

# ROZPUSTNOST PLYNŮ VE VODĚ

## a některé problémy s ní spojené



Vladimír Pelikán  
© 2000 - 2004

Poslední aktualizace: 03-2002

**Fyzikální principy, jimiž se řídí obsah rozpuštěných plynů ve vodě, patří do nejzákladnějších znalostí každého akvaristy.**

Pomohou při úvahách, jak dosáhnout optimálního prostředí pro ryby i rostliny, jak se mění obsah plynů ve vodě v závislosti na procesech, které v akváriu probíhají. Pomohou i při posouzení různých obchodních praktik, které zákazníkům nabízejí "zaručená" řešení.

## HENRYHO ZÁKON

(platí obecně pro rozpustnost plynů v kapalinách, dále bude uvažováno pouze o vodě a užití zákona s omezeními a zjednodušeními pro oblast hydrobiologie)

**Koncentrace rozpuštěného plynu ve vodě je přímo úměrná parciálnímu tlaku plynu nad její hladinou.**

$$C_i = K_i \cdot P_i$$

**C<sub>i</sub> ... koncentrace nasycení vody plynem**

(udává se často v [mg/l]) [miligram (rozpuštěného plynu) na litr (vody)]

**K<sub>i</sub> ... absorpční koeficient**

(rozpuštnost plynu v závislosti na teplotě)[mg/l]

**P<sub>i</sub> ... parciální tlak plynu**

(je přímo úměrný objemovému procentu, v jakém je plyn obsažen ve vzduchu) [**zlomek** vyjadřující poměrné objemové zastoupení složky ve směsi]

**Index (i)** vyjadřuje označení (pořadí) konkrétního plynu ve směsi, např. vzduchu. (P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> ...)

**Absorpční koeficient** : jeho hodnota **závisí** (silně) **na teplotě vody a tlaku**. Čím je teplota vody vyšší, tím méně plynu je voda schopna převzít do roztoku. Tabulky rozpustnosti jednotlivých plynů ve vodě (absorpční koeficienty) jsou sestaveny z údajů získaných v podmínkách, kdy je chemicky čistá voda zbavená všech plynů vystavena pouze kontaktu s plynem, jehož koncentrace při dané teplotě je měřena. Znamená to, že nad hladinou vody je **100% koncentrace** daného plynu. (**P<sub>i</sub> = 1**) Tabulky jsou obvykle sestaveny pro tzv. **normální atmosférický tlak** 101,3 kPa (nebo také 100,0 kPa) [**kilopascal**] aby bylo možné uvádět srovnatelné údaje. Samozřejmě při vyšším tlaku nad vodní hladinou se plyn rozpustí více, při nižším méně.

**Absorpční koeficient rozpustnosti konkrétního plynu ve vodě nesmíme zaměňovat s údaji o obsahu rozpuštěných plynů ve vodě za stavu, kdy nad vodní hladinou je směs plynů - např. vzduch.** Zde určuje obsah rozpuštěných plynů jejich poměrné objemové zastoupení ve směsi. Znamená to **například**, že když koeficient rozpustnosti nějakého plynu ve vodě **K<sub>i</sub>** bude **100 mg/l**, objem tohoto plynu ve směsi plynů - vzduchu - bude **5%** (**P<sub>i</sub> = 0,05**), pak za stejné teploty a tlaku ho bude v ustáleném stavu ve vodě jen **C<sub>i</sub> = 5 mg/l**. Ostatní "volný prostor" ve vodě zaujmou plyny tvořící zbylých 95% objemu vzduchu nad vodní hladinou. Zde je zřejmě **jádro problému**, se kterým široká akvaristická veřejnost není dostatečně obeznámena.

AKVARIUM Vladimír Pelikán AKVARIUM

## PARCIÁLNÍ TLAK PLYNU

platí zde

# DALTONŮV ZÁKON:

**Celkový tlak plyné směsi  $P$  je roven součtu parciálních tlaků jednotlivých složek  $P_i$ .**

**Parciální tlak jedné složky  $P_i$  je roven tlaku, který by tato složka měla za teploty  $T$  a celkového objemu  $V$  plyné směsi.**

Jaké je využití těchto základních znalostí v praxi? Při přepravě akvarijních ryb na větší vzdálenosti se do uzavřeného prostoru nad vodní hladinou (obvykle nafouknutý PE sáček) místo vzduchu nafouká čistý kyslík. Tím se několikanásobně zvětší rozpouštěné množství kyslíku do vody, kde je ho nedostatek (dýchání ryb), také se částečně zvýší uvolňování vydýchaného oxidu uhličitého do prostoru nad hladinou (ve vodě je ho více, než by odpovídalo rovnovážnému stavu - při nafouknutí pytlíku kyslíkem po předchozím vypuzení vzduchu  $\text{CO}_2$  v prostoru nad hladinou prakticky chybí. K využití při dosycování vody  $\text{CO}_2$  - "přihnojování" - se vrátím na dalších stránkách (viz např. [Výživa rostlin](#)).

