

Sloučeniny dusíku

- Dusík patří mezi nejdůležitější biogenní prvky ve vodách
- Sloučeniny dusíku se uplatňují při všech biologických procesech probíhajících v povrchových, podzemních i odpadních vodách
- Dusík se vyskytuje ve vodách v různých oxidačních stupních, v iontové i neiontové formě
- Distribuce jednotlivých forem je ovlivněna zejména biochemickými procesy probíhajícími ve vodách
- Hlavní formy výskytu N ve vodách:
 - N elementární
 - N anorganicky vázaný
 - amoniakální dusík N-NH_4^+ resp. N-NH_3
 - dusitanový dusík N-NO_2^-
 - dusičnanový dusík N-NO_3^-
 - dusík umělého původu (kyanidy, kyanatany, thiokyanatany)
 - N organicky vázaný

Sloučeniny dusíku

- Anorganickým zdrojem N jsou splachy ze zemědělsky obhospodařované půdy (hnojené N-hnojivy), atmosférické srážky, odpadní vody (např. ze zpracování uhlí, splaškové OV)
- Člověk produkuje denně asi 12g N
- Organickým zdrojem N jsou odpady ze zemědělské výroby (močůvka, siláže), biomasa odumřelých organismů
- **Atmosférický N** – je méně rozpustný než kyslík (poměr ve vodě 1:2 oproti 1:5 ve vzduchu), plynnou formu N dokáží využít jen některé bakterie (např. rod Azotobacter) nebo planktonní sinice (např. rod Anabaena)
- **Amoniakální N** – je primárním produktem rozkladu organických dusíkatých látek, produkt metabolismu živočichů
- Organického původu je amoniakální N také ve splaškových vodách a v odpadech ze zemědělských výroby
- Sekundárně může vznikat redukcí NO_2^- nebo NO_3^-

Sloučeniny dusíku

- Anorganického původu je z odpadních vod z plynáren, koksáren, generátorových stanic, z pitných vod dezinfikovaných chloraminací, z průmyslových exhalací
- Jednoduché amonné soli se nevyskytují jako minerály
- při rozpouštění amoniaku vzniká hydrát $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, který disociuje na ionty NH_4^+ a OH^- . Poměr zastoupení obou forem je závislý na pH a teplotě vody.
- Amoniak může tvořit komplexy s ionty mnoha kovů
- Podzemní vody a čisté povrchové obvykle do $0,1 \text{ mg.l}^{-1}$
- Koncentrace v povrchových vodách převážně v desetinách mg.l^{-1}
- V podzemních vodách spojených s ropnými může být i přes 100 mg.l^{-1}
- Organicky znečištěné povrchové vody i desítky mg.l^{-1}
- V mořské vodě ve svrchních vodách desítky $\mu\text{g.l}^{-1}$, ve větších hloubkách až jednotky mg.l^{-1}

Sloučeniny dusíku

- Odpadní vody jsou na amoniakální dusík bohaté, splaškové vody obsahují desítky mg.l^{-1} , odpady ze silážování 200 - 400 mg.l^{-1} , močůvka 1000 – 7500 mg.l^{-1}
- Amoniakální N je nestálý a rychle se oxiduje na NO_2^- a NO_3^-
- Nezbytný pro tvorbu nové biomasy mikroorganismů
- Indikátor fekálního znečištění (při vyloučení jeho anorganického zdroje a z rozkladu organických N-látek rostlinného původu) hranicí je 0,5 mg.l^{-1} N- NH_4^+ současně s pozitivním nálezem bakteriálního znečištění
- Přípustné max. zatížení vodárenských toků je 0,3 mg.l^{-1} N- NH_4^+ , ostatní povrchové vody 2,5 mg.l^{-1} N- NH_4^+
- Nedisociovaný hydrát amoniaku je silně toxický
- Amoniakální N výrazně zvyšuje korozi mědi a jejich slitin

Sloučeniny dusíku

- Stanovení amoniakálního N – patří mezi nejběžnější prováděná stanovení vody ve všech typech vod
- Stanovuje se vždy součet obou forem (NH_4^+ i NH_3)
- Indofenolová spektrofotometrická metoda – náročná, ale rozhodčí
- Klasická absorpční spektrofotometrická metoda s Nesslerovým činidlem – jednoduchá, ale práce s jedem
- Stanovení je založeno na reakci amoniaku s hydroxidy alkalických kovů za vzniku jodidu amonného, který vytváří žlutohnědé roztoky, jejichž barevnou intenzitu lze stanovovat spektrofotometricky
- K 50 ml vzorku se přidá 1 ml Seignetovy soli (50% roztok vinanu sodno-draselného) a 1 ml Nesslerova činidla (100g HgI_2 , 70g KI a 160g NaOH v 1l vody) a po 10 minutách se měří absorbance při 425 (410) nm
- HgI_2 – vysoce toxická látka, velmi špatně rozpustná

Sloučeniny dusíku

- **Dusitanový N** – NO_2^- se nevyskytují jako minerály, ve vodách vznikají biochemickou oxidací amoniakálního dusíku nebo biochemickou redukcí dusičnanů
- Tvoří se při elektrických výbojích v atmosféře oxidací elementárního N
- Bohaté na NO_2^- jsou odpadní vody z výroby barviv a ze strojírenských závodů (NO_2^- se používají jako inhibitory koroze)
- V čistých podzemních a povrchových vodách pouze ve stopách
- Desetiny mg.l^{-1} N- NO_2^- v železnatých a rašelinných vodách, v hypolimniu nádrží, ve vodách s nízkou koncentrací kyslíku
- V odpadních vodách i desítky mg.l^{-1} N- NO_2^-
- Dusitany velmi nestálé, jsou snadno oxidovány nebo redukovány
- Indikátor fekálního znečištění podzemních vod

