

Jan Helešic

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

Limnoekologie

Masarykova Univerzita
1.1.2021

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

© Jan Helešic

© Masarykova Univerzita Brno

Úvod a historie učebních textů

Hydrobiologie, limnologie, limnobiologie, ekologie sladkovodních ekosystémů atp., tak jak to vlastně je? V názvosloví oboru je tedy zdánlivý zmatek. Najdete učebnice – většinou západoevropské nebo americké, které výhradně používají termín limnologie (Limnology). I u nás v prvním stručném spisku použil Otto Jírovec název „Úvod do limnologie“ (1938). Šrámek-Hušek (1946) na dobu moderně použil termín limnobiologie. Vytvořil schéma, kde hydrobiologie je naukou o veškerých vodách a životě v nich. Ekosystémově pak navrhl dělení na oceánologii a limnologii, které pak úžeji dělil na oceánobiologii a limnobiologii. Bohužel toto logické schéma nebylo vědeckou komunitou přijato a tak většinou najdete učebnice s názvem „Limnology“, i když popisují výhradně biologické a ekologické poznatky. Poslední dobou se ale již objevují specializované učebnice s upřesňujícími názvy, snad první byla Hynesova „The Ecology of Running Waters“ z roku 1970. U nás a i např. v Polsku se skoro výhradně používá termín hydrobiologie.

Mezi základní světové učebnice patří Hutchinson (1957, 1967, 1975, 1993), Mills (1972), Schwoerbel (1977), Starmach, Wróbel & Pasternak (1978), Wetzel (2001), Kalff (2002), Burns & Mann (1980, 1991), Closs, Downes & Boulton (2004), Lampert & Sommer (2007) a specializované na určité ekosystémy Hynes (1970), Allan (1995), Giller & Malmqvist (1998), Bronmark & Hansson (1998), Angelier (2003), Gilbert, Danielopol & Stanford (1994) a další.

Skoro veškeré poznatky, ke konci milenia, o ekologii vodních ekosystémů shrnuli encyklopedická díla pod editací Callow & Petts „The Rivers Handbook“ (1992, 1994), O’Sullivan a Reynolds „The Lakes Handbook“ (2004, 2005) a Maltby a Bakker „The Wetlands Handbook“ (2009).

V českém (československém) prostředí pak učebnice již zmíněná „Limnobiologie“ od Šrámka-Huška (1946), Základy hydrobiologie (Kubíček & Zelinka, 1979), Hydrobiologie (Kubíček & Lellák, 1991), novější pak např. Říční krajina a její ekosystémy (Štěrba a kol, 2008). Do tohoto výčtu je nutno zařadit i populární knihu prof. Otakara Štěrby „Pramen života“ z roku 1986. Novější syntézní a kritická učebnice v češtině tedy chybí. To byla i motivace sepsat tuto učebnici a pokusit se soustředit na jedno místo nejnovější poznatky a kriticky je utřídit a vysvětlit.

Přístup k problematice je možno rozdělit na ekosystémový přístup, tj. popsat a vysvětlit funkce, procesy a oživení po jednotlivých systémech a podsystémech (např. stojaté vody - slaná jezera). Druhý přístup je výsostně ekologický, tj. popsat např. populační ekologii, interakce, společenstva a ekosystémy. Tento přístup zvolili Lampert & Sommer (2007). Po více jak 25 letech přednášení předmětu, a takto nabytých zkušeností, jsem nakonec zvolil první (ekosystémový) přístup, s tím že v záložkách jsou vždy odkazy na obecné principy (ekologické funkce a procesy). Ačkoli jsem se chtěl úplně vyhnout obecným kapitolám o vodě, nakonec po zkušenostech z výuky, jsem je zařadil do úvodních textů.

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

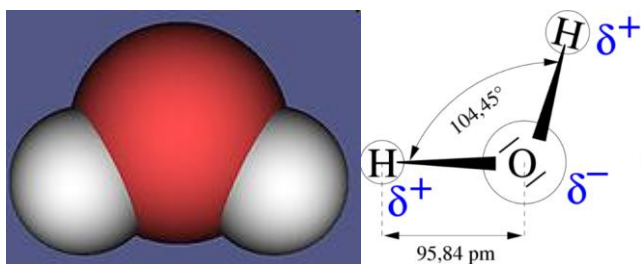
Vodní prostředí – podmínky a zdroje

Z ekologického hlediska definujeme podmínky jako soubor faktorů, proměnných a stálých, které definují prostředí výskytu organismů. Jsou to především fyzikální faktory (hustota, tlak, optické vlastnosti aj.) ale i fyzikálně chemické faktory (mineralizace, pH aj.). Zdroje jsou definovány jako vstupy do systému, které jsou systémem spotřebovávány, metabolizovány a i jinak přeměňovány za účelem získání energie a stavebních prvků těl organismů. Jsou to např. z fyzikálních faktorů světlo a teplo, z chemických především uhlík (základní prvek organických látek a všeho živého), makroživiny (N,P,K), esenciální živiny a látky (Ca, Mg, Fe, bílkoviny, aminokyseliny,... vitamíny). Do zdrojů musíme zařadit i organizmy v celé jejich škále funkcí a postavení v ekosystémech (např. autotrof – heterotrof).

Fyzikálně – chemické vlastnosti vody

H₂O (voda, oxidan, dihydrogen oxid) je sloučenina vodíku a kyslíku tvořící kapalinu¹ s jedinečnou molekulární strukturou a vlastnostmi. Za normální teploty a tlaku je to bezbarvá, čirá kapalina bez zápachu, v silnější vrstvě namodralá.

Molekula vody je jedinečná specifickou geometrií. Atomy v ní vázané nejsou uspořádány lineárně (v jedné přímce), ale chemické vazby mezi atomy svírají úhel přibližně 105 °. Polaritě vazeb (různé afinitě atomů vodíku a kyslíku) a zmíněné nelinearity molekuly vděčí molekula vody za svoji polaritu.



Obr. 1. Model molekuly vody

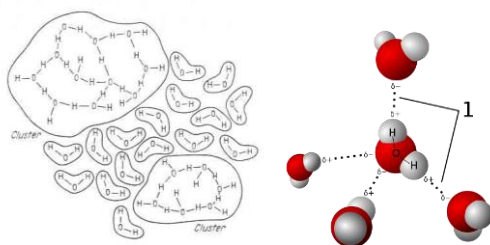
Molekuly vody jsou spojeny vodíkovými můstky a vytváří tak kapalnou látku se shlukovou strukturou (klastry).

Okomentoval(a): [H1]: Kapalina je s fyzikálního hlediska definovaná jako látka jedinečných vlastností a to především:

- kapalná **tělesa** nemají svůj **tvar**, ale jejich tvar odpovídá tvaru nádoby;
- kapalná tělesa mají vlastní **objem**;
- kapalná tělesa mají volný **povrch** označovaný obvykle jako hladina;
- kapaliny tvoří kapky (díky přitažlivým silám mezi částicemi);
- kapaliny jsou těžko **stlačitelné**;
- vodičem **elektrického proudu** ve vodivých kapalinách jsou **ionty** (neplatí pro kapalně kovy);
- **teplo** se v kapalinách může šířit **prouděním**;
- změna polohy částice je u kapalin pomalejší než u plynu, což vysvětluje např. pomalou **difuzi** kapalin ve srovnání s plyny.

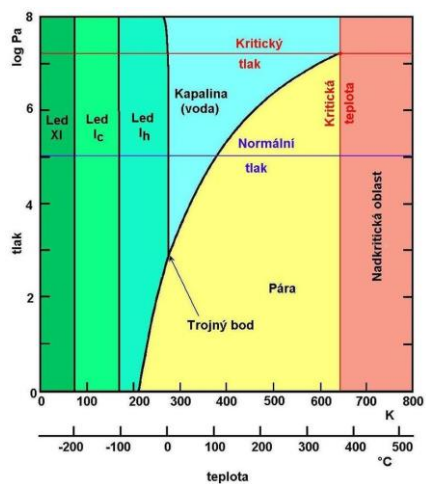
Fyzikální pojem tekutina je širšího významu a zahrnuje **kapaliny** a **plyny** (patrně i pro **plazma** a **kvark gluonové plazma**), jejichž společnou vlastností je **tekutost**, neschopnost udržet svůj stálý tvar díky snadnému vzájemnému pohybu **částic**. K tekutinám se většinou řadí také sypké látky, které jsou pevného skupenství, ale splňují kritérium tekutosti. Tekutiny se liší od **pevných látek** především velkou pohyblivostí svých **částic**, nemají vlastní tvar a snadno se dělí.

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů



Obr. 2. Shluková struktura vody

V přírodě se vyskytuje ve třech skupenstvích: v pevném – led a sníh, v kapalném – voda a v plynném – vodní pára.



Obr. 3. Fázový diagram vody - závislost existence skupenství na tlaku a teplotě

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

Základní fyzikální vlastnosti vody jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tab. 1. Základní fyzikální vlastnosti dvou fází vody

	Led	Voda při 0 °C
hustota v $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	916,8	999,87
měrná tepelná kapacita v $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	2,04	4,21
měrná tepelná vodivost v $\text{J}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	0,023 9	0,005 86
měrná elektrická vodivost (konduktivita) v $\Omega^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$	$2,72\cdot 10^{-8}$	$1,11\cdot 10^{-8}$
rychlost zvuku v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	3 300	1 500

Tab. 2. Fyzikální vlastnosti vody v kapalném stavu

hustota maximální (při 3,94 °C) v $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	1 000,000
hustota při 25 °C v $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	997,075
dynamická viskozita (při 25 °C) v $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$	$0,890\cdot 10^{-3}$
kinematická viskozita (při 25 °C) v $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	$0,89\cdot 10^{-6}$
teplota tání (při 101 325 Pa) ve °C	0,000
teplota varu (při 101 325 Pa) ve °C	100,000
měrné skupenské teplo tání v $\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$	333,7
měrné skupenské teplo varu v $\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$	2 255,5
měrná tepelná kapacita (při 15 °C) v $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	4 186
povrchové napětí (při 25 °C) v $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$	$71,97\cdot 10^{-3}$
relativní permitivita (při 25 °C)	78,54

Z hlediska vlastností tvořící podmínky pro ekologický a biologický systém jsou důležité: hustota, tepelné vlastnosti, viskozita, povrchové napětí, vodivost a přenos zvuků.

Hustota vody ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) je závislá na teplotě a množství rozpuštěných látek. Především závislost na teplotě vytváří zcela unikátní podmínky pro organizmy. Voda má 775 krát vyšší hustotu než vzduch a ta ještě k tomu není konstantní, ale mění se s teplotou. Voda s nejvyšší hustotou – **specifickou hmotností** 1,000 je při teplotě 3,94°C a oběma směry, k nule nebo k vyšším teplotám, je hustota vždy nižší. Voda v pevném skupenství – led má hustotu 916,8 a tak vždy plave na hladině. Voda s teplotou 25°C je také v horní vrstvě vodního sloupce.

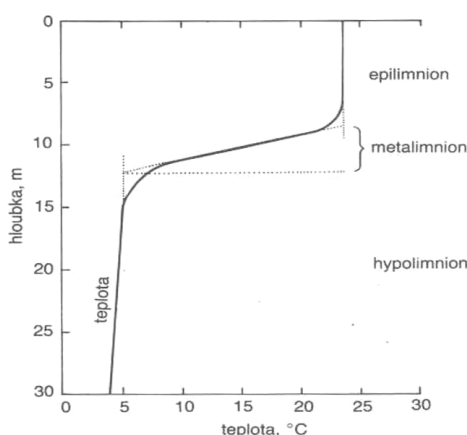
V tabulce 3 je uvedena další možnost, jak je ovlivňována hustota vody. Vyplývá z ní, že voda s vyšším obsahem rozpuštěných látek má vyšší hustotu (specifickou hmotnost). V případě rozvrstvení ve vodním sloupci, je tato „hustá“ voda vždy v dolní části sloupce, u dna.

Tab. 3. Závislost hustoty vody na obsahu rozpuštěných látek

obsah solí v $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$	hustota při 4 °C
0	1,00000
1	1,00085
2	1,00169
3	1,00251
10	1,00818
35 (mořská voda, průměr)	1,02822

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

Oba tyto fenomény způsobují jedenu ze základních podmínek charakterizující především stojaté vody, a to **stratifikaci**. Zásadní význam má především teplotně hustotní stratifikace. Vyskytuje se ve všech typech stojatých vod. I v malém vodní tělese (**telma – tůň**) se voda rozvrství, ve vegetační sezoně je u hladiny teplejší a méně hustá voda a v zimě u hladiny chladná voda až led.



Obr. 4. Letní teplotně hustotní stratifikace ve stojaté vodě (idealizovaný model)

Ve slaných jezerech se projevuje kombinace teplotní a hustotní stratifikace způsobená obsahem rozpuštěných solí, kde u dna je chladná voda s velkým obsahem solí, která může přecházet v solanku (fyzikální stav emulze až disperze). Velice podobně se chová voda v oceánech, kde jde o **termohalinní stratifikaci**. Podrobně stratifikace těles stojatých vod bude probrána v dalším textu.

Viskozita (dynamická - kinematická) vody je definována (zjednodušeně) jako vnitřní tření, tj. odpor prostředí proti vlastnímu pohybu nebo jiné částici. Viskozita je závislá na teplotě (klesá s vyšší teplotou) a je 100x vyšší než viskozita vzduchu. Z definice vyplývá, že této fyzikální vlastnosti vody je pro **pravé vodní organismy (hydrobionty)** extrémně důležitá. Organismy si evolucionálně vytvořili ideální (hydrodynamický) tvar těla včetně povrchových struktur a pokožky.

Okomentoval(a): [H2]: Viskozita (také vazkost) je fyzikální veličina udávající poměr mezi **tečným napětím** a změnou **rychlosti** v závislosti na **vzdálenosti** mezi sousedními vrstvami při **proudění skutečné kapaliny**.

Viskozita je veličina charakterizující **vnitřní tření** a závisí především na přitažlivých **silách** mezi **částicemi**. Kapaliny s větší přitažlivou silou mají větší viskozitu, větší viskozita znamená větší **brzdění pohybu** kapaliny nebo **těles** v kapalině.

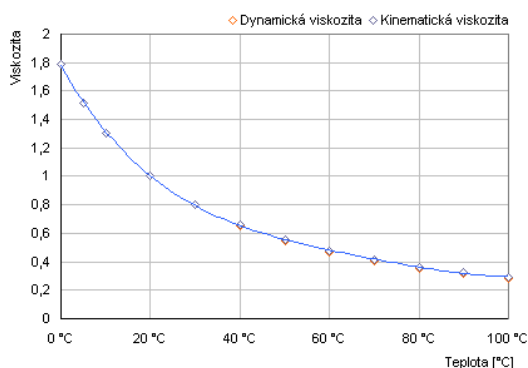
•Symbol dynamické viskozity: η

Jednotka SI: newton sekunda na metr čtvereční, značka jednotky: Nsm⁻², ekvivalentně též Pascal·sekunda, značka Pa·s

•Symbol kinematické viskozity: ν

Jednotka SI: metr čtvereční za sekundu, značka jednotky: m²·s⁻¹ (praktičtější je mm²·s⁻¹, příp. cm²·s⁻¹).

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů



Obr. 5. Závislost viskozity vody na teplotě

To, že viskozita se mění s teplotou, je další faktor, na který musely vodní organizmy reagovat. Tak se často mění tvar těla a povrchové struktury u generací organismů, které žijí v teplé resp. ve studené vodě. Bližší informace budou uvedeny v další kapitolách.

Dalším fyzikálním faktorem – podmínkou pro život organismů ve vodách jak z fyziologického a tak ekologického hlediska, je **adheze (přilnavost)** a **koheze (soudržnost)**. Vzájemný poměr určuje **smočitelnost (hydrofilii)** nebo **nesmočitelnost (hydrofobii)**. Adheze a koheze má význam pro život vodních organismů a to především při mechanismech výměny plynů mezi organismem a vodou. Vodní organismy dýchající vzdušný kyslík musí mít nesmočitelný – hydrofobní povrch.

Tzv. **epipneustické** vodní organismy si vytvářejí speciální útvary pro přenos vzduchu na povrchu těla. U vodních brouků jde o tzv. **plastronové dýchání** – přenáší bublinku vzduchu pod krovkami (potápníci), nebo si organismy vytváří speciálně ochlupené útvary (např. na zadečku – vodouch **stříbřítý** nebo na hlavě tykadly – vodomilové) včetně chování a schopnosti manipulace s bublinou vzduchu pod vodou.

Hypopneustické organismy mají povrch těla smáčivý, výměna plynů probíhá pomocí žaberního systému nebo celým povrchem těla. Smáčivost povrchu umožňuje osmotický přestup rozpuštěných plynů do tělních tekutin přes fázové rozhraní.

Další významnou podmínkou pro život organismů ve vodním prostředí je **hydrostatický tlak** (měřený v jednotkách Pa). Tlak vody s hloubkou roste na každých 10m o 0,1 MPa. V hlubokých jezerech a zvláště v hlubinách oceánů jsou vystaveny organismy obrovským tlakům. Rozhodujícím faktorem, který umožňuje existenci života i za vysokých tlaků je nestlačitelnost (eventuálně nepatrná stlačitelnost) vody. Při přetlaku 40 MPa (hydrostatický tlak v hloubce 4000m) voda zmenšuje svůj objem pouze o 2%. Vnější zvýšený tlak se vyrovnává s vnitřním tlakem tělních tekutin či protoplazmy organismů. Pokud tedy dochází ke změnám tlaku pozvolna, snáší vysoký hydrostatický tlak i organismy, žijící jinak v mělkých vodách při hodnotách 0,1 MPa. Nebezpečné jsou však pro organismy náhlé změny tlaku. Všeobecně mají větší odolnost vůči vysokému tlaku organismy, které nemají ve svém těle prostory vyplněné plynem. U organismů s plynovými vakuolami, ryb s plynovým

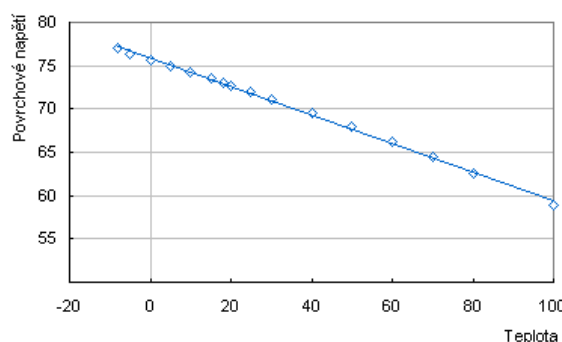
Okomentoval(a): [H3]: Pod vodou si vodouch zhotovuje prostorný vzduchový **zvon**. Nejdříve utká mezi vodními rostlinami horizontální pavučinovou plachetku a upředu jedno vodící vlákno směrem k hladině. Potom vysune konec zadečku a překřížené zadní nohy nad hladinu do vzduchu, zachytí pomocí **chloupků** na vzduchu velkou vzduchovou bublinu a po vodícím vlákně se s ní ponoří pod hladinu. Bublínu si na zadečku přidržuje pomocí zadních nohou. Když se dostane k plachetce, vlezte si pod ní a uvolní bublinu, která hnízdo kopulovitě vyklene. Tento transport vzduchu se několikrát opakuje, až získá vodouchův úkryt požadovanou velikost a tvar.

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

měchýřem stejně jako u potápějících se ptáků a savců dochází při zvyšování tlaku k velkým změnám objemu vzduchu v souladu s jeho stlačitelností. V hloubce 10m je objem vzduchu v plicích nebo v plynovém měchýři stlačen na polovinu a ve 40m na jednu pětinu vzhledem k původnímu objemu u hladiny. Zvyšování tlaku způsobuje u živočichů dýchajících vzdušný kyslík změny v tenzi plynů rozpuštěných v tělních tekutinách a v buněčné protoplazmě. Při náhlém snížení tlaku dochází za určitých okolností k uvolnění rozpuštěných plynů (dusíku) a vzniklé bublinky způsobují plynovou embolii (kesonová nemoc).

Se zvyšujícím se tlakem se zvyšuje rozpustnost CO_2 , a ten zvyšuje rozpustnost vápníku ve vodě a tím se zvyšuje i stabilita systému uhličitán: hydrogenuhličitan. Hlubinní živočichové proto obtížně kryjí fyziologickou potřebu vápníku, což se projevuje redukcí jejich koster.

Povrchové napětí je efekt, při kterém se povrch tekutin chová jako elastická fólie a snaží se dosáhnout co možná nejhladšího stavu s minimálním rozpětím. Tato fyzikální vlastnost vody je závislá na teplotě a její hodnota, měřená v $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$, klesá s teplotou.

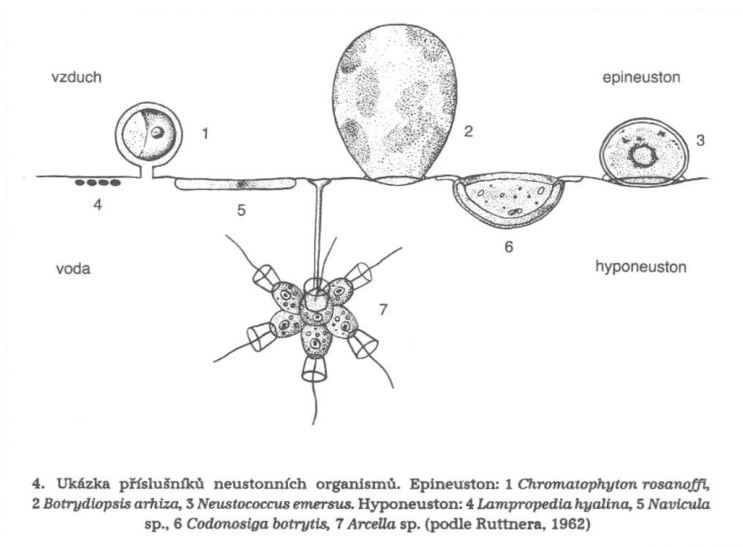


Obr. 6. Závislost povrchového napětí na teplotě.

Blanka na hladině vody vytvořená povrchovým napětím, je specifickým prostředím, které je obsazeno organismy. Organismy žijící v povrchové blance se nazývají **pleuston**. Přímou v blance žije **neuston** – především bakterie, cyanobaktérie, Protista a jednobuněčné mikrořasy. Je to hlavně biotop pro **fotoautotrofní organismy**. Počty mikrobů zde mohou být 10 až 100 krát vyšší než ve vodním sloupci. Na povrchu blanky ve vzduchu je to **epineuston** (bakterie a cyanobakterie) a ze spodu na blance pak **hyponeuston** (například rozsivky, chlorokokální řasy a dokonce stopkatí nálevníci (*Arcella* sp.)). Povrchové blanky vody využívají k pohybu mnohé organismy např. hmyz z podřádu Gerromorpha (bruslařky, vodoměrky), pavouci, mnohé čeledi dvoukřídlých (Diptera) – např. tiplicovití, bahnomilkovití, komárovití atp.

Okomentoval(a): [H4]: To znamená, že se povrch tekutiny snaží dosáhnout stavu s nejmenší energií. Povrchové napětí je výsledkem vzájemné interakce přitažlivých sil molekul nebo atomů, z nichž se skládá povrchová vrstva.

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů



Obr. 7. Neustonní organizmy

Dalším faktorem vytvářející zcela specifické podmínky vodního prostředí je **schopnost přenosu vibrací – zvuku**. Rychlost zvuku ve vodě je asi 3x vyšší než ve vzduchu ($1500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) a v pevné fázi vody je 10x vyšší ($3300 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Rychlost zvuku závisí na teplotě a druhu látky, ve které se šíří. **Infrazvuky** (pod 16 Hz) se velmi málo utlumují v různých materiálech, nedochází téměř k žádné absorpci. Přenášejí se tak na velmi velké vzdálenosti několika jednotek až stovek kilometrů. **Ultrazvuky** (nad 16 (20) kHz) se šíří ve vodě podobně jak paprsek světla, tj. v úzkém svazku. Vodní organizmy využívají této vlastnosti vody ke komunikaci a orientaci. Infrazvuky vnímají mnozí bezobratlí (prokázáno u medúz a možná vnímají tyto zvuky i další planktonní organizmy), ryby (postranní čárou) a vodní savci. U planktonních a nektonních organismů jde především o vnímání prostředí např. vysokého vlnobití nebo blízkosti vysoké turbulence vody (např. přejeje), které by organizmy poškodilo nebo je vyneslo na břeh. V tekoucích vodách mnozí bezobratlí mají schopnost stridulace (tření tělních struktur vzájemně o sebe nebo o okolní substrát), kdy vydávají infrazvuky až slyšitelné zvuky. Tyto slouží pravděpodobně k vymezení domáckého teritoria (chrostíci čeledi Hydropsychidae) nebo ke komunikaci (Nepomorpha – **klešťanky**). Kytovci a asi i ostatní vodní savci využívají infrazvuky ke komunikaci – u velryb se předpokládá komunikace až na vzdálenost několika set **kilometrů**. Ultrazvuk využívají především kytovci pro orientaci a k lovu kořisti v kalných **vodách**.

