



METEOROLOGICKÉ A FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÉ FAKTORY

Doc. Ing. Radovan Kopp, Ph.D.



Mendelova
univerzita
v Brně



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Odběr vzorků

- Při odběrech vzorků se pozoruje, měří a zapisuje řada faktorů, které charakterizují situaci na lokalitě v době odběru a v době, která odběru předcházela. Většina těchto faktorů má charakter meteorologických parametrů a pomáhá objasnit příčiny chemických poměrů, které ve vodě vznikly.
- **Čas odběru** je důležitý údaj pro analýzu vzorku vody. Mají-li se srovnávat některé chemické faktory vody různých lokalit, pak u těch faktorů, které se během 24 hodin mění, je nutné odebírat vzorky pro stanovení **ve stejnou denní dobu** (pH, acidita, alkalita, kyslík, oxid uhličitý atp.)

Teplota vody a vzduchu

- Teplotní výkyvy jsou ve vodě daleko menší než ve vzduchu (vysoká měrná kapacita) a v důsledku toho působí větší nádrže v krajině jako jakési tepelné regulátory či moderátory klimatu okolní krajiny.
- Změny teploty v nádržích se časově opožďují za změnami teploty ovzduší a to tím více, čím je nádrž hlubší. U hlubokých údolních nádrží činí toto zpoždění až 1 měsíc.
- Teplotní výkyvy jsou ve vodě daleko menší než ve vzduchu (vysoká měrná kapacita).
- Molekulový přenos tepla vodou je bezvýznamný, téměř veškerý přenos pohybem (prouděním).

Teplota vody a vzduchu

- Teplo do vody:
 - a) **sluneční radiace** (záření) – hlavně infračervená složka
 - b) **zemské nitro** (geotermální zdroj) – horké prameny, hluboká jezera
 - c) **lidská činnost** (antropický faktor) – elektrárny apod.
- Teplo z vody:
 - a) **termální radiací** (vyzařování tepla), omezené na několik cm při hladině
 - b) **konvekcí** (přenos tepla v pohybujícím se médiu)
 - c) **evaporací** (přeměnou vody v páru)
 - d) přechod tepla do dna

Teplota vody a vzduchu

- Teplota vody přímo ovlivňuje množství plynů rozpuštěných ve vodě - čím je voda teplejší, tím méně se v ní plynů rozpustí, což platí absolutně.
- Teplota ovlivňuje rychlost chemických reakcí, jako jsou oxidace a rozkladné pochody v procesu samočištění.
- Změny teploty vody během roku v hlubokých nádržích pak ovlivňují nejen jejich tepelný, ale i chemický režim v důsledku střídajících se cyklů stagnace a cirkulace během roku.
- Sezónní střídání organismů v ekosystémech (sukcese) jak rostlinných, tak živočišných je přímo podmíněno teplotou.

SCHÉMA SEZÓNNÍHO CYKLU TERMIKY JEZERA

PODZIMNÍ CIRKULACE

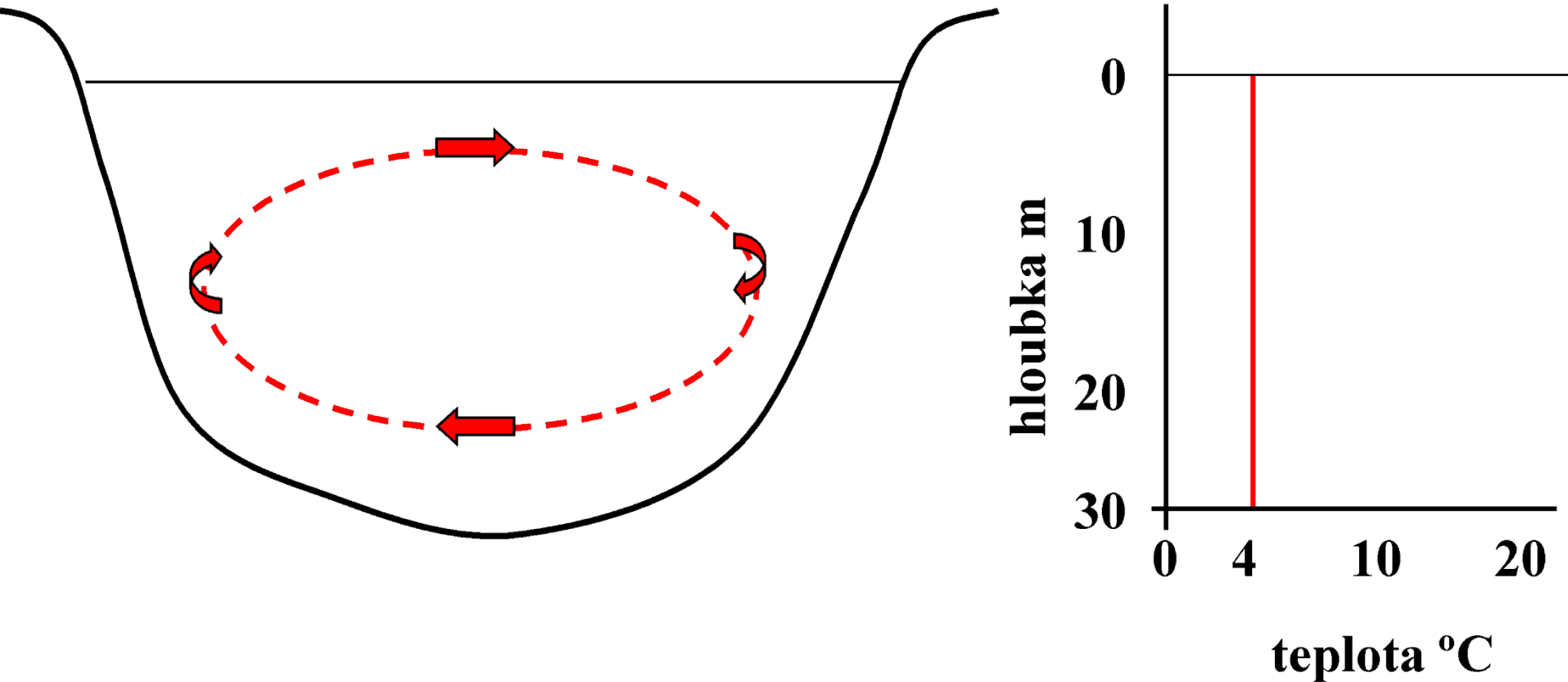


SCHÉMA SEZÓNŇÍHO CYKLU TERMIKY JEZERA

ZIMNÍ STAGNACE

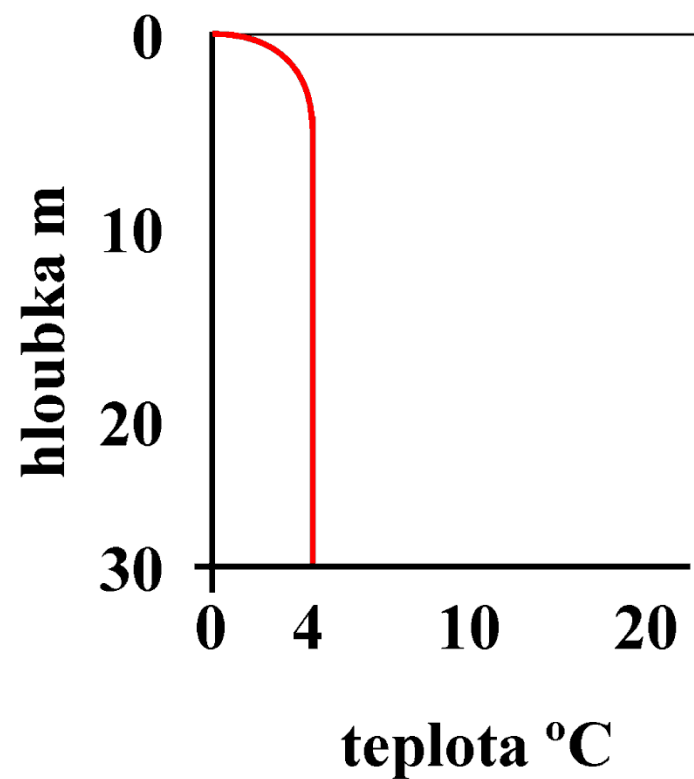
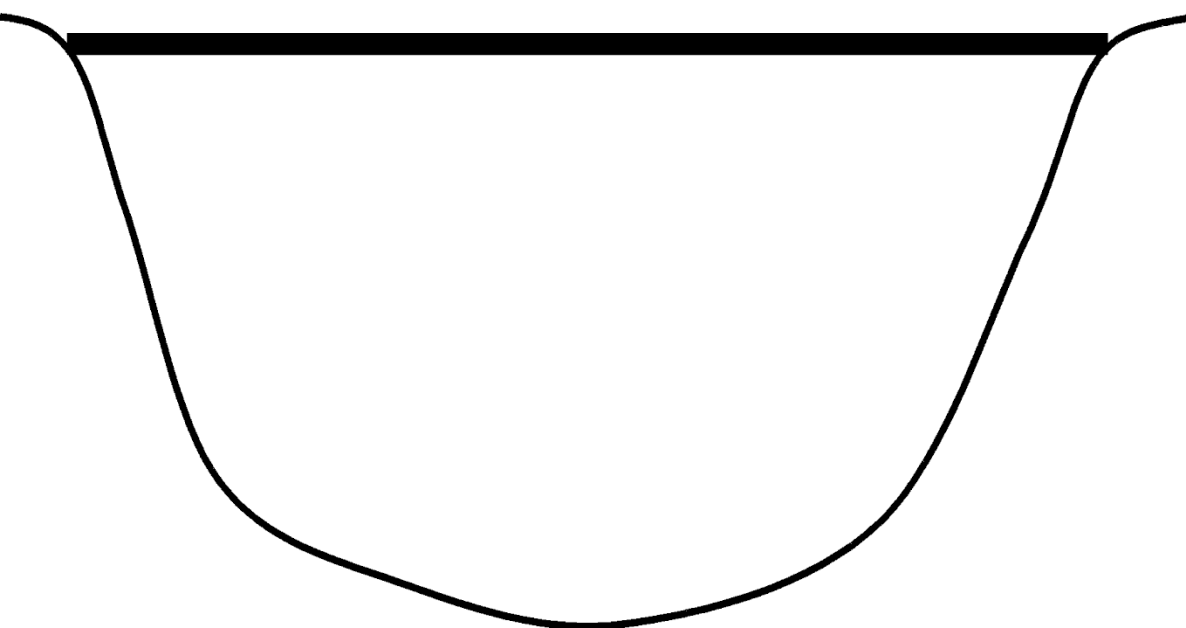