Sloučeniny dusíku

- Přípustné max. zatížení vodárenských toků je $0,02 \text{ mg.l}^{-1} \text{ N-NO}_2^-$, ostatní povrchové vody $0,05 \text{ mg.l}^{-1} \text{ N-NO}_2^-$
- Způsobují methemoglobinemii, v trávicím traktu mohou být biotransformovány v karcinogenní nitrosoaminy
- Dusitany reagují s hemoglobinem na methemoglobin (nepřenáší kyslík). Nebezpečná dávka pro dospělého člověka je asi 500 mg NO_2^- , pro kojence již 1 až 10 mg NO_2^-
- U kojenců do 3 měsíců věku obsahuje krev fetální hemoglobin (hemoglobin F), který je snáze oxidovatelný než hemoglobin A obsažený v krvi starších dětí a dospělých
- Enzymový oxido-redukční systém katalyzující zpětnou redukci methemoglobinu není u kojenců ještě dokonale vyvinut
- Limitovány ve vlnářském průmyslu, v kyselejších prostředí zbarvují vlnu žlutě
- Nebezpečné v rybářských provozech využívajících k čištění vody špatně pracující nebo nezpracované biofiltry

Sloučeniny dusíku

- Stanovení dusitanů – v současnosti jediná používaná metoda se sulfanilovou kyselinou a kopulačním činidlem se spektrofotometrickou koncovkou
- principem metody je diazotace K. sulfanilové v prostředí hydrogensíranu draselného dusitany ve vzorku na diazoniovou sůl, která je následně kopulována na červené azobarvivo NED-hydrochloridem. Intenzita vzniklého zbarvení je úměrná koncentraci dusitanů ve vzorku
- K 25 ml vzorku se přidá 2,5 ml kyseliny sulfanilové (3,46 g K. sulfanilové a 27,2 g KHSO_4 v 1 l vody), směs se promíchá a nechá 10 minut stát.
- Pak se přidá 2,5 ml kopulačního činidla [0,04 g N-(1-naftyl)-ethylendiamindihydrochloridu, (NED-dihydrochloridu) v 100 ml vody], roztok se promíchá a nechá 20 minut stát
- Po této době se doplní na objem 50 ml, promíchá a měří při vlnové délce 540 nm (zbarvení je stále 24 hod.)

Sloučeniny dusíku

- **Dusičnanový N** – v minerálech zřídka (dusičnan sodný)
- Vznikají hlavně sekundárně při nitrifikaci amoniakálního dusíku
- Jsou konečným stupněm rozkladu N-látek v aerobním prostředí
- Vznikají při elektrických výbojích v atmosféře oxidací elementárního N
- Dalším zdrojem je hnojení zemědělsky obdělávaných půd, odtoky čistíren odpadních vod
- V čistých podzemních a povrchových vodách obvykle v jednotkách mg.l^{-1}
- Znečištěné podzemní a povrchové vody i desítky mg.l^{-1}
- Za aerobních podmínek jsou stabilní, ve vodách s nedostatkem kyslíku podléhají redukci na dusitany
- V půdě nejsou téměř zadržovány a pronikají tak při infiltraci i do vzdálených míst

Sloučeniny dusíku

- Samy o sobě nejsou dusičnany nijak škodlivé, škodí však nepřímo tím, že jsou v trávicím traktu redukovány na dusitany
- V ČR od roku 1960 bylo popsáno 320 onemocnění dusičnanovou alimentární methemoglobinemií
- Přípustné max. zatížení vodárenských toků je $3,4 \text{ mg.l}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$, ostatní povrchové vody $11 \text{ mg.l}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$
- Vysoký obsah dusičnanů může způsobit změnu barvy masa (konzervárny)
- V povrchových vodách souvisí obsah dusičnanů se stupněm eutrofizace a patří mezi ukazatele používané ke klasifikaci vod dle čistoty
- Při vypouštění odpadních vod patří dusičnany mezi závazné ukazatele
- Stanovení dusičnanů – existují desítky metod, nejčastěji jsou využívány spektrofotometrické metody

Sloučeniny dusíku

- Nejčastější používanou metodou je spektrofotometrické stanovení se salicylanem sodným
- Při stanovení dusičnanů se nitrují dusičnany salicylovou kyselinou v prostředí koncentrované K. sírové
- K 10 ml vzorku se přidá 1 ml roztoku salicilanu sodného (1% vodný roztok) a vzorek se odpaří do sucha. pH vzorku musí být nad 7, jinak je nutná alkalizace vzorku 0,2 ml 30% NaOH
- Ještě za horka se celý odparek zvlhčí 1 ml koncentrované H_2SO_4
- Obsah odpařovací misky se kvantitativně převede do 50 ml odměrné baňky, přidá se 7 ml 30% NaOH a doplní vodou po rysku
- Žluté zbarvení se poměřuje při vlnové délce 410 nm a je stále několik hodin (až 24)

Sloučeniny dusíku

- **Organicky vázaný N** – hlavními formami organicky vázaného N jsou bílkoviny, jejich rozkladné produkty a močovina
- Organický N je původu živočišného, rostlinného nebo z průmyslových odpadních vod (potravinářství)
- Stanovení organického N může mít význam při hodnocení znečištění vod
- V povrchových vodách se vyskytuje v nepatrných koncentracích a běžně se neurčuje
- Přípustné max. zatížení vodárenských toků je $1,5 \text{ mg.l}^{-1} \text{ N}_{\text{org.}}$, ostatní povrchové vody $3,0 \text{ mg.l}^{-1} \text{ N}_{\text{org.}}$

