

## 2/1 Voda

### Voda (H<sub>2</sub>O)

- nejrozšířenější sloučenina vodíku a kyslíku, destilovaná je bez chuti a zápachu, největší hustota je při 4 °C ( $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ ; hustota ledu =  $0,92 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ , základní a nutná podmínka života; potřebná pro hygienu (mytí, praní), zavlažování, přenos tepla, chlazení, zdroj energie, rozpouštědlo, surovina pro různé výroby, prostředí pro řadu reakcí
- hydrosféra – prostor pokrytý vodou – oceány, moře, povrchová voda tekoucí i stojatá, ve formě kapaliny, sněhu, ledu) + podzemní voda; v přírodě neustálý koloběh: voda se vypařuje z vodních ploch, půdy... → do ovzduší, ochlazením se sráží → vrací se zpět ve formě deště, sněhu, krup a jiných vodních srážek (1/3 se zpětně znovu vypaří, 1/3 se vsákne do půdy, 1/3 steče po povrchu), průměrné množství srážek u nás 600 mm za rok
- vsakující voda rozpouští minerální látky, stéká do hloubky; když narazí na nepropustné vrstvy, stéká po nich a pak vyvěrá na povrch nebo tryská v podobě pramenu a nebo se dostává ven navrtáním (např. pro studny)
- v okamžiku „vzniku“ je voda čistá, postupem atmosférou se znečišťuje prachem a plyny, po dopadu na zem se vsakuje → filtruje se, ale také se v ní rozpouštějí minerální látky → „tvrdá“ voda obsahuje Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, CaSO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, NaCl... (tvrdost lze snížit, popř. odstranit varem nebo chemickou cestou)

### Formy a dělení vody

- kapalná (více než  $\frac{2}{3}$  zemského povrchu, z toho voda slaná > 90%), pevná (led, sníh) – při tuhnutí se vytváří pravidelná prostorová mřížka), vodní pára, vázaná (např. v tzv. hydrátech)
- 1. podle použití a čistoty: pitná (zdravotně nezávadná – z podzemních zdrojů nebo z vodárny); užitková (bez látek poškozujících zdraví – z podzemí i povrchová) pro mytí, praní, zalévání, napájení zvířat; nesmí se pít, používat na mytí nádobí a na přípravu pokrmů; odpadní (znečištěná – použitá v domácnosti, průmyslu, zemědělství...) – musí se čistit; destilovaná (získaná destilací) – bez minerálních látek, 2. podle obsahu minerálních látek: destilovaná (bez minerálních látek), měkká (např. dešťová, s minimem minerálních látek); tvrdá (spodní voda, různé soli) – tvrdost lze odstranit varem nebo chemicky; minerální (rozpuštěných látek je > 1 gram/litr, může obsahovat CO<sub>2</sub> a další plyny); slaná (obsahuje průměrně 3,5 % soli), 3. podle původu: dešťová (srážková), povrchová (říční, jezerní); mořská (nejslanější v Atlantiku – 28 gramů v 1 litru); spodní, minerální (se solemi + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>S)

### Tvrdost vody

- se stoupajícím množstvím Ca<sup>2+</sup> a Mg<sup>2+</sup> se voda stává tvrdší; měří se v různých stupních (německý – 10 mg CaO v 1 litru vody; francouzský 10 mg CaCO<sub>3</sub> v 1 litru vody; anglický 0,648 g CaO v 4,546 litrech vody; americký 0,648 g CaO v 3,758 litrech vody); měří se v miligramekvivalentech (1 mval = 28 mg CaO v 1 litru vody): (velmi) měkká: 0-3, tvrdá: 6-9, nadměrně tvrdá: nad 18; zjišťuje se analyticky [Ca<sup>2+</sup> a Mg<sup>2+</sup> se převedou na oxidy], komplexometricky (soli se převedou na komplex), titrací (titruje se roztokem mýdla); 1. přechodná (obsahuje Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> a Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) – lze odstranit varem (→ CaCO<sub>3</sub> (MgCO<sub>3</sub>) + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O) nebo chemicky (s NaOH, Ca(OH)<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) → Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> + 2NaOH → Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + CaCO<sub>3</sub> + 2H<sub>2</sub>O; Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> + Ca(OH)<sub>2</sub> → 2CaCO<sub>3</sub> + 2H<sub>2</sub>O; 2. trvalá (stálá) – způsobena sírany, chloridy a jinými vápenatými a hořečnatými solemi; snižuje se chemicky: CaSO<sub>4</sub> + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> → CaCO<sub>3</sub> + Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; MgCl<sub>2</sub> + 2NaOH → Mg(OH)<sub>2</sub> + 2NaCl; 3. celková = přechodná + trvalá; lze snížit změkčováním (dekarbonizací, srážením chemikáliemi, použitím iontoměničů nebo komplexonů)

