

## Kvalita povrchových vod

### Biologické ukazatele znečištění

RNDr. Sylva Rödlová, Ph.D

## Biologické ukazatele jakosti vody

Hlavní systémy hodnocení:

- Mikrobiální znečištění
- Saprobni systém
- Trofický systém
- Rybí (ekologická) pásma

## Biomonitoring, biologické hodnocení

- Monitoring (odběr a analýza vzorků)
- Hodnocení a interpretace (matematické, statistické, grafické metody)
- Založeno na bezobratlých (makrozoobentosu), rybách, řasách (fytoplankton, fytobentos) nebo makrofytech
- Biotická složka nese souhrnné informace o prostředí a jeho narušení

## Mikrobiální znečištění

- Nepostradatelný ukazatel zejména při hodnocení vhodnosti použití vody pro odběry pitné vody, stejně jako pro rekreační účely
- Bakteriologický rozbor vody představuje nejcitlivější indikátor jejího přímého i nepřímého fekálního znečištění
- Mikrobiálně znečištěná voda v sobě obsahuje zpravidla zárodky infekčních a parazitárních chorob, které se do ní dostávají spolu s živočišnými odpady

## Mikrobiální znečištění - indikátory

- koliformní bakterie (ostatní střevní bakterie, staré znečištění)
- fekální koliformní bakterie (*Escherichia coli*)
- enterokoky (kontinuální či čerstvé znečištění)
- mezofilní bakterie
- psychrofilní bakterie
- bezbarví bičíkovci
- další mrtvé a živé organizmy
- První tři druhy bakterií nesmí pitná voda pro hromadné zásobování obsahovat vůbec (v 100 ml)

## Koliformní bakterie

- nejdůležitějších indikátorem fekálního znečištění jsou mikrobi střevního traktu, které mohou být příčinou závažných onemocnění – typickým zástupcem je *Escherichia coli*, používaná ke stanovení tzv. koliformních bakterií (ve vodě vydrží i 1 rok)
- vyjadřuje se dvěma způsoby:
  - *coli* – počet kolonií tvořících jednotku (KTJ) ve 100 ml vody
  - *coli index* – celkový počet mikrobů v 1 l vody (např. coli index 100 u lokálního zásobování, 10 u hromadného)



*Escherichia coli*

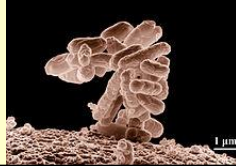


## Zdroje koliformních bakterií

- veškeré splaškové komunální odpady
- odpady z živočišné výroby – chovy prasat, dobytka, drůbeže aj.
- největší zdroje – velké sídelní aglomerace, nebezpečné zejména v době havárií či odstávky ČOV
- likvidace v pitné vodě se provádí chlorací (pro zabezpečení pitné vody min. 30min chlorace, koncentrace zbytkového chloru na úrovni alespoň 0,5 mg/l)



Koliformní bakterie -  
Enterobacteriaceae



1 μm

## Patogenní mikroorganismy přenášené vodou



Leptospira

Mikroorganismy	Způsobené choroby
Enteroviry (některé)	svalové obrny, zářety mozkových blan, herpangina, kožní vyrážky, pleurodynie, zánětlivé onemocnění srdce, infekce dýchacího traktu
Adenoviry (některé)	horečnatá faryngitida, onemocnění dýchacích cest, encefalitis, oční infekce
Reoviry (některé)	onemocnění dýchacích cest, zažívacího traktu a centrálního nervového systému
Viry hepatitidy	míček žloutenka
Enterobakterie (některé)	tyfus, paratyfus, úplavice, salmonelózy a průjmová onemocnění, nemoci horních cest dýchacích, močových cest, oční a ušní nemoci
Vibrie (některé)	cholera, furunkulóza
Stafylokoky (některé)	enterokolitis, hnisavá onemocnění kůže, nemoci dýchacího a urogenitálního traktu
Mykobakterie	onemocnění dýchacích ústrojí, tuberkulóza
Spirochety, leptospiry (některé)	leptospiroza, Weilova nemoc
Bacillaceae, Carynebacterie, Actinomycetaceae	snet' slezinná, záškrt, vozňivka

