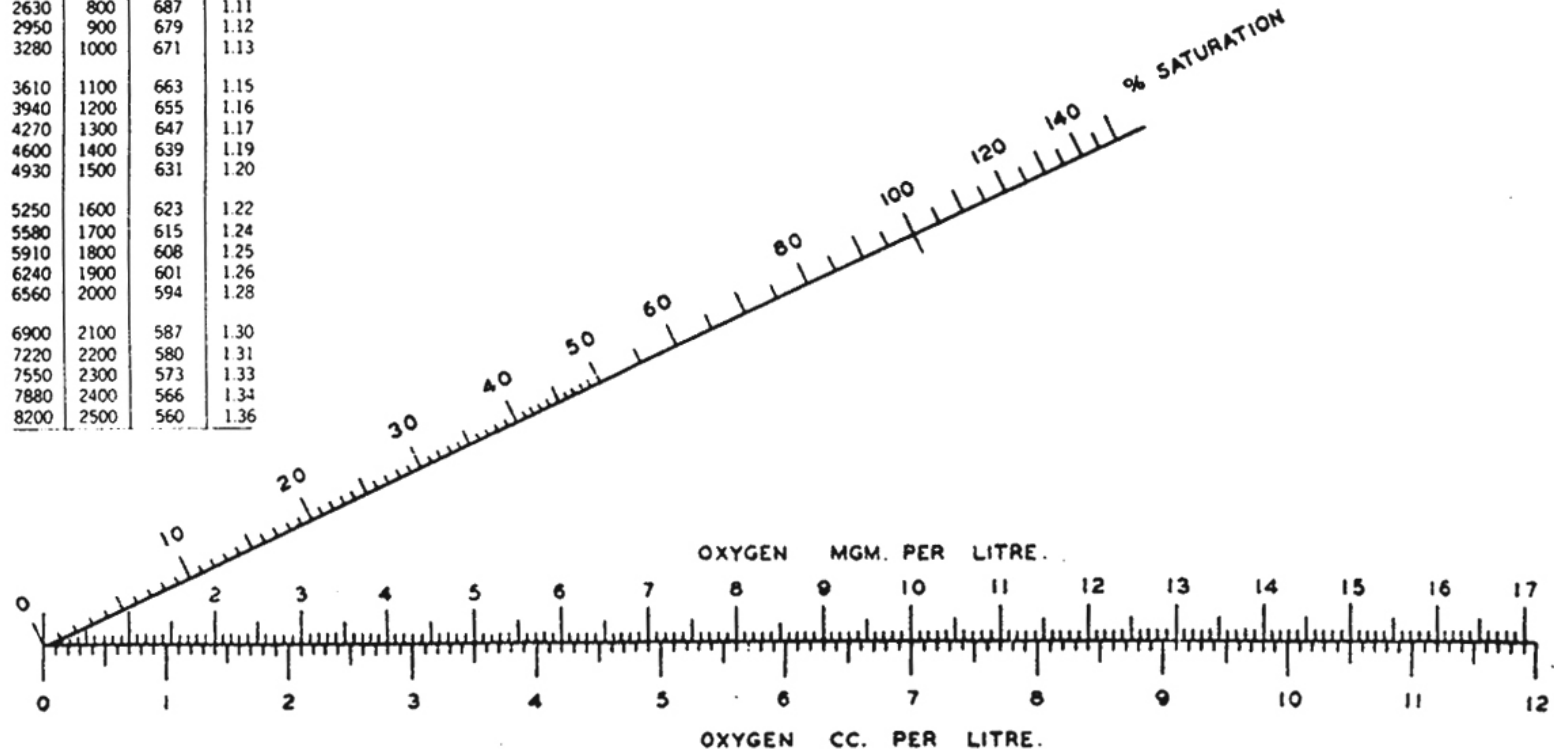
Nomogram pro zjištění % nasycení vody kyslíkem

Correction Factors for Oxygen Saturation at Various Altitudes

Altitude		Pressure	Factor
Feet	Metres	mm.	
0	0	760	1.00
330	100	750	1.01
655	200	741	1.03
980	300	732	1.04
1310	400	723	1.05
1640	500	714	1.06
1970	600	705	1.08
2300	700	696	1.09
2630	800	687	1.11
2950	900	679	1.12
3280	1000	671	1.13
3610	1100	663	1.15
3940	1200	655	1.16
4270	1300	647	1.17
4600	1400	639	1.19
4930	1500	631	1.20
5250	1600	623	1.22
5580	1700	615	1.24
5910	1800	608	1.25
6240	1900	601	1.26
6560	2000	594	1.28
6900	2100	587	1.30
7220	2200	580	1.31
7550	2300	573	1.33
7880	2400	566	1.34
8200	2500	560	1.36



WATER TEMPERATURES °CENT.



Kyslík rozpuštěný ve vodě

- Kromě tlaku a teploty ovlivňuje rozpouštění kyslíku z atmosféry do vody:
 - velikost styčné plochy s ovzduším
 - pohyb povrchových vrstev, turbulence
 - salinita
-
- relativní zastoupení kyslíku rozpuštěného ve vodě proti rozpuštěnému dusíku je asi 1 : 2
(ve vzduchu asi 1 : 4, ve vyšší nadm. výškách ještě méně kyslíku)

Kyslík rozpuštěný ve vodě

- přesto je množství rozpuštěného kyslíku přítomné v objemové jednotce vody mnohem menší, než množství kyslíku ve stejně velké objemové jednotce vzduchu v atmosféře
 - v běžných teplotách přírodních vod je to cca 15x až 30 x méně !