Teplo je dalším faktorem, který má ve vodním prostředí dvě úlohy. Jednak je podmínkou vytvářející specifické podmínky ekosystémů - biotopů, a také je energetickým zdrojem pro organizmy. Voda má velkou **měrnou tepelnou kapacitu** (3. nejvyšší po H, He) a vysoké hodnoty **skupenského tepla** tuhnutí a varu – viz tab. 1 a 2. S tím je spojena i velmi malá schopnost **molekulárního přenosu tepla**.

Okomentoval(a): [H5]: Výšku (zvuku) jednoduchého tónu udává jeho frekvence. Čím vyšší je frekvence tónu, tím má větší výšku. Měří se jednotkách Hz. Slyšitelné zvukové vlnění má frekvenci od 16 Hz do 16 (20) kHz. Intenzita zvuku (hlasitost) se měří jednotkách dB.

Okomentoval(a): [H6]: Samec klešťanky *Micronecta scholtzi*, lákající samici, vytváří hluk o intenzitě 99,2 decibelu. Je to hluk srovnatelný s výkonem hlasité hrajícího orchestru, který byste poslouchali z první řady. Při přenosu z vody do vzduchu se 99 % zvuku ztratí, ale člověk, který stojí na břehu řeky, hlučné námluvy klešťanek přesto bez problémů zaslechne i z několikametrové vzdálenosti.

Okomentoval(a): [H7]: Plejtvák obrovský (*Balaenoptera musculus*) dokáže vyvinout zvuk o intenzitě až 188 dB.

Okomentoval(a): [H8]: Nejméně známý je **delfinovec amazonský**, také **Inie amazonská** (*Iniia geoffrensis*), sladkovodní říční delfin vyskytující se v **Jižní Americe** v **Orinoku**, **Amazonce** a **Araguaisko-Tocantinském** říčním systému.

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

Tyto základní vlastnosti mají následující důsledky pro ekosystém a organizmy. Vodní těleso má vysokou **tepelnou kapacitu a stabilitu** a působí jako akumulátor tepla v biómu. Voda se pomalu zahřívá a následně pomalu ochlazuje a tak účinně tlumí **cirkadiální a cirkuanulární výkyvy**. Teploty kolísají v dlouhých časových intervalech, v meta a hypolimniu nádrže v měsících, u tekoucích vod v desítkách dní. Veškerý přenos tepla se děje pohybem vody a předáváním, což nám velice účinně určuje teplotní charakteristiky vodních těles (např. průtočná versus neprůtočná nádrž; meandrující pomalu tekoucí hluboký tok versus prudce tekoucí mělký tok). Nízká rychlost přenosu tepla tak umožňuje vznik významného fenoménu vodního prostředí - **teplotní stratifikaci** (viz. hustota vody). Vodní organizmy jsou tak ve většině případů **stenotermní**.

Zdroje tepla pro vodní tělesa jsou sluneční radiace, geotermální zdroj a antropický faktor. Nejvyšší dotace tepla do systému se děje **slunečním zářením**. Ohřívá se povrchová vrstva vody, kde se absorbuje červená a infračervená část spektra záření, které jsou největším nositelem tepelné energie. Mícháním vody – pohyby vody se pak ohřívá celé vodní těleso nebo jeho část (např. epilimnion). **Geotermální zdroje** se uplatňují především ve vulkanicky aktivních oblastech, kde se vyskytují horké vývěry vulkanických vod. Geotermálním zdrojem také je horninové prostředí v některých hlubokých jezerech. **Antropický zdrojem** jsou především oteplené odpadní vody, ale také nevhodné regulace toků umožňující intenzivní prohřívání vody a v neposlední řadě i akcelerace globální změny teploty – klimatu. Podrobněji k tomuto tématu Adámek a kol., 2014. Dalšími zdroji tepla jsou **pohyby vody** (přeměna kinetické energie na teplo), **exotermické chemické reakce** a **rozpad radionuklidů**. Tyto zdroje jsou však ve sladkovodních systémech marginální, mají význam vzhledem k velikosti a objemu vody v oceánských systémech.

Ztráty tepla z vodních těles se realizují **vyzařováním, vypařováním** (výparné (skupenské) teplo), **odvod tepla do terestrických systémů** – horninového prostředí a **odtok oteplené vody** ze systému a **endotermické chemické reakce** (marginální ve sladkovodních systémech).

Teplo je i zdrojem energie pro vodní organizmy. Organizmy teplo přijímají a adaptují se na různé teplotní poměry. Většina pravých vodních organizmů je **poikilotermních – exotermních**. Ve vodním prostředí žijí i **homiootermní organizmy**. Ochranu proti chladu musí řešit tukovou podkožní vrstvou nebo speciální úpravou povrchu těla (hustá hydrofobní srst nebo peří) anebo migrací do teplejších vrstev vody nebo části vodního tělesa, kde teplo mohou přijímat.

Významným faktorem, který vytváří unikátní podmínky ve vodních tělesech, jsou **pohyby vody**. Pro stojaté vody – **lenitické** systémy – jsou popsány vertikální pohyby, seiche, proudění vyvolané větrem – vlnění, proudění vyvolané přítokem nebo odtokem

Pro tekoucí – **lotické** systémy – je typické jednosměrné proudění po spádnicí – laminární nebo turbulentní a u velkých toků kombinace s vlněním a přítoky.

Vertikální proudění je jedním s typických fenoménů ekosystému **stojatých vod – lenitického systému**. Obecně se nazývá **mikce** a jde o promíchávání vrstev utvořených stratifikačními procesy. Proudění v takovém případě se pohybuje v rychlostech $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$.

Okomentoval(a): [H9]: Stenotermní organizmy jsou organizmy snášející pouze úzký rozsah **teplot**. Dělí se na čtyři druhy:

- **termofilní** (u rostlin termofyta) – organizmy vyskytem preferující oblasti s vyšší teplotou, např. **bakterie** a některé **sinice** v horkých pramenech,
- **mezotermní** (u rostlin mezotermofyta) z vodních organizmů např. larvy některých druhů jepic, dvoukřídlých atp.
- **psychrofilní** = chladnomilné organizmy – např. losovité ryby, larvy pošvatek atp.
- **kryofilní** = kryobiontní, chladnomilný, často ve významu žijící na sněhu a ledu, (považováno za synonymum pojmu psychrofilní) – např. mikroskopické **řasy** a **houby**, **chvostokoci**.

Okomentoval(a): [H10]: Exotermní (exotermická) reakce je **chemická reakce**, při níž se uvolňuje **energie**, obvykle ve formě **tepla**. Produkty reakce proto mají nižší **chemickou energii** než reaktanty (látky do reakce vstupující). Opačem je reakce **endotermická**, kde se musí teplo dodat, aby reakce mohla proběhnout.

Okomentoval(a): [H11]: Vyzařování je fyzikální proces, při kterém látka (voda) emituje do prostoru **energi** ve formě **elektromagnetického záření**. Na rozdíl od přenosu tepla **vedením** nebo **prouděním** se může prostřednictvím vyzařování teplo přenášet i ve **vakuu**, tzn. bez zprostředkování přenosu **látkovým prostředím**.

Okomentoval(a): [H12]: Vypařování je skupenská přeměna, při které se kapalina mění na plyn pouze z povrchu (ne z celého objemu jako při varu). Kapalína při vypařování odebírá teplo z okolí.

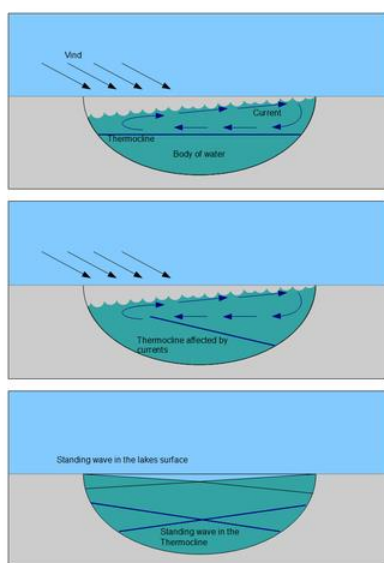
Okomentoval(a): [H13]: Tolerují změny teploty svého těla. Jedná se o ektotermní živočichy žijící v obecně teplotně nestálém prostředí s teplotou těla kolísající podle teploty okolí, nebo o malé endotermní živočichy (tedy s nízkou tepelnou kapacitou) žijící v teplejších oblastech a získávající teplo současně z metabolismu i prostředí a tolerující přechodné snížení teploty.

Okomentoval(a): [H14]: Udržují přibližně stálou teplotu těla. Je to tedy většina endotermních živočichů a ektotermní živočichové žijící v prostředí se stálou hodnotou teplot. Příkladem jsou mořské měličiny pod arktickým a antarktickým ledem, oblasti hluboko v moři, mnoho jeskyní, mikroprostředí v podzemní vodě.

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

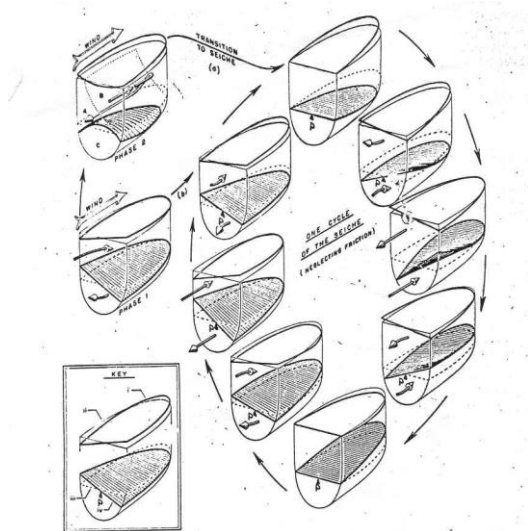
Planktonní organizmy, volně vznášející se ve vodním sloupci, jsou adaptovány na rychlosti až $5 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$. Druhy mikce a její důsledky na ekosystém budou probrány v kapitole věnované stojatým vodám.

Specifickým případem promíchání celé nádrže jsou **seiche**. Jedná se rozhýbání celého vodního tělesa, nejčastěji silným větrem, vanoucím dlouhou dobu jedním směrem. Dle velikosti plochy hladiny dojde k naklonění hladiny tak, že na návětrné straně se sníží až o desítky centimetrů. Na protější břehu nádrže se pak hladina příslušně zvedne. Tento stav je však dočasný a skončení větrné epizody se hladina ustanovuje kolébavými pohyby do vodorovné polohy.



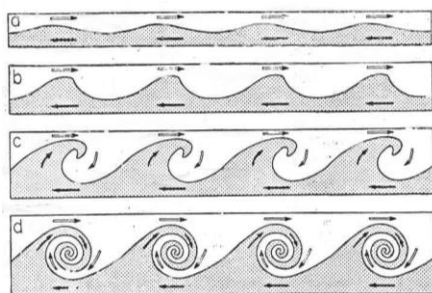
Obr. 8. Seiche způsobené větrem působícím jedním směrem

Druhý způsob jsou **seismické seiche** způsobované zemětřesenými pohyby nebo pádem velkého objemu sněhu, ledu nebo hornin do jezera (laviny, sesuvy). Pak dojde rozvlnění celého objemu jezera v různých rovinách viz. obr. 9. Seiche se projevují od malých nádrží až po velká jezera (jsou popsány z Hořejšího jezera nebo jezera Eirie). Výrazným efektem seiche, ekologickou disturbancí, je rozbití stratifikace a promíchání části nebo celé nádrže (další informace u stojatých vod).



Obr. 9. Promíchávání nádrže při seiche způsobené větrem nebo seismikou.

S větrem souvisí další typ pohybů vody a to **vlnění**. Vlna je pohyb částí vody, které jsou vyvolávány především větrem (**eolické vlny**). Vlna vyvolaná větrem vzniká rotačním pohybem částic vody při hladině. Částice vody rotují na místě, zatímco tvar vlny se přesouvá ve směru větru. Vrchol vlny se označuje jako **hřbet**, nejnižší bod jako **důl** nebo **vpadlina**. **Délka vlny** je vzdálenost mezi dvěma hřbety, **výška vlny** vzdálenost mezi hřbetem a dolem. **Perioda vlny** je čas, který uplyne, než se hřbet následující vlny objeví na témže místě. **Rychlost vlny** se spočítá jako podíl délky s periodou.

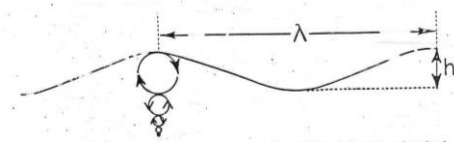


Obr. 10. Tvorba eolických vln na vodní hladině.

Výška vlny závisí především na síle větru, rychlost vlny na jeho rychlosti, vliv má ovšem také celková velikost hladiny, hloubka vody a stabilita směru větru. Vlny se navíc mohou navzájem sčítat nebo naopak rušit. Tvar vlny se výrazně mění, když se vlna blíží ke břehu. Rotační pohyb částic vody se přibližuje o dno, zatímco u hladiny si rychlost

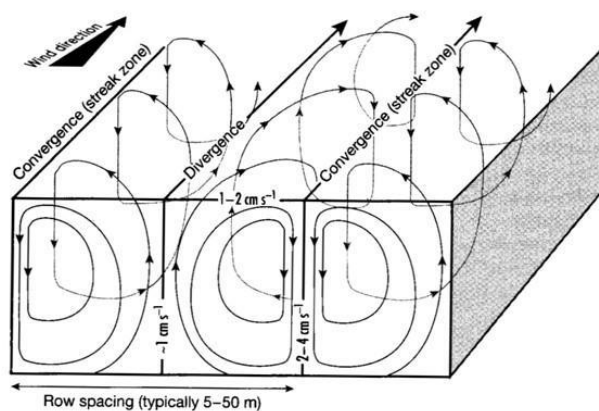
Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

uchovává. Tím se zkracuje délka vlny, a když je hloubka vody asi 1,3 násobek výšky vlny, vlna se láme. Pod zlomem s sebou strhává vzduch, čímž dochází k jejímu zpěnění.



Obr. 11 Charakteristika vlnění a promíchávání do hloubky. Výška vlny – h , délka vlny – λ .

Vlnění ovšem probíhá v trojrozměrném prostoru a vytváří po větrů podélné spirály. Tento jev je popsán jako **Langmuirova cirkulace (spirály)** a má velký význam v promíchávání vrstvy vody. Na moři mají spirály rozměr desítek metrů, ve velkých jezerech (stovky km^2) až 25 m, na malých vodních plochách v decimetrech. Jednotlivé částice opisují kruhové dráhy tvaru husté spirály = Langmuirovy spirály s osou kolmou na směr vln (osa vyznačena řádky pěny). Tlak větru na hladinu působí zvedání částic vody nad rovinu hladiny a jejich následný pokles dolů. Výsledkem je rotační pohyb částic vody po spirální dráze v podobě rovnoběžných válců po směru větru. Horní vrstva vody je tedy tvořena válci rotujících částic vody - osy válců jsou rovnoběžné navzájem a rovnoběžné se směrem větru. Válce vody jen pomalu postupují ve směru osy válce (spirály), tam kde okraje dvou sousedních válců klesají do hloubky, se na hladině hromadí lehké částice (jako pěna, apod.)



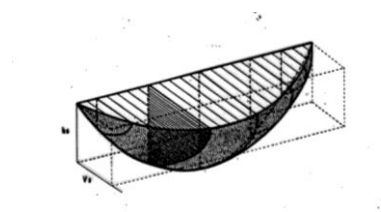
Obr. 12 Langmuirovy spirály – velikost a rychlost proudění.

Ekosystémy tekoucích vod – lotické systémy - jsou typické prouděním po spádnicí, kde rychlost proudu a jeho charakter je závislý na sklonu koryta, drsnosti dna a tvaru koryta v příčném a podélném směru.

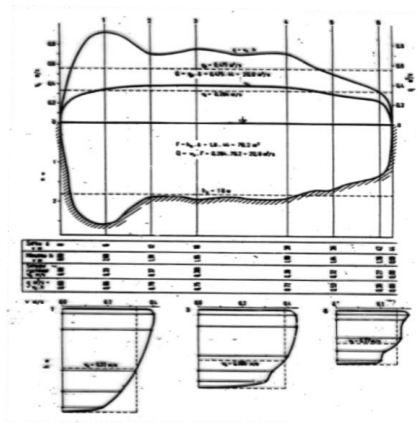
Rychlost proudění je fyzikální veličinou, označujeme ji jako **průtočnou rychlost** v_{pr} [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]. Maximální rychlost v toku se naměří ve střednici toku, v poslední třetině výšky vodního stavu H [m], měřené ode dna vodního toku. Směrem k břehům rychlost proudění

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

klesá. Povrchová rychlost v_p je nižší než rychlost průtočná. $v_{pr}: v_{pr} > v_p$. Z hlediska proudění drobných vodních toků, se minima rychlostí naměří v hloubce (měřeno ode dna) 0,2 H a maxima rychlostí v 0,8 H.



Obr. 13 Průtočné rychlosti v idealizovaném korytě



Obr. 14 Skutečné průtočné rychlosti v reálném korytě

Proudění podle typu můžeme rozlišovat na laminární a turbulentní. **Laminární (proudnicové - říční) proudění** je způsob pohybu kapaliny (vody), při kterém jsou dráhy jednotlivých částic kapaliny navzájem rovnoběžné. Částice se pohybují ve vzájemně rovnoběžných vrstvách a nemísí se. **Turbulentní (bystřinné) proudění** je způsob pohybu viskózních kapalin (vody), při kterém jednotlivé částice kapaliny přecházejí různými vrstvami kapaliny a tak dochází k promíchávání těchto vrstev. Částice kapaliny vykonávají při proudění kromě posouvání i složitý vlastní pohyb, který vede ke vzniku vírů se zvukovými efekty (na rozdíl od proudění laminárního). Rychlosti jednotlivých částic kapaliny se nepravidelně mění, částice již nemají ve všech místech neměnnou rychlost, proudění tedy není stacionární.

Rozlišení typu proudění můžeme spočítat podle empirických čísel. Nejpoužívanější je Froudovo číslo – Fr:

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

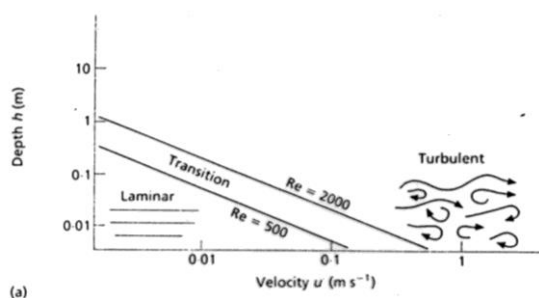
$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gH}}$$

kde U je střední průřezová rychlost proudění ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), je gravitační zrychlení ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$) a H je charakteristický rozměr (m), v případě otevřených koryt obvykle střední hloubka. Číslo nabývá hodnot 0 až jednotky. Hranice $Fr = 1$ (kritické proudění), rozlišuje typy proudění na ($Fr < 1$) **podkritické – říční proudění** a na ($Fr > 1$) **nadkritické – bystrinné proudění**.

Další, svým způsobem, lepší číslo je Re – Reynoldsovo číslo:

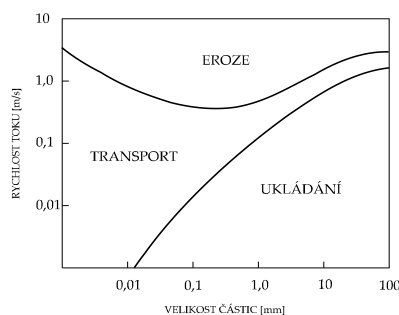
$$Re = \frac{U H}{\nu}$$

Kde ν je kinematická viskozita vody při dané teplotě v jednotkách $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Když je $Re < 500$ je proudění laminární, $Re > 500$ a < 2000 (10 000) je proudění přechodné (střídavě laminární a turbulentní) a čím je Re (nad 2 000) vyšší, tím větší je pravděpodobnost vzniku turbulentního proudění.



Obr. 15 Laminární a turbulentní proudění ve vztahu hloubce toku a rychlosti proudění.

Rychlost a typ proudění má vliv na erozi dna a břehů, unášení a ukládání plavenin a splavenin. Jednoduché vztahy jsou znázorněny na obr. 16. a podrobně bude probráno u tekoucích vod.



Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

Obr. 16 Vztah rychlost proudění a velikosti unášených částic ve vodním sloupci.

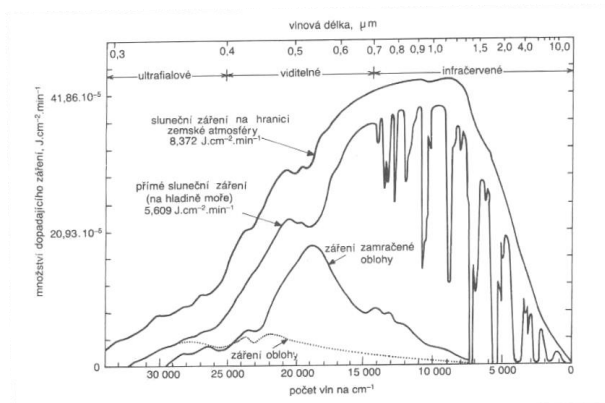
Podle vztahu k typu a rychlosti proudění dělíme vodní organizmy na **rheobiontní** a **rheofilní** tj. organizmy dávající přednost proudící vodě (např. larvy much čeledi přísalkovití (Blepharoceridae), larvy pošvatek atp. a např. kamomila říčního (*Anyclyus fluviatilis*)). Tyto organizmy mají další významnou vlastnost a to **pozitivní rheotaxi**, tj. upřednostňují pohyb vždy přídí (hlavou) proti proudu. Organizmy, které se vyhýbají proudivé vodě, nazýváme **rheoxenými**. K těm např. řadíme planktonní organismy – mnohé jezerní perloočky r. *Daphnia*.

Světlo – sluneční záření je podmínkou (např. optické vlastnosti vody) a i zdrojem. Nelze dost dobře oddělovat tyto dva pohledy. Světlo je hlavní zdroj energie pro biosféru:

- Umožňuje fotosyntézu a tvoří tak potravní řetězce
- Umožňuje živočichům orientaci zrakem
- Ovlivňuje aktivitu organismů na Zemi – fotoperiodicita

Přísun slunečního záření (SZ) na planetu Zemi : je konstantní - solární konstanta 135 mW.cm^{-2} což je $8,13 \text{ J.cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$, nebo $1,94 \text{ Cal.cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ na plochu kolmou na směr slunečních paprsků na povrchu Země méně (max. asi 105 mW.cm^{-2} za jasné oblohy) - část paprsků se odchyluje rozptylem na částicích = rozptýlená (difusní) složka SZ, záření oblohy - přímé + rozptýlené SZ = globální SZ.

Z biologického a ekologického hlediska má význam viditelná část záření a malý část ultrafialového a infračerveného záření (např. vliv biochemické procesy v buňkách a např. přenos tepla).