Sloučeniny dusíku

- **Kyanidy** – nejsou přirozeného původu, pocházejí z různých odpadních vod (galvanovny, tepelné zpracování uhlí, koksárny aj.)
- Ve vodách jako jednoduché (nedisociovaná HCN, jednoduché ionty CN^-) nebo jako komplexní sloučeniny s kovy
- Jednoduché kyanidy jsou velmi toxické, komplexní v závislosti na stabilitě, s klesajícím pH vzrůstá toxicita
 - **Silně toxické** – HCN, CN^- , komplexní kyanidy Cd^{II} , Zn^{II} , Cu^{II}
 - **Středně toxické** - komplexní kyanidy Ni^{II}
 - **Slabě toxické** - komplexní kyanidy Fe^{II} , Fe^{III} , Co^{II}
- Přípustné max. zatížení vodárenských toků je $0,01 \text{ mg.l}^{-1} \text{ CN}^-$, ostatní povrchové vody $0,05 \text{ mg.l}^{-1} \text{ CN}^-$, ($0,2 \text{ mg.l}^{-1}$ veškerých kyanidů)
- **Kyanatany** – vznikají při chemickém čištění kyanidových vod, při biologickém čištění odpadních vod obsahující kyanidy
- Stále pouze v alkalickém prostředí, toxicita nízká

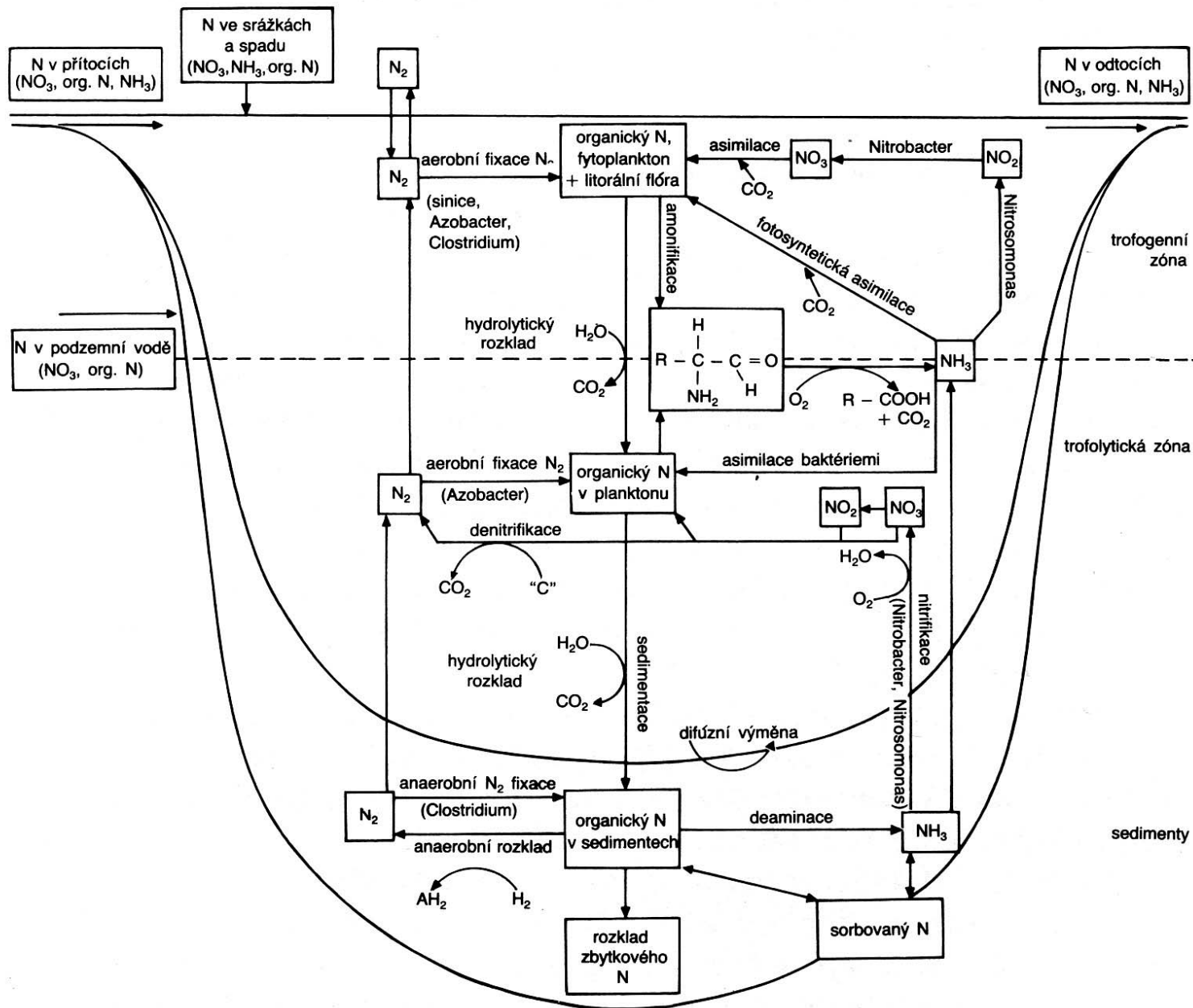
Sloučeniny dusíku

- **Koloběh N** – značně komplikovaný biogeochemický cyklus
- Hlavní biogenní prvek spolu s C, H a O
- Z elementárního N z atmosféry výboji až $0,35 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1} \text{ NO}_3$, biologickými procesy je fixováno až $200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1} \text{ NO}_3$
- Organické N-látky se rozkládají mikrobiální činností a N se uvolňuje jako amoniakální (proces *deaminace*, *amonifikace*). V této formě je využíván mikroorganismy (bakterie, sinice, řasy, rostliny) k syntéze nové biomasy
- V aerobních podmínkách je amoniakální dusík oxidován nitrifikačními bakteriemi na dusitany a dusičnany (proces *nitrifikace*)
- Nitrifikaci způsobují autotrofní i heterotrofní organizmy, autotrofové využívají CO_2 jako zdroj uhlíku a potřebnou energii získávají oxidací NH_4^+ a NO_2^- . Zisk energie je však velmi malý
- nitrifikačních procesů se účastní hlavně bakterie (*Nitrosomonas*, *Nitrococcus*, *Nitrobacter*, *Nitrocystis*)

