

Eutrofizace

Vysvětlení pojmů

Slovo eutrofizace je odvozeno od slova **trofie = úživnost**. **Eutrofizace vody** je soubor přírodních a uměle vyvolaných procesů, které vedou ke zvyšování trofické úrovně vody v důsledku obohacování anorganickými živinami (zejména dusíku a fosforu).

Klasifikace vod podle trofické úrovně

Míra zatížení vody živinami a trofické úrovně se klasifikuje podle různých kritérií, ke kterým patří zejména **koncentrace fosforu, chlorofylu-a** (tato hodnota kvantifikuje množství fytoplanktonu) a **průhlednost vody**, jak je představeno v následující tabulce.

Tab. 1: Ukazatele trofie vodních nádrží – podle OECD 1982 mírně upraveno Hartman et al. (1998)

Trofie	Oligotrofie	Mezotrofie	Eutrofie	Slabá hypertrofie	Silná hypertrofie
P ¹ celkový (μg.l ⁻¹)	< 15	15 – 50	50 – 200	50 – 200	800
Chlorofyl-a (μg.l ⁻¹)	< 3	3 – 7	7 – 30	30 – 500	500
Průhlednost (m)	5	2 – 5	0,5 – 2	0,2 – 0,5	< 0,2

Jak je patrné z tabulky, oligotrofní voda je chudá na živiny, nedochází v ní k nadměrnému rozvoji fytoplanktonu a tato voda si udržuje rovněž vysokou průhlednost. S navyšujícím stupněm trofie vzrůstá koncentrace fosforu, což se projevuje zvyšující se primární produkcí vyjádřenou jako chlorofyl-a a průhlednost vody se postupně snižuje na několik centimetrů.

Příčiny eutrofizace

Eutrofizace jako přírodní proces (**přírodní eutrofizace**) probíhá nezávisle na člověku. Živiny se dostávají do vody uvolňováním dusíku a fosforu, případně silikátů, z půdy, sedimentů, dále životní činností organismů a také rozkladem odumřelých vodních organismů. Přirozená eutrofizace vede ke stárnutí jezer (hovoří se také o jejich degradaci). Jedná se ale o velmi pomalý přírodní proces přeměny

¹ Ve výše uvedených kritériích je uveden celkový fosfor, někteří autoři doporučují uvádět reaktivní fosfor, který je přímo dostupný pro autotrofní organismy (producenty). Vzhledem k tomu, že formy výskytu fosforu se průběžně mění, považují formu celkového fosforu za objektivnější.

původně oligotrofních jezer (tedy vody s minimálním obsahem živin) na eutrofní (vodu bohatou živinami).

Naproti tomu **antropogenní** neboli **indukovaná eutrofizace** je proces, který je ovlivněn lidskou činností. Díky lidské činnosti se proces eutrofizace velmi zrychlil. Voda je velmi silně zatěžována živinami, které pocházejí z intenzivní zemědělské výroby (hnojení okolních pozemků, živočišná výroba), ze splaškových i průmyslových odpadních vod, používáním polyfosforečnanů v pracích a čisticích prostředcích, ale také díky atmosférickým depozicím, živinami z ovzduší. Na vysoké eutrofizaci rybníků se podílí zejména jejich hnojení (mnohdy zbytečné a velmi často neúměrně vysoké) a také chov nepřiměřeně velkých obsádek ryb a jejich masivní příkrmování. V takovém případě se hovoří o tzv. **ichtyoeutrofizaci**. V případě stojatých vod (a hlavně rybníků) není také zanedbatelné uvolňování živin deponovaných v sedimentech. Přísun anorganických živin, zejména sloučenin dusíku a fosforu, porušuje biologickou rovnováhu, vede k intenzivnější primární produkci² a za určitých podmínek dochází k přemnožení sinic a řas³.

Eutrofizace se projevuje především ve stojatých vodách, avšak i v tekoucích vodách má svůj význam. Zhodnocení je však složitější, protože rozvoj fytoplanktonu závisí také na hydrologických parametrech toku, které se mění od pramene k ústí, v některých případech může mít průtok na rozvoj biomasy fytoplanktonu převažující vliv. V tocích se eutrofizace projevuje především na dolních úsecích v závislosti na průtoku.

Důsledky nadměrné eutrofizace

K nejvýznamnějším projevům nadměrné eutrofizace patří:

- 1) Pravidelný masový rozvoj vodního květu sinic** či **vegetačního zabarvení** tvořeného zelenými řasami nebo i rozsivkami, případně některými druhy vyšších rostlin. Nastává obvykle v letních měsících, kdy je dostatek tepla a slunečního světla. Nadměrný nárůst fytoplanktonu způsobuje problémy vyšším rostlinám, což vede k jejich úbytku. Jedním z důsledků je pak i snížená samočistící schopnost řek a jezer. Řasy a sinice, jež se shromažďují u hladiny, vytvářejí bariéru slunečním paprskům, které se nedostanou k organismům ve větší hloubce. Velká koncentrace fytoplanktonu

² Primární produkci vzniká nová biomasa fotosyntetickou činností producentů (litotrofních organismů). Sekundární produkci vzniká nová biomasa těl konzumentů (živočichů), které se přímo či nepřímo živí producenty.