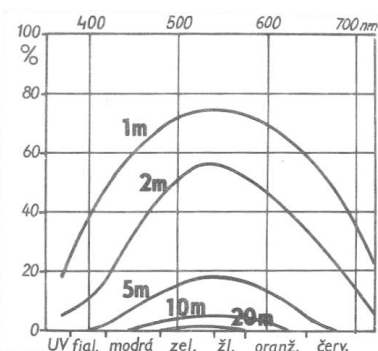
Obr. 17. Sluneční záření a jeho charakteristiky

Spektrální složení slunečního světla přibližně 300 až 3000 nm, ale velmi je různě rozloženo: maximum je v modré - zelené oblasti a jen 1 až 5 % je UV záření. Asi 47% spektra tvoří PhAR (FAR) viditelné světlo – fotosynteticky aktivní záření, dosti stálý podíl asi 48 %

Okomentoval(a): [H15]: Zářivá energie (radiant energy) se měří jako jiné formy energie v joulech (J). **Rychlost toku zářivé energie** (radiant flux) se vyjadřuje v J s^{-1} (= watt, W). **Hustota zářivého toku** (radiant flux density) v $\text{J s}^{-1} \text{m}^{-2}$ (= W m^{-2}). **Ozáření** (irradiance) = tok zářivé energie dopadající na jednotku plochy (např. listů nebo hladiny, W m^{-2}). **Ozáření** (irradiation, dávka či suma záření) = celkové množství zářivé energie, které dopadlo na určitou strukturu či jednotku její plochy (např. listu, hladiny) za jistou dobu (např. za den, za vegetační období, atd.). Uvedené charakteristiky se mohou měřit také jen v úzce vymezených spektrálních oblastech, např. pro oblast fotosynteticky aktivního záření, 400-700 nm, (ta se prakticky kryje s rozsahem vlnových délek viditelných lidským okem = světlo).

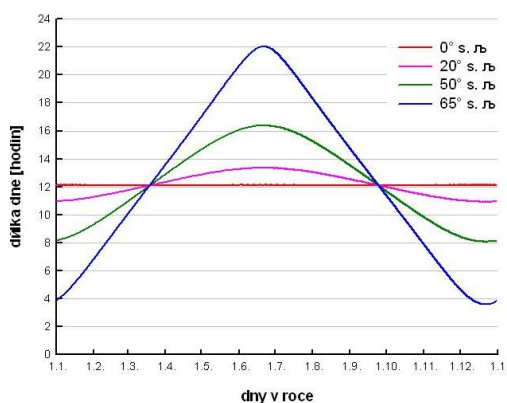
Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

tvoří infračervené záření, hlavní zdroj tepla vodních těles. V biologických systémech má největší význam fotosynteticky aktivní záření (FAR - PhAR). **Fotoautotrofní organizmy** (bakterie, sinice, řasy a rostliny) využívají energii viditelného světla v rozmezí 390 – 770 nm tzn. téměř celé spektrum viditelného světla. Fotoautotrofové žijící např. ve větších hloubkách v mořích a oceánech (ruduchy, hnědé řasy), využívají nejvíce fialovou, modrou a zelenou část světelného spektra (viz obr. 18).



Obr. 18. Vlnové délky světla (barvy) v různých hloubkách čistého horského jezera

Intenzita záření I_z dopadající na vodorovnou plochu orientovanou vzhůru v hloubce z . Pak $I_z = I_0' \cdot e^{-\epsilon \cdot z}$, kde z je hloubka v metrech, I_0' je podpovrchová intenzita (v dané vlnové délce záření!!), ϵ je vertikální absorpční (extinkční) koeficient, rozměr m^{-1} . Vrstva vody kam proniká využitelné sluneční záření se nazývá **eufotická zóna** a tam, kde již záření není je **zóna afotická**. Hranice mezi zónami není stálá a závisí na mnoha faktorech. První z nich je **elevace slunce** tj. úhel postavení slunce z hlediska hladiny během roku, ale také během dne. Dle zeměpisné šířky se mění délka dne, na rovníku je během roku prakticky stejná (kolem 12 h), ale na 65° se pohybuje v rozmezí 4 h v zimě a 22 hodin v létě (viz obr. 19)

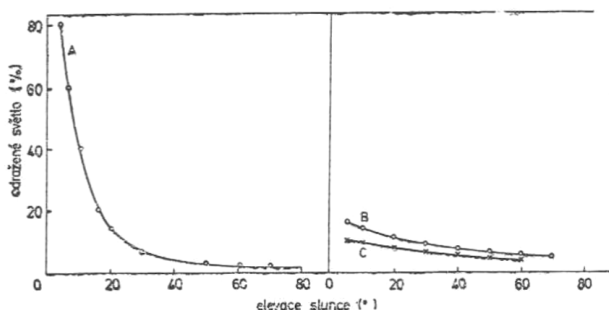


Okomentoval(a): [H16]: Světlo do vody proniká jen omezeně, a to různé vlnové délky různě - zákon Lambert-Beerův. Nejvíce se absorbuje červené (ještě více infračervené), nejméně zelené - vrstva 1 m vody absorbuje 65% červeného a jen 1% zeleného světla

Okomentoval(a): [H17]: Hloubka, do níž proniká ještě 1 % podpovrchové intenzity nejhluběji pronikající složky (barvy) světla, se používá k odhadu hloubky osvětlené vrstvy -eufotické vrstvy, v níž převládá fotosyntéza nad respirací. V praxi se využívá vztahu $z_{0,01}(\max) = k \cdot z_{Secchi}$, kde z_{Secchi} je hloubka viditelnosti Secchi desky a koeficient k nabývá hodnot $k = 2,5$ v moři až $k = 4$ až 5 ve vodách s množstvím částic rozptýlených ve vodě.

Obr. 19 Délka slunečního svitu v závislosti na zeměpisné šířce

Podobný efekt vyvolává i denní postavení slunce na obloze. V zimním období v mírném pásmu (kolem 50 rovnoběžky) je slunce nízko nad obzorem a tak se většina záření odráží od hladiny a jen v poledních hodinách proniká do větších hloubek. Na rovníku a v letním období, kdy je slunce v nadhlavníku, proniká světlo do hloubky a jen minimum se odráží od hladiny a to hlavně při svítání a západu slunce. Délka dne pod vodní hladinou je tak vždy kratší než na hladině. Na hranici eufotické a afotické vrstvy je délka dne jen v minutách a ještě k tomu se tato hranice během dne posouvá; od svítání do poledne eufotická vrstva narůstá a k západu slunce se zmenšuje.



Obr. 20 Podíl odraženého záření (%) v závislosti na elevaci Slunce A – jasná obloha, B – mírně zatažená obloha, C – silně zatažená obloha (upraveno dle Wetzl 19XX),

Z obr. 20 vyplývá, že významný vliv má i charakter záření – hodně se odráží záření za jasného dne a naopak rozptýlené záření zatažené oblohy má nižší odrazivost. Další významný efekt, ovlivňující pronikání záření do větších hloubek, je charakter hladiny. Klidná hladina má při nižších elevacích slunce vysokou odrazivost a naopak rozbouřená hladina s pěnící se vodou, vytváří podmínky pro průnik rozptýleného světla do menších hloubek během celého dne. Speciální situace nastává při zamrznutí vodní hladiny. Čirý led nemá velkou odrazivost (**albedo** kolem 20 – 40%) ale i tak významně vyšší než vodní hladina (albedo jen kolem 5%). Když se ovšem led pokryje sněhem (vysoké albedo až 90%), tak se pod zamrzlou hladinu dostávají jen velmi nízká kvanta světla. K tomu se ještě v zimě přidává elevace slunce a tak je **eufotická** vrstva i v čistých horských jezerech jen jednotkách až desítkách centimetrů.

Významným faktorem ovlivňující pronikání světla do hloubky – vytváření eufotické vrstvy, je **průhlednost vody**. Průhlednost vody je snižována **zákalem (turbiditou)**, který je způsoben živými a neživými částicemi rozptýlenými ve vodě. Také je snižována **zbarvením** vody rozpuštěnými nebo rozptýlenými látkami ve vodě. V málo produktivních vodách je průhlednost v metrech, a ve více a v silně produktivních vodách s vegetačním zákalem zelených organismů, jen několik desítek centimetrů. Proto je jednoduchou charakteristikou produkčních poměrů – stanovení **trofie stojatých vod**.

Okomentoval(a): [H18]: Albedo (z **latinského** *albus* – **bílý**) je míra odrazivosti tělesa nebo jeho povrchu. Jde o poměr odraženého **elektromagnetického záření** ku množství dopadajícího záření. Zlomek, obvykle vyjadřovaný procentuálně od 0 do 100 %, je důležitým pojmem v **klimatologii** a **astronomii**. Poměr závisí na **frekvenci** uvažovaného záření: pokud není specifikována, bere se průměr podél spektra **viditelného světla**. Závisí také na úhlu dopadu záření: pokud není specifikován, uvažujeme o pravém úhlu. Albedo závisí také na úhlu mezi směrem osvětlení a směrem pozorování. Pokud je tento úhel nulový, bývá albedo nejvyšší.

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

K vizuálnímu měření průhlednosti se používá **Secchiho deska**: čtverec nebo kruh o průměru 20 nebo 25 cm, buď zcela bílý, nebo se střídavými černými a bílými kvadranty. Přesná měření množství záření – průhlednosti se provádí pyranometry. Tato metoda umožňuje měření pro různé vlnové délky v rozmezí PhAR (voda je sama barevná a obsahuje barevné částice) a měření vztahuje k denní době a stavu oblačnosti.

Skutečná barva vody je dána rozpuštěnými látkami. **Zdánlivá barva vody** je pak součtem skutečné barvy a posunem daným okolím (odraz vegetace, nebe, mraků atd.) nebo částicemi ve vodě a znečištěním. U čistých a hlubokých přírodních vod je barva vody modrá, rozpuštěné **humínové látky** zabarvují vodu do odstínů hnědé (**dystrofní vody**), **organogenní látky** (chlorofyl a další rostlinná barviva) zbarvují vodu do žlutozelené až zelené (**eutrofní vody**), **suspendované látky** (jemný písek, jílové a půdní částičky) z povodí pak způsobují různě zakalenou vodu někdy s mléčně bílým až hnědým zbarvením. Přesné stanovení zbarvení se měří ve stupnice platiny (roztoky solí Pt).

Eufotická vrstva (zóna) je definována hranicí kam ještě dopadá alespoň 1% záření. Probíhá zde produkce fotosyntetizujících organismů, produkce je vyšší než respirace ($P > R$) – proto se nazývá tato zóna **trofogenní**. Vytváří se zde autochtonní organická hmota – jde o **autotrofní systém**. **Afotická zóna** je charakterizována absencí fototrofních organismů, jsou zde jen heterotrofní nebo chemoautotrofní organismy, respirace převažuje nad produkcí ($R > P$). Zóna se nazývá jako **trofolytická** – organická hmota je zde spotřebována a rozkládána. Jedná se tedy o **heterotrofní systém**.

Vztah organismů ke světlu jako zdroji, je jednoznačně vázán na jejich schopnost fotosyntézy. Všechny tyto organismy obecně nazýváme jako **fotobiontní a fotofilní**. U rostlin však používáme termín **heliofyta** – **světlobytné** anebo **světломilné** rostliny. Tam patří např. celá skupina sinic (Cyanophyta), zelené řasy (Chlorophyta) a z vyšších rostlin celá čeleď leknínovitých (Nymphaeaceae). U řas, zvláště u rozsivek (Bacillariophyta), je známa i schopnost pohybu za světlem tj. **pozitivní fototaxe**. Druhou skupinu tvoří **světlobojné** – **fotoxenní** – organismy (u rostlin mluvíme o **stínomilných** – **sciafyty, umbrofyty** – organizmech). Tam patří především organismy podzemních vod a velkých hloubek. U nich je často vyvinuta i schopnost úniku z osvětleného prostoru – **negativní fototaxe**. Bližší informace u jednotlivých ekosystémů.

Ke vlivu světla na ekologické podmínky ve sladkovodních systémech, patří i **záření Měsíce**. Toto záření má především funkci signální – v období úplňku nebo naopak novu některé organismy reagují především rozmnožovacími procesy a u hmyzu emergencí (tření u ryb, migrace planktonu ve vodním sloupci, přeměna vývojových stádií a např. líhnutí subimag některých druhů jepic). Speciální případem reakce na fáze měsíce je **bioluminiscence** některých planktonních organismů – bakterií – především v mořských ekosystémech. **Bioluminiscence** má význam i pro hlubinné organismy a ve sladkých vodách pro organismy podzemních (krasových) vod.

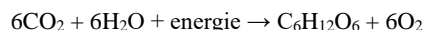
Okomentoval(a): [H19]: Bioluminiscence je chemiluminiscence využívaná živými organismy. Jedná se o emisi (vyzařování) světla některými skupinami organismů. Celý proces je výsledkem oxidace luciferinu za přítomnosti enzymu luciferázy. Při této reakci se vyzařuje až 96 % světla a jen 4 % tepla, je tedy z hlediska daných organismů velmi efektivní

Chemie vody (voda jako rozpouštědlo) – podmínky a zdroje

Ve vodě se rozpouští mnohé anorganické a organické látky. Z elektrochemického zařazení budeme probírat **anionty** a **kationty**. Do skupiny aniontů patří anorganické anionty např. hydroxidový aniont OH⁻, dusičnanový aniont NO₃⁻, síranový aniont SO₄²⁻, uhličitanový aniont CO₃²⁻, (ortho)fosforečnanový aniont PO₄³⁻ ale i organické anionty např. mravenčanový aniont HCOO⁻, octanový aniont CH₃COO⁻. Do kationtů pak patří např. (jedno)atomové kationty: sodný kationt Na⁺, vápenatý kationt Ca⁺⁺, hlinitý kationt Al⁺⁺⁺ a molekulové kationty např. amonný kationt NH₄⁺. K tomu dělení ještě musíme přidat reaktivní a inertní plyny (O₂, N₂, CO₂).

Plynný kyslík – O₂

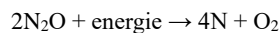
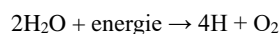
První a velmi důležitou vlastností vody je, že se v ní velmi dobře rozpouštějí plyny. Důležitým plynem ve vodním prostředí je **kyslík**, který se jako molekula vyskytuje ve třech formách O₂, ozón O₃ a O, což je správně atomová reaktivní forma. Kyslík považujeme za makrobiogenní prvek, bez kterého by neexistovala biosféra (organizmy) v současné podobě. Hlavním zdrojem kyslíku v biosféře a atmosféře je fotosyntéza, při níž se mimo jiné rozkládá oxid uhličitý na kyslík:



Mezi **fotosyntetizující (fotoautotrofní)** organizmy patří zelené rostliny, ale i fytoplankton v oceánech. Drobné sinice rodu *Prochlorococcus* jsou nejpočetnějšími fotosyntetizujícími organizmy - zodpovídají za více než polovinu fotosyntetické aktivity volného oceánu.

Kyslík může vznikat i při **biologickém zvětrávání**. Při tomto procesu některé organismy získávají minerály (živiny) z oxidů a přebytečný kyslík vypouští.

Dalším zdrojem atmosférického kyslíku je proces zvaný **fotolýza**, při němž ultrafialové záření rozkládá molekuly vody a dusitanů. Volné atomy dusíku a vodíku utíkají do vesmíru, zatímco kyslík zůstává v atmosféře.

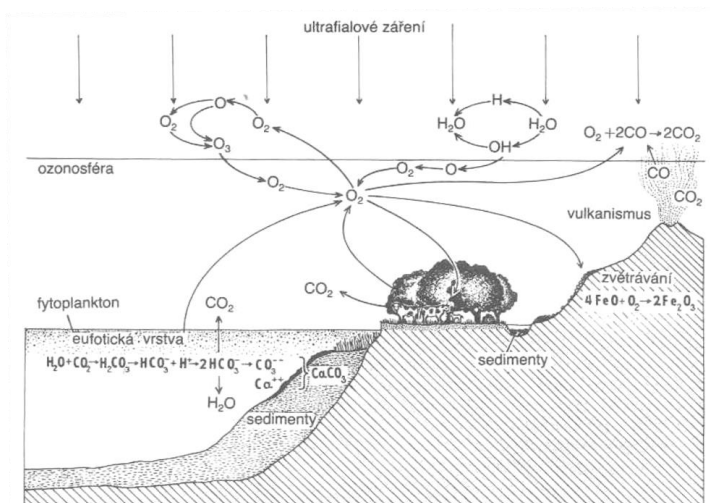


Zdaleka největším rezervoárem kyslíku na Zemi jsou oxidy v zemské kůře a zemském plášti (99,5 %). Pouze 0,01 % je volný kyslík v biosféře a 0,36 % v atmosféře.

Okomentoval(a): [H20]: Aniont, též **anion** je záporně nabitý iont, obvykle atom nebo molekula, která **přijala** elektron, (nebo odevzdala kationt vodíku, volný proton). Anion má v elektronovém obalu více elektronů než odpovídající atom. Při elektrolyze putuje směrem k anodě.

Okomentoval(a): [H21]: Kationt (též **kation**) je kladně nabitý iont, obvykle atom nebo molekula, která odevzdala elektron, (nebo pohltila kationty vodíku, volné protony). Kationt má v elektronovém obalu méně elektronů než odpovídající atom. Při elektrolyze putuje směrem ke katodě.

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů



Obr. 21 Koloběh kyslíku a jeho reakce v geosféře.

Přítomnost kyslíku ve vodě vytváří podmínky pro život organismů dýchající kyslík – **oxybiontní** organismy. Vytváří se **aerobní vodní prostředí**, které je charakterizováno přítomností rozpuštěného kyslíku ve formě molekuly O_2 . Rozpustnost kyslíku (obecně všech vzdušných plynů) je závislá na teplotě vody, na atmosférickém tlaku, na množství rozpuštěných látek (**salinitě**) a na velikosti (ploše proti objemu) fázového rozhraní kapalina – plyn (voda – vzduch) a hydrostatickém tlaku.

Relativní zastoupení kyslíku rozpuštěného ve vodě proti rozpuštěnému dusíku je asi 1 : 2 (ve vzduchu asi 1 : 4). Množství rozpuštěného kyslíku přítomného v objemové jednotce vody je 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. Množství rozpuštěného kyslíku ve vodě stanovujeme v koncentracích v $mg.l^{-1}$ a nebo hodnotách **relativního nasycení (saturace)** v procentech, dle jednoduchého vzorce:

$$C_{\text{sat}} = \frac{C_{\text{nam}}}{C_{\text{tab}}} \cdot 100$$

Hodnoty nasycení vody kyslíkem nám ukazují, zda je voda chudá na kyslík (tzv. hladová voda) nebo, zda je voda v daném okamžiku kyslíkem přesycena. Pro vodní organismy jsou vždy důležité hodnoty koncentrací.

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

Tab. 4 Tabulkové hodnoty koncentrace kyslíku ve vodě v závislosti na teplotě

Teplota (°C)	0	5	10	15	20	25	30
obsah O ₂ (mg .l ⁻¹)	14,16	12,37	10,92	9,76	8,84	8,11	7,53

Závislost rozpustnosti na atmosférickém tlaku plyne z Henryho zákona: koncentrace rozpuštěného plynu je přímo úměrná parciálnímu tlaku plynu v atmosféře. Protože atmosférický tlak je v podstatě konstantní, záleží jednoduše na množství – čím více je plynu v atmosféře, tím více se ho také rozpustí ve vodě. Z toho vyplývá, že vyšších nadmořských výškách je nižší rozpustnost kyslíku viz tab. 5

Tab. 5 Korekční faktory pro stanovení množství rozpuštěného kyslíku v různých nadmořských výškách.

Nadmořská výška (m)	Tlak (mm Hg)	Korekční faktor
0	760	1,000
500	714	0,942
1000	671	0,887
1500	632	0,836
2000	594	0,785
2500	560	0,735
3000	526	0,692

Dalším faktorem ovlivňující množství kyslíku ve vodě je plocha a tvar hladiny. Rychlost rozpouštění kyslíku závisí na povrchu vodní plochy - klidná hladina přijímá 1,4 mg O₂ na m²/den; zčeřená hladina přijímá 5,5 mg O₂ na m²/den a prudce zčeřená hladina přijímá 50 mg O₂ na m²/den.

Rychlost re-aerace exponenciálně závisí na kyslíkovém deficitu – výše uvedené údaje odpovídají ustálenému stavu. Kyslíkový deficit zvyšuje náhlé zvýšení kontaminace a zvýšená teplota.

Závislost rozpustnosti kyslíků na celkové **mineralizaci vody (salinitě)** nemá v sladkovodních systémech velký význam až na situace znečišťování vod silně zasolenými odpadními vodami a v ústí (estuáru) řek při styku s mořskou vodou (brakická voda).

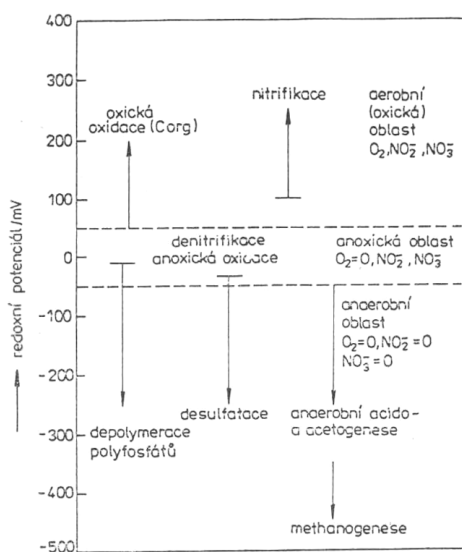
Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

Tab. 6 Vztah koncentrace rozpuštěného kyslíku, teploty a koncentrace soli

NaCl concentration (g l ⁻¹)	Temperature (°C)						
	0	5	10	15	20	25	30
0	14.60	12.79	11.34	10.13	9.10	8.22	7.49
2	14.40	12.63	11.2	10.01	9.00	8.13	7.42
5	14.12	12.39	11.00	9.84	8.85	8.00	7.30
10	13.65	11.99	10.66	9.55	8.60	7.79	7.12
15	13.20	11.61	10.34	9.27	8.36	7.58	6.93
25	12.33	10.88	9.72	8.74	7.90	7.18	6.58
50	10.37	9.22	8.29	7.50	6.82	6.24	5.75
100	7.24	6.53	5.95	5.46	5.03	4.65	4.33
150	4.96	4.54	4.20	3.90	3.64	3.40	3.21
200	3.34	3.10	2.91	2.74	2.58	2.45	2.33
260	2.03	1.92	1.83	1.75	1.67	1.61	1.55

Source: From Sherwood et al. 1992.

Celkový obsah kyslíku ve vodě a jeho formy rozděluje kyslíkový režim do tří kategorií: aerobní (oxický), anoxický a anaerobní režim. Oxidační nebo redukční prostředí lze nejlépe vyjádřit **redox potenciálem** E° (mV), než jen koncentrací rozpuštěného kyslíku.



Obr. 22. Typy vodního prostředí dle kyslíkového režimu (oxidace – redukce).

Oxidační – aerobní prostředí je charakterizováno přítomností reaktivní molekuly O_2 , probíhají chemické a biochemické oxidační reakce, probíhá **nitrifikace** (viz dusík) za

Okomentoval(a): [H22]: Redoxní potenciál (také oxidačně-redukční potenciál i redox potenciál) je vyjádření míry schopnosti redoxního systému převést jednoho z reakčních partnerů do oxidovaného stavu.

Redoxní potenciál vyjadřuje:

- redukční stav systému v milivoltech
- napětí mezi standardní vodíkovou elektrodou a příslušným oxidačně-redukčním přechodem
- čím více má činidlo $E > 0$, tím větším je oxidačním činidlem, čím má $E < 0$, tím je silnějším redukčním činidlem.

Redoxní potenciál se měří jako elektrické napětí inertní elektrody ponořené do roztoku systému proti srovnávací elektrodě se známým potenciálem.

Čím má kov zápornější hodnotu redoxního potenciálu, tím má větší schopnost uvolňovat elektrony.

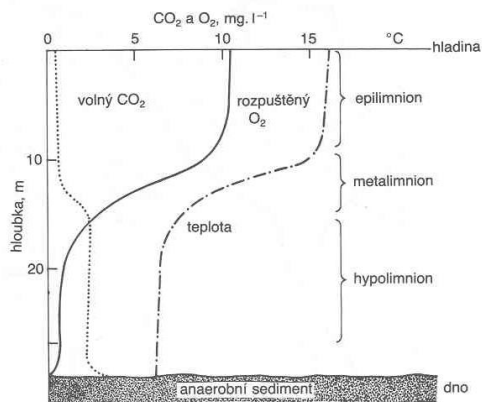
Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

přítomnosti oxidačních produktů dusitanů a dusičnanů (viz dále) a u organismů probíhá **respirace**. Redox potenciál je vždy v kladných hodnotách mV a hranice přechodu se pohybuje po 50 mV.