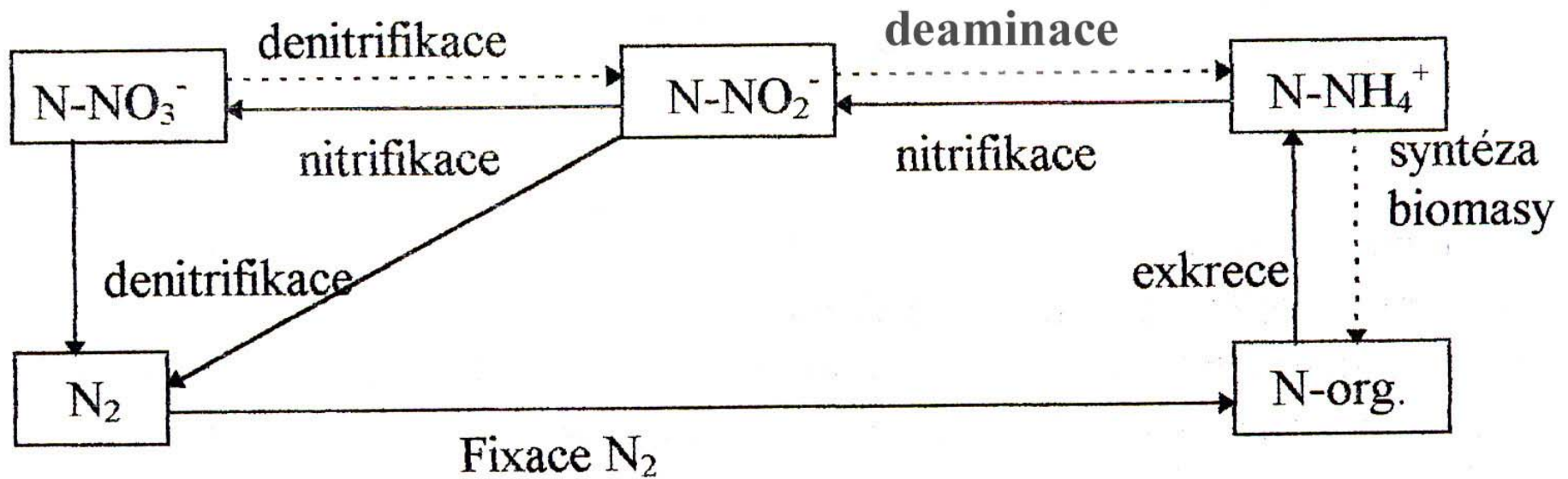
Sloučeniny dusíku

- **Koloběh N**
- Z 1mg N se vytvoří jen asi 0,05mg biomasy
- Na úplnou nitrifikaci 1mg N-NH₄⁺ je potřeba 4,33mg kyslíku
- Při nitrifikaci se uvolňují H⁺ ionty, pH může významně klesnout
- V anaerobních podmínkách může dojít k redukci dusičnanů a dusitanů až na elementární N nebo N₂O a NO (proces *denitrifikace*)
- Denitrifikace může být příčinou ztrát N, vyžaduje organický substrát (pro redukci 1mg N-NO₃⁻ je potřeba 1,3 mg organického uhlíku)
- Redukci způsobují striktně i fakultativně anaerobní mikroorganismy (*Pseudomonas, Achromobacter*)
- Proces probíhá i v mírně oxických podmínkách (O₂ do 0,5 mg.l⁻¹)
- V kyselém prostředí probíhá denitrifikace pomaleji a tvoří se více oxidů dusíku, při pH nad 6 převažuje produkce elementárního N

Schéma koloběhu N v ekosystému sladkovodní nádrže



Koloběh N ve vodách



Chloridy

- Sloučeniny chloru jsou obsaženy téměř ve všech horninách a do vod se vyluhují ve formě chloridů nejčastěji z ložisek kamenné soli a draselných solí
- Člověk vylučuje močí asi 9 g chloridů denně
- Ve splaškových vodách jsou živočišného původu, dalším umělým zdrojem je dezinfekce vody chlorací, neutralizace HCl, vysolování
- Chloridy neasimilují rostliny ani bakterie, ale jsou neustále uvolňovány živočichy
- Chlor se ve vodě může v menší míře vyskytovat i jako kyselina chlorná (HClO), anion (ClO⁻) nebo v různých chlorokomplexech
- Chloridy jsou spolu s hydrogenuhličitanem a sírany hlavními anionty povrchových vod, běžně jsou obsaženy jednotky až desítky mg.l⁻¹ Cl⁻
- Ve vodách jsou chemicky i biochemicky poměrně stabilní, při infiltraci vody se v půdách prakticky nezadržují