Kyslík rozpuštěný ve vodě

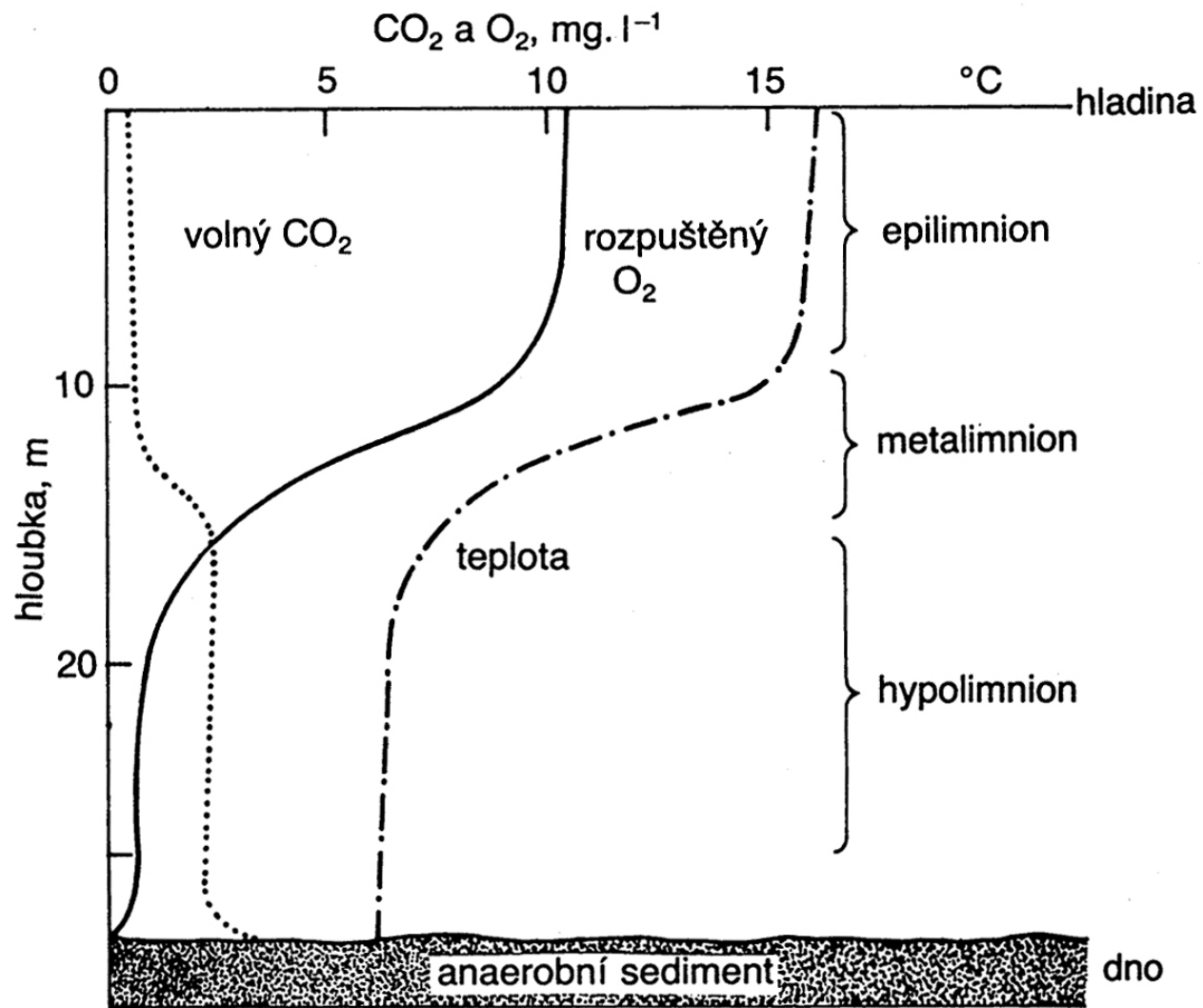
- podstatná je jedna skutečnost :
- **teplotní závislost spotřeby kyslíku dýchajícími organismy je právě opačná než teplotní závislost množství ve vodě rozpuštěného kyslíku**
- **spotřeba** kyslíku respiračí **stoupá** s rostoucí teplotou
- **rozpustnost** kyslíku ve vodě **klesá** s rostoucí teplotou

Kyslík rozpuštěný ve vodě

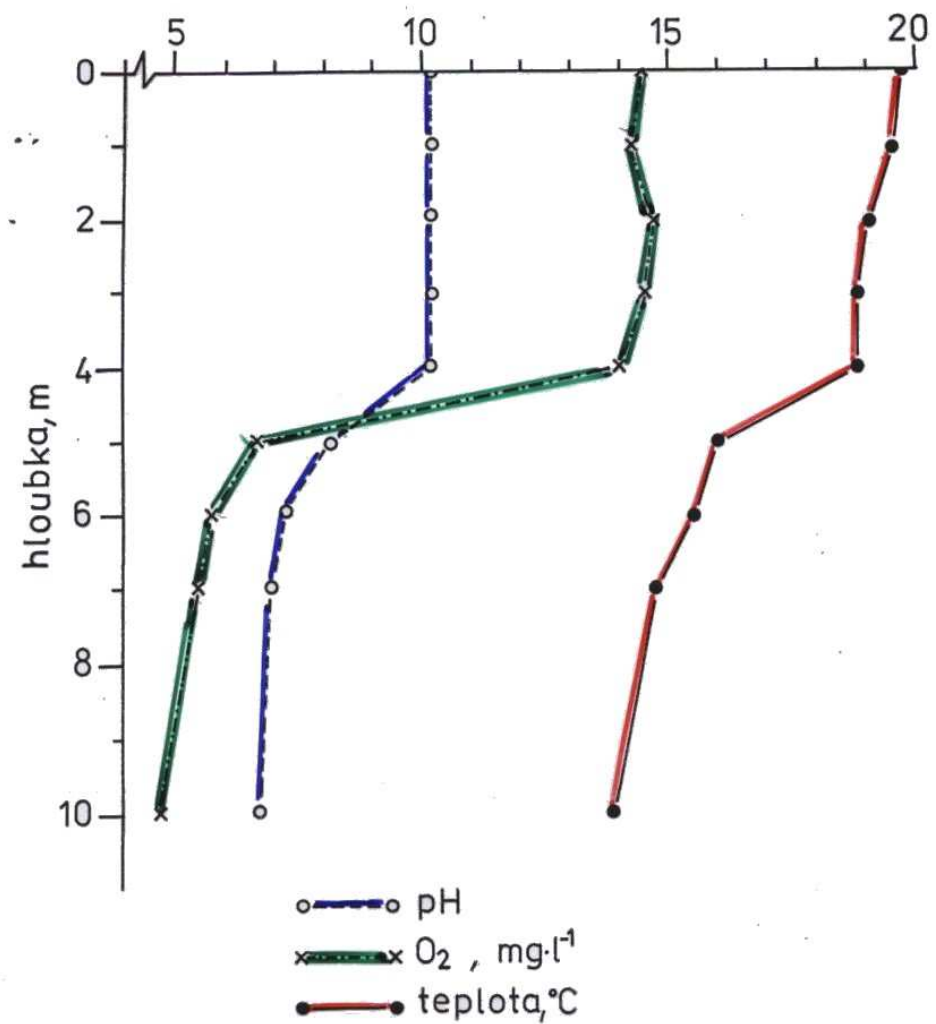
- Druhým zdrojem kyslíku rozpuštěného ve vodě je **fotosynthesa fototrofních organismů**
- uvolněné množství záleží :
 - na druhu rostlin, řas či sinic,
 - na délce a intenzitě osvětlení,
 - na dostupnosti živin k rozvoji fototrofů

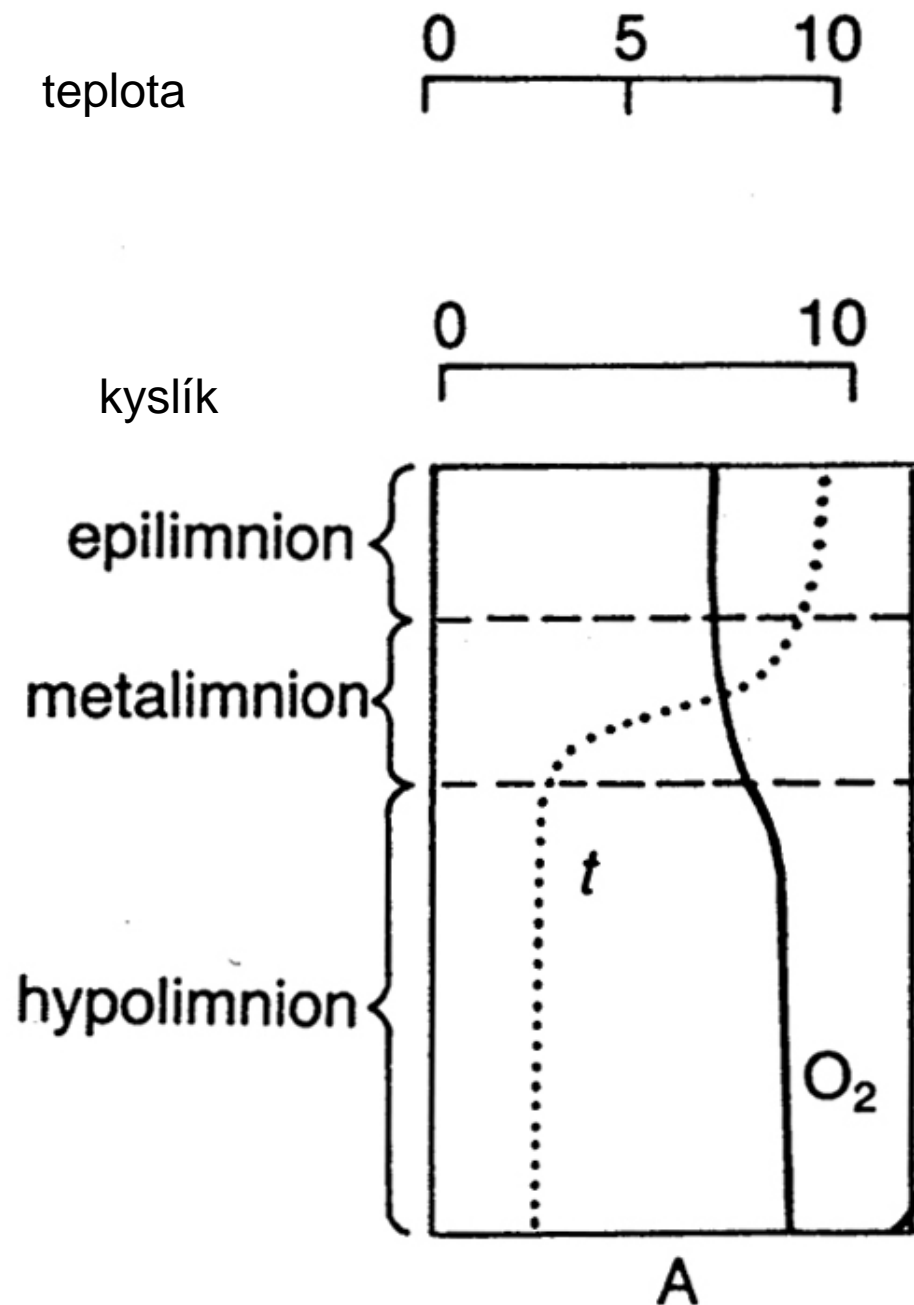
Stratifikace kyslíku ve vodě :