V přibližném rozmezí +50 až -50 mV je oblast **anoxická**, již se zde nevyskytuje molekulární kyslík, ale jen kyslík ve stavu zrodu (atomová forma), který ihned reaguje s přítomnými látkami – probíhá **anoxická oxidace**. V této oblasti se ještě vyskytují kyslíkaté sloučeniny jako dusitany, dusičnany, sírany, fosforečnany a jejich formy, ale od určité hranice začíná již jejich redukce. **Denitrifikace** (bakteriální – biochemická) začíná někde v oblasti 0 až +20mV. Ostatní biochemické redukční procesy (**desulfatace, depolymerace polyfosfátů**) někde kolem hranice -50 mV.

V oblasti pod -50 mV je již **anaerobní oblast** s výraznými redukčními procesy. Hlavními bakteriálními – biochemickými procesy jsou **acidogeneze, acetogeneze a metanogeneze** – anaerobní rozklad bílkovin a **amonifikace** – biochemická přeměna dusíkatých sloučenin na amoniak (amonný iont). Typickými rozpuštěnými plyny ve vodě v tomto prostředí jsou metan (CH_4), amoniak (NH_3) a sulfan (H_2S).

Stratifikace rozpuštěného kyslíku a rozvrstvení ve vodním sloupci je dáno jeho rozpustností v závislosti na teplotě a na difuzi přes vodní hladinu a intenzitě fotosyntézy ponořených mikro a makro producentů (planktonní řasy, emerzní vodní rostliny). Zpravidla křivka koncentrací kopíruje křivku teploty vody s narůstající hloubkou. Běžné případy kyslíkové stratifikace budou probrány v kapitole „Stojaté vody“.



Obr. 23. Křivka rozpuštěného kyslíku a oxidu uhličitého v závislosti na hloubce, teplotě a mohutnosti trofogenní vrstvy

V obecné rovině, v trofogenní vrstvě (epilimniu), kde probíhá intenzivní asimilace je vysoká koncentrace kyslíku. Křivka se láme se v metalimniu a trofolytické vrstvě (hypolimnionu) je již kyslíku málo. V úplně povrchové vrstvě může dojít ke krátkodobému přesycení kyslíkem, tak že v relativních hodnotách syčení (**saturation**) zde může být i nad 150%. To je způsobeno překotnou produkcí kyslíků asimilujících organismů za intenzivního

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

slunečního záření, kdy se kyslík vyskytuje v piko a nano bublinkách, které analytickými metodami stanovujeme jako rozpuštěný kyslík. Obdobná situace nasává při překotném dosycování tzv. „**hladové vody**“ (s nízkým obsahem kyslíku) v turbulentních úsecích tekoucích vod, vodopádech a pod umělými překážkami (jezy) – viz. kapitola „Tekoucí vody“.

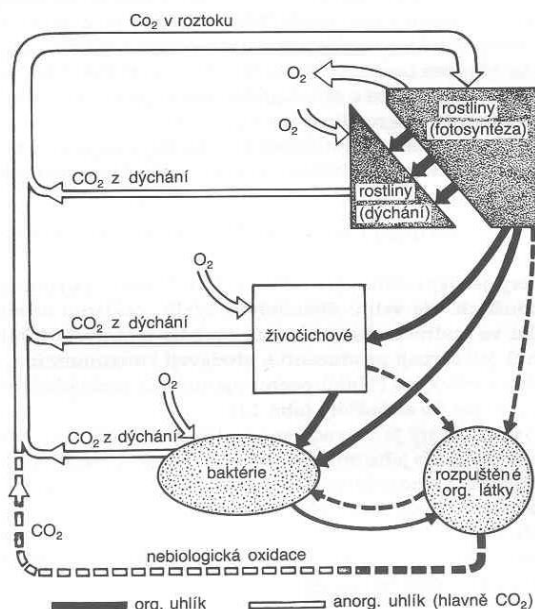
Organizmy v afinitě ke koncentraci a její kolísání kyslíku dělíme na **steno-oxybiontní** a **eury-oxybiontní**. **Steno-oxybiontní organismy** vyžadují vysoké nasycení vody kyslíkem a mají nízkou toleranci k jeho poklesu a ke kolísání koncentraci. Patří sem především organismy tekoucích a chladných vod – např. larvy jepic čeledi Heptagenidae, larvy pošvatek, chrostíků atd. a např. sladkovodní lososovité ryby. Hranice jejich tolerance je v rozmezí 8 – 10 mg.l⁻¹ O₂. Naopak **eury-oxybiontní organismy** mají vyšší toleranci ke kolísání a k minimálním hodnotám rozpuštěného kyslíku. Hranice (ekologické niky) pro život většiny kaprovitých (teplomilných) ryb je někde kolem 4 mg.l⁻¹ O₂, výjimkou jsou např. karasi, kteří dokáží přezimovat i v podmínkách s nulovou hodnotou kyslíku. Jsou schopni štěpit tuky svého těla na mastné kyseliny a uvolněný kyslík spotřebovávat ve tkáních k dýchání. Bezobratlé (tolerantní) organismy si vyvinuly různé strategie od dýchání vzdušného kyslíku (např. larvy a dospělci vodních brouků) nebo změnou krevního barviva na účinnější typ (např. hemoglobin u nitěnkovců - Tubificinae). Tyto organismy pak tolerují koncentrace kyslíku blízké nule.

Uhlík (C) a jeho formy

Dalším významným plynem dobře rozpouštějícím se ve vodě je **oxid uhličitý CO₂**. Ten je však nutný pojmut komplexně jako součást **koloběhu uhlíku**, nezbytnou a jedinečnou součástí všech živých systémů a organických látek. Uhlík je základní makrobiogenní prvek. Oxidy uhlíku (oxid uhelnatý - CO, oxid uhličitý CO₂) jsou oxidačními produkty hoření (organických látek) a rozkladu uhličitánů. Největším zdrojem CO₂ v biosféře je respirace organismů. Tento prvek a jeho sloučeniny musí rozdělit na dvě velké skupiny – **anorganický uhlík** (především CO₂ a soli forem kyseliny uhličitě) a na **organický uhlík** (organické sloučeniny – organická hmota).

Okomentoval(a): [H23]: Oxid uhličitý je součástí zemské atmosféry, jeho koncentrace (průměrně 0,040 % v roce 2013) v ovzduší kolísá v závislosti na místních podmínkách, na výšce nad povrchem a relativní vlhkosti vzduchu v ovzduší. V důsledku zejména průmyslových emisí jeho průměrná koncentrace ve vzduchu stále roste. V půdě je ho 2x více než v atmosféře a v oceánu zhruba 50x více než v atmosféře. Lokálně velmi vysoká koncentrace jsou v místech výronu sopečných plynů ze země ve vulkanicky aktivních oblastech a v některých přírodních minerálních vodách. Ročně tak vulkanické aktivity dodávají do ovzduší Země přibližně 130 až 230 milionů tun, což představuje řádově jen 1 až 2 % produkce CO₂ lidstvem.

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů



Obr. 24 Základní schéma koloběhu uhlíků v biosféře

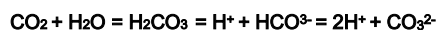
Anorganický uhlík ve formě plynu CO₂ je hlavním zdrojem pro fotosyntetizující organismy. Do atmosféry a vody se dostává z horninového, půdního prostředí, z vulkanické činnosti a především a hlavně, respirací všech typů organismů. Oxid uhličitý je 200x rozpustnější ve vodě než kyslík a jeho koncentrace je závislá na teplotě, atmosférickém a hydrostatickém tlaku a přítomnosti zdrojů CO₂. Rozpuštěný volný oxid uhličitý je obsažen v analyticky zjistitelných koncentracích ve všech přírodních vodách, jejichž pH nepřevyšuje hodnotu 8,3. V povrchových vodách je volný CO₂ obsažen jen v jednotkách mg.l⁻¹ a nepřesahuje 30 mg CO₂ .l⁻¹. Podzemní vody obsahují obvykle několik desítek mg CO₂. Vody filtrované horninovým prostředím a půdou mají vysoký obsah CO₂ v rozmezí od několika miligramů do několika set miligramů na litr. V jezerech ve velkých hloubkách (nad 100m), i vlivem hydrostatického tlaku, jsou podstatně vyšší koncentrace (např. v profundálu příkopových a vulkanických jezer). Obdobná situace může nastat i místech intenzivní respirace – např. před svítáním ve vrstvě planktonních sinic a řas.

Okomentoval(a): [H24]: Nyos (Kamerun) je hluboké jezero (200m) na úbočí neaktivního vulkánu. Pod jezerem se nachází chladnoucí magma, ze kterého se uvolňuje oxid uhličitý do vody, kde se mění na kyselinu uhličitou. Jezero Nyos patří mezi tři známá jezera na světě, kde se odehrávají tzv. limnické erupce. Ve vodě v hypolimniu (profundalu) je vysoká koncentrace oxidu uhličitého, který může náhle vystřelit nad hladinu a rozprostřít se po hladině a okolí a způsobit smrt všeho živého v okolí. CO₂ je těžší než vzduch a tak vytlačí kyslík při hladině a povrchu země. 21. srpna 1986 oxid uhličitý unikl z jezera, zaplavil dvě blízká údolí a pozabíjel kolem 1700 lidí, nespočet hospodářských a volně žijících zvířat až do vzdálenosti 25 km. Tato událost zanechala bez domova asi 4000 lidí, mnoho z nich s respiračními problémy a popáleninami.

Tab. 7. Závislost rozpustnosti CO₂ na teplotě vody

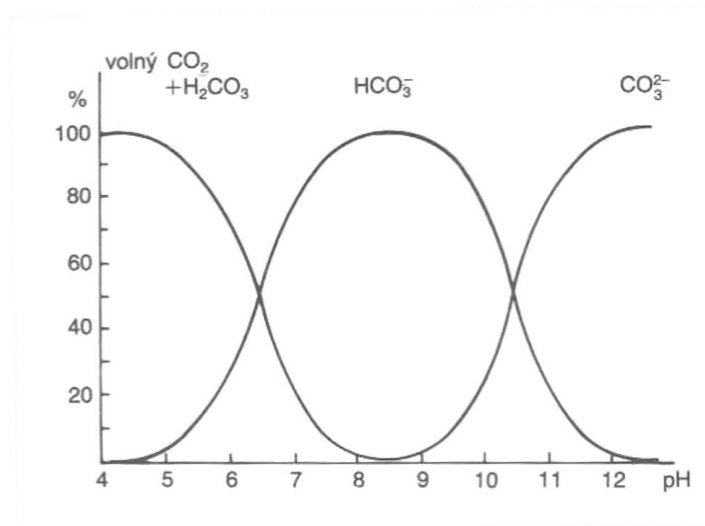
Teplota vody °C	Oxid uhličitý mg.l ⁻¹	Teplota Vody °C	Oxid uhličitý mg.l ⁻¹
0	1,097	12	0,6532
1	0,9698	13	0,6327
2	0,9200	14	0,6128
3	0,8988	15	0,5941
4	0,8384	16	0,5737
5	0,8372	17	0,5561
6	0,8091	18	0,5391
7	0,7815	19	0,5232
8	0,7520	20	0,5887
9	0,7253	25	0,4360
10	0,6995	30	0,3779
11	0,6737	35	0,3157

Volný oxid uhličitý se slučuje s vodou z části na kyselinu uhličitou a část zůstane v nedisociované (nerozpuštěné) formě. Kyselina uhličitá je slabým elektrolytem a vodou je částečně štěpena na ionty vodíku H⁺ a ionty hydrogenuhličitanů HCO³⁻ a podle prostředí pH výjimečně až na ionty uhličitánové CO₃²⁻ podle vztahu.



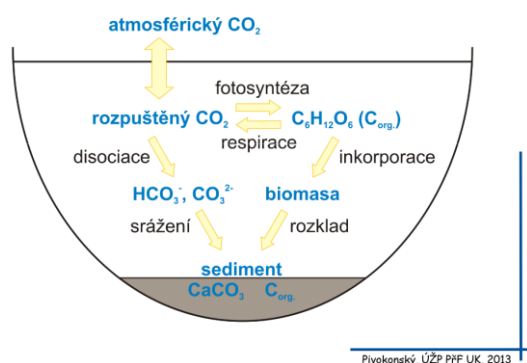
V přírodních vodách se oxid uhličitý vyskytuje ve třech formách přímo závislých na reakci vody pH. Oxid uhličitý, který se ve vodě nerozpustí, a zůstává v molekulární formě, se nazývá **volný oxid uhličitý**. Oxid uhličitý vázaný v hydrogenuhličitanech se nazývá **polovázaný oxid uhličitý** a oxid uhličitý vázaný v uhličitanech nazýváme **vázaný oxid uhličitý**. Součet všech tří forem oxidu uhličitého se nazývá **veškerý oxid uhličitý**. Ve vodách s pH pod 4 se ionty hydrogenuhličitanů a uhličitánů nevyskytují. V takto kyselých vodách je přítomen jen v různém stupni disociovaný oxid uhličitý (CO₂ + H₂CO₃). V rozmezí pH 4–12 jsou v přirozených vodách přítomny všechny tři formy kyseliny uhličitě v měnícím-se poměru. Při pH 8,35 jsou hydrogenuhličitan (HCO³⁻) prakticky jedinou formou kyseliny uhličitě v roztoku. Při pH 8,4 se začínají objevovat v roztoku i uhličitany (CO₃²⁻) a při pH 10,5 jsou převládající složkou kyseliny uhličitě.

Okomentoval(a): [H25]: Přítomnost oxidu uhličitého resp. kyseliny uhličitě stanovujeme jako **aciditu** vody. Ta je definována jako schopnost vody neutralizovat alkalicky reagující látky. Z hydrochemického hlediska mluvíme **Základové Neutralizační Kapacitě (ZNK)**. Obsah hydrogenuhličitanů stanovujeme jako alkalitu vody, která je definována jako schopnost vody neutralizovat kyselou reagující látku. Označuje se jako **Kyselínová Neutralizační Kapacita vody (KNK)**. – viz část. acido-basické rovnováhy a pH.



Obr. 25. Distribuční diagram uhličitanového systému.

Obsah rozpuštěného oxidu uhličitého významně ovlivňuje reakci pH a ústojné vlastnosti vody. V oblasti pH 6,35 – 10,33 má voda tzv. ústojné vlastnosti. Dobře, v tomto rozmezí, vyrovnává výkyvy a vytváří relativně stále prostředí. Při pH 6,35 je rovnovážná koncentrace H_2CO_3 a HCO_3^- ; při pH 10,33 je rovnovážná koncentrace HCO_3^- a CO_3^{2-} . Maximální koncentrace hydrogenuhličitanů HCO_3^- je při pH 8,3. Pro všechny trofické skupiny organismů je důležitá tzv. biodostupná (rozpustná) forma oxidu uhličitého tj. ve formě hydrogenuhličitanů. Avšak všechny fotoautotrofní organismy přijímají CO_2 v molekulární formě (u sinic a natantích rostlin i ze vzduchu, některé emergentní rostliny ze sedimentu). Z toho vyplývá, že optimální oblast pH pro život vodních organismů je v rozmezí 6,35 – 10,33.



Obr.26. Základní schéma koloběhu forem uhlíku ve vodním tělese

Koloběh a význam organického uhlíku bude objasněn v části věnované organické hmotě.

Dusík (N) a jeho formy

Velmi významným plynem rozpouštějícím se ve vodě je dusík N_2 . Je to nejčastější plyn v atmosféře, kde tvoří 78 objemových %, a je řazen mezi makrobiogenní prvky. Tento prvek je však nutný pojímat komplexně jako součást **koloběhu dusíku**, nezbytnou a jedinečnou součástí a živinou všech živých systémů (aminokyseliny - NH_2 můstky v bílkovinách) a mnohých dalších organických látek (aminy, azidy aj.). Dusík a jeho sloučeniny musí rozdělit na dvě velké skupiny – **anorganický dusík** a **organický dusík**.

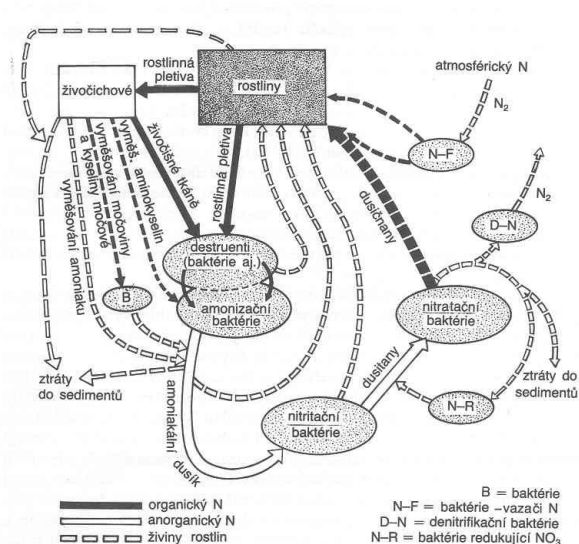
Anorganický dusík se vyskytuje v různých oxidačních stavech viz. Tab. 8.

Tab. 8. Příklady anorganických sloučenin dusíku při různých oxidačních stavech

oxidační číslo dusíku	chemický vzorec	název
-III	NH_3	amoniak
-II	N_2H_4	hydrazin
-I	NH_2OH	hydroxylamin
0	N_2	dusík
I	N_2O	oxid dusný
II	NO	oxid dusnatý
III	N_2O_3	oxid dusitý
IV	NO_2	oxid dusičitý
V	HNO_3	kyselina dusičná

V molekulární formě N_2 (inertní formě) a jako plyn, je dobře rozpustný ve vodě v závislosti na teplotě, atmosférickém a hydrostatickém tlaku. Absorpční koeficient N_2 ve vodě při 20 °C je 1/65, v litru vody je 7,6 mg rozpuštěného dusíku.

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů



Obr. 27 Koloběh dusíku v biosféře a vodním prostředí

Pro organismy jsou důležité oxidační formy dusíku – dusitany (nitrity) NO_2^{-1} , dusičnany (nitráty) NO_3^{-1} a bezkyslíkatá forma – amoniak NH_3 a amonný iont NH_4^+ .

Oxidační formy, fakticky soli silné kyseliny dusičné, vznikají v biosféře především biochemickou činností mikroorganismů. Tento proces se nazývá **nitrifikace**, při které dochází k biochemické oxidaci v řadě amonný iont, dusitan (nitritace) až dusičnan (nitratice). Na tomto procesu se především podílejí zejména **beta a gama proteobakterie a archaea**. Procesy nazýváme i fixací dusíku a probíhají vždy v aerobním prostředí – při redox potenciálu vyšším než 20mV. Z proteobakterií jsou známy nitrifikační bakterie z rodů *Nitrosomonas* a *Nitrosococcus*, a dále pak evolučně jedinečná bakterie *Nitrospira*. Při této enzymatické oxidaci se uvolňuje energie. Tento proces vytváří vodíkové kationty, které okyselují půdu a vodu (snižují pH).

Amonný iont vzniká rozkladem organické hmoty (bílkovin) a biochemickou redukcí kyslíkatých forem (denitrifikace). **Denitrifikace** je proces, při se mění dusičnany (NO_3^-) na elementární dusík (N_2). Představuje opak k fixaci dusíku, elementární dusík se z prostředí odstraňuje. Denitrifikace jsou schopny nejen bakterie (zejména **pseudomonády**), ale i další kmene jako *Paracoccus denitrificans*, *Ralstonia eutropha*, *Rhodobacter sphaeroides*), ale i mnohá **halofilní a hypertermofilní archaea** a dokonce některé houby. Proces probíhá vždy v anaerobním prostředí – redox potenciál v minusové oblasti.

V anaerobním prostředí také probíhá proces **amonifikace**, při kterém dusík vázaný v organických látkách (např. v bílkovinách obsažených v tkáních organismů, exkrementech a v **aminokyselinách, kyselině močové, močovinně** obsažených v moči **živočichů**) je mineralizován chemotrofními bakteriemi na amoniak. Amonifikaci uskutečňují tzv.

Okomentoval(a): [H26]: Proteobakterie je jako skupina definována díky typické sekvenci v ribozomální RNA a je pojmenovaná po starořeckém bohu Proteovi, který uměl měnit svůj tvar, stejně jako existuje velké množství různě tvarovaných forem proteobakterií.

Okomentoval(a): [H27]: Archea je rozsáhlá skupina prokaryotických jednobuněčných organismů, nezávislých na ostatních doménách života (bakterie a eukaryota). Velikost buněk se u různých zástupců značně liší, obvykle se pohybuje od 0,1 do 15 mikrometrů. Od bakterií a eukaryot je odlišuje stavba jejich cytoplazmatické membrány, buněčné stěny, genom a některé metabolické pochody. Rozmnožují se binárním dělením. Hrají významnou roli v koloběhu prvků, zejména uhlíku, dusíku a síry.

Okomentoval(a): [H28]: Pseudomonas je rod gramnegativních bakterií ze skupiny Gammaproteobacteria. V přírodě jsou velice hojné a díky své přizpůsobivosti osídlují velmi rozmanitá stanoviště.

Okomentoval(a): [H29]: Aminokyseliny (i amoniak) vylučují bezobratlí, ryby a obojživelníci, kyselinu močovou pak bezobratlí plazi a ptáci a močovinu především savci.

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

amonizační bakterie, jež svými proteolytickými enzymy rozkládají bílkoviny na aminokyseliny, které jsou pak dále deaminovány až na plynný NH_3 , případně na iont NH_4^+ . V období maximální tvorby amoniaku k bakteriím přistupují aktinomycety. Na konci procesu se silně rozvíjejí houby.

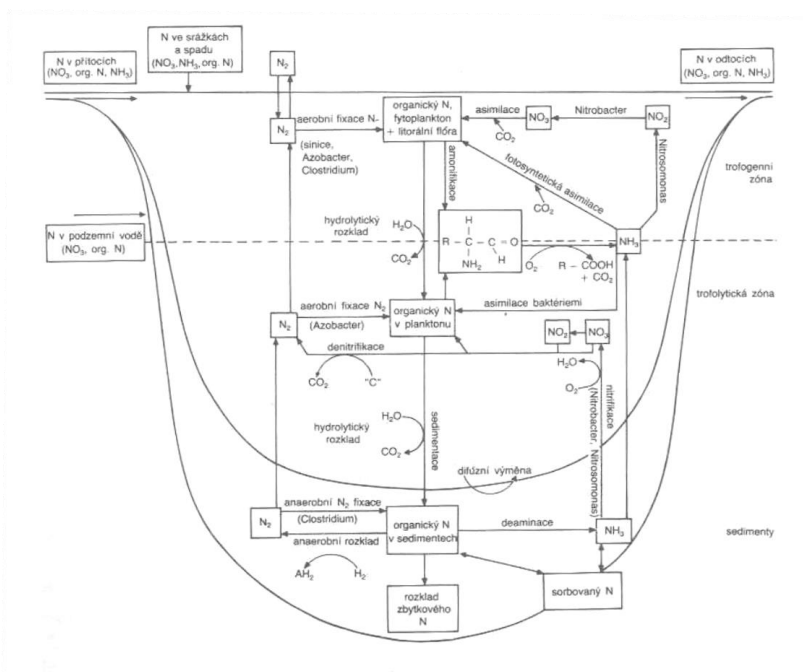
Všechny výše uvedené formy dusíků jsou přijímány **fotosyntetizujícími organizmy** s významnou podmínkou jejich rozpustnosti ve vodě. Nejlépe jsou tak přijímány dusičnany a amonný iont, který jsou schopny přijímat některé skupiny řas a i vyšších rostli (listovou plochou). Dusík v molekulární formě jsou schopny přijímat některé bakterie a sinice.

