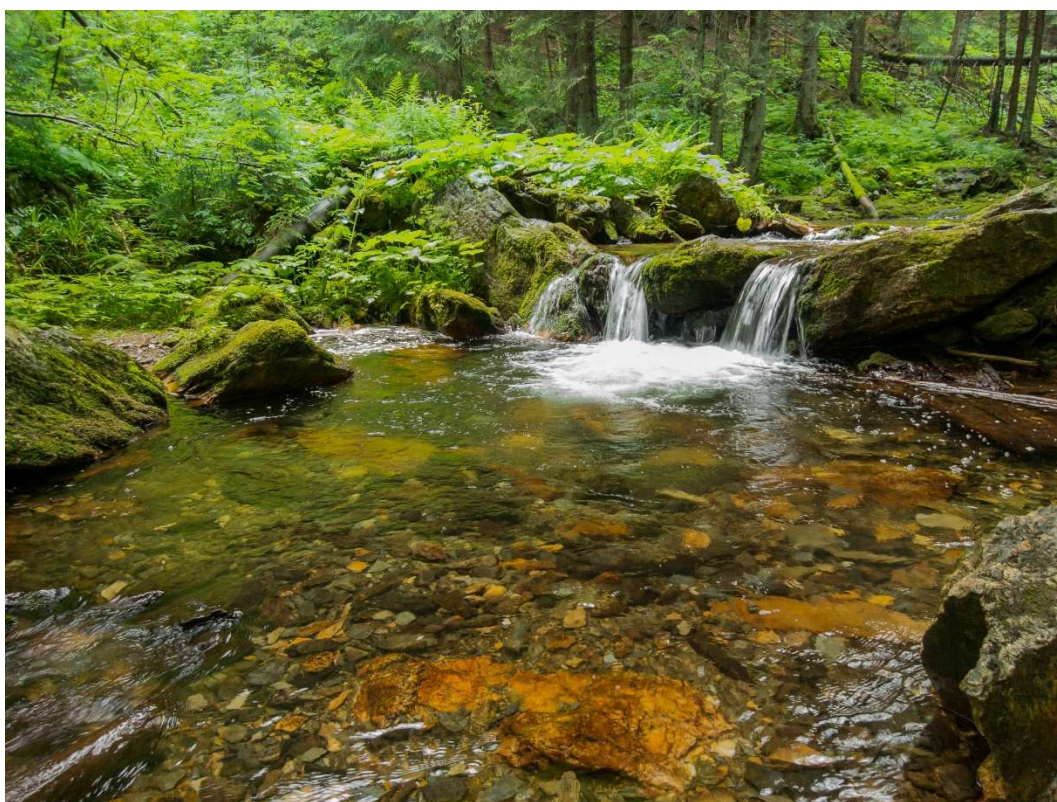


# ÚVOD DO HYDROBIOLOGIE



Ing. Miloslav Petrtýl, Ph.D.



## Obsah

<b>VODNÍ EKOSYSTÉMY A EKOLOGICKÁ HYDROBIOLOGIE .....</b>	<b>4</b>
1 Úvod do modulu .....	4
2 Abiotické parametry vodního prostředí .....	4
2.1 Fyzikální charakteristika vody .....	5
2.1.1 Oběh vody .....	5
2.1.2 Hustota .....	6
2.1.3 Viskozita.....	8
2.1.4 Teplota.....	8
2.1.5 Světlo .....	9
2.1.6 Adheze, koheze, povrchové napětí .....	12
2.1.7 Hydrostatický tlak.....	14
2.2 Chemická charakteristika vody .....	15
2.2.1 Reakce vody (pH).....	15
2.2.2 Redox potenciál .....	15
2.2.3 Elektrická vodivost vody .....	16
2.2.4 Voda jako rozpouštědlo.....	16
2.3 Koloběh základních prvků ve vodním prostředí.....	16
2.3.1 Kyslík.....	16
2.3.2 Uhlík a uhličitanový systém .....	18
2.3.3 Dusík .....	18
2.3.4 Fosfor.....	19
2.3.5 Vápník.....	20
2.3.6 Křemík.....	20
2.3.7 Železo .....	21
2.3.8 Síra .....	21
3 Lotický systém – tekoucí vody .....	22
3.1 Kategorie tekoucích vod .....	22
3.2 Specifika tekoucích vod.....	23
3.3 Biotopy a oživení tekoucích vod .....	24
3.4 Autotrofní organismy .....	26
3.5 Heterotrofní organismy .....	29
3.6 Adaptace organismů v tekoucích vodách .....	29
3.7 Látkový koloběh a změny společenstev v podélném profilu tekoucích vod .....	30
4 Lentický systém – stojaté vody .....	32
4.1 Kategorie stojatých vod .....	32
4.2 Biotopy a oživení stojatých vod .....	32
4.3 Adaptace organismů ve stojatých vodách .....	33
5 Mokřady.....	35
5.1 Kategorie mokřadů .....	35
6 Vliv člověka na kvalitu vody.....	38
6.1 Změny hydrologického režimu toků .....	38
6.2 Acidifikace .....	40
6.3 Eutrofizace .....	41

---

6.4	Znečištění.....	41
6.4.1	Látky způsobující plošné znečištění.....	41
6.4.2	Typy bodového znečištění.....	43
7	Mechanismy přirozeného čištění vod .....	44
8	Biologické hodnocení kvality vod .....	48
8.1	Indexy diverzity .....	48
8.2	Saprobní index .....	49
8.3	BMWP Score .....	51
8.4	Predikční systémy hodnocení .....	51
9	Biologická produktivita vod .....	53
9.1	Primární produkce .....	53
9.2	Sekundární produkce .....	55
10	Hydrobiologie v rybářství .....	58
10.1	Trofické vazby v rybničním prostředí.....	58
10.2	Struktura rybích obsádek.....	59
10.3	Biomanipulace ve vodním prostředí.....	60
11	Fotopříloha .....	62
	Použité zdroje.....	71
	Odborná literatura .....	71
	Internetové odkazy .....	72
	Právní předpisy a normy .....	72
	Doplňkové online zdroje informací.....	72

# Úvod do hydrobiologie

---

Ing. Miloslav Petrtýl, Ph.D.

## 1 Úvod

Text se zabývá charakteristikou vodního prostředí, distribucí energie, primární produkcí, koloběhem hlavních biogenních prvků a jejich sloučenin. Dále seznamuje s utvářením biocenóz vodních nádrží a přehledem hlavních zástupců vodní fauny a flóry. V neposlední řadě zahrnuje využití ekosystémů v hospodářské sféře – v rybníkářství, zemědělství, ochraně a tvorbě krajiny, včetně problémů které využívání vodních zdrojů člověkem přináší (acidifikace, eutrofizace, meliorace, atp.).

## 2 Abiotické parametry vodního prostředí

Co způsobuje, že voda má tak specifické chemické vlastnosti a je tak nezbytná pro život? Je to právě **vodíková vazba** (neboli hydrogenová vazba, vazba vodíkových můstků) mezi jednotlivými molekulami vody a dalšími látkami, která umožňuje existenci života.

Připomeňme si, že voda je polární molekula s pozitivním a negativním koncem. Když pozitivně nabitý konec jedné molekuly přitahuje negativně nabitý konec molekuly druhé, tvoří se vodíkové vazby. Proto jsou v tekuté vodě jednotlivé molekuly propojeny v rozsáhlé shluky. Tyto vazby vysvětlují několik důležitých vlastností vody, které se týkají teploty.

Voda je v rozsahu většiny teplot na naší zeměkouli v tekutém skupenství, protože odolává zahřívání – její teplota stoupá pomalu. Voda má **vysoký bod varu** (100 °C) a **nízký bod tuhnutí** (0 °C).

To je způsobeno tím, že tepelná energie dodaná vodě při ohřívání musí nejprve přetrhat vodíkové vazby mezi jejími molekulami, dříve než může zvýšit rychlost pohybu jednotlivých molekul vody a tak zvýšit její teplotu.

Schopnost vody odolávat zahřívání je důležitá pro živé organismy, protože pomáhá udržovat relativně stabilní externí i interní prostředí, které potřebují. Oceány, velká jezera a řeky mění svou teplotu jen pomalu, takže se vodní organismy nemusí potýkat s rychlými změnami svého životního prostředí. Skutečnost, že i samotné organismy jsou z 50–90 % tvořeny vodou znamená, že se teplota jejich těl (zejména u velkých druhů) také mění pomalu.

Protože teplota vody stoupá pomalu, vyžaduje vypařování (změna tekutého skupenství na plynné) velké množství tepelné energie. Jak se voda vypařuje, absorbuje ze svého okolí teplo, a tak je ochlazuje. Tato vlastnost umožňuje ochlazování živých organismů a také vysvětluje, proč mnoho savců (včetně nás samotných) má potní žlázy.

Konečně, voda má tendenci zůstat tekutá i proto, že složitá struktura pevné fáze (ledu) vyžaduje nejprve pevnou organizaci hydrogenových vazeb a to je možné teprve, když teplota klesne pod 0 °C (v případě sladké vody).

Vodíková vazba také vysvětluje mechanické vlastnosti vody, které jsou také nezbytné pro život. Molekuly vody vykazují **kohezi** – tendenci podobných molekul přilnout k sobě navzájem. Tato vzájemná přilnavost molekul vody vytváří na styku se vzduchem **povrchové napětí**, jehož výsledkem je elastická blanka na povrchu vodních kapek, na vodní hladině kde umožňuje pohyb vodních organismů (např. bruslařek a jiného hmyzu), a také např. vlhký povrch vnitřních struktur plic.

Vlastností molekul vody je i **adheze** – tendence nepodobných molekul přilnout k sobě (např. voda a papír, půda, sklo nebo buněčná stěna rostlinné buňky). Adheze spolu s kohezí odpovídají za **kapilaritu** – tendenci tekutin stoupat v úzkých prostorech, jako v případě vody, stoupající v kapilárách ve stoncích rostlin.

Vodíková vazba přispívá k tvorbě poměrně rigidní a otevřené molekulární struktury ledu, jejímž důsledkem má led menší hustotu než voda a plave na jejím povrchu. V zimě tak izoluje spodní vrstvy vodních toků a nádrží, které zůstávají tekuté a umožňují přežití vodních organismů.

Vodíková vazba rovněž pomáhá vysvětlovat její nejdůležitější chemickou vlastnost, a to schopnost rozpouštět jiné látky a působit tak jako **solvent**. S některými rozpuštěnými látkami vytváří voda vodíkové vazby – to je případ cukru, rozpouštěného v šálku čaje. U jiných rozpuštěných látek (např. solí) je úloha vody ještě podstatnější. Ionty, tvořící soli, ve vodě disociují a každá z nich je obklopena orientovaným shlukem vodních molekul.

## 2.1 Fyzikální charakteristika vody

### 2.1.1 Oběh vody

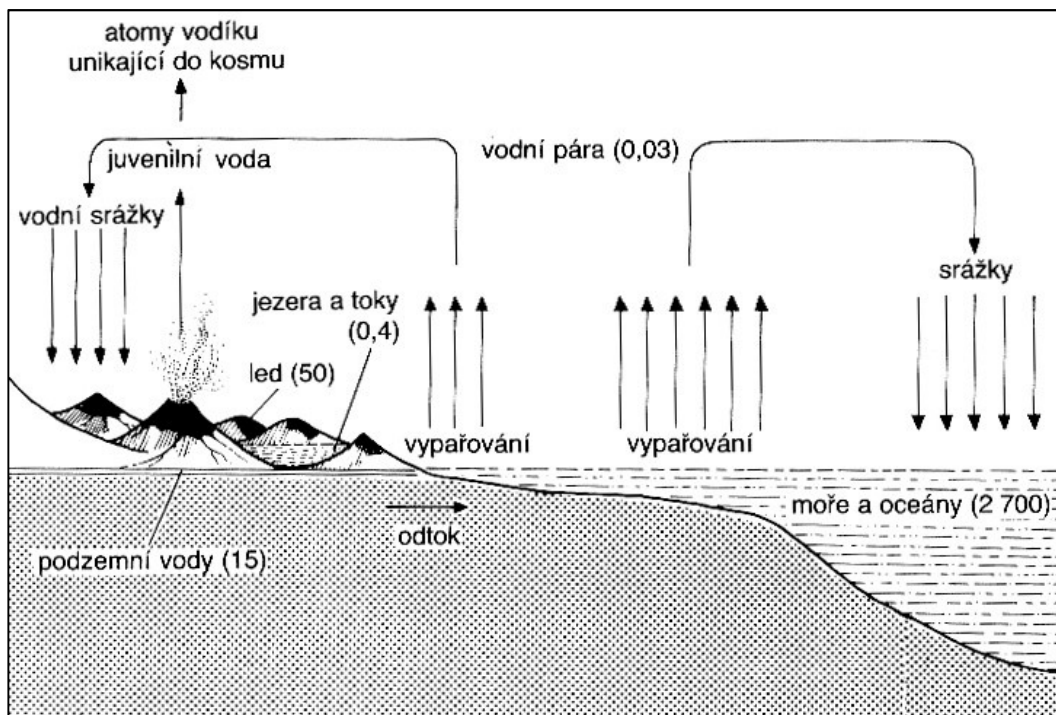
V atmosféře se vyskytuje voda ve všech třech skupenstvích, přičemž mezi aktivním povrchem a atmosférou probíhá neustálá výměna vláh. Do atmosféry se voda dostává převážně výparem z aktivního povrchu. V přírodních podmínkách rozlišujeme tzv. **evaporaci**, tj. výpar z neživého substrátu (například z půdy nebo vody), který je čistě fyzikálním procesem, a výpar z rostlinných orgánů, který je procesem fyziologickým a nazývá se **transpirace**.

Oba druhy výparu spojujeme pod pojmem výpar celkový (**evapotranspirace**). V našich klimatických podmínkách transpirace často výrazně převyšuje evaporaci (což svědčí o dostatečném množství biomasy v krajině – tato skutečnost je pozitivní). Výpar vyjadřujeme v meteorologii výškou vrstvy vypařené vody (v mm).

## Vodní bilance

Je rovnováha mezi příjmy a výdaji pevného, kapalného i plynného skupenství vody ve svislém sloupci půdy (vody, popřípadě ledu) sahajícím od povrchu až do hloubek, kde se za bilancovanou dobu nepozorují změny vlhkostí ve vertikálním směru. Voda získaná srážkami se vydává na odtok v řekách (na souši), na výpar, na změny zásoby vody v půdě, na přítok a odtok vody mořskými proudy (v oceánech).

Hydrologická bilance hodnotí změny zásob povrchové a podzemní vody způsobené časovou a prostorovou proměnlivostí přirozených vlivů, zejména klimatických činitelů a vytváří podklad pro hodnocení změn zásob vody, které jsou způsobeny užíváním vody nebo jinými antropogenními zásahy.



**Obrázek 1** Schéma hydrického cyklu s uvedením objemů -  $10^3 \cdot \text{km}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$   
(zdroj Lellák a Kubíček, 1992)

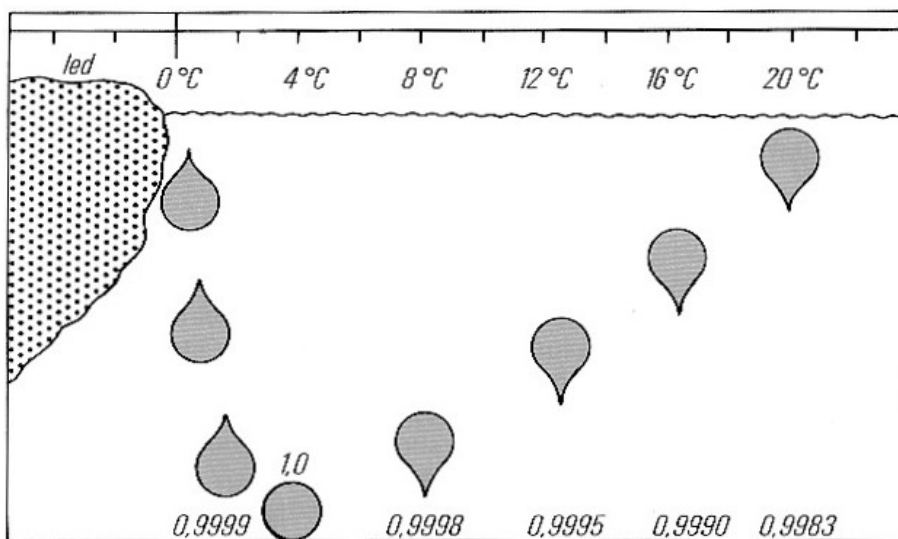
### 2.1.2 Hustota

Hustota vody (hmotnost/objem) je asi 775× větší než hustota vzduchu. Protože hustota živých organismů je podobná té vodní, slouží jako vhodné médium pro jejich nadnášení. Z tohoto důvodu velké vodní organismy nepotřebují silné stonky či kostry, nezbytné na souši. Volně plovoucí makrofyta jako např. okřehek, který najdeme na hladině rybníků a mokřadů, se nepotopí. Změny hustoty vody v závislosti na měnící se teplotě ovlivňují přímo i nepřímo jak živé organismy, tak další vznášející se částice.

Voda se liší od prakticky všech ostatních látek právě tím, že je hustější jako kapalná než jako pevná fáze a že má nejvyšší hustotu při teplotě 3,94 °C a ne při nule (za normálního atmosférického tlaku).

Tyto specifické vlastnosti se označují jako „**anomálie vody**“ a je jich značné množství. Za tuto odchylku jsou odpovědné dvě protichůdné síly. Vzdálenost mezi molekulami vody, stejně jako mezi molekulami všech ostatních kapalin a plynů, vzrůstá s rostoucí teplotou. Tento samotný fakt by měl za následek nejvyšší hustotu při 0 °C. Avšak druhý proces, kdy se při teplotě blížící se nule molekuly vody shlukují do struktur stále více připomínající led a vzdálenost jejich jednotlivých molekul neustále roste, by naopak přinesl při 0 °C nejnižší hustotu vody. Společným výsledkem těchto dvou procesů je nejvyšší hustota vody při 3,94 °C.

V průběhu přeměny vody v led při mrznutí se volná mřížka vodíkových vazeb, často pokroucených, přerušovaných či ohnutých, mění na pravidelnější krystalickou strukturu s molekulami uspořádanými do čtyřboké mřížky, která je udržuje dále od sebe než v případě kapalně fáze. Tato větší vzdálenost jednotlivých molekul způsobuje nižší hustotu ledu (0,917 g/cm<sup>3</sup>) oproti kapalně vodě zaručující, že led plave na hladině. Následkem toho organismy, žijící v hustší a teplejší vodě pod ledem, zůstávají chráněny v zimním období či polárních krajinách před mrazem. Tato pravidelná struktura je rozbita při tání, některé z vodíkových vazeb jsou opět přetrženy či ohnuty a molekuly vody se dostávají znovu blíže k sobě.



**Obrázek 2** Vztah mezi hustotou vody a její teplotou. (Zdroj: Reichholf, 1998)

Hustota klesá s rostoucí teplotou vody, ale v důsledku jejich nelineárního vztahu je relativní rozdíl hustot mezi např. 10 °C a 11 °C 12× větší než mezi 4 °C a 5 °C. Křivka této nelineární závislosti popisuje modely stratifikace (uspořádání vodní masy do vrstev s různou teplotou a hustotou), kterou můžeme pozorovat např. v jezerech. Tato stratifikace pak má za následek všechny související biologické jevy. Jen v relativně málo jezerech není možné pozorované rozdíly hustoty vody připsat změnám teploty, ale spíše jiným důvodům: např. značným rozdíly v salinitě mezi mnohem hustější slanou vodou v hlubších vrstvách, překrytých méně hustou vodou sladkou, nebo naopak vyšší hustotě vody obtížené

částicemi bahna z říčního přítoku. Teplota maximální hustoty vody klesá o přibližně 0,2 °C s nárůstem salinity o 1 g/l, a způsobuje snížení bodu mrznutí u mořské vody.

Zatímco teplota sladké vody za nejvyšší hustoty a při normálním atmosférickém tlaku je 3,94 °C, velký hydrostatický tlak ve velmi hlubokých jezerech je schopen snížit teplotu maximální hustoty vody asi o 0,1 °C na 100 m hloubky. Z tohoto důvodu by v jezeře Bajkal (max. hloubka 1741 m) byla za nepřítomnosti turbulencí očekávaná teplota u dna 2,2 °C. Protože ale k jistému promíchávání dochází, je skutečná teplota vody u dna Bajkalu 3,2 °C.

Snížení hustoty vody při přeměně na led s sebou přináší přibližně devítiprocentní nárůst objemu. Tento jev hraje významnou roli v procesu zvaném mrazové zvětrávání hornin. Voda, která se dostane do spár skály a tam zmrzne, způsobí mechanický rozpad horniny. Opakované namrzání a roztávání také učiní skálu náchylnější biologickému a chemickému zvětrávání, které následuje. Stejný proces je mimochodem zodpovědný za vznik děr ve vozovce během zimních měsíců. Tento jev je důležitý i pro živé organizmy, pro které tak zmrznutí představuje závažnou hrozbu v podobě mechanického poškození s ohledem na vysoký obsah vody ve tkáních.

### 2.1.3 Viskozita

Viskozita tekutiny je determinována snadností, se kterou se molekuly pohybují proti sobě navzájem a závisí na silách, které udržují molekuly pospolu (**koheze**).

**Dynamická viskozita** (vnitřní tření) charakterizuje odpor, který klade voda vlastnímu pohybu (toku) nebo jiné vzájemné změně částic vodní masy. Odpovídá síle potřebné v určitém médiu k posunu 1 kg za 1 s o 1 m.

Jednotkou je 1 Pa.s (pascal sekunda, 1 kg.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>). Viskozita vody je asi 100krát větší než viskozita vzduchu, a je ovlivňována teplotou. Se zvyšováním teploty vody viskozita klesá, a to mnohem rychleji ve srovnání s hustotou, takže při 25 °C je téměř poloviční proti viskozitě při 0 °C. Viskozitu nesmíme zaměňovat s hustotou. Oleje mají menší hustotu než voda, takže plavou na povrchu, ale viskozitu mají mnohem větší.

V teplé vodě se organismus pohybuje s menším výdejem energie, ale současně klesá (sedimentuje) rychleji než ve studené vodě. **Kinematická viskozita** prostředí je dána poměrem mezi viskozitou a hustotou. Udává se v jednotkách m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>.

### 2.1.4 Teplota

Voda má několik jedinečných tepelných vlastností, které dohromady působí, že se teplotní změny zmenšují na nejnižší možnou míru. Ke změnám teploty tak dochází ve vodě výrazně pomaleji než v atmosféře.

Voda v kapalném stavu má **velkou měrnou kapacitu**. K ohřátí 1 kg vody o 1 °C při 15 °C je třeba dodat 4,2 kJ. Vyšší hodnoty má jenom helium a vodík. Vysoké specifické teplo znamená, že ohřáté masy vody v nádržích působí jako akumulátor tepla, které je opět uvolněno do okolního prostředí při ochlazení. Voda se ohřívá v přírodě nejpomaleji



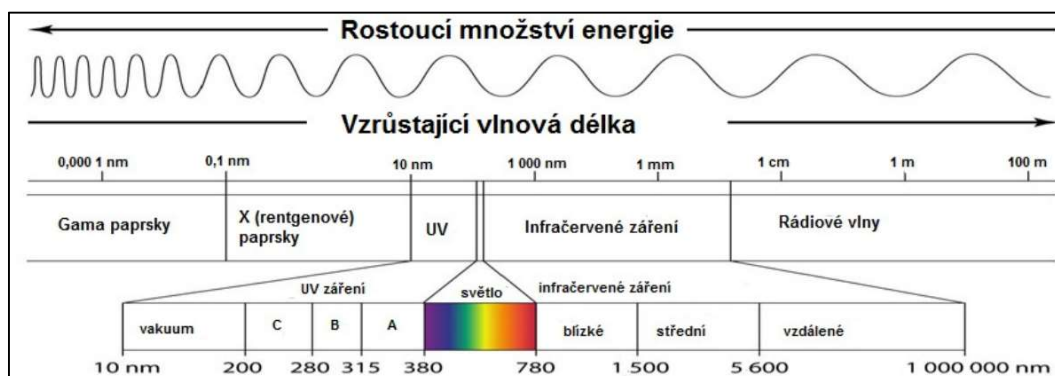
(na jaře), ale i nejpomaleji vychládá (na podzim). 1 m<sup>3</sup> vody při 30 °C drží v průměru 500× více tepla než stejný objem vzduchu při téže teplotě. Rozdíl nejnižší a nejvyšší teploty vzduchu během roku činí běžně 50 °C, zatímco u vody je sotva poloviční. Podobně je tomu i při kolísání teplot během dne a noci. Uvedené tepelné vlastnosti dodávají vodním biotopům vysokou tepelnou stabilitu a termickou kapacitu, účinně tlumící denní a sezónní kolísání teploty okolní atmosféry.

Voda má rovněž **vysoké skupenské teplo tuhnutí a varu**. Při přeměně 1 kg vody ze skupenství kapalného na pevné se uvolní 333,7 kJ. Totéž množství tepla musí být dodáno při tání 1 kg ledu. Mnohem vyšší je skupenské teplo varu, případně kondenzace vody. Pro přeměnu 1 kg vody v páru je nutno dodat 2255,5 kJ. Totéž množství tepelné energie se uvolní při kondenzaci 1 kg vody. Ochlazením vody o jeden stupeň tedy voda teoreticky ohřeje stejné množství vzduchu o 4 stupně. Molekulární přenos tepla vodou i na malé vzdálenosti je zcela bezvýznamný. Téměř veškerý přenos tepla ve vodních nádržích se proto uskutečňuje pohybem (prouděním) vody.