Chloridy

- Ve vodách s vyšší mineralizací díky dobré rozpustnosti chloridových solí můžeme najít i desítky $\text{g.l}^{-1} \text{Cl}^-$
- V mořské vodě je průměrně $19 \text{ g.l}^{-1} \text{Cl}^-$, (Mrtvé moře $88-127 \text{ g.l}^{-1} \text{Cl}^-$)
- V rybářství nejsou chloridy nebezpečné, hraniční hodnota se pohybuje kolem $3 \text{ g.l}^{-1} \text{Cl}^-$, mnoho ryb snáší bez následků změny mezi sladkou, brakickou a slanou vodou
- Přípustné max. zatížení vodárenských toků je $150 \text{ mg.l}^{-1} \text{Cl}^-$, ostatní povrchové vody $350 \text{ mg.l}^{-1} \text{Cl}^-$.
- Stanovení chloridů – nejběžněji se používá odměrné stanovení (argentometrické), lze využít i iontově selektivní elektrody
- Metoda je založena na titraci Cl^- dusičnanem stříbrným v alkalickém prostředí za vzniku málo rozpustného chloridu stříbrného. Konec titrace je indikován pomocí chromanu draselného (světle žlutá-oranžově hnědá).
- pH vzorku musí být v rozsahu 7-10

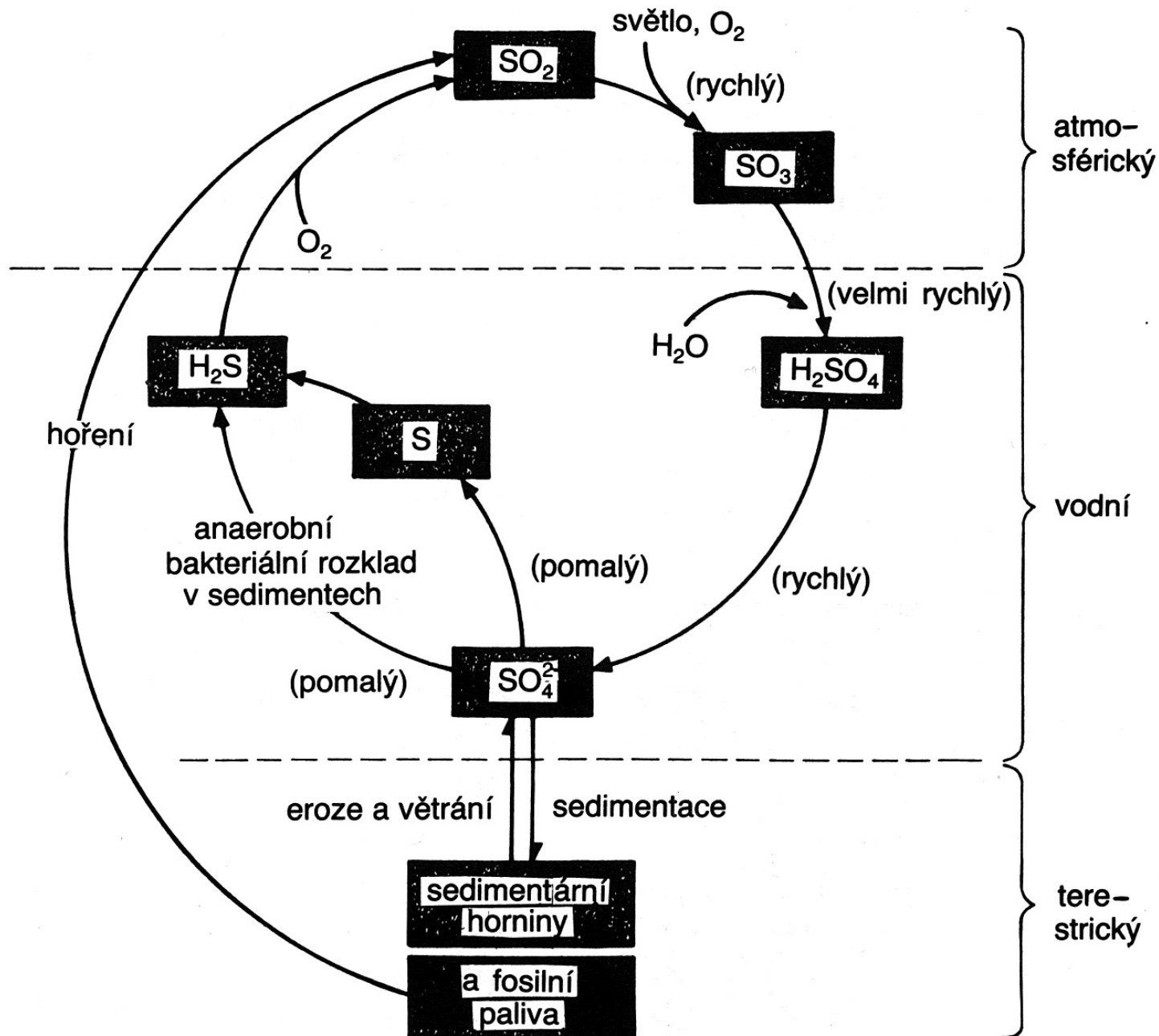
Sloučeniny síry

- V přírodních a odpadních vodách se síra vyskytuje v různých oxidačních stupních (0, II, IV, VI)
- Přírodním zdrojem S je rozklad organických látek (bílkovin), v kterých síra udržuje trojrozměrné uspořádání a výluhy z minerálů sádrovec ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anhydrit (CaSO_4)
- Umělým zdrojem jsou odpadní vody z mořiren kovů, městské a průmyslové exhalace
- V běžných přírodních vodách nejčastěji ve formě jednoduchého iontu SO_4^{2-} , v jednotkách, desítkách i stovkách mg.l^{-1} , thiosíranů a siřičitanů se v přírodních vodách téměř nevyskytují
- Zvláště bohaté na sírany jsou vody minerální (karlovarské 1,4-1,6 $\text{g.l}^{-1} \text{SO}_4^{2-}$, šaratice 8 $\text{g.l}^{-1} \text{SO}_4^{2-}$, zaječická 24 $\text{g.l}^{-1} \text{SO}_4^{2-}$)
- V mořské vodě je průměrně 2,7 $\text{g.l}^{-1} \text{SO}_4^{2-}$
- Vyšší koncentrace síranů ovlivňují sensorické vlastnosti vody společně s Mg^{2+} a Na^+ způsobují laxativní účinky vody

