

# Voda a jej znečistenie

## 1. Zloženie a štruktúra vody

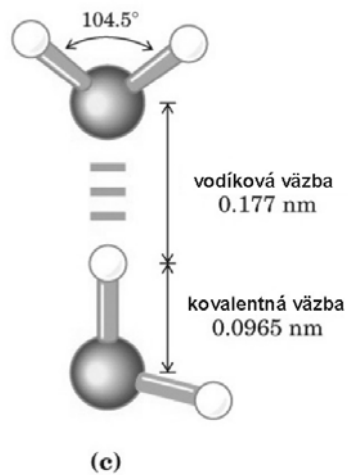
Voda predstavuje chemickú zlúčeninu dvoch atómov vodíka a jedného atómu kyslíka. Vzhľadom na to, že vodík a kyslík sú zložené z viacerých izotopov, ani voda nie je zložená z jedného druhu molekúl. Kvantitatívny pomer molekúl rôzneho izotopového zloženia je určený pomerom jednotlivých izotopov vo východiskovom prvku. Existencia troch izotopov vodíka ( $^1\text{H}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ) a šiestich izotopov kyslíka ( $^{14}\text{O}$ ,  $^{15}\text{O}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^{19}\text{O}$ ) pripúšťa celkove 36 možností pre stavbu molekuly vody, z ktorých 9 obsahuje len stabilné nuklidy. Najväčšie množstvo tvoria molekuly  $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$  (99,73%). Z ostatných molekúl osobitné miesto zaujíma molekula  $^2\text{H}_2^{16}\text{O}$  ( $\text{D}_2^{16}\text{O}$ ) tzv. ťažká voda.

Rozdielne izotopové zloženie molekúl vody sa prejavuje rôznymi hodnotami tlaku nasýtených pár, teploty a tepla fázových premien, tepelnej kapacity, v teplotnej závislosti termodynamických veličín.

Ťažká voda  $\text{D}_2^{16}\text{O}$  sa chemickými vlastnosťami od  $\text{H}_2^{16}\text{O}$  veľmi nelíši. Jej reaktivita je vo všeobecnosti menšia a reakcie v nej prebiehajú obvykle pomalšie. Reakciou s príslušnými anhydridmi vzniká „ťažká“ kyselina sírová ( $\text{D}_2\text{SO}_4$ ) alebo kyselina fosforečná ( $\text{D}_3\text{PO}_4$ ) [1]. Z chemického hľadiska sú dôležité rozdiely rozpustnosti v izotopových zlúčeninách [1].

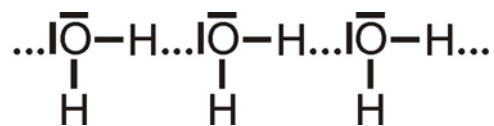
Podobne možno pozorovať rozdiely v rozpustnosti organických zlúčenín. V prírodných vodách rôzneho pôvodu sa obsah deutéria merateľne líši (v rozmedzí od 0,0133 - 0,0185 %). Toto má určitý význam pri zisťovaní genézy vody. V dôsledku rozdielnej hodnoty tlaku nasýtených pár  $\text{H}_2\text{O}$  a  $\text{D}_2\text{O}$  sú zrážkové vody obohatené ťažkými izotopmi vodíka a kyslíka. V podpovrchových vodách vzrastá obsah  $\text{D}_2\text{O}$  s hĺbkou. Zvýšený obsah ťažkej vody sa našiel vo veľkých hĺbkach oceánov. Voda sa skladá z 88,81% hmotnosti kyslíka a 11,19% hmotnosti vodíka. Dva atómy vodíka a jeden atóm kyslíka v molekule vody sú viazané jednoduchou polárnou kovalentnou väzbou.

Molekula vody (obr. 1) má trojuholníkové usporiadanie. Medzijadrová vzdialenosť O–H je 0,0965 nm, väzbový uhol H–O–H je  $104,5^\circ$  a dipólový moment  $M_e$  je  $6,13 \cdot 10^{-30}$  Cm [1].