Ačkoliv je teplota vody méně proměnlivá než teplota vzduchu, je stále významným mezním činitelem. Teplotní tolerance organismů není konstantní a může být do jisté míry rozšířena adaptabilitou a aklimatizací. Podle ekologické valence rozeznáváme druhy **eurytermní** (např. štika obecná a okoun říční – dobře snášejí výrazné výkyvy teplot) a druhy **stenotermní** (pstruh obecný, fauna pelagiálu – jsou citlivé na větší výkyvy teplot).

## 2.1.5 Světlo

Světlo je část **elektromagnetického spektra**, které se chová nejen jako vlnové záření, ale i jako částice. Světlo, které člověk dokáže detekovat očima, označujeme jako viditelné světlo a jeho vlnová délka je mezi 380 a 750 nm. Veškerou elektromagnetickou radiaci můžeme charakterizovat vlnovou délkou a frekvencí.

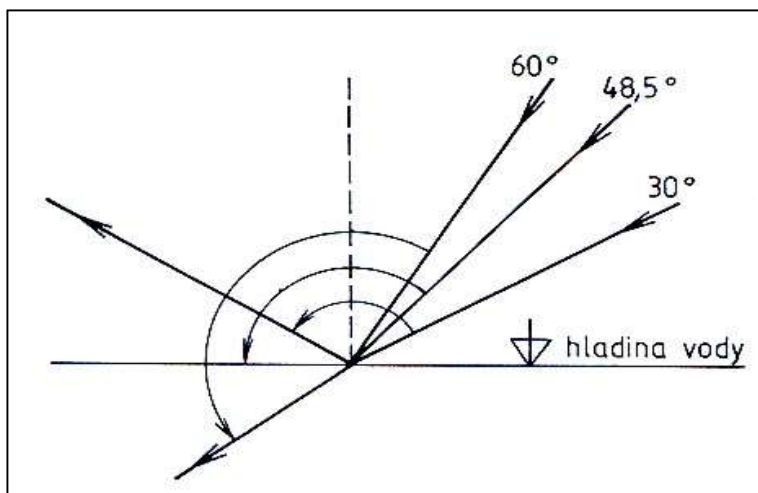


Obrázek 2 Složení světelného záření. (zdroj – upraveno podle <http://jabberwockreptiles.com>)

### Světlo nad a pod vodní hladinou

Přestože okolo 50 % záření, dopadajícího na hladinu vody, náleží do oblasti **fotosynteticky aktivního záření** (PAR), absolutní množství záření, které každý den v roce dopadá na hladinu určité vodní plochy, je nejvíce ovlivněno její zeměpisnou šířkou. Rozdíly v množství slunečního záření, které dopadne na akvatické systémy v různých zeměpisných

šířkách, jsou dány zejména rozdíly minimálního denního ozáření v zimním období; v letním období jsou rozdíly malé. Na místní a regionální úrovni ovlivňuje množství ozáření topografie okolní krajiny, atmosférické podmínky a zejména oblačnost. Její vliv nám dobře objasní hodnoty intenzity slunečního svitu, získané za zcela jasné a za zcela zatažené oblohy. Obloha zcela zatažená cirry nebo kumuly redukuje dopadající sluneční záření ve srovnání s jasným dnem o 35 %, respektive 25 %. Podobně zatažená obloha straty a nimby, nebo případně mlha, snižuje toto ozáření o 85 %, respektive o 75 %. Jezera a řeky



**Obrázek 3** Průnik slunečního světla do vody v závislosti na úhlu dopadu. Ráno, večer a v zimě odráží voda více světla (zdroj Wetzell, 2001).

v horských údolích nebo jezírka a malé toky obklopené vysokými stromy mohou být také významně zastíněné ve srovnání s nezastíněnou lokalitou.

### **Absorpce, transmise a rozptyl světla ve vodě**

PAR záření, vstupující do vody, je částečně absorbováno organickými částicemi a částečně **rozpuštěnými organickými látkami** (DOM – dissolved organic matter) a také velmi malými anorganickými částicemi bahna a jílu, splavenými z povodí. Tyto malé částice anorganického původu dominují v oblastech s vysokým stupněm zvětrávání a celoročně nízkými srážkami, kdy jsou řeky v období dešťů přímo nabity částicemi sedimentů, odnášenými z povrchu půdy. Část fotonů je po dopadu na takovou částici spíše rozptýlena, než absorbována. K dalšímu rozptylu dochází vlivem vlastních molekul vody a rozpuštěných anorganických látek.

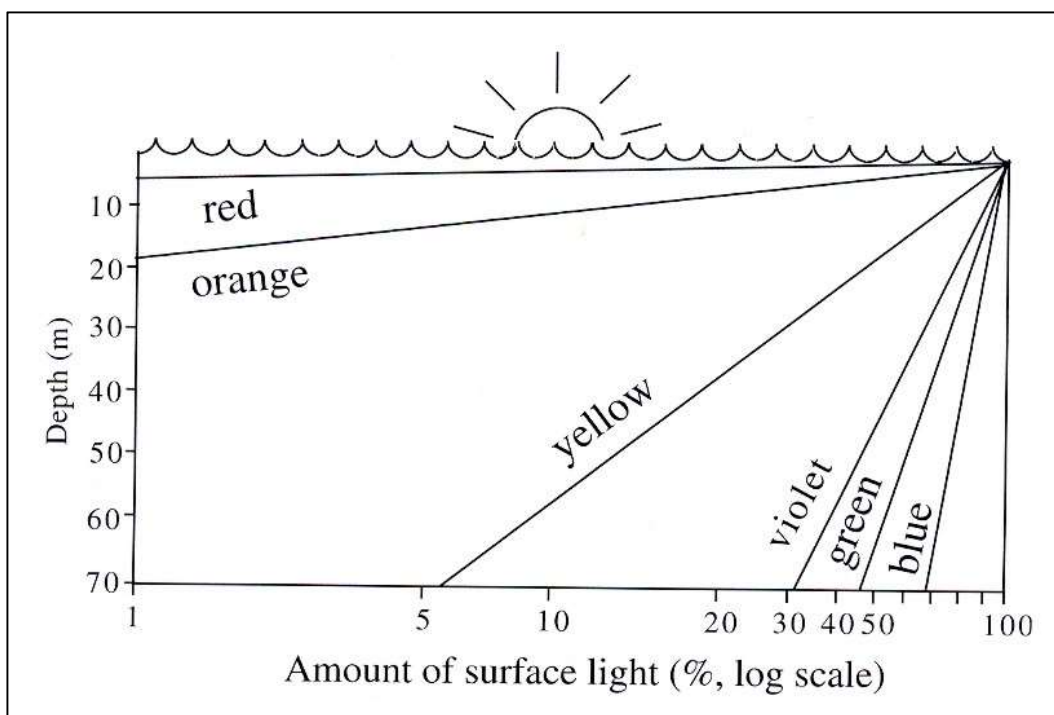
V těch nejprůhlednějších jezerech a na otevřeném moři, které jsou charakterizované velmi malým množstvím částic a téměř žádnými DOM, je červená část PAR spektra (600 až 700 nm) absorbována nejdříve, a tudíž tato část spektra neproniká hluboko. Opačná část PAR spektra, modré světlo a ještě kratší ultrafialové záření (UV, méně než 380 nm), je velmi rychle absorbován zejména barevnými DOM. Pouze u výjimečně průhledných jezer s minimem DOM dominují absorpci i této části spektra vlastní molekuly vody a rozpuštěné anorganické látky.

I když modré světlo prochází vysoce transparentní vodou nejlépe, je zároveň značně rozptylováno, protože rozptyl v čisté vodě je v negativní korelaci se čtvrtou mocninou vlnové délky  $(1/\lambda)^4$ , takže nejvíce náchylné na rozptyl je krátkovlnné modré a UV záření.

Molekuly vody rozptylují světlo ve všech směrech, a to, která se vrací zpět nahoru směrem k pozorovateli, je důvodem modré barvy vody těchto čistých jezer. I velmi malé množství zabarvujících DOM a organických částic velmi rychle absorbuje fotony modré části spektra a způsobuje, že vodou nejlépe prochází světlo zelené. To je pak následně rozptylováno a je důvodem pro zelenou barvu takovéto vody.

Ve vodě s obsahem humusových látek nebo ve vodě zakalené je krátkovlnné záření velmi rychle absorbováno a výsledkem je, že v tom malém množství záření, které proniká do větší hloubky, převládá záření o delší vlnové délce – oranžové a červené (přibližně nad 600 nm). Všudypřítomné a často velmi zabarvené DOM mají důležitý vliv na charakter světla prakticky ve všech jezerech. DOM, obsahující ze 40–50 % uhlík, můžeme také vyjadřovat jako **rozpuštěný organický uhlík** (DOC – dissolved organic carbon).

Zadržený podíl světla označujeme jako **extinkci**, podíl pronikajícího světla vodním sloupcem jako propustnost (**transmisi**). V terénních podmínkách lze změřit transmisi a vypočítat z ní extinkci příslušného systému. Intenzita ozáření v určité hloubce je závislá na množství dopadajícího světla a na extinkčním koeficientu.

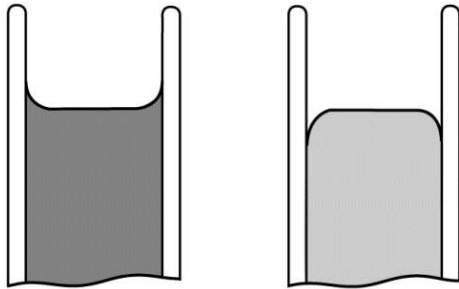


**Obrázek 4** Průchod jednotlivých částí viditelného spektra v závislosti na hloubce. (zdroj Kalff, 2002)

## 2.1.6 Adheze, koheze, povrchové napětí

### Hydrofobie a hydrofilie

Poměr mezi soudržnostmi molekul vody mezi sebou (**kohezí**) a jejich přilnavostí vůči pevným povrchům (**adhezí**) má pro vodní i suchozemské organismy řadu důležitých fyziologických a ekologických důsledků. Jak už bylo zmíněno v úvodu, tyto vlastnosti vody umožňují kapilární vztlínání vody, které je důležité jak pro transport vody v půdě, tak pro transport vody v rostlinách. V cévních svazcích vysokých dřevin se voda dokáže takto pohybovat desítky metrů proti gravitační síle.



**Obrázek 5** Rozdíl mezi povrchovým napětím vody (vlevo) a rtuti (vpravo) v kapiláře. (zdroj <http://hendrix2.uoregon.edu/>)

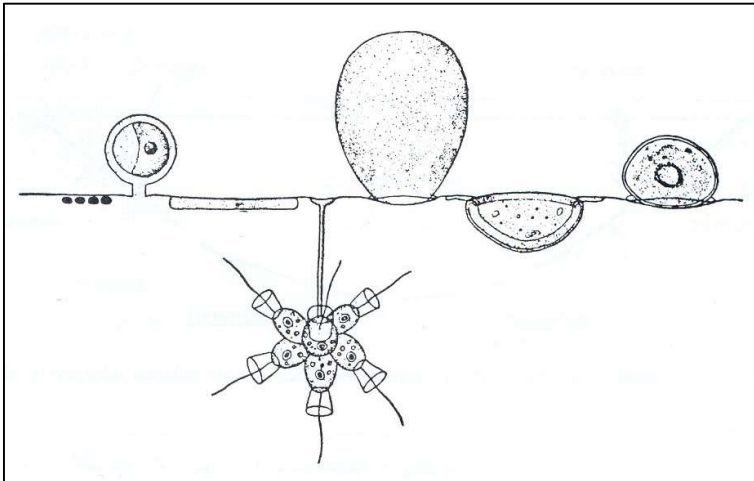
Je-li soudržnost molekul vody (koheze) větší než přilnavost (adheze) k určitému povrchu, jedná se o povrch nesmáčivý – **hydrofobní**. Hydrofobie povrchu těla je důležitá pro ty vodní živočichy, kteří dýchají atmosférický kyslík a alespoň občas na něm musí obnovovat rezervu vzduchu (např. vodouch stříbřitý, znakoplavka).

V opačném případě, kdy je adheze větší než koheze, je povrch smáčivý – **hydrofilní**. Druhou skupinu tvoří tedy vodní živočichové, kteří čerpají kyslík přímo z vody (např. vodní korýši, vířníci, žahavci, larvy vodního hmyzu). Snášivost či nesnášivost povrchu je významná i pro život přisedlých či parazitických organismů.

### Povrchové napětí

Voda má výjimečně vysoké povrchové napětí. Molekuly vody na rozhraní voda – vzduch ztrácejí potenciální vodíkové vazby směrem ke vzduchu a o to silněji jsou přitahovány k ostatním molekulám vody pod sebou. Koheze mezi molekulami vody vytváří na rozhraní voda – vzduch biologicky velmi důležité povrchové napětí, jehož výsledkem je elastická **povrchová blanka**. Na povrchovou blanku vody jsou vázány specificky adaptované organismy neustonů a pleustonů.

Mikroskopické vodní organismy neustonů využívají povrchovou blanku jako oporu buď ze svrchní strany – **epineuston** nebo ze spodní strany – **hyponeuston**. Neustonní druhy způsobují při masovém výskytu opalizaci hladiny a druhotně působí na výsledné zbarvení vodní hladiny.



**Obrázek 6** Příklady neustonných organismů  
(zdroj Lellák a Kubíček, 1992).

**Pleuston** tvoří organismy, využívající povrchovou blanku pouze jako podklad k pohybu, jako např. živočichové, kteří po povrchové blance pobíhají (ploštice rodu *Gerris*) – **epipleuston**, nebo naopak rejdí zcela ponořeni do vody (víník rodu *Gyrinus*) – **hypopleuston**. Zařadit zde můžeme i některé rostliny vázané na vodní hladinu (okřehek rodu *Lemna*). Některé druhy vodního hmyzu kladou na hladinu svá vajíčka (např. komáři rodu *Anopheles* nebo *Culex*, koretra *Chaoborus* aj.), které plavou na hladině až do vylíhnutí larev.

Povrchové napětí závisí podobně jako hustota a viskozita vody na teplotě a obsahu rozpuštěných látek ve vodě. Povrchové napětí je nepřímo úměrné teplotě vody a udává se obvykle milinewtonech nebo v newtonech na metr ( $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$ ,  $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ). Se stoupající teplotou se povrchové napětí zmenšuje, až konečně dosáhne nulové hodnoty při kritické teplotě (nejvyšší možná teplota varu kapaliny za příslušného tlaku), při níž končí existenční oblast kapaliny.

**Tabulka 1** Závislost povrchového napětí na teplotě vody. (zdroj Hartman et al., 2010)

Teplota vody °C	0	10	20	30
Povrchové napětí ( $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$ )	76,92	75,41	73,89	72,37

Voda má povrchové napětí vysoké i z praktického hlediska, proto využíváme při praní a mytí mýdla a jiné čisticí prostředky, které snižují povrchové napětí vody, a tím zlepšují její smáčecí a čisticí schopnost. Tyto **detergenty** snižují povrchové napětí tím, že zůstávají na hladině, silně kompetitivně k sobě přitahují povrchové molekuly vody a tak oslabují sílu vodíkové vazby k ostatním vodním molekulám, která způsobuje povrchové napětí.

### 2.1.7 Hydrostatický tlak

Tlak vody s hloubkou roste na každých 10 m 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 tlaku 40 MPa (hydrostatický tlak v hloubce 4000 m) 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, snášejí 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 měchýřem stejně jako u potápějících se ptáků a savců dochází při zvyšování tlaku k velkým změnám objemu vzduchu v souladu s jeho stlačitelností (podle **Boyle-Mariottova zákona**). V hloubce 10 m je objem vzduchu v plicích, nebo v plynovém měchýři stlačen na polovinu a ve 40 m 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** (kesonova nemoc).

Se zvyšujícím se tlakem se zvyšuje rozpustnost  $\text{CO}_2$ , což zvyšuje rozpustnost vápníku ve vodě a tím i stabilita systému uhličitan – hydrogenuhličitan. Hlubinní živočichové proto obtížně kryjí svou fyziologickou potřebu vápníku, což se projevuje redukcí jejich koster.

## 2.2 Chemická charakteristika vody

### 2.2.1 Reakce vody (pH)

Hodnota pH odráží relativní **aciditu** (nízké hodnoty) nebo **zásaditost** (vysoké hodnoty) roztoku, určené **záporným dekadickým logaritmem koncentrace hydrogenových iontů H<sup>+</sup>**.

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

H<sup>+</sup> koncentrace vodíkových iontů v roztoku v mol.l<sup>-1</sup>

Každá hodnota pH na stupnici od 1 do 14 se liší od svého souseda desetinásobně na negativní logaritmické škále: pH 6 má 10× větší koncentraci H<sup>+</sup> než pH 7; naopak pH 8 má 10× menší koncentraci. V chemicky čisté vodě je obsah iontů H<sup>+</sup> a OH<sup>-</sup> v rovnováze, a proto má voda neutrální reakci pH 7.

Povrchové vody s výjimkou rašelinišť mívají pH v rozmezí 6,5–8,3. Hodnota pH ve vodách má úzký vztah s probíhající fotosyntézou. Při intenzivní fotosyntéze se odčerpává oxid uhličitý, dochází k narušení uhličitano-vápenaté rovnováhy a hodnota pH se posouvá do alkalické oblasti (až na pH 11).

### 2.2.2 Redox potenciál

**Oxidačně-redukční potenciál** (ORP) je složený parametr celkové intenzity oxidačních nebo redukčních podmínek v systému a odráží stupeň vyváženosti mezi oxidačními a redukčními procesy.

**Reduktant** je sloučenina, která při reakci uvolňuje elektrony (je to **elektronový donor**) a sama se oxiduje, **oxidant** je naopak látka, která elektrony přijímá (**akceptor elektronů**) a sama se redukuje.

Na základě znalostí průměrného složení mořského fytoplanktonu, známého jako **Redfieldův poměr**, byla vytvořena rovnice. Tato rovnice je prezentována v jednoduchém atomárním poměru základních prvků 106C : 16N : 1P nebo úplněji 106C : 16N : 1P : 0,01 (Fe, Zn, Mn) : 0,001 (Cu, Mo, Co, atd.). Popisuje rovnováhu mezi fotosyntézou a respirací, která se mění diurnálně i sezónně, a která determinuje naměřený redox potenciál povrchové vody i sedimentů. Fotosyntéza převládá nad respirací v eutrofní zóně, kdežto respirace dominuje v afotické oblasti vodního sloupce a také v sedimentech; navíc v noci převládá respirace všude. Redoxní podmínky mají podstatný vliv na rozšíření živých organismů – od mikroorganismů až po ryby.

Redox potenciál vyjadřuje potenciál, na který se nabíjí kovová, nejčastěji platinová elektroda ponořená do roztoku s rozpuštěnými látkami v redukované nebo oxidované formě. Potenciál se vztahuje vůči potenciálu standardní vodíkové elektrody. V praxi je nezbytné odlišovat měření (stanovení) oxidačně-redukčního potenciálu od vlastního vyjadřování výsledků.

### 2.2.3 Elektrická vodivost vody

Destilovaná voda je prakticky nevodivá. Voda se stává vodivou pro elektrický proud vlivem rozpuštěných minerálních látek.

**Vodivost** je tedy kritériem pro posuzování koncentrace elektrolytů obsažených ve vodě, závisí na koncentraci iontů, jejich pohyblivosti a teplotě. Vodivost sice odpovídá koncentraci látek v roztoku, ale neumožňuje nám určení původu a druhu těchto látek. Jednotkou vodivosti je siemens (S), měrnou veličinou je **konduktivita** (měrná vodivost)  $k$ , jednotkou je  $S \cdot m^{-1}$  (v hydrochemii se nejčastěji užívá  $\mu S \cdot m^{-1}$ ).

### 2.2.4 Voda jako rozpouštědlo

Přesunutí náboje, která dává některé vlastnosti nabitého iontu v podstatě neiontové látce, přináší vodě její široké využití jako rozpouštědla (**solventu**). Proces rozpouštění vyžaduje chemickou přitažlivost mezi rozpouštědlem a rozpuštěnou látkou. **Polární solvent** tak nemůže rozpustit zcela neutrální látku a podobně **nepolární solvent** nerozpustí iontovou látku. Vzhledem k separaci náboje ve své molekule voda působí jako polární rozpouštědlo a atakuje iontové krystaly např. solí a převádí je do roztoku.

Polární vlastnosti molekuly vody a náboje dalších prvků tedy do značné míry určují rozpustnost látek. Odráží se to i ve výskytu anorganických látek ve vodě v přírodě, kdy nejčastěji nacházenými látkami jsou snadno rozpustné  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  a  $Cl^-$ .

Konečné složení vody je nicméně výsledkem i dostupností jednotlivých prvků v zemské kůře dané oblasti. Vzhledem k této limitaci téměř žádný ze snadno rozpustných prvků ve vodě nedosáhne saturace, s výjimkou podmínek velmi vysokého vypařování. Navíc ve směsi iontů může afinita jednoho k druhému přesáhnout jejich afinitu k molekulám vody a vést k **precipitaci** (vysrážení). Jako příklad lze uvést vápník a uhličitánovou skupinu, které jsou každá zvláště snadno rozpustné, ale při společném výskytu se snadno srážejí jako nerozpustný  $CaCO_3$ . Přírodní voda je následkem uvedených procesů velmi zředěný roztok iontů; sladká voda je naředěná více, naopak mořská je koncentrovanější v důsledku vypařování.

## 2.3 Koloběh základních prvků ve vodním prostředí

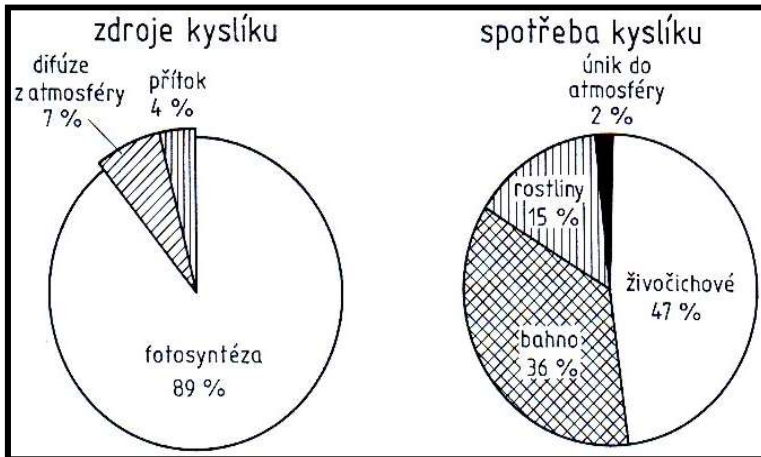
Pro plné pochopení dějů, které se dějí ve vodním prostředí je důležitá znalost koloběhů a cyklických změn u základních prvků a sloučenin, které do těchto dějů vstupují.

### 2.3.1 Kyslík

Vzájemným působením fyzikálních (teplota, tlak, proudění), chemických (vznik a přeměna sloučenin) a biologických (fotosyntéza, respirace) dějů dochází k neustálé změně množství kyslíku ve vodním prostředí. Relativní podíl kyslíku a dusíku ve vodě je 1 : 2, oproti atmosféře (1 : 5) je zde tedy tento poměr vyšší. Změnou množství světla a tlaku dochází

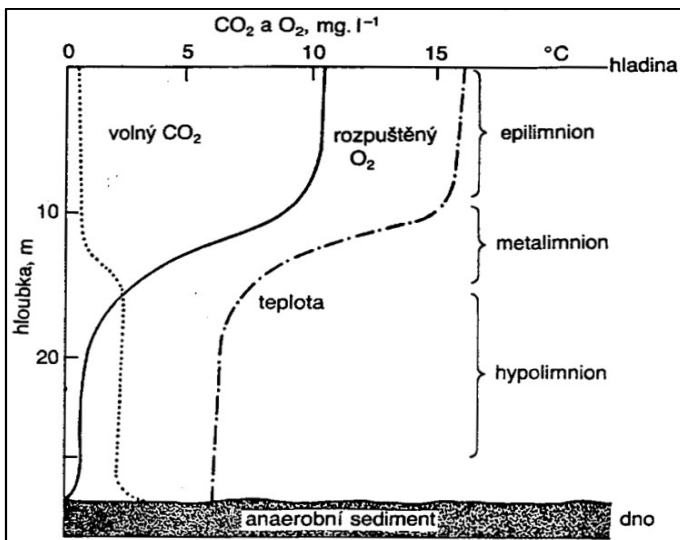


rozdílnou intenzitou fotosyntézy ve vodním sloupci k výrazné **stratifikaci**. Denní křivky kolísání kyslíkového režimu spolu s hodnotami  $\text{CO}_2$  a pH odráží stav fotosyntetické aktivity vodního ekosystému. Kyslík je kromě respirace živočichů a rostlin spotřebováván na rozklad (oxidaci, dekompozici) organického materiálu za pomoci mikroorganismů.