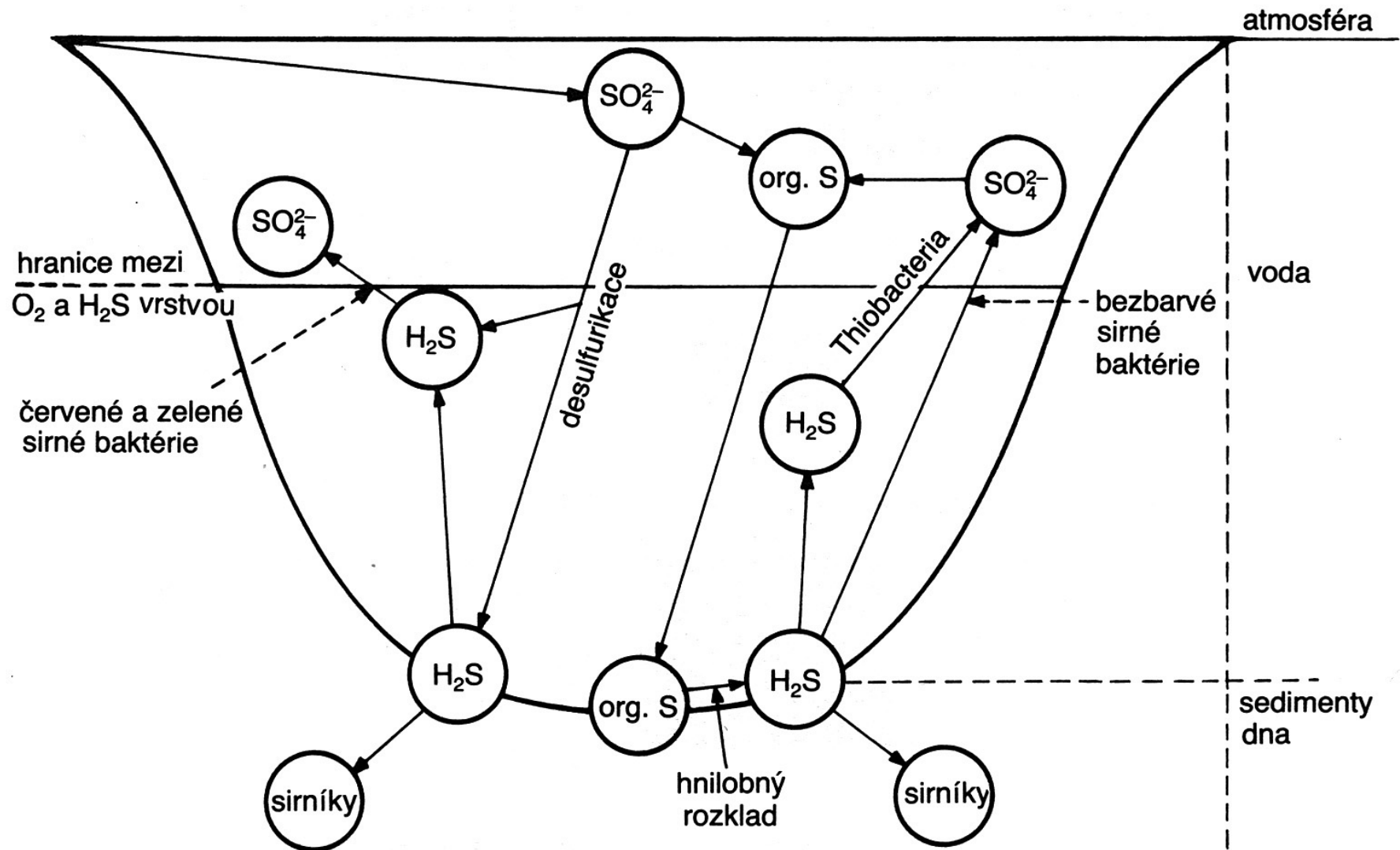
Sloučeniny síry

- Vyšší obsah síranů ve vodách je rovněž příčinou její agresivity k betonu
- Přípustné max. zatížení vodárenských toků je $200 \text{ mg.l}^{-1} \text{ SO}_4^{2-}$, ostatní povrchové vody $300 \text{ mg.l}^{-1} \text{ SO}_4^{2-}$
- Koloběh S – je založen na biochemické oxidaci a redukci v závislosti na přítomnosti kyslíku, většina S vázané v organické hmotě je mineralizována baktériemi a houbami
- V anaerobních podmínkách dochází k redukci sloučenin síry za vzniku elementární síry nebo H_2S (baktérie *Desulfovibrio*, *Escherichia*, *Proteus*)
- V aerobních podmínkách je H_2S oxidován sirnými bakteriemi na elementární síru (např. *Beggiatoa*), jiné bakterie (např. *Thiobacillus*) oxidují síru na sírany
- Na koloběhu S se podílejí i fotoautotrofní zelené a purpurové bakterie, které využívají H ze H_2S jako akceptor O_2 při redukci CO_2

