Fakulta rybářství
a ochrany vod
Faculty of Fisheries
and Protection
of Waters

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice
Czech Republic

Sloučeniny fosforu

Zdroje fosforu

- **Přírodní zdroje**: vyluhování a rozpouštění některých minerálů a zvětralých hornin, např.:
  - apatit – $3Ca_3(PO_4)_2.Ca(F,Cl)_2$
  - variscit - $AlPO_4.2H_2O$
- **Antropogenní zdroje**: aplikace fosforečných hnojiv, OV z prádelen (P obsažen v pracích prostředcích, v odmašťovacích a čisticích prostředcích), protikorozní přísady
- **Zdroje organického fosforu:** živočišné odpady (člověk vyloučí denně 1,5 g P, při používání fosfátových pracích prostředků se uvádí specifická produkce fosforu 2 – 3 g P na den, rozkládající se biomasa fytoplanktonu a zooplanktonu)

Sloučeniny fosforu

- **nezbytné pro nižší i vyšší organismy, v nichž dochází k přeměně sloučenin fosforu na organicky vázaný fosfor**
- **po úhynu organismů se fosforečnany uvolňují do prostředí**
- **zvláštní uplatnění při růstu zelených organismů ve vodě (sinic, řas, vyšších rostlin)**

Formy výskytu fosforu ve vodách

Rozdělení:

- Rozpuštěný $P_{rozp.}$ – anorganicky vázaný fosfor (P_{anorg})
  – organicky vázaný fosfor (P_{org})
- Nerozpuštěný $P_{nerozp.}$ – anorganicky vázaný fosfor (P_{anorg})
  – organicky vázaný fosfor (P_{org})

(*oddělení obou fází – obvykle filtrací přes filtr s velikostí pórů 0,45 μm*)

Analyticky se rozlišuje:

- celkový fosfor
- ortofosforečnanový fosfor
- fosfor vázaný v hydrolyzovatelných fosforečnanech (polyfosforečnany + některé organické sloučeniny fosforu)

Formy výskytu fosforu ve vodách

- Název **rozpuštěný ortofosforečnanový fosfor** není zcela správný, neboť při jeho stanovení jsou do jeho výsledků zahrnuty i komplexní formy ortofosforečnanů a část org. vázaného fosforu
  správnější název je proto rozpuštěný reaktivní fosfor (P_{RRP})
  – *ale tento název se dosud nevžil*.
- **Rozpuštěný nereaktivní fosfor** (P_{RNP}) – jedná se hlavně o rozpuštěný organicky vázaný fosfor a polyfosforečnany