**Obrázek 7** Poměrové zastoupení a spektrum zdrojů kyslíku ve srovnání se spotřebou. (zdroj Lellák a Kubíček, 1992)

Kyslíkový režim je důležitým kritériem při hodnocení kvality vody. Pokud je při rozkladu organické hmoty spotřebován veškerý kyslík, dojde k přechodu na **anaerobní rozklad** (hnilobné procesy), při kterém se tvoří oxid uhličitý, metan či sirovodík. Část kyslíku se v podobě  $\text{CO}_2$  uvolňuje do atmosféry i hydrosféry. Část  $\text{O}_2$  a C je tak dlouhodobě vázána v korálových útesech a hlubokomořských sedimentech. Stabilita obsahu kyslíku v ekosystému je zajišťována fotosyntézou autotrofních organismů (zelené rostliny).

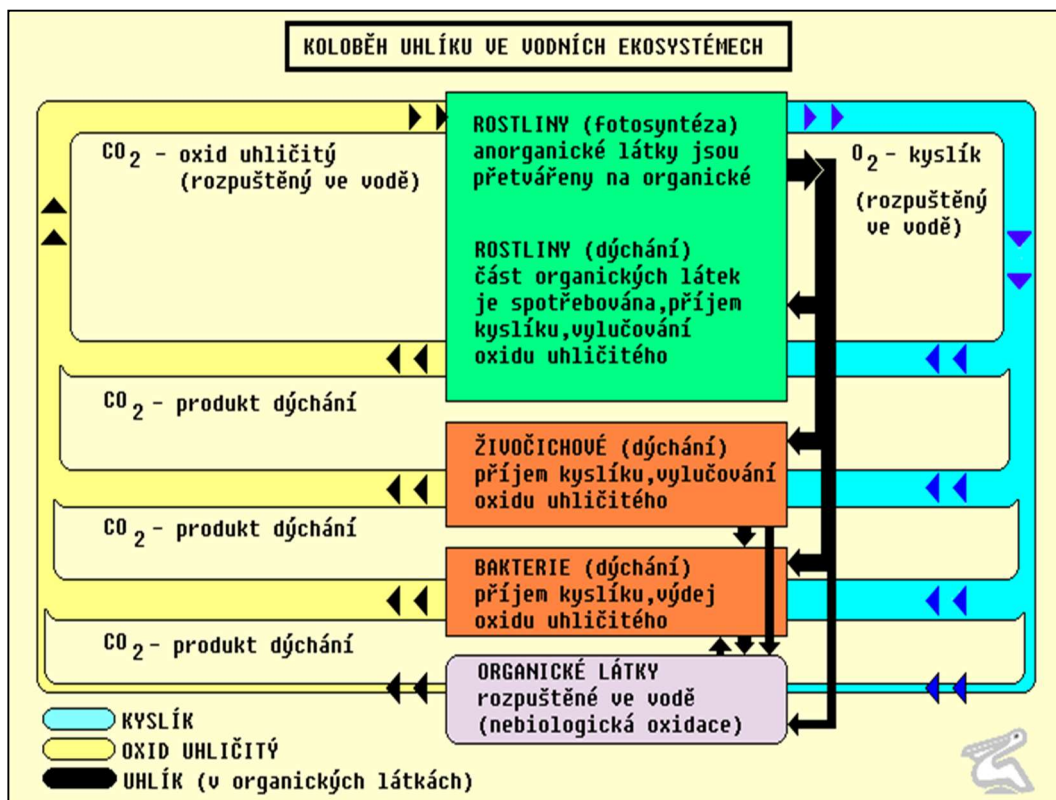


**Obrázek 8** Průběh vertikální stratifikace kyslíku, oxidu uhličitého a teploty v době letní stagnace (zdroj Lellák a Kubíček, 1992)

### 2.3.2 Uhlík a uhličitanový systém

Uhlík je základním „stavebním kamenem“ živé hmoty. Základní cyklus uhlíku začíná v atmosférickém rezervoáru v podobě  $\text{CO}_2$ , který odčerpávají primární producenti a předávají ho dále ke konzumentům. V plynné podobě je oxid uhličitý ve vodě asi 200x více rozpustný než kyslík.

Voda obsahuje při běžném tlaku a teplotě 0 C zhruba  $1 \text{ mg.l}^{-1} \text{ CO}_2$ . Rozpuštěný  $\text{CO}_2$  se slučuje s vodou na kyselinu uhličitou ve velmi malé koncentraci, což ovlivňuje hodnoty pH. Kyselina je částečně disociována na ionty  $\text{H}^+$  a hydrogenuhličitanové ionty ( $\text{HCO}_3^-$ ), které dále disociují na vodíkové a uhličitanové ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), což zvyšuje koncentraci  $\text{H}^+$  v roztoku. Větší část uhlíku je ve vodě přítomná ve formě rozpustných hydrogenuhličitanů ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ). Tuto formu mohou také řasy využívat jako zdroj uhlíku. Hodnoty  $\text{CO}_2$ , pH a alkality jsou provázané v rámci hydrogenuhličitan-uhličitanového systému. Denní výkyvy v množství  $\text{CO}_2$  jsou nejvíce působeny fotosyntézou rostlin odčerpávajících za světla  $\text{CO}_2$  a dýcháním rostlin i živočichů produkujících volný  $\text{CO}_2$  během tmy (noci).

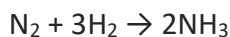


Obrázek 9 Zjednodušené schéma cyklu uhlíku (zdroj <http://planta.aquariana.cz>)

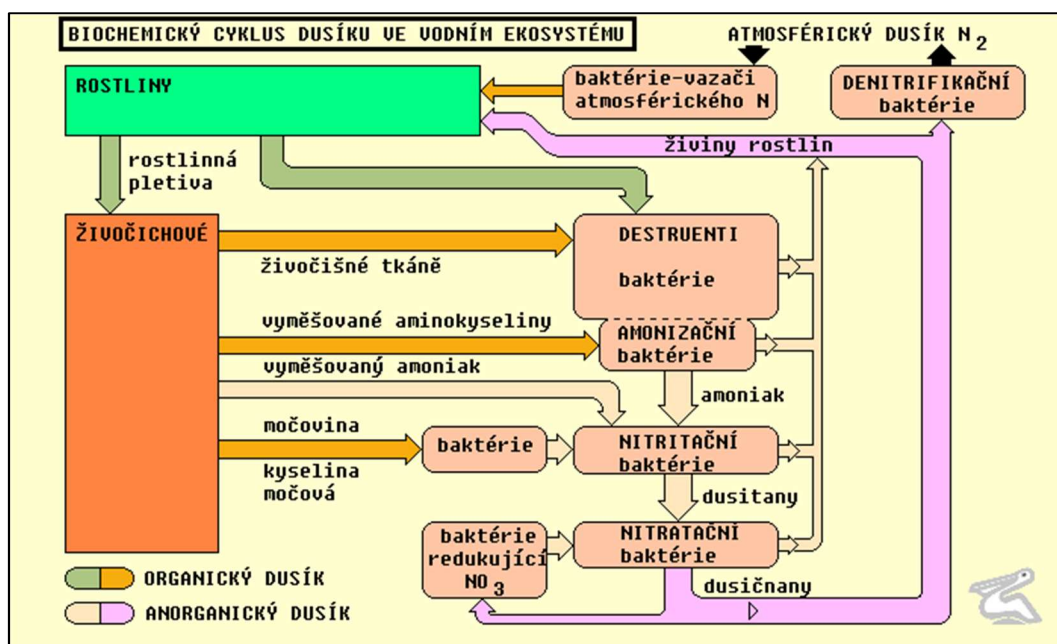
### 2.3.3 Dusík

Dusík patří k hlavním biogenním prvkům a je dominantní složkou atmosféry (79 %). S ohledem na pevnou trojnou vazbu v molekule  $\text{N}_2$  se dusík chová jako inertní plyn a většina autotrofních organismů jej není schopná v této podobě využít. Pro příjem je nejprve nutná přeměna na některou z běžných forem anorganické (amoniak, dusičnany, dusitany) či organické (močovina, proteiny) podobě. V půdě i vodě žijí organismy vybavené enzymem

**nitrogenázou**, který jim umožňuje vázat vzdušný dusík do tkání svých těl. Nitrogenáza redukuje trojnou vazbu  $N_2$  ve striktně anaerobním prostředí. Proto v rámci kolonií sinic dochází k fixaci dusíku ve speciálních buňkách, které se označují jako **heterocysty**. Mezi běžné vazače patří rody *Nostoc* či *Anabaena*.



Anorganický dusík, přijímaný producenty ve formě dusičnanů ( $NO_3$ ), je přeměňován na organickou formu v bílkovinách a nukleových kyselinách. Biomasou živočichů se část dusíku vrací do prostředí jak ve formě exkrečních produktů (amoniak, močovina, aminokyseliny a kyselina močová), tak ve formě rozkládajících se odumřelých těl. Organicky vázaný dusík je mineralizován činností rozkladačů na amoniak (**amonifikace**), ten může být využit autotrofními organismy jako zdroj dusíku, nebo je činností nitrifikačních bakterií přeměněn na dusitany (např. bakterie *Nitrosomonas*) a dále na dusičnany (bakterie *Nitrobacter*). Tento proces se označuje jako **nitrifikace**. Při nedostatku kyslíku ve vodním prostředí mohou některé bakterie (*Pseudomonas*) využívat dusičnany jako zdroje kyslíku. Redukcí dusičnanů na amoniak a plyný dusík dochází k jeho opětovnému uvolnění do atmosféry. Tento proces se označuje jako **denitrifikace**.

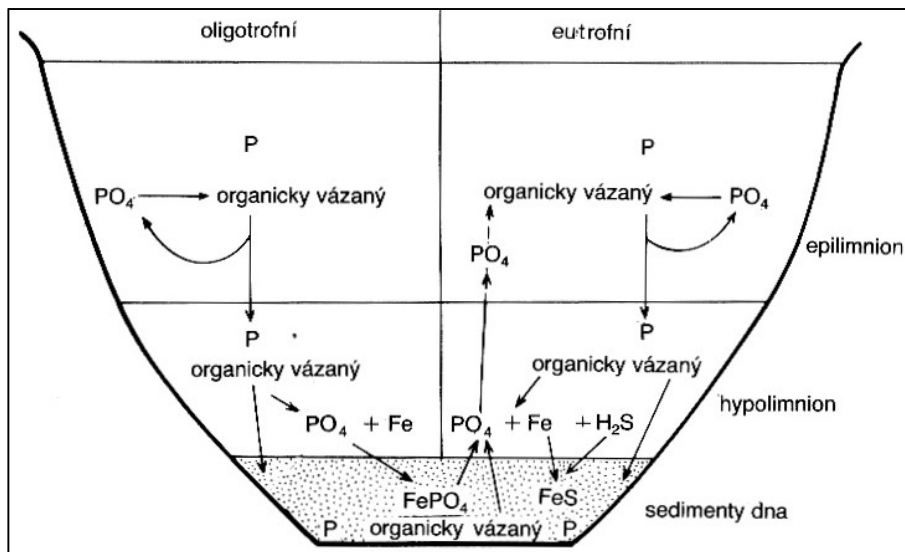


Obrázek 10 Zjednodušené schéma cyklu dusíku (zdroj <http://planta.aquariana.cz>)

### 2.3.4 Fosfor

Mimořádný význam má fosfor jako prvek, který je pro primární produkci autotrofních organismů většinou limitující. V živých organizmech je totiž jeho podíl vyšší (a stálý), než v prostředí, což je způsobeno sedimentárním cyklem, při kterém se velká část fosforu dlouhodobě ukládá (propadá) do sedimentů (významně např. na mořském dně). V přirozených povrchových vodách je poměr prvků zhruba **600 C : 20 N : 1 P**, kdežto ve tkáních rostlin je to **40 C : 7 N : 1 P**.

Hlavním zásobníkem jsou sedimenty a bazické horniny, jejichž součástí je apatit ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ). Ve vodním prostředí přijímají bakterie a fytoplankton fosfor ve formě rozpustných fosforečnanů. S jejich biomasou následně přechází do dalších částí potravního řetězce. Hlavní podíl na koloběhu fosforu v ekosystémech má látkový metabolismus organismů, s jejichž exkrety se dostává do prostředí. Sezónní kolísání množství fosforu ve vodě souvisí s dynamikou vývoje společenstev fytoplanktonu. Při jeho jarním maximu rozvoje dochází téměř k úplnému vyčerpání asimilovatelného fosfátu ve vodě. Do přirozeného koloběhu fosforu (a tím i biologických dějů) stále silněji vstupují lidské aktivity, díky kterým je prostředí o fosfor kontinuálně obohacováno. Důsledky tohoto navýšení (**eutrofizace**) jsou popsány v dalších kapitolách.



**Obrázek 11** Zjednodušené schéma cyklu fosforu v interakci se železem a sírou (zdroj Lellák a Kubíček, 1992)

### 2.3.5 Vápník

Tento prvek je hlavní složkou koster mnoha organismů i součástí opěrných struktur některých rostlin. Ve vodním prostředí má mimořádný význam v chemizmu vody, jelikož je součástí **pufračního systému**  $\text{CO}_2 - \text{HCO}_3^-$ , který stabilizuje výkyvy pH. Ve vodě se nejvíce vyskytuje ve formě iontů, částečně také ve formě vysráženého uhličitanu, především  $\text{CaCO}_3$ . Souvislost s fotosyntézou, teplotou a pH je vysvětlena v dalších kapitolách.

### 2.3.6 Křemík

Křemík se v prostředí obvykle nevyskytuje jako volný prvek, ale pouze jako sloučenina v koloidním či partikulovaném stavu, nebo jako rozpuštěné křemičitanu. Je důležitý převážně pro stavbu zkřemenělých membrán **rozsivek** (Diatomeae), což jsou autotrofní organismy (zástupci fytoplanktonu a fyto-bentosu), kteří mají tělo kryto dvojdílnou křemičitou schránkou. V nádržích, kde jsou rozsivky hlavním autotrofním organizmem, může hrát křemík roli limitujícího faktoru pro primární produkci. V tělech rozsivek je křemík

ukládán ve formě, která není snadno rozpustná a po jejich uhynutí mnohde tvoří mohutné usazeniny.

### 2.3.7 Železo

Důležitý prvek z hlediska enzymatických a metabolických procesů v živých organizmech. Je aktivní složkou červeného krevního barviva (**hemoglobin**) umožňujícího přenos kyslíku ve tkáních. S ohledem na kyslíkové poměry (převážně v sedimentu dna) dochází k přeměně z rozpustné dvojmocné formy ( $\text{Fe}^{2+}$ ) na nerozpustnou trojmocnou formu ( $\text{Fe}^{3+}$ ). V běžných podmínkách je tento systém v rovnováze. Při anaerobních podmínkách se železití ionty redukuje na více rozpustné železnaté ionty, které mění rovnováhu různých sloučenin železa. Tím v hypolimniu uvolňuje značné množství železnatých iontů do roztoku. Za aerobních podmínek dochází k vysrážení trojmocného železa ve formě hydroxiu železitého ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ). Pokud se však v hypolimniu vyskytují ionty fosfátového fosforu, může dojít k vysrážení obou těchto složek (při tvorbě  $\text{FePO}_4$ ). V mnoha jezerech mírného pásma toto vede k limitujícímu účinku fosforu na populace fytoplanktonu.

### 2.3.8 Síra

Síra se ve vodních ekosystémech většinou vyskytuje v dostatečném množství. Největší podíl tvoří síranový anion  $\text{SO}_4^{2-}$ . Při nízkých hodnotách pH se za anaerobních podmínek činností mikroorganismů uvolňuje ze sedimentů plynný sirovodík ( $\text{H}_2\text{S}$ ), což se projevuje typickým zápachem. V přirozeném koloběhu se většina síry dostává do vodního prostředí ve formě síranových aniontů, mokřím spadem z ovzduší a z geologického podloží povodí. I v případě síry dochází ke značnému ovlivnění přirozených koloběhů lidskou činností. Spalováním fosilních paliv (uhlí, nafta) se do ovzduší uvolňuje oxid siřičitý, který v reakci s vodou tvoří kyselinu siřičitou a kyselinu sírovou. Tyto sloučeniny jsou hlavní příčinou kyselých dešťů a následně mohou způsobit **acidifikaci** povrchových vod.

### 3 Lotický systém – tekoucí vody

Tekoucí vody zajišťují kombinací povrchového a podpovrchového odtoku hydrografické sítě odvodňování povodí. Vodní toky jsou charakterizovány přirozeně utvářeným korytem, které má různou délku a různý příčný i podélný profil s variabilními průtoky. Kromě přirozených vodních toků existují umělé toky (kanály, náhony, meliorační vodoteče, atp.) budované pro různé účely.

**V rámci hydroekologického hodnocení toků se obvykle sledují následující charakteristiky:**

- základní hydrologické parametry,
- morfologické parametry koryta,
- biologické parametry a oživení vod,
- parametry čistoty vody a kvalita povrchových vod.

Do hodnocení se toků se zahrnuje i příbřežní pásmo v šířce zpravidla 10–20 m od hrany koryta, vytvářející kolem toku biokoridor a nárazníkové pásmo.

#### 3.1 Kategorie tekoucích vod

Vodní toky se podle velikosti rozdělují na několik typů, nicméně hranice ani vztah mezi jednotlivými pojmy nejsou pevně dané a ani hydrologové je neužívají jednotně:

- bystřina – malý vodní tok se značným a proměnlivým sklonem dna,
- potok – menší vodní tok s vyrovnanějším a mírnějším sklonem,
- říčka – velikostní přechod mezi potokem a řekou,
- řeka – větší vodní tok,
- veletok – obvykle se vymezuje jako řeka alespoň 500 km dlouhá s plochou povodí alespoň 100 000 km<sup>2</sup>,
- průtok – spojnice mezi dvěma vodními útvary.

Bystřina je obvykle považována za typ potoka, říčka či veletok za typy řek. Pojem říčka je někdy ztotožňován s pojmem potok. Skutečnost, že vedle zdvojnásobení označení řeka existuje v některých jazycích pro potok i zvláštní slovo, je považována za doklad, že v chápání těchto vodních toků je rozdíl vnímán nejen jako kvantitativní, ale i jako kvalitativní. V češtině mají obvykle vodní toky vnímané historicky jako řeka nebo říčka název ženského rodu, potoky název mužského rodu.

Objektivním kritériem mohutnosti toku v určitém profilu toku a okamžiku je průtok. Pro charakteristiku toku v daném profilu se používají průměry průtoku za určité období, maximální a minimální průtoky za určité období atd. Průtočnost vodního toku v určitém místě udává průtočnou kapacitu koryta. Podle průměrné četnosti dosažení určitých průtoků se vypočítává a udává N-letý průtok (například stoletá voda).

Tok, který zpravidla nevysychá (zpravidla je napájen podzemními vodami), se označuje jako stálý tok. Občasným tokem se nazývá tok, v jehož přirozeném režimu jsou období, kdy bývá vyschlý.

## 3.2 Specifika tekoucích vod

Jednou ze základních charakteristik ovlivňujících pohyb vody v povrchových vodních útvarech je rychlost a směr proudění. Pohyb vody může být buď přímočarý (laminární, charakterizovaný proudnicí, fyzikálně vyjádřený vektorem), nebo turbulentní (všesměrné proudění, charakterizované jako vířivý pohyb, který nelze vyjádřit vektorem). Nejčastěji se v tocích vyskytuje turbulentní pohyb vody. V příčném profilu vodního toku se kombinací těchto typů vytváří šroubovitý tvar pohybu vody.

Kombinace všech typů proudění v toku způsobuje podle konkrétních podmínek (sklon, substrát, morfologie toku, atp.) různou míru eroze, sedimentace a modelování průběhu toku v rámci říční krajiny.

### Ostatní hydrometrické parametry:

Specifický odtok –  $q$

- množství vody odtékající za časovou jednotku z plochy povodí. Jednotka:  $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$   
(řeky ČR běžně 5–20  $l \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$ )

Průtok –  $Q$

- množství vody, které proteče daným příčným profilem za sekundu
- Udává se denní, měsíční, roční nebo víceletý průměr

m-denní voda –  $Q_m l \cdot s^{-1}$

- pravděpodobný průtok dosažený po m dnů v roce
- „kolik dní v roce je pravděpodobné, že bude aspoň takovýto průtok“

n-letá voda –  $Q_n m^3 \cdot s^{-1}$

- maximální průtok v daném profilu za „n“ let ( $Q_{10}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{100}$ )

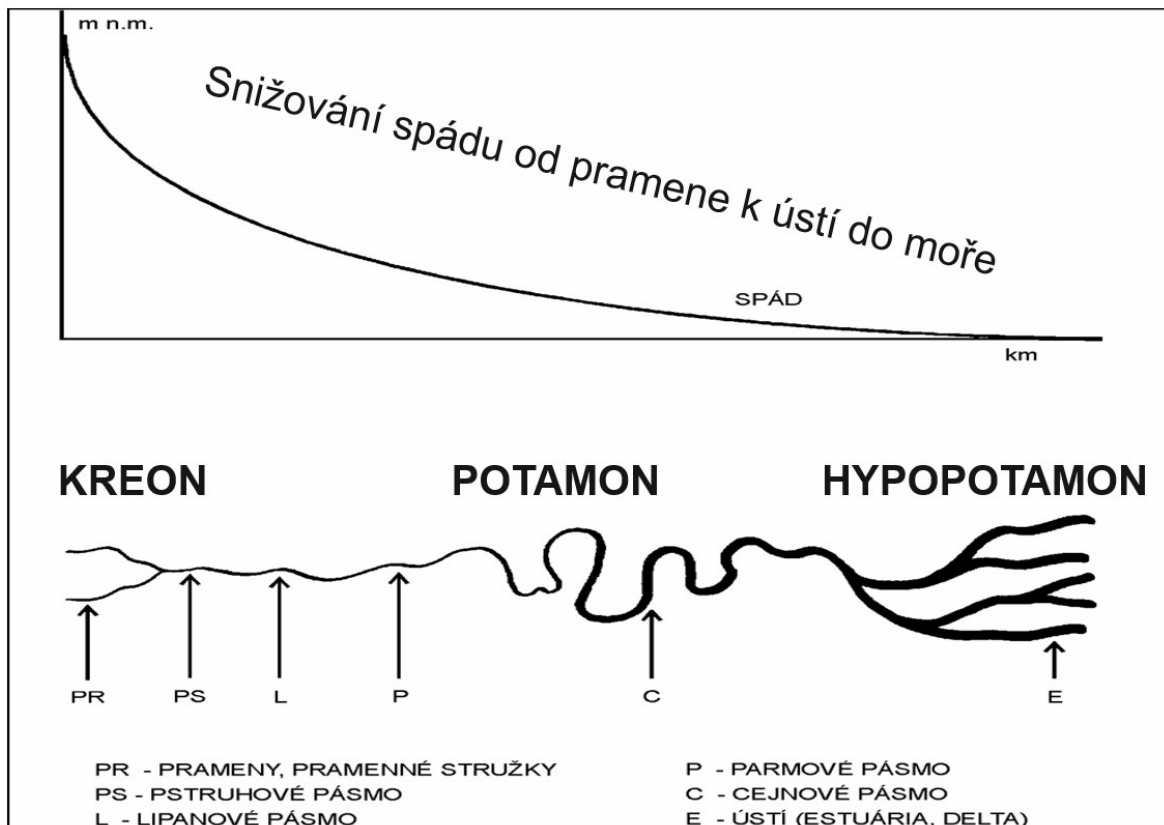
Vodnost

- velikost průtoku z dlouhodobého hlediska

### Morfologické parametry koryta

Horní pramenné části vodních toků (**kreon**) jsou charakteristické svou polohou ve vyšší nadmořské výšce. Díky tomu mají toky větší sklon, při kterém převažující turbulentní proudění více podporuje erozi nad sedimentací. V těchto částech bývají toky často zaříznuté v úzkém korytě, které má na příčném řezu tvar písmene „V“. Čím více se posouváme do nižších poloh, snižuje se sklon terénu, zpomaluje se proudění toku (turbulentní proudění přechází na laminární) a dochází ke změně morfologie toku s tvorbou neckovitých údolí. V nižších polohách s menším sklonem terénu tvoří toky v přirozeném prostředí meandry. V této střední části toku, označované jako **potamon**, dochází k vyrovnávání intenzity eroze a sedimentace. Koncové nížinné úseky řek (**hypopotamon**) vytvářejí úvalovitá údolí, kde je říční koryto výrazně zasedimentováno. Vzniká tzv.

**anastomózní tok**, kdy dochází k rozvětvení na vedlejší ramena, kde převládá sedimentace nad erozí, vznikají ostrůvky tvořené jemnými sedimenty tvořící spolu s propletenci ramen



**Obrázek 12** Typické změny morfologie toku v podélném profilu od pramene k deltě. (zdroj Štěrba, 1986)

řiční deltu.

### Hlavní rysy tekoucích vod – rozdíly oproti stojatým vodám

- pohyb vody především díky spádu (g),
- větší kolísání hladiny (větší riziko povodní a silné narušení bioty, disturbancí),
- jednosměrný pohyb – specifická sedimentace,
- kratší doba zdržení (dny, max. týdny), ve stojaté vodě i roky,
- relativně mělké,
- většinou nedochází k teplotní stratifikaci,
- vyšší množství organických látek,
- vyšší koncentrace živin, dochází k jejich menšímu zadržování v sedimentu,
- vyšší zakalení vody,
- distribuce kyslíku malé toky přes 100 % nasycení.