## Biologická kritéria surové a pitné vody

- úprava vody probíhá bez závad, když je oživení surové vody max. 1000 – 3000 org./ml
- při 3000 – 10000 org/l se upcávají pískové filtry
- nad 10000 org/l dochází k organoleptickým (senzorickým) závadám
- 4 (A-D) kategorie upravitelnosti (podzemní až nevhodné vody)
- oživení - zrušena předchlorace (vznik trihalogenmethanů)
- desinfekce pitné vody** – chlorace (náhrada oxidem chlorigým), ozonizace, filtrace přes aktivní uhlí, UV záření (krátkodobě), aparátka na domácí doúpravu, balená voda, kojenecká voda.
- biologické ukazatele pitné vody** - mikroskopický obraz (počet org/ml), fluorescenční rozlišení živých a mrtvých org., překročení stanovené velikostní meze (60μm), počet a velikost vloček koagulantu, abioseton (neživé částice)
- Hydrobiologická kontrola rozvodných sítí** – sekundární pomnožování, bakteriální biofilmy, nárosty

## Saprobni systém

- Biologické hodnocení kvality vody podle saprobního systému vychází z předpokladu, že v rozdílně znečištěných vodách žijí různé organismy, které se podílejí na probíhajících rozkladných procesech
- Saprobita** = biologický stav vody vyvolaný znečištěním rozložitelnými organickými látkami. Saprobita vody je charakteristický stav vodního prostředí, které určuje výskyt saprobitů. Základem stanovení stupně znečištění vod je biologický rozbor. Různému stupni znečištění odpovídají různé vodní biocenózy, které jsou tvořeny různě odolnými organismy. Saprobita = vlastnosti vodních biotopů, které řídí složení a vývoj saprobních biocenóz.
- Organismy se stěhují podle stavu znečištění vody a svých nároků na životní podmínky. **Saprobie** = vztah organismů k čistotě či znečištění vody.
- Organismy, použité jako indikátory znečištění označujeme jako **saprobionty** nebo **bioindikátory**.
- Cíl: určení saprobního indexu a tendence, kam se jakost vody vyvíjí

## Saprobni systém

- Původní systém hodnocení je založen na toleranci jednotlivých indikačních druhů ke stupni znečištění vody lehouce odbouratelnými organickými látkami (vyjádřenými většinou jako BSK<sub>5</sub>)
- Vliv organického znečištění na faunu je otázkou rovnováhy mezi nepříznivými podmínkami (nedostatek kyslíku, chemické látky) a výhodami zvýšeného přísunu potravy i redukce kompetice a predace. Obecně se znečištění organickými látkami projevuje vzestupem počtu organismů a poklesem diverzity. Vhodnými indikátory saporbit jsou v tekoucích vodách zejména makrozoobentos a nárosty a ve stojatých vodách někteří zástupci planktonu.
- Systém saporbit klasifikuje biotopy z širšího hlediska (i případy, kde by organismy mohly žít, ale nežijí – z jakéhokoliv důvodu – zahrnují i abiotické stupně)
- Saprobni index společenstva** – číslo vyjadřující stupeň znečištění biochemicky odbouratelnými organickými látkami (stupnice 0,5 – 8,5)



Bosminia sp., běžná perloočka nádrží a rybníků, Buchanka



## Saprobni systém

- Základní stupně saporbit – Kolkwitz a Marsson (1902,8 9)
- Označují biologickou kvalitu vody od nejméně k nejvíce zatíženým vodám:

- I. Kataprobita
- II. Oligosaprobita
- III. β-mezosaprobita
- IV. α – mezosaprobita
- V. Polysaprobita



Pstruh potoční, oligotrofní ryba



## Saprobní index - bioindikátory

- nejvhodnější pro bioindikaci **makrozoobentos** tekoucích vod
- snadno přístupný
- rychle zpracovatelný
- **rostlinné organismy** velmi přizpůsobivé a proto rozšířené
- **Bakteriální nárosty** poskytují věrohodné výsledky, ale vyžadují delší dobu ke zpracování a náročnější laboratorní vybavení



Pijavka koňská se vyskytuje v eutrofních vodách

## Saprobní index

▪ **Saprobní index S** – možnost kvantitativního vyjádření a srovnání s jinými ukazateli