SCHÉMA SEZÓNNÍHO CYKLU TERMIKY JEZERA

JARNÍ CIRKULACE

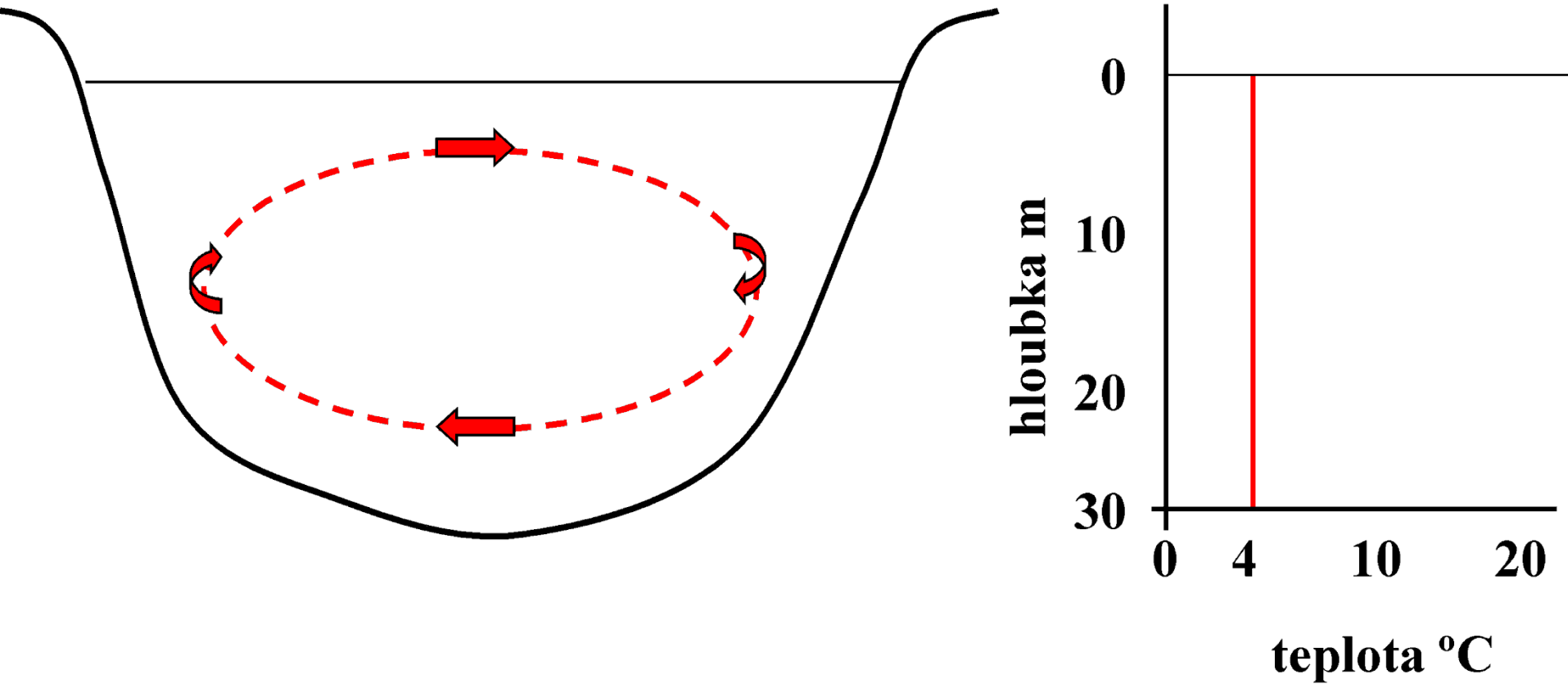
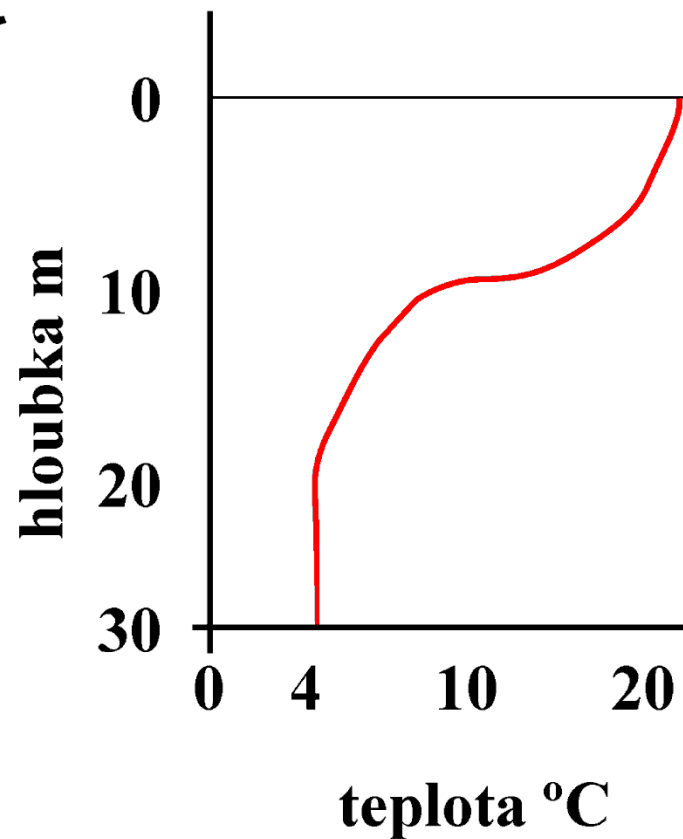
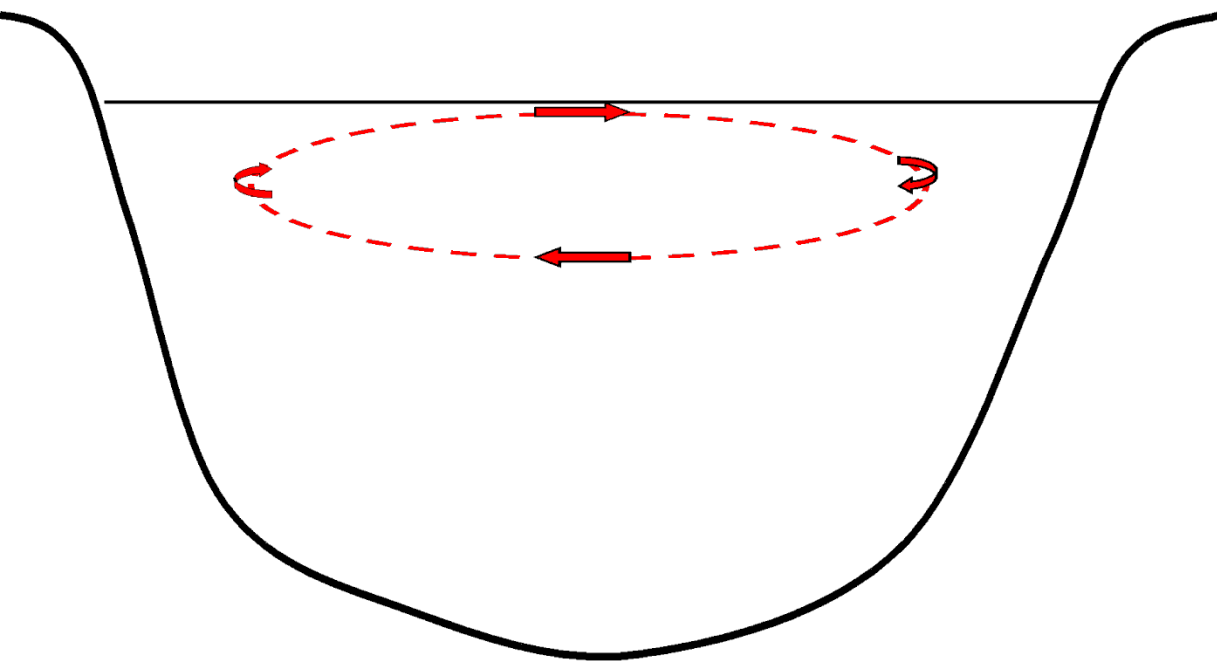
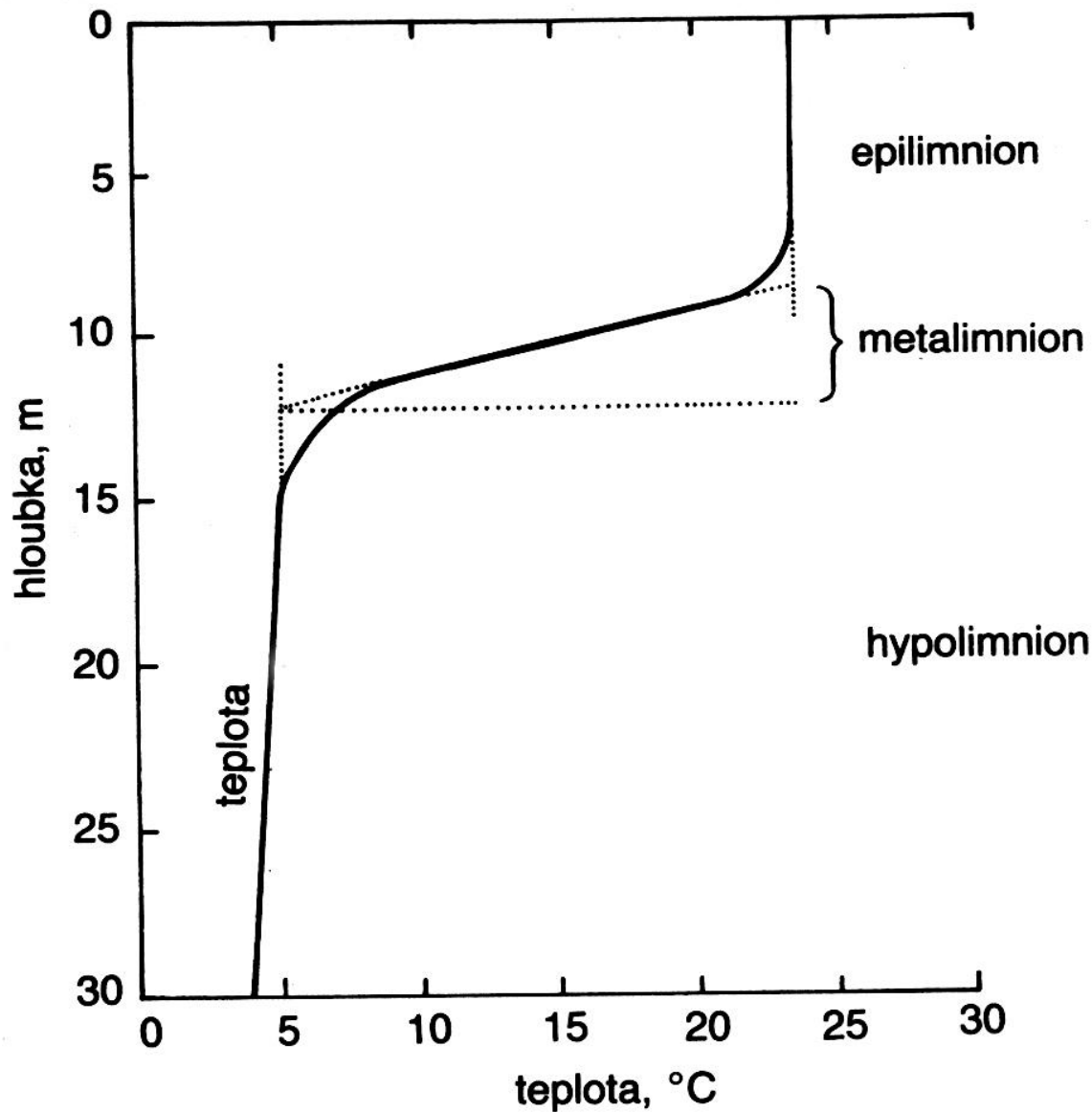


SCHÉMA SEZÓNNÍHO CYKLU TERMIKY JEZERA

LETNÍ STAGNACE





Typické teplotní rozvrstvení vodních mas ve stratifikované nádrži. Skočnou vrstvou metalimnionu jsou v době letní stagnace odděleny svrchní oteplená vrstva epilimnionu od spodní chladnější vrstvy hypolimnionu (Wetzel, 1983)

Průhlednost a zákal vody

- Významná fyzikální vlastnost ovlivňující množství světla pronikajícího vodním sloupcem nádrží a toků.
- Na propustnosti vody pro světlo závisí hloubka tzv. **kompensačního bodu fotosyntézy**, v němž se intenzita fotosyntézy fytoplanktonu vyrovnává s intenzitou jeho dýchání (měřeno produkcí a spotřebou kyslíku).
- Průhlednost závisí především na zákalu (množství suspendovaných látek) a barvě vody.
- V rybnících vykazuje několik decimetrů a nanejvýš 1-2 metry, v jezerech několik metrů až desítek metrů (Bajkal - 40 m), v mořích a oceánech několik desítek až stovek metrů. V zimě bývá průhlednost větší než v létě, kdy je ovlivňována především intenzitou rozvoje fytoplanktonu (vegetační zákal).

Průhlednost a zákal vody

- Zákal vody může být způsoben buď neživými, jemně rozptýlenými částicemi (abiosestonem) nebo drobnými planktonními živými organismy (biosestonem).
- Rozlišení biogenního a nebiogenního zákalu je pro rybářskou praxi velmi důležité, poněvadž biogenní zákal nepřímo informuje o intenzitě primární produkce planktonu, kolísání obsahu O_2 a CO_2 a pH, i o dostatku biogenů v rybníce.
- Průhlednost vody určuje sílu **eufotické vrstvy**, tj. vrstvy vody, v níž probíhá fotosyntetická asimilace. Podle průhlednosti vody, pokud je funkcí rozvoje fytoplanktonu, je možno rozhodovat o nasazení či zastavení hnojení nádrže.