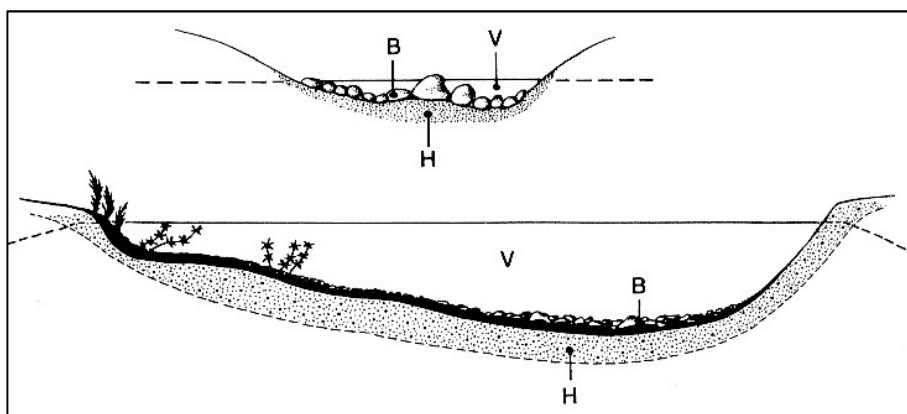
### 3.3 Biotopy a oživení tekoucích vod

Na příčném řezu vodním tokem lze rozlišit tři základní biotopy:

- Reopelagiál – volná voda v řece,
- Bentál – oblast říčního dna,
- Hyporeál – substrát pod říčním dnem.



**Reopelagiál** je oblast volné tekoucí vody, kde je velmi časté turbulentní proudění a tudíž se zde nevyskytují planktonní organismy ve stejném složení a množství jako ve stojatých vodách. Plankton představuje společenstvo organismů, kteří se pasivně vznášejí a používají jednoduché pohybové orgány. Nedokáží však aktivním pohybem překonávat rychlejší proud. Organismy jsou ke vznášení ve vodě přizpůsobeny různými adaptacemi, k nimž patří malé tělesné rozměry, častý kulovitý tvar. Klesání ve vodním sloupci lze zpomalit například tím, že se hustota těla blíží hustotě vody. Častá je přítomnost plynových vakuol, tukových nebo olejových krůpějí či slizovitých obalů. Jednoduché pohybové orgány (bičíky, chlupy, tykadla) naopak slouží ke kompenzačnímu pohybu směrem vzhůru a částečně i proti proudu.



**Obrázek 13** Schéma říčního profilu horního a dolního úseku toku:  
V – pelagiál, B – bentál, H – Hyporeál (zdroj Lellák a Kubiček, 1992)

**Reoplankton** tekoucích vod tvoří vlastní plankton a dále organismy stržené ze břehů, anebo uvolněné ze dna. Jedná se o mikroorganismy, fytoplankton (sinice, rozsivky, atp.) a zooplankton – prvoci (kryténky, nálevníci, bičíkovci), vířníci, korýši.

Z důvodu variability abiotických podmínek prostředí je společenstvo reoplanktonu velmi proměnlivé v podélném i příčném profilu toku i v průběhu ročních období. Část organismů, které jsou volně unášeny proudem a nedokáží se na jednom místě ustálit a cyklicky množit označujeme jako drift. Patří sem hlavně hmyz dočasně žijící ve vodním prostředí, jehož dospělci mají terestrickou fázi života, vylétávají z vody, mohou po souši aktivně migrovat proti proudu vody a opětovně klást svá vajíčka do vodního prostředí výše v toku. Tento jev se označuje jako protiproudá migrace a vajíčka či larvy vodního hmyzu tvoří emergentní drift. Tímto způsobem se i horní části toků se silným prouděním udržují osídlené určitými skupinami organismů.

Větší organismy, které dovedou aktivně překonávat proudění, označujeme jako **nekton**. Sem řadíme hlavně rybovitě obratlovce a dále některé korýše a obojživelníky. Výskyt těchto organismů v tekoucích vodách je výrazně ovlivněn kolísáním průtoku a výskytem příčných překážek v toku (jezy, přehrad).

**Bentál** je oblast dna definovaná výrazně nižší rychlostí proudění vody, menším množstvím světla a přítomností substrátu, jehož hrubost/jemnost se odvíjí od morfologie konkrétního

úseku toku převážně s ohledem na rychlost proudění vody. Organismy žijící v tomto habitatu označujeme jako **bentos** (jsou fyzicky vázané na pevný podklad).

Bentos můžeme kategorizovat podle velikosti, příslušnosti k taxonomické skupině či z pohledu délky života ve vodním prostředí. Hlavními složkami tak jsou mikroorganismy (houby, bakterie), fyto-bentos (řasy, sinice, mechorosty, cévnaté rostliny) a zoobentos (vyšší organismy s dočasným či trvalým pobytem ve vodním prostředí).

S ohledem na výše zmíněnou variabilitu substrátu dna jsou velmi variabilní i společenstva organismů, která zde žijí. V příčném i podélném profilu tekoucích vod dochází díky různé intenzitě proudění k výskytu převažující hrubosti substrátu od velkých balvanů, přes štěrky a písek až k jemným sedimentům a bahnu. Většina organismů je přizpůsobena určitému rozpětí hrubosti substrátu a z toho pohledu je můžeme rozdělovat na organismy **lithoreofilní** (kamení), **psammoreofilní** (písek), **pelloreofilní** (bahno), **argiloreofilní** (hlína).

Vodní prostředí má trojrozměrnou strukturu a jednotlivé organismy mají odlišné preference k životnímu prostředí. Vertikální i horizontální členění společenstev vodních organismů tak bývá srovnatelné mezi různými lokalitami podobného typu:

- povrch kamenů – jepice, muchničky, chrostíci,
- pod kameny – houby, pijavice, plži, blešivci, berušky,
- písčité dno – někteří chrostíci, tento habitat je druhově i množstvím biomasy nejchudší,
- jemný sediment – larvy pakomárů, nitěnky, mlži.

Podříční dno, tzv. **hyporeál** je hlubší vrstva dna s infiltrovanou říční vodou pod aktivním tokem, která je trvale oživena bentickými organismy až do hloubky několika metrů. Pro oživení tohoto subsystému je důležitá pórovitost a propustnost materiálu dna v závislosti na horninovém původu a tvaru a velikosti částic. Látková výměna s prostředím volné vody a atmosférou je zde značně snížena. Vertikální variabilita je značná již v rozmezí několika centimetrů či decimetrů. Společenstvo zde žijících organismů označujeme jako **hyporeos**.

### 3.4 Autotrofní organismy

Na pomyslném počátku potravního řetězce stojí autotrofní organismy, tedy takové, které dokážou přeměňovat anorganický uhlík na organický, přičemž hlavním zdrojem energie nutné pro tuto přeměnu je sluneční záření.

V prostředí tekoucích vod rozlišujeme tři základní skupiny autotrofních organismů:

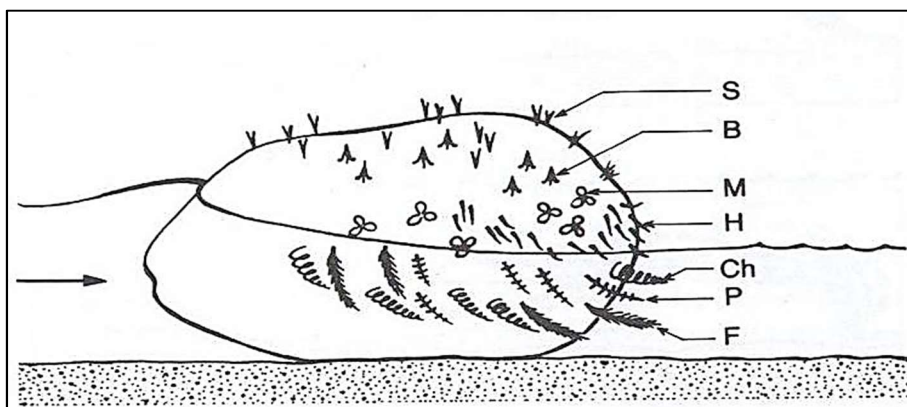
- perifyton,
- říční fytoplankton,
- makrofyta.

Výskyt a poměrné zastoupení těchto tří odlišných skupin primárních producentů se značně mění s ohledem na konkrétní část toku a podmínky, které zde panují.

## Perifyton

Společenství tvořící komplexní matici autotrofních a heterotrofních mikroorganismů, která je přichycena na různých površích a substrátech. Nacházíme jej prakticky ve všech vodních ekosystémech, ale zejména je častý na dně potoků a říček. Je důležitou součástí potravy pro bezobratlé a některé ryby, a může také fungovat jako důležitý **sorbant** kontaminujících látek.

Perifyton se skládá z množství rozsivek, zelených řas, sinic a několika dalších skupin organismů, a nachází se prakticky na každém podkladu v tekoucí vodě, včetně kamenů (epilitické formy), měkkých sedimentů dna (epipelické formy, bentos) a makrofyty (epifytické formy). Naprostá většina druhů perifytonu patří mezi rozsivky, běžné jsou však také zelené řasy a sinice, které mohou za určitých podmínek i dominovat. Druhové složení perifytonu se v tocích mírného pásma mění poměrně pravidelně podle ročního období. Během zimy, jara a časného léta typicky dominují rozsivky. Složení jejich druhů se během tohoto období mění a jejich největší celkové množství bývá většinou na jaře, kdy je intenzita světla už dostatečně vysoká a ještě nejsou vyvinuty listy stínící pobřežní vegetace. Populace zelených řas a sinic narůstají během léta, ale to celková biomasa bentických autotrofů klesá kvůli zvětšujícímu se zastínění, a krátce stoupne zase až na podzim. Sinice obvykle rostou jako epilitické a epipelické, mezi epifyty převládají spíše rozsivky a zelené řasy.



**Obrázek 14** Rozmístění řas a mechů na podle specifických druhových preferencí v toku:

P – *Platyhypnidium*, S – *Schistidium*, B – *Brachythecum*, M – *Madotheca*,  
H – *Hygroamblystegnum*, Ch – *Chiloscypus*, F – *Fontinalis*. (zdroj Lellák a Kubiček, 1992)

Množství perifytonu se mění jak sezónně, tak prostorově, a to díky mnoha faktorům, z nichž každý může být za určitých podmínek ten nejpodstatnější a převládající. Vysoký průtok často omezuje růst perifytonu na klidnější období tím, že strhává organismy, převrací kameny a obrušuje povrchy. Světlo může být limitujícím faktorem zejména v potocích pod hustými korunami stromů v lese. Stále více se ukazuje, že velmi běžná je limitace živinami, nejčastěji nedostatkem fosforu. Malí autotrofové jsou také často konzumováni herbivory a spásání pro ně může znamenat značné ztráty produkce.

## **Fytoplankton**

Zde jsou zahrnuty buňky a kolonie malých autotrofních organismů vznášejících se ve vodním sloupci. Tvoří populace schopné samostatné existence jen za určitých podmínek, které se obvykle nacházejí ve velkých nížinných tocích. První z nich je, aby čas, po který zůstává plankton na určitém místě toku, byl dostatečně dlouhý na to, aby produkce biomasy byla větší než její odnos proudem. Živiny obvykle netvoří limitující faktor říčního planktonu, kterým však často bývá světlo, a to všude tam, kde je proud dostatečně pomalý, aby umožňoval bohatý rozkvět fytoplanktonu. Hloubka, do které světlo proniká, je obvykle mnohem menší než hloubka těchto velkých kalných řek, a protože je vodní sloupec obvykle velmi dobře promíchán, nachází se fytoplankton po většinu času v podmínkách nedostatečného nebo dokonce nulového osvětlení. V reálné situaci může být čas vhodný pro fotosyntézu fytoplanktonu tak krátký, že by jeho populace v toku nemohly přežít bez přispění mělkých oblastí, zátok nebo záplavových jezírek. Ve srovnání se stojatou vodou, obsahující přibližně stejné množství živin, je biomasa říčního fytoplanktonu vždy podstatně menší. Také se zdá, přestože naše znalosti jsou v této oblasti skrovné, že ani spásání fytoplanktonu není silným limitujícím faktorem. Na rozdíl od stojatých vod, kde je fytoplankton obvykle limitován určitou kombinací omezených zásob živin a spásání, jsou tedy v řekách tyto faktory mnohem méně důležité. Současné poznatky naznačují, že dominujícím osudem produkce fytoplanktonu je spíše odnos proudem, než její přeměna na místě vzniku.

## **Makrofyta**

Do této skupiny patří některé velké řasy, mechy a cévnaté rostliny, se nacházejí v tekoucích vodách obvykle jen tam, kde není ani velká hloubka, ani proud. Středně veliké řeky, kanály a okraje řek dokáží podporovat jejich největší biomasu. Rozlišujeme čtyři hlavní skupiny makrofyt podle růstové formy: emerzní formy v blízkosti břehů a na mělčinách, druhy s plovoucími listy na okrajích pomalu tekoucích řek, volně plovoucí rostliny, jaké například nacházíme ve velkých shlučích ve velkých tropických řekách, a submerzní druhy, které se přichycují k podkladu. Délka období růstu, množství světla a rychlost proudu jsou pro vodní makrofyta hlavními limitujícími faktory, jak je identifikuje Westlake (1975). Zastínění okolní vegetací snižuje osvětlení hladiny toku o 35–95 % a může způsobit naprosté vymizení mechorostů. Zakalení vody, v kombinaci se zastíněním a druhově specifickými požadavky na množství světla, mohou inhibovat růst makrofyt v hlubších úsecích řeky. Úspěšné přežívání populací makrofyt v silném proudu je umožněno několika adaptacemi. Většinu druhů lotických makrofyt charakterizují pevné a pružné stonky a listy, přichycení se přídatnými kořeny, oddenky a šlahouny, a vegetativní rozmnožování (Hynes, 1970; Westlake, 1975). Spásání živých rostlin má ve většině případů jen malý vliv, a většina produkce se po odumření rostlin dostává mezi detrit. Kromě mechorostů většina vodních makrofyt v zimě ve vodním sloupci odumírá.

### 3.5 Heterotrofní organismy

Zahrnují veškeré druhy bez samostatné schopnosti přeměňovat anorganické uhlíkaté zdroje na organické, jsou tedy zcela závislé na primární produkci vytvořené autotrofními organismy.

V tekoucích systémech dochází k významnému přísunu organických látek z externích vstupů (opad listů, smyvy půdy při deštích, atp.). Zvláště u menších lesních toků tvoří opad listů a jiných částí rostlin důležitou složku potravní sítě.

Lotické ekosystémy tak získávají energii z primární produkce vodních rostlin a zároveň z neživé organické hmoty, vzniklé jak v toku, tak mimo něj.

Na tyto primární zdroje energie a organické produkce navazují konzumenti, kteří mohou být zařazeni do jedné z funkčních skupin. Skupiny zahrnují druhy, které přijímají stejnou potravu nebo ty druhy, které přijímají podobnou potravu stejným způsobem (jako například ti, kdo vychytávají jemně rozptýlené částice potravy z vody, nebo třeba ti, kteří loví bentické bezobratlé).

#### Základní skupiny vodních organismů v toku:

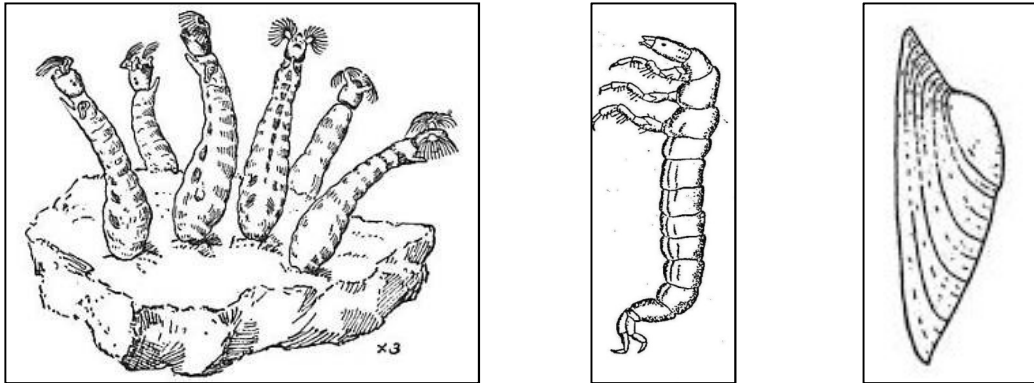
- drtiči (shredders) – blešivci, tiplice, pošvatky (žvýkají a drtí rostliny a detrit),
- sběrači (collectors) – nitěnky, pakomáři, jepice (sbírají drobné částice a organismy ze dna),
- sběrači a filtrátoři (collectors – filter feeders) – chrostíci, muchničky (filtrují drobné částice a organismy z vody),
- škrabači a spásači (grazers – scrapers) – chrostíci, jepice, dvojkřídli (žíví se perifytonem),
- predátoři (predators, carnivores) – pijavka, vážka, ryba (žíví se živočichy a makrofyty).

### 3.6 Adaptace organismů v tekoucích vodách

S ohledem na proudící vodu musí většina organismů v tekoucích vodách řešit problematiku aktivního protiproudého pohybu či adaptace sloužící k fixaci na zvoleném stanovišti. V nejjednodušším případě dochází k osídlení dna, ve kterém je proudění vody zanedbatelné. Pokud jsou organismy vystaveny proudu těsně nade dnem, využívají hydrodynamické adaptace svých těl, případně různé orgány sloužící k přichycení na pevném podkladu. Larvy chrostíků jsou zatíženy svými schránkami či mají vyvinuté hákovité pošinky, jimiž se ukotvují do substrátu dna. Larvy muchniček (*Simuliidae*) se přichycují k podkladu kombinací háčkovitých struktur a produkovaných slizových vláken. Lezoucí měkkýši si pomáhají svalnatou nohou v kombinaci se slizovitým sekretem. Larvy přísalek (*Blephariceridae*) mají na břišní straně těla soustavu přísavných terčů.

Rybovití obratlovci, kteří obývají horní proudivé úseky toků, mají proudnicový tvar těla a patří mezi vytrvalé plavce, případně se jedná o drobné bentické druhy, které se naopak

většinu času ukrývají mezi hrubým substrátem a v takovém případě často nemají vyvinutý plynový měchýř či ho mají ve velmi redukované formě (mihule, hlavačka, vranka).



**Obrázek 15** Anatomické adaptace organismů v tekoucích vodách – zprava: larvy muchničky s lepidly vlákny, larva chrostíka s háčkovitými pošinkami, hydrodynamický tvar lastury kamomila. (Zdroj: Lellák a Kubíček, 1991; Vanatta, 1910)

### 3.7 Látkový koloběh a změny společenstev v podélném profilu tekoucích vod

Živiny, na kterých je závislá primární i sekundární produkce se do konkrétních partií toků dostávají z vyšších úseků toku, ze souše, z podzemních vod a z atmosféry. Část těchto látek se dočasně či dlouhodobě účastní místního koloběhu a z části jsou unášeny proudem dále po toku. Závislosti a vazby v rámci tohoto koloběhu živin v návaznosti na potravní sítě ve vodním prostředí popisuje několik konceptů.

#### Koncept říčního kontinua (River continuum concept – RCC)

Tato teorie předpokládá, že organismy a společenstva v podélném profilu toku a v říční síti se vyvíjejí v souladu s podmínkami vnějšího prostředí. Protože toky ve svém podélném profilu vykazují v přírodních podmínkách plynulé fyzikální a chemické změny, organismy říčního společenstva na ně reagují plynulým přechodem z jednoho druhu na jiný. S ohledem na jejich životní preference a měnící se podmínky prostředí.

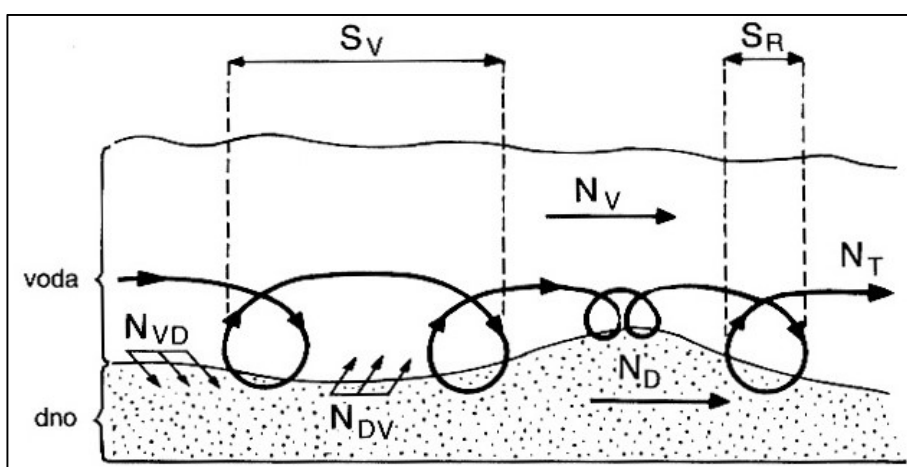
Struktura společenstev organismů jednotlivých úseků toku od pramene k ústí velkých řek se tak kontinuálně proměňuje společně s abiotickými faktory daného toku (viz kapitola 3.2). Dynamika říčního kontinua se nejčastěji prokazuje na souvislosti obsahu živin a organických látek ve vodě a na druhové rozmanitosti organismů (index diverzity, různé biotické indexy).

Nejmenší druhová pestrost bývá v pramenných oblastech. S postupem do nižších částí toku roste druhová diverzita hmyzích zástupců, která se však od středních částí toku k ústí do moře opět začne snižovat. Od ústí řek směrem k pramenům přibývá množství korýšů a měkkýšů. Střední části toků tak vykazují nejvyšší druhovou pestrost. Od pramene po proud se obvykle zvyšuje i celková biomasa organismů. Ta může ovšem nejvyšších hodnot dosahovat i v nížinných oblastech v jemném sedimentu a to i přes malý počet zde žijících druhů (nitěnky, larvy pakomárů, měkkýši).

Důležitými faktory hrajícími roli v poměru primární produkce a respirace je také přístupnost světla kyslíku. U nížinných toků je limitujícím faktorem hloubka a zákal, kdy často převažuje respirace větší části společenstva nad primární produkcí (fotosyntézou).

### Koncept spirálního koloběhu živin (Resource spiralling concept – RSC)

**Spiralizace živin** v toku je součinem vlivu fyzikálních a biologických procesů, které zahrnují poproudový snos látek, fotosyntézu, mineralizaci organické hmoty atp. V principu koncept sleduje a definuje průměrnou vzdálenost, během které se modelová živina (např. uhlík) v řece recykluje z jednodušší látky na složitější a opačně. Tato vzdálenost určuje délku spirály pro tuto živinu. Čím je tato spirála kratší, tím více dochází k využití živin. S ohledem na měnící se dynamiku proudění a velikosti unášených organických částic se tato vzdálenost výrazně mění jak v příčném, tak v podélném profilu vodního toku.



**Obrázek 16** Schéma konceptu spirálního koloběhu živin.  $S_V$  – délka dráhy biologicky využitelných látek,  $S_R$  – délka obratu látkového cyklu,  $N_T$  – celkový přenos látky tokem (zdroj Lellák a Kubíček, 1992)

Do zmíněných konceptů ještě vstupují jevy jako extrémní sucha či vyšší povodňové stavy a z tohoto pohledu je nutné na říční síť nahlížet jako na dynamický systém, který se proměňuje v čase.

## 4 Lentický systém – stojaté vody

### 4.1 Kategorie stojatých vod

Stojaté vody dělíme především podle původu, velikosti a jejich trvalosti:

- velké přirozené nádrže trvalé – jezera,
- velké přirozené nádrže dočasné či periodické – stará říční ramena a tůně,
- velké umělé nádrže – přehrady, rybníky,
- drobné vodní nádrže trvalé – horská ledovcová jezera,
- drobné vodní nádrže dočasné – dešťové louže a tůně, tůně v prohlubních skal a v postříkové skalní zóně jezer a toků (litolotelmy), tůňky ve vykotlaných stromech a pařezech (dentrotelmy), tůňky tvořené bylinami (fytotelmy),
- vody se zvýšeným obsahem solí – saliny,
- zameňované a přechodné biotopy – močály, rašeliniště – vrchoviště a slatiny.

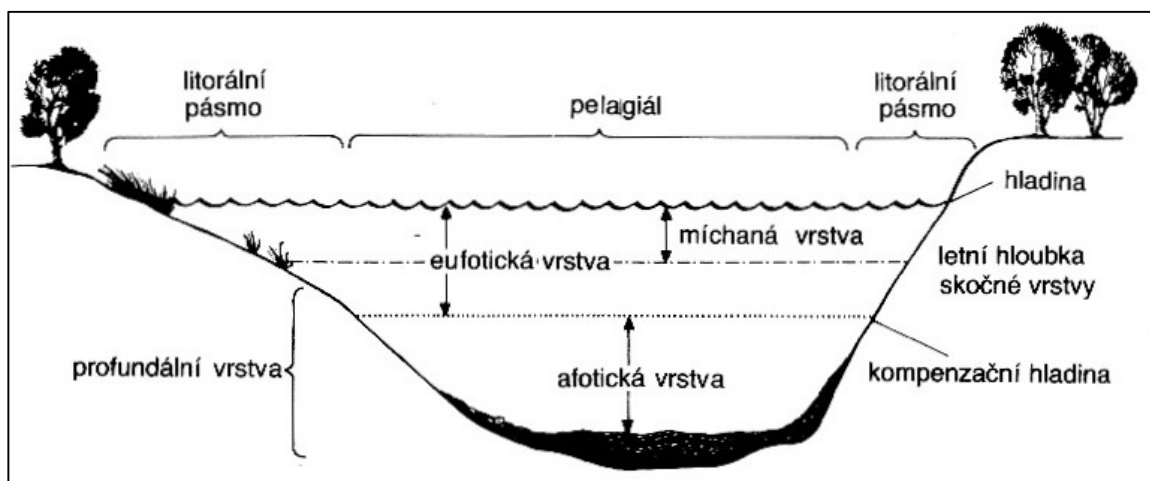
### 4.2 Biotopy a oživení stojatých vod

Na příčném řezu vodním tělesem rozlišujeme:

- Pelagiál – oblast volné vody,
- Bentál – oblast dna.