A teď ke konkrétním číslům:

## OBJEMOVÉ ZASTOUPENÍ SLOŽEK VZDUCHU

**DUSÍK (78%) a KYSLÍK (21%)** tvoří 99% objemu všech plynů v atmosféře. S argonem (0,9%) je to téměř 100%. **Oxid uhličitý tvoří pouze asi 0,036%** objemu, tedy zcela zanedbatelnou část. Dusík jako inertní plyn nás v akvaristice víceméně (v plynném stavu) nezajímá. Ve vodě ho však rozpouštěný máme! Pro naše další úvahy se tedy omezím pouze na kyslík a oxid uhličitý, které mají zásadní význam pro život na Zemi. Jsou také ostře sledovanými plyny v našich akváriích. Viz [koloběh kyslíku, koloběh uhlíku](#) v přírodních ekosystémech.

**V případě výpočtu nasyceného obsahu těchto plynů ve volné vodě z absorpčních koeficientů použijeme pro kyslík  $\text{O}_2$   $P_i = 0,21$ , pro  $\text{CO}_2$   $P_i = 0,00036$ .**

## K - KOEFICIENTY ABSORPCE $\text{O}_2$ , $\text{CO}_2$ , VE VODĚ:

(čistý plyn nad hladinou)

[Tlak = 100 kPa]	TEPLOTA [°C]			
koeficient absorpce: K [mg/l]	0	10	20	30

KYSLÍK	70	54	43	36
OXID UHLIČITÝ	3380	2360	1730	1310

### ROZPUSTNOST O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, VE VODĚ ZE VZDUCHU:

(vzduch nasycený vodní parou)

[Tlak = 100 kPa]	TEPLOTA [°C]			
Množství plynu [mg/l]	0	10	20	30
KYSLÍK	14,7	11,3	9,0	7,6
OXID UHLIČITÝ	1,22	0,85	0,62	0,47

Množství plynu - např. kyslíku - rozpuštěného ve vodě závisí m.j. na obsahu solí ve vodě.

Se zvyšujícím se obsahem solí (např. mořská voda) klesá jeho rozpustnost.

Nyní, když jsme si osvěžili paměť a zavzpomínali na školní lavice, můžeme tyto poznatky uplatnit v praxi

AKVÁRIUM Vladimír Pelikán AKVÁRIUM

## PROVZDUŠŇOVÁNÍ a PROKYSLIČOVÁNÍ vody

V přírodě se projevuje neustálý pohyb a změna. Znamená to tedy, že přírodní procesy probíhají dynamicky, avšak také neustále směrem k dosažení rovnováhy.

**Rovnovážné nasycení vody plynem** (za dané teploty a tlaku) je takové, při kterém (v ustáleném stavu) **neprobíhá výměna plynů na hladině** (chybí rozdíly koncentrací) a koncentrace rozpuštěných plynů je v celém objemu vody stálá.

**Přesycený roztok plynu** je takový, ve kterém je daný **plyn rozpuštěn v množství**

**větším, než odpovídá rovnovážnému nasycení roztoku v ustáleném stavu.**

**Nenasycený roztok plynu** je takový, ve kterém je daný **plyn rozpuštěn v množství menším, než odpovídá rovnovážnému nasycení roztoku v ustáleném stavu.**

**Roztok plynu ve vodě může přejít z rovnovážného do přesyceného stavu** (ale i do nenasyceného) **náhlou změnou teploty nebo tlaku.** Známým příkladem jsou nápoje sycené  $\text{CO}_2$ . Při otevření láhve (nápoj i plyn jsou pod tlakem) se začne uvolňovat plyn v bublinkách. Pokud před otevřením láhev necháme prohřát, nebo ji dokonce protřepeme, nápoj nám i s bublinkami plynu doslova z láhve vystřelí. **V přírodě může podobná situace nastat** (i v mírné podobě) např. uvolněním plynu ze stlačených a chladných spodních vrstev vody v jezeře při jejich ohřátí nebo při promíchání vrstev vody působením větru. Voda v hlubších jezerech může být pod tlakem silně obohacena  $\text{CO}_2$  vznikajícím např. při mineralizaci organických usazenin na dně. Je znám případ jednoho afrického jezera, kde náhlým uvolněním oxidu uhličitého z vody v jezeře došlo k tragickému zdušení mnoha obyvatel v jeho blízkém okolí.