- Rozpuštěný plynný kyslík :
se tedy do vody se dostává jednak difusí přes hladinu, jednak je dodáván rostlinami při fotosynthese
 - obojí se děje v horní vrstvě, proto u vod s dostatečným rozvojem autotrofů vždy více kyslíku u hladiny
 - naopak v hypolimniu rozkladné procesy



SLAPY 27.8.1994





Ortografická
 křivka
 množství
 rozpuštěného
 O_2
 v málo
 produktivním
 jezeře

Klinográdní křivka
množství rozpuštěného

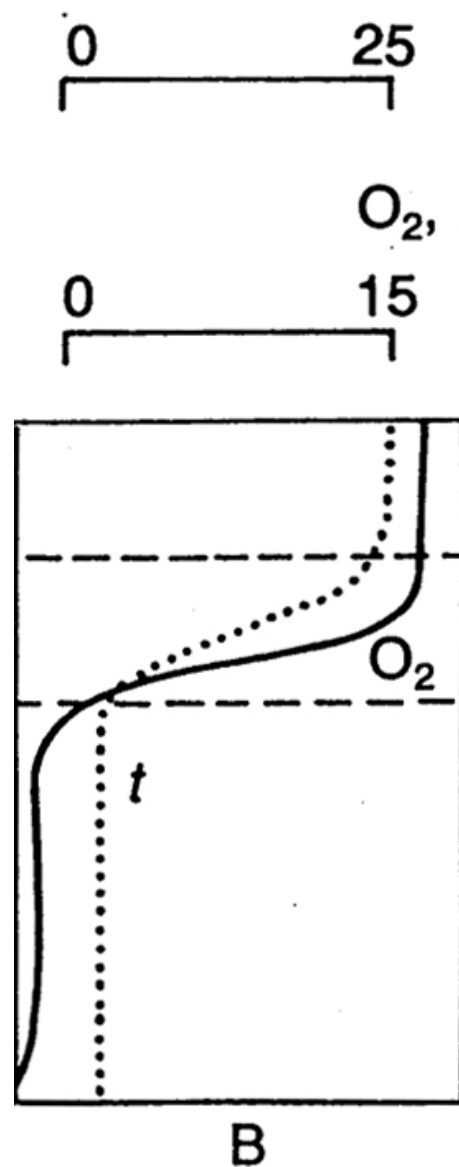


v produktivní nádrži
v produkčním období :