Na podélném řezu vodním tělesem rozlišujeme:

- Litorál – příbřežní prosvětlená část,
- Profundál – hlubší oblasti dna,
- Abysál – dno u velmi hlubokých jezer.



**Obrázek 17** Schéma horizontálního a vertikálního členění vodní nádrže (zdroj Lellák a Kubíček, 1992)

S ohledem na výrazně větší dosahované hloubky (ve srovnání s řekami) se podél vertikální osy rozlišuje několik podkategorií s typickými parametry (světelný gradient) a společenstvy organismů. Hladina je osídlená společenstvy, která označujeme jako neuston a pleuston. Neuston zahrnuje mikroskopické organismy, které obývají povrchovou blanku vody.



Pleuston zahrnuje organismy, které se díky povrchovému napětí na tuto blanku zavěšují ze spodní strany (larvy komárů), nebo se pohybují po její vrchní straně (bruslačky, vodoměrky, vodní rostliny).

Dále v pelagiálu rozlišujeme eufotickou vrstvu v horní (dostatečně prosvětlená) části vodního sloupce se označuje jako epipelagiál. Zde probíhá hlavní část primární produkce v podobě fotosyntézy autotrofních organismů. Spodní vrstvy vodního sloupce označujeme jako batypelagiál, nebo také afotickou vrstvu, kde s ohledem na nedostatek světla převažuje rozklad organické hmoty a dýchání organismů nad fotosyntetickou produkcí. Hranicí mezi těmito dvěma vrstvami je kompenzační hladina (hloubka), kde se vyrovnává primární fotosyntetická produkce se spotřebou a níže už se fotosyntéza „nevyplatí“. Pro označení skupin organismů používáme shodné názvosloví jako v biotopech tekoucích vod. Mikroskopické a drobné organismy volně se vznášející ve vodním sloupci, které nemají výraznou schopnost samostatného pohybu na větší vzdálenosti či proti proudu vody, označujeme jako plankton. Větší organismy, které mají schopnost aktivně plavat a překonávat větší vzdálenosti označujeme jako plankton (převážně rybovití obratlovci).

V oblasti dna rozlišujeme v příbřežní části pásma označené jako litorál. Tato zóna je charakterizována často se měnícími a proměnlivými podmínkami, variabilním prostředím a tím i bohatým osídlením s vysokou druhovou diverzitou. V litorálu často dominují vodní makrofyta (rákos, orobinec, skřípínek, zblochan, atp.) kdy dochází k pozvolnému přechodu od vodomilných rostlin až po druhy čistě akvatické a to buď částečně vyořené a plovoucí (leknín, rdesno, okřehek), až po druhy zcela ponořené, neboli submerzní (stolístek, růžkatec). Litorální část vodního prostředí mnohdy vykazuje nejvyšší úroveň primární produkce.

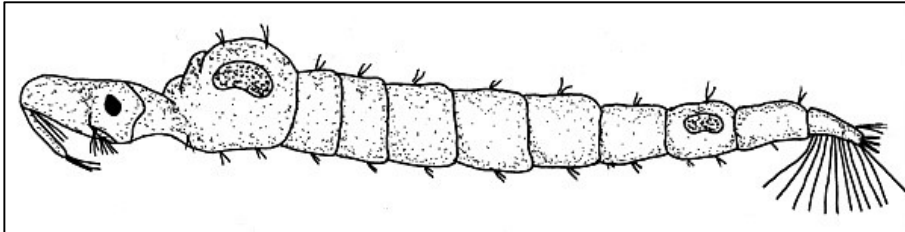
Hlubší části dna, kde převažuje respirace a mineralizace nad fotosyntetickou produkcí označujeme jako profundál. Organismy, které zde žijí, jsou z větší části závislé na primární produkci v litorálu a epipelagiálu. Postupně se zde ukládají sedimenty z primární produkce vyšších vrstev vody, které se spojují s minerálním snosem, který se do stojatých vod dostává přítokem. S postupnou eutrofizací nádrže (zvyšování obsahu biogenních prvků) dochází často k navýšení vrstvy sedimentů bohatých na organické látky, jejichž rozkladem se spotřebovává kyslík v takové míře, až dojde ke vzniku anoxického prostředí s převažujícími hnilobnými rozklady.

Nejčastějšími a nejhojnějšími obyvateli této zóny bývají larvy dvoukřídlého hmyzu (pakomáři rodu *Chironomus*), případně máloštětinatí červi rodu *Tubifex* či *Limnodrilus*.

### **4.3 Adaptace organismů ve stojatých vodách**

Ve vodních nádržích, jezerech a přehradách dosahuje často vodní sloupec výrazně větších hloubek, než je tomu v podmínkách tekoucích vod. Část organismů, kteří se volně vznášejí ve vodním sloupci (převážně plankton a nekton), tak při změně hloubky musí řešit problém spojený s výraznou změnou tlaku a vztlaku. Většina organismů toto řeší adaptacemi, které umožňují pasivní či aktivní udržování neutrální vznášivosti. Drobné planktonní organismy

mohou ve svých tělech obsahovat malé plynové vakuoly či olejovité kapénky. V obou případech dochází vlivem plynu či olejovité látky ke snížení měrné hmotnosti organismu a k jeho nadnášení vodou. Podobně je tento problém řešen zvětšením tělních výrůstků, například v podobě prodloužení a větvení tykadel zooplanktonu (buchanky, perloočky). U větších organismů, u kterých dochází k rychlému střídání hloubek (typicky ryby) se vyvinul plynový měchýř. V této vychlípenině trávicí soustavy může ryba aktivně měnit



**Obrázek 18** Larva koretry (*Chaoborus*) má v těle dva vzduchové váčky (ledvinovité útvary), které jí pomáhají vznášet se ve vodním sloupci (zdroj: Lellák a Kubíček, 1992) množství plynu a tím tak plynule regulovat vztlak svého těla.

## 5 Mokřady

Jako mokřad se souhrnně označují biotopy, které tvoří jakýsi přechodový stupeň mezi suchozemským a čistě vodním ekosystémem. Je pro ně typické trvalé zamokření způsobené povrchovou vodou či vysokou hladinou podzemní vody (případně kombinací). Významnou složkou fytoocenóz a zoocenóz mělkých zarostlých vod jsou nárosty (perifyton). Nárosty jsou vedle bakterií tvořeny rozsivkami, zelenými řasami, přisedlými nálevníky, vířníky, červy, larvami a kuklami pakomárů. Žije zde i řada jiných druhů – sladkovodní houby, nezmaři, ploštěnky, perloočky, buchanky, lasturnatky, vodule, měkkýši a larvy hmyzu. Podle typu podkladu můžeme nárosty členit na epifyton (na rostlinách), epizoon (na živočiších), epiliton (na skalnatém podkladu) a epixylon (na dřevu).

### 5.1 Kategorie mokřadů

Podle geografické polohy, umístění v krajině a původu vzniku rozlišujeme:

- rašeliniště a slatiniště,
- bažiny,
- slanisko,
- mangrové porosty.

Jako rašeliniště se označuje bažinný ekosystém trvale zamokřený pramenitou nebo dešťovou vodou a dochází zde ke značné produkci rostlinné biomasy. Díky této vysoké produkci se zde značně hromadí odumřelá rostlinná hmota, která se částečně rozkládá a dává (za nepřístupu vzduchu) vzniknout rašelině. Podle výskytu organismů a specifického chemismu se dále dělí na vrchovištní, slatinné či přechodné.

Bažinou rozumíme rovinnou oblast s malým sklonem, která je trvale prosycena až zalita vodou s pomalým průtokem.

Slanisko je zvláštní typ mokřadu, pro který je typická velká salinita (obsah soli v půdě a vodě). Poblíž mořského pobřeží je původcem vysoké salinity mořská voda, ale slaniska mohou vznikat i ve vnitrozemí. V těchto případech obvykle vzniká zasolení díky minerálním pramenům. Jindy se v půdě hromadí sůl díky střídavě vlhkému a suchému počasí – voda se vypařuje a vtahuje tím do půdy minerální látky. Pro slanisko je typická slanomilná fauna a flóra, které označujeme jako halofilní. Z živočichů jsou to například žábřonožky (*Artemia*), z rostlin pak slanomil (*Salicornia*), čtyřboč (*Spartin*), aj.

Porosty Mangrove jsou stromovým společenstvem rostoucím v pobřežních brakických vodách. Jsou přizpůsobeny periodickému kolísání vodní hladiny (příliv a odliv) a zvýšené salinitě (míchání říční a mořské vody). Tvoří důležitou nárazníkovou bariéru pro erozivní účinky moře. Vyskytují se převážně v tropických oblastech a podobně jako ostatní specifické biotopy poskytují životní prostředí pro velké množství specializovaných organismů.

Z pohledu člověka byly hlavně v minulých dobách mokřady obtížně využitelnými, a proto docházelo na značných územních plochách k jejich systematickému přetváření na kulturní

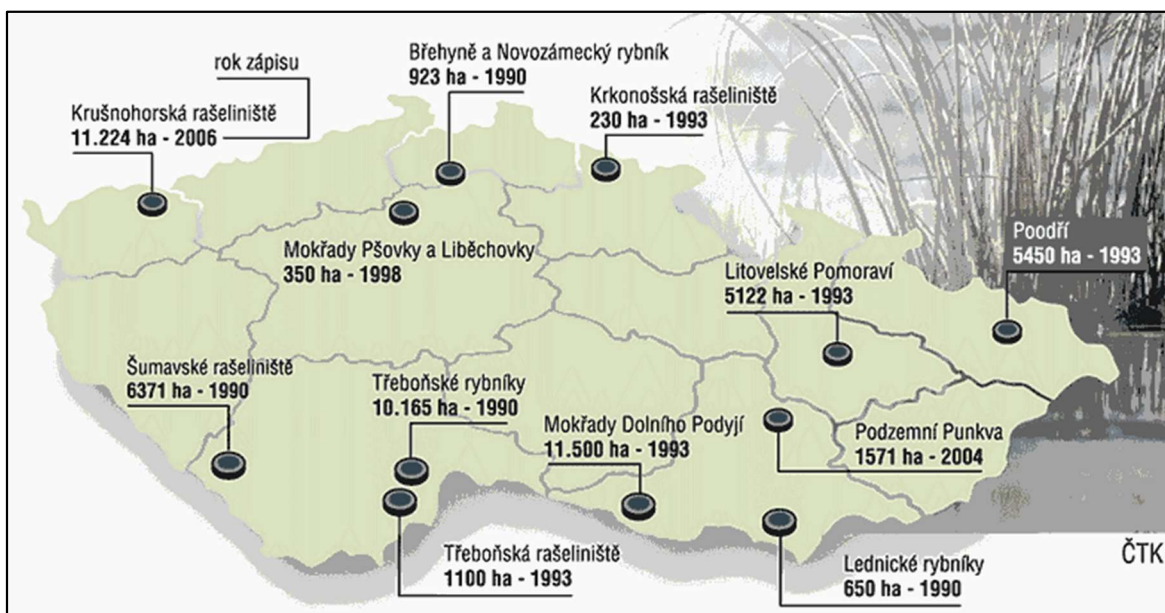
krajinu. Vlivem intenzivní těžby rašeliny či dlouhodobým odvodňováním tak zanikla řada mokřadních systémů. Čím dál více se ovšem ukazuje důležitost těchto lokalit v krajině s ohledem na jejich ekosystémové služby související převážně s distribucí vody v krajině. V období přebytku povrchové vody mají mokřady vysokou retenční kapacitu pro zachycení a udržení vody v krajině, brání tak jejímu přílišnému odtoku a v období sucha tak naopak pomáhají udržet a zajistit zásobu vody pro vegetaci i živočichy (potažmo člověka).

Ve druhé polovině minulého století si také světová odborná veřejnost uvědomovala důležitost zachování alespoň části světové plochy mokřadů. Na základě čehož byla v roce 1971 v Íránském Ramsaru uzavřena smlouva označovaná jako **Ramsarská úmluva**. Jedná se o mezinárodní dohodu o ochraně významných mokřadních systémů. V roce 2012 měla tato smlouva 160 participujících států. K mokřadům lze dle Ramsarské konvence zařadit také člověkem vytvořené mokřady jako rybníky, nádrže, zavlažovanou zemědělskou půdu, šterkovny, závlahová pole a kanalizační čistírny, kanály. Hlavně pokud mají nějaký ekologický přínos.

Na území ČR bylo vybráno 12 mokřadů mezinárodního významu o celkové ploše cca 50 000 ha:

- Šumavské rašeliniště – 3371 ha (zapsáno 1990),
- Třeboňské rybníky – 10 165 ha (zapsáno 1990),
- Břehyně a Novozámecký rybník – 923 ha (zapsáno 1990),
- Lednické rybníky – 665 ha (zapsáno 1990),
- Litovelské Pomoraví – 5122 ha (zapsáno 1993),
- Poodří – 5450 ha (zapsáno 1993),
- Krkonošská rašeliniště – 230 ha (zapsáno 1993),
- Třeboňská rašeliniště – 1100 ha (zapsáno 1993),
- Mokřady Dolního Podyjí – 11500 ha (zapsáno 1993),
- Mokřady Pšovky a Liběchovky – 350 ha (zapsáno 1998),
- Podzemní Punkva – 1.57 ha (zapsáno 2004),

- Krušnohorská rašeliniště – 11224 ha (zapsáno 2008).



Obrázek 19 Mokřady mezinárodního významu na území ČR (zdroj: ČTK)

## 6 Vliv člověka na kvalitu vody

Množství činností lidské společnosti se přímo či nepřímo promítá do ekologického stavu povrchových i podzemních vod. Tyto vlivy můžeme nahlížet ze dvou základních hledisek:

- kvantitativní hledisko – ovlivňování množství vody v ekosystému,
- kvalitativní hledisko – vliv na kvalitu vody, obsahy látek a znečištění.

### 6.1 Změny hydrologického režimu toků

Studium důsledků změn v hydrologii toků se rozvíjí od poloviny 20. století, kdy se k rozsáhlým změnám v krajině přidaly rozsáhlé technické zásahy do toků. Regulacemi toků, zásahy do podélného a příčného profilu, výstavbou jezů a přehrad se řešily nepříznivé změny průtokového režimu, které však těmito zásahy byly ještě více negativně ovlivněny.

Ke kvantitativním změnám v toku může docházet přímým odběrem povrchové i podzemní vody. Tato činnost má dlouhou historii. Již tisíce let používá člověk pomocí různých typů zavodňovacích kanálů povrchovou vodu pro zavlažování zemědělských plodin. Neúměrným nadužíváním ovšem může docházet k dlouhodobým (až nenávratným) negativním změnám. Příkladem může být několik desetiletí trvající intenzivní odběr vody z toků přivádějících vodu do Aralského jezera. V blízkosti jezera jsou rozsáhlé plantáže bavlníku, který je jednou z nejnáročnějších plodin, co se spotřeby vody týče. V této oblasti zároveň dlouhodobě docházelo (a stále dochází) k masivnímu používání herbicidů a pesticidů, které se tak následně ve stále větší koncentraci hromadí ve stále menším objemu vody v zanikajícím jezeře.

Příkladem výrazného zásahu do vodoteče z našeho území může být Zlatá stoka (1508–1518), která je dílem Štěpánka Netolického a slouží k přívodu/odvodu vody ze všech hlavních rybníků Třeboňské soustavy. Tato soustava byla následně rozšířena za působení Jakuba Krčína z Jelčan a Sedlčan (1535–1604).

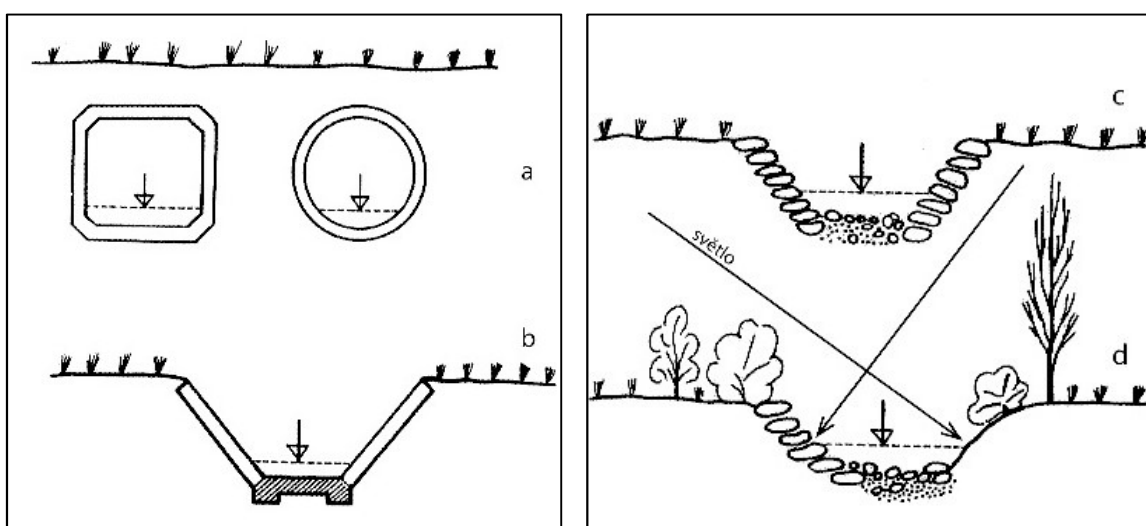
Významnou kapitolou lidské činnosti ovlivňující vodní ekosystémy jsou stavební úpravy podélného či příčného profilu toku. V průběhu minulého století docházelo k velkoplošným regulacím tekoucích vod. V průběhu kolektivizace v zemědělství byla koryta řek a toků napřimována, docházelo k likvidaci břehových porostů a k nešetrným úpravám břehové linie, které nerespektovali biologické hledisko. Tyto hydromeliorační úpravy můžeme rozdělit na následující podtypy:

- **Zaklenutí toku** – tok je v různé délce veden zcela pod povrchem, chybí zde světlo a je omezena komunikace s atmosférou a okolními vodotečemi. Populace organismů jsou v takovém prostředí velmi omezené a tok má minimální retenční a samočistící schopnost.
- **Tvrdé opevnění koryta** – vybetonování dna i břehů (kanalizace) vede k rychlému laminárnímu proudění s velkou unášecí schopností. Prostředí je málo diverzifikované, vyskytuje se zde minimum úkrytů, chybí komunikace s hyporeálem. Často zde bývá malá hloubka (zimní promrzání) s nízkým obsahem kyslíku a nízkou

samočisticí schopností vody. Při zvýšeném průtoku vody dochází k jejímu rychlému průchodu korytem bez možnosti alespoň částečného zachycení či zpomalení případné povodňové vlny.

- **Úprava s využitím přírodního materiálu** – zpevnění břehu kamenným zásypem, dřevěnou kulatinou či kombinací těchto přírodních materiálů (bez výrazného napřímení toku) je již bližší přírodnímu stavu a poskytuje vhodnější podmínky pro přirozené procesy ve vodě jako i pro život většiny hydrobiontů.
- **Úprava blízka přírodním podmínkám** – pouze částečné úpravy toků s ponecháním co největšího podílu přirozeného meandrování koryta i břehového vegetačního pokryvu. Dochází pouze ke zpevnění nejvíce ohrožených a exponovaných břehových částí. Říční krajina si tak ponechává schopnost zachytit a vyrovnávat kolísání průtoku v průběhu roku a má dostatečnou samočisticí schopnost.

Je zcela jednoznačné, že ponecháním toků v co nejpřirozenější podobě zůstávají zachovány základní biologické a ekologické funkce a říční síť v tomto stavu může poskytovat největší **ekologické služby**. Ukázky revitalizací na drobných vodních tocích.



**Obrázek 20** Základní příklady podélných regulací říčního koryta: a) zaklenutí toku, b) tvrdé opevnění břehu, c) opevnění kamenem, d) úprava blízka přírodnímu stavu (zdroj Adámek a kol., 2010)

Mezi příčné stavby se řadí různé typy jezů a přehrad. Stavby tohoto typu byly za účelem vzdouvání hladiny vody budovány již od starověku.

Podle typu a velikosti mohou mít tyto příčné stavby výrazný vliv na změnu morfologie vodního toku a tím i na společenstva vodních organismů. Jednoduchá nízká jezová přehrazení mohou mít i kladný vliv na obsádku rybovitých organismů, kterým poskytují větší hloubku, možnost úkrytu a výrazně nebrání migrujícím organismům v přesunech. Zatímco větší jezy a přehradní nádrže mají často vliv spíše negativní a to převážně pro migrující populace ryb. Proto by výstavbě každé takové nádrže mělo předcházet jednoznačné posouzení vliv na prostředí a populace volně žijících organismů. Tento vliv bývá často v příkrém rozporu s ekonomickými zájmy (vodárenská nádrž, výroba elektrické energie, lodní doprava, závlahová voda, atp.). Přehradní nádrže často způsobují změny

průtokového režimu (tzv. špičkování) i změnu teplotního režimu. Na dolních částech toků dává spodem vypouštěná chladná voda z přehrad druhotně vzniknout pstruhovému pásmu, přesto, že v přirozeném toku by zde bylo parmové až cejnové pásmo. Tento jev se označuje jako montanizace či ritralizace. Společenstva vodních organismů nad a pod přehradou tak bývají velmi odlišná jak druhovou skladbou, tak celkovou abundancí.

Díky příčným překážkám a stavbám v toku dochází ke **fragmentizaci říčního ekosystému** a k narušení říčního kontinua. To má za následek změny v dynamice trofických úrovní i významné změny pro migrující organismy. Jako odpověď na neprůchodnost vodních toků díky výstavbě příčných překážek dochází v poslední době ke snaze o tvorbu opatření pro zprůchodnění říční sítě. Tato opatření nejčastěji vycházejí z výstavby různých typů rybích přechodů.

## 6.2 Acidifikace

Problém acidifikace vody a půdy se začal studovat od poloviny dvacátého století, i když příčiny a původci jsou známí již z devatenáctého století. Zdrojem jsou imise v suché depozici a plynné (mokrý) depozice. Ty jsou tvořeny reaktivními oxidy síry a oxidy dusíku. Nedílnou součástí emisí ze spalovacích procesů jsou uhlovodíky. Prakticky od začátku průmyslové revoluce se do ovzduší emitovaly látky způsobující acidifikaci.

Reakcí oxidů síry a dusíků ve vodě vznikají silné kyseliny – kyselina siřičitá, sírová a dusičná. Tím se významným způsobem snižuje pH vody. Ve srážkové a povrchové vodě může někdy pH klesnout až na hodnotu 2. Silné kyseliny postupně destabilizují hydrogenuhličitanový systém. Stav, při kterém dojde během několika málo let ke snížení hodnot pH o celé stupně (např. z pH 7 na pH 5), je pro hydrochemické a biologické procesy ve vodním prostředí vysoce destruktivní.

Vodní organismy lze podle citlivosti na pH rozdělit na:

- **Acidosenzitivní** – organismy s vápenitou schránkou a kostrou či vnějšími žábry. Jedná se nejčastěji o živočichy trvale žijící ve vodním prostředí, např. vodní mlži (Unionidae), plži (Lymneidae) či korýši (Astacidae, Gammaridae, Copepoda, Cladocera, aj.).
- **Acidotolerantní** – dýchají celým povrchem těla či přímo atmosférický kyslík. Jde zpravidla o zástupce dočasné, např. larvy vážek (Odonata), vodních brouků (Coleoptera) či dvoukřídlého hmyzu (Diptera).

Acidifikace ovlivňuje všechny trofické úrovně v ekosystému povrchových vod. Nejčastějším a nejsnáze pozorovatelným projevem jsou výrazné změny ve složení rybích populací vedoucí až k jejich úplné ztrátě. Známým příkladem je stav v šumavských jezerech v 70. letech minulého století.



## 6.3 Eutrofizace

Celosvětově byla v limnologii přijata typizace vod podle jejich úživnosti (trofie), tj. obsahu chemických látek a charakteru jejich fyzikálně chemických parametrů. V současnosti se eutrofizace dává nejčastěji do souvislosti se zvýšenou koncentrací a dostupností forem dusíku a fosforu. Termín „eutrofizace“ se tak nejčastěji používá pro vyjádření zvýšeného přísunu a obsahu N a P ve vodním prostředí.

Navýšení těchto biogenních prvků vede často ve vodním prostředí ke zvýšení primární produkce v podobě fytoplanktonu či bujení vodních makrofyt. Drobné planktonní řasy vytvářejí opticky homogenní suspenzi. Takto vzniklý **vegetační zákal** vede ke snížení průhlednosti vody a je častým jevem na mělkých eutrofních nádržích rybníčního typu. Tyto drobné řasy mohou být eliminovány predčním tlakem ze strany zooplanktonu (vířníci, perloočky). Tím dojde k posunu ve společenstvu fytoplanktonu k větším koloniálním či vláknitým sinicím a řasám, které tvoří tzv. **vodní květ** (např. rody *Microcystis* či *Aphanizomenon*). K jejich masivnímu nástupu dochází převážně v letním období, kdy prakticky nemají žádné konzumenty. Zvýšené množství ve vodním prostředí je nežádoucí vzhledem k potenciální produkci toxinů a zhoršování jakosti vody (kyslíkové deficity) při hromadném odumírání na konci vegetačního období.