**Obr. 1. Molekula vody**

Voda je silne polárna zlúčenina, nakoľko väzba O–H je veľmi polárna a molekula vody je zalomená. Dipóly vody sa môžu vo svojom najbližšom okolí priťahovať svojimi opačne nabitými koncami a spôsobiť asociáciu molekúl vody vodíkovými mostíkmi:

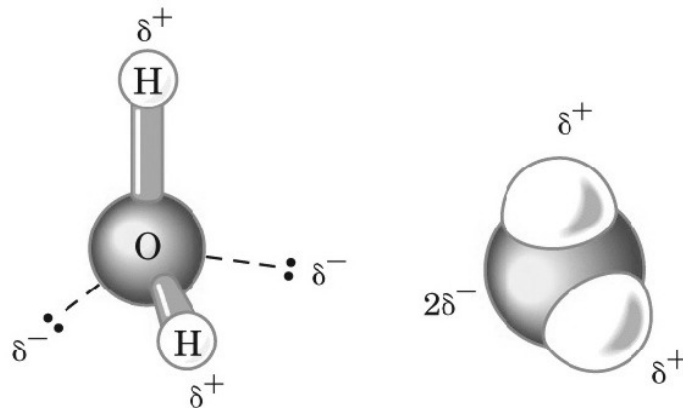


Vodík je tu k jednému atómu pripútaný kovalentne, k druhému elektrostaticky. Intermolekulové vodíkové mostíky sú príčinou vysokej teploty varu vzhľadom na teplotu varu podobnej zlúčeniny sulfánu. V plynnom skupenstve je voda pri normálnom tlaku asociovaná iba nepatrne.

## 2. Fyzikálne vlastnosti vody

### 2.1 Skupenské stavy vody

Voda sa v prírode vyskytuje v plynnom, kvapalnom a tuhom skupenstve. V tuhom skupenstve je v siedmich kryštálových modifikáciách. Pri obyčajnom tlaku je stála len hexagonálna modifikácia - ľad. Atómy kyslíka vytvárajú vrstvy, skladajúce sa zo šesťčlenných poprehýbaných kruhov. Každý kyslíkový atóm je tetraedricky obklopený inými kyslíkovými atómami. Tri z nich patria do tej istej vrstvy a jeden do hornej alebo dolnej vrstvy. Medzijadrová vzdialenosť susedných atómov kyslíka je 0,276 nm. Vodíkové atómy sa nachádzajú na spojniciach atómov kyslíka. Každý atóm kyslíka s dvoma tesne susediacimi vodíkovými atómami tvorí kovalentné väzby, kým iné vodíkové atómy vo väčšej vzdialenosti sú spojené vodíkovými mostíkmi (obr. 2) [1].



Obr. 2. Umiestnenie atómov vodíka na spojnici atómov kyslíka

Príslušné množstvo tepla, ktoré je potrebné na zmenu skupenstva je špecifické skupenské teplo topenia ( $333,3 \text{ kJ.kg}^{-1}$ ) a vyparovania ( $2257 \text{ kJ.kg}^{-1}$ ). Pri bode topenia je tuhá fáza - ľad v rovnováhe s kvapalnou vodou a tento stav môže trvať ľubovoľne dlho. Pri premene vody na ľad vzrastá objem asi o 9,2%, čím sa zintenzívňuje erózna činnosť vody v prírode.

Voda aj ľad sa neustále vyparujú (ľad sublimuje), preto sú ustavične obklopené parami. V uzavretom priestore pri určitej teplote a tlaku sa po určitom čase rovnováha ustáli, ktorá je sprevádzaná nasýtením priestoru vodnou parou. Tá pôsobí parciálnym tlakom rastúcim s teplotou.

Ak tlak nasýtenej pary dosiahne hodnotu atmosférického tlaku, nastáva var. Vzhľadom na malú relatívnu molekulovú hmotnosť vody je teplota varu  $100^\circ\text{C}$  pri

101,325 kPa vysoká. Pri zahrievaní kvapalnej vody len časť dodaného tepla spôsobí zvýšenie teploty, zostávajúce teplo je potrebné na trhanie vodíkových mostíkov.

Z toho vyplýva vysoká tepelná kapacita vody, ktorá sa mení s teplotou anomálne (pri zvyšovaní teploty klesá a neskôr začína vzrastať). Vysoká tepelná kapacita vody spôsobuje, že pevnina je v zime morom otepľovaná a v lete ochladzovaná.

V rovnováhe sú pevná, kvapalná a plynná fáza pri tlaku  $P=6,110^2$  Pa a teplote  $T=273,1575$  K (trojitý bod vody).