množství O_2 prudce
klesá v metalimniu,

v epilimniu je více O_2
než v předchozím případě,

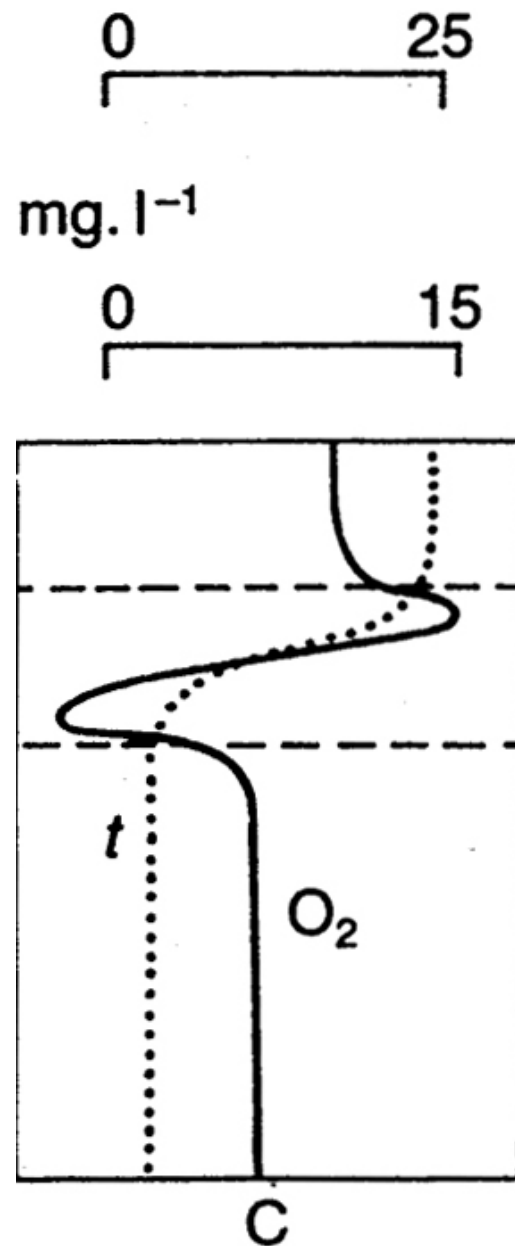
v hypolimniu je kyslíku
málo



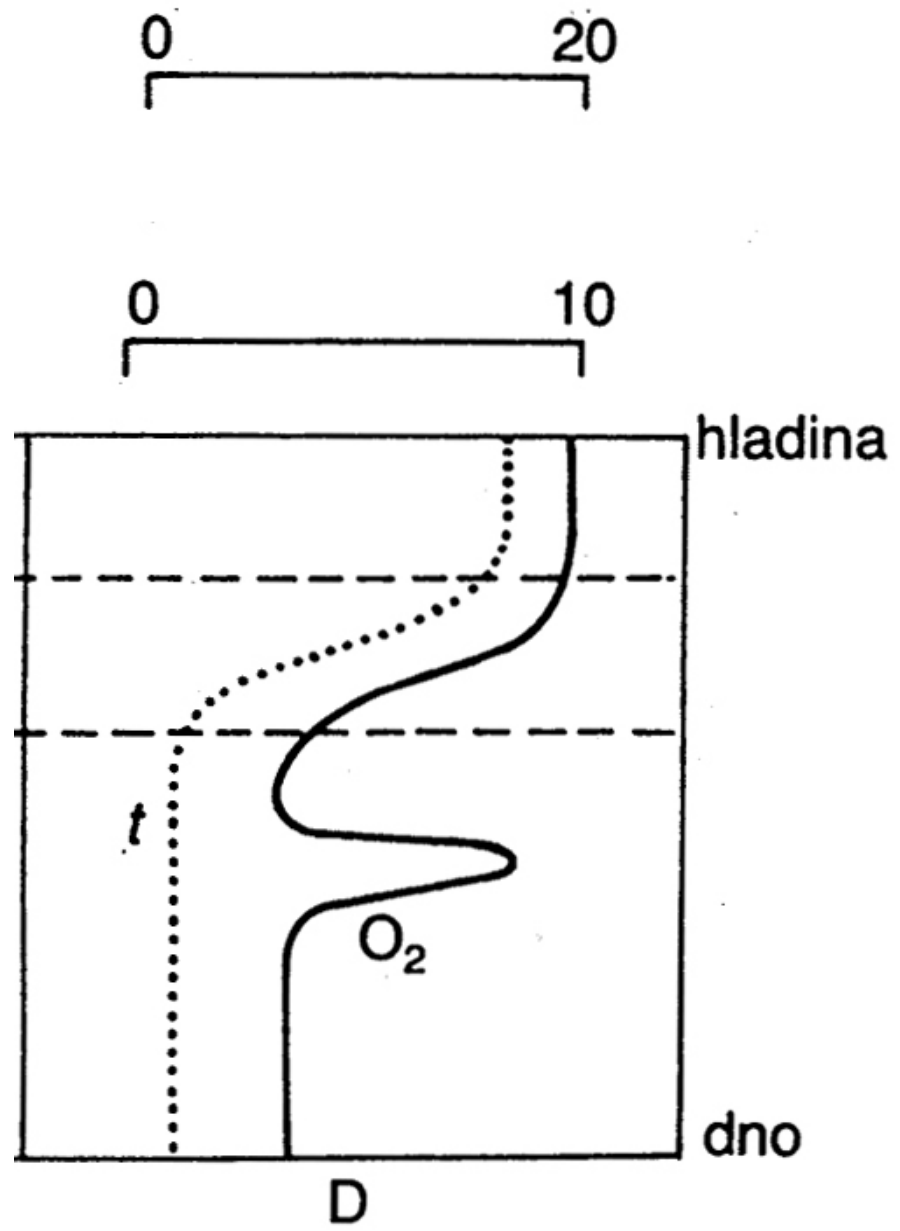
Heterográdní křivka
množství rozpuštěného
 O_2
(pozitivně a negativně) :

vysoká aktivita fototrofů
nad termoklinou a ...

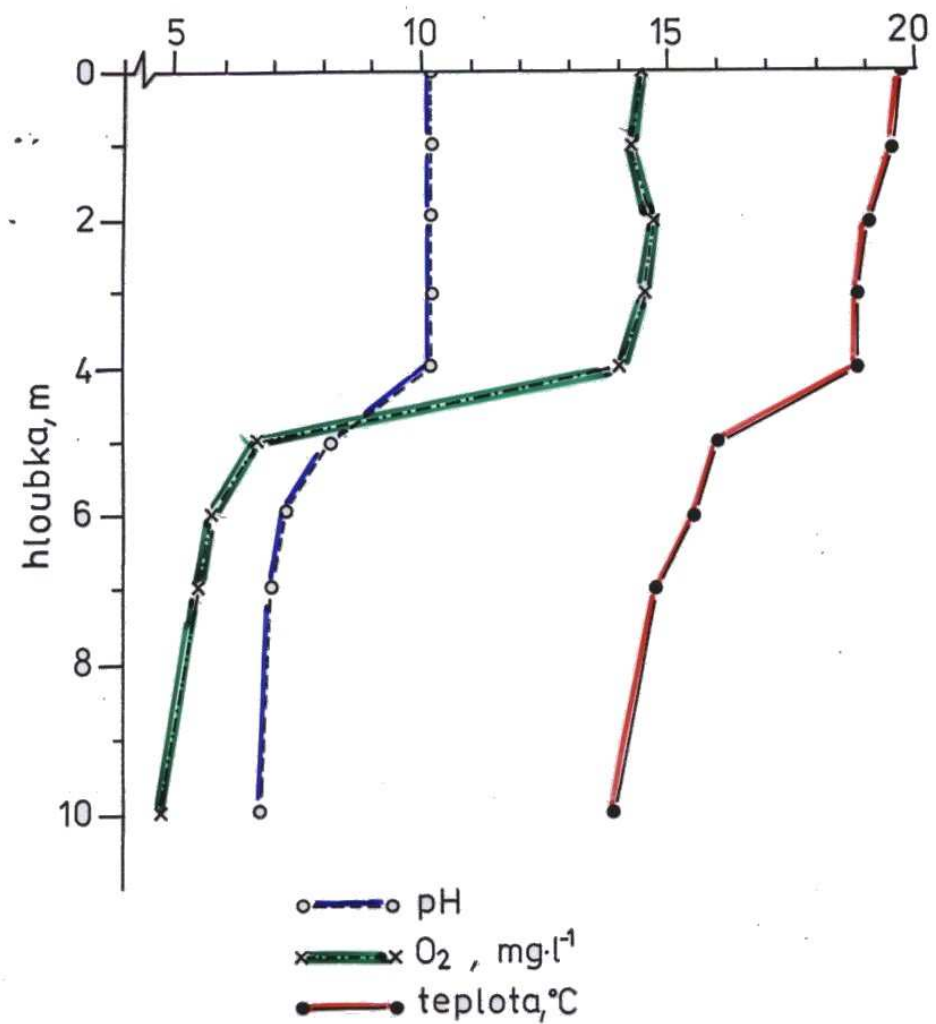
a vysoká spotřeba O_2
rozkladem v dolní části
metalimnia