▪ Sládečkův saprobní index:

$$S = \frac{0\Sigma_{hx} + 1\Sigma_{ho} + 2\Sigma_{hp} + 3\Sigma_{hu} + \dots}{\Sigma_n}$$

- S – saprobní index společenstva
- $\Sigma_{hx/o/hp/...}$  - součet hodnot abundance xenosaprobních/oligosaprobních/... indikátorů
- $\Sigma_n$  – suma všech bioindikátorů
- Doplněno Zelinkou a Marvanem o indikační hodnotu jednotlivých druhů (1961)
- Česká technická norma ČSN 75 7716: Jakost vod – Biologický rozbor – Stanovení saprobního indexu

## Saprobní systém v praxi

- Saprobní systém byl akceptován a je používán v 11 zemích střední a východní Evropy
- Kromě ČR se v Evropě v současnosti používají další 2 systémy založené na saprobním přístupu:
  - BEOL (Biologically Effective Organic Loading) v Německu
  - Quality-index či K-index v Holandsku
- nové metody: indexy diverzity, biotické indexy, indexy podobnosti (multivariační analýza), ecological quality ratio
- V USA akceptován málo
- toxicita působí v amerických řekách větší problémy než organické znečištění
  - Všeobecná skepse ke koncepci indikátorových organismů

## Trofický systém

▪ **Trofie = úživnost**

= schopnost vodního prostředí dodávat organismům živiny, aby mohly růst, rozmnožovat se a produkovat další organickou hmotu. Chápána ve smyslu primární produkce – primární produktivita = energie vodního prostředí.

**Trofických úrovní** je ale více (Producenti = autotrofní organismy (fotosyntéza, chemosyntéza), konzumenti = heterotrofní org., destruenti)

▪ **Hodnocení**

- podle skutečné produkce
- podle potenciální produkce

▪ Ukazatel obsahu biologicky využitelných živin ve vodě – **trofický potenciál Mp**

- Trofický systém používán zejm. pro oblast stojatých vod
- Souvislost se saprobním systémem

## Trofický potenciál

- Vyjádření: mg sušiny řas v 1 litru vzorku
- Stanovení – standardní biotest – kultivace řasy *Scenedesmus quadricauda* (obrázek) za stanovených podmínek
- Ukončení testu – když není další přírůstek
- Stanovení sušiny řasové biomasy
- Rozdíl na počátku a konci testu = trofický potenciál



Stupeň trofie vody	Trofický potenciál mg/l
Ultraoligotrofní (neúživné)	<5
Oligotrofní (slabě úživné)	5 – 50
Mesotrofní (středně úživné)	50 – 200
Eutrofní (silně úživné)	200 – 500
Polytrofní (velmi silně úživné)	500 – 1000
Hypertrofní (vysoce úživné)	> 1000

## Limitující a kontrolující aspekty míry trofie vodních ekosystémů

- **Vnitřní:** anorganický nutrient:
  - makronutrienty** – dusík (N), fosfor (P), uhlík
  - mikronutrienty** – bór, zinek, kobalt, měď, molybden, sodík apod.
- **jiná složka vody**, která má měřitelný vliv na růstovou odezvu (inhibitory, stimulatory)
- **Vnější:** světlo, teplo, hydraulický činitel

Nitěnka obecná se vyskytuje ve velmi silně znečištěných vodách



## Stupně trofie

Klasifikace **WQA** (Water Quality Association) 1992: stupně trofie podle úrovně nutrientů

Stupeň	P Průměr mg/l	Chlorofyl a Ø mg/m <sup>3</sup>	Chlorofyl a Max. mg/m <sup>3</sup>	Secchi disc Ø m	Secchi disc Min. m	O <sub>2</sub> Min % sat.
Ultra-oligotrofní	4	1	2,5	12	6	<90
Oligotrofní	10	2,5	8	6	3	<80
Mesotrofní	10-35	2,5-8	8-25	6-3	3-1,5	40-89
Eutrofní	35-100	8-25	25-75	3-1,5	1,5-0,7	40-0
Hypertrofní	100	25	75	1,5	0,7	10-0