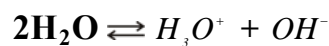
## 2.2 Hustota, viskozita a povrchové napätie

Hustota kvapalnej vody sa zväčšuje od 0°C. Pri teplote 3,98°C má maximálnu hodnotu

$\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$ , ďalej klesá až po teplotu varu ( $\rho = 958,4 \text{ kg.m}^{-3}$ , pri 100°C). Led, ktorý je ľahší, pláva na povrchu a chráni vodu pred ďalším premrzaním. Viskozita vody klesá so vzrastajúcou teplotou.

## 2.3 Vodíkový ión a hodnota pH

Vodíkový ión je vo vode hydroxóniový ión  $\text{H}_3\text{O}^+$ . Samotná voda je slabo disociovaná:



Disociačnú rovnováhu vody definuje disociačná konštanta:

$$K_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{a_{\text{H}^+} a_{\text{OH}^-}}{a_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{\gamma_{\pm}^2}{\gamma_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot \frac{c_{\text{H}^+} c_{\text{OH}^-}}{c_{\text{H}_2\text{O}}}$$

kde: a - aktivita, c - koncentrácia látkového množstva,  $\gamma_{\text{H}_2\text{O}}$  - aktivitný koeficient nedisociovaných molekúl,  $\gamma_{\pm}$  - stredný aktivitný koeficient ionizovanej vody.

V destilovanej vode pri teplote 25°C sa  $a_{\text{H}^+} = a_{\text{OH}^-} = 10^{-7} \text{ mol.dm}^{-3}$ , pH roztoku sa rovná

$\text{pH} = -\log a_{\text{H}^+}$ . Voda, ktorej  $\text{pH}=7$  (pri teplote 25°C) je neutrálna. Roztoky s  $\text{pH}<7$  sú kyslé, s  $\text{pH}>7$  sú zásadité. Hodnota pH závisí od teploty.

## 2.4 Oxidačno-redukčný potenciál vody

Významnou vlastnosťou prírodných vôd je oxidačno-redukčný potenciál  $E$ . Jeho hodnota rozhoduje o oxidačných alebo redukčných podmienkach vo vode. Pozitívna hodnota potenciálu charakterizuje oxidačné pomery, negatívna redukčné pomery. Oxidačné pomery sú v prírodných vodách spojené s obsahom rozpusteného kyslíka. Tento kyslík spôsobuje pozitívny redox-potenciál vody, ktorý je určený empirickým vzťahom:  $E=0,70-0,06 \text{ pH}$ .

*Elektrolytická vodivosť* je významná veličina vody a vodných roztokov. Je funkciou obsahu iónov v roztoku, typu rozpustených látok a teploty. Pri analýze vôd sa konduktivita uvádza pri teplote  $20^{\circ}\text{C}$ .

*Rozpúšťacia schopnosť* je významná vlastnosť vody. Hlavnou príčinou rozpúšťacej a ionizačnej schopnosti je dipólový charakter vody a vysoká dielektrická konštanta. Vodný roztok je homogénna sústava vody a látok. Jej čiastočky sú v molekulovom stave homogénne rozložené po celom objeme. Vodné roztoky sa pripravujú rozpúšťaním, samovoľným dejom, ktorý prebieha až po termodynamickú rovnováhu, pri ktorej sa utvorí nasýtený roztok.

## 3. Znečistenie vody

### 3.1 Anorganické látky vo vodách

Voda obsahuje rôzne anorganické látky. Ich obsah je rozdielny. Závisí od toho, v akom zastúpení sa vyskytujú jednotlivé prvky v prírode, aká je rozpustnosť ich zlúčenín, prípadne od činnosti človeka [3].

Medzi hlavné anorganické súčasti prírodných vôd patrí vápnik, horčík a sodík, ktoré sú prítomné ako katióny. Z aniónov sú to prevažne hydrogénuhličitan, sírany a chloridy.

V malých koncentráciách sú v prírodných vodách zastúpené draslík, železo a mangán. Zo zlúčenín nekovov sú v malých koncentráciách prítomné amonné soli a amoniak, dusitan, dusičnan, fosforečnan. Okrem toho rozpustné látky tvoria zlúčeniny kremíka, bóru a titánu. Pomerné zastúpenie zložiek sa líši v jednotlivých druhoch vôd, v odpadových vodách je úplne špecifické.