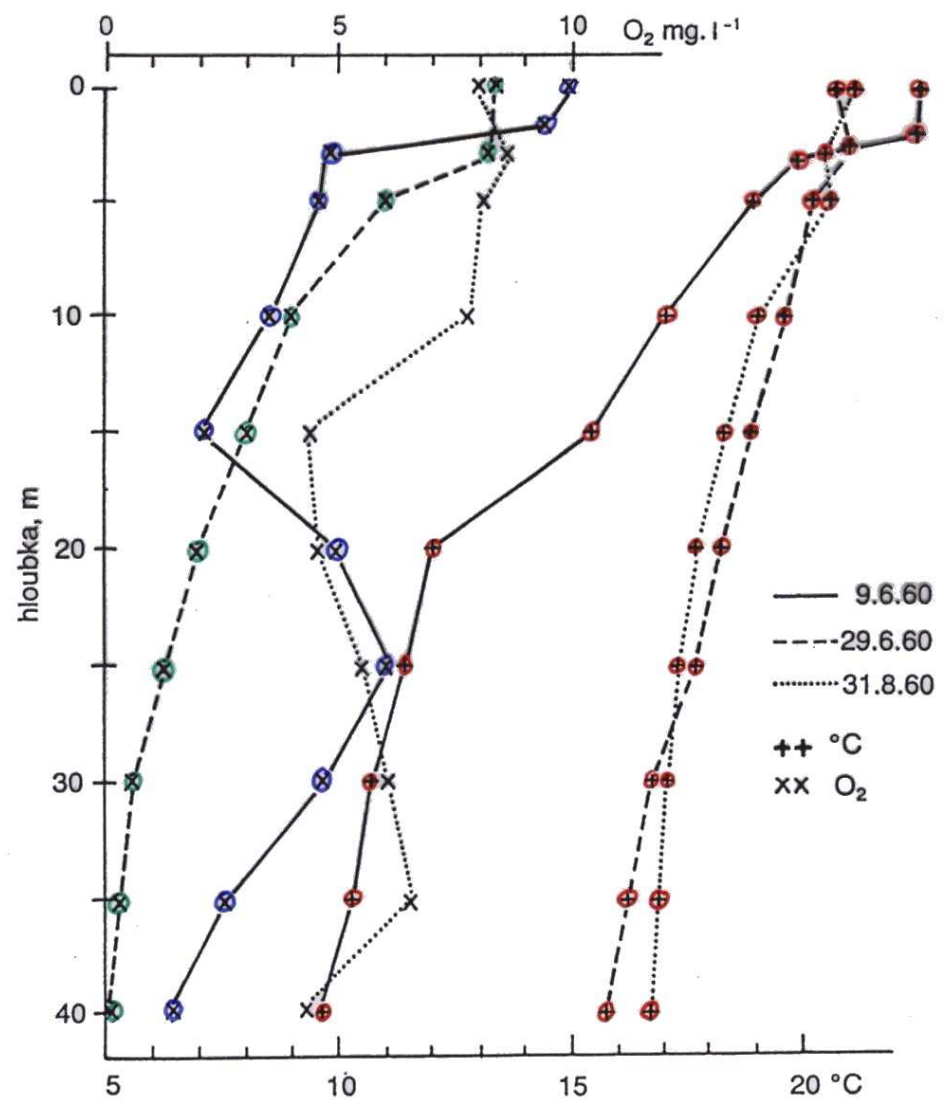


Zasouvání
studené řeky
bohaté kyslíkem
do hlubin
hypolimnia

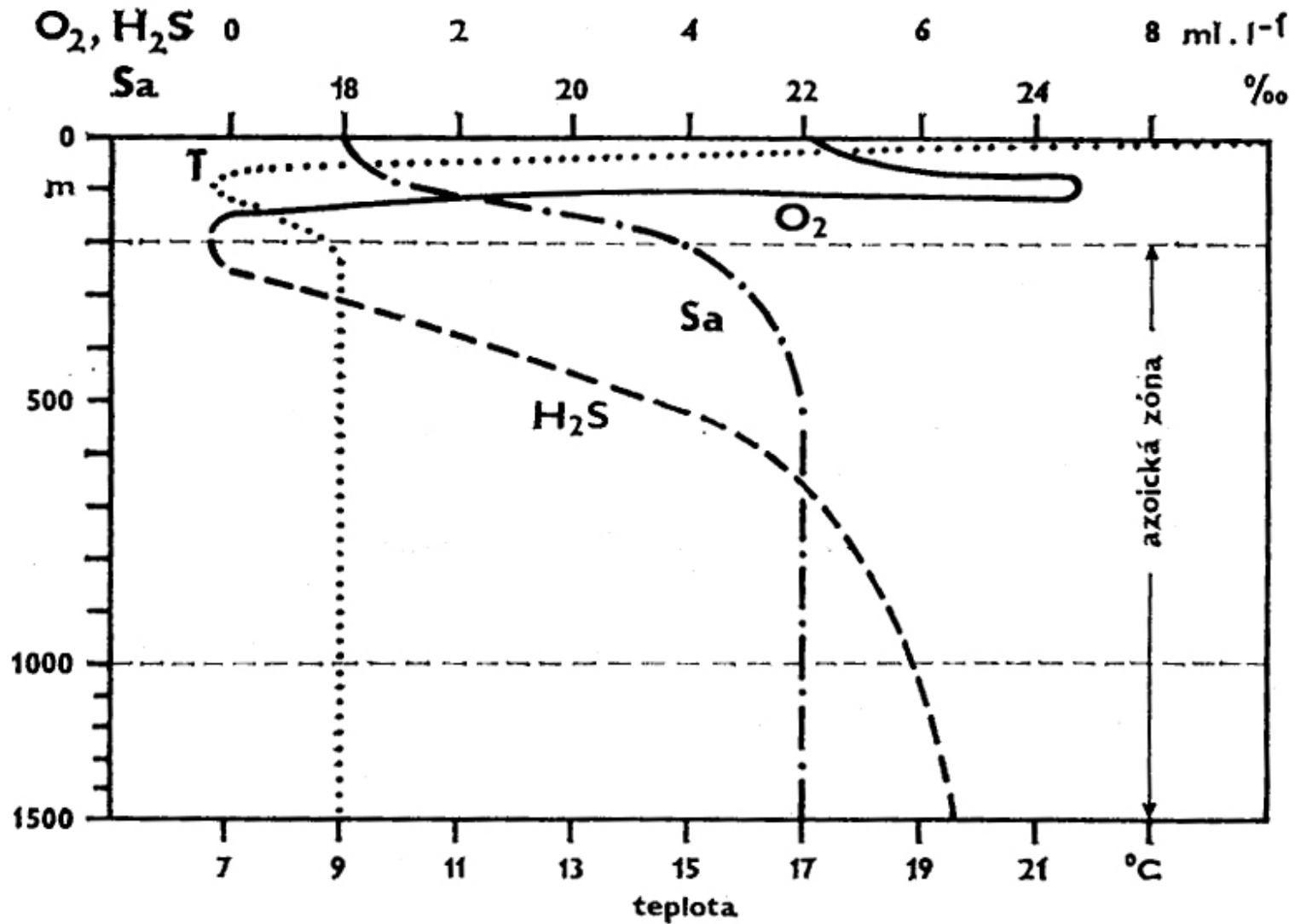


SLAPY 27.8.1994





Černé moře : stratifikace teploty, plynů a salinity

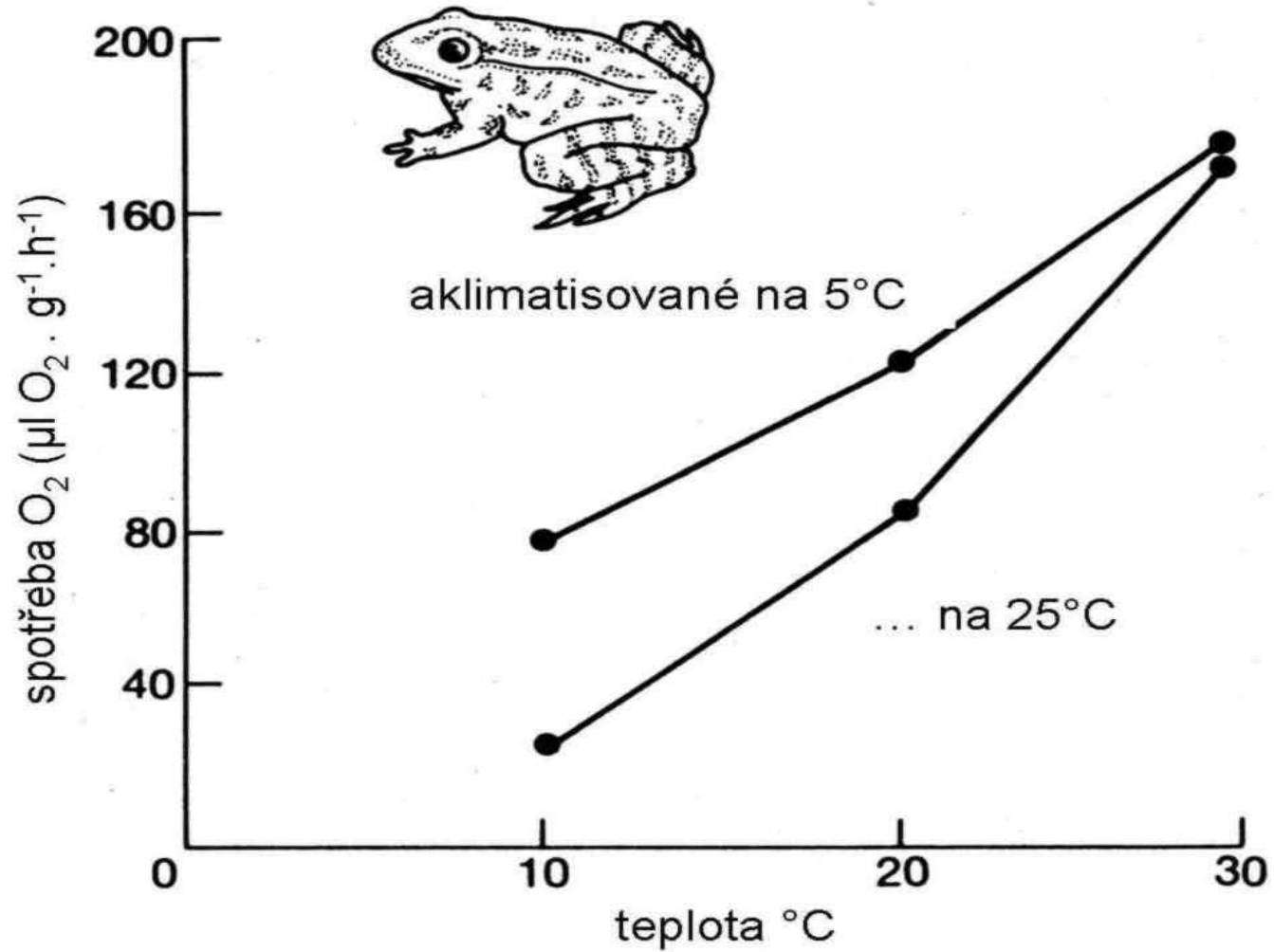


Respirace *Cyclops vicinus* a *Daphnia galeata*

- Spotřeba kyslíku v metabolismu poikilothermů roste s rostoucí teplotou
- závisí i na dostupnosti potravy : za téže teploty je vyšší při dostupnosti potravy než u jedinců hladovějících
- Následující graf : závislost spotřeby O_2 na teplotě pro buchanku *Cyclops vicinus* (● krmení jedinci, + hladovějící, ○ neadaptovaní na danou teplotu), a pro perloočku *Daphnia galeata* (krmená populace Δ). (Data Blažka, Brandl, Procházková, 1982)

skokan *Rana pipiens*

Teplotní závislost spotřeby O_2



karas obecný *Carassius carassius*

Řešení anoxie :

dlouhodobá (skutečná) anoxie:

- karasi obecní pod ledem,
ve vodě jen H_2S , 6 měsíců
- glykogen \rightarrow lipidy
- vydechují CO_2

Řešení hypoxie :

- Potápěči: ondatry, bobři, hroši, kachny, želvy, krokodýlové, aligátoři,
 - před ponorem výdech, nosní záklopký,
- jiný problém : rozpouštění plynů v krvi
 - nevadí u kyslíku – je spotřebováván
 - vadí u dusíku - bublinky v krvi

Plynný dusík N_2 rozpuštěný ve vodě

- absorpční koeficient N_2 ve vodě při 20 °C je 1/65 - v litru vody 7,6 mg rozpuštěného dusíku
- (pro kyslík 1/32, což znamená 8,84 mg.l⁻¹)
- s rostoucím tlakem stoupá : platí i pro rozpuštění vdechnutého plynného dusíku v tělních tkáních vzduch dýchajících živočichů (zejména některých savců - kytovců) při jejich potápění do velkých hloubek
- při vynoření hrozí uvolnění bublinek dusíku a embolie
- proto si neberou do hlubin zásobu vzduchu

Fyzikální jednotky:

- Tlak:

$$1 \text{ milibar} = 10^2 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ torr} = 133 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ kp} \cdot \text{m}^{-2} = 9,81 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ kp} \cdot \text{cm}^{-2} = 9,81 \cdot 10^{-2} \text{ MPa}$$