Vodivost (měrná vodivost - konduktivita)

- Vodivost je převrácená hodnota odporu a její jednotkou je 1 S (siemens).
- Destilovaná voda je prakticky nevodivá, voda se stává vodivou pro elektrický proud vlivem rozpuštěných minerálních látek.
- Vodivost vody závisí na:
 - koncentraci a disociačním stupni elektrolytů
 - nábojovém čísle iontů
 - pohyblivosti iontů v elektrickém poli
 - teplotě vody
- V hydrochemii se udává konduktivita v jednotkách $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ nebo $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$, kdy $1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1} = 0,1 \text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$.
- Pro měření konduktivity se používají **konduktometry**.

Vodivost (měrná vodivost - konduktivita)

- Stanovená konduktivita vody nám dává informaci o obsahu aniontů a kationtů rozpuštěných ve vodě.
- Na základě výsledku lze odhadovat stupeň mineralizace vody, stanovení je vhodné pro kontrolu kvality destilované vody a při dlouhodobém sledování daného druhu vody, protože konduktivita prokáže změny v koncentraci rozpuštěných látek.
- Nejčistší voda má při 18 °C vodivost $0,038 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, což je způsobeno disociací vody.
- Destilovaná voda má konduktivitu $0,3-0,5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, povrchové a spodní vody $50-500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (s výjimkou minerálních).
- Změna teploty o 1 °C vyvolá změnu konduktivity asi o 2 %.

pH vody - koncentrace vodíkových iontů

- Pro posouzení reakce vodných roztoků je významné, jaké koncentrace v nich dosahují vodíkové ionty. Tato koncentrace závisí jednak na povaze rozpuštěných látek, jednak na vodě samé.
- Část molekul vody je disociována na vodíkové a hydroxylové ionty H^+ a OH^- . Ve zcela čisté vodě a ve zředěných roztocích lze koncentraci nedisociované vody považovat za konstantní.
- Molární koncentrace obou iontů se navzájem rovnají a mají při teplotě $25\text{ }^\circ\text{C}$ hodnotu $10^{-7}\text{ mol.l}^{-1}$. Součin obou koncentrací má pak hodnotu $10^{-14}\text{ mol.l}^{-1}$. Tento součin zůstává konstantní i za přidání látek, které uvolňují vodíkové nebo hydroxylové ionty. Stačí proto určit koncentraci pouze jednoho z nich. V praxi se vžilo určování koncentrace H^+ iontů.

pH vody - koncentrace vodíkových iontů

- Dobrá rybniční voda má mít pH mezi 7,0 až 8,0, tj. slabě alkalickou reakci. O udržení pH v těchto mezích rozhoduje především dostatečné množství $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, který společně s H_2CO_3 brání většímu kolísání pH.
- Nízké pH vody bývá nejčastěji tam, kde je ve vodě málo vápníku a kde se rozkládá mnoho organických látek (listí, jehličí, rašeliniště).
- Snížení pH povrchových vod bývá často způsobeno kyselými odpadními vodami, které nebyly dostatečně nebo vůbec neutralizovány, nebo kyselými dešti.
- Zvýšení pH je nejčastěji způsobeno intenzivní fotosyntézou vodních rostlin, sinic a řas.

pH vody - koncentrace vodíkových iontů

- Aktivní reakce (pH) vody má velký vliv na fyzikálně-chemický režim vody. Ovlivňuje rozpustnost celé řady látek, které mají značný význam ve fyziologických procesech vodních organismů.
- S veličinou pH těsně souvisí rozpustnost solí železa a vápníku a rovněž tak i fosforu, které mají velký význam pro metabolismus řas.
- Při silné fotosyntéze řas a rostlin dochází k neustálému zvyšování hodnoty pH. Při dosažení hodnot pH kolem 10,5 však již přecházejí některé pro život řas důležité látky do nerozpustného stavu. Snižuje se též propustnost buněčné blány pro některé ionty a fotosyntéza u většiny rostlinstva je tak inhibována.

pH vody - koncentrace vodíkových iontů

- Vody s pH menším než 5,5 a vyšším než 9,0 již nejsou vhodné pro chov ryb. Z rybářského hlediska lze tedy rozdělit vody podle hodnoty pH takto:
- méně než 5,5 - značně kyselé, často dochází k hynutí ryb, nevhodné k chovu
- 5,5 - 6,5 - slabě kyselé, často kontrolovat pH
- 6,5 - 7,5 - neutrální, dobré rybniční vody
- 7,5 - 8,5 - slabě alkalické, platí o nich totéž
- 8,5 - 9,5 - značně alkalické, zvláště v zarostlých rybnících hrozí hynutí ryb
- Stále je třeba mít na paměti, že pH vody se mění jak v průběhu roku, tak v průběhu 24 hodin.

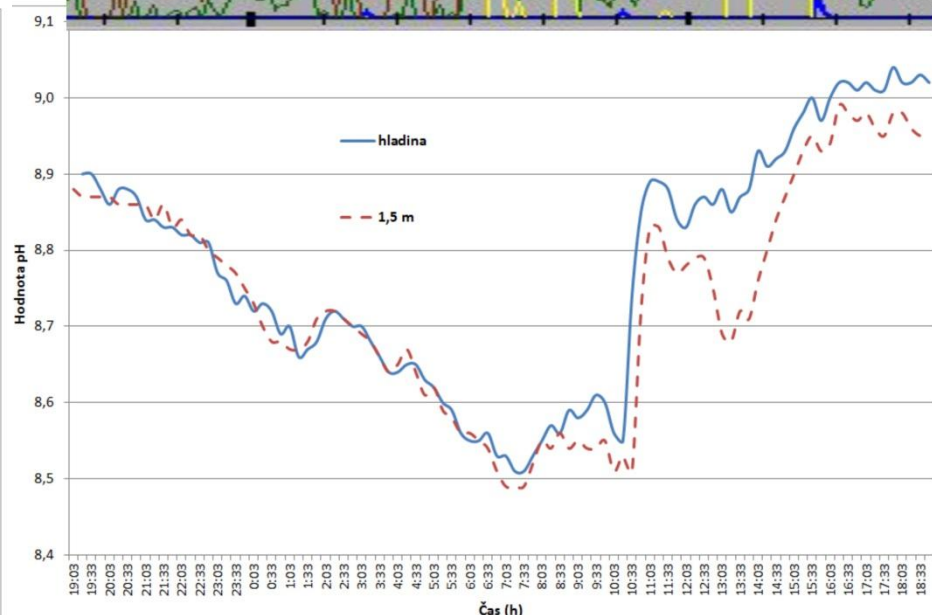
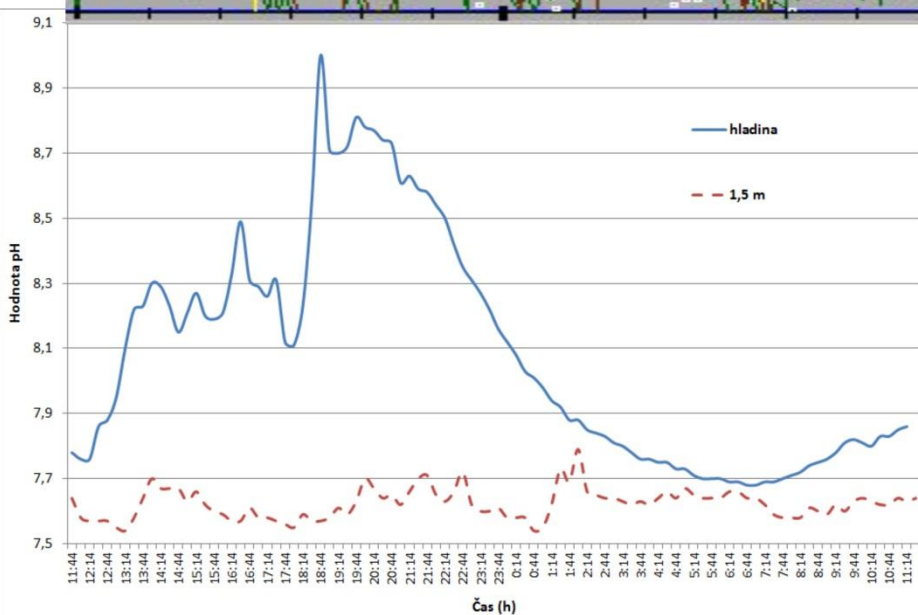
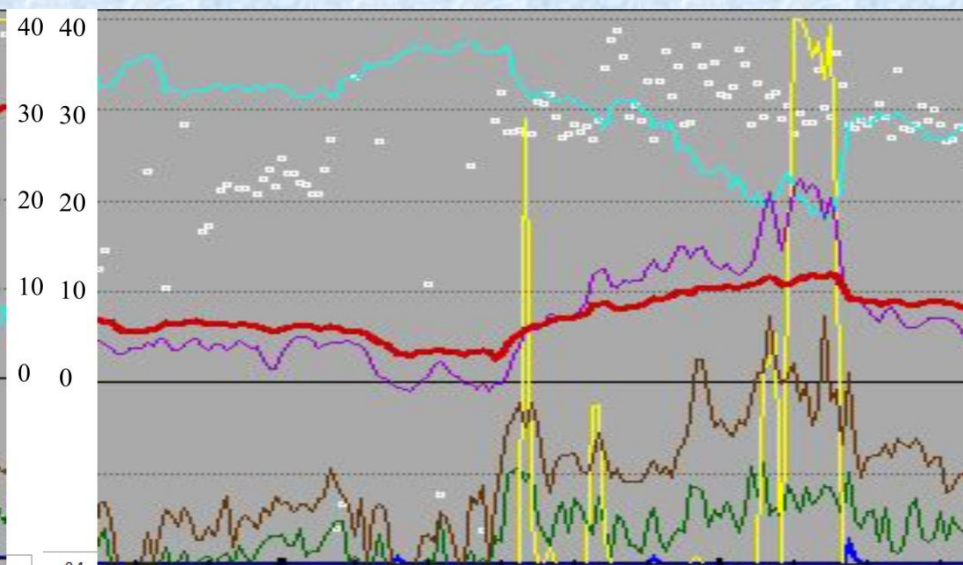
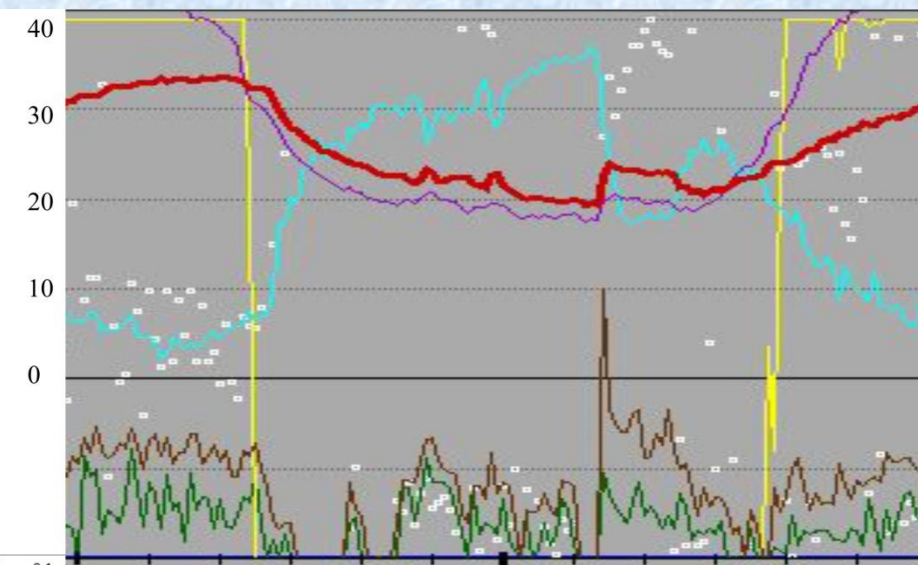
pH vody - koncentrace vodíkových iontů

- pH pitné vody by se mělo pohybovat mezi 6-8. Při pH nad 9 již má voda alkalickou příchut'.
- V povrchových vodách využívaných jako zdroje pitné vody se připouští rozmezí pH 6,5-8,5.
- V povrchových vodách využívaných pro chov ryb se připouští rozmezí pH 6,0-9,0.
- Hodnota pH je vymezena i v požadavcích na jakost provozních vod v řadě průmyslových odvětvích.
- Průměrná hodnota pH mořské vody 7,5-8,5.
- Vodní organizmy můžeme rozdělit na *stenoiontní* (druhy snášející jen malé výkyvy pH vody) a *euryiontní* (druhy snášející velké výkyvy pH vody).