### Změkčování vody

- pro parní kotle se musí změkčovat: 1. dekarbonizace (tepelný rozklad HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>; pro odstranění přechodné tvrdosti nebo 2. chemické srážení: do vody činidla; převedou rozpustné Ca<sup>2+</sup> a Mg<sup>2+</sup> soli na nerozpustné; ty se pak odstraní usazením nebo filtrací; změkčuje se nejčastěji vápnem a sodou (v malých provozech přerušovaně, ve velkých provozech kontinuálně); množství vápna a sody se určí podle rozboru vody: dává se malý přebytek, reakce neprobíhají úplně; srážení se zrychlí teplem; [Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> + Ca(OH)<sub>2</sub> → 2CaCO<sub>3</sub> + 2H<sub>2</sub>O; CaSO<sub>4</sub> + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> → CaCO<sub>3</sub> + Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> → CaCO<sub>3</sub> + 2NaNO<sub>3</sub>; CaCl<sub>2</sub> + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> → CaCO<sub>3</sub> + 2NaCl; MgCl<sub>2</sub> + Ca(OH)<sub>2</sub> → Mg(OH)<sub>2</sub> + CaCl<sub>2</sub>; Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> + 2Ca(OH)<sub>2</sub> → 2CaCO<sub>3</sub> + Mg(OH)<sub>2</sub> + 2H<sub>2</sub>O]; 3. změkčování pomocí iontoměničů: výměna Ca<sup>2+</sup> a Mg<sup>2+</sup> za sodné nebo vodíkové [používají se podvojně křemičitany (zeolity a permutity), sulfonované uhlí, fenolové a styrenové pryskyřice; voda musí být čirá, bez usazených nečistot; znehodnotily by aktivní povrch měničů]; 4. převod na rozpustné (ale nedisociované) sloučeniny použitím komplexonů (Syntron A, B, C)

### Zušlechťování vody

- většinou se voda zbavuje iontů Fe a Mn; železité vody obsahují Fe(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> nebo FeSO<sub>4</sub>, které způsobují škody ve výrobě (zbarvují výrobky) nebo v energetickém a vodním hospodářství: vločky Fe

se usazují na stěnách potrubí → potrubí „zarůstá“ a nakonec se ucpává...; procesy jsou ještě podporovány rozvojem železitých bakterií, které jsou odolné vůči desinfekčním prostředkům; bakterie oxidují  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$  na  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  [ $4\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2 \longrightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_2 + 8\text{CO}_2$ ;  $4\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_3$ ;  $4\text{FeSO}_4 + \text{O}_2 + 10\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_3 + 4\text{H}_2\text{SO}_4$ ; vyvločkování  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  lze urychlit přidáním vápenného mléka;  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$ ;  $\text{FeSO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \longrightarrow \text{CaSO}_4 + \text{Fe}(\text{OH})_2$ ;  $\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_3$ ]; Mn doprovází Fe v obdobných typech anorganických sloučenin + v organických sloučeninách; je hlavně ve vodních nádržích – z rozkladu rostlin (hlavně listů), projeví se černým zákalem a usazeninami; vody pění; odmanganování: vzdušným kyslíkem s katalyzátorem (hydratovaným  $\text{MnO}_2$ , který se získá na pískové filtrační vrstvě promýváním roztokem  $\text{KMnO}_4$ ) [ $4\text{KMnO}_4 + 6\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 4\text{KOH} + 4\text{MnO}(\text{OH})_2 + 3\text{O}_2$ ;  $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2 + \text{MnO}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{Mn}(\text{OH})_3 + 2\text{CO}_2$ ;  $\text{MnSO}_4 + \text{MnO}(\text{OH})_2 + 3\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{Mn}(\text{OH})_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$  (vyloučení Mn vyžaduje  $p_H$  7,5)]; odstranění Fe a Mn: kombinovaný filtr – písek,  $\text{MnO}_2$  se redukuje na  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  (při propírání filtru musí být opět oxidace na  $\text{MnO}_2$ )