³ Pro produkci biomasy je třeba, aby byl splněn stechiometrický poměr C:N:P 106:16:1. Limitujícím prvkem se může stát kterýkoliv z těchto prvků, jehož koncentrace klesne pod požadovanou hodnotu. Z tohoto hlediska je důležitý molární poměr celkového dusíku k celkovému fosforu (N:P). Kritickou hodnotou tohoto poměru je 16 (Redfieldův poměr). Je-li ve vodě N:P > 16 (tj. nadbytek dusíku), je limitujícím prvkem fosfor, a naopak při N:P < 16 (nadbytek fosforu), limituje růst fytoplanktonu dusík. Ve většině nádrží v ČR je poměr N:P podstatně větší než 16, proto je fosfor považován za klíčový faktor eutrofizace.

způsobuje úbytek citlivějších organismů, jejichž místo pak zaujímají výhradně organismy odolnější, které se v důsledku malého množství přirozených více citlivých konzumentů a predátorů přemnožují a způsobují další, mnohdy nevratné, změny v ekosystémech. Odolná makrofyta pak například rychlým a nelimitovaným růstem způsobují zarůstání toků či snižují retenční kapacitu nádrží. Bentické řasy nadměrnou produkcí biomasy snižují poréznost dnových sedimentů či např. štěrkových loží filtračních nádrží. Eutrofní vody jsou sice vysoce produktivní, avšak podmínky v nich svědčí jen úzké škále organismů. Takže čím více narůstá produktivita či biomasa, tím klesá biodiverzita. Zejména řasy a sinice jsou bezprostředně závislé na přísunu anorganických nutrientů a za určitých podmínek mohou v populaci převážít potenciálně nebezpečné druhy. K rychlému rozvoji fytoplanktonu dochází na jaře a v závěru jarního období dosahují hodnoty chlorofylu-a často nejvyšších hodnot za celou vegetační sezonu (i přes $150 \mu\text{g.l}^{-1}$). Obvykle koncem srpna a začátkem září dochází k postupnému poklesu biomasy fytoplanktonu. V období od října do března jsou hodnoty minimální (chlorofyl-a pod $20 \mu\text{g.l}^{-1}$). Časové období maximálního rozvoje fytoplanktonu však závisí na řadě faktorů (především na klimatických podmínkách, v rybnících a nádržích také na velikosti rybí obsádky atd.).

- 2) **Narušení kyslíkového režimu** v důsledku zvýšeného výskytu řas a sinic. Při hladině dochází v důsledku fotosyntetické činnosti k přesycení vody kyslíkem. Během dne sice autotrofní fytoplankton kyslík produkuje, v nočních hodinách však v důsledku respirační aktivity fytoplanktonu dochází k úbytku rozpuštěného kyslíku (vznik kyslíkových deficitů). Kritické hodnoty kyslíkového deficitu se objevují zejména v ranních hodinách. Vzniká anoxické prostředí, které je nepřijatelné pro ostatní organismy a v mnohých případech dochází i k úhynům ryb.
- 3) **Nárůst hodnot pH vody** v důsledku odčerpání oxidu uhličitého, který je z vody odčerpáván fotosyntetickou asimilací zelených organismů. Se zvýšením hodnoty pH souvisí změny formy výskytu některých látek obsažených ve vodě (nejdůležitější je zvyšování podílu volného (toxického) amoniaku, což vede spolu s deficitem kyslíku k častým úhynům ryb).
- 4) **Úbytek kyslíku** v důsledku mikrobiálního rozkladu organické hmoty (odumřelých řas a sinic, které se hromadí u dna). U dna nádrží vznikají anoxické zóny, které postihují zejména bentické organismy.
- 5) **Zhoršení kvality vody, komplikace při její úpravě ve vodárnách** (60 % zdrojů pitné vody pochází z povrchových vod). Nadměrná primární produkce vede ke **zhoršení organoleptických vlastností vody (pachu)** a i k **tvorbě toxických organických látek**. Proto nelze v kritických obdobích využívat takové vody nejenom k úpravě na kvalitní pitnou vodu (sinice pronikají i do upravené vody), ale ani k rekreačním účelům (hrozí vyrážky, záněty očních spojivek aj.). Ve vodách obsahujících vodní květ lze prokázat jako metabolity různé fenoly těkající s vodní párou (jednosytné fenoly), které jsou

v tomto případě přirozeného původu. Při pokročilejším **odumírání fytoplanktonu lze prokázat koncentrace jednosytných fenolů větší než 0,1 $\mu\text{g.l}^{-1}$** .