Změny pH vody během 24 hod. v rybníce

24-25.8.2011

8-9.10.2011



Rozpuštěný kyslík

- Kyslík je nejvýznamnější z rozpuštěných plynů ve vodě, která s ním netvoří iontové sloučeniny.
- Obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě se vyjadřuje hmotnostní koncentrací (mg.l^{-1}) a v procentech nasycení vody kyslíkem, vztažených k rovnovážné koncentraci kyslíku ve vodě za dané teploty a daného atmosférického tlaku.
- U podzemních a pitných vod se obvykle nestanovuje, nemá význam ani hygienický ani chuťový.
- Množství kyslíku ve vodě značně ovlivňuje většinu biochemických procesů a často proto bývá limitujícím faktorem pro život různých organismů.

Rozpuštěný kyslík

- Množství rozpuštěného kyslíku ve vodě závisí na atmosférickém tlaku, množství rozpuštěných látek ve vodě a především na teplotě vody.
- S rostoucí teplotou, množstvím rozpuštěných látek ve vodě a rostoucím tlaku se ve vodě rozpouští stále méně kyslíku.
- Do vody se kyslík dostává jednak ze vzduchu, jednak z fotosyntézy vodních rostlin, řas a sinic.
- Kyslík je z vody spotřebováván na dýchání všech organismů a na veškeré oxidační procesy jak organických, tak anorganických látek.
- Vodu, která má obsah kyslíku odpovídající daným fyzikálním podmínkám (tj. tlaku a teplotě), označujeme jako vodu nasycenou kyslíkem na 100 %.

Rozpuštěný kyslík

- Dojde-li k porušení rovnováhy, tj. stoupne-li nebo klesne-li množství kyslíku ve vodě nad nebo pod stupeň nasycení, dochází k pozvolnému vyrovnávání s atmosférou. Rychlost vyrovnávání je závislá na rozdílu hodnot nasycení, velikosti styčné plochy a rychlosti promíchávání vody a ovzduší.
- Kyslík ve stojatých vodách pochází nejčastěji z fotosyntézy rostlin, zatímco v tekoucích vodách převažuje kyslík atmosférického původu.
- V přírodních vodách dochází často ke značným odchylkám od 100 % hodnot nasycení, a to na obě strany. Tyto odchylky jsou tím větší, čím více organismů voda obsahuje.

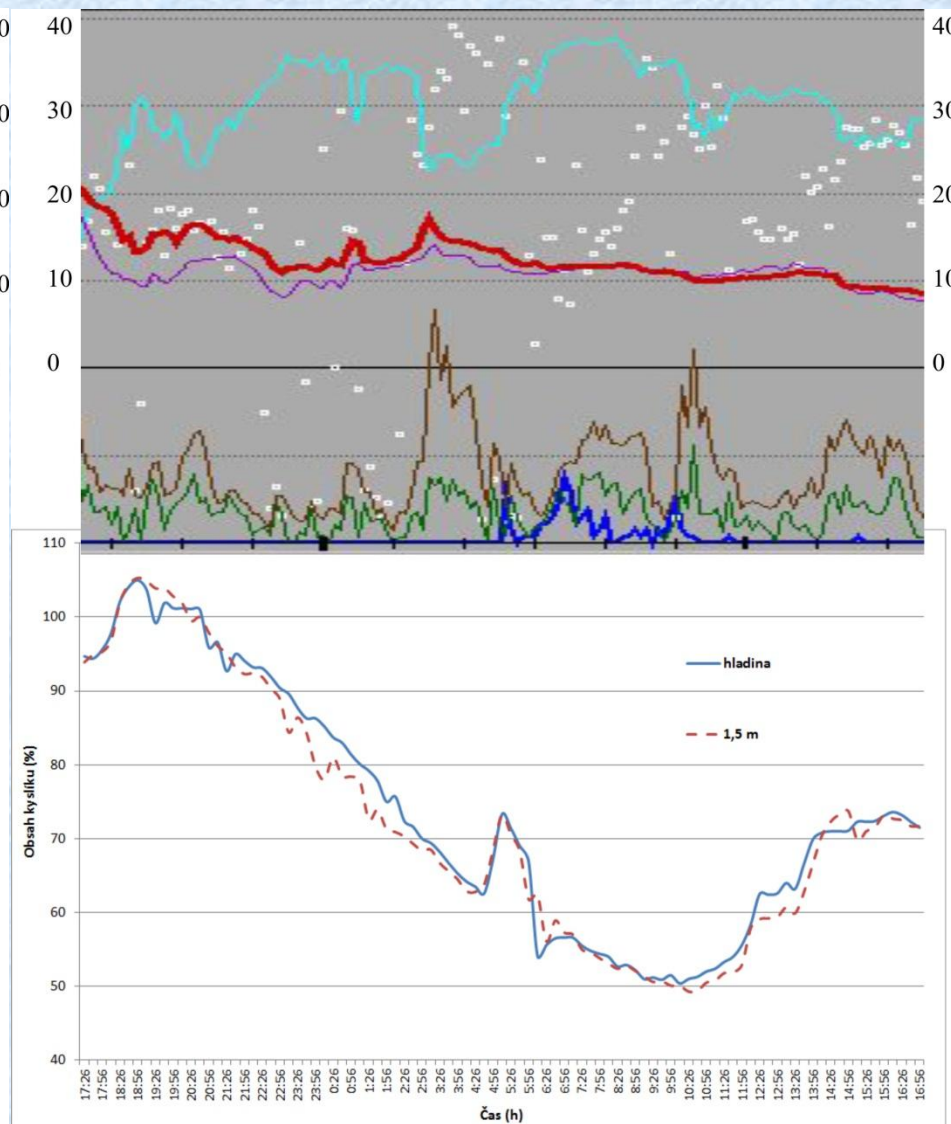
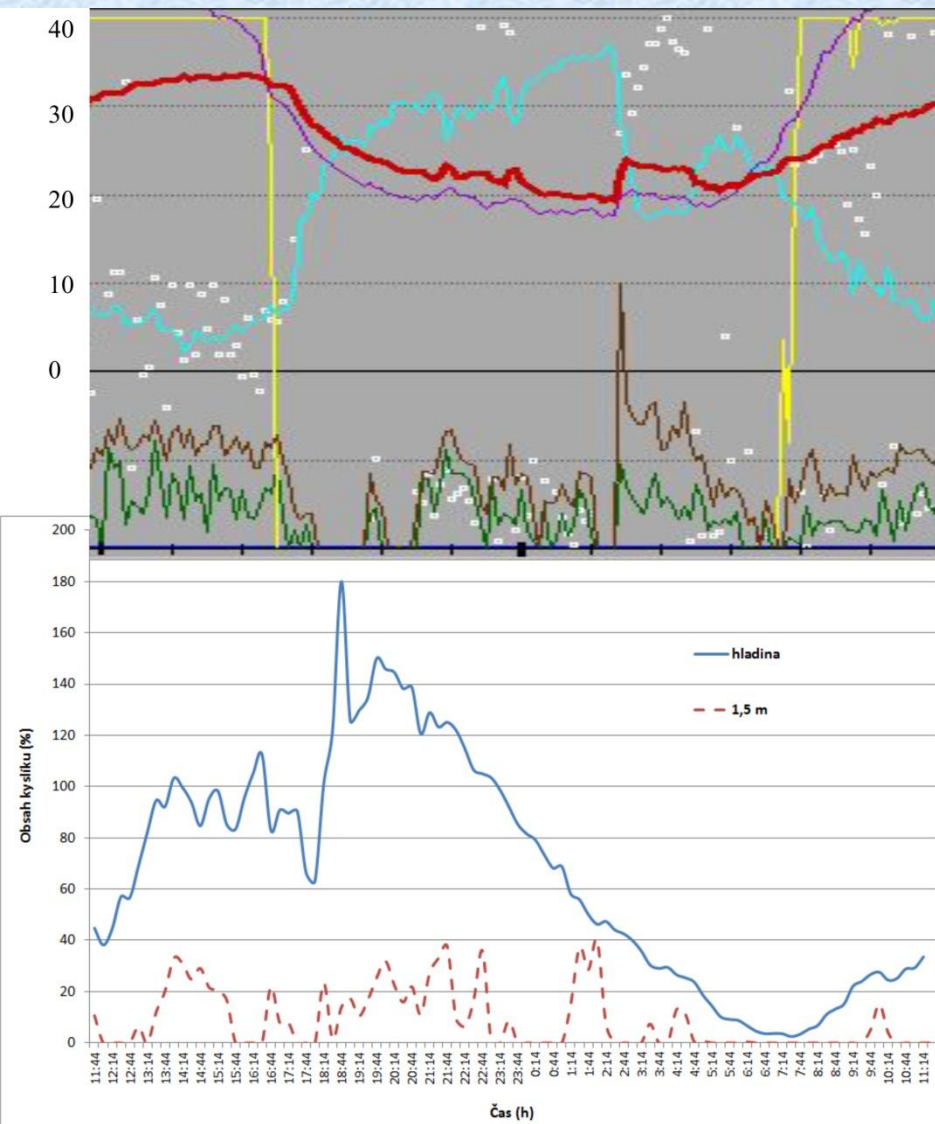
Rozpuštěný kyslík

- V tekoucích neznečištěných vodách se nasycení vody kyslíkem pohybuje neustále kolem 85-100 %. Případné nedosycení nebo přesycení vody kyslíkem (přeřinaté úseky) je neustále vyrovnáváno pohybem vody, zejména jejím vířením.
- Množství kyslíku je přibližně stejné v celém vodním sloupci.
- Ve stojatých vodách je obsah kyslíku závislý především na fotosyntetické činnosti rostlin a dýchání všech organismů.
- Kolísání obsahu kyslíku během 24 hodin v nádrži i rozdíly v nasycení u hladiny a u dna je tím výraznější, čím je biotop na organismy bohatší.