## Negativní význam vody

- koroduje kovy a slitiny, rozrušuje cihly a beton; vodovodní trubky rozrušuje teplá voda; uvolňuje ze stěn Fe [ $\text{Fe} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{H}_2$ ;  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  se oxiduje na  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , vzniká sedlina];  $\text{H}_2$  vytváří film, chrání stěny kotle před korozi → při vyšší teplotě je  $\text{H}_2$  vypuzován nebo se slučuje s kyslíkem z vody ⇒ koroze pokračuje; ochrana Fe proti korozi – nátěry: 1. je suříkem (mínium –  $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ), pak krycí barva (olejová, chlorkaučuk, asfalt) → zabraňuje se přístupu vzduchu a vlhkosti ke kovu; korozi podporuje  $\text{CO}_2$ ; s vodou →  $\text{H}_2\text{CO}_3$  → rozpouští kovy, rozrušuje beton, omítky...
- měkká voda zvyšuje korozivní účinek  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ; tvrdá voda obsahuje  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  → vylučuje  $\text{CaCO}_3$ , který tvoří ochranný povlak; odstraňování  $\text{H}_2\text{CO}_3$  – provzdušňováním při odželezování; úplné odstranění – neutralizací vápenným mlékem:  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ; filtrace přes mramor nebo pálený dolomit [ $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ;  $\text{MgO} + 2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ]

### Požadavky na pitnou vodu

- neměnné: složení a fyzikální, chemické, biologické a mikrobiologické vlastnosti v průběhu celého roku (musí odpovídat normě); nesmí být znečištěna povrchovými a odpadními vodami, nesmí být příčinou infekčního onemocnění
- musí být čirá, bez zápachu, bez mikroorganismů (nejpřísnější požadavky: žádné zárodky MO skupiny Coli, v 1 litru vody max. 100 zárodků MO s optimální teplotou života 15-45°C a max. 500 chladomilných zárodků s optimální teplotou života 0-15°C), bez  $\text{NH}_3$  a dusitanů, přiměřeně tvrdá (5 – 12 německých stupňů), 10°C studená; stanovena max. množství těžkých kovů a jiných toxinů (Pb, As, F, Cu, Zn), dusičnanů méně než 50 mg v 1 litru, žádné dusitany (⇒ fekálie)

### (Samo)čištění vody

- přirozený děj probíhající ve vodních tocích, nečistoty ve vodě jsou odstraňovány pomocí kyslíku a díky činnosti mikroorganismů; je-li voda znečištěna nadměrně, samočištění se zpomaluje (zastavuje)
- fyzikální, chemické, mikrobiologické; v čistírnách: 1. mechanické: filtry, síta, mříže; zachycované nečistoty se pálí nebo kompostují, nebo se rozmělní a vypustí do usazovacích nádrží (s přetržitým nebo nepřetržitým průtokem vody), kal vyhnívá při použití tzv. septických nádrží nebo nevyhnívá při použití tzv. aseptických nádrží; 2. chemické: používá se soda, vápno, absorbenty (síran hlinitý a železitý, hydroxid hlinitý a železitý); 3. biologické: likvidují se koloidní látky a rozpuštěné organické látky [a) závlahový způsob: odpadní voda se vyvážá na pole, rozstříkává se; b) voda se filtruje zeminou a drenáží se odvádí pryč; u písčitéch půd se spádem; c) použití biologických sprch: vrstvy kamení (vysokopecní struska) se kropí vodou, nechá se vyschnout; na kamení vyrostou mikroorganismy a voda se čistí dál protiproudě vzduchem; d) biologické filtry: betonový válec vyplněný škvárou nebo struskou; opět se vytvoří vrstva mikroorganismů; e) aktivovaný kal: bez usazování; odpadní voda je v pohybu, kal nesedá ke dnu, oddělí se prudkým snížením tlaku]