Biologická fixace dusíku, neboli **diazotrofie**, je schopnost některých prokaryotických organismů (bakterií a sinic) redukovat trojnou vazbu v molekule atmosférického dusíku a začlenit jej do organické sloučeniny (amoniaku). Tento proces probíhá enzymaticky, pomocí enzymu nitrogenázy, a za dodání energie (ATP). **Diazotrofní organismy** jsou klíčové v koloběhu dusíku v přírodě, protože umožňují fixaci atmosférického dusíku do organických sloučenin organismů.

Zdrojem dusíku pro vodní prostředí jsou **organické látky (hmota)** mikrobiálního, rostlinného a živočišného původu. Významným zdrojem je samozřejmě i rozpuštěný dusík v molekulární formě. Anorganické sloučeniny (horniny) jako zdroj jsou vzácné. Vzhledem k jejich rozpustnosti se téměř nevyskytují v běžných horninách. Všechny tyto látky byly v průběhu času dávno spláchnuty do oceánů a tam se opět zapojily do různých biologických cyklů. Výjimkou je např. dusičnan sodný NaNO_3 , který pravděpodobně vznikl rozkladem rostlinných a živočišných látek zejména v suchých oblastech kontinentů (chilské pobřeží).

Okomentoval(a): [H30]: Mikroorganismy aerobního rozkladu bílkovin jsou zástupci rodu *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Escherichia coli*, *Proteus vulgaris*. Mezi anaerobní degradátory proteinů patří zejména zástupci rodu *Clostridium*. Nejvyšší podíl na rozkladu močoviny mají *Proteus ureae*, *Bacillus pasteurii* a *Sporosarcina ureae*.

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů



Obr. 28 Koloběh dusíku a jeho forem v stratifikovaném vodním tělese.

Fosfor (P) a jeho formy

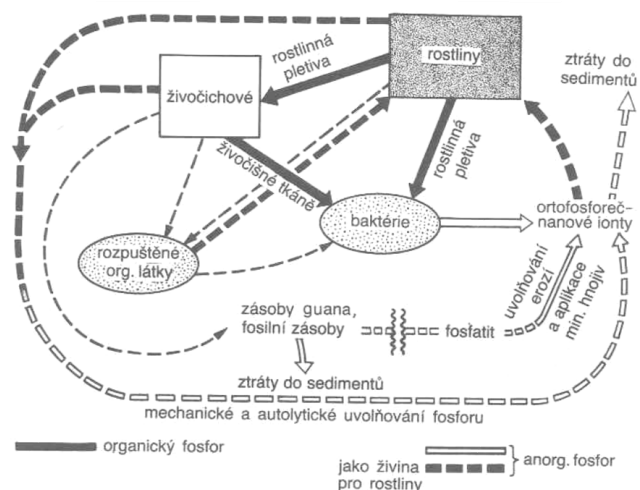
Dalším makro biogenním prvkem v biosféře Země je fosfor. Poměr důležitých biogenních prvků C:N:P v biomu a organismech je 600:20:1. Z pohledu Liebigova zákona minima je tak stává fosfor a jeho sloučeniny limitujícími pro život organismů. Základní koloběh fosforu je znázorněn na obr. 29.

Fosfor je nekovový prvek, vyskytující se v přírodě pouze ve formě sloučenin. V nich se běžně setkáváme s fosforem v mocenství P^{+5} , ale existují sloučeniny, v nichž se fosfor vyskytuje v mocenství P^{-3} (fosfidy a fosforitany), P^{+3} i P^{+4} . V zemské kůře se fosfor vyskytuje poměrně hojně, je celkově 11. prvkem v pořadí výskytu a jeho koncentrace se průměrně odhaduje na 1–1,2 g.kg⁻¹. V mořské vodě je jeho koncentrace velmi nízké, pouze kolem 0,07 mg.l⁻¹; v sladkovodních tělesech pak v jednotkách až max. desítkách μg.l⁻¹. Nejdůležitějším minerálem s obsahem fosforu je směsný fosforečnan vápenatý – apatit, jehož složení lze vyjádřit jako: Ca₅(PO₄)₃X (X = OH, F, Cl) a např. i fosforit Ca₃(PO₄)₂ a fluoroapatit Ca₅(PO₄)₃F.

Okomentoval(a): [H31]: Jedná se o jedno ze základních ekologických pravidel, které bylo formulováno už v roce 1840. Říká, že život a růst organismů je limitován tím prvkem, kterého je nedostatek (je v minimu). Pro růst fotoautotrofních organismů jsou nejdůležitějšími prvky N, P a K. Draslíku (K) potřebují jen velice málo a v půdě ho je většinou dostatek, dusíku (N) je skoro vždy dostatek. Limitujícím prvkem pro autotrofní organismy je tedy ve většině společenstev fosfor (P). Organismy ho potřebují poměrně velké množství a v půdě a ve vodě jsou zpravidla velmi nízké obsaženy.

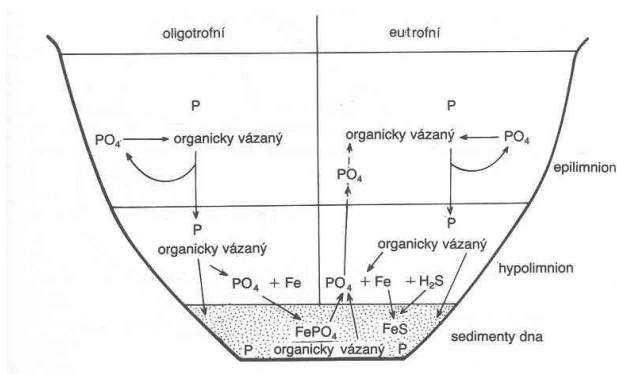
Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

Fosfor se vyskytuje především ve všech živých organizmech na Zemi, je uložen v kostech a zubech, a je velmi důležitou složkou organických molekul jako DNA a RNA, energetických přenašečů (ADP, ATP) a v buněčné membráně (fosfolipidech).



Obr. 29 Koloběh fosforu v bio-geosféře

Autotrofními organizmy (fotoautotrofní) je fosfor přijímán, v rozpustné formě (v iontovém roztoku) z vody ve formě **aniontu H_2PO_4** . Z toho vyplývá, že iontové formy – **dihydrogen fosforečnany**, jsou hlavním zdrojem a jejich koncentrace, ukládání a uvolňování ze sedimentů je nejdůležitějším procesem definujícím **úživnost (trofii) systému**. Chování fosforu ve vodním prostředí ovlivňuje redoxní – oxidační stav prostředí - viz obr. 30.



Obr. 30 Koloběh fosforu v stratifikovaném vodním tělese

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

V prostředí s dostatkem kyslíku (aerobní (oxický) stav, $E^\circ > 20$ mV, oligotrofní stav) fosforečnany v reaguji se všude přítomnými kationy železa za vzniku málo až nerozpustného **fosforečnanu železitého**. Ten se ukládá do sedimentu. Systém má tak možnost přebytečný fosfor, který není zapojen do biochemických procesů v organizmech ukládat, a tím nezvyšovat jeho koncentraci ve vodě.

V anaerobním prostředí ($E^\circ < -20$ mV, eutrofní prostředí) se všude přítomné kationty železa slučují přednostně se sírou (vyskytuje se reaktivní forma sulfan H_2S) a tím jsou z prostředí rychle a účinně odčerpávány. Volné anionty fosforečnanů pak zůstávají v roztoku a postupně a neustále navyšují koncentraci. Ve vodním tělese se tak zvyšuje dostupnost fosforu, **zvyšuje se úživnost – trofie**, za masivního rozvoje **euryekních foto syntetizujících organismů** (hlavně bakterie, sinice a řasy).

Chlor (Cl), ostatní halogeny a jejich formy

Chlor se ve vodě (i v geosféře) vyskytuje jen ve formě solí – chloridů a dalších. Zdrojem jsou minerály, nejznámější je **chlorid sodný** (NaCl) neboli kuchyňská sůl (minerál halit). V zemské kůře je chlor 20. nejrozšířenějším prvkem a je přítomen v koncentraci 200–1900 ppm ($mg \cdot kg^{-1}$). V mořské vodě tvoří chloridové ionty nejvíce zastoupený anion, jejich koncentrace se pohybuje kolem $19 g \cdot l^{-1}$. V kontinentálních vodních systémech jsou koncentrace v jednotkách až stovkách $mg \cdot l^{-1}$, s výjimkou slaných jezer a slanisek, kde koncentrace jsou i podstatně vyšší než v mořské vodě (až $330 g \cdot l^{-1}$).

Chlor je **mikrobiogenním** prvkem pro foto autotrofní organizmy. Přijímají ho v iontovém stavu z vodného roztoku. Pomáhá kompenzovat kladný náboj draslíku, spolu s vápníkem stabilizuje komplex rozkládající vodu v primární fázi fotosyntézy a u vyšších rostlin se spolu s draslíkem podílí biochemických procesech zajišťujících respiraci (otvírání a zavírání průduchů).

Chlorid sodný společně s rozpustnými hydrogenuhličitanu a sírany způsobují **salinitu** vody. Podle iontového složení dělíme biotopy na **thalassohalinní** – iontová skladba podobná mořské vodě a na **athalassohalinní** biotopy s odlišným iontovým složením (hypersalinií pouštní jezera a slaniska, kde kationty Mg a Ca převažují nad Na a K a anionty tvoří chloridy a bromidy). Na tento jev se organizmy přizpůsobily a tak známe **halotolerantní** (eureknií organizmy tolerující salinitu do určité meze) a **halofilní (halobiontní - halofyty)** organizmy - bakterie (např. *Halobacterium salinarum*), řasy (např. *Dulaniella*), kvetoucí rostliny (vocha mořská - *Zostera marina*) a různé bezobratlé (např. žábřonožka solná – *Artemia salina*, mouchy rodu *Ephydra* aj.).

Tab. 9 Podrobný systém halobii pro sinice a řasy

Halobie	Salinita ($mg \cdot l^{-1}$ NaCl)
Polyhalinní	>30000
Euryhalinní	250 - 30000
Halofilinní	≤ 250
Halotolerantní	10 - 200
Halofobní	≤ 10

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

Z hlediska afinity k množství rozpuštěných solí ve vodě – salinitě, rozlišujeme organizmy na **stenohalinní**, schopné života jen v určitém úzkém rozmezí salinity a **euryhalinní** s větší tolerancí (např. **anadromní** a **katadromní** ryby). Organizmy musí mít také vyvinuty mechanismy k vyrovnávání hustoty – mineralizace tělních tekutin a okolní vody. Organizmy **poikiloosmotické** jsou schopné vyrovnávat změny osmotickými změnami a složením tělních tekutin (např. slávka jedlá (*Mytilus edulis*), slávička mnohotvará (*Dreissena polymorpha*)), **homoioosmotické** organizmy jsou schopné udržovat a stabilizovat složení tělních tekutin i při změnách salinity (např. krab říční (*Eriocheir sinensis*)).

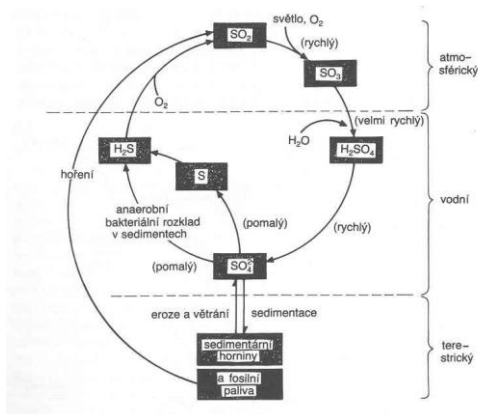
Ostatní halogeny se také vyskytují jen v solích. Největší význam mají bromidy a jodidy, které někdy považujeme za mikro biogenní sloučeniny. Na Zemi je **brom** přítomen pouze ve formě sloučenin, většina z nich je rozpuštěna v mořské vodě a ve vodě některých vnitrozemských slaných jezer (Mrtvé moře, Velké solné jezero). Mineralogicky doprovázejí sloučeniny bromu analogické sloučeniny chloru, ovšem pouze ve velmi nízkých koncentracích. **Jód** je v geosféře také zastoupen pouze ve formě sloučenin a většina z nich je rozpuštěna v mořské vodě. Je zde nejen jodid, ale i jodičnan. V zemské kůře je jod přítomen v koncentraci 0,1 až 0,5 ppm ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). V mořské vodě se vyskytuje většina jodu přítomného v geosféře, jeho koncentrace dosahuje průměrné hodnoty $0,06 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Jod patří mezi prvky nezbytné pro vývoj teplokrevných organizmů. Protože jod je přítomen v mořské vodě, jsou mořské organizmy kumulátorem a zdrojem jodu v dalších potravních řetězcích. Ve sladkovodních systémech jsou oba prvky zastoupeny v nano - mikrokoncentracích a jejich význam není doposud zcela prozkoumán.

Síra (S) a její formy

Síra patří mezi **makrobiogenní prvky**. Síra tvoří přibližně 0,03–0,09 % zemské kůry, v mořské vodě se její koncentrace pohybuje kolem $900 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Jako čistý prvek se vyskytuje především v oblastech s bohatou vulkanickou činností nebo v okolí horkých minerálních pramenů. Velmi významný je výskyt síry v různých rudách na bázi sulfidů. K nejznámějším patří sulfid zinečnatý – sfalerit, disulfid železnatý – pyrit, sulfid olovnatý – galenit, sulfid rtuťnatý – cinabarit (rumělka) a chalkopyrit – směsný sulfid mědi a železa. Nejznámějším minerálem na bázi síranů je **sádrovec – dihydrát síranu vápenatého**. Síra se ve značném množství vyskytuje i v horninách organického původu – v uhlí a ropě.

V atmosféře je síra přítomna ve formě svých oxidů, především siřičitého, ale i sírového. Zdrojem je spalování fosilních paliv s vysokým obsahem síry a vulkanická činnost, při které dochází k emisi velké množství oxidů síry.

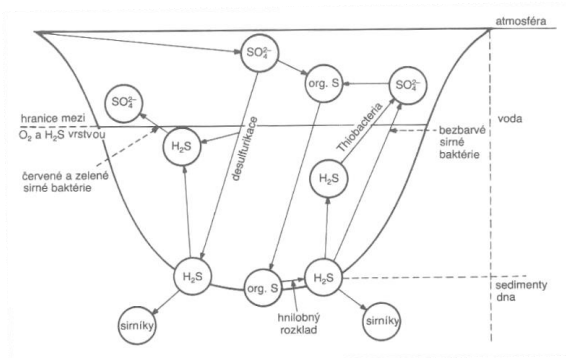
Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů



Obr. 31 Koloběh síry v bio - geosféře

Síra je podstatnou složkou organické hmoty. Vyskytuje se v bílkovinách jako aminokyselina **cystein** či **metionin**. Dále tvoří v proteinech Fe-S struktury, je součástí koenzymu A a různých vitamínů. Vyskytuje se v glutathionu, který dokáže inaktivovat různé toxiny. Glutathion je složkou fytochelatinů, které dokáží vyvazovat z půdy těžké kovy. Existují bakterie, které jako zdroj energie využívají sloučeniny síry namísto kyslíku (**sírné bakterie**).

Fotosyntetizující organismy mají relativně vysoké požadavky na síru. Přijímají ve vodném roztoku jako **síranový anion SO_4^{2-}** . Příjem síry je pro autotrofy energeticky náročný. Síra je po rostlině transportována buď ve formě SO_4^{2-} , nebo jako redukovaný (pro redukcii je třeba ATP a redukovaný ferredoxin) sulfid S^{2-} , nebo vázaný v aminokyselinách či sulfolipidech.



Obr. 32. Přeměna forem síry v eutrofním stratifikovaném vodním tělese

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

Na obr. 32 je uveden příklad proměn síry v typech prostředí s odlišným kyslíkovým režimem – redox potenciálem vody. V aerobní zóně se síra vyskytuje ve formě rozpustných síranů a inkorporovaná v biochemických procesech. V anaerobní zóně dochází k rychlé biochemické redukci síranů na reaktivní sulfan za účasti **anaerobních sírných bakterií**. Nejdůležitější rody jsou *Desulfovibrio*, *Desulfobacter*. Užívají síru nebo sírany jako koncové akceptory elektronů v anoxických podmínkách (**anaerobní respirace**). Sulfan naopak biochemicky oxidují zpět až na sírany **bezbarvé sírné bakterie** (*Beggiatoa*, *Thiobacillus*), a zelené (Chlorobi) a červené **foto syntetizující sírné bakterie** (např. Rhodospirillales, Rhizobiales).

Křemík (Si) a jeho formy

Křemík Si poměrně tvrdý polokov s vysokou afinitou ke kyslíku. Elementární křemík je na vzduchu neomezeně stálý, v přírodě se s ním však setkáváme prakticky pouze ve formě sloučenin, v nichž se vyskytuje v mocenství Si^{+4} . Je po kyslíku druhým nejvíce zastoupeným prvkem v zemské kůře, tvoří 26 – 28 % zemské kůry. Ve vodě se vyskytuje v partikulované a koloidní formě (nedostupný pro organizmy) a rozpuštěný v biodostupné formě. V mořské vodě jsou jeho koncentrace poměrně nízké, kolem 3 mg $Si.l^{-1}$. Ve sladkovodních systémech jsou koncentrace vyšší: od 10 – 13 mg $Si.l^{-1}$ v řekách, až do 60 mg $Si.l^{-1}$ v jezerech.

Z biologického hlediska patří křemík mezi **biogenní prvky**. Mimořádně důležitý je křemík pro rozsivky (Bacillariophyta), jeho sloučeniny tvoří hlavní složku jejich schráněk, tzv. frustul. Rozsivky jsou významnými primárními producenty biomasy, jejich biomasa tvoří 25% z celkového množství produkovaného autotrofními organizmy v biomu Země. Křemičité schránky cyst dále tvoří některé druhy bičíkatých zlativek - chryzomonád (Chrysophyceae) a u houbovců (Porifera) pak tvoří křemík podstatnou část jehlic.

Vápník, hořčík, draslík, sodík

Vápník (Ca) je nejvýznamnější prvek z řady kovů alkalických zemin, lehký, velmi reaktivní kov. Díky své velké reaktivitě se vápník v přírodě vyskytuje pouze ve sloučeninách. Ve všech má mocenství Ca^{+2} . Vápník tvoří 3,4 – 4,2 % zemské kůry a je pátým nejčastějším prvkem a třetím nejzastoupenějším kovem, za železem a před hořčíkem. V mořské vodě je jeho koncentrace pouze 0,4 g $Ca.l^{-1}$ v poměru 4:1 až 2:1 k hořčíku. Ve sladkých vodách se pohybuje koncentrace řádově od jednotek do několika desítek mg l^{-1} . Koloběh vápníku úzce souvisí s koloběhem uhlíku – oxidu uhličitého a ústojným systémem ve vodním prostředí (viz. Obr. 26)

Vápník jeden z důležitých **biogenních prvků** a je jedním ze základních stavebních kamenů buněk všech živých organizmů. Je nedílnou součástí vnějších a vnitřních schráněk, a koster organizmů (např. korálnatců, houbovců, koryšů, měkkýšů a členovců) a oporných systémů rostlin. V tělech obratlovců je základní součástí kostí a zubů, nachází se i ve svalech, krvi a dalších tělesných tkáních.

Hořčík (Mg)

Díky své poměrně velké reaktivitě se v přírodě hořčík vyskytuje pouze ve sloučeninách. Ve všech má mocenství Mg^{2+} . Hořčík je silně zastoupen v zemské kůře, kde

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

tvorí 1,9–2,5 %. Jeho procentuální obsah odpovídá 27 640 ppm (2,764 %) a ve výskytu se řadí za vápník a před sodík a draslík. Zdrojem hořčíku jsou horniny zejména dolomit (směsný uhličitán hořečnatý-vápenatý $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) a magnezit (MgCO_3). V mořské vodě se koncentrace hořčíkových kationtů udává jako $1,35 \text{ g.l}^{-1}$ a jsou tak po sodíku druhým nejvíce zastoupeným kationtem. Ve sladkých vodách jsou koncentrace v jednotkách až desítkách mg.l^{-1} . Voda (zvláště mořská) obsahuje zejména chlorid hořečnatý MgCl_2 , bromid hořečnatý MgBr_2 a síran hořečnatý MgSO_4 . Koloběh hořčíku v geosféře souvisí s koloběhem vápníku a s koloběhem oxidu uhličitého.

Hořčík je velmi významným biogenním prvkem. Je nezbytný prvek pro všechny buňky živých systémů, kde se podílí na přenosu fosforu v energetickém systému adenosintrifosfát – adenosindifosfát. Dále má nezastupitelnou roli ve všech fotoautotrofních organizmech, kde je součástí chlorofylu. Může se tak za určitých okolností stát limitujícím prvkem pro rozvoj oživení vodních těles.

Draslík (K) a sodík (Na)

Draslík a sodík jsou velmi reaktivní alkalické kovy, které se v přírodě vyskytují výhradně ve sloučeninách – solích. **Draslík (K)** je bohatě zastoupen na Zemi. Zemská kůra obsahuje 2,0 – 2,4 % draslíku. Zdrojem jsou minerály obsažené v zemské kůře, jako jsou sylvin (KCl) a ledek draselný (KNO_3) a mnoho dalších. Průměrný obsah v mořské vodě činí přibližně 380 mg/l . Vysoké koncentrace nalézáme také téměř ve všech podzemních minerálních vodách. V povrchových vodách jsou koncentrace od desetin po jednotky mg.l^{-1} .

Sodík (Na) ze zemská kůra obsahuje 2,4 – 2,6 % sodíku, čímž se řadí na 5. místo ve výskytu prvků na zemi. Zdroje sodíku jsou minerály, obsažené v zemské kůře - nejznámější halit (sůl kamenná - původ ve vyschlých jezerech a mořích minulých geologických období), dusičnan sodný NaNO_3 (ledek) a mnoho dalších. Mořská voda obsahuje sodík jako hlavní kation v koncentraci přibližně $10,5 \text{ g Na.l}^{-1}$. V povrchových vodách dosahuje sodík koncentrací desetin až desítky mg.l^{-1} , v pozemních vodách jsou koncentrace vyšší, zvláště v minerálních vodách, kde mohou být koncentrace až stovky mg.l^{-1} . Ve vodách je vždy vyšší koncentrace sodíku než draslíku. Při nízké koncentraci sodíku převažují ve vodě kationty hořčíku a vápníku. V přírodních vodách s vysokým obsahem kationtů sodíku převládá naopak sodík nad kationty hořčíku a vápníku. Tyto výměny ovlivňují biogenní koloběh hořčíku, vápníku a ústojné vlastnosti vody.

Draslík spolu se sodíkem patří mezi biogenní prvky a poměr jejich koncentrací v buněčných tekutinách je významným faktorem pro biochemické procesy, řízení buněčné osmózy a dalších procesů. Sodík je biochemicky nezastupitelný a vysoce aktivní. Spoluúčinkuje s chloridem a bikarbonátem při udržování acidobazické rovnováhy. Zajišťuje optimální chemické prostředí pro správnou funkci buněčných membrán a dalších buněčných struktur. Důležitou rolí je udržování osmotického tlaku tělních tekutin. Účastní se transportu celé řady látek dovnitř buněk. V odborné terminologii se tento jev označuje jako sodíková pumpa. Díky tomuto mechanismu jsou možné také přenosy nervových vzruchů.

Hliník, železo, mangan,

Hliník se, díky své velké reaktivitě, v přírodě vyskytuje pouze ve sloučeninách. Hliník je třetím nejvíce zastoupeným prvkem v geosféře, tvoří 7,5–8,3 % zemské kůry. Nejběžnější horninou na bázi hliníku je bauxit, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$. Dalším významným minerálem je kryolit, hexafluorohlinitan sodný Na_3AlF_6 .

V mořské vodě je jeho koncentrace velmi nízká, pouze $0,01 \text{ mg Al.l}^{-1}$ v povrchových vodách se koncentrace pohybují v rozmezí setin až desetin mg.l^{-1} . Výjimkou jsou kyselé vody ze sulfidických rud a břidlic, kde koncentrace mohou dosahovat až přes 300 mg.l^{-1} . Stejná situace nastává v antropogenně acidifikovaných vodních tělesech.