Koloběh S mezi atmosférou, hydrosférou a pedosférou



Mikrobiální přeměna sloučenin S v produktivním jezeře



Sloučeniny síry

- V současnosti narůstá antropický vliv na koloběh síry v biosféře včetně vodních ekosystémů
- Spalování fosilních paliv (uhlí, nafta) nadměrně zvyšuje množství oxidu siřičitého (SO_2) v ovzduší, SO_2 je snadno vymýván srážkami a je hlavní příčinou tzv. kyselých dešťů
- Do ovzduší se dostává touto cestou více než 10^8 t.rok^{-1} SO_2 (stav v roce 1975)
- Stanovení S – sloučeniny síry se oxidují na sírany, které se pak kvantitativně stanoví (nejčastěji gravimetricky nebo odměrnou analýzou)
- Titrační stanovení je založeno na reakci SO_4^{2-} s ionty Pb^{2+} , konec reakce při níž vzniká sraženina PbSO_4 je indikován dithizonem (zelená-fialově červená)
- Stanovení je rušeno kationty, vzorek musí před stanovením prokapat katexem v cyklu H^+

Sloučeniny fosforu

- Přírodním zdrojem P jsou minerály a horniny např. apatit $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{F}, \text{Cl})_2$, fosforit $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$, kaolinit $\text{Si}_2\text{O}_5\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{PO}_4$ a rozklad odumřelé vodní fauny a flóry
- Umělého původu je P ze splaškových vod, živočišných odpadů, odpadních vod z pivovarského a textilního průmyslu, prádelen a ze splachů obdělávané půdy hnojené fosforečnými hnojivy
- Ve vodách se P vyskytuje v nejrůznějších formách buď rozpuštěný nebo nerozpuštěný (suspendovaný), organický nebo anorganický
- V koloidně rozptýlené formě a ve formě orthofosforečnanů je nejpřijatelnější pro primární producenty
- V podzemních vodách je P v malých koncentracích díky snadnému zadržení v půdě
- V povrchových neznečištěných vodách se koncentrace pohybují v tisícinách až setinách mg.l^{-1} P, v znečištěných v desetinách, výjimečně i jednotkách mg.l^{-1} P

Sloučeniny fosforu

- V minerálních vodách se P vyskytuje jen v setinách mg.l^{-1} P, v mořské vodě je průměrně obsaženo asi jen $0,07 \text{ mg.l}^{-1}$ P
- Fosfor je důležitým prvkem z hlediska eutrofizace
- V zimním období je množství reaktivního P ve vodě nejvyšší, protože probíhá mineralizace těl odumřelých organismů odkud se P uvolňuje do vody, aniž se jinými organismy spotřebovává (nízká biomasa hydrobiontů i intenzita metabolismu)
- V jarním období s nástupem vegetace se obsah P začíná rychle snižovat a obsah asimilovatelného P může klesnout až k nule
- Nastává období deprese fytoplanktonu, fáze „clear water“, obsah P se zvýší a s nástupem nové biomasy primárních producentů se jeho obsah opět rychle snižuje
- v letních měsících je v podstatě veškerý P poután v biomase hydrobiontů a jeho koncentrace ve vodě jsou minimální (roste obsah partikulovaného P tj. P vázaný v biomase fytoplanktonu a bakterií)