Mělké stojaté vody a toky s vyšší průhledností postihuje masový rozvoj zelených vláknitých řas. Na rozdíl od sinic netvoří jejich společenstva toxiny a mají spíše pozitivní vliv na kyslíkovou bilanci ekosystému. Rozklad jejich těl na konci vegetační sezóny může vést k podobným negativním jevům jako je tomu u planktonních řas a sinic.

## 6.4 Znečištění

### 6.4.1 Látky způsobující plošné znečištění

Přirozenou součástí zemské kůry, jsou **těžké kovy**, které většinou existují ve formě rozpustných sloučenin. Mezi základní zástupce těžkých kovů se řadí kadmium rtuť, olovo, chrom, Arsen, nikl, zinek či měď. Tyto prvky jsou ve stopových množstvích důležité pro správné fyziologické fungování živých organismů. Během geologického vývoje planety se v přírodě ustálila jejich koncentrační rovnováha, kterou označujeme jako přirozené pozadí dané lokality. Hodnoty koncentrací těžkých kovů jsou závislé na místním geologickém podloží, klimatických podmínkách atp. Většina těžkých kovů má schopnost bioakumulace, kdy dochází k jejich postupnému navyšování v organismech, když se posouváme v potravním řetězci od autotrofních organismů k vrcholovým predátorům. U koncových článků potravního řetězce dochází při zvýšení množství těchto látek k toxickému působení, jež zahrnuje poškození celých buněk, denaturaci enzymů (bílkovin obecně) a k ovlivnění propustnosti buněčných membrán (vznik nádorových onemocnění, poruchy těhotenství, vývojové vady, apod.). Současnou průmyslovou výrobou je zapříčiněna zhruba polovina úniku těžkých kovů do prostředí, potažmo sedimentů povrchových vod, za druhou polovinu jsou zodpovědné důlní a těžební společnosti.

Produkty, které člověk získává zpracováním ropy (nafta, benzín, petrolej), jsou hlavním zdrojem **uhlovodíků**. Ropné látky se definují jako uhlovodíky a jejich směsi, které jsou tekuté při teplotách 40 °C a nižších. Tři základní složky uhlovodíků jsou **alkany** (etan, propan, butan), **cyklohexany** (naften) a **aromáty** (benzen, toluen, naftalen). Znečištění surovou ropou bývá spojené s haváriemi těžebních vrtů či ropných tankerů na moři. Ve vnitrozemských vodách jsou zdrojem ropných produktů nejčastěji splachy ze silnic, lodní doprava a úniky v důsledku dopravních nehod. Ve vodě se vyskytují jako rozpuštěné, emulgované či jako odloučená volná fáze. Některé uhlovodíky vznikají přírodní cestou biosyntézou řas, vodních rostlin či bakterií. Negativně jsou při zvýšených množstvích ropy ovlivněny organismy buď přímou toxicitou látky, nebo způsobeným fyzikálním dušením. Uhlovodíky a jejich deriváty jsou degradovány některými zástupci mikroorganismů (bakterie, kvasinky a vláknité houby) a to za aerobních i anaerobních podmínek.

Závažné problémy ve vodách působí **perzistentní organické polutanty (PTBs)**, které jsou toxické, odolné vůči degradaci a kumulují se v organismech. Mezi tyto látky patří chlorované pesticidy, polychlorované bifenyly, polychlorované dibenzodioxiny či polycyklické aromatické uhlovodíky. Větší část PTBs je vázána v sedimentech a to především vázaná na částice organického materiálu. Praktické uplatnění těchto látek je díky jejich biocidnímu účinku například v pesticidech, insekticidech či herbicidech. S používáním těchto přípravků v zemědělské výrobě se tak PTBs dostávají do prostředí. Podle stupně toxicity rozlišujeme přípravky málo jedovaté až extrémně jedovaté (DDT, Soldep, aj.). Polychlorované bifenyly (PCB) našly díky svým vlastnostem široké uplatnění v průmyslu, elektrotechnice a energetice. Jsou velmi stabilní a odolné vůči biologickým rozkladům. Ve druhé polovině 20. století se však objevily případy akutní toxicity a díky přibývajícím znalostem a negativním vlivu na živé organismy bylo postupně od použití PCB stále více ustupováno. Díky pomalé degradaci a biokumulativnímu účinku jsou však přesto v prostředí stále zastoupeny.

Vlivem spalování uhlí, automobilové dopravy, ropných havárií a koksárenského průmyslu dochází k uvolňování **polycyklických aromatických uhlovodíků**. Mezi ně patří organické sloučeniny mající dvě či více aromatických (benzenových) kruhů (např. naftalen). Řada z těchto látek má prokazatelně karcinogenní účinky i ve velmi nízkých koncentracích. Ve vodním prostředí mají tendenci ukládat se v sedimentech, takže ve vodním sloupci nade dnem bývá o několik řádů nižší koncentrace.

Pro povrchové vody mohou být problémem úniky **detergentů**, jež obsahují **tenzidy**. Jedná se o čisticí prostředky obsahující látky snižující povrchové napětí vody. Jejich přítomnost ve vodě se vizuálně projevuje vznikem pěny. Některé vodní mikroorganismy jsou zodpovědné za syntézu tzv. biotenzidů, jež se uplatňují mimo jiné při biologickém čištění odpadních vod. Hlavním zdrojem přísunu tenzidů do vodního prostředí však zůstávají prací a čisticí prostředky. Kromě změn fungování biologických membrán se některé tenzidy projevují akutní toxicitou od mírné až po vysoce toxické.

V posledních desetiletích se zvyšuje pozornost věnovaná působení syntetických organických látek, které ovlivňují fungování hormonů. Tyto sloučeniny se označují jako **endokrinní disruptory (EDC)** a mohou výrazně narušovat reprodukční, endokrinní, imunitní či nervový systém živočichů. Do těchto látek řadíme různé skupiny farmaceutik, jako jsou analgetika, antibiotika, syntetické steroidy (antikoncepce), kofein či růstové hormony. Výskyt těchto látek ve vodních ekosystémech způsobuje vývojové abnormality, zhoršení kvality pohlavních buněk, feminizace přírodních populací (ryby, ptáci, savci), atp. Ne všechny tyto látky jsou degradovány při procesu čištění odpadních vod. Snahou dnešních vodohospodářů tak je najít cesty a postupy, které by umožnili odstranění, nebo alespoň výrazné snížení těchto látek z povrchových vod.

#### **6.4.2 Typy bodového znečištění**

Tento druh znehodnocení vodních zdrojů je způsoben převážně využíváním a následným vypouštěním znečištěné (použité) odpadní vody v rámci **průmyslové výroby** (papírny, chemický průmysl, cukrovary a škrobárny, textilní průmysl, těžba a úprava rud a uhlí, sklářský a keramický průmysl, aj.), **zemědělské výroby** (kejda, močůvka, úniky ropných látek, nevhodné a neodborné použití pesticidů, herbicidů a hnojiv) a v neposlední řadě i produkcí komunálních odpadů domácnostmi. Většinu znečišťujících látek lze odstranit kombinací biologického a chemického procesu čištění na čistírnách odpadních vod (ČOV).

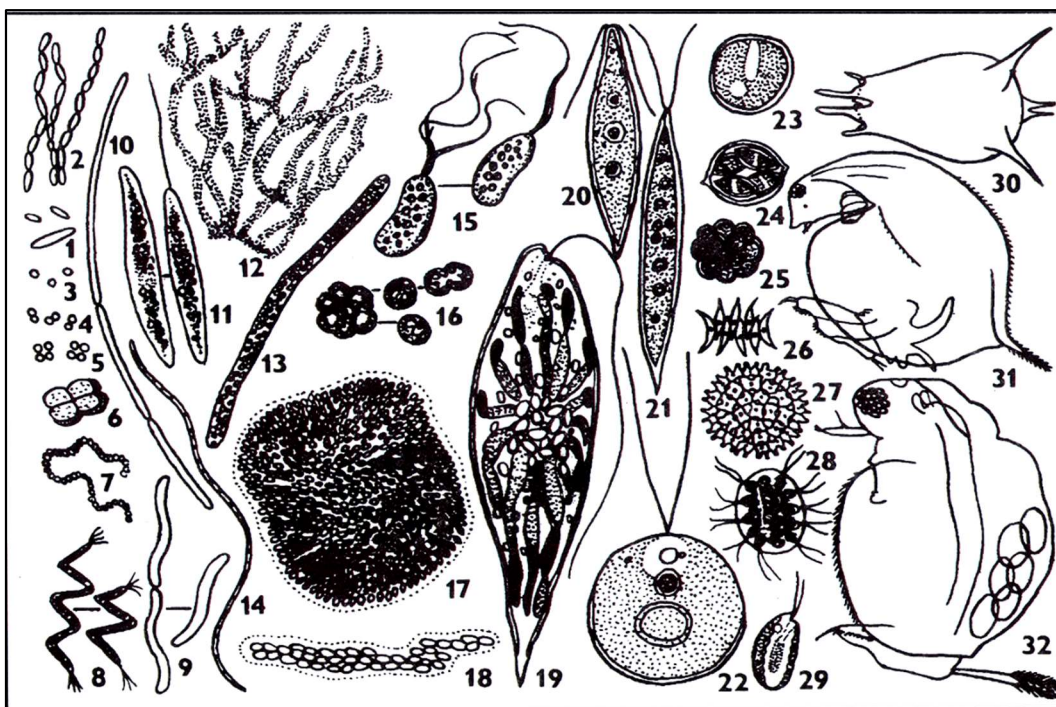
## 7 Mechanismy přirozeného čištění vod

Povrchové vody mají do určité míry schopnost snížit zvýšený přísun znečišťujících látek a obnovit tak svou čistotu. Z ekologického hlediska je samočištění přirozený autoregulační proces, kterým se vodní ekosystémy vrací do původního stavu dynamické rovnováhy. Samočištění pochody probíhají ve všech typech vod, přičemž v tekoucích vodách bývá schopnost samočištění obvykle větší než ve vodách stojatých. Nejúčinněji a nejrychleji probíhá samočištění v mělkých peřejnatých tocích, kde mineralizaci látek napomáhá dobré prokysličování vody a také častý styk molekul znečištění s mikrobiálními nárosty (biofilmy) na dně toku. Naopak v pomalu tekoucích vodách a tím více ve stojatých jsou v důsledku zvýšené sedimentace organické a jiné znečišťující látky ve velké míře ukládány do sedimentů dna, kde poté probíhá jejich poměrně pomalejší anaerobní rozklad. Při procesu samočištění se uplatňuje řada přirozených procesů:

- **Fyzikální procesy** – sedimentace, koagulace, zředění.
- **Chemické procesy** – oxidace, redukce, neutralizace, srážení.
- **Biologické procesy** – mineralizace biologicky rozložitelných látek (mikroorganismy).

Účinnost těchto dějů výrazně závisí na množství kyslíku rozpuštěného ve vodě. Poměr mezi spotřebou a dodávkou kyslíku je označován jako **kyslíková rovnováha**. Pro většinu samočištěcích dějů je také důležitá celková morfologie povrchových vod (zachovalost přirozeného koryta řeky, meandrování, skladba substrátu dna, apod.).

Spotřeba kyslíku na dýchání organismů a rozkladné procesy je kompenzována prostupem  $O_2$  přes hladinu z atmosféry (klidná hladina propustí  $1,4 \text{ mg } O_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$ , zčeřená hladina  $5\text{--}50 \text{ mg } O_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$ ) a také činností autotrofních organismů ( $1 \text{ m}^3$  řas vyprodukuje  $23 \text{ g } O_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{den}^{-1}$ ).



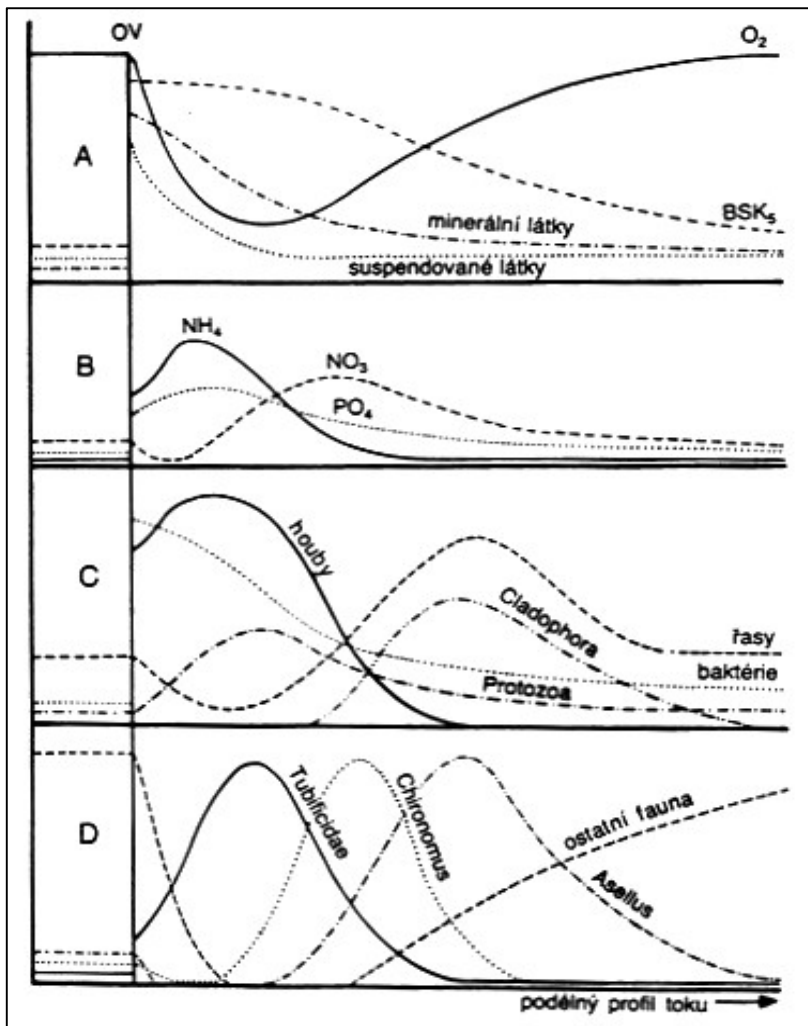
**Obrázek 21** Postup samočištění (zleva doprava) ve stabilizační nádrži. 1-18 destruenti, 19-29 producenti, 30-32 konzumenti. 1 = tyčinkovité bakterie, 2 = *Streptobacterium zavisii*, 3 = koky, 4 = diplokoky, 5 = tetrakoky, 6 - *Sarcina paludosa*, 7 = *Streptococcus margaritaceus*, 8 = *Thiospira tenuis*, 9 = *Rhodospirillum rubrum*, 10 = *Lineola longa*, 11 - *Rhabdomonas rosea*, 12 = *Zoogloea ramigera*, 13 = *Beggiatoa alba*, 14 = *Beggiatoa minima*, 15 = *Chromatium okenii*, 16 = *Amoebobacter roseus*, 17 = *Pelodictyon luteolum*, 18 = *Pelodictyon parallelum*, 19 = *Euglena viridis*, 20 = *Chlorogonium elongatum*, 21 = *Chlorogonium euchlorum*, 22 = *Chlamydomonas reinhardtii*, 23 = *Chlorella sp.*, 24 = *Oocystis lacustris*, 25 = *Coelosphaerium microporum*, 26 = *Scenedesmus obliquus*, 27 - *Pediastrum duplex*, 28 = *Eudorina elegans*, 29 = *Cryptomonas ovata*, 30 = *Brachionus calyciflorus*, 31 = *Daphnia magna*, 32 = *Moina rectirostris*. Pouze vzorové spektrum organismů (zdroj Sládeček 1981)

Poklesne-li množství rozpouštěného kyslíku pod limitní hodnoty (individuální pro různé skupiny vodních organismů), dochází k výraznému narušení populací těchto organismů a mnohdy k masivním úhynům. V případě rybových obratlovců by nemělo množství  $O_2$  klesnout pod  $4 \text{ mg.l}^{-1}$ . K takovým negativním jevům většinou dochází kombinací vyššího stupně organického znečištění a zvýšené teploty (eutrofní lokalita v letních měsících).

Samočisticí schopnost vodních toků při eutrofizaci lze sledovat a vyjádřit pomocí ukazatelů spotřeby kyslíku:

- **Biochemická spotřeba kyslíku (BSK)** – vyjadřuje množství kyslíku potřebné na biochemickou stabilizaci organických látek. Základním používaným ukazatelem je **BSK<sub>5</sub>**, což je spotřeba kyslíku mikroorganismy v konstantních podmínkách na rozklad (mineralizaci) organických látek za období pěti dnů. Hodnoty BSK dobře korelují se saprobitou.
- **Chemická spotřeba kyslíku (CHSK)** - vyjadřuje množství kyslíku, které se spotřebuje na oxidaci oxidujících se látek přítomných ve vodách.

Běžné vodní toky obvykle mívají BSK<sub>5</sub> pod 1mg/l. Středně znečištěné vody se pohybují v rozmezí 2–8 mg/l. Schopnost vodního toku zbavit se znečišťujících organických látek můžeme sledovat, pokud odebereme vzorky vody z několika míst toku postupně se vzdalujících od místa, kde ke znečištění dochází. Podle toho, jak strmě klesají naměřené hodnoty BSK, můžeme hodnotit schopnost toku znečišťující látky odbourávat. S ohledem na kolísání obsahu organických látek a změny kyslíkových poměrů dochází v podélném profilu toku ke změnám ve společenstvech vodních organismů.



**Obrázek 22** Změny základních parametrů vody a reakce organismů v podélném profilu toku na přísun organického znečištění (zdroj – modifikováno podle Hynese, 1960)

Hlavním zdrojem organického znečištění v kulturních oblastech jsou splaškové odpadní vody, zemědělství, odpadní vody z potravinářského, papírnického a textilního průmyslu. Přírodní cestou se do vody dostávají v podobě odumřelých těl organismů či jako produkty jejich metabolismu.

Směs znečišťujících látek obsahuje jak rychle odbouratelné látky (s poločasem rozkladu kolem 2–3 dnů) a perzistující látky (nerozloží se ani v průběhu let). Rozložitelné látky jsou mikrobiální činností postupně převáděny na jednodušší sloučeniny až na anorganické sloučeniny (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, aj.).

Přesáhne-li výrazně spotřeba kyslíku jeho dodávku do vody, dochází k rozkladu pomocí anaerobních dějů. V takovém případě mohou vznikat nežádoucí produkty ( $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$ ).

Perzistující a toxické látky se mohou kumulovat v sedimentech a prostřednictvím potravního řetězce i ve vodních organizmech (bioakumulace či biomagnifikace). Toxicita takových látek je definována jako jedovatý účinek, který potlačuje až ničí život v ekosystému. Mechanismus působení je velmi variabilní podle typu konkrétního polutantu. Výsledkem kombinovaného působení organického znečištění a toxických látek je vývoj společenstva, který výskyt těchto látek ve vodě odráží. Znalosti a zkušenosti s takovými změnami působenými konkrétními látkami či známou úrovní organického znečištění jsou využívány při tzv. **biomonitoringu**.

## 8 Biologické hodnocení kvality vod

Biologické hodnocení povrchových vod je založené na monitoringu stavu přírodního prostředí (zjišťováním prezenze/absence různě citlivých organismů – **bioindikátoru**) a na celkové analýze společenstev vodních organismů. Tímto způsobem je možné sledovat dlouhodobé i krátkodobé vlivy a změny v jakosti a stavu prostředí, na rozdíl od měření abiotických parametrů, které odrážejí „pouze“ aktuální stav v době analýzy.

Výskyt konkrétních taxonů, jejich populací a společenstev organismů v prostředí je odvozen souborem vlastností daného stanoviště. Vztah jednotlivých organismů k různým vlastnostem má určité meze tolerance. Hovoříme o ekologické valenci, kdy organismus buď vyžaduje striktně určité podmínky a je citlivý i na malý výkyv hodnot určitého parametru kvality prostředí – **stenovalentní druhy**, nebo naopak prosperuje v širokém spektru hodnot daného parametru a není tak citlivý na změnu prostředí – **euryvalentní druhy**.

Díky empirickým znalostem citlivosti jednotlivých taxonů vodních organismů můžeme na základě jejich přítomnosti/absence na dané lokalitě odvodit její ekologický stav (stupeň degradace prostředí, míru znečištění, výskyt toxických látek, atp.). Mezi typické bioindikátory řadíme organismy, které splňují následující kritéria:

- jednoznačná, pokud možno jednoduchá determinace,
- nenáročný sběr v terénu,
- široké geografické rozšíření,
- známá biologie a ekologie,
- schopnost kumulace polutantů a přiměřená odezva vývoje společenstva s ohledem na jejich koncentraci.

Pro potřeby kontroly kvality vody existuje množství bioindikačních metod, jednou z nejpoužívanějších je hodnocení makrozoobentosu. Většina běžných zástupců makrozoobentosu splňuje výše uvedená kritéria požadovaná pro bioindikátory. S postupným rozšiřováním znalostí o vlivu znečišťujících látek na společenstva vodních organismů docházelo postupně k vývoji různých přístupů a postupů hodnotících kvalitu vody.

### 8.1 Indexy diverzity

Hodnocení kvality vod pomocí indexů druhové rozmanitosti (**diverzity**) je rozšířeno zejména v USA. Princip použití těchto metod vychází z předpokladu, že ideální společenstvo (nestresované) by mělo obsahovat jeden nebo několik málo velmi početných druhů (dominantních) druhů, několik druhů středně početných (doprovodných) a více vzácných druhů. Tuto skutečnost se snaží postihnout a vyjádřit jedním číslem nejrůznější **indexy diverzity** (rozmanitosti). Předpokladem použití těchto indexů je, že nenarušená společenstva mají diverzitu (bohatost) vyšší než společenstva narušená, stejné rozložení jedinců mezi druhy a střední až vysoké počty jedinců. Organické znečištění způsobuje pokles diverzity, protože senzitivní druhy zmizí, poklesne vyrovnanost a naopak v důsledku



obohacení živinami vzroste abundance druhů tolerantních. Naopak toxické nebo kyselé znečištěné může způsobit pokles jak diverzity, tak abundance a dále vzrůst vyrovnanosti protože senzitivní druhy jsou eliminovány a není zde žádný přídatný zdroj potravy pro zbylé tolerantní formy.

Indexy diverzity je nejlépe aplikovat na toxické a fyzikální znečištění. Jsou vhodné pro posouzení změn na jedné lokalitě, např. před a po nějakém zásahu. Rozdíly v rozmanitosti na jedné lokalitě v čase mají velkou vypovídací schopnost, naopak rozdíly v rozmanitosti na různých lokalitách ve stejném čase lze interpretovat různě.

### Výpočet indexů diverzity

Diverzita (rozmanitost) postihuje tři základní vlastnosti společenstva:

- počet zástupců jednotlivých taxonů,
- druhovou pestrost,
- vyrovnanost složení společenstva.

Mezi výhody použití indexů patří bezrozměrnost vhodná pro statistické zpracování, relativní nezávislost na velikosti vzorku či absence předpokladů o toleranci druhů (což často bývá subjektivní). Naopak se u nich projevují i určité nedostatky, kdy u narušených společenstev nemusí být změna diverzity přímým odrazem skutečného stavu a mohou občas poskytovat „falešné negativní“ výsledky. V praxi je nejpoužívanějším indexem diverzity index **Shannon – Weaver** ( $H'$ ).

$$H' = - \sum_{i=1}^s \left( \frac{n_i}{N} \right) \cdot \ln \left( \frac{n_i}{N} \right)$$

$n_i$  – je abundance i-tého druhu,

$N$  – celkový počet jedinců

$s$  – počet druhů

## 8.2 Saprobni index

Jednou z nejrozšířenějších metod hodnocení kvality vody s důrazem na organické znečištění je **saprobni index**. Tento biotický index je založen na toleranci jednotlivých indikačních druhů (saprobiontů) ke stupni znečištění vody lehce odbouratelnými organickými látkami (vyjádřené např. jako BSK<sub>5</sub>). Vlastním výsledkem měření je tzv. **saprobni index společenstva**, což je číslo vyjadřující na stupnici saprobity (0,5–8,5) stupeň znečištění biochemicky odbouratelnými organickými látkami.

Mezi hlavní výhodu tohoto hodnocení patří široké rozpětí taxonů a společenstev (aplikovatelnost na všechny typy toků). Mezi nevýhody naopak řadíme nutnou znalost taxonomie (obtížnější determinace na druhové úrovni s možností subjektivních chyb), důraz pouze na indikační druhy (nebere v potaz celkový počet druhů a změny v jejich počtu, což je nejdůležitější odpověď společenstva na toxické a jiné formy znečištění), saprobni systém je zaměřen pouze na hodnocení organického znečištění (výskyt organismů je však

ovlivňován i jinými faktory, než je znečištění vody hnilobnými látkami). Podle Sládečka (1973) byl zaveden systém jakosti přírodních a odpadních vod takto:

- Katarobita – nejčistší voda, prakticky bez oživení,
- Limnosaprobita – většina přírodních povrchových vod,
  - x - xenosaprobita (prameny - velmi čisté vody) třída I a,
  - o - oligosaprobita (horní úseky toků - čisté vody) třída I b,
  - β – β-mesosaprobita (střední úseky toků - znečištěné vody) třída II,
  - α - α-mesosaprobita (často vlivem člověka - silně znečištěná voda) třída III,
  - p - polysaprobita (vždy vlivem člověka - velmi znečištěná voda) třída IV,
- Eusaprobita – odpadní vody znečištěné odbouratelnými látkami,
- Transsaprobita – odpadní vody znečištěné neodbouratelnými látkami.