Hliník je **amfoterní prvek**, který je rozpustný v silně kyselých ($\text{pH} < 6$) nebo silně alkalických ($\text{pH} > 8,5$) podmínkách, ale je nerozpustný při pH neutrálním. Minimální rozpustnosti hliníku je dosaženo v rozmezí pH asi od 6 do 7. V přírodních vodách se hliník vyskytuje ve velkém množství různých anorganických sloučenin. Nejčastěji se vyskytují hydroxokomplexy. Tvorba anorganických komplexů hliníku probíhá v kyselém prostředí, mohou se formovat i smíšené komplexy s různými ligandy, např. $[\text{Al}_3\text{OH}(\text{PO}_4)_2]^{2+}$. V kyselé vodě převládají zejména monomerní anorganické sloučeniny hliníku, nejvíce komplexy s fluoridy a sírany, ale také se objevuje volný hydratovaný ion Al^{3+} , a to zejména při vysoké koncentraci hliníku a nižší koncentraci ligandů a při poklesu pH vody pod hodnotu 4,5. V alkalickém prostředí dochází k transformaci všech komplexů hliníku na hydroxokomplexy, které jsou ve většině případů dominující formou i v neutrální oblasti pH . Ve vhodných podmínkách vznikají také komplexy s křemíkem a ve velmi malém množství i sloučeniny s uhlíčitany. Na rozdíl od jiných kovů hliník nikdy netvoří komplexy s chloridy, dusičnany a hydrogenuhličitany.

Hliník se prakticky nevyskytuje v žádné živé tkáni, ať již rostlinné nebo živočišné, navzdory jeho značnému zastoupení v zemské kůře. Významná je však jeho toxicita pro vodní organismy a silné inhibiční působení na bakterie, sinice a řasy (bakterio a fytotoxicita).

Železo patří mezi prvky s velmi významným zastoupením na Zemi. V zemské kůře činí průměrný obsah železa 4,7 – 6,2 %, čímž se řadí na 4. místo podle výskytu prvků (před ním je jen kyslík, křemík a hliník). V přírodě se železo vyskytuje ve formě sloučenin v rudách. Nejčastěji se vyskytuje ve formě oxidů a uhlíčanů. Nejznámější jsou hematit (krevel) Fe_2O_3 , magnetit (magnetovec) Fe_3O_4 , limonit (hnědel) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x \text{H}_2\text{O}$, ilmenit FeTiO_3 nebo siderit (ocelek) FeCO_3 a sulfidický pyrit FeS_2 .

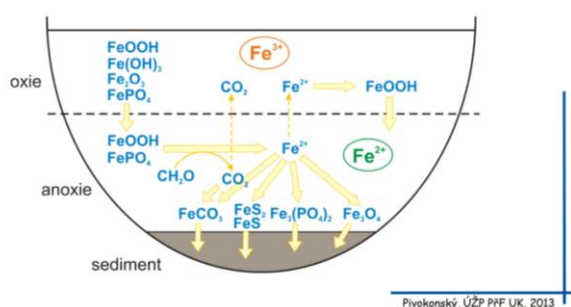
V mořské vodě se jeho koncentrace pohybuje pouze na úrovni $0,01 \text{ mg.l}^{-1}$. V přírodních kontinentálních vodách se koncentrace železa pohybují v rozmezí setin až desetin mg.l^{-1} . Většina povrchových vod obsahuje méně než $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$ s výjimkou vod dystrofních vod (rašeliniště). Tyto kyselé vody mohou obsahovat až několik jednotek mg.l^{-1} , stejně tak jak některé podzemní minerální vody (železité kyselky).

Ve vodním prostředí se **iont železa** vyskytuje v dvojmocné a trojmocné podobě, která závisí na oxidačně redukčních procesech, pH a obsahu organických a anorganických komplexotvorných sloučenin. V anoxickém a anaerobním prostředí, např. v podzemních

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

vodách nebo u dna nádrží, se vyskytuje železo v **dvojmocné formě**, a to jako Fe^{2+} , $[\text{FeOH}]^+$, $[\text{Fe}(\text{OH})_3]^-$. Ve vodách s vysokým obsahem síranů a hydrogenuhličitanů tvoří komplexy $[\text{FeSO}_4(\text{aq})]^0$, $[\text{FeCO}_3(\text{aq})]^0$, $[\text{FeHCO}_3]^+$. V aerobním prostředí se jako nejstabilnější forma vyskytuje **trojmocné železo**, jehož příkladem je Fe^{3+} , $[\text{FeOH}]^{2+}$, $[\text{Fe}(\text{OH})_2]^+$, $[\text{Fe}(\text{OH})_4]^-$. V přítomnosti vyšších koncentrací síranů a v kyselém prostředí tvoří $[\text{FeSO}_4]^+$, $[\text{Fe}(\text{SO}_4)_2]^-$, $[\text{FeHSO}_4]^{2+}$; v kyselých vodách s vysokou koncentrací chloridů se tvoří $[\text{FeCl}]^{2+}$, $[\text{FeCl}_2]^+$; za přítomnosti fosforečnanů se tvoří hydrogen- a dihydrogenfosforečnany železa. V závislosti na aerobních či anaerobních poměrech se vylučuje dvojmocná rozpustná či trojmocná nerozpustná forma železa.

Koloběh železa úzce souvisí s koloběhem fosforu (viz koloběh fosforu), trojmocné železo je vázáno fosforečnany na nerozpustnou formu. Při úplném vysrážení železa v podobě fosforečnanu železitého dochází k limitaci organismů fosforem. Železo se uvolňuje z organických sloučenin rozkladnými procesy za působení amonizačních či proteolytických bakterií. V aerobních podmínkách od koncentrace $0,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ se vylučuje železo ve formě hydratovaného oxidu a způsobuje rezavý zákal.



Obr.33 Koloběh forem železa v stratifikovaném vodním tělese.

Železo považujeme za **mikrobiogenní (esenciální) prvek**. V živých soustavách tvoří významnou součást enzymatických procesů, u řas se např. podílí na funkční struktuře molekuly nitrogenázy. Spolu s rozpuštěným železem se ve vodách vyskytuje i mangan (viz koloběh manganu), bakterie zodpovídající za oxidaci železa většinou provádí i oxidaci manganu. Železitě bakterie rodů *Leptothrix*, *Gallionella* a *Crenothrix* tvoří schránky s vysráženým železem, oxidují dvojmocné železo na trojmocný hydroxid železa. Železo do určité koncentrace je nezbytnou součástí biochemických procesů v buňce, především fotoautotrofních organismů a bez jeho přítomnosti nemůže probíhat asimilace a růst. Při vyšších koncentracích a určité formě, např. síran železitý (zelená skalice), má výrazné inhibiční až toxické (baktericidní) účinky na mikroorganismy – bakterie, sinice a řasy.

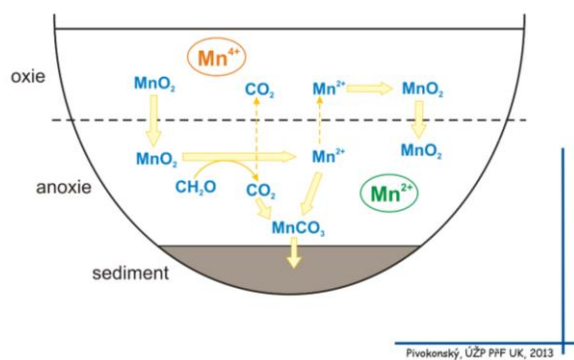
Mangan je velmi častým prvkem v zemské kůře, průměrný jeho obsah je $0,9\text{--}1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, což odpovídá $0,1\%$. V geosféře se mangan vyskytuje prakticky vždy současně s rudami železa. Hlavním zdrojem manganu je minerál pyroluzit (burel) MnO_2 , další nerosty jako hausmannit Mn_3O_4 , braunit Mn_2O_3 , manganit $\text{MnO}(\text{OH})$ a rhodochrozit neboli dialogit MnCO_3 a další.

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

V přírodě se vyskytuje nejčastěji v dvojmocné, trojmocné a čtyřmocné formě.

V případě minimální koncentrace rozpuštěného kyslíku se vyskytuje v **dvojmocné formě** jako Mn^{2+} , $[\text{MnOH}]^+$, $[\text{Mn}(\text{OH})_3]$, $[\text{MnSO}_4(\text{aq})]^0$, $[\text{MnHCO}_3]^+$; při vysokých koncentracích chloridů a v kyselém prostředí jako $[\text{MnCl}]^+$, $[\text{MnCl}_2]^0$, $[\text{MnCl}_3]^+$; v hydrogenuhličitanových a síranových vodách tvoří iontové asociáty $[\text{MnSO}_4]^0$, $[\text{MnHCO}_3]^+$ zastoupené až 50 % z celkového množství rozpuštěného manganu. Obecně je množství rozpuštěného manganu dáno rozpustností hydroxidů, uhličitanů a sulfidů. V alkalickém prostředí rychle oxiduje a hydrolyzuje, vylučuje se jako již méně rozpustná forma v oxidačním stupni III a IV. V přírodě dochází nejen k chemické oxidaci manganu, ale i k biochemické oxidaci **manganovými bakteriemi** (v neutrálním prostředí probíhá biochemická oxidace za tvorby bakteriální biomasy).

V mořské vodě se jeho koncentrace pohybuje na úrovni 2 mg.l^{-1} . V povrchových vodách doprovází mangan železo a to maximálních koncentracích do 20 mg.l^{-1} , zpravidla však pod 1 mg.l^{-1} .



Obr. 34. Koloběh manganu v stratifikovaném vodním tělese.

Mangan je pro živé organismy **mikrobiogenním (esenciálním) prvkem**, v nadměrném množství je ale toxický. Mangan je důležitý pro **manganové bakterie**. Lze rozdělit na **autotrofní, fakultativně litotrofní a organotrofní bakterie**. Do první skupiny patří rody *Leptothrix* (*L. ochracea*, *L. trichogenes*, *L. discophora*, *L. echinata*), *Crenothrix* (*Cr. polyspora*), *Clonothrix* (*Cl. fusca*), *Gallionella* (*G. ferruginea*, *G. major*, *G. minor*), *Siderococcus*, mezi organotrofní bakterie využívající mangan patří *Siderocapsa* (*S. major*, *S. treubii*), *Leptothrix* (*L. major*), *Crenothrix* (*Cr. tenuis*). Tyto bakterie mají velký význam v koloběhu manganu ve vodním prostředí a jeho deponování do sedimentu. U obratlovců je mangan důležitým prvkem krvetvorby, je součástí metabolismu cholesterolu, podílí se i na správném vývoji pojivových tkání.

Ostatní stopové prvky

Měď a zinek považujeme za biogenní prvky. V přírodě se vzácně vyskytují jako kovy ale převážně ve sloučeninách - rudách. Obsah **mědi (Cu)** v geosféře činí $55 - 70 \text{ mg.kg}^{-1}$. V

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

mořské vodě jsou koncentrace kolem $3 \mu\text{g.l}^{-1}$. V povrchových vodách jsou koncentrace podobné.

Měď je centrálním kovem organokovové sloučeniny **hemocyaninu**, což je krevní barvivo některých skupin měkkýšů a koryšů (rakovců). U vyšších organismů se vyskytuje v řadě enzymatických cyklů ovlivňujícího metabolismus sacharidů, ovlivňujícího vytváření kostní hmoty a krvetvorbu a fungování nervového systému. Pro bakterie až řasy má měď, zvláště ve formě rozpustného síranu měďnatého, inhibiční až toxický účinek.

Zinek (Zn) je zemské kůře bohatě zastoupen. Průměrný obsah činí kolem 100 mg.kg^{-1} , čemuž odpovídá 76 ppm. V mořské vodě je jeho koncentrace kolem $1 \mu\text{g.l}^{-1}$, povrchových vodách pak $5 - 200 \mu\text{g.l}^{-1}$. V přírodě se vyskytuje ve formě rud – nejhojnější je sfalerit ZnS .

Přítomnost zinku v organismu je nezbytnou podmínkou pro správné fungování řady enzymatických systémů. U fotoautotrofních organismů je zinek přijímán z roztoku pomocí fyto-metaloforů. Jeho nedostatek způsobuje odumírání vzrostných vrcholů, nadbytek chlorózu. U vyšších organismů (savců) je prokázán jeho zásadní vliv na inzulínový systém a vývoj nervové a pohlavní soustavy během dospívání. Pro bakterie až řasy má zinek ve formě rozpustného síranu, inhibiční až toxický účinek.

Bór (B) se (v polokovové formě) v přírodě prakticky nevyskytuje, vyskytuje se pouze ve sloučeninách. Sloučeniny boru jsou obsaženy i v mořské vodě (v koncentraci přibližně 5 mg.l^{-1}) a v povrchových vodách se vyskytuje v desetinách až jednotkách mikrogramů na litr, v některých minerálních pramenech jsou koncentrace podstatně vyšší až 40 mg.l^{-1} (Vincentka). Kyselina boritá je obvykle přítomna v sopečných plynech.

Pro fotoautotrofní organismy je bor **mikrobiogenním prvkem**. Je přijímán z vody jako elektroneutrální kyselina boritá (H_3BO_3). Bor se váže na *cis*-hydroxylové (diolové) skupiny pektinu rhamnogalakturonanu II, což je polysacharid důležitý pro stavbu buněčné stěny rostlin. Ovlivňuje vlastnosti buněčné stěny a především její pružnost a s tím související schopnosti růstu. Živočiškové zpravidla nedostatkem boru netrpí, ale i u nich hraje důležitou roli v řadě fyziologických procesů. Při nedostatku boru dochází u obratlovců k poruchám ve vývoji kostí, metabolismu minerálních látek, vývoji mozku, funkci imunitního systému či uvolňování inzulínu

Ostatní **mikrobiogenní prvky** jsou např. **Co, Sn, Pb, Ni, Mo, As, V, Ti, Ge, Cd, Li, Ba** a další prvky tzv. III. řádu. V přírodních vodách se zpravidla vyskytují ve velmi nízkých koncentracích v řadu max. jednotek $\mu\text{g.l}^{-1}$. Řadíme sem především těžké kovy, které mají katalytické účinky a jsou nenahraditelné pro řadu biochemických (enzymatických) dějů v organismech. Působí v stopových množstvích, zpravidla setiny až jednotky $\mu\text{g.l}^{-1}$. Ve větších množstvích jsou často pro organismy toxické. Tyto prvky mají také velký význam pro výživu autotrofních organismů. Fotoautotrofové je přijímají ve formě jednoduchých anorganických sloučenin. Vyšší organismy tyto prvky obvykle potřebují ve formě organických sloučenin.

pH vody, neutralizační a tlumivá kapacita

pH silně ovlivňuje chemické a biochemické procesy v přírodních vodách. Má zásadní vliv na tzv. **speciaci kovů**, na transformaci a rozklad různých forem anorganických a organických látek. pH přírodních vod je determinováno horninovým a půdním prostředím, atmosférickými srážkami a vegetačním krytem v prostoru povrchového odtoku a také dalšími

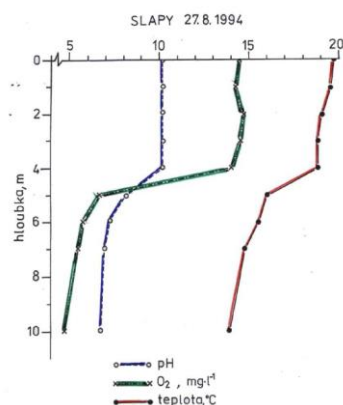
Okomentoval(a): [H32]: Hodnota pH je definována jako záporně vzatý dekadický logaritmus aktivity oxoniových kationtů. Ve vodném roztoku je vždy kromě molekul H_2O také určité množství oxoniových kationtů H_3O^+ (přesněji $[\text{H}(\text{H}_2\text{O})_4]^+$) a hydroxylových aniontů OH^- . Součin koncentrací obou těchto iontů je ve vodných roztocích za konstantních podmínek vždy konstantní, je označován jako **iontový součin vody** a pro standardní podmínky nabývá hodnoty 10^{-14} . V čisté vodě je látková koncentrace obou iontů stejná: 10^{-7} . To odpovídá $\text{pH} = 7$. Kyselost vzniká přebytkem H_3O^+ . Zvýšení jejich koncentrace na stonásobek, tedy 10^{-5} , odpovídá $\text{pH} = 5$. Zásaditost je přebytek hydroxylových iontů na úkor oxoniových. Je-li v roztoku např. 1000× více OH^- než ve vodě, klesne koncentrace iontů H_3O^+ na 10^{-10} , což odpovídá $\text{pH} = 10$.

Okomentoval(a): [H33]: Speciaci se rozumí přeměna daného druhu (specie) chemické sloučeniny prvku na jinou definovanou chemickou specii v systému.

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

vstupy látek do vodního tělesa. pH vody v přírodních vodních tělesech se pohybuje v rozmezí ústojného systému řízeného formami oxidu uhličitého (viz. uhlík a CO_2) tj. od 6,35 do 10,33. Reálně a nejčastější je však v rozmezí 4,5 – 10,5. pH vody a $\text{KNK}_{4,5}$ může být snižováno hydrolyzou kationtů kovů, oxidací železa a manganu, oxidací sulfidů, procesem nitrifikace, vylučováním uhličitánů, adsorpcí kationtů na hydratovaných oxidech a hlinitokřemičitanech, respirací organismů a metanogenzí. Naopak hodnoty pH a $\text{KNK}_{4,5}$ zvyšují procesy jako redukce železa a manganu, redukce síranů, hydrolyza hlinitokřemičitanů, adsorpce aniontů na hydratovaných oxidech a hlinitokřemičitanech, denitrifikace a asimilace (fotosyntéza) organismů.

V přírodních vodách pH příliš nekolísá až na výjimku způsobenou asimilační a disimilační činností autotrofních organismů. V euforické vrstvě vodního tělesa, když probíhá maximální fotosyntetická aktivita, může pH vystoupat až nad hodnotu 10. To je způsobeno odčerpáním skoro veškerého biodostupného oxidu uhličitého a přebytkem rozpuštěného kyslíku. Nad ránem – respirací – je pak často ve vysoce eutrofních nádržích vyčerpán veškerý rozpuštěný kyslík a pH se vrací k hodnotám pod 8. pH ve vodě se tak stratifikuje v souběhu s křivkou rozpuštěného kyslíku ve vodě.



Obr. 35. Stratifikace hodnot pH v korelaci s množstvím rozpuštěného kyslíku.

Snížená hodnota pH může být také způsobena přítomností **huminových** a **fulvo kyselin**. Tyto vody se nazývají **dystrofní**, mají pH až 4,5 a typické hnědé zbarvení. Jsou to vody v rašelinných oblastech. Specifickým jevem v dystrofních vodách je snížení biodostupnosti fosforu, který se váže na huminové kyseliny, nebo vytváří velké molekuly polyfosforečnanů. V kyselých vodách tak nastává významná limitace produkce společenstva bakterií, hydromycet a autotrofních organismů. Většina těchto organismů má optimum v rozmezí pH 6,5 – 9,5 s výjimkami na obě strany. Hodnoty pH pod 5 však působí již inhibičně a nižší hodnoty jsou i letální. Tento jev se týká především planktonních organismů. K tomu se ještě přidává fakt, že fosfor vázaný v mrtvé organické hmotě se díky snížené aktivitě destruentů uvolňuje velmi pomalu a může být v této nedostupné formě velmi dlouho deponován v sedimentech.

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

Organizmy podle schopnosti tolerance pH lze rozdělit na dvě skupiny:

- **Acidosenzitivní organizmy**, které můžeme charakterizovat vápenitými vnějšími schránkami a kostrou, vnějšími žábry, nechráněnými vývojovými stádii; zpravidla se jedná permanentní organizmy, tj. organizmy celým svým životem vázané na vodní prostředí. Příkladem jsou např. vodní plži (Lymneidae) a mlži (Unionidae), vodní korýši (Decapoda - Astacidae, Amphipoda - Gammaridae, Copepoda, Cladocera aj.), máloštětinaci aj.
- **Acidotolerantní organizmy** jsou typické dýcháním celým povrchem těla, plastronovým dýcháním nebo dýcháním přímo vzdušného kyslíku. Jde zpravidla o temporální organizmy, tj. organizmy s vodními vývojovými stádii a suchozemskými dospělci. Příkladem jsou larvy vážek (Odonata), larvy a dospělci vodních brouků (Coleoptera - Dytiscidae aj.), larvy komárů (Diptera - Culicidae) a pakomárů (Diptera - Chironomidae).

Ryby horních úseků řek – z pruhového pásma - budou v přirozeně kyselých vodách do jisté míry acidotolerantní. Patří sem pstruh duhový (*Oncorhynchus mykiss*) a především siven americký (*Salvelinus fontinalis*). Oba druhy jsou typické pro kyselou vodu Apalačského pohoří v Severní Americe (pramenné oblasti v silně kyselých horninách). Naše původní druhy jako je pstruh potoční (*Salmo trutta m. fario*) a vranky (*Cottus gobio* a *C. poecilopus*) mají sníženou acidotoleranci, jejich výskyt a rozmnožování je znám do hranice pH 5,5. Z jezerních ryb je acidotolerantní původní evropský druh siven arktický (*Salvelinus alpinus*, do pH 5,0) a ze zatím neznámých důvodů i okoun říční (*Perca fluviatilis*) a štika obecná (*Esox lucius*). U té je známa acidotolerance až do hodnoty pH 4,5 a u některých populací i nižší.

Citlivost organismů je výrazně druhově a populačně závislá, tzn., že stejný druh může mít zcela jinou toleranci vůči nízkým hodnotám pH v různých regionech. Z literatury je známo, že organizmy stejného druhu žijící v přirozeně kyselých oblastech mají i vyšší toleranci vůči nižším hodnotám pH než organizmy žijící trvale v např. ve vápencových oblastech.

V dystrofních vodách žije relativně druhově chudé společenstvo **acidotrofních a acidobiontních** organismů. Typické jsou některé druhy sinic (*Synechococcus aeruginosus*), chrysomonády (např. *Synura sphagnicola*), bičíkovci (*Phacus sphaericus*), velmi častý je výskyt rašeliníku (*Sphagnum* ssp.) a z bezobratlých pak někteří zástupci vodních ploštic (*Notonecta reuteri*), vážky, vodní brouci, larvy dvoukřídlých. Vyskytují se někteří specialisté ze skupiny krytenek (Testacea), vířníků - točivek (Monogononta - např. *Brachionus sericus*) a ve vodách s pH kolem 5,5 pak zástupci perlooček (Cladocera - např. *Streblocerus serricaudatus*) a buchanek (Copepoda - např. *Diacyclops nanus*). V dystrofních rybnících a jezerech s vodou s velmi nízkými obsahy vápníku žije i naše největší perloočka – hrbatka jezerní (*Holopedium giberum*).

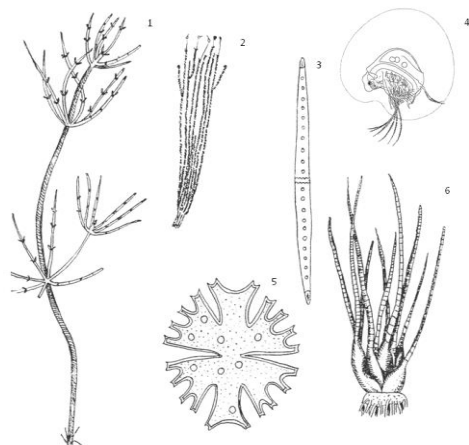
Z obecného hlediska tedy rozlišujeme **acidofilní – acidobiotní organizmy** a na druhé straně **alkalofilní a alkalobiotní organizmy** – viz obr.Xx a Xx.

U fotoautorofních organismů zvláště pak u vyšších rostlin klasifikujeme organizmy jako **bazofilní (kalcifilní)**, žijí ve vodách s pH vyšším než 8 a **kalkofobní (acidofilní)** rostliny žijí ve vodách kolem pH 5,5.

Prostředí vodního tělesa podle pH (a i neutralizační kapacity vody a ústojných schopností) rozlišovat jako **acidotrofní a alkalitrofní**. **Acidotrofní prostředí** je typické pH

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

pod 5,5 s nedostatkem dostupného fosforu a vápníku. V případě srážení železa ve vodě mluvíme o **siderotrofním** prostředí. **Alkalitrofní** prostředí je definováno pH vyšším než 7,0 (9,0 pro krasové vody), s dostatkem vápníku a normálním koloběhem dusíku, fosforu a železa.