#### 3.1.1 Alkalické kovy a kovy alkalických zemín

*Sodík a draslík* sú bežnou súčasťou prírodných vôd a obyčajne obsah sodíka je vyšší ako obsah draslíka. Do vody sa dostávajú vylúhovaním zo zvetraných hornín hlinitokremičitanov. Zdrojom sodíka sú soľné ložiská a ílovité horniny. Umelým zdrojom sodíka môžu byť priemyselné odpadové vody [3].

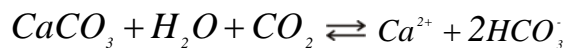
Ióny draslíka sa dostávajú do podzemných a povrchových vôd priesakom alebo zmývaním povrchu polí hnojených draselnými hnojivami.

Podzemné a povrchové vody obsahujú sodík a draslík v množstve niekoľko desiatín až desiatok  $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Minerálne hydrogénuhličitanové vody ho môžu obsahovať až jednotky  $\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$  [3]. Sodíka a draslík nie sú vo vodách hygienicky významné.

Zlúčeniny *vápnika a horčíka* sú v prírode veľmi rozšírené. Ióny vápnika a horčíka sa dostávajú do vôd vylúhovaním vápencov, dolomitov, magnezitu a sadrovca. Umelým zdrojom vápnika vo vodách môžu byť niektoré priemyselné odpadové vody. Obohatenie vody o vápnik alebo horčík nastáva pri odstraňovaní agresívneho oxidu uhličitého z mäkkých vôd pri odkysľovaní [3].

*Vápnik a horčík* sa vyskytujú vo vodách zväčša ako jednoduché katióny  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ .

Ióny vápnika sú prevládajúcim katiónom vo vodách s menšou mineralizáciou. V hydrogénuhličitanových vodách je vápnik viazaný na prítomnosť rozpusteného oxidu uhličitého, ktorý je potrebný na udržanie rovnovážneho stavu.



Ak sa obsah  $\text{CO}_2$  vo vode zníži, rovnováha sa poruší a z vody sa začne vylučovať  $\text{CaCO}_3$  [3]. Z málo rozpustných zlúčenín vápnika má v hydrochémií a technológii vody význam  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaF}_2$  a niektoré fosforečnany.

Horečnaté ióny sú prítomné vo vode v menších koncentráciách ako vápenaté [2]. V závislosti od pH vody sa môže horčík vylučovať z prírodných vôd v prítomnosti hydrogénuhličitanu ako  $3\text{MgCO}_3\cdot\text{Mg}(\text{OH})_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  alebo  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ .

Za prítomnosti fosforečnanov sa môže vylučovať  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ . Ak je potrebné odstrániť horčík z vody chemickou cestou, prichádza do úvahy vylučovanie ako  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  alebo  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ . V spojitosti s obsahom vápnika a horčíka sa hovorí o tzv. tvrdosti vody. V rozboroch vody sa vyjadruje ako celková, uhličitanová, neuhličitanová, prípadne horečnatá a vápenatá. Tvrdosť prírodných vôd býva rozdielna. Najmäkšie sú vody atmosférické. Tvrdosť tečúcich povrchových vôd závisí od geologických útvarov, z ktorých vyviera a ktorými preteká [3].

Soli vápnika a horčíka ovplyvňujú chuť vody. Najlepšie chuťové vlastnosti majú vody s obsahom vápnika a aniónu  $HCO_3^-$ . Majú tiež priaznivé fyziologické vlastnosti. Voda s vyšším obsahom horčíka a s vysokým obsahom síranov má laxatívne účinky [3].

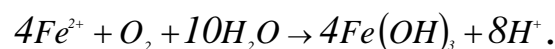
*Stroncium* sa vyskytuje v prírodných vodách zriedka ako kation  $Sr^{2+}$ . Do vôd sa dostáva vylúhovaním z minerálov stroncianitu a celestínu.

Ióny *bária* sa dostávajú do vôd najmä z minerálov barytu  $BaSO_4$  a witheritu. Môže sa vyskytovať v odpadových vodách anorganického priemyslu. Bárium patrí medzi toxické kovy a preto sa v pitnej vode nesmie vyskytovať.