**Vpustíme - li do akvária s rovnovážně nasyceným roztokem plynů ve vodě** (což je každá čistá, nějaký čas "odstátá" voda) **ryby, začnou tuto rovnováhu měnit.** Spotřebovávají ve vodě obsažený kyslík, vylučují oxid uhličitý. Ve vodě nastává po nějakém čase (při větším množství ryb) **kyslíkový deficit** (nedostatek). Naopak oxidu uhličitého vzniká přebytek. Množství obou plynů volně rozpuštěných ve vodě (jejich vzájemný poměr) se mění, jejich poměr neodpovídá zastoupení obou složek ve vzduchu nad hladinou a dochází k vyrovnávání těchto rozdílů. Do vody se (difuzí na hladině, dále je roznášen při pohybu vody i konvekci) rozpouští nedostatekový kyslík, naopak z vody se do vzduchu uvolňuje nadbytečný oxid uhličitý z dýchání ryb, také z mineralizačních procesů - "dýcháním" mikroorganismů rozkládajících rybí výkaly. Když je ryb i výkalů nadbytek, nestačí nízká **difuzní rychlost** (pronikání molekul plynů "stojatou hladinou") přechodu plynů do vodního sloupce vyrovnat nedostatek kyslíku a ryby se mohou udusit. (Difuzní rychlost molekul ve vodě je zhruba 10 000 x nižší, než ve vzduchu.) Proto bylo už v "dřevních" časech akvaristiky zavedeno **provzdušňování vody** hadičkou přiváděným vzduchem rozprašovaným do jemných bublinek (aby vznikl co největší kontaktní povrch s vodním prostředím). Tím se jednak o tento dodatečně zavedený povrch bublinek zvětšila "hladina", jednak se do vodního prostředí přidalo dodatečné proudění (konvekce), které **urychlilo roznášení rozpuštěných molekul kyslíku do celého objemu akvária.** Podobně (ale v opačném směru) se z vodního prostředí vylučují molekuly nadbytečného  $\text{CO}_2$ . **Provzdušňováním tedy pomáháme vytvořit rovnovážný stav plynů mezi vzduchem nad hladinou a vodním prostředím.**

Mnozí znají **projev kyslíkového deficitu** (zvláště v letních vedrech) z vlastního akvária. Ryby "lapající po vzduchu" viděli alespoň jednou snad všichni. **Provzdušňování je někdy nazýváno okysličováním, protože jeho cílem je vyrovnávat kyslíkový deficit ve vodě.** Jeho účinek je však někdy **zaměňován** s důsledky procesu, kdy místo vzduchu by byl do akvária vhnán pouze **čistý kyslík**, který by se nahromadil i nad hladinou (podobná situace jako při nafouknutí pytlíku s rybami a vodou čistým kyslíkem). V takovém případě by docházelo k vytěsňování ostatních plynů ve vodě kyslíkem v souladu s výše uvedenými principy.) **Při provzdušňování však ve skutečnosti dodáváme všechny plyny obsažené ve vzduchu a urychlujeme vyrovnání úbytku (či vyprchání nadbytku) kteréhokoliv z nich na rovnovážnou úroveň, jaká by vznikla ve vodě bez**

**probíhajících biochemických procesů. Provzdušňováním tedy z vody nemůžeme vytěsnit jiný plyn rozpuštěný ze vzduchu, pokud nevzniká působením organismů přímo ve vodě akvária nebo do vody není přidáván uměle** (např. zařízení na přidávání CO<sub>2</sub> do akvária - může vést - a zřejmě podle doporučení i vede k přesycování vody v akváriu oxidem uhličitým; pak ovšem provzdušňování vody může skutečně snižovat nadbytek CO<sub>2</sub> ve vodě akvária...).