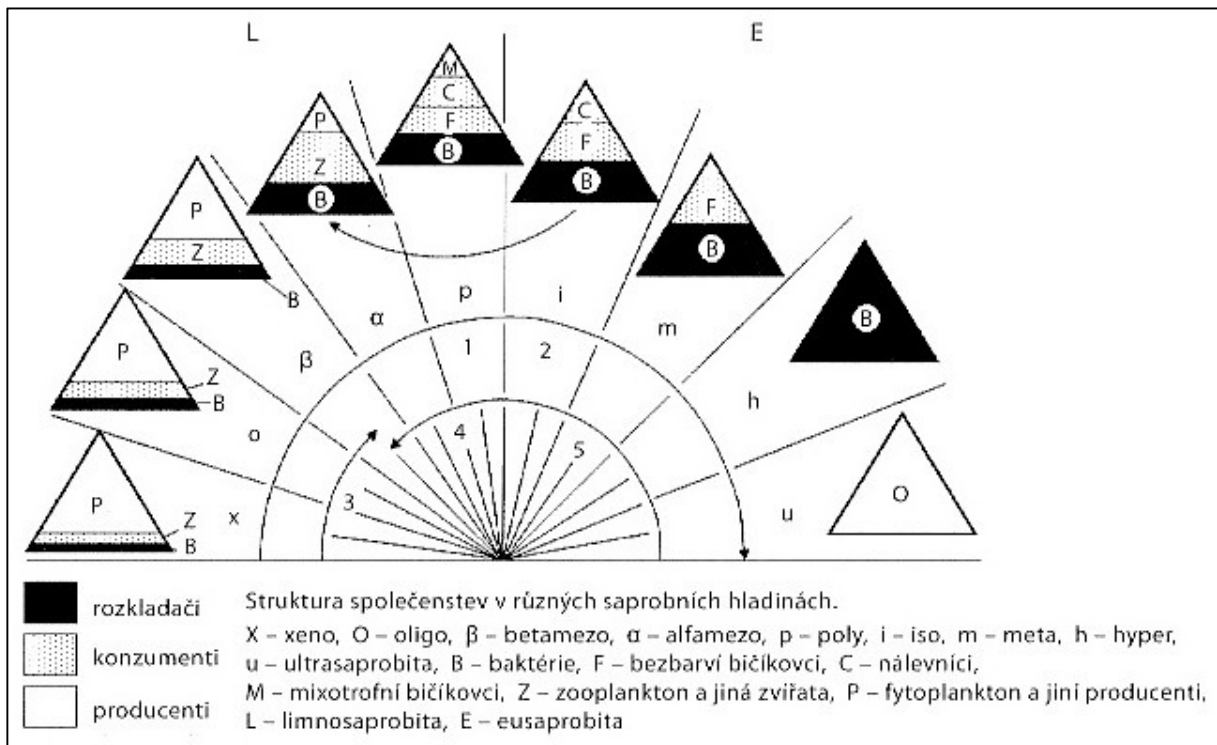
Saprobni index můžeme vypočítat pomocí vzorce:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot s_i \cdot g_i}{\sum_{i=1}^n A_i \cdot g_i}$$

$A_i$  – abundance

$s_i$  – individuální saprobní hodnota organismu

$g_i$  – indikační hodnota organismu



**Obrázek 23** Zastoupení základních trofických skupin organismů v jednotlivých saprobních stupních (zdroj Adámek a kol., 2010)

### 8.3 BMWP Score

**Biological Monitoring Working Party Score (BMWP Score)** a **Average Score Per Taxon (ASPT index)** jsou jednoduché metody hodnocení kvality vod, které přiřazují skóre určitým čeledím makrobezobratlých a po sečtení dávají celkové skóre. Při vývoji těchto skóre systémů se počítalo s následujícími fakty:

- Čeledi bezobratlých jsou až na několik výjimek dobře determinovatelné.
- Každý druh určitého taxonu má identické nebo minimálně podobné ekologické nároky a může proto sloužit jako indikátor s jedním skóre pro taxon.
- Počet individuí čeledi není počítán, tzn. jednotlivé organismy mají tutéž ekologickou váhu jako masy organizmů.

**BMWP Score** je dnes nejpoužívanějším bioindikačním systémem ve Velké Británii a zcela nahradil předchozí indexy. Používá pouze kvalitativní odběr a identifikaci na úroveň čeledí. Systém je založen na bodovém ohodnocení rozdílných čeledí bezobratlých podle jejich stupně tolerance k organickému znečištění. Každá čeleď reprezentuje skóre pouze jednou, nezáleží na tom, jak mnoho druhů je v ní zahrnuto. Skóre je značně ovlivněno účinností odběru, zpracováním a determinací, proto se celkové skóre dělí počtem zjištěných taxonů, čímž dostáváme průměrné skóre **ASPT**.

Pro výpočet BMWP sestavíme seznam **systematických jednotek (SU=systematic units)**. To jsou taxonomické skupiny definované autory indexu. V případě BMWP jsou jako SU používány čeledi. Každé SU se přiřadí příslušné skóre (0–100) a ta se sečtou. Výsledkem je BMWP skóre. Čím je vyšší, tím lepší je kvalita vody. Individuální skóre pro každou čeleď bylo fixováno empiricky. Protože toto skóre nemá horní limit a není tedy závislý na velikosti (bohatosti) vzorku, byl zaveden ASPT index. Je to hodnota BMWP skóre vydělená počtem skórujících SU (=čeledí).

### 8.4 Predikční systémy hodnocení

Predikční systémy jsou využívány ke zjištění očekávaného (cílového – target) společenstva makrozoobentosu konkrétní hodnocené lokality na základě údajů z referenčních lokalit uložených v podkladové databázi. Podkladové údaje se týkají složení bentických společenstev a hodnot abiotických proměnných vodního prostředí (průtok, hloubka, substrát atd..). S tímto očekávaným společenstvem je pak srovnána hodnocená lokalita. Srovnání se provádí pomocí výše uvedených metod, např. pomocí indexu podobnosti.

Základem predikčních systémů je systém **RIVPACS (River InVertebrate Prediction and Classification System)**, který byl rozpracován ve Velké Británii. Jedná se počítačový program používaný k predikci fauny na stanovišti pomocí environmentálních proměnných. Důležitým rysem tohoto přístupu je, že každá předpověď je specifická pro environmentální informace, které definují stanoviště. Model predikuje typ společenstva bezobratlých, které by se mělo v závislosti na daných environmentálních proměnných vyskytovat

na nezasazených místech (tedy na lokalitách přírodního typu). Srovnání pozorovaných hodnot s predikovanými poskytuje tzv. **EQR (Environmental Quality Ratio)**.

V současné době je vyvíjena a testována metodika hodnocení tekoucích vod podle makrozoobentosu, která vychází z požadavků Rámcové směrnice EU o vodách. Tato směrnice sice definuje systém pro hodnocení vodních těles, ale jednotná metodika na určení ekologického stavu stále čeká na své zpracování. Projekt byl zahájen v březnu 2000 a účastní se jej osm evropských zemí.

V České republice byl na podobných principech vytvořen predikční systém **PERLA**, jehož základem je program **HOBENT (Hodnocení BENTosu)**. Monitoring povrchových vod v ČR probíhá v souladu se Směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES (Rámcová směrnice – WFD EU), kdy se hodnotí chemický stav, ekologický stav a hydromorfologie. Vodní útvary jsou na našem území typizovány podle hydroekoregionů, nadmořské výšky a řádu toku do 35 typů tekoucích vod. S ohledem na WFD EU byl vytvořen informační hodnotící systém **ARROW**, který vytváří modely hodnocení stavu vod a zařazuje toky do tříd dle principů a požadavků směrnice.

## 9 Biologická produktivita vod

Neustálou metabolickou aktivitou všech živých složek biosféry probíhá neustálý koloběh látek a energie. Tento koloběh je tak výsledkem složitých interakcí mezi organismy a podmínkami prostředí napříč všemi biotopy a všemi úrovněmi potravní sítě. Funkční struktura a metabolismus celých společenstev vychází ze součinnosti všech potravních vztahů, jež jsou uspořádány do tří trofických úrovní:

- producenti – autotrofní organismy zodpovědné za primární produkci:
  - fotoautotrofní organismy – zelené rostliny s chlorofylem, využívající sluneční záření,
  - chemoautotrofní organismy – mikroorganismy využívající k syntéze chemickou energii za anorganických látek v redukovaném stavu (amoniak, sirovodík, metan),
- konzumenti – heterotrofní organismy tvořící sekundární (a následnou) produkci:
  - býložravci,
  - všežravci,
  - masožravci,
  - parazité,
  - symbionti,
- destruenti – Heterotrofní organismy rozkládající odumřelou organickou hmotu, čímž uvolňují biogenní prvky zpět do koloběhu. Patří sem převážně bakterie a houby.

Podrobná znalost ekologických a potravních vazeb mezi jednotlivými články v ekosystému nám dává možnost ovlivňovat řízenou skladbou různých organismů složení populace ostatních skupin. Takové zásahy do populací volně žijících organismů označujeme jako **biomanipulace**.

Na úrovních hlavních článků produkčních řetězců a potravních vztahů a v přírodních ekosystémech rozlišujeme dva základní stupně produkce.

### 9.1 Primární produkce

Ta je závislá na biochemických procesech fotosyntézy autotrofních organismů, které tak dovedou transformovat radiační energii ze slunce na energii chemických vazeb. Intenzita této přeměny je dána dostupností živin (**trofie**) v ekosystému a intenzitou slunečního záření (ve vodě silně závislé na zákalu vody a hloubce). Produktem je množství biomasy (organická hmota v podobě těl producentů) vytvořené za jednotku času na jednotce plochy.

Jedná se o hmotný základ biogenního koloběhu látek a energií napříč všemi biocenózami, který rozlišujeme na **hrubou (brutto)** primární produkci a **čistou (netto)** primární produkci:

- Hrubá primární produkce – veškerá organická hmota vytvořená producenty za časovou jednotku, včetně jejich vlastních těl a tkání.
- Čistá primární produkce – představuje hrubou produkci poníženou o vlastní metabolickou spotřebu primárních producentů. Je to tedy část, která je k dispozici pro krytí potravních a životních potřeb pro další články potravních sítí.

Za účelem zjišťování primární produkce přírodních ekosystémů, případně zemědělsky využívaných ploch, je možné využít několik základních přístupů. Jednou z nejjednodušších technik je **metoda sklizně**, kterou lze s úspěchem aplikovat hlavně při kvantifikaci emergentních litorálních porostů či submerzní makrovegetace. Zurčených ploch se v pravidelných známých intervalech vegetace sklídí a vysuší na konstantní sušinu. Následně je sušina přepočtena dle kalorického ekvivalentu (1 g sušiny = 17 kJ) na hodnotu celkové primární produkce.

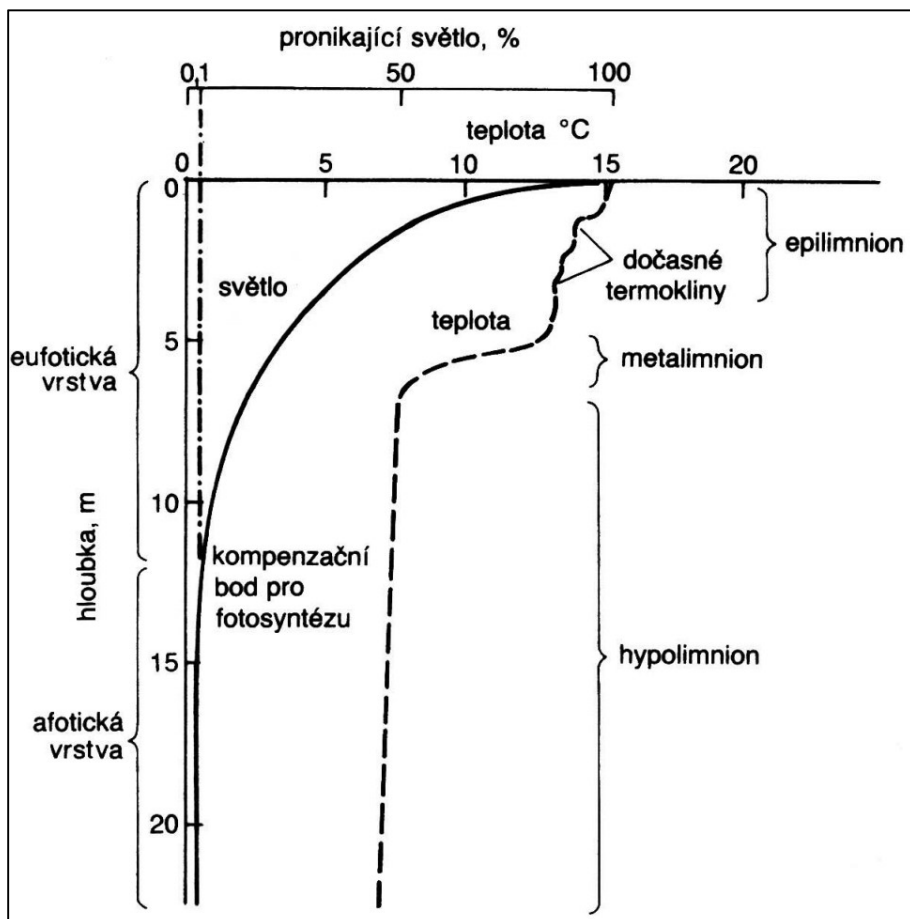
Další metoda je založená na měření množství kyslíku uvolněného za určité období fotosyntetickou činností autotrofních organismů. Označuje se jako **kyslíková metoda** či jako metoda světlých a tmavých lahví. Vzorek vody odebereme do dvojice nádob, jedna je průhledná a ponechaná na světle, druhá je neprůhledná a umístěná v temnu. V první nádobě tak bude probíhat fotosyntéza a ve druhé bude docházet pouze ke spotřebě kyslíku a energie. Po expozici v řádu hodin (až 24 h) odečteme obsahy kyslíku v obou nádobách a dostaneme čistou produkci autotrofních organismů zmenšenou o respirační činnost přítomných mikroorganismů. Finálně opět přepočteme tuto hodnotu podle kalorického ekvivalentu (1 g O<sub>2</sub> = 0,73 g sušiny = 14,7 kJ).

Úroveň primární produkce je díky dnešní technice možno získat i na dálku. Metoda **stanovení koncentrace chlorofylu-a** využívá známou vlnovou délku tohoto fotosyntetického pigmentu, který má mezi autotrofními organismy nejširší zastoupení. Jeho množství je tak přímo úměrné množství fotosyntetizujících organismů, potažmo i intenzitě primární produkce. Pomocí spektrofotometrického stanovení tak lze jeho koncentraci získat na dálku z velkých ploch pomocí satelitního snímkování.

Nejpřesnější (a technicky nejnáročnější) je **radioizotopová metoda**, která je založená na asimilaci značené formy biogenního prvku přidaného ve známém množství do exponovaného vzorku či kultury planktonu. Nejčastěji se pro značení používá izotop <sup>14</sup>C ve formě Na<sub>2</sub><sup>14</sup>CO<sub>3</sub>. Vlastní pokus také využívá principu světlých a tmavých lahví (podobně jako kyslíková metoda) a po známé časové expozici kvantifikujeme množství značeného uhlíku, jež se inkorporuje do tkání autotrofních organismů (fytoplanktonu). Výslednou hodnotu je opět možné přepočítat na produkci v jednotkách kJ.

Intenzita fotosyntézy roste se stoupajícím množstvím světla jen do určitého bodu, tzv. **světelného optima**. Podobný vztah je mezi zvyšující se teplotou a intenzitou fotosyntézy. V takové hloubce, do které proniká pouze 1 % fotosynteticky aktivního záření,

dochází k vyrovnání syntézy a respirace – **kompensační bod fotosyntézy**. S ohledem na proměnlivý zákal a zabarvení vody se tato hloubka mezi lokalitami (případně ročními obdobími na jedné lokalitě) může výrazně lišit a pohybuje se mezi jednotkami metrů (mělká eutrofní nádrž) až stovkami metrů (mořské prostředí).



**Obrázek 24** Vztah teplotní a světelné stratifikace vodní nádrže v době letní stagnace (zdroj Goldman a Horne, 1983)

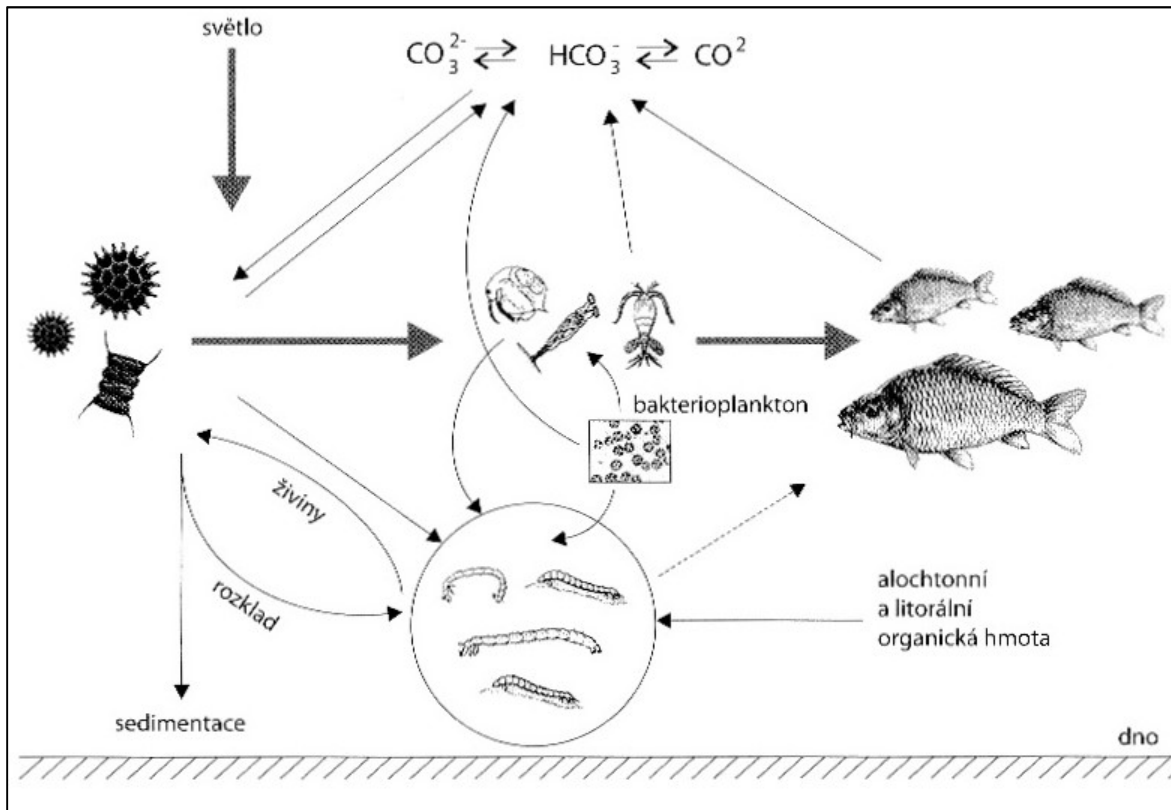
Rozhodující podíl na primární produkci mají ve vodním prostředí planktonní řasy a sinice (odhaduje se 90% podíl), ve srovnání se suchozemskými biotopy, kde jsou převládajícími producenty vyšší rostliny (byliny, dřeviny).

## 9.2 Sekundární produkce

Studium produktivity a produkce konzumentů, tj. živočišné složky biocenóz vodních ekosystémů je na rozdíl od sumárních metod měření primární produkce komplikováno řadou faktorů. Produkci dvou základních heterotrofních složek zodpovědných za sekundární produkci (zooplankton a zoobentos) je nutno měřit na úrovni populací různých druhů, nebo na úrovni vyšších taxonů. Často nelze ani snadno a jednoznačně vymezit jasnou hranici mezi konzumenty prvního (býložravci), druhého (masožravci) či třetího řádu (predátoři drobných masožravců). Oproti suchozemským ekosystémům se ve vodním prostředí vyskytuje větší procento všežravých (omnivorních) organismů. Naopak dravé druhy mohou příležitostně konzumovat rostlinný materiál. Z tohoto pohledu je

vhodnější ve vodním prostředí používat termín potravní sítě, který přesněji vyjadřuje vzájemnou provázanost mezi více trofickými úrovněmi, než jednoduchý potravní řetězec s jasnou návazností všech článků. Ve vodních ekosystémech obecně platí, že vrcholovou skupinou potravní sítě jsou rybovití obratlovci. Destruenti (bakterie a houby) se zapojují do všech úrovní od primárních článků po koncové.

Množství vyprodukované biomasy souvisí se stupněm a formou utilizace látek a energie

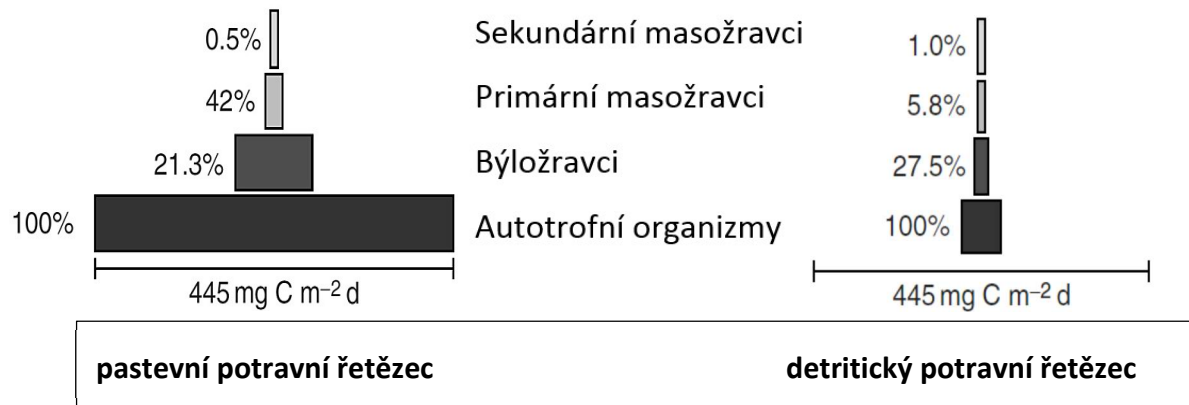


**Obrázek 25** Zjednodušené schéma potravní sítě ve vodní nádrži (zdroj Adámek a kol., 2010)

přijatých potravou. Část přijaté chemické energie je využita na krytí vlastního metabolismu, přičemž je chemická energie přeměněna na teplo uvolněné do prostředí, což je v souladu s termodynamickým zákonem o zachování energie. Tím způsobem se ovšem do každé vyšší úrovně potravní sítě transformuje menší množství energie do tvorby tkání a těl organismů, protože část energie se „ztratí“, nejčastěji vyzářením v podobě tepla. Tato zdánlivě nízká efektivnost způsobuje snižování biomasy mezi různými trofickými úrovněmi v potravní síti. Jinak řečeno, vždy bude větší množství biomasy primárních producentů, než sekundárních producentů a nakonec terminálních článků potravních řetězců. Respirační ztráty energie jsou výrazně ovlivňovány faktory prostředí (teplota a pohyb vodních mas). Zároveň jsou tyto ztráty závislé na velikosti organismů. Čistou produkci živočichů tak měříme růstem jedinců a jejich reprodukcí. Účinnost využití potravy, tedy poměr mezi konzumem a asimilací potravy ( $A/C$ ), se u různých živočichů značně liší a pohybuje se mezi 10–90 %. Obecně u bezobratlých živočichů bývá tato účinnost nižší (20–50 %), u ryb naopak poměrně vysoká (70–80 %).



Vodní ekosystém tak dobře ilustruje přímou závislost množství terminální produkce (vrcholový predátor) na počet mezičlánků v potravní síti, kdy na každé úrovni dochází ke snížení biomasy, díky výše zmíněným ztrátám energie. V oligotrofní nádrži tak podíl terminální produkce mnohdy činí jen 0,1 % z primární produkce.



**Obrázek 26** Poměrné množství biomasy v různých úrovních potravní pyramidy v jezeře Contance (zdroj Likens, 2010)

## 10 Hydrobiologie v rybářství

Kromě jiných odvětví nachází znalosti z hydrobiologie největší uplatnění v akvakulturní produkci a managementu volných vod. Aplikací hydrobiologie ve vazbě na rybářství se snažíme optimalizovat podmínky životního prostředí pro ryby (či jiné vodní organismy), které jsou primárním zájmem producentů. Je nutné si uvědomit, že rybářské požadavky na kvalitu vody jsou často odlišné (někdy i zcela opačné), než požadavky například z pohledu rekreace a vodárenství, kde je požadavek na čistou vodu oproti maximalizaci produkce vodních organismů.