## Vztah mezi saprobitou, trofií a BSK<sub>5</sub>

Vztah mezi saprobním a trofickým systémem sjednotit Sládeček (1997):

Stupeň saprobity	Stupeň trofie	BSK <sub>5</sub> g/m <sup>3</sup>	Fyto- plankton jedn./ml	Chlorofyl mg/m <sup>3</sup>	Primární mg/m <sup>3</sup> /de n	Produkce g/m <sup>3</sup> /rok
0,5 xenosaprobita	X-ultraoligotrofie	1	100	1	50	10
1,5 oligosaprobita	O-oligotrofie	2,5	1000	5	100	30
2,0 gama- mezosaprobita	G-gama-eutrofie mezotrofie	3,7	10 000	20	250	100
2,5 beta- mezosaprobita	B-beta-eutrofie	5	100 000	300	500	150
3,5 alfa- mezosaprobita	A-alfa-eutrofie	10	1000 000	1 000	1 500	300
4,5 polysaprobita	P-polytrofie	50	10 mil.	10 000	12 000	4 000

## Rybí pásma

- Biologickou kvalitu vodního toku vyjadřuje i jeho klasifikace do pásem podle charakteristických makroorganismů, které je obývají, především ryb
- Členění vychází z předpokladu, že pro úseky vodních toků, charakteristické z hlediska morfologie, vlastností proudění, stejně tak ale i míry zátěže jsou typické určité druhy ryb a vodních organismů, které takové prostředí obývají
- Jedním z nejdéle používaných členění, které postupem času doznalo modifikací, je klasifikace podle Friče (1872):

0. Pásmo	Bez ryb (pramenné úseky)
1. Pásmo	Pstruhové
2. Pásmo	Lipanové
3. Pásmo	Parmové
4. Pásmo	Kaprové, resp. Cejnové
5. Pásmo	Brakické vody při ústí do moří

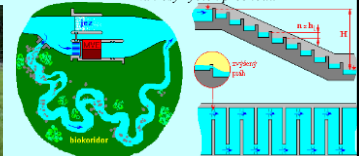
## Rybí pásma

- Problém = změna poměrů v tocích v posledních 100 letech:
- Postaveny jezy a přehrad, které brání rybám v pohybu (nyní stavěny tzv. rybí přechody)
- Vypouštění odpadních vod včetně toxických
- Vysazování neptivodních druhů ryb do toků
- Jednotlivá rybí pásma na sebe navazují překrýváním podle lokálních podmínek
- = původní členění má dnes již jen omezenou platnost

Rybí přechod na Bílé potoce



Nákresy rybích přechodů



## Rybí pásma

lipan podhorní

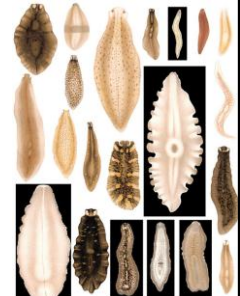
parma obecná

Charakteristika rybích pásem našich toků

Pásmo	pstruhové	lipanové	parmové	cejnové
Charakter toku	bystřina, potok	řeka	řeka	řeka
Dno	kamenité	šterkovité	šterkovité, kamenité	přísčité nebo bahnité
Spád	okolo 3 ‰	1,5 - 3,0 ‰	0,8 - 1,5 ‰	do 0,8 ‰
Šířka toku	do 10 m	10 - 15 m	10 - 20 m	nad 20 m
Max. teplota vody	15 - 18 °C	18 - 20 °C	18 - 22 °C	20 - 25 °C
Koncentrace O <sub>2</sub>	8 - 12 mg.l <sup>-1</sup>	7 - 11 mg.l <sup>-1</sup>	6 - 10 mg.l <sup>-1</sup>	5 - 8 mg.l <sup>-1</sup>
BSK <sub>5</sub>	do 2,2 mg.l <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	do 3 mg.l <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	do 3,5 mg.l <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	do 4,5 mg.l <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>
Charakteristické druhy ryb	pstruh potocní a duhový, vranka, siven	lipan, ouklejka, mřenka, proudič, mník, sířevle	parma, ostroreika, tloušť, podoustev, hlaivačka, hrouzek	cejn, kapr, štika, sumec, candát, plotice, bolen, jesen, cejnek, okoun, ouklej