Obr. 36 Organismy vod s vysokým nebo nízkým pH 1. Alkalobiontní parožnatka r. *Chara*, 2. alkalofilní mech *Gymnostomum curvirostris* 3. Acidofilní spájivka *Closterium acerosum* 4. Kalcifóbní a acidofilní perloočka hrbatka jezerní (*Holopedium gibberum*). 5. Acidofilní dvojčatkovitá řasa *Micrasterium* sp. 6. Kalcifobní a acidobiontní šidlatka jezerní (*Isoetes lacustris*). Organismy nejsou v poměrných velikostech.

V předešlém textu byl několikrát zmíněn pojem **neutralizační kapacita**. Neutralizační kapacitou (NK) vody se rozumí látkové množství silné jednosytné kyseliny nebo silné jednosytné zásady v mmol, které spotřebuje jeden litr vody pro dosažení určité hodnoty pH. Rozlišuje se:

- a) kyselinová (neutralizační) kapacita (KNK) v mmol.l^{-1}
- b) zásadová (neutralizační) kapacita (ZNK) v mmol.l^{-1}

Běžně se také používají pojmy **alkalita (alkalinita)** což je KNK a **acidita** což je ZNK viz Tab. 10.

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

Tab 10 Přehled hlavních kyselinových a zásadových kapacit uhličitanevého systému (c - koncentrace v mmol.l^{-1})

Rovnice	Jiné názvy
$\text{KNK}_{4,5} = c(\text{HCO}_3^-) + 2c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{OH}^-) - c(\text{H}^+)$	alkalita, celková alkalita, m-hodnota
$\text{KNK}_{8,3} = c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{OH}^-) - c(\text{H}_2\text{CO}_3) - c(\text{H}^+)$	zjevná alkalita, uhličitanevá alkalita, p-hodnota
$\text{KNK}_{10,6} = c(\text{OH}^-) - c(\text{HCO}_3^-) - 2c(\text{H}_2\text{CO}_3) - c(\text{H}^+)$	hydroxidová alkalita
$\text{ZNK}_{4,5} = c(\text{H}^+) - c(\text{HCO}_3^-) - 2c(\text{CO}_3^{2-}) - c(\text{OH}^-)$	zjevná acidita, minerální acidita
$\text{ZNK}_{8,3} = c(\text{H}^+) + c(\text{H}_2\text{CO}_3) - c(\text{CO}_3^{2-}) - c(\text{OH}^-)$	CO_2 acidita, „celková acidita“
$\text{ZNK}_{10,6} = c(\text{H}^+) + 2c(\text{H}_2\text{CO}_3) + c(\text{HCO}_3^-) - c(\text{OH}^-)$	celková acidita

Z tabulky vyplývá, že stanovení pH je nutno doplnit stanovením neutralizační kapacity, abychom mohli vysvětlit kyselost nebo zásaditost vody. U uhličitanevého systému jde při stanovení KNK resp. ZNK o hodnoty pH bodů ekvivalence obvykle 4,5 a 8,3. U přírodních a užitkových vod s převládajícím uhličitanevým tlumivým systémem jde především o hodnotu $\text{KNK}_{4,5}$ pro odhad koncentrace hydrogenuhlíčanů a o hodnotu $\text{ZNK}_{8,3}$ pro odhad koncentrace volného oxidu uhličitého.

Tlumivou kapacitu vody zajišťuje především uhličitanevý systém (viz kap. Uhlík a CO_2) a přítomnost alifatických organických kyselin a příp. i amoniakální dusík. V čistých prokysličených vodách (oligotrofie) se uplatňuje především první případ a v sedimentu a v silně znečištěných vodách (eutrofie – hypertrofie) se přidává i druhý případ. Tlumivá kapacita vody tak vytváří unikátní podmínky pro život organismů v rozmezí pH 6,25 – 10,33. Většina vodních organismů, až na výše zmíněné výjimky, **jsou vůči pH stenoekní**.

Celková mineralizace a vodivost vody (konduktivita)

Celková mineralizace vody je definována jako součet hmotnostních koncentrací aniontů, kationtů a nedisociovaných rozpuštěných anorganických látek ve vodě. Celková mineralizace je jediným objektivním hodnocením koncentrace veškerých anorganických látek ve vodách. Výsledek odpovídá reálnému složení dané vody a nezávisí na možných chemických přeměnách. Mineralizaci vyjadřujeme nejčastěji v hmotnostních koncentracích (mg.l^{-1}) ale přesnější je vyjádření v látkovém množství (koncentraci) mmol.l^{-1} .

Tab. 11 Alekinovo rozdělení přírodních vod podle celkové mineralizace

Třída	Sp (mg.l^{-1})	Σc (mmol.l^{-1})
Vody:		
velmi málo mineralizované	do 100	do 2
málo mineralizované	100 až 200	2 až 4
středně mineralizované	200 až 500	4 až 10
se zvýšenou mineralizací	500 až 1000	10 až 20
vysoce (velmi) mineralizované	nad 1000	nad 20

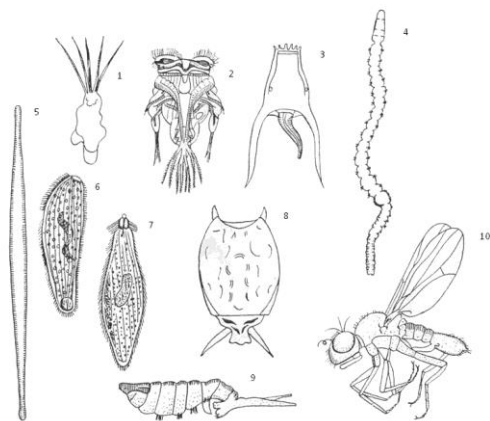
Celková mineralizace se také pojmenovává jako **salinita**, která označuje obecně podíl minerálních látek (solí) rozpuštěných v roztoku (obvykle ve vodě). Ve smyslu fyzikální

Okomentoval(a): [H34]: Hlavní přednost spočívá v tom, že při porovnávání výsledků rozborů vod v mmol.l^{-1} je koncentrační údaj úměrný skutečnému počtu iontů nebo molekul anorganických komponent. U vod s převládající koncentrací hydrogenuhlíčanů nad sírany nedoceňuje celková mineralizace v mg.l^{-1} jejich skutečnou koncentraci ve vodě vyjádřenou v mmol.l^{-1} , v porovnání s vodou s převládající koncentrací síranů nad hydrogenuhlíčitany. Další předností tohoto způsobu je, že není třeba udávat, v jakých formách existence byly jednotlivé komponenty sčítány, protože např. 1 mol Si = 1 mol SiO_2 = 1 mol H_2SiO_3 atp.

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

veličiny se nejčastěji jedná o hmotnostní koncentraci (udávanou g.l^{-1} , mg.l^{-1}) nebo o hmotnostní zlomek (udávaný v promile (%), někdy vyjadřovaných jako g/kg).

Vztah organismů s celkové mineralizaci – salinitě je popsán v části halogeny. Mokřadní biotopy a pramenné stružky dle mineralizace vody řadíme do **minerotrofních** (silně mineralizovaná voda, často se srážením pěnovce, s vyšším pH), **mezotrofních** a **ombrotrofních** (velmi slabě mineralizovaná voda s nízkým pH) systémů (viz mokřady).



Obr. 37 Organismy silně mineralizovaných až slaných vod. 1. měňavka *Amoeba salina*, 2. viřník *Pedalia fenicca*, 3. viřník *Brachionus satanicus*, 4. náidka *Paranais litoralis*, 5. rozsívka *Synedria affinis*, 6. nálevník *Pseudospodron halophilus*, 7. nálevník *Frontonia marina*, 8. viřník *Lecane coronata* 9. kukla a 10. dospělec březnice *Ephydra riparia* (alkalobiont). Organismy nejsou v poměrných velikostech.

Konduktivita – specifická elektrická vodivost vody je definována jako vodivost roztoku mezi dvěma elektrodami o ploše 1 cm^2 vzdálenými 1 cm . Jednotkou je S.m^{-1} a v hydrochemii se užívá odvozená jednotka $\mu\text{S.cm}^{-1}$. Vodivost vody (elektrolytu) je dána **koncentrací iontů** (polárně rozpuštěných látek) a jejich pohyblivostí. **Vodivost vody je závislá na teplotě** - údaje o konduktivitě se udávají při tzv. referenční teplotě 25°C (dříve 20°C).

Tzv. vodivostní voda má při teplotě 18°C konduktivitu $0,038 \mu\text{S.cm}^{-1}$, což je způsobeno *elektrolytickou disociací vody* (voda působí i na vlastní molekuly, které štěpí na ionty vodíku a ionty hydroxylové). Běžná destilovaná voda má hodnoty konduktivity $0,3$ až $3,0 \mu\text{S.cm}^{-1}$. Voda z čistého vysokohorského sněhu a ledovců z odlehlých oblastí má konduktivitu asi $5 - 30 \mu\text{S.cm}^{-1}$. Konduktivita povrchových a prostých podzemních vod se pohybuje od 50 do $500 \mu\text{S.cm}^{-1}$. U podzemních minerálních vod a v silně mineralizovaných vodách (slaných jezerech) je konduktivita řádově vyšší (až několik tisíc $\mu\text{S.cm}^{-1}$). Mořská voda má konduktivitu kolem $60000 \mu\text{S.cm}^{-1}$.

Vztah mezi konduktivitou v $\mu\text{S.cm}^{-1}$ a hmotnostní koncentrací rozpuštěných soli v mg.l^{-1} je dan vztahem:

$$\text{Hmotnostní koncentrace (mg.l}^{-1}\text{)} = k \cdot \text{Konduktivita (}\mu\text{S.cm}^{-1}\text{)}$$

Hodnoty empirických faktorů (k) se pohybují nejčastěji od 0,55 do 0,70 podle typu minerálních látek.

Organické látky (hmota) – organický uhlík a dusík

Organické látky ve vodách mohou být přírodního původu (huminové látky, sacharidy, proteiny, peptidy, uronové kyseliny, polyfenoly atd.) nebo antropogenního původu (splaškové a průmyslové odpadní vody, skládky, zemědělství). K organickým látkám vstupujících do koloběhu látek v akvatických ekosystémech přistupujeme několika způsoby. Prvně nás zajímá jejich původ, tj. jestli se do systému dostávají z okolního prostředí nebo jestli se v systému přímo produkují.

Z tohoto hlediska pak dělíme organické látky na **alochtonní** – vstupují do vodního prostředí s okolního terestrického prostředí. Hlavními zdroji, cestami, jsou eroze břehů vodního tělesa, snos látek ze záplavového území, přímý spad z břehové vegetace, přítoky do tělesa a atmosférický spad. V systému tak převažuje dotace z vnějšího prostředí nad produkcí v systému. Z obecného trofického hlediska jde o **heterotrofní systém**, kde převažuje spotřeba organických látek (konzumace, destrukce, degradace atd.) nad produkcí organických látek autotrofními organizmy. **V heterotrofním systému tedy převažuje respirace nad produkcí ($P < R$).**

Druhou možností, že organické látky jsou přímo produkovány v systému **autotrofními organizmy**. Pak tyto látky řadíme mezi **autochtonní**. Jde o produkci bakteriálního, sinicového, řasového a rostlinného společenstva přímo ve vodním tělese. Systém se tak stává **autotrofním, kde produkce převažuje nad respirací. ($P > R$).**

V druhém pohledu na organické látky nás zajímá jejich množství v určitém objemu vody – zpravidla hmotnostní koncentrace v $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Jde tedy o skupinový analytický parametr, kdy nás nezajímají jednotlivá chemická individua. Většina přírodních organických látek se velmi dobře rozkládají oxidací ať již chemickou nebo biochemickou. Na základě tohoto poznatku byly vyvinuty již v 19. století metody skupinového stanovení koncentrace organických látek ve vodě.

První metodou je stanovení **chemické spotřeby kyslíku** – zkratka **CHSK** (anglicky **COD**). Při stanovení chemické spotřeby kyslíku (CHSK) vzorku vody se provádí oxidace organických látek obsažených ve vodě za předem definovaných podmínek. Chemická spotřeba kyslíku se pak vyjádří ze spotřeby oxidačního činidla v množství ekvivalentně odpovídající oxidaci kyslíkem ($\text{mgO}_2 \cdot \text{l}^{-1}$).

Nejstarší metoda je stanovení **CHSK_{Mn}** – **manganistanová tzv. Kubelova metoda**, založená na chemické oxidaci OL v kyselém prostředí manganistanem draselným (KMnO_4). Během dlouholeté aplikace této metody se ale zjistilo, že se hodí jen na relativně čisté vody a že se neoxidují všechny OL. Proto byla vyvinuta účinnější metoda stanovení **CHSK_{Cr}**, tj. stanovení oxidací OL (spotřeby kyslíku) dichromanem draselným ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) v silně kyselém prostředí za teploty bodu varu. CHSK se pak vyjadřuje v $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ kyslíku, ale protože výsledky

Okomentoval(a): [H35]: Pokud chceme zjistit celkovou koncentraci rozpuštěných látek v ppm, hodnotu elektrolytické vodivosti (v $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) vynásobíme faktorem v rozmezí 0,54-0,96 (platí pro přírodní vody). Hodnota faktoru závisí na typu rozpuštěných pevných látek. Pokud neznáte typ rozpuštěných látek, můžete použít k násobení faktor 0,67: **Množství rozpuštěných látek (ppm) = elektrolytická vodivost ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) x 0,67**

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

stanovení oběma metodami nejsou shodné, je nutné u výsledku uvádět, jakou metodou byla CHSK stanovena (CHSK_{Mn}, CHSK_{Cr}). Hodnoty CHSK_{Cr} jsou většinou vyšší než hodnoty CHSK_{Mn}, protože za podmínek stanovení je silnějším oxidovadlem K₂Cr₂O₇. Z tohoto důvodu je CHSK_{Cr} vhodné pro stanovení CHSK ve všech druzích vod, zatímco CHSK_{Mn} je tedy vhodná prakticky jen pro pitné vody – velmi čisté vody.

Přírodní vody mají hodnoty CHSK_{Cr} v jednotkách až max. desítkách mgO₂.l⁻¹. Při hodnotách nad 10 mgO₂.l⁻¹ je však již podezření na antropogenní znečištění.

Všechny organické látky obsahují uhlík a tak rozvojem instrumentace analytické chemie byly vyvinuty metody stanovení **organického uhlíku – Corg. Celkový organický uhlík** (z anglického Total Organic Carbon, **TOC**) je parametr ukazující množství organických látek přítomných v daném vzorku vody. Tento parametr je udáván v mgC.l⁻¹. Jde tedy opět o skupinový analytický ukazatel. Toto stanovení organických látek je z podstaty metody nejpřesnější, a jediným problémem je odlišení stanovených **rozpuštěných OL (DOC – rozpuštěný organický uhlík)** a **koloidních - partikulovaných OL (COC a POC – koloidní a partikulovaný uhlík)**. Částečná identifikaci individuálních organických látek se provádí stanovením **polárních extrahovatelných látek PEL** a **nepolárních extrahovatelných látek NEL**. K odhadu množství bílkovin a jejich rozkladných produktů se stanovují koncentrace **celkového organického dusíku (TON)** s odlišením **rozpuštěné formy (DON)** a **koloidní – partikulované formy (CON, PON)** v jednotkách mgN.l⁻¹ (všechny bílkoviny, peptidy, aminokyseliny obsahují uhlík).

Vůbec nejstarší metodou souhrnného stanovení organických látek je však vážková metoda. Odparek vysušený při 105°C se spálí při 550°C. Rozdíl v hmotnosti sušiny a spalitelného podílu je množstvím organických látek. Metoda je extrémně náročná na množství vody pro přípravu odparu – u čistých přírodních vod je nutno odpařit až desítky litru.

Specifickým případem stanovení organických látek je, zda OL ve vodě jsou **biodostupné** a **biochemicky rozložitelné (biodegradabilní)**. K tomu byla již ke konci 19. století vyvinuta metoda **biochemické spotřeby kyslíku. Biochemická spotřeba kyslíku (BSK)** je definována jako hmotnostní koncentrace rozpuštěného kyslíku v roztoku, která byla spotřebována během biochemické oxidace organických látek za stanovených podmínek. Slouží tedy jako je **nepřímý ukazatel množství biochemicky rozložitelných organických látek** ve vodě.

Nejběžnější standardizovanou metodou používanou po celém světě je **BSK₅**, při které se stanoví biochemická spotřeba kyslíku zředovací metodou v průběhu pěti dnů, za aerobních podmínek a při teplotě 20°C. BSK je tak množství kyslíku spotřebované mikroorganismy při biochemické oxidaci za aerobních podmínek a uvádí se v jednotkách mgO₂.l⁻¹. OL vůči biochemickému rozkladu rezistentní oxidaci nepodlehne, a tedy se na ně žádný kyslík nespoteřebuje. Pro orientační stanovení biologické rozložitelnosti OL ve vodě je vhodné hodnotu BSK₅ porovnat s hodnotou CHSK_{Cr} (s chemickou spotřebou kyslíku), při které oxidaci podléhají i látky biochemicky nerozložitelné. U dobře rozložitelných OL bývá poměr nad BSK₅:CHSK > 0,5, v přírodních čistých vodách se blíží hodnotě 1. Poměr BSK₅:CHSK > 0,3 poukazuje na zvýšenou přítomnost biochemicky obtížně rozložitelných OL.

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

Běžné vodní toky obvykle mívají BSK₅ pod 1 mg.l⁻¹. Středně znečištěné vody se pohybují v rozmezí 2 - 8 mg.l⁻¹, vyšší hodnoty jednoznačně ukazují na antropogenní znečištění.

Koncentraci organických látek lze taky modelově vypočítat a tato hodnota je pojmenována jako **teoretická spotřeba kyslíku (TSK)**. U tohoto ukazatele, však musí být determinovány všechny OL. To je v přírodních vodách mnohdy velmi obtížné (nízké koncentrace, neznámá chemická individua aj.) a velmi finančně nákladné (speciální analytická instrumentace). Přesto při správných výsledcích z analýz musí platit:

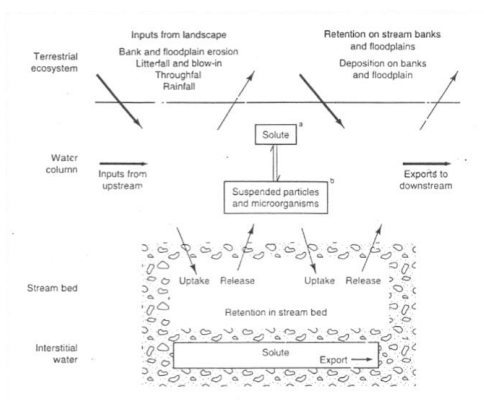
$$\text{TSK (Corg.)} \geq \text{CHSK} \geq \text{BSK}_5$$

Při studiu organických látek ve vodních ekosystémech se muselo najít určité zjednodušení. Od 70 let. 20 stol. se užívají **velikostní kategorizace** a OL se nazývají **organickou hmotou (OM)**. První rozlišení je na úrovni **rozpuštěná OM (DOM)** – jedná se o látky typu sacharidů, alkoholů, organických kyselin aj., **koloidní OM (COM)** – látky typu mastných kyselin, peptidů aj. a **partikulovaná OM (POM)** – partikule tkání, proteiny a jejich části. Organická hmota je pak definovaná jako **neživé a živé partikulované částice (POM)**.

Partikulovaná OM (POM) se pak dělí na tři kategorie dle velikosti částic. **Hrubá partikulovaná organická hmota (CPOM)** jsou částice s velikostí > 1 mm, vznášející se ve vodním sloupci a dobře sedimentující. **Jemná POM (FPOM)** jsou částice velikosti 0,45 μm – 1mm, tvořící ve vodě jemně velmi pomalu sedimentující suspenze. Částice velikosti pod 0,45 μm se nazývají **ultrajemná POM (UFPM)**, tvořící ve vodě velmi jemně suspenze na hranici koloidních roztoků.

Do těchto kategorií lze se stejnou logikou třídit i **organický uhlík** (viz výše), **organický dusík (DON, CON, PON)** a **fosfor (DOP, COP, POP)**. K tomu se ještě užívají zkratky pro anorganické formy, např. rozpuštěné formy – DIC, DIN, DIP atd.

Organická hmota se také pojmenovává jako **detrit**. **Detrit** je definován jako jemná a hrubá, živá a neživá organická hmota.

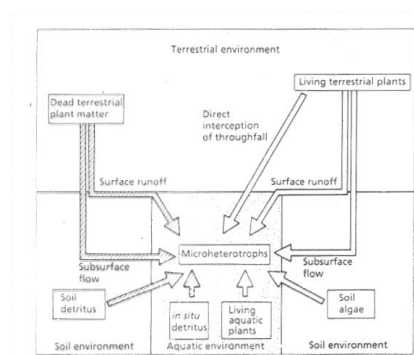


Obr.38 Vstupy a výstupy organické hmoty v obecném vodním tělese

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

Jiná definice považuje **detrit** jen za neživou organickou hmotu. Patří sem např. organismy v různém stupni rozkladu nebo exkrementy. V detritu se nacházejí skupiny mikroorganismů (**mikroheterotrofové**), které fungují jako **mikrodekompozitoři OM**. Tento komplex tvoří zpravidla sediment vodních těles. Organismy využívající detrit jako potravu se nazývají **detritovorní organismy**. Patří se celá škála bezobratlých od hlístic, kroužkvců až po hmyz (viz organismy a jednotlivé ekosystémy).

Další možností je, že se OM definují jako **seston**. Ten je popisován jako směs živých organismů (bakterie, houby, sinice, řasy) a vlastní detrit (organické zbytky) ve vodním sloupci. Vrstva (nárost) na pevném podkladu živých, především autotrofních organismů, a organické hmoty (detritu) se nazývá **perifytonem**.



Obr 39. Zdroje organické hmoty pro skupinu mikroheterotrofních organismů (mikrodekompozitoři, detritovorní organismy, perifyton).

Organizmy jako zdroj

Vodní organismy můžeme třídit a hodnotit podle různých kritérií. Z hlediska toku energie v ekosystému nás především zajímá jejich řazení dle trofie a příjmu energie (např. potravy). Klasické dělení na **autotrofní** a **heterotrofní** organismy bylo významně upřesněno a rozšířeno viz následující tabulka.

Tab. 12 Potravní typy organizmů a primární zdroje k získávání energie a syntézu biomasy

	Energy source	C-source	e-donor	e-acceptor
Photoautotrophs				
Plants, Cyanobacteria	Light	CO ₂	H ₂ O	CO ₂
pigmented sulphur bacteria	Light	CO ₂	H ₂ S	CO ₂
sulphur-free purple bacteria	Light	CO ₂	H ₂ O	CO ₂
Chemolithoautotrophs				
colorless sulphur bacteria (*; H ₂ S, S, or S ₂ O ₃)	S*	CO ₂	S*	O ₂
nitrifying bacteria	NH ₄	CO ₂	NH ₄	NO ₃
iron-oxidizing bacteria	NO ₂	CO ₂	NO ₂	O ₂
methane bacteria	Fe ²⁺	CO ₂	Fe ²⁺	O ₂
	H ₂	CO ₂	H ₂	O ₂
	H ₂	CO ₂	H ₂	NO ₃
Chemolithoheterotrophs				
<i>Desulfovibrio</i>	H ₂	DOC	H ₂	SO ₄
Chemoorganoheterotrophs				
animals	POC	POC	POC	O ₂
aerobic bacteria, fungi	DOC	DOC	DOC	O ₂
denitrifying bacteria	DOC	DOC	DOC	NO ₃
desulphurizing bacteria	DOC	DOC	DOC	SO ₄

První jasně skupinou definovanou skupinou jsou **fotoautotrofní organizmy** získávající energii ze slunečního záření, zdrojem uhlíku je oxid uhličitý, donátor elektronů je voda nebo sulfan a akceptor elektronů je oxid uhličitý. Patří sem celá skupina **sinic** (Cyanobacteria), **jednobuněčných a mnohobuněčných řas** (Euglenophyta, Chlorophyta, Rhodophyta aj.) a **eukaryotních rostlin** (Bryophyta, Monilophyta, Spermatophyta), **pigmentovaných sírných bakterií** (Chlorobacteriaceae — fotosyntetizující zelené bakterie, Chlorobi; Rhodothiobacteria — fotosyntetizující červené a sírné purpurové bakterie z kmene Proteobacteria) a **bezsírné červené bakterie** (Rhodospirillales, Rhizobiales aj.).