Pro rybářské odvětví v našich podmínkách jsou typické rybníky, tedy vypustitelné nádrže eutrofního charakteru s mělkým profilem. Vlivem intenzifikace rybářského hospodaření se produkce ryb na ha plochy vodních nádrží zvýšila během století z několika desítek kg/ha až na současných zhruba 500 kg/ha. Tato průměrná hodnota se bude odvíjet od přirozené úživnosti dané vodní nádrže, nadmořské výšky a rozsahu intenzifikačních faktorů, pomocí kterých je možné zvýšit produkci až na 1000 kg/ha.

### 10.1 Trofické vazby v rybníčním prostředí

Primární produkce je v rybníčním prostředí typicky zastoupena především fytoplanktonem. Vliv perifytonu je zanedbatelný s ohledem na bahnitě dno a malou průhlednost vody. Sekundární produkce je reprezentována zooplanktonem a zoobentosem. Obě společenstva jsou díky vysokému predančnímu tlaku a značně uniformnímu eutrofnímu prostředí druhově poměrně chudá. Jsou reprezentována menším počtem taxonů, které mohou dosahovat vysoké biomasy. Z planktonních organismů jsou to např. velké filtrující perloočky rodu *Daphnia* a z bentických zástupců larvy pakomárů rodu *Chironomus* či nitěnky (*Tubifex*).

Fytoplankton je potravou pro filtrující zooplankton (perloočky, vířníci), bentické filtrátory (houby, mlži, larvy hmyzu) a filtrující ryby (tolstolobik, tolstolobec). Filtrační výkon se pohybuje v řádech zlomků ml/den (zooplankton) až po desítky l/hod (ryby). Pro velkou část rybníků je v současnosti charakteristická vysoká biomasa fytoplanktonu. Zvláště v jarních měsících dochází k výraznému posunu v poměru fotosyntéza/respirace. Dochází k alkalizaci vodního prostředí, kdy fotosyntéza spotřebovává značné množství CO<sub>2</sub>, dochází tak k úbytku kyseliny uhličitě v systému. V tomto období tak může docházet ke zvýšení pH až k hodnotám 10. Počátkem léta se začnou s oteplováním vody více uvolňovat živiny deponované v sedimentu dna, což má za následek zvýšení fotosyntézy a pozitivně to stimuluje množení biomasy fytoplanktonu. V horní vrstvě vodního sloupce dojde při navýšení biomasy k efektu stínění a v dolních vrstvách je fotosyntéza potlačena. Díky vyšší biomase výrazně narůstá také respirace a intenzita rozkladných procesů (autotrofní organismy mají rychlý generační cyklus a rychle odumírají). Tím může koncem léta docházet k deficitům kyslíku v hlubších částech nádrže. Tento jev je typický hlavně pro konec letního období, kdy může v eutrofní nádrži docházet k výrazným výkyvům koncentrací kyslíku v průběhu dne.

Výsledkem filtračního tlaku velkých perlooček bývá začátkem léta výrazné snížení biomasy fytoplanktonu a poměrně vysoká průhlednost vody. Kvalitativní a kvantitativní složení rybníčního zooplanktonu je však zásadně ovlivňováno vyžírácím tlakem rybí obsádky. Začátkem léta se stoupající teplotou vody roste i vyžírací tlak rybí obsádky na zooplankton a průhlednost vody se opět sníží, díky menšímu tlaku na fytoplankton.

Biomasa obsádky kaprového rybníka ovlivňuje zásadně složení společenstva zooplanktonu (velikostní spektrum a početnost zastoupených druhů). Podle jeho složení (díky vyžíracímu tlaku) tak můžeme odhadovat hustotu a složení rybí obsádky.

Další významnou složkou potravy ryb je zoobentos, který je z větší části tvořen převážně máloštětinatými červy (*Tubifex*, *Limnodrilus*) a larvami pakomárů (*Chironomus*). Při získávání bentosu rozrývají kapři dno, čímž dochází k částečnému uvolňování živin do vodního sloupce (jakási přirozená orba rybníčního dna).

## 10.2 Struktura rybích obsádek

Za účelem maximalizace rybí produkce je v dnešní době nejčastěji v rybnících chována polykultura ryb. Dominantním druhem u nás zůstává **kapr obecný** (*Cyprinus carpio*), který je všežravý avšak preferuje větší zástupce planktonu a bentosu. Větší část primární produkce by tak kaprem nebyla vůbec využita. Aby byly efektivně využity všechny části potravní sítě, dosazují se do polokulturních obsádek doplňkové druhy ryb.

**Lín obecný** (*Tinca tinca*) – všežravá kaprovitá ryba s podobnou potravní preferencí, ale potravu vyhledává spíše v břehových zarostlých částech nádrží.

**Tolstolobik bílý** (*Hypophthalmichthys molitrix*) – významný filtrátor s jemným žaberním aparátem (20 µm), který v mladém věku konzumuje převážně fytoplankton. Může se tak částečně podílet na kontrole množství fytoplanktonu v nádržích. Účinnost trávicího procesu je však u těchto ryb poměrně nízká. Velká část pozřené fytoplanktonu tak může zaživačím traktem projít téměř neporušená.

**Tolstolobec pestrý** (*Hypophthalmichthys nobilis*) – také významný filtrátor planktonu, který je ovšem zaměřený na o něco větší potravu, při jemnosti filtračního aparátu kolem 80 µm.

**Amur bílý** (*Ctenopharyngodon idella*) – typický zástupce rostloožravých (**fytofágních**) druhů, jehož výlučnou potravou jsou od určité velikosti vyšší vodní rostliny. Pokud nemá přístup k dodávaným rostlinným krmivům, projevuje se v nádrži jako výrazný biomeliorační činitel, který může eliminovat rozsáhlé porosty vodních makrofyt.

Dravé druhy ryb, které přispívají k eliminaci nechtěných menších kaprovitých ryb, zastupuje **štika obecná** (*Esox lucius*), **candát obecný** (*Sander lucioperca*), **sumec velký** (*Silurus glanis*), **okoun říční** (*Perca fluviatilis*) či úhoř říční (*Anguilla anguilla*). Tyto druhy si částečně konkurují, avšak s ohledem na různou velikost se každý zaměřuje na trochu jiný typ kořisti (druh i velikost). Drobné druhy ryb, které můžeme označit za nechtěné (plevelné), zastupují **karas stříbřitý** (*Carassius gibelio*), **perlín ostrobřichý** (*Scardinius erythrophthalmus*), **střevlička východní** (*Pseudorasbora parva*), **plotice obecná** (*Rutilus rutilus*), atp. Jejich zvýšený výskyt je nežádoucí z hlediska přímé potravní konkurence kaprovi či línovi.

### 10.3 Biomanipulace ve vodním prostředí

Znalosti o vzájemných vazbách a ekologii napříč různými skupinami vodních organismů (uvedené v předchozích kapitolách) je možné prakticky využít pro potřeby **biomanipulací** a **biomeliorací**. Obecně platí, že v nádržích s vysokou biomasou planktonožravých ryb je zooplankton tvořen převážně menšími druhy a společenstvo fytoplanktonu je naopak mohutně rozvinuté, což způsobuje vegetační zákal a malou průhlednost vody. Naopak při nízké rybí obsádce převažují v zooplanktonu velké filtrující druhy, fytoplankton je velmi chudý a průhlednost vody je vysoká.

Tento jev, který je dobře registrovatelný zvláště v rybnících s různě početnou obsádkou je podstatou tzv. „**top-down**“ efektu, založeného na působení na vrcholové články potravní pyramidy s cílem ovlivnění nižších trofických úrovní. Na tomto principu je tak založena biomanipulací, jejímž principem je podpora populací organismů, které kontrolují a limitují populace nechtěných organismů za účelem zachování vysoké kvality prostředí (např. čistoty vody ve vodárenských nádržích).

Ve své typické podobě se tak v praxi uplatňují silné dravčí obsádky vodárenských nádrží, kde je snaha eliminovat drobné kaprovité ryby vyžírající velký zooplankton.

Společně s vhodným managementem rybích obsádek by však zároveň mělo docházet k cílenému snížení výskytu biogenních prvků (P, N) ve vodním prostředí, jinak nemůže být biomanipulací zcela úspěšná.

Na podobném principu je založena biomeliorací, jejímž účelem nejčastěji bývá odstranění makrofyt. Z hlediska volných vod bez intenzivního hospodaření je výskyt vodních rostlin veskrze pozitivní. Nadměrný rozvoj v rybnících (hlavně v břehových mělkých částech) je však nežádoucí, neboť zmenšuje plochu nádrže a snižuje tak produkci požadovaných organismů. Jak už bylo zmíněno výše pro potřeby eliminace nežádoucích porostů vodních trav, je možné využít zvýšené obsádky amura bílého, který se makrofyty živí.

Ve fázi výzkumu a testování jsou i jiné typy ovlivnění společenstev a biologické kontroly určitých skupin vodních organismů. Například eliminace vodních měkkýšů vysazováním **amura černého** (*Mylopharyngodon piceus*) což je moluskofágní druh (živí se měkkýši).



## 11 Fotopříloha



**Obrázek 27** Horní úsek toku ve svažitém terénu bez regulace. Tiský potok – severní Čechy. (foto M. Petrtýl)



**Obrázek 28** Horní úsek toku ve svažitém terénu s tvrdým kamenným zpevněním dna i břehů včetně příčných stupňů pro zpomalení odtoku. Moravanský potok – severní Čechy. (foto M. Petrtýl)



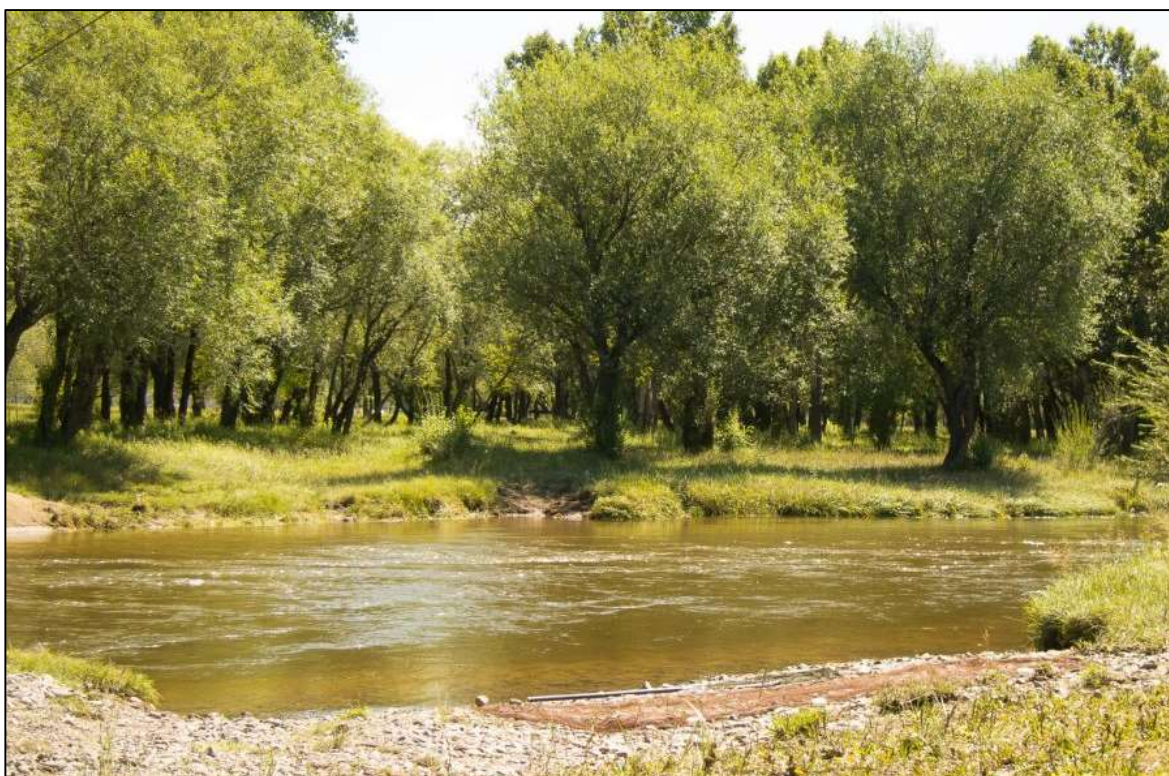


**Obrázek 29** Horní úsek toku v rovinatém terénu bez regulace koryta s přirozenou erozí břehové linie. Ponětlucký potok – severní Čechy. (foto M. Petrtyl)



**Obrázek 30** Horní úsek toku (v intravilánu) s tvrdým kamenným opevněním dna i břehů. Studený potok – severní Čechy. (foto M. Petrtyl)





**Obrázek 31** Střední část toku s oblázkovým až šterkovým dnem (lipanové pásmo) s přirozenými břehovými porosty. Řeka Tuul – centrální Mongolsko. (foto M. Petrtýl)

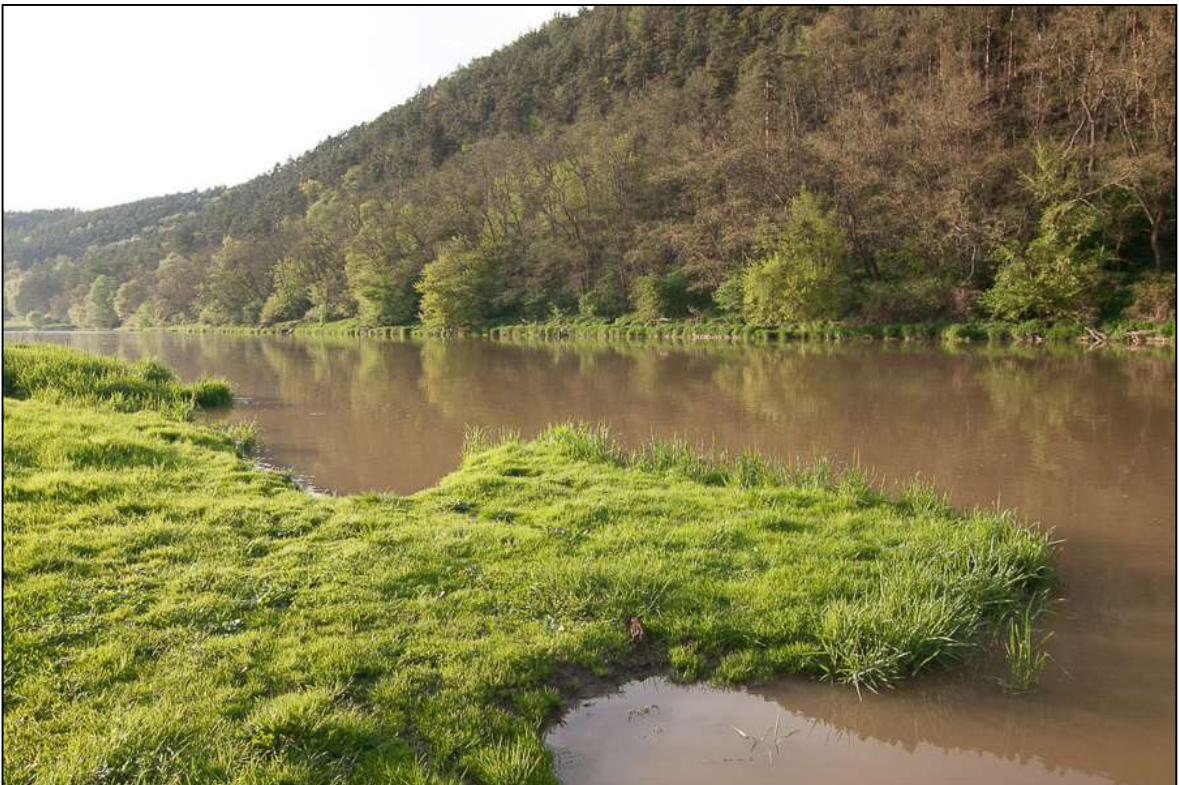


**Obrázek 32** Střední část toku se šterkovým až písčným dnem (pásmo) s přirozenou erozí nezpevněných břehů. Řeka Kharaa – severní Mongolsko. (foto M. Petrtýl)





**Obrázek 33** Přirozeně meandrující tok v ploché krajině říční nivy, patrné jsou starší již zarostlé meandry. Řeka Tuul – centrální Mongolsko. (foto M. Petrtyl)



**Obrázek 34** Dolní tok řeky s jemným sedimentem dna (cejnové pásmo), s převažujícím laminárním prouděním a vyšším zákalem vody. Řeka Berounka – střední Čechy. (foto M. Petrtyl)





**Obrázek 35** Ukázka extrémního stanoviště – malé tůňky s vysokou salinitou oživené nízkým počtem tolerantních druhů (např. žábřonožka). Bezodtokové vysychající jezero Tsaidam – centrální Mongolsko. (foto M. Petrýl)



**Obrázek 36** Obnažené dno Hostivařské přehrady (Praha) demonstruje jednotvárnost biotopu umělých vodních nádrží s množstvím jemného sedimentem. Stav v průběhu odbahňování v roce 2011. (foto M. Petrýl)





**Obrázek 37** Zpevnění tělesa hráze kamenným záhozem u umělé rybochovné nádrže. Rybník Ján – střední Čechy. (foto M. Petrtýl)

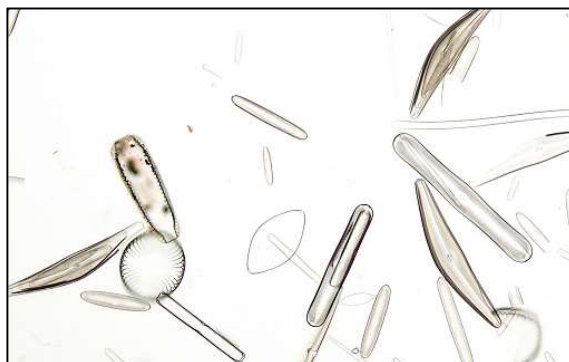
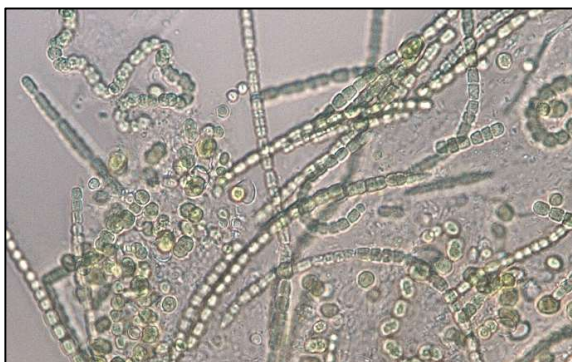


**Obrázek 38** Litorální pásmo mělké eutrofní umělé nádrže silně zarůstající makrofyty. Rybník Landa – jižní Čechy. (foto M. Petrtýl)





**Obrázek 39** Zarůstající mělká tůň přirozeně vzniklá odškrcením slepého říčního ramene. Polabí – střední Čechy. (foto M. Petrýl)



**Obrázek 40** Zástupci fytoplanktonu zleva: *Nostoc* sp., rozsivky (Diatomeae). (foto M. Petrýl)



**Obrázek 41** Zástupci zooplanktonu zleva *Artemia* sp. (žábřonožka), *Daphnia* sp. (perloočka). (foto M. Petrýl)

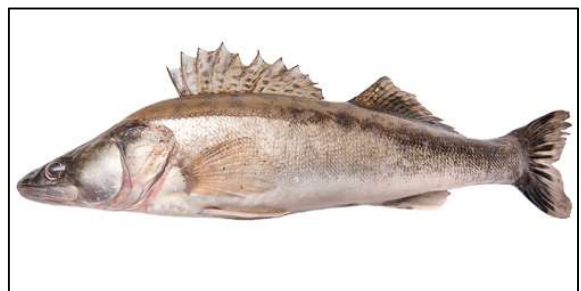




**Obrázek 42** Zástupci bentosu zleva: střechatka (megaloptera), jepice (ephemeroptera). (foto M. Petrýl)



**Obrázek 43** Ryby tekoucích vod zleva/shora: mřenka (*Barbatula sp.*), vranka (*Cottus sp.*), pstruh potochní (*Salmo trutta*), mník jednovousí (*Lota lota*). (foto M. Petrýl)



**Obrázek 44** Běžné druhy dravých ryb zleva/shora: štika (*Esox lucius*), Candát (*Sander lucioperca*), okoun (*Perca fluviatilis*) či sumec (*Silurus glanis*). (foto M. Petrýl)





**Obrázek 45** Typická rybníční polokulturní obsádka zahrnuje býložravého amura (*Ctenopharyngodon idella*) a všežravého kapra (*Cyprinus carpio*). (foto. M. Petrýl)



**Obrázek 46** Při nárazovém zhoršení kvality vody dochází k masovým úhynům vodních organismů, obsádka převážně tvořená cejnem velkým (*Abramis brama*). (foto M. Petrýl)

## Použité zdroje

### Odborná literatura

ADÁMEK, Zdeněk a kol. *Aplikovaná hydrobiologie*. 2. vyd. Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, 2010, 350 s. ISBN 978-808-7437-094.

BEGON, M., J. L. HARPER a C. R. TOWNSEND. *Ekologie: jedinci, populace a společenstva*. 1. vyd. Olomouc: Vydavatelství Univerzity Palackého, 1997, 949 s. ISBN 80-706-7695-7.

DYKYJOVÁ, Dagmar a kol. *Metody studia ekosystémů*. 1. vyd. Praha: Academia, 1989.

GOLDMAN, Ch., R. and Horne, J., A. *Limnology*. Mc. Graw-Hill Book Comp. 1983, 464s.

HANEL, Lubomír. *Ochrana ryb a mihulí: Metodika ČSOP č. 10*. 1. vyd. Vlašim: ZO ČSOP, 1995, 139 s.

HARTMAN, P., I. PŘIKRYL a E. ŠTĚDRONSKÝ. *Hydrobiologie*. 3. vyd. Praha: Informatorium, 2005, 359 s. ISBN 80-733-3046-6.

HUTCHINSON, G. Evelyn. *A treatise on limnology. Vol. I.: Geography, Physics and Chemistry*. New York: John Wiley & Sons, 1957.

HYNES, H., B., N. *The biology of polluted waters*. Liverpool University Press, 1960, 202 s.

HYNES, H., B., N. *The ecology of running waters*. Liverpool University Press, 1970, 555 s.

KALFF, Jacob. *Limnology: inland water ecosystems*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002, 592 p. ISBN 01-303-3775-7.

KRÁL, Jaroslav. *Chemie vody*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984.

LELLÁK, Jan a František KUBÍČEK. *Hydrobiologie*. 1. vyd. Praha: Univerzita Karlova, 1992. 257 s. ISBN 80-7066-530-0.

LIKENS, Gene E. *Lake ecosystem ecology: a global perspective: a derivative of Encyclopedia of inland waters*. Boston: Elsevier/Academic Press, 2010, 463 p. ISBN 01-238-2002-2.

MOSS, Brian. *Ecology of Fresh Waters: Man and Medium*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1988, 417 p. ISBN 06-320-1642-6.

POSTLETHWAIT, J. H., J. L. Hopson, R. C. Veres. *Biology: Bringing science to life*. New York: McGraw-Hill, 1991.

REICHHOLF, J., H. *Pevninské vody a mokřady*, IKAR Praha, 1998, 223 s. ISBN: 80-7202-185-0

SLÁDEČEK, V. *System of water quality from the biological point of view*. Ergebnisse der Limnologie (Germany, FR), 1973.

SLÁDEČEK, V., M. Zelinka, J. Rothschein, and V. Moravcová. *Biologický rozbor povrchové vody. Komentář k ČSN 83 1981: 0532*.

ŠÁLEK, Jan. *Malé vodní nádrže v životním prostředí*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1996, 141 s. ISBN 80-707-8370-2.

ŠTĚRBA, O. *Pramen života*, Praha Panorama. 1986, 221 s.

VANATTA, E. G. Bermuda Shells. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, Vol. 62 No. 3, 1910, 664-672 s.

WESTLAKE, D., F. Macrophytes. In: *River Ecology*, (Ed. by B A Whitton) Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1975, 106-128 s.

WETZEL, Robert G. *Limnology: Lake and River Ecosystems*. 3rd ed. San Diego: Academic Press, 2001, 1006 p. ISBN 01-274-4760-1.

## Internetové odkazy

ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, Jana. *Encyklopedie hydrobiologie* [online]. Praha: VŠCHT, 2006 [cit. 2014-10-03]. Dostupné z: [http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-006/](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-006/)

ŠVEHLÁKOVÁ, H., J. NOVÁKOVÁ a I. MELČÁKOVÁ. *Ekologické aspekty technické hydrobiologie* [online]. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006 [cit. 2014-10-03]. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/Ekologicke%20aspekty/>

## Právní předpisy a normy

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky.

Dostupné též z [http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index\\_en.html](http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html)

Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.

Dostupné též z <http://portal.gov.cz/zakon/252/2004>

## Doplňkové online zdroje informací

Environment: The Hidden Water We Use (Interaktivní mapa spotřeby „virtuální vody“ na různé komodity). *NATIONAL GEOGRAPHIC* [online]. 2014 [cit. 2014-10-03]. Dostupné z: <http://environment.nationalgeographic.com/environment/freshwater/embedded-water/>

Environment: The Global Water Footprint of Key Crops (Interaktivní mapa spotřeby vody v zemědělství podle plodin a kontinentů). *NATIONAL GEOGRAPHIC* [online]. 2014 [cit. 2014-10-03]. Dostupné z:

<http://environment.nationalgeographic.com/environment/freshwater/global-water-footprint/>

*IS Arrow: Data jakosti povrchových vod poskytovaná ČHMÚ* [online]. ČHMÚ, 2014 [cit. 2014-10-03]. Dostupné z: <http://hydro.chmi.cz/isarrow/index.php>