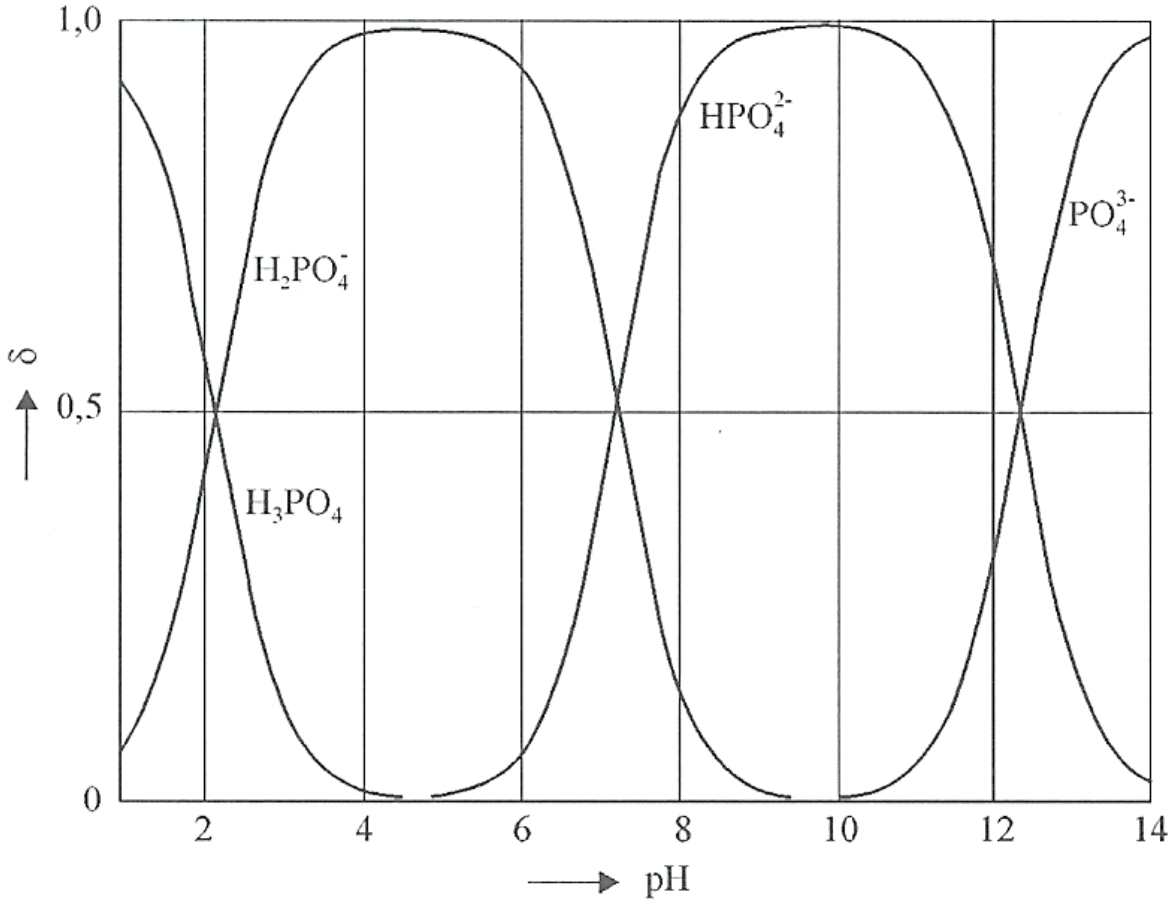
Formy výskytu fosforu ve vodách

- **Nerozpuštěný anorganicky vázaný P** – různé fosforečnany Ca, Mg, Fe, Al, aj. - velmi stabilní fosfátokomplexy: Al, Fe (na rozdíl od méně stabilních Ca a Mg)
- **Nerozpuštěný organicky vázaný P** – přítomný v organismech jako fosfolipidy, fosfoproteiny, nukleové kyseliny, fosforylované polysacharidy

Distribuční diagram kyseliny fosforečné a jejích iontových forem

Rozpuštěný anorganicky vázaný fosfor se ve vodách může vyskytovat ve formě:

- jednoduchých nebo komplexních orthofosforečnanů v iontové nebo neiontové podobě PO_4^{3-}, HPO_4^{2-}, $H_2PO_4^-$, $[CaHPO_4]^o$, $[MgHPO_4]^o$, $[FeHPO_4]^+$, $[CaPO_4]^-$



Distribuční diagram kyseliny fosforečné a jejích iontových forem, $T = 25$ °C, $I = 0$

$H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} (převládají ve vodách v neutrální oblasti pH)

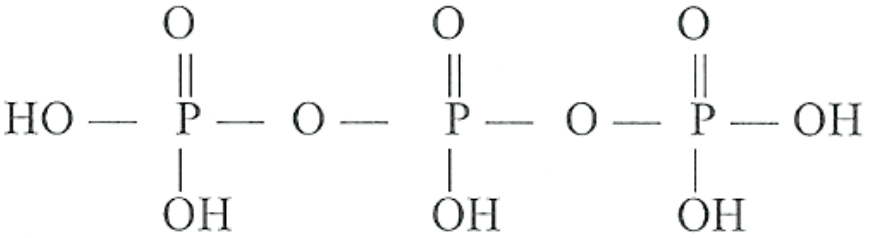
PO_4^{3-} - při pH > 12

Fosforečnany a polyfosforečnany

- Ve formě jednoduchých nebo komplexních **polyfosforečnanů** v iontové nebo neiontové podobě zejména di- a trifosforečnany:

$H_2P_2O_7^{2-}$, $HP_2O_7^{3-}$, $[CaP_2O_7]^{2-}$, $[CaH_2P_2O_7]^{o}$, $[CaP_3O_{10}]^{3-}$, $[FeP_2O_7]^{-}$

- Polyfosforečnany s řetězovou strukturou – tzv. katena-polyfosforečnany – odvozeny především od kys. difosforečné $H_4P_2O_7$ a trifosforečné



$[H_5P_3O_{10}]$

- Polyfosforečnany s cyklickou strukturou – tzv. cyklo-polyfosforečnany – mají obecný vzorec $(HPO_3)_n$, např. cyklo-trifosforečnany $P_3O_9^{3-}$, cyklo-tetrafosforečnany $P_4O_{12}^{4-}$

Výskyt fosforu ve vodách

- Hmotnostní koncentraci je doporučeno udávat ne jako PO_4^{3-} ale jako P
- V zemědělské literatuře se udává jako P_2O_5
- U čisticích prostředků jako trifosforečnan pentasodný: $Na_5P_3O_{10}$

Ve vodách se P vyskytuje ve velmi nízkých koncentracích:

- ~ 0,1 $\mu g.l^{-1}$ v neznečištěných podzemních vodách
- < 10 $\mu g.l^{-1}$ v oligotrofních jezerech i méně
- > 100 $\mu g.l^{-1}$ v eutrofních jezerech
- jednotky až desítky $mg.l^{-1}$ ve splaškových vodách
- > 100 $mg.l^{-1}$ v OV z velkoprádelen

Využitelnost fytoplanktonem

- Fytoplankton je schopen využívat nejen rozpuštěný ortofosforečnanový fosfor, ale také orthofosforečnany adsorbované na povrchu nerozpuštěných látek ---- **biologicky dostupný (využitelný) fosfor**

Stratifikace fosforu ve stojatých vodách

- Důsledek chemických, biochemických a sorpčních procesů
  - **sorpce** na dnových sedimentech x **uvolňování** do vodné fáze (=> vzrůst koncentrace ve vrstvě vody nad sedimenty až nad 1 $mg.l^{-1}$)

Vlastnosti

- **málorozpustné fosforečnany kovů** (Ca, Mg, Fe, Al) – zvláštní význam v technologii vody - odstraňování fosforečnanů a kovů z vody

- **polyfosforečnany** (katena polyfosforečnany) – v jednotkách $mg.l^{-1}$ mají protikorozní a protiinkrustační účinky – přidávají se do vody k zabránění tvorby inkrustací a vylučování málo-rozpustných sloučenin Fe a Mn, další využití – inhibitory koroze **ALE** působí rušivě při úpravě vody nebo při čištění odpadních vod! Hydrolýzou se vysokomolekulární polyfosforečnany štěpí na jednodušší a ortofosforečnany.

Význam sloučenin fosforu v prostředí

- Významná úloha v přírodním koloběhu látek, jsou nezbytné pro nižší i vyšší organismy, které je přeměňují na organicky vázaný fosfor.
- Pozor – eutrofizace ! (v povrchových vodách – vodárenské toky – **0,15 mg.l^{-1}**, v ostatních **0,4 mg.l^{-1}**)
- Zdravotně nezávadné
- V podzemních vodách – indikační význam (náhlý vzrůst koncentrace fosforečnanů indikuje možnost fekálního znečištění, pokud lze vyloučit znečištění způsobené fosforečnanovými hnojivy)

Otázky

1. Zdroje fosforu ve vodách
2. Formy výskytu fosforu ve vodách
3. Význam sloučenin fosforu ve vodním prostředí
4. Jaké formy fosforu rozlišujeme analyticky?
5. Využití sloučenin fosforu (např. v domácnostech, v průmyslu)
6. Proč je koncentrace fosforu ve vodě sledována?
7. Co mohou indikovat zvýšené koncentrace fosforu v podzemních vodách? (jaké okolnosti je nutno vyloučit?)