$$1 \text{ torr} = 1,33 \text{ milibaru}$$

$$1 \text{ Pa} = 7,52 \cdot 10^{-3} \text{ torrů}$$

Tlak ve vodním prostředí

- hydrostatický tlak vodního sloupce:
- každých 10 m hloubky navíc znamená tlak vyšší o $\sim 0,1$ MPa :

sloupec 1000 cm výšky x 1cm^2 podstavy

= 1000 cm^3 vody ~ 1 kg,

tedy 1 atm $\sim 0,1$ MPa

Tlak ve vodním prostředí

- v hloubce 10 000 m: ~100 MPa
- ale: voda i tkáně vyplněné tekutinami jsou téměř nestlačitelné → eurybatické organismy
- problém: dutiny vyplněné plynem (ryby s plynovým měchýřem) → stenobatické organismy

Tlak a dýchání ve vodním prostředí

- **potápějící se savci :**
- problém s N_2 ... kesonová nemoc:
 - při rychlém výstupu z velké hloubky (= rychlém poklesu vnějšího tlaku) se v krvi zvířete (i člověka) dýchajícího vzduch uvolní bublinky dusíku – hrozí embolie

tuleň Weddellův *Leptonychotes weddelli*

tuleň krabožravý *Lobodon carcinophagus*

vorvaň tuponosý *Physeter macrocephalus*

Tlak a dýchání ve vodním prostředí

- vorvaň:
 - ♂♂ 1 – 2 hod. → 1200 m
 - ♀♀ ½ - 1 hod. → 700 – 1000 m
- řešení: 1) kyslík ukládán v myoglobinu ve svalech,
2) výdech
- tuleň Weddelův, t. krabožravý

Oxid uhličitý v přírodních vodách

- plynný oxid uhličitý je ve vodě snadno rozpustný (cca 200x lépe než kyslík) :
- proto je ho ve vodě relativně více než v ovzduší
- v atmosféře 0,033 % CO₂
- ve vodě za (norm.) tlaku 101 kPa a 0,033 % nad vodou je 100 % nasycení vody oxidem uhličitým v závislosti na teplotě (Henryho zákon) :

teplota °C	0	10	20
mg.l ⁻¹ CO ₂	1,005	0,70	0,51

... CO₂ a voda : uhličitánová rovnováha

- kromě rozpouštění CO₂ z atmosféry dodávají další CO₂ do vody dýchající organismy, rozklad organických látek a též srážková voda prošlá půdními horizonty s vyšším obsahem CO₂ než je v atmosféře
- malá část rozpuštěného CO₂ reaguje s vodou na kyselinu uhličitou – jen částečně disociovanou – uhličitánová rovnováha → viz téma 8
- ve vodě jsou nejvíce přítomny rozpustné ionty hydrogenuhličitánové