Změny rozpuštěného kyslíku během 24 hod. v rybníce

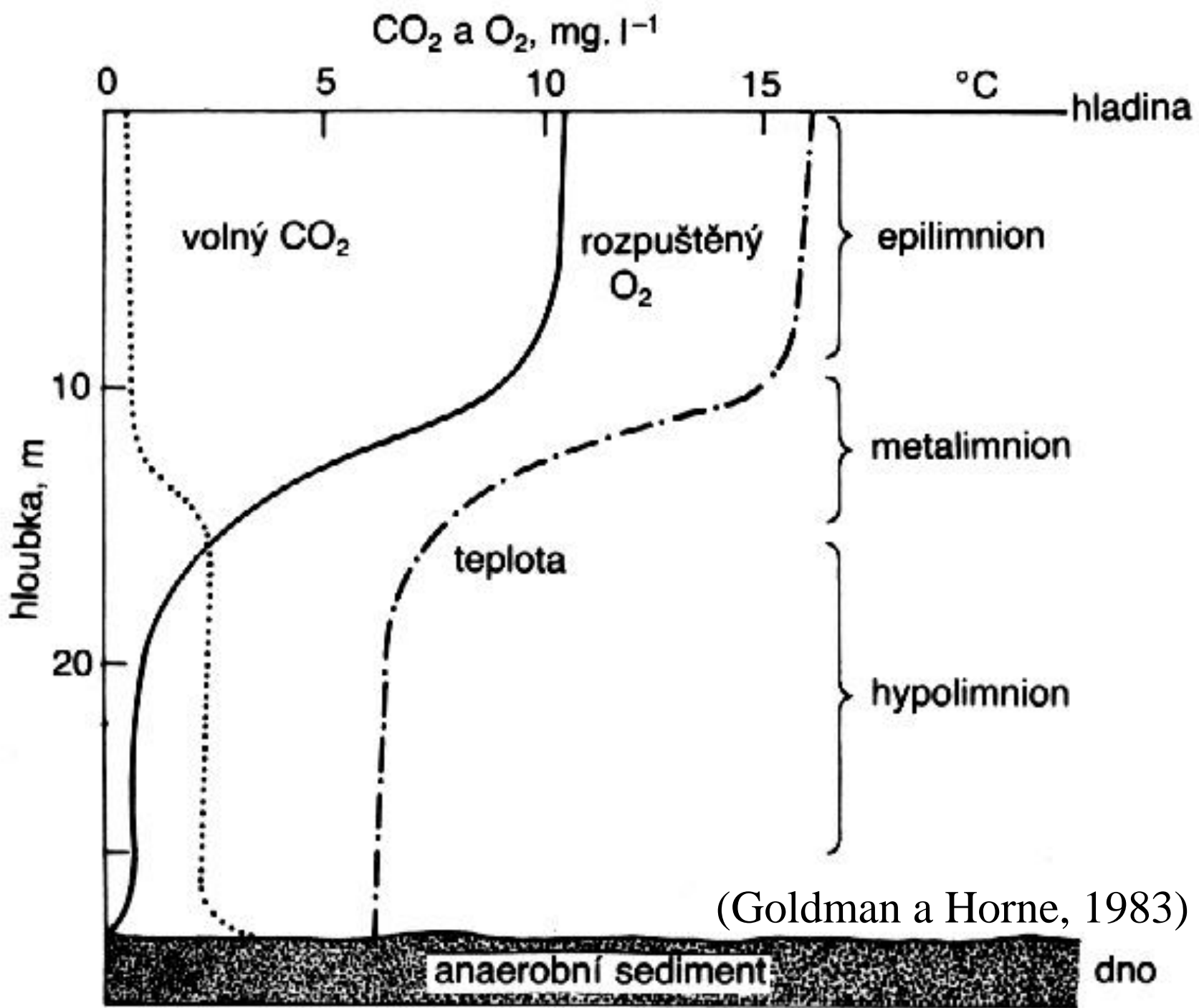
24-25.8.2011

6-7.10.2011



Rozpuštěný kyslík

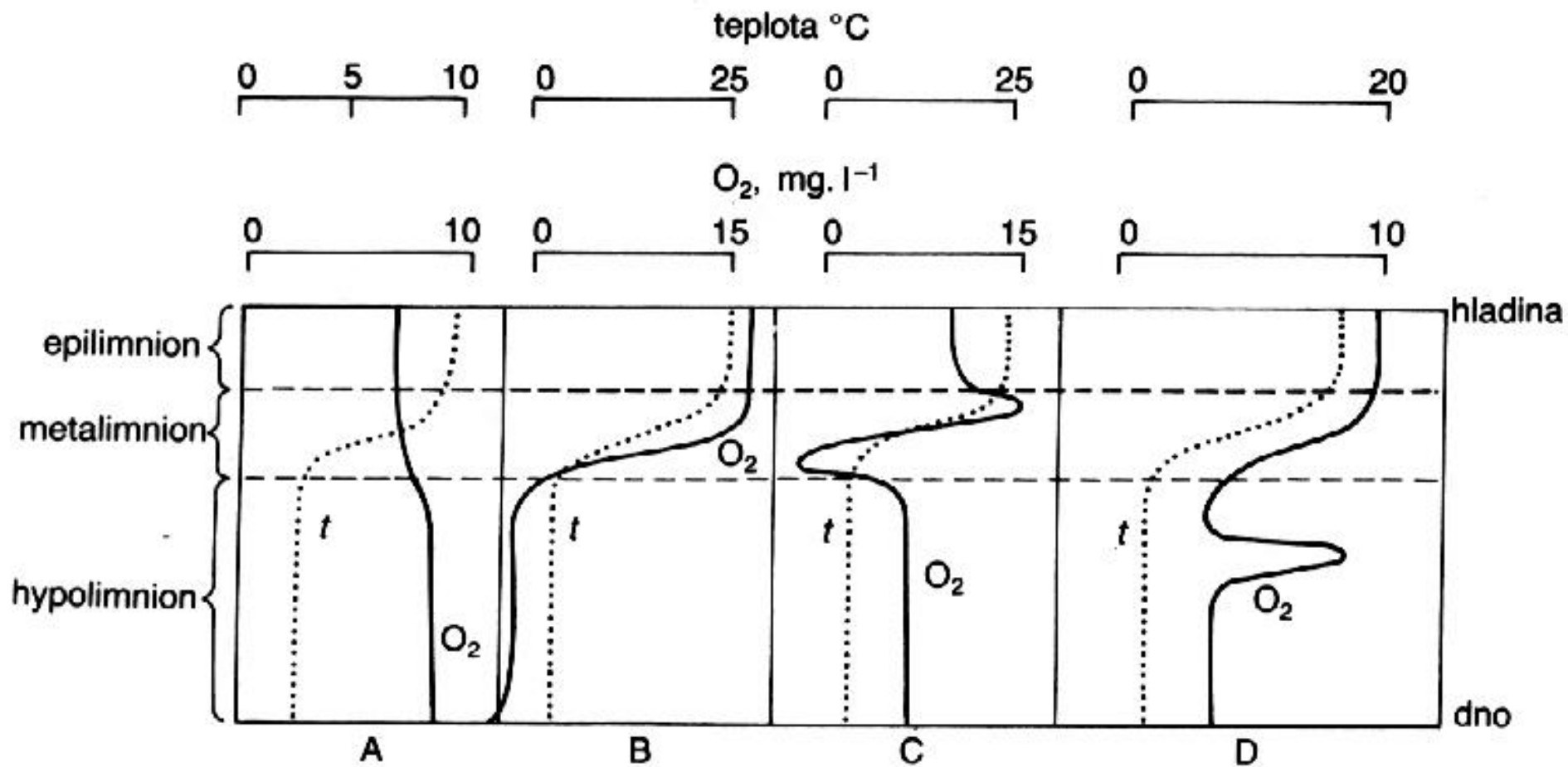
- Hlavní příčinou různého obsahu kyslíku v různých vrstvách vody v hlubokých nádržích je skutečnost, že v důsledku vertikální tepelné stratifikace a vzniku letní stagnace se nemůže kyslíkem bohatá horní vrstva epilimnia smísit s hlubšími, na kyslík chudšími vrstvami.
- Zatímco povrchové vrstvy bývají přes den zpravidla kyslíkem výrazně přesyceny v důsledku asimilační činnosti fytoplanktonu, v hlubších vrstvách bývá kyslíku nedostatek, protože je tu málo světla a protože je tu větší množství organické hmoty podléhající oxidaci.
- Nedostatek kyslíku v hypolimniu hluboké nádrže může být způsoben tím, že jde o nádrž eutrofní, s bohatou sedimentací odumřelých těl hydrobiontů, nebo o nádrž oligotrofní, u níž objem epilimnia značně převyšuje objem hypolimnia.



(Goldman a Horne, 1983)

Rozpuštěný kyslík

- U většiny oligotrofních jezer je obsah kyslíku v hypolimnionu vysoký i v období letní stagnace. Tento stav je způsoben nízkou produkcí organické hmoty v epilimniu, nebo když je objem hypolimnia značně větší než objem epilimnia. Tyto podmínky se vyskytují nejčastěji u oligotrofních jezer se srázně klesajícími břehovými svahy.
- V podzemních vodách bývá kyslíku vždy méně, než odpovídá 100 % nasycení a v některých případech klesá jeho obsah až na nulu. To souvisí s tím, že kyslík je postupně spotřebováván na oxidaci organických látek, jimiž se voda při prosakování půdou obohatila.



(Goldman a Horne, 1983)

Rozpuštěný kyslík

- Podle vztahu ke kyslíku se dělí organismy na *euroxybiontní* a *stenoxybiontní*.
- Obsah kyslíku ve vodě je jedním z nejdůležitějších faktorů při chovu ryb. Časté, každoročně se opakující úhyny ryb, mají svou příčinu nejčastěji v nedostatku rozpuštěného kyslíku.
- Jednotlivé druhy ryb mají dosti odlišné nároky na obsah kyslíku ve vodě.
- Pro *lososovité* v letních měsících je kritické množství kyslíku 5,0 - 5,5 mg·l⁻¹. Při 4,0 mg·l⁻¹ lze pozorovat obtíže při dýchání a při 1,0 - 2,0 mg·l⁻¹ již v krátkém čase hynou.

Rozpuštěný kyslík

- Pro *kapra* je optimální obsah kyslíku během vegetačního období nad $6,5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, obsah kyslíku $3,0 - 3,5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ je již dlouhodoběji nepřijatelný. V zimním období nemá poklesnout obsah O_2 pod $3 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.
- S růstem průměrné kusové hmotnosti se nárok na kyslík významně snižuje. $K_1=1$, $K_2=0,5-0,7$, $K_v=0,3-0,4$
- Spotřeba kyslíku kaprem = 1, pstruh 2,83; peled' 2,20; candát 1,76; plotice 1,51; jeseter 1,50; okoun 1,46; cejn 1,41; štika 1,10; úhoř 0,83; lín 0,83.
- Obsah kyslíku ve vodě je důležitý i pro vývoj jiker. Lososovité ryby, žijící v chladné a na kyslík bohaté vodě, mají jikry poměrně velké, zatímco kaprovité ryby, které žijí ve vodách na kyslík chudších, mají jikry daleko menší, aby poměr objemu jikry k jejímu povrchu byl co nejvýhodnější a zásobování zárodku kyslíkem co nejlepší.

Rozpuštěný kyslík

- Kritické stavy v obsahu kyslíku:
- V zimním období led a silná vrstva sněhu.
- V letním období v ranních hodinách v silně eutrofních vodách.
- V nádržích značně přesazených rybami nebo zaplněných zooplanktonem.
- Při náhlém odeznění vodního květu sinic.
- Při rozkladu herbicidem zasažených nebo posekaných vodních rostlin.
- Při zatížení nádrže odpadními vodami.
- Při přepravě většího množství ryb v malých nádržích.

Amoniakální dusík

- Amoniakální dusík se vyskytuje téměř ve všech typech vod. Je primárním produktem rozkladu organických dusíkatých látek živočišného i rostlinného původu.
- Organického původu je rovněž ve splaškových a odpadních vodách ze zemědělských výroby. Může vznikat přímo ve vodě redukcí dusitanů nebo dusičnanů.
- Anorganického původu je v odpadních vodách z tepelného zpracování uhlí, může být obsažen i v pitných vodách dezinfikovaných chloraminací.
- Plynný amoniak (molekulární, nedisociovaná forma NH_3) se ve vodě ihned rozpouští za tvorby amonných solí (iontová, disociovaná forma NH_4^+). Vzájemný poměr obou forem závisí na pH a teplotě.

Závislost mezi pH, teplotou a procentickým obsahem toxické formy (NH₃) amoniakálního dusíku.