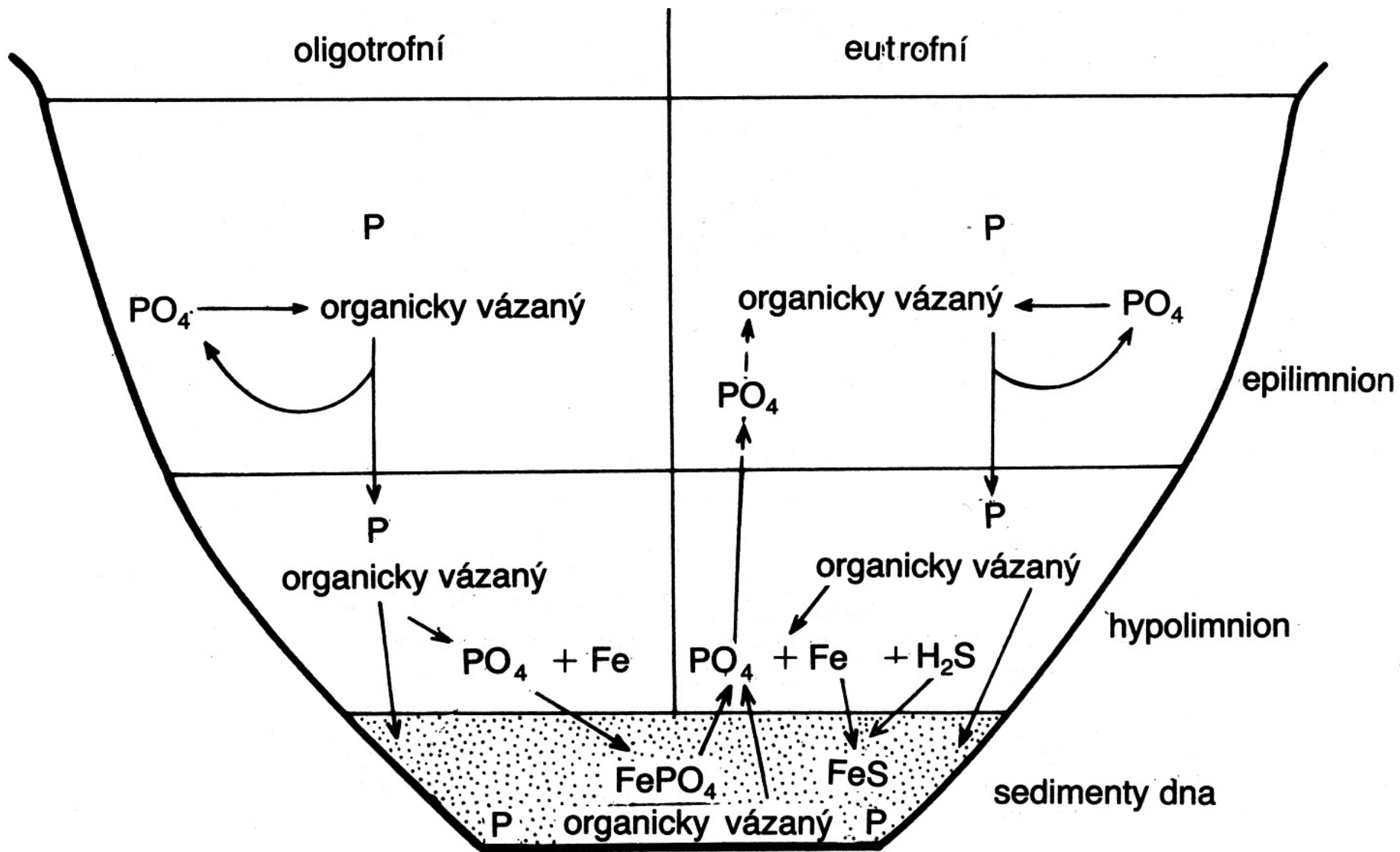
Sloučeniny fosforu

- Některé řasy dokáží hromadit P do zásoby nad rámec své aktuální potřeby a takto nahromaděný P využívají v období jeho nedostatku (množství P v tělech řas může být oproti okolnímu prostředí i více než tisícinásobné)
- Fosfor je důležitý biogenní prvek, je nepostradatelnou živinou pro primární producenty, není sice stavebním prvkem bílkovin, ale bez P není bílkovinná syntéza možná
- Na syntézu 100 mg nové biomasy se spotřebuje asi 1 mg P
- Hmotnostní poměr sloučenin C, N a P v rostlinné biomase činí nejčastěji 40 C: 7 N: 1P (tj. v atomárním poměru 106 C: 20 N: 1P), v přirozených povrchových vodách činí tento hmotnostní poměr asi 600 C: 20 N: 1 P – fosfor je tedy limitujícím prvkem produkce
- Koloběh P – u mělkých nádrží je koloběh P rychlejší a vrací se do něj značná část fosforu, u hlubokých nádrží má P tendenci hromadit se v sedimentech dna a jen malá část se vrací do koloběhu

Sloučeniny fosforu

- Na poutání P v sedimentech mají rozhodující vliv oxidoredukční podmínky, pH a chemické složení sedimentů
- Kyselé sedimenty poutají P pevně ve sloučeninách trojmocných oxidů (Al, Fe) a tvoří např. nerozpustné aluminofosfáty
- Vyšší pH nad 7 a zvýšení obsahu Ca usnadňuje přechod P ze sedimentů do vody, ale jen do určité hranice
- pH nad 9 a vysoký obsah Ca snižuje obsah P ve vodě, poněvadž vzniká málo rozpustný fosforečnan vápenatý
- Důležitý je obsah kyslíku u dna nádrží, v případě dostatku kyslíku dochází k poutání P v trojmocných oxidech (např. FePO_4) v sedimentech (částečné uvolnění P za oxických podmínek u dna je možné jen při alkalické reakci a dostatku Ca)
- Při nedostatku kyslíku u dna dochází k redukci trojmocných oxidů a vznikají dvojmocné rozpustné formy a P se uvolňuje do roztoku
- V celkové bilanci koloběhu P v nádržích obvykle převažuje posun P a vod do sedimentů nad jeho zpětným uvolňováním

Koloběh P ve vodním ekosystému v interakci se železem a sírou



Sloučeniny fosforu

- Žádná z přirozených sloučenin P nevykazuje tendenci k vypařování – nemůže tedy být přemístována atmosférou
- Z hlediska globálního koloběhu P, se uvolněný P zvětráním hornin dostane do vod a odtud je v sedimentech splavován do moří, kde se usazuje
- Návrat P je možný pouze přes biosféru (trus ptáků – ložiska guana, rybolov) a za normálních okolností je velmi pomalý
- P deponovaný v hlubinných sedimentech moří představuje jeho dlouhodobou ztrátu (tzv. propad fosforu)
- Tento přirozený koloběh výrazně narušil člověk zvýšenou těžbou a využíváním fosfátů, aplikací fosforečných hnojiv kdy došlo k značnému zrychlení koloběhu P a tím i zvýšení eutrofizace vod
- Přípustné max. zatížení vodárenských toků je $0,15 \text{ mg.l}^{-1}$ P, ostatní povrchové vody $0,4 \text{ mg.l}^{-1}$ P

Sloučeniny fosforu

- Stanovení P – stanovují se různé formy P nejčastěji celkový P a orthofosforečnany absorpční spektrofotometrií
- Princip stanovení celkového P: oxidací peroxodisíranem v prostředí kyseliny sírové se rozloží organické sloučeniny P a všechny formy P se převedou na anorganické orthofosforečnany, které v prostředí H_2SO_4 po reakci s molybdenanem amonným po redukci K. askorbovou dávají modré zbarvení vhodné fotometrii
- Při oxidaci varem důsledně hlídat odpařování !
- Před vybarvením musí být pH vzorku v rozmezí 3-10
- Roztok K. askorbové musí být bezbarvý
- Vzorky musí být měřeny 15-30 minut po přidání K. askorbové