### Průmyslová voda

- voda z řek, rybníků, nádrží; pro průmyslové účely; nelze využít v potravinářství, ve styku se surovinami nebo zařízením (požadavky méně přísné, nesmí ale obsahovat choroboplodné zárodky a zdraví škodlivé látky)
- užití – pro energetická zařízení (napájecí voda do kotlů...), je neupravená, obsahuje rez, mazadla... ⇒ tvoří kotelní kámen, který izoluje a způsobuje přehřívání kotle a větší tlak... (kotelní kámen se musí odstranit mechanicky nebo chemicky – pomocí  $\text{H}_3\text{PO}_4$  nebo  $\text{HCl}$ , popř.  $\text{HF}$ )
- úprava průmyslové vody: filtrace přes česlice (síta z Fe prutů vzdálených od sebe 8 – 10 mm; ve dně, vyvedeny nad hladinu) – zadržují hrubší plovoucí nečistoty → nasávač potrubí pro čerpání

vody s ochranným košem → filtrace přes pískové filtry: zachytí jemné kalové látky s ulpělými MO

### Odpadní vody

- 1. městské: obsahují hrubé nečistoty – zbytky ovoce a zeleniny, hlínu, písek..., jemné kaly (špatně se usazují), rozpuštěné organické a anorganické látky a MO; při čištění se nejdříve zachytí hrubé nečistoty, kaly se odstraní hned nebo se nechají vyhnít a pak se využívají jako hnojivo; organické látky se buď vypustí do řek k samočištění nebo se čistí biologickými filtry; 2. průmyslové (obsahují organické, nejedovaté látky, vodním tokům škodí tím, že jsou teplé; suspenze minerálních naplavenin ohrožují život v řece; obsahují organické nejedovaté látky; při hnití ale odebírají z vody kyslík nebo uvolňují jedovaté zplodiny; v přítomnosti anorganických látek zabraňují rozkladným pochodům); průmyslová a zemědělská voda se musí před vypuštěním do vodních toků čistit