%	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
0 °C	0,008	0,026	0,082	0,261	0,820	2,55	7,64	20,7	45,3
5	0,125	0,039	0,125	0,394	1,23	3,80	11,10	28,3	55,6
10	0,018	0,059	0,186	0,586	1,83	5,56	15,7	37,1	65,1
15	0,027	0,086	0,273	0,859	2,67	7,97	21,5	46,4	73,3
16	0,029	0,093	0,294	0,925	2,87	8,54	22,8	48,3	74,7
17	0,032	0,101	0,317	0,996	3,08	9,14	24,1	50,2	76,1
18	0,034	0,108	0,342	1,07	3,31	9,78	25,5	52,0	77,4
19	0,037	0,117	0,368	1,15	3,56	10,5	27,0	53,9	78,7
20	0,039	0,125	0,396	1,24	3,82	11,2	28,4	55,7	79,9
21	0,043	0,135	0,425	1,33	4,10	11,9	29,9	57,5	81,0
22	0,045	0,145	0,457	1,43	4,39	12,7	31,5	59,2	82,1
23	0,049	0,156	0,491	1,54	4,70	13,5	33,0	60,9	83,2
24	0,053	0,167	0,527	1,65	5,03	14,4	34,6	62,6	84,1
25	0,057	0,180	0,566	1,77	5,38	15,3	36,3	64,3	85,1
30	0,080	0,254	0,799	2,48	7,46	20,3	44,6	71,8	89,0

Amoniakální dusík

- Atmosférické vody obsahují amoniakální dusík obvykle v desetinách mg.l^{-1} , v průmyslových oblastech může jeho koncentrace vzrůst až na jednotky.
- Podzemní vody obsahují obvykle do $0,1 \text{ mg.l}^{-1} \text{ N-NH}_4^+$, vyšší koncentrace u vod v kontaktu s vodami ropnými (i přes $100 \text{ mg.l}^{-1} \text{ N-NH}_4^+$).
- Čisté povrchové vody obvykle jen stopy, max. desetinu mg.l^{-1} , v znečištěných vodách i desítky mg.l^{-1} .
- Mořská voda ve svrchních vrstvách pouze desítky $\mu\text{g.l}^{-1}$, ve větších hloubkách až jednotky $\text{mg.l}^{-1} \text{ N-NH}_4^+$.
- Amoniakální dusík je v přírodních vodách za aerobních podmínek velmi nestálý. Biochemickou oxidací (nitrifikací) přechází na dusíkaté sloučeniny vyšších oxidačních stupňů.

Amoniakální dusík

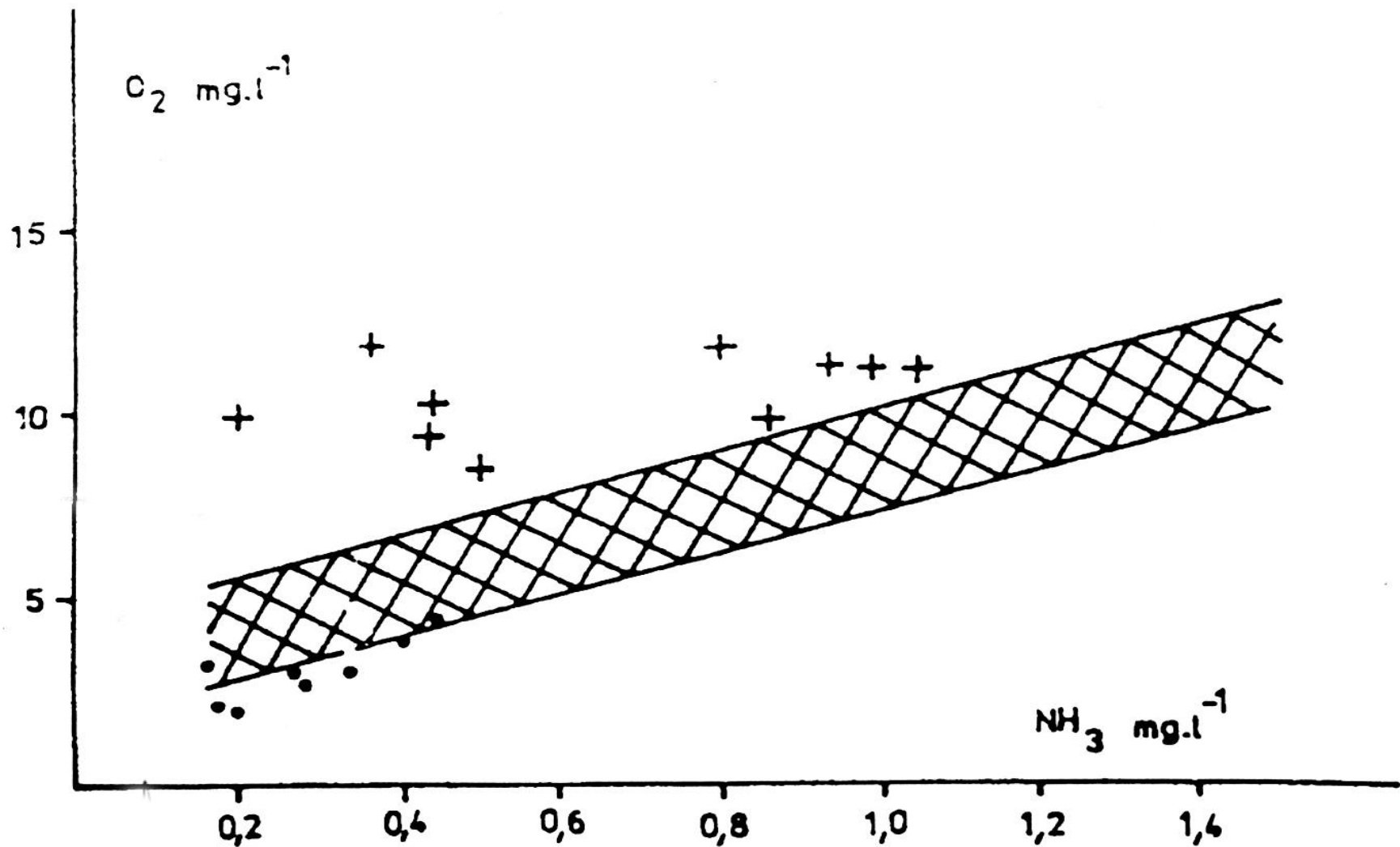
- Amoniakální dusík ve formě amonných solí je pro hydrobionty neškodný i v množství několika desítek $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, plynný amoniak je pro ryby však značně toxický.
- Hranice toxicity pro tlouště je $1,0 - 1,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, pro plůdek pstruha duhového však již $0,006 - 0,010 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.
- LC_{50} pro kaprovité $1,0-1,5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ NH}_3$, pro lososovité $0,5-0,8 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ NH}_3$,
- Maximální přípustná koncentrace pro kaprovité $0,05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ NH}_3$, pro lososovité $0,0125 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1} \text{ NH}_3$.

Výpočet:

$$\text{NH}_3 = \frac{\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3}{10^{10,07 - 0,033 T - \text{pH}} + 1}$$

Amoniakální dusík

- Ryby se zbavují přes 90 % veškerého amoniaku, vznikajícího v důsledku metabolismu v jejich těle uvolňováním přes žábry na základě koncentračního spádu.
- Stoupající koncentrace amoniaku v okolní vodě tak může bránit a posléze i zablokovat další uvolňování amoniaku z těla ryb. To může vést postupně až k autointoxikaci ryb, jejich onemocnění a posléze i úhynu.
- Ryby zasažené toxickým amoniakem jeví neklid, nouzově dýchají, typickým znakem jsou křeče svaloviny, světlá barva, žábry překrvené a zahleněné, drobné krváceniny.
- Toxicita amoniaku stoupá se snižující se koncentrací kyslíku.



• případy hynutí ryb

+ vody s vysokou koncentrací nedisociovaného amoniaku, ve kterých se nevyskytly případy poškození ryb



letální hranice nedisociovaného amoniaku

(Vámos a Szöllösy, 1974)

Amoniakální dusík

- Koncentrace amoniakálního dusíku se ve vodě vyjadřuje hmotnostní koncentrací v mg.l^{-1} jako NH_4^+ , NH_3 , nebo N-NH_4^+ , N-NH_3 popř. $\text{N-(NH}_3 + \text{NH}_4^+)$.
- Používanými analytickými postupy nelze rozlišit jednotlivé formy (stanoví se vždy součet obou) lze obsah amoniakálního dusíku vyjadřovat jako N (amoniakální N) v mg.l^{-1} nebo mmol.l^{-1} .
- Pro přímé stanovení amoniakálního dusíku se celosvětově používá absorpční spektrofotometrická metoda s Nesslerovým činidlem.
- Lze využít i indofenolovou metodu (náročnější) nebo iontově selektivní elektrody.

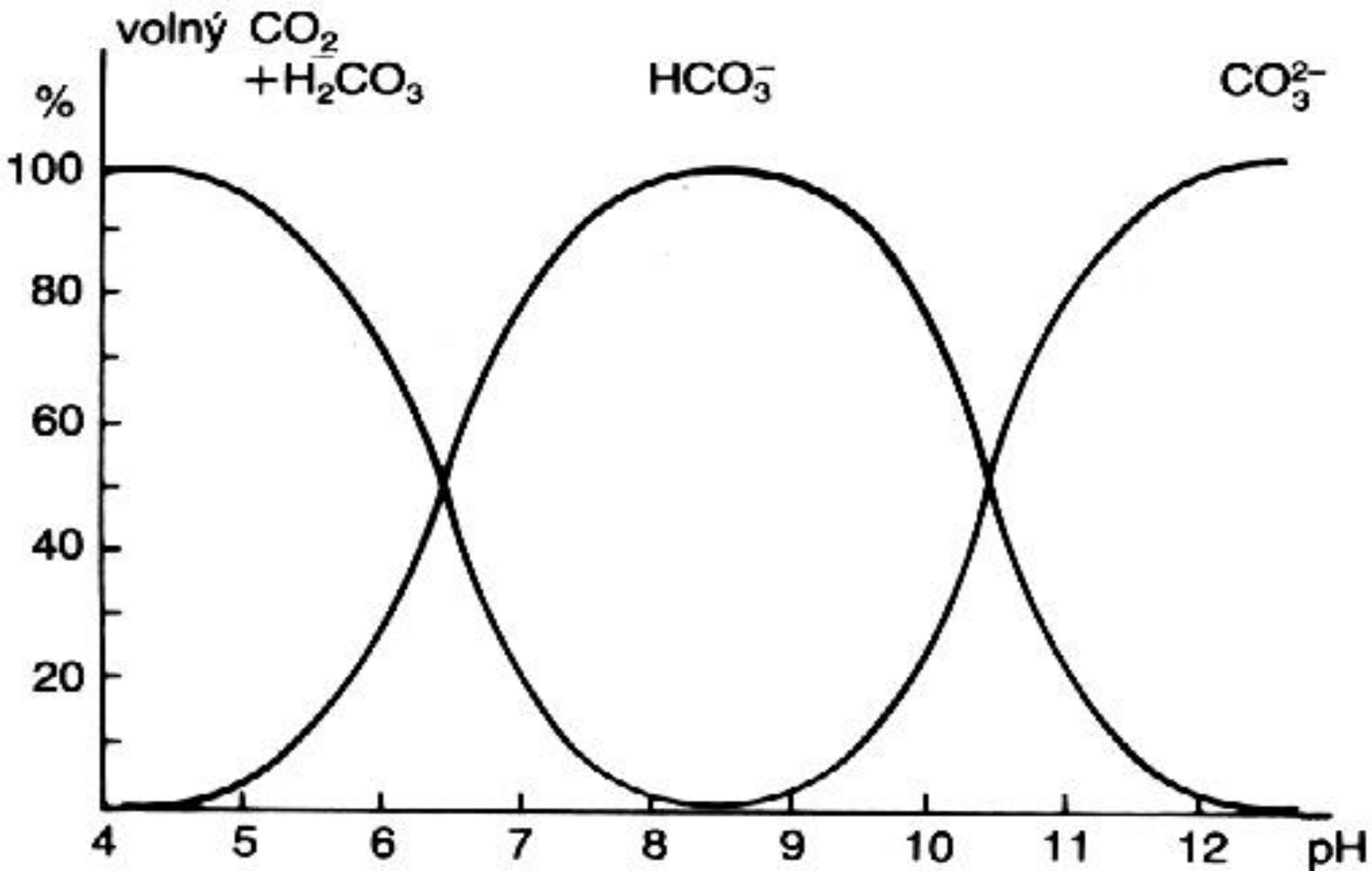
Oxid uhličitý

- Plynný CO_2 je ve vodě snadno rozpustný (cca 200x rozpustnější než O_2), takže jeho množství ve vodě je v poměru k jiným plynům vyšší, než odpovídá jeho objemovému podílu v ovzduší (0,03%).
- Na dalším zvýšení CO_2 ve vodě se podílí bakteriální rozklad organické hmoty a dýchání vodních rostlin a živočichů. Rovněž voda prosakující půdními horizonty je obohacována CO_2 z půdního vzduchu (obsah CO_2 v půdní atmosféře obnáší až 3 objemová %).
- CO_2 chemického původu vzniká rozkladem minerálů kyselými vodami, objevujícími se při oxidaci sulfidických rud, nebo se uvolňuje při oxidaci dvojmocného železa v hydrogenuhličitánových vodách.