Druhou, velice rozmanitou, skupinou jsou **chemolithoautotrofní organizmy** – vždy prokaryota - bakterie. Tyto bakterie získávají energii z oxidoredukčních reakcí anorganických sloučenin (litho). Patří sem **bezbarvé sírné bakterie** získávající energii z oxidace síry, uhlík z oxidu uhličitého, donátor elektronů je síra a akceptorem je kyslík nebo dusičnan. Jsou to rody *Escherichia*, *Proteus*, *Beggiatoa* a např. *Thiobacillus*. Další jsou **nitrifikační bakterie**, kde zdroj energie je oxidace amonného kationtu a dusičnanů, zdrojem uhlíku je CO₂, donátor elektronů je amonný kation a dusitan (NO₂⁻), akceptorem pak O₂. Rozlišujeme **nitritační bakterie**, rody *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosospira*, *Nitrosocystis*, *Nitrosogloae*, **oxidacující amoniak na dusitany** (nitrity). Na jejich činnost navazují **bakterie nitratační**, rodů *Nitrobacter*, *Nitrocystis*, které **oxidují dusitany na dusičnany** (nitráty). Z redukovaných sloučenin dusíku umí tvořit dusičnany i mikromycety (*Aspergillus*). Dalšími jsou **železo oxidující bakterie (železité bakterie)**, získávající energii z oxidace kationtu dvojmocného železe (Fe²⁺), uhlík z CO₂, donátorem elektronů je Fe²⁺ a akceptorem O₂. Patří sem např. *Acidithiobacillus ferrooxidans* a *Leptospirillum ferrooxidans*. Poslední skupinou chemolithoautotrofních bakterií jsou tzv. **metanové bakterie**. Zdrojem energie pro tyto bakterie je molekulární vodík, který oxidují pomocí CO₂ za vzniku metanu, zdrojem uhlíku je CO₂, donátor elektronů je vodík a akceptorem kyslík nebo dusičnan. Tyto bakterie jsou

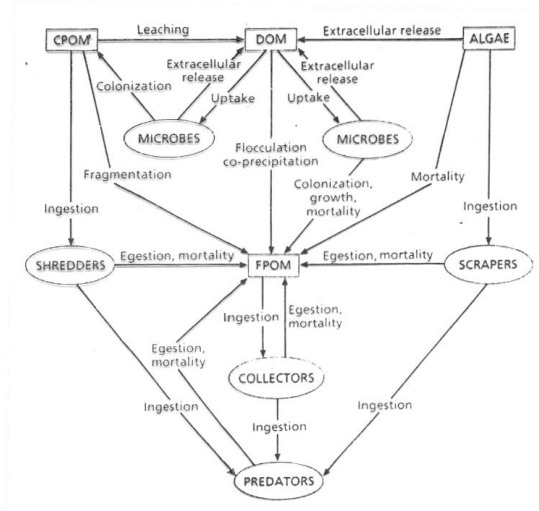
Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

typické pro anoxické až anaerobní prostředí a patří sem např. *Methanospirillum*. Celý proces pak nazýváme **metanogenezí**.

Zcela unikátní specialisté jsou **chemolithoheterotrofní bakterie**, prakticky reprezentovaných rodem *Desulfovibrio*. Jsou to obligatorně anaerobní bakterie využívající energii z molekulárního vodíku, uhlík z rozkladu organických látek (rozpuštěný organický uhlík DOC), donátorem elektronů je vodík (H_2) a akceptorem síranový aniont (SO_4^{2-}).

Poslední velkou skupinou organismů zahrnující bakterie, houby a živočichy jsou **chemoorganoheterotrofní organizmy**. Zdrojem energie, organického uhlíku a donátorem elektronů jsou partikulované (živočiškové) a rozpuštěné organické látky (bakterie a houby). U živočichů, aerobních bakterií a hub je akceptorem elektronu molekulární kyslík. Speciálními případy jsou denitrifikační a desulfurikační bakterie, akceptorem je dusičnan resp. síran.

Další klasické dělení organismů podle způsobu získávání potravy – energie je dělení na **producenty** (autotrofní organizmy), **konzumenty** a **destruenty - dekompozitory** (heterotrofní organizmy). Konzumenty ve vodním prostředí dále od 70. let 20. stol. dělíme podle způsobu získání potravy, jejího původu a velikosti.



Obr. 40. Potravní řetězec ve vodním prostředí dle původu a velikosti potravy (zdrojů).

Z obr. Xx tedy vyplývá, že potravní specializace dělíme především dle velikosti potravy. Na hrubou organickou hmotu (CPOM) jsou jako na potravní zdroj, vázáni **kouskovači – drtiči (shredders)**. Do této skupiny patří především koryši (blešivec potoční – *Gammarus fossarum*), larvy hmyzu (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) a další, kteří mají za hlavní zdroj potravy různé hrubé zbytky rostlin a živočichů s obsahem hyf hub a bakteriálními společenstvy.

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

Skupina **seškrabávačů** (dříve nesprávně pojmenovaná jako spásači) – **scrapers** – se živí nárosty bakterií, hub a řas na substrátu. Tyto vrstvy obecně nazýváme **biofilmem** nebo **biologicky (biochemicky) aktivní vrstvou**. Do této skupiny např. patří typicky vodní plži (např. kamomil říční - *Ancylus fluviatilis*), a různé larvy vodního hmyzu (Trichoptera, Diptera) včetně i některých ryb a larev obojživelníků (u nás např. ostroretka stěhovavá – *Chodrostoma nasus*).

Obě tyto skupiny fragmentují CPOM, produkují exkrementy a sami hynou a tak přispívají k tvorbě jemné organické hmoty (FPOM), která je potravou pro **sběrače – collectors**. Tato skupina je druhově velmi rozmanitá od hlístic až po obratlovce. Typickými zástupci jsou v tekoucích vodách larvy jepic (Ephemeroptera) a chrostíků (Trichoptera), ve stojatých vodách zooplankton, hlavně skupiny ze skupiny Cladocera.

Celý tento potravní řetězec je završen skupinou **predátorů (pravých predátorů)**, což jsou různé druhy karnivorních organismů – např. dravé perloočky (např. *Leptodora kindtii*), dravé larvy pošvatek (Plecoptera), vážek (Odonata), brouků (*Dytiscidae*) atd. a samozřejmě ryby a larvy obojživelníků.

Podle způsobu získávání potravy pak dělíme heterotrofní organizmy a samozřejmě i hydrobionty na **predátory** a **detritovory**.

Predátory pak dělíme na **pravé predátory** – konzumující za dobu svého života větší počet kořisti a kořist vždy usmrtí (dravé larvy vodního hmyzu, dospělci vodních brouků a ploštic, ryby); na **parazity** – konzumující jen tkáň a tělní tekutiny jednoho jedince nebo malého počtu kořisti, kořisti jen snižují fitness a často s kořistí manipulují (vývojová stádia dospělci motolic a tasemnic); na **parazitoidy** – konzumující tkáň a tělní tekutiny až k usmrcení kořisti. Známe i **hyperparazitoidy** žijící v parazitoidech nebo **superparazity** žijící v parazitech. Poslední skupinou predátorů jsou **herbivorní živočichové**, což jsou organizmy konzumující tkáň a tělní tekutiny fotoautotrofních organismů, zpravidla až na výjimky kořist nekonzumují celou (výjimkou jsou např. perloočky konzumující celé buňky řas). **Herbivory** tak, dle velikosti potravy, řadíme hlavně mezi **kouskovače, seškrabávače a sběrače**. Planktonní herbivoři jsou ve starší literatuře řazeni mezi **spásače (grazers)**, ale podle současné klasifikace mezi **sběrače**, speciálně mezi **filtrující sběrače** (viz kap. Stojaté vody).

Klasické dělení (vodních) organismů podle přijímané potravy je na **karnivorní** organizmy (larvy pošvatek, vážek, vodních brouků, ryby – např. štika obecná (*Esox lucius*), přijímající tkáň jiných živočichů, zpravidla je usmrcují).

Herbivorní (fytofágní), algivorní (algifágní) a fungivorní (mycelofágní) organizmy reprezentují potravní specialisté na konzumování sinic, řas a vyšších rostlin (Cladocera – r. *Daphnia*, *Bosmina* aj., larvy jepic, chrostíků, dvoukřídlých aj.), resp. hyf hub (např. larvy dvoukřídlých).

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

Skupina **detritovorních (detritofágní, saprofágní, xylofágní) organizmů** se živí odumřelými tkáněmi rostlin (i dřeva) a živočichů, zpravidla s velkým obsahem hyf saprofytických hub a bakterií (larvy jepic, pošvatek, chrostíků, brouků a dvoukřídlých).

Skupina **omnivorních** (omnifágních) živočichů je reprezentována především předchozí kategorií detritofágů, ale u ryb jsou to mnohé druhy kaprovitých ryb (Cyprinidae), které se živí jak živočišnou, tak rostlinou potravou.

Tyto specializace mohou být **obligatorní** (tj. trvalé v celém životním cyklu) a **fakultativní** (jen dočasné v určitém stádiu). Příkladem mohou být larvy chrostíků r. *Rhyacophila*, kdy první instary jsou algivorní a poslední instary před kuklením jsou karnivorní nebo vývojová stádia ryb, kdy plůdek se živí mikroplanktonem (jednobuněčné řasy, prvoci, vířníci), jednoleté ryby makroplanktonem (perločky, buchanky, larvy pakomárů a komárů) a dospělci jsou např. **piscivorní** (rybožraví).

Velmi málo druhů hydrobiontů jsou vyhranění **monofágové** (specialisté jen na jeden druh potravy). Sem patří např. skupina **nabodávačů – vysávačů (piercers)**, živící se tělními tekutinami rostlin (nymfy některých vodních ploštěk); nebo (ekto - endo) parazité, např. kapřivci (Branchiura) a krev sající pijavky – pijavka lékařská (*Hirudo medicinalis*), chobotnatka rybí (*Piscicola geometra*) a aktivně tělní tekutiny sající predátoři (Nepomorpha, Gerromorpha).

Zcela obecné dělení z hlediska potravního chování a příjmu druhů potravy je dělení na **generalisty** a **specialisty**. Generalisté se vyznačují oportunním chováním, tj. konzumují vše co je dostupné a požitelné (např. rakovci – Astacidae). Specialisté jsou často monofágové a parazité nebo parazitoidi.

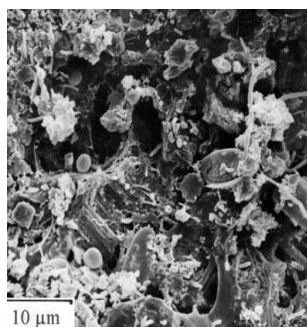
Z hlediska potravních sítí a z pohledu predátora na kořist a kořisti na predátora je velmi důležitá velikost organizmů. Všechny vodní organizmy z obecného pohledu jsou partikulovanou organickou hmotou. Velikostně je ale dělíme podrobněji a to na velikost **piko** do 2 μm (plankton, bentos) což jsou především bakterie a cyanobakterie, velikost **nano** (≤ 10 někdy až do 50 μm) – především největší bakterie a jejich shluky, Protista a nejmenší Nematoda a Rotifera; **mikro** (≤ 50 μm) – nejmenší Nematoda, Rotifera, vývojová stádia Copepoda atd. Posledními kategoriemi jsou velikosti **meio** (50 – 500 μm) a **makro (organizmy)** viditelné pouhým okem (500 μm a více), jejich velikost přibližně souhlasí s velikostní kategorií hrubá organická hmota.

Další důležitým znakem organizmů je schopnost jejich pohybu ve vodním prostředí. Obecně dělíme organizmy na **volné – vagilní** (volně pohybující) a **přisedlé - sesilní**. Do první skupiny patří celé spektrum organizmů od volně pohybujících se bakteriálních shluků až po ryby a savce. Sesilní organizmy ve velikosti piko až meio vytváří ve vodním prostředí (a nejen tam) **biologicky aktivní vrstvu (biofilm)** na povrchu částic. **Biofilm** je společenstvo mikroorganismů, vázané k určitému povrchu a obklopené polysacharidy, které buňky v biofilmu vylučují. Povrchy v přírodě vykazují větší koncentraci živin než jejich okolí (např. volný vodní sloupec, roztok). Povrchy jsou nadto velmi rozmanité (může se jednat o povrch neživý stejně dobře jako živý – např. tkáň) a díky statickému náboji umožňují prokaryotním

Okomentoval(a): [H36]: Pro úplnost je nutno ještě zmínit, že někteří autoři užívají jemnější velikostní dělení. Zavádí např. kategorii **mezoplankton** (velikosti do 2 mm), kde **makroplankton** jsou organizmy větší než 2 mm. Uvádí se i kategorie **ultranaplakton** (mezi nano a piko) a **femtoplankton** (0,02 – 0,2 μm) což jsou výhradně bakterie.

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

buňkách se snadněji přichycovat. Polysacharidové pouzdro kolem biofilmu pak společně s proteiny, nukleovými kyselinami a lipidy vytváří kolem shluklých buněk jakousi obalovou vrstvu, nazývanou matrix. Ta biofilmu poskytuje mechanickou stabilitu, zprostředkovává jeho adhezi k povrchu a vytváří polymerickou prostorovou síť, která jednotlivé prokaryotní buňky ukotvuje (Lhotský 2015). Na mikrobiální biofilm se pak vážou další organismy až do velikosti meio a makro, kteří využívají toto prostředí jako životní prostor a hlavně jako zdroj živin a potravy.



Obr. 41 Mikrofotografie biologicky aktivní vrstvy – biofilmu.

Další významnou charakteristikou všech (vodních) organismů jsou jejich **životní cykly** (life cycle) a **životní strategie - historie** (life history). Tyto základní vlastnosti organismů a jejich populací tvoří systém vytvářející stálost a proměnlivost společenstev a ekosystémů v čase a prostoru. Tím i vytvářejí podmínky pro dostupnost organismů jako zdroje – potravy.

Pohlavně množící se eukaryotické organismy (z hlediska ploidity somatických buněk) můžeme přiřadit k jednomu z těchto tří **obecných životních cyklů**:

1. **haploidní – zygotický**: Organismus má po celý život haploidní somatické buňky, diploidní je pouze zygota, která se následně meioticky dělí;
2. **diploidní – gametický**: Organismus má po celý život diploidní somatické buňky, haploidní jsou pouze pohlavní buňky (gamety) vznikající meiózou;
3. **haplo-diploidní – sporický**: Střídají se diploidní generace (sporofyty) množící se nepohlavně pomocí spor vzniklých meiózou a haploidní generace (gametofyty) množící se pohlavně gametami vzniklými mitózou.

Střídání generace vzniklé nepohlavně s generací vzniklou pohlavní cestou se nazývá **mezogeneze (rodozměna)**. Jde o střídání sporofytu a gametofytu v rámci sporického cyklu. Jako rodozměna se uvádějí i životní cykly některých organismů, u kterých nutně nedochází ke střídání haploidní a diploidní generace. Střídající se generace se neliší ploidií buněk, ale jinými, především morfologickými nebo ekologickými znaky.

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

Příkladem mohou být některé skupiny žahavců, u kterých z přisedlého stadia polypa vzniká nepohlavně (pučením) pohyblivé stadium medúzy, které se množí pohlavně. Oplozené vajíčko se vyvíjí v larvu, která přisedá a vytváří opět polypa.

U vodních organismů užíváme i časový – sezónní pohled na životní cykly (Hynes, 1970). Rozlišujeme **sezónní životní cykly**, výsostně vázané na délku dne a změnu teplot (roční období). Rozmnožování probíhá jen v určitém období – sezónně, zpravidla na jaře, ale i na podzim (např. tření lososovitých ryb). Druhý **nesezónní životní cyklus** je typický tím, že rozmnožování probíhá během celého roku, bez ohledu na sezónu. Toto je typické pro organismy žijící v podzemních vodách, ve velkých hloubkách, ale i pro mnohé organismy žijící v tropických vodních tělesech, kde nejsou výrazné roční období.

Dalším velmi důležitým parametrem, definujícím početnost a výskyt organismů, je časování rozmnožovacích cyklů (kopulace, ovipozice, diapauza, vývoj larválních stádií, kuklení a dospělec). Rozlišujeme, zvláště u vodního hmyzu, živočichy s jednou generací v roce – **uni(mono)voltinní** cyklus (mnohé druhy jepic č. *Heptagenidae*, chrostíci - Trichoptera aj.); se dvěma generacemi v roce – **bivoltinní** cyklus (např. jepice č. *Baetidae*); s několika generacemi do roka – **polyvoltinní** cyklus (pakomárovití - *Chironomidae*, komárovití - *Culicinae* aj.). **Semivoltinní** cyklus je typický dlouhým vývojem larválního stádia třeba až 5 let (*Perlidae*, *Dytiscidae* aj.). U všech těchto cyklů jsou v jeden čas přítomni jedinci stejného vývojového stádia. V případě, že v jeden okamžik se vyskytuje více vývojových stádií, nazýváme tento cyklus jako **plurivoltinní** (např. pošvatky *Nemurella pictetii*). V jeden okamžik jsou na biotopu přítomny vajíčka, vývojová stádia larev a pohlavně dospělí jedinci stejného druhu, což je optimální strategie na přežití populace druhu při ekologických disturbancích. Tyto cykly ještě různým způsobem modifikují schopnosti vajíček pozastavit vývoj – schopnost **diapauzy** (např. tzv. podzimní vajíčka se líhnou až na jaře – pošvatky – Plecoptera, chrostíci – Trichoptera a další). Další možností je prodlužování délky vývoje **hibernací** nebo **estivací** (přežívání jedinců v klidovém stavu období nízkých nebo vysokých teplot).

Z hlediska životní strategie řadíme obecně organismy do **deterministického modelu r-stratégů** a **K-stratégů** (McArthur & Wilson, 1967). První skupina **r-stratégové**, jsou to organismy, jejichž hlavní charakteristikou je rychlý růst početnosti, časté rozmnožování, velké množství potomků s nízkou kvalitou potomstva a konkurenceschopností, vysokou mobilitou a oportunním využívání všech dostupných zdrojů. Typický r-stratég obsazuje narušená stanoviště v primární fázi sukcese. Symbol r je rychlost reprodukce. Příkladem jsou např. některé druhy vířníků (Rotifera), perlooček (Cladocera), jepice čeledi *Baetidae*, pakomáři, komáři aj.

Druhou skupinou jsou **K-stratégové**, kde symbol K je únosná kapacita prostředí. Jsou to tedy organismy produkující málo početné, ale kvalitní a konkurenceschopné potomstvo (o které často rodiče dlouho starají), jsou často dlouhověcí nebo s dlouhým larválním vývojem, často potravní specialisté nebo predátoři. Patří sem např. některé čeledi jepic, pošvatek, chrostíků, vodních brouků a např. piscivorní ryby (např. *Esox lucius*, *Silurus glanis*). K těmto dvěma strategiím byla ještě přidána v 80. letech 20. století **A- strategie**, která

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů

je často užívána u hydrobiontů. Adaptace na **nepřízeň prostředí (adversity)** nebo **výběr typu A** u organismů upřednostňuje zachování adaptace pro těžké, ale stabilní a předvídatelné prostředí. Má kombinaci vlastností obou předešlých kategorií (Greenslade, 1983). Přehled strategií a jejich charakteristik je v tab. **Xx**.

Tab. 13. Charakteristiky životních strategií u hydrobiontu dle Williams & Feltmate (1992)

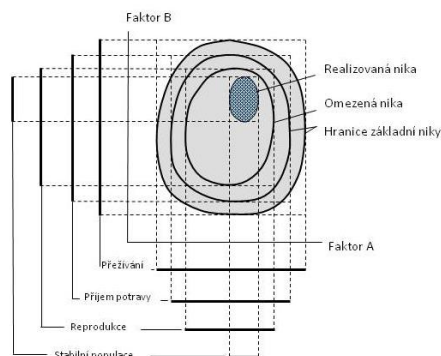
	Selection type		
	r	K	A
Properties of the habitat:			
Favourability	Variable	High	Low
Predictability	Low	High	High
Community attributes:			
Diversity	Low	High	Low
Interspecific competition	Occasional, can be intense	Frequent, often diffuse	Rare
Investment in defence mechanisms:			
	Low	High	Low
Specialization:			
	Low	High	Low
Population or species attributes:			
Capacity for dormancy	Variable	Low	Variable
Vagility	High	Intermediate	Low
Geographical distribution	Wide	Restricted	Variable
Parthenogenesis	Variable	Low	High
Life span	Short	Intermediate	Long
Maturity	Early	Intermediate	Late
Rate of development	Rapid	Intermediate	Slow
Fecundity	High	Intermediate	Low
Population density	Very variable	More constant, near carrying capacity	Variable, below carrying capacity
Rate of increase			
Density dependence	High	Intermediate	Low
	Weak at low dens.; strong & overcomp. at high density	Moderate, compensating at high density	Weak
Key factors			
	Adult losses: mortality & migration	Juvenile mortality; variation in fecundity	Mortality at all stages; variation in fecundity & rates of development

Okomentoval(a): [H37]: Dalšími alternativními modely životní strategie živočichů jsou – **vyvážený model úmrtnosti (balanced mortality model)**, který na rozdíl od r-K modelu nerozlišuje mezi hustotou závislou na mortalitě a hustotou nezávislou na mortalitě. Další model **zajištěné sázky (bet-hedging model)** je také v rozporu s r - K modelem. Model predikuje optimalizaci reprodukční snahy spíše než maximalizace reprodukce v proměnlivém prostředí (Williams & Feltmate, 1992).

Každý organismus, populace a společenstvo má určité vlastnosti, nároky na prostředí, schopnosti komunikace s jinými jedinci, populacemi (např. predace, kompetice, kooperace aj.) a tím si vytváří pomyslný časoprostor zvaný **nika**. Nika je tedy vždy více rozměrná a k jedné podmínce nebo zdroji si ji můžeme představit v řezu dle obr. 42.

Okomentoval(a): [H38]: Hutchinson (1957) matematicky definoval niku jako souhrn ekologických faktorů (podmínek a zdrojů) s n-dimenzionálním nadprostorem, kde každý faktor představuje jednu dimenzi (rozměr). Ekologická nika populace je pak část tohoto nadprostoru, v němž rozsah ekologických faktorů poskytuje vhodné podmínky a zdroje pro život a rozmnožování druhu. (wiki).

Ekologie kontinentálních vodních ekosystémů



Obr. 42. Model niky v řezu k jednomu faktoru (podmínce nebo zdroji) dle Hutchinsona (1957).

Důležitým faktorem, který do definice niky vstoupil až na konci 20. století je čas. To znamená, že nika určité populace není stálá, ale v čase a v prostoru se neustále proměňuje. Příklad u hydrobiontů je např. vodní hmyz, ale i ryby. Populace jsou tvořeny postupně se vyvíjejícími larválními stádii často s odlišnými nároky na prostředí a na potravní zdroje s finálními částečně suchozemskými dospělci nebo vyhraněnými potravními specialisty.

Jednou se základních rozměrů niky jsou podmínky a zdroje biotopu. Vztah hydrobiontů k biotopu anebo k jeho části je v hydrobiologii standardně popisován pojmy vztažené ke jménu biotopu. Tak ve volné vodě – **pelagiálu, rheopelagiálu a batypelagiálu** žije **plankton** a **nekton**. **Plankton (bakterio -, fyto -, zoo -)** je charakterizován jako organismy volně vznášející se ve vodním sloupci optimálně využívajícím vertikálního proudění – mikce (typicky Cladocera a Copepoda). **Nekton** jsou naopak aktivně plavající organismy např. Nepomorpha, Dytiscidae, Pisces. Na **bentálu** a **abysálu** – na dně – žije **bentos (bakterio -, fyto -, zoo-)**, v podzemích vodách (**stygálu, phreatálu**) žije **stygos – phreatos**, v podřičních vodách – **hyporeálu** – žije **hyporeheos**.