### Úprava vody na pitnou

- 1. odběr „surové“ vody např. z řeky; voda by neměla obsahovat nežádoucí látky (větší závody mají své čistírny; do řek vypouští vodu bez hrubých nečistot, chemikálií...) → 2. hrubé česle (kůly, ploty – odstraní největší mechanické nečistoty – dřevo, hadry, plechovky...) → 3. jemné česle (kovové nebo dřevěné „mříže“ zachytí menší nečistoty – sláma, listí...) → 4. čerpání surové vody do vodárny – usazování vody (usazovací nádrže o velké ploše – odstraní se další nečistoty) → 5. chloroxidery a čerňe (předčištění; do surové vody se dávkuje chemikálie – tzv. „flokulanty“, které vytvoří vločky – ty na sebe naváží 95 % zbylých nečistot, které po zatížení klesnou ke dnu čerňe; flokulantem je tekutý  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ) → 6. filtrace (pískové filtry zachytí zbývající nečistoty)
- voda prochází pískovými filtry, které zachytí zbývající nečistoty (křemičitanová 1,5 metrů vysoká písková vrstva; rychlost vody je  $3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ): a) pomalá filtrace – filtrační baterie: betonová nádrž s mírně se svažujícím dnem s vrstvami písku; dole nejhrubší, nahoře nejjemnější; během několika dnů se vytvoří filtrační vrstva z blány kalů (max. 1,5 m); po čase se musí vrstva obnovit, je prorostlá mikroorganismy: písek se propere, vysuší, vyžihá (urychlení pomocí trojstupňové filtrace: hrubocez → předfiltr → jemný filtr) nebo b) rychlá filtrace, čerň chemickými látkami; používá se  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , čerň i při nižších teplotách,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{FeSO}_4$  v kombinaci s  $\text{Cl}_2$  – kruhová mísící nádrž s dávkovacím zařízením → vyvločkování vody → usazovací nádrž (sedimentace) → rychlofiltr (vytvoření filtrační vrstvy z vloček  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ; po zanesení filtru se musí vrstva obnovit);  $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4; \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \longrightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{CaSO}_4 + 6\text{CO}_2; \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \longrightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{CaSO}_4 + 6\text{CO}_2; 6\text{FeSO}_4 + 3\text{Cl}_2 \longrightarrow 2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{FeCl}_3; 2\text{FeCl}_3 + 3\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \longrightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{CaCl}_2 + 6\text{CO}_2]$ ; c) tlakové filtry
- 7. alkalizace, úprava  $p_H$  na 7,5; síran z čerňe je vysoce kyselý ⇒ nutno upravit pH přidáním vápenné vody → 8. hygienické zabezpečení vody (sterilizace a dezinfekce): a) chlorování (rozšířené, spolehlivé, snadné; rozkladem kyseliny chlorné (z  $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCl} + \text{HClO}$  vzniká aktivní kyslík a ničí MO ( $\text{HClO} \rightarrow \text{HCl} + \text{O}$ ))
- plynný chlór (0,1 – 0,3 mg na 1 liter) působí 30 minut; voda se filtruje pískovým filtrem, přebytek chlóru se odstraňuje filtrací přes aktivní uhlí nebo dechloračními činidly ( $\text{CaSO}_3$ );  $[\text{CaSO}_3 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CaSO}_4 + 2\text{HCl}$ ; místo  $\text{Cl}_2$ ; lze užít chloroxid (pak filtrace přes granulované aktivní uhlí)]
- pro malé množství vody – chloramin nebo chlorové vápno; b) ozonace; rozkladem  $\text{O}_3 \rightarrow$  aktivní kyslík, ničí MO ( $\text{O}_3 \rightarrow \text{O}_2 + \text{O}$ ); vyčerňená a přefiltrovaná voda se v ozonačních věžích asi 10 minut probublává ozonovaným vzduchem získaným elektrickým výbojem v ozonátorech); drahé; 1 m<sup>3</sup> ozonovaného vzduchu obsahuje cca 10 g  $\text{O}_3$ ; c) uv paprsky: rychlé, účinné, bez chemických a chuťových změn (na rozdíl od  $\text{Cl}_2$ ); čirá přefiltrovaná voda protéká v tenké vrstvě kolem rtuťové křemenné výbojky; d) účinky těžkých kovů (pro jednorázovou dezinfekci nádrží, studní; tablety) → 9. akumulace upravené vody → 10. čerpání vody do vodojemů → distribuce odběratelům

## Čištění odpadních vod a jejich složení

- průmyslová voda znehodnocuje vodní toky, porušuje přirozenou rovnováhu řeky obsahem kyslíku, který samočistí; anorganické a organické kyseliny mění  $p_H \Rightarrow$  změna podmínek pro činnost MO důležitých pro samočištění → poškození zdravého rozvoje ryb; suspenze a látky spotřebovávají kyslík; změna  $p_H$  pod 6,5 a nad 8,4 + vysoký obsah  $\text{CO}_2$  + jedovaté látky i v malých koncentracích; odpadní vody z potravinářských výrob obsahují zbytky zrn, kvasnic, hlínu, cukry, sůl, konzervanty, tuky, krev... – rychle hnijí, zapáchají, vytváří pěnu → otravy ryb...

## Biochemická spotřeba kyslíku (BSK)

- důležitý ukazatel stupně znečištění vody – určuje množství kyslíku potřebné pro oxidaci organických látek + chemické reakce ve vodě (oxidaci  $\text{H}_2\text{S}$  a sloučenin železnatých); dva stupně biochemického rozkladu organických látek – 20 dní (odbourávání uhlíkatých látek) + od 10. dne – odbourávání dusíkatých látek
- stanovení BSK: stanoví se obvykle úbytek spotřeby za 5 dní (BSK5); všechny metody dávají srovnatelné výsledky