Oxid uhličitý

- CO_2 je rozpuštěn ve vodě převážně v molekulární formě. Jen asi necelé 1 % reaguje s vodou za vzniku H_2CO_3 .
- H_2CO_3 je ve vodě částečně disociována na ionty H^+ a hydrogenuhličitanové ionty HCO_3^- . Ionty HCO_3^- dále disociují na ionty H^+ a uhličitanové CO_3^{2-} a zvyšují tak kyselost vody (pokles pH).
- Rozpuštěný CO_2 ve vodě se nazývá **volný oxid uhličitý** a pod tímto pojmem se rozumí součet koncentrací volně hydratovaného CO_2 a H_2CO_3 .
- Iontové formy oxidu uhličitého představují ionty HCO_3^- a CO_3^{2-} . V nich obsažený oxid uhličitý se nazývá **vázaný** a dělí se na **hydrogenuhličitanový** (bikarbonátový) a **uhličitanový**. Součet všech tří forem, volného, hydrogenuhličitanového a uhličitanového se nazývá **veškerý oxid uhličitý**.

Změny v relativním zastoupení CO_2 , HCO_3^- a CO_3^{2-} v přírodních vodách v závislosti na změnách pH. (Golterman, 1975)



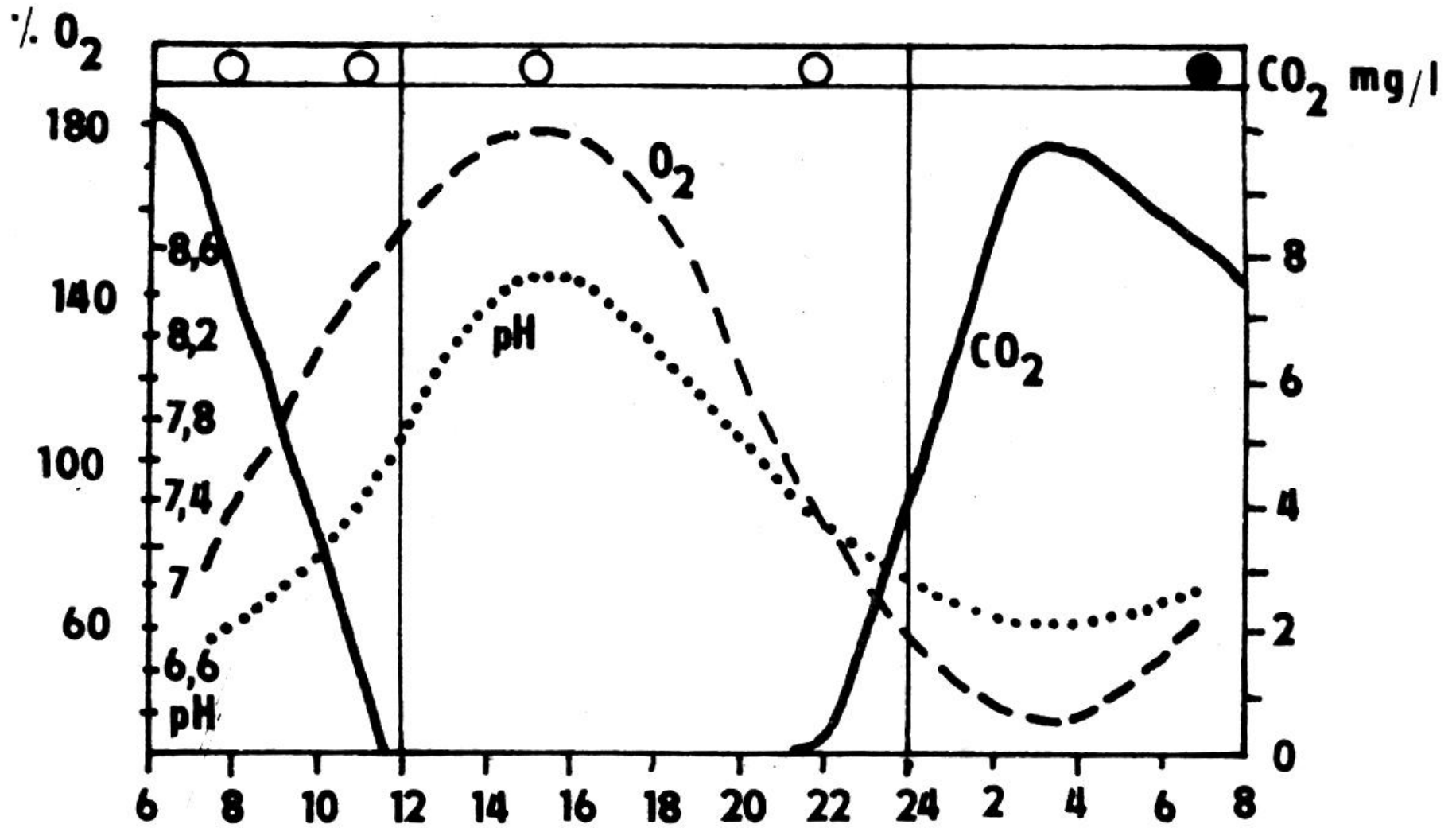
Oxid uhličitý

- Rozpuštěný volný oxid uhličitý je obsažen téměř ve všech přírodních vodách, jejichž pH nepřesahuje 8,3. Obsah CO_2 se snižuje únikem do atmosféry, chemickou vazbou některými minerály (CaCO_3) a odčerpáváním rostlinami při fotosyntetické asimilaci.
- V povrchových vodách jeho obsah nepřekračuje 20 - 30 mg.l^{-1} . Podzemní vody obsahují obvykle několik desítek mg.l^{-1} CO_2 , vody minerální pak několik stovek až přes 1.000 mg.l^{-1} (kyselky).
- Ve stojatých vodách dochází ke stratifikaci obsahu CO_2 vlivem fotosyntetické asimilace. Svrchní vrstvy obsahují obvykle méně volného CO_2 než vrstvy spodní.

Oxid uhličitý

- V důsledku intenzivní fotosyntézy může dojít k úplnému vyčerpání obsahu CO_2 a tím vzrůstu pH nad 8,3. V eutrofních vodách může být tedy i látkou limitující rozvoj rostlin.
- $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2 \text{HCO}_3^-$
- Po odčerpání volného CO_2 dochází k rozkladu kyselých uhličitánů a pH vody může vystoupit až nad hodnotu 10,0, při rozkladu normálních uhličitánů pak až na hodnoty kolem pH 11,0.
- $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
- $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$
- Rozpustnost CaCO_3 ve vodě je asi 15 mg.l^{-1} , pokud voda neobsahuje rozpuštěný CO_2 .

Změny v obsahu rozpuštěného O_2 , pH a CO_2 během 24 hodin.



(Heteša a Sukop, 1985)

Sirovodík

- Sirovodík je jedovatý plyn, který se ve vodách vyskytuje nejčastěji u dna, kde je nedostatek kyslíku. V aerobním prostředí je nestabilní a podléhá postupně oxidaci až na sírany (SO_4^{2-}).
- Minerální vody obsahující minimálně 1 mg.l^{-1} S- H_2S se označují jako vody sirné (sirovodíkové). Bohaté na obsah sirovodíku jsou minerální vody ropného původu.
- Množství sirovodíku u dna hlubokých nádrží, kam proniká kyslík jen pozvolna, může být značné. Jeho koncentrace v hypolimniu jezer může dosáhnout hodnot až stovek mg.l^{-1} .
- Např. v Černém moři je bez sirovodíku pouze horní vrstva vody o síle 150-200 m, zatímco níže ležící vrstvy jsou sirovodíkem nasyceny a tudíž bez života.

Sirovodík

- Na horní hranici sirovodíkové zóny dochází často k rozvoji sírných bakterií, které syntetizují organické látky ze sirovodíku v procesu chemosyntézy.
- H_2S a jeho iontové formy mohou být příčinou koroze zdiva vodních staveb. Vznikající sirovodík je biochemicky oxidován až volnou H_2SO_4 bakteriemi obsaženými v slizových vrstvách na stěnách staveb.
- Norma pro pitnou vodu připouští nejvýše $0,01 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, ve vodárenských tocích se přítomnost H_2S nepřipouští, v ostatních může být nejvýše $0,1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.
- Pro vodní živočichy je sirovodík jedovatý. Letální koncentrace pro ryby se pohybuje od $0,4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (lososovitě) do $4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ H_2S (karas, lín). Při vyšším pH toxicita H_2S klesá.

Chlor

- Volný chlór se v přírodních vodách nevyskytuje.
- Chlor je nejčastěji používaným dezinfekčním činidlem ve vodárenství, navíc se používá k bakteriologickému zabezpečení nezávadnosti vody.
- Volný chlór působí na vodní organizmy a ryby toxicky. Rozrušuje žábra (žaberní lístky se bělavě zbarvují) až po úplné odumírání žaberního epitelu.
- Při nižších teplotách je účinek silnější, poněvadž se chlór ve vodě déle udrží, zatímco při vyšších teplotách se chlór rychle váže především na organické látky.
- Koncentrace $0,04-0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ aktivního chloru je při dlouhodobém působení toxická pro většinu ryb.
- Chlorovaná pitná voda obsahuje $0,05$ až $0,3 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ aktivního chloru.

Metan

- Methan neboli bahenní plyn vzniká ve vodách při rozkladu celulózy. Plyn je bez zápachu a jeho toxicita není výrazná.
- K nebezpečnému nahromadění methanu pro ryby ve vodě může dojít v zimě pod ledem. Jeho množství ve vodě může dosáhnout několika mg.l^{-1} .
- Jedovatost methanu je nepřímá, vytlačuje z vody kyslík a tak může způsobit dušení ryb. Bubliny methanu uvolňující se ze dna a vystupující k hladině navíc strhávají i části sedimentu do pelagiálu, kde jsou tyto části oxidovány.
- Nejvíce methanu se vyskytuje ve vodách silně zarostlých, v bahnu mrtvých ramen řek, v tůních, malých mělkých rybnících a v odpadních vodách především z potravinářského průmyslu (cukrovary).