## Historie biologického hodnocení vod

- Kolkwitz, Marrson (1902) – **saprobní systém**,
- Forbes a Richardson** (USA, 1913), klasifikace řek podle kvality vody (přítomnost/nepřítomnost indikátorových druhů vzhledem ke znečištění)
- RIVPACS** (UK, 80. léta) - River Invertebrate Prediction and Classification System – predikce taxonů na základě fyz. – chem. parametrů. Ecological Quality Ratio (EQR) = podíl mezi „referenčním stavem“ a některým indexem (referenční údaj = uskutečněný vzorek, literatura, expertiza)
- Podobné modely: **BEAST** (Kanada), **PERLA** (ČR), **AusRivAS** (Austrálie)
- Od ½ stol. nástup matematických a statistických hodnocení, dnes více jak 100 různých biotických indexů – „nebezpečí“ nesprávného použití či špatné interpretace (dostupnost statistických programů)



Turbellaria, ploštěnky

## Klasifikace dle biodiverzity

Složky diversity:

- **Richness** (druhová bohatost)
- **Evenness** (druhová vyrovnanost)
- **Abundance** (početnost)
- Klady: snadný výpočet indexů, vhodné i pro 1 lokalitu jako srovnání v čase, pro všechny tekoucí vody
- Zápory: velká variabilita i v nenarušeném prostředí (není referenční hodnota), všechny druhy mají stejnou váhu, nevhodné pro srovnání několika lokalit ve stejném čase
- Nepoužívá se v žádné evropské zemi jako národní standard biologického hodnocení.

## Predikční systém PERLA

- Kokeš, 2001
- Očekávané společenstvo makrozoobentosu určeno na základě viotických a abiotických údajů z referenčních lokalit
- Srovnání hodnocené lokality s očekávaným společenstvem – míra a charakter ovlivnění lokality
- Výpočtový systém HOBENT (Hodnocení podle BENTosu)

*Perla sp.* , pošvatka



## Další hodnocení v ČR

- **Bioakumulační monitoring** – vybrané těžké kovy, chlorované pesticidy a polychlorované bifenylly (PCB) na 17 profilech 2x ročně. Indikátorové organismy - bentos: *Sphaerium corneum*, *Bithynia tentaculata*, *Assellus aquaticus*, *Erpobdella octoculata* a *Hydropsyche* sp.). 1x ročně po 2 měsíční expozici - *Dreissena polymorpha*, biofilm na eternitových deskách. 1x ročně analýza svaloviny cejna velkého a jelce tlouště.



*Dreissena polymorpha* – slávička mnohotvárná,  
*Abramis brama* - cejn velký,  
*Leuciscus cephalus* - jelec tloušť

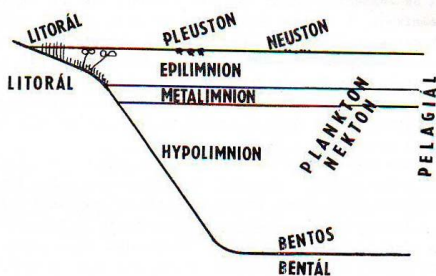


*Sphaerium corneum* – okružanka rohovitá, *Bithynia tentaculata* – bhnivka rmutná, *Erpobdella octoculata* – hltanovka bahenni

*Assellus aquaticus* – beruška vodní, *Hydropsyche sp.* - chrostici



## Biotopy a biocenózy stojatých vod



## Ekologická pásma

- V současné době převládá členění na tři základní pásma, které problematiku členění toků pojímají komplexněji (Illies, Botosaneanu, 1963)

- **Krenon** (krenál) – pramenné úseky, eukrenon = pramen
- **Rhitrón** (rhitrál) – potoky a malé říčky
- **Potamon** (potamál) – střední a dolní úseky řek

- Každý z těchto stupňů je dále členěn na tři úseky podle směru proudění, označované předponami:

- **Epi** – horní úsek
- **Meta** – střední úsek
- **Hypo** – dolní úsek

## Eutrofizace

- **Eutrofizace** = nadměrný rozvoj trofických procesů

- Přírozená
- Indukovaná

- **Přírozená eutrofizace**

- Vyvolána přírodním pozadovým obsahem sloučenin dusíku a fosforu v půdě, dnových sedimentech a vodních organismech.
- Prakticky nelze pozitivně ovlivnit – často působí komplikace při pokusech o řízení indukované eutrofizace
- Někdy je míra přírozené eutrofizace tak vysoká, že i při odstranění vnosů živin z antropogenních zdrojů dochází k zvýšené úrovni trofickým procesům



## Indukovaná eutrofizace

- Antropogenně podmíněná eutrofizace

- Nejčastější podoba procesu

- Vnosy živin do recipientu ze zemědělské činnosti a komunálních odpadů

- **Hlavní zdroje živin**

- Splachy z intenzivně obdělávaných zemědělských ploch (aplikace N a P hnojiv)
- Nečistěná nebo nedokonale čistěná komunální odpadní voda (P v detergentech a fekáliích)
- Odpady z živočišné výroby a potravinářského průmyslu
- Srážky
- Recirkulace v nádrži

## Projevy eutrofizace

Z biologického hlediska – postupná změna společenstev v důsledku přísunu živin, zejména fosforu a dusíku

- V první fázi zvýšení rozvoje řas, sinic a vyšších rostlin spolu se změnou barvy a průhlednosti vody, která dostává modrozelenou až zelenou barvu (vegetační zbarvení, převážně řasy). Na hladině se vytváří charakteristický vodní květ (převážně sinice), který plave
- Postupně se snižuje nasycení kyslíkem (jak organismy odumírají a rozkládají se), může být doprovázeno vznikem sirovodíku, amoniaku či methanu – může vést až ke kyslíkovému deficitu u dna a tím ke změně druhové skladby a úhynu ryb a dalších vodních organismů. Fáze **clear water**.

## Chemické projevy eutrofizace

• **Posun hodnot reakce vody** pH do alkalické oblasti v důsledku spotřeby CO<sub>2</sub> při fotosyntéze

• **Změny v kyslíkovém režimu** – zvýšená produkce kyslíku v tropogenní vrstvě a jeho totální spotřeba ve vrstvě tropolytické, která vede k deoxygenaci.

• **Vznik redukčních podmínek** díky kterým dochází k částečné mineralizaci organických látek, redukcí nitrátů, uvolňování železa a manganu a fosfátů ze sedimentů do vody aj.

## Limitující faktory eutrofizace

• **Přísun živin** – zejména P a N (ve sladkých vodách) a N a P (ve slaných)

• Kritické hodnoty P a N dle Savyera:

- 10 mg/m<sup>3</sup> u P-PO<sub>4</sub>
- 300 mg/m<sup>3</sup> u N-minerálního

• Poměr N/P

• Limitujícím prvkem eutrofizace je buď N nebo P podle vzájemného poměru

- Fosfor (N/P > 7)
- Dusík (N/P < 7)

## Ovlivňující činitelé eutrofizace

• **Teplota vody**

• **Roční období**

• K maximu produkce vodního květu dochází v jarních a letních měsících

• **Hloubka nádrže**

• Podstatný činitel, ovlivňuje nastartování a intenzitu průběhu eutrofizačních procesů

## Sinice

Nejvíce v jarních a letních měsících (přísun živin z povodí, teplé počasí, intenzivní sluneční záření)

U některých osob způsobují zdravotní potíže – obsahují toxické látky (do těla se dostávají stykem s kůží), které při styku s pokožkou mohou vyvolávat alergické reakce (ekzémy, záněty spojivek, zvracení, bolesti hlavy, žaludeční nevolnosti, průjemy, poruchy činnosti jater, při těhotenství komplikace....)

Při kontaktu se znečištěnou vodou nestírat ručníkem, ale opláchnout čistou vodou.

## Test na přítomnost sinic

Do průhledné lahve odebereme vzorek vody, který necháme hodinu (min 30 min.) ustát

Pokud v lahvi zůstane homogenní vrstva zelené vody, jde s největší pravděpodobností o znečištění řasami

Pokud se u hrdla láhve kumuluje ve formě řetízku a shluků zelená hmota (vypadá jako jehličí či nasekaná tráva, či krupička) - ukazuje to na přítomnost sinic