V hodnocení kvality vod přírodních jezer a toků, ale i např. v čistírnách odpadních vod je důležitým údajem tzv. **biochemická spotřeba kyslíku** vyhodnocovaná za určitý počet dnů (nejčastěji 5). Je označována **BSK<sub>5</sub>**. **Vyjadřuje zatížení vody látkami, které jsou využívány mineralizačními bakteriemi k vlastní výživě.** V akvaristice se tento údaj nepoužívá, nicméně problematika kyslíku je podobná. Po vylovení ryb z akvária (zařízeného alespoň s pískem na dně) bychom mohli ještě mnoho dní sledovat spotřebu kyslíku O<sub>2</sub> z bakteriálního rozkladu organických zbytků a nitrifikačního procesu (viz **nitrifikace**) a vylučování CO<sub>2</sub>. Publikovaná tvrzení (Rataj ml., AT), že v akváriích mineralizační procesy neprobíhají díky vysokému obsahu cizorodých látek v pitné vodě, považuji za zjevný nesmysl. Bakteriální rozklad probíhá i v průmyslově znečištěných vodách, kde obsah cizorodých látek převyšuje normy pro pitnou vodu o několik řádů.

#### **Malé odbočení od tématu:**

Je nutno říci, že (nejen) ve vodních ekosystémech podobných "samoregulačních" procesů probíhá celá řada. Proto prosím o pochopení, když se občas pozastavím nad tím, že si v některém z dostupných českých (akvaristických) **zdrojů** přečtu nějaký zjednodušený výklad hraničící s nesmyslem a dám vám o tom vědět. Různých textů, ve kterých použité poznatky často odtržené od důležitých souvislostí přecházejí v holý nesmysl (a těžko hledat mírnější výraz), je v oboru akvaristiky a pěstování vodních rostlin u nás mnoho. Pocházejí-li navíc z jediného donedávna nekritizovatelného zdroje, považuji za důležité na tuto skutečnost poukázat. Je to, myslím, ku prospěchu nás všech. V obchodní praxi se různé nesmysly vyskytují tak často, že už se nad tím snad ani nepozastavujeme. Nebo je to v pořádku ?

AKVÁRIUM Vladimír Pelikán AKVÁRIUM

## **DIFUZE MOLEKUL a přenos látek na krátké vzdálenosti**

Problematika má širší význam, netýká se jen roztoků látek ve vodním prostředí, ve výživě rostlin má však difuze natolik důležitou roli, že není možné se o podstatě tohoto přírodního jevu nezmínit.

**DIFUZE** je spontánní (samovolné) pronikání molekul (iontů) z oblasti vyšší koncentrace do míst s koncentrací nižší v důsledku tepelného pohybu částic. Probíhá v pevném, kapalném i plynném skupenství. Rychlost difuze se řídí Fickovými zákony. Mírou rychlosti difuze je:

**DIFUZNÍ KOEFICIENT (D)** - udává množství rozpuštěné látky, která projde jednotkovým průřezem za jednotku času při jednotkovém koncentračním spádu (gradientu):

P=100 kPa, T=20°C	Ve vzduchu	Ve vodě
D (H <sub>2</sub> O) [m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]	2,42·10 <sup>-5</sup>	1,70·10 <sup>-9</sup>
D (CO <sub>2</sub> ) [m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]	1,51·10 <sup>-5</sup>	1,70·10 <sup>-9</sup>

Z tabulky je zřejmý rozdíl difuzní rychlosti molekul v plynném a kapalném prostředí.

Proces difuze je v přírodě velmi rozšířený zejména v plynech a kapalinách. Způsobuje samovolný přenos látek na "krátké" vzdálenosti, při kterých je jeho uplatnění nejvýznamnější (nejrychlejší - nejúčinnější). "Krátkou" vzdáleností je uvažována délka do 10 mm v plynech a do desetin mm v kapalinách. Fotosyntéza i transpirace (výměna plynů) u rostlin jsou v převážné míře ovládnuty difuzí. Vzhledem ke skutečnosti, že difuzní rychlost ve vodě je zhruba o čtyři řády (10 000 x) nižší než ve vzduchu, vyplynou nám pro obor pěstování vodních rostlin a jejich výživy některé nepříjemné souvislosti, které u suchozemských rostlin mají pouze zanedbatelný význam. Rychlost difuze a tím i pronikání živin k asimilačním orgánům rostlin může být často limitujícím faktorem omezujícím jejich růst, zejména při nedostatečném pohybu vody v blízkém okolí listů vodních (ponořených - submerzních) rostlin.

Souvislosti najdete na stránce: [Výživa akvariijních rostlin](#).

[Vladimír Pelikán](#)