Kromě tvorby toxických organických látek je dalším problémem **přítomnost pikoplanktonních druhů sinic**, které se těžko odstraňují koagulací a procházejí i vodárenskými pískovými filtry, a lze je proto nalézt i v upravené vodě. V posledních letech se podařilo některé tyto biologicky aktivní látky chemicky charakterizovat. Hlavními producenty závadných látek (**cyanotoxinů**) jsou cyanobakterie (sinice), nikoli řasy. Cyanotoxiny mohou být příčinou např. poruch gastrointestinálního traktu, alergických respiračních reakcí, dermatitid nebo i onemocnění jater. Toxiny sinic se dělí na další skupiny (např. **neurotoxiny, hepatotoxiny, dermatotoxiny, genotoxiny** aj.).

Omezení důsledků nadměrné eutrofizace

Jak je zřejmé z výše uvedených skutečností, výskyt nadměrného množství fytoplanktonu přináší řadu problémů, a proto je snaha zavádět opatření, která by eutrofizaci, a s ní spojené negativní důsledky, omezovala. Jednou z hlavních cest je omezení přísunu živin na „přijatelnou“ hranici. Avšak určit mezní koncentrace sloučenin fosforu a dusíku ve vodě na takových hodnotách, při nichž by nedocházelo k tvorbě vegetačního zbarvení nebo vodního květu, nelze přesně, neboť zde hrají významnou roli i další faktory, jako jsou např.: složení vody, klimatické podmínky (maximální rozvoj primární produkce je na jaře a v létě), teplota (alespoň nad 10 °C), nadmořská výška, aj. Imisní standard přípustného znečištění povrchových vod celkovým fosforem je koncentrace 0,2 mg.l^{-1} a pro vody používané pro vodárenské účely činí imisní standard 0,1 mg.l^{-1} .

Problémy s nežádoucí eutrofizací pomáhá řešit také legislativa např. nařízením vlády č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech⁴, nebo vymezením zranitelných oblastí⁵ podle nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o zranitelných

⁴ **Citlivé oblasti** jsou vodní útvary (řeky nebo jejich úseky, jezera a další nádrže, pobřežní a mořské vody) v nichž vlivem vypouštění odpadních vod z aglomerací větších než 10 000 ekvivalentních obyvatel (EO) dochází buď k eutrofizaci vod, překročení limitních koncentrací dusičnanů, nebo je ohroženo plnění cílů jiných směrnic. V citlivých oblastech jsou uplatňovány přísnější požadavky na čištění odpadních vod z aglomerací větších než 10 000 ekvivalentních obyvatel než na ostatním území, a to v ukazatelích celkový dusík a celkový fosfor, popř. na minimální účinnost odstraňovaného znečištění. V ČR jsou podle zákona všechny povrchové vody vymezeny jako citlivé oblasti.

⁵ **Zranitelná oblast** je pojem, který definuje Nitrátová směrnice (SR 91/676/EHS). Jsou to oblasti, povodí nebo jejich části, kde zemědělské činnosti nepříznivě ovlivňují koncentrace dusičnanů v povrchových a podzemních vodách. Jsou to i takové oblasti, které mají vliv na povrchové, pobřežní a mořské vody, ve kterých dochází vlivem úniku dusíku ze zemědělství k eutrofizaci s následnými nepříznivými dopady na celý vodní ekosystém.

oblastech a akčním programu. Zranitelné oblasti podléhají v souladu s vodním zákonem (§ 33 odst. 2) a evropskou legislativou (tzv. nitrátovou směrnicí) přezkoumání každé 4 roky.

V souvislosti s eutrofizací se hovoří o **rekultivaci eutrofizovaných nádrží**. Mezi metody sloužící k obnově jezer patří např. **umělá cirkulace** (destratifikace), **oxygenace hypolimnia**, **deponování sedimentu**, **srážení fosforu hlinitými solemi** a použití **algicidních přípravků**. Použití uvedených nástrojů však nelze v žádném případě zobecňovat, ke každé lokalitě je nutno přistupovat individuálně a teprve po důkladném prozkoumání a zmapování zdrojů živin, a samozřejmě omezení jejich vstupu do recipientu, je možno přistoupit k dalším opatřením (nemá žádný smysl aplikovat algicidní přípravky, pokud není eliminován přísun živin).

Literatura:

Hartman, P., Přikryl, I., Štědranský, E., 1998. Hydrobiologie. Informatorium Praha, s. 201.

Kočí, V., Burkhard, J., Maršálek, B., 2000. Eutrofizace na přelomu tisíciletí. Eutrofizace 2000, 10.10.2000, Praha, str. 3-13.

Pitter, 2015. Hydrochemie. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.