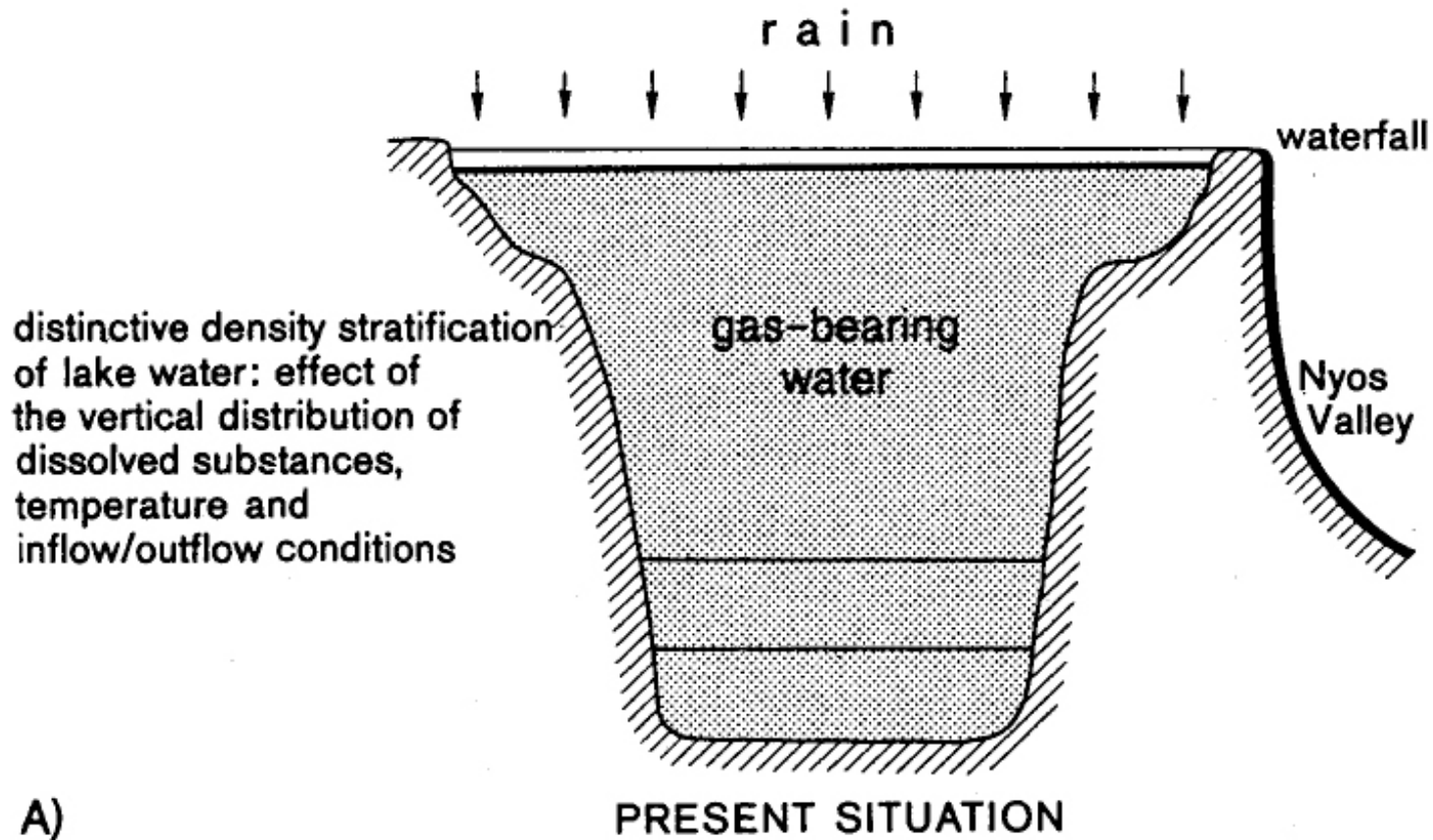
volný oxid uhličitý ve vodách :

- plynný oxid uhličitý rozpuštěný ve vodě (podle její teploty) se označuje jako **volný** čili **agresivní** oxid uhličitý
- vyskytuje se ve vodách s vysokou uhličitánovou tvrdostí, též u dna mělkých a v hypolimniu stratifikovaných vod (z rozkladu organ. látek)
- v sopečných oblastech může unikat z hornin pod jezerem a zdola sytit vody jezera
- tak vznikají t.zv. „**killer lakes**“

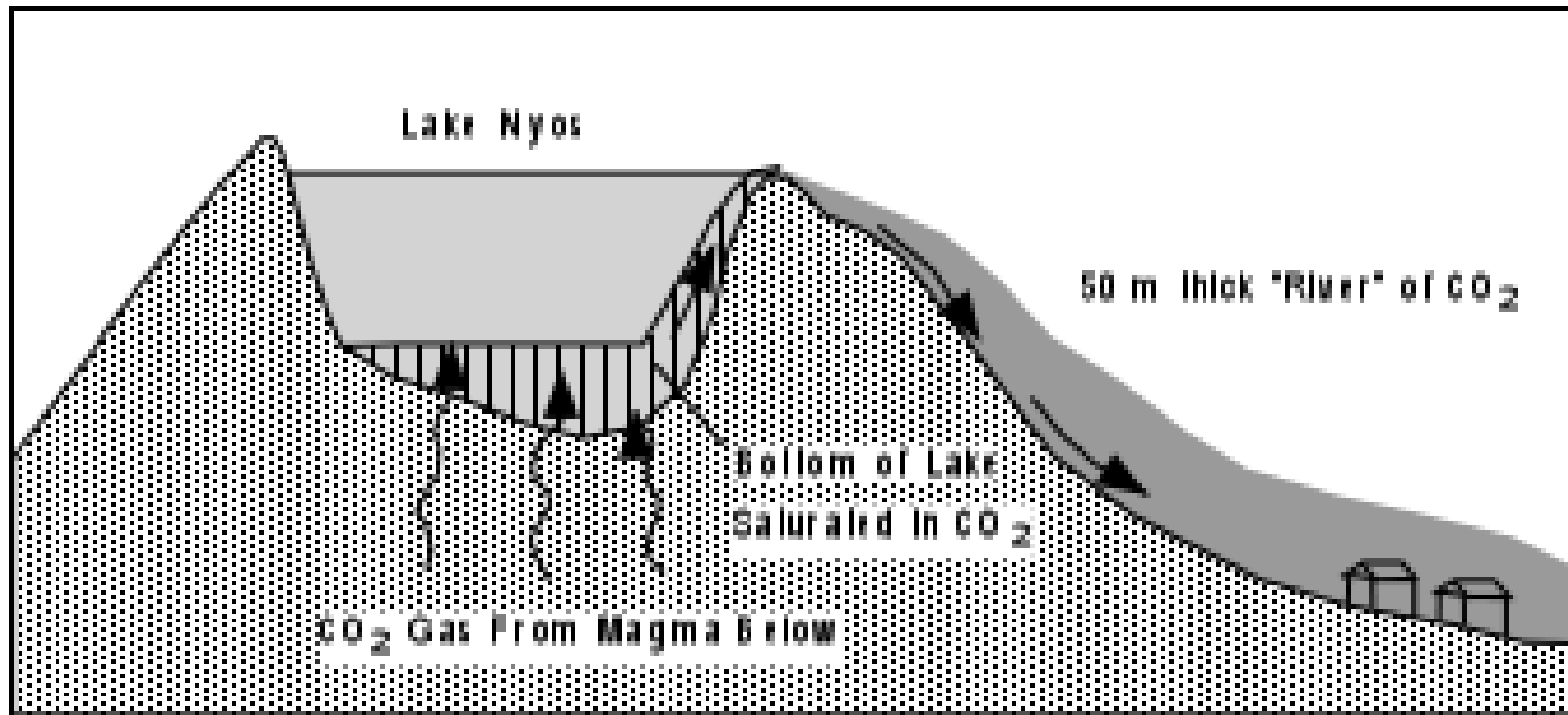
„killer lakes“ :

- jak vznikají „killer lakes“ ?
- jde o meromiktická jezera obvykle ležící v sopečném kráteru bývalé nebo „spící“ sopky
- v mixolimniu mohou být normálně oživena
- v monimolimniu je vysoký obsah CO₂ (a někdy i jiných plynů z podloží)
- tento stav může přetrvávat velmi dlouho beze změny, jen množství CO₂ stále stoupá
- náhle může dojít k uvolnění plynného CO₂ nad hladinu a „zaplavení“ okolí (údolí) vrstvou CO₂
- výsledkem je udušení živočichů (a lidí)

schema Lake Nyos, Kamerun



jezero Nyos v Kamerunu



After Abbott, 1998

tragedie v okolí jezera Nyos :