Sloučeniny dusíku

- Dusík patří mezi nejdůležitější biogenní prvky ve vodách
- Sloučeniny dusíku se uplatňují při všech biologických procesech probíhajících v povrchových, podzemních i odpadních vodách
- Dusík se vyskytuje ve vodách v různých oxidačních stupních, v iontové i neiontové formě
- Distribuce jednotlivých forem je ovlivněna zejména biochemickými procesy probíhajícími ve vodách

Sloučeniny dusíku

- Hlavní formy výskytu N ve vodách:
 - N elementární
 - N anorganicky vázaný
 - amoniakální dusík N-NH_4^+ resp. N-NH_3
 - dusitanový dusík N-NO_2^-
 - dusičnanový dusík N-NO_3^-
 - dusík umělého původu (kyanidy, kyanatany, thiokyanatany)
 - N organicky vázaný

Sloučeniny dusíku

- **Koloběh N** – značně komplikovaný biogeochemický cyklus
- Hlavní biogenní prvek spolu s C, H a O
- Z elementárního N z atmosféry výboji až $0,35 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ NO_3 , biologickými procesy je fixováno až $200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ NO_3
- Organické N-látky se rozkládají mikrobiální činností a N se uvolňuje jako amoniakální (proces *deaminace*, *amonifikace*). V této formě je využíván mikroorganismy (bakterie, sinice, řasy, rostliny) k syntéze nové biomasy
- V aerobních podmínkách je amoniakální dusík oxidován nitrifikačními bakteriemi na dusitany a dusičnany (proces *nitrifikace*)

Sloučeniny dusíku

- V anaerobních podmínkách může dojít k redukci dusičnanů a dusitanů až na elementární N nebo N_2O a NO (proces *denitrifikace*)
- Redukci způsobují striktně i fakultativně anaerobní mikroorganismy (*Pseudomonas, Achromobacter*)
- Proces probíhá i v mírně oxických podmínkách (O_2 do $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$)
- V kyselém prostředí probíhá denitrifikace pomaleji a tvoří se více oxidů dusíku, při pH nad 6 převažuje produkce elementárního N

Sloučeniny fosforu

- Přírodním zdrojem P jsou minerály a horniny např. apatit $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{F}, \text{Cl})_2$, fosforit $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$, kaolinit $\text{Si}_2\text{O}_5\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{PO}_4$ a rozklad odumřelé vodní fauny a flóry
- Umělého původu je P ze splaškových vod, živočišných odpadů, odpadních vod z pivovarského a textilního průmyslu, prádelen a ze splachů obdělávané půdy hnojené fosforečnými hnojivy
- Ve vodách se P vyskytuje v nejrůznějších formách buď rozpuštěný nebo nerozpuštěný (suspendovaný), organický nebo anorganický
- V koloidně rozptýlené formě a ve formě orthofosforečnanů je nejpřijatelnější pro primární producenty

Sloučeniny fosforu

- V podzemních vodách je P v malých koncentracích díky snadnému zadržení v půdě
- V povrchových neznečištěných vodách se koncentrace pohybují v tisícinách až setinách mg.l^{-1} P, v znečištěných v desetinách, výjimečně i jednotkách mg.l^{-1} P
- V minerálních vodách se P vyskytuje jen v setinách mg.l^{-1} P, v mořské vodě je průměrně obsaženo asi jen $0,07 \text{ mg.l}^{-1}$ P
- Fosfor je důležitým prvkem z hlediska eutrofizace
- V zimním období je množství reaktivního P ve vodě nejvyšší, protože probíhá mineralizace těl odumřelých organismů odkud se P uvolňuje do vody, aniž se jinými organismy spotřebovává (nízká biomasa hydrobiontů i intenzita metabolismu)

Sloučeniny fosforu

- V jarním období s nástupem vegetace se obsah P začíná rychle snižovat a obsah asimilovatelného P může klesnout až k nule
- Nastává období deprese fytoplanktonu, fáze „clear water“, obsah P se zvýší a s nástupem nové biomasy primárních producentů se jeho obsah opět rychle snižuje
- v letních měsících je v podstatě veškerý P poután v biomase hydrobiontů a jeho koncentrace ve vodě jsou minimální (roste obsah partikulovaného P tj. P vázaný v biomase fytoplanktonu a bakterií)

Sloučeniny fosforu

- Žádná z přirozených sloučenin P nevykazuje tendenci k vypařování – nemůže tedy být přemístována atmosférou
- Z hlediska globálního koloběhu P, se uvolněný P zvětráním hornin dostane do vod a odtud je v sedimentech splavován do moří, kde se usazuje
- Návrat P je možný pouze přes biosféru (trus ptáků – ložiska guana, rybolov) a za normálních okolností je velmi pomalý
- P deponovaný v hlubinných sedimentech moří představuje jeho dlouhodobou ztrátu (tzv. propad fosforu)

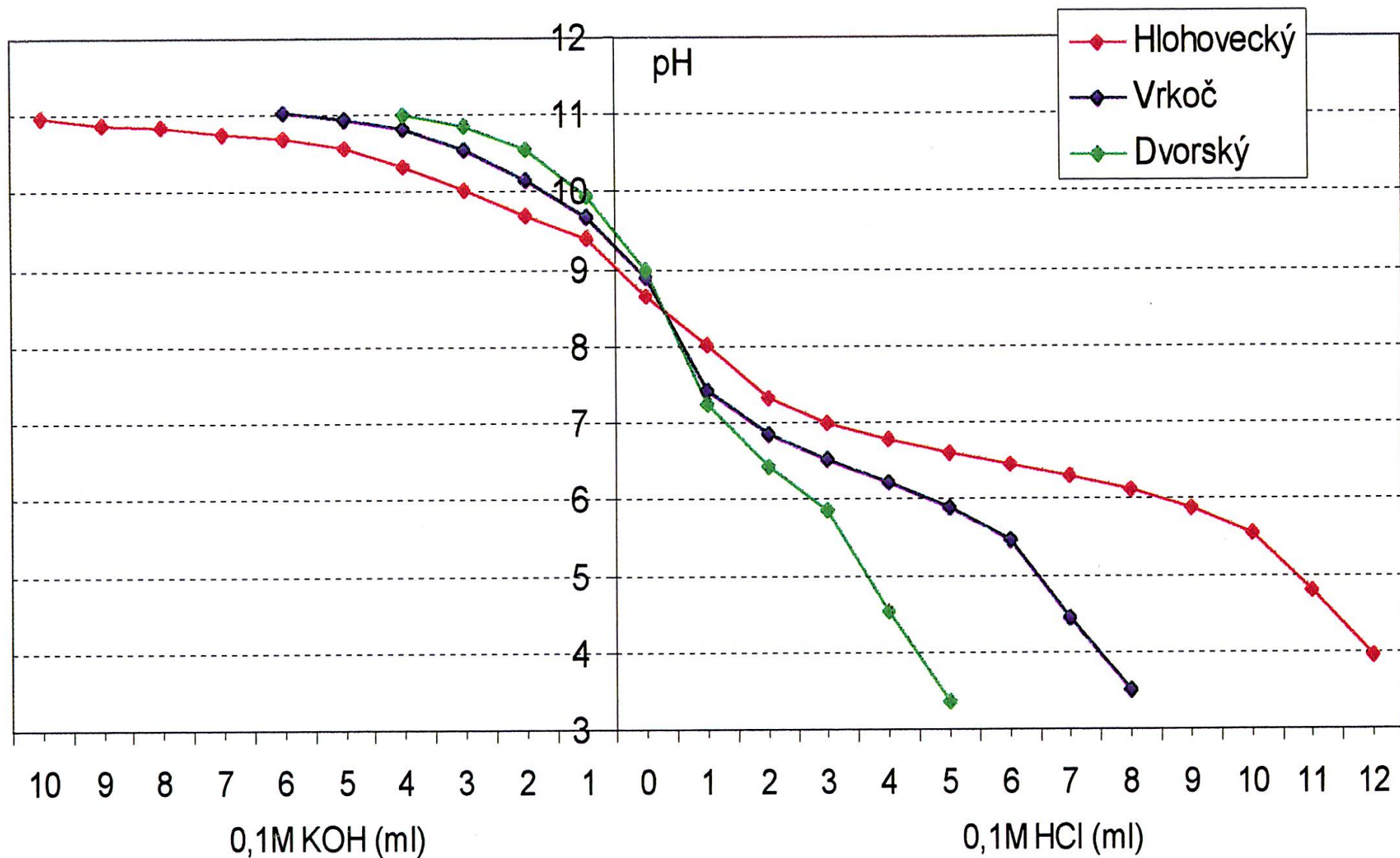
Sloučeniny fosforu

- Tento přirozený koloběh výrazně narušil člověk zvýšenou těžbou a využíváním fosfátů, aplikací fosforečných hnojiv kdy došlo k značnému zrychlení koloběhu P a tím i zvýšení eutrofizace vod
- Přípustné max. zatížení vodárenských toků je $0,15 \text{ mg.l}^{-1}$ P, ostatní povrchové vody $0,4 \text{ mg.l}^{-1}$ P

TLUMIVÁ KAPACITA (ústojnost vody)

- je schopnost vody tlumit změny pH po přidavku kyselin a zásad
- nejvýznamnější je uhličitanový tlumivý systém $\text{CO}_2 - \text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-}$
- další tlumivé systémy: fosforečnany, boritany, křemičitany, amoniakální dusík, sulfidy, organické zásady, některé minerály, dnové sedimenty, fotosyntéza a respirace mikroorganismů
- umožňuje přírodním vodám vyrovnat se do určité míry s kyselými nebo zásaditými odpadními vodami, aniž dojde k významnému poklesu nebo vzrůstu hodnot pH
- tlumivá kapacita je v přírodním prostředí vyšší než u vzorků odebraných pro analýzu

Křivky ústojnosti vybraných rybníků jižní Moravy.



NEUTRALIZAČNÍ (acidobazická) KAPACITA

- je integrálem tlumivé kapacity ve zvoleném rozmezí pH
- kvantitativně vyjadřuje obecnou vlastnost vod vázat vodíkové nebo hydroxidové ionty
- jde o látkové množství silné kyseliny nebo silné zásady, které se spotřebuje na 1 litr vody pro dosažení určité hodnoty pH
- rozeznává se kyselinová neutralizační kapacita (KNK) – **alkalita** a zásadová neutralizační kapacita (ZNK) – **acidita**
- udává se v mmol.l^{-1} , hodnota pH se připojuje jako index
- většina přírodních vod reaguje alkalicky na methylooranž (4,4-4,5) a kysele na fenolftalein (8,3)

ALKALITA (KNK)

- zjevná alkalita (nad pH 8,3) nemusí nutně být způsobena hydroxidy, ale může ji být dosaženo v důsledku intenzivní fotosyntézy vodních rostlin a řas
- celková alkalita (pH 8,3 – 4,5) je dána především koncentrací hydrogenuhličitanů
- hodnota alkality nás u většiny přírodních vod nepřímo informuje o množství rozpuštěného vápníku a hořčíku
- hodnoty 1 - 2 mmol.l⁻¹ – nebezpečí kolísání pH
- hodnoty 2 - 5 mmol.l⁻¹ – pH kolísá málo nebo vůbec
- hodnoty nad 5 mmol.l⁻¹ – pH se téměř nemění

Organické látky

- Přirozeného původu jsou z výluhů okolní půdy a sedimentů, z produktů životní činnosti rostlinných a živočišných organismů žijících ve vodě.
- Umělého původu jsou především z odpadních vod splaškových, průmyslových, odpady a splachy ze zemědělství.
- Z biologického hlediska může jít o látky podléhající biologickému rozkladu, nebo o látky biochemicky rezistentní.
- Obsah organických látek se ve vodách pohybuje v širokém rozmezí, v pitných vodách jsou přítomny desetiny až jednotky mg.l^{-1} , v povrchových desítky mg.l^{-1} a ve znečištěné vodě i desítky g.l^{-1} .

Organické látky

- Významně ovlivňují kvalitu a vlastnosti povrchových vod, některé jsou toxické, karcinogenní, mutagenní, jiné ovlivňují kyslíkovou bilanci, sensorické vlastnosti vody, barvu vody aj.
- Především huminové látky tvoří komplexní sloučeniny (cheláty) s řadou kovů, které jsou asimilovatelné primárními producenty a umožňují tak pokrytí metabolické potřeby mikroelementů.
- Hrají důležitou roli (i v minimálních koncentracích) v orientaci lososovitých ryb při návratu na trdliště.
- Celkové množství a druhová pestrost organických látek antropického původu neustále narůstá.

Organické látky

- Stanovení organických látek – dokonalá přímá metoda doposud není k dispozici, nejběžnější nepřímé metody založené na chemické nebo biochemické oxidaci.
- Obsah organických látek se obvykle vyjadřuje údajem o spotřebě kyslíku na jejich oxidaci.
- Základní metody:
- Stanovení chemické spotřeby kyslíku (CHSK), stanovení biochemické spotřeby kyslíku (BSK) a stanovení organického uhlíku (TOC).



*Tato publikace je spolufinancována z Evropského sociálního fondu a státního rozpočtu České republiky.
Byla vydána za podpory projektu OP VK CZ.1.07/2.2.00/28.0302 Inovace studijních programů AF a ZF MENDELU
směřující k vytvoření mezioborové integrace*



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE

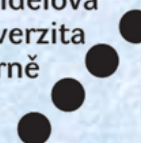


MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

Mendelova
univerzita
v Brně



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