- v roce 1986 došlo – pravděpodobně po sesuvu půdy z okolí do jezera Nyos (Kamerun, plocha asi 1,6 km², max. hloubka 208 m, nadm. výška hladiny 1 091 m n.m.) k uvolnění CO₂ nad hladinu a do okolí jezera
- přízemní „mrak“ oxidu uhličitého „stekl“ v noci dolů údolím a zadusil živé organismy
- zahynulo na 1 700 lidí, kolem 3 500 kusů dobytka a volná zvířata v okolí – beze známek nějakého poškození udušením

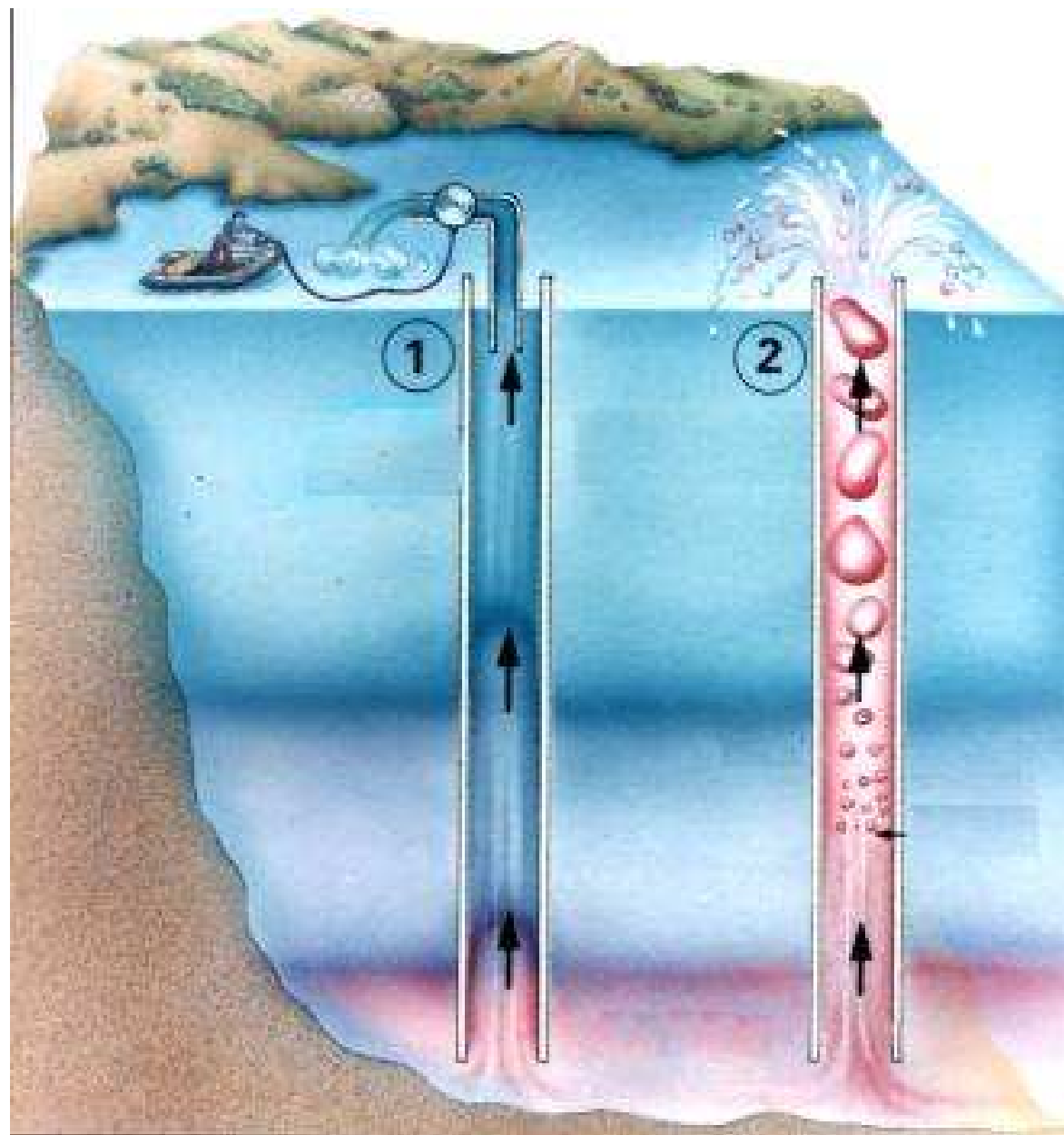
úniky oxidu uhličitého ze sopečných jezer :

- podobný jev se udál již dříve na jiném jezeře Monoun, ale jen s několika oběťmi na životech
- obě jezera jsou nyní jednak trvale monitorována a jednak zbavována nadbytku oxidu uhličitého odčerpáváním vody z monimolimnia
- to lze dělat snadno – tlak plynu sám žene vodu nahoru potrubím ponořeným do hlubin

jezero Nyos
před (vlevo) a po explozi CO_2 (vpravo)

jezero Nyos po erupci oxidu uhličitého

K odstranění
oxidu uhličitého
z monimolimnia
stačí
do hloubky
ponořit trubici
a odčerpat z ní
horní vrstvu
vody
odpovídající
mixolimniu
- pak už
tlak plynů žene
vodu potrubím
nahoru bez
čerpání



jezero Nyos - voda tryská z potrubí

jezero Nyos :
gejzír vody
bohaté
oxidem uhličitým
hnané nahoru
tlakem
rozpuštěného
plynu

rizika z jezer v sopečných oblastech :

- jezera Monoun a Nyos (Kamerun) nejsou velká
- vysoký obsah CO₂ (a také metanu) je v obrovském jezeře Kivu (Kongo a Rwanda) – plocha hladiny 2 700 km², max. hloubka 480 m
- leží ve východoafrickém riftovém údolí , asi 150 km severně od jezera Tanganyika, poblíž sopky Nyiragongo (Kongo)
- v jeho blízkém okolí žije přes 2 miliony lidí

Lake Kivu (satelitní snímek)

Lake Kivu

Plynný amoniak a amonné ionty

- Amoniak NH_3 je velmi dobře rozpustný ve vodě a s vodou tvoří amonný iont NH_4^+
- disociace amoniaku je závislá na pH vody :
- při $\text{pH} < 8$ jsou přítomny téměř výlučně **amonné ionty NH_4^+** , které jsou **netoxické** a jsou významným zdrojem N pro fytoplankton, který je preferuje před dalším zdrojem N, t.j. NO_3^-
- při $\text{pH} > 10,5$ je přítomen téměř výlučně jen **vysoce toxický amoniak NH_3** rozpuštěný ve vodě

Plynný amoniak a amonné ionty

- **vysoce toxický amoniak NH_3** rozpuštěný ve vodě působí otravy vodních živočichů – náhlé úhyny ryb v rybnících v letním období :
- ve vodách s nízkou pufrací kapacitou (= nízkou alkalitou – téma 8) a vysokým obsahem živin (= dobře hnojené rybníky) dochází k silnému rozvoji fytoplanktonu (řas a cyanobakterií)
- jeho intenzivní fotosyntésou se odčerpává CO_2 z vody během světelné části dne :
 - to vede k růstu pH (viz téma 8), který vrcholí v odpoledních hodinách → způsobí uvolnění toxického NH_3 a následné otravy a hynutí ryb