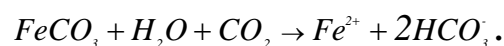
### 3.1.2 Ďalšie kovy

*Železo* sa dostáva do prírodných vôd z rúd, najmä pyritu a niektorých hlinitokremičitanov, ktoré po zvetrávaní tvoria pôdy s určitým obsahom železa. V bezkyslíkatom redukčnom prostredí podzemných a povrchových vôd sa železo vyskytuje v oxidačnom čísle II. Rozpusťné formy výskytu sú najmä  $Fe^{2+}$  a  $[FeOH]^+$ . Vo vodách býva prítomný aj  $FeSO_4$  a  $FeCO_3$ , ktoré sú akvatované:  $[FeSO_4(aq)]^0$ ,  $[FeCO_3(aq)]^0$ . Železo s oxidačným číslom III je najstabilnejšou formou výskytu vo vodách obsahujúcich rozpustený kyslík. Medzi hlavné rozpustné formy  $Fe^{III}$  patrí  $Fe^{3+}$ ,  $[FeOH]^{2+}$ ,  $[Fe(OH)_2]^+$ .

Za prítomnosti vyšších koncentrácií síranov prichádzajú do úvahy iónové asociáty  $[FeSO_4]^+$ ,  $[Fe(SO_4)_2]^-$ . Schopnosť  $Fe(II)$  a  $Fe(III)$  podliehať reverzibilnej oxidácii a redukcii hrá významnú úlohu v chémii prírodných vôd [1]. Rozpustené železo sa odstraňuje z vôd oxidáciou rozpusteným kyslíkom a nasledujúcou hydrolyzou. Priebeh oxidácie znázorňuje schématická rovnica:



Ďalším zdrojom železa môže byť siderit, ktorý sa rozpúšťa vo vode s vyšším obsahom oxidu uhličitého podľa rovnice:



V nízkych koncentráciách, v stotínach a desatinách  $mg \cdot dm^{-3}$  je železo bežnou súčasťou vôd. Prírodné vody s obsahom železa nad  $10 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  považujeme za minerálne železnaté vody. Obsah železa vyskytujúceho sa v povrchových a podzemných vodách je hygienicky bezvýznamný. Umelým zdrojom železa v prírodných vodách môžu byť niektoré priemyselné vody z kovopriemyslu.

*Mangán* sa vyskytuje vo vode spolu so železom. Jeho obsah je zvyčajne nižší ako obsah železa. Vyskytuje sa vo viacerých mangánových rudách, z ktorých sa dostáva do vody vylúhovaním. Ďalším zdrojom mangánu je pôda a sedimenty odumretých častí rastlín. Jeho umelým zdrojom sú niektoré priemyselné vody.

Mangán sa môže vyskytovať vo vode vo forme rozpustnej, nerozpustnej, koloidnej a vo viacerých oxidačných číslach (II, III, IV). Najstabilnejšia forma mangánu vo vode je Mn(II), ktorá neobsahuje rozpustený kyslík, ani iné oxidačné činidlo.

Mangán je v prírodných vodách zdravotne nezávadný. Ovplyvňuje senzorické vlastnosti vody a preto by sa nemal vyskytovať v pitnej a úžitkovej vode.

*Kadmium* je prítomné v zinkových rudách. Odtiaľ sa môže vylúhovať do vody. Obsah kadmia v povrchovej vode v oblastiach bez zdrojov kontaminácie je veľmi nízky (pod  $1 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ ). Nachádza sa najmä v sedimentoch na dne vodných nádrží [4]. Z rozpustných foriem výskytu prichádzajú do úvahy kademnaté soli.

Kadmium patrí medzi toxické prvky a je kumulatívnym jedom [3]. V pitnej vode je jeho obsah limitovaný na  $0,01 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Rovnaká koncentrácia sa pripúšťa aj vo vodárenských tokoch.

*Ortuť* sa môže dostať do vody z rumelky. Umelým zdrojom ortuti v prírodných vodách sú najmä priemyselné odpadové vody a poľnohospodárstvo. Vo vode riek pretekajúcich priemyselnými oblasťami sa koncentrácia ortuti pohybuje okolo  $1 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Koncentrácia ortuti v oceánoch stúpa od hladiny smerom ku dnu [4]. Najvyššia prípustná koncentrácia ortuti v pitnej vode je  $1 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Ortuť patrí medzi najtoxické prvky. Má jeden z najvyšších kumulačných koeficientov [3].

*Olovo* sa vyskytuje v prírode vo forme olovnatých rúd. Jeho zdrojom v atmosférických vodách je olovo z výfukových plynov. Zdrojom olova v pitných a úžitkových vodách je olovo z potrubia, ktoré koroduje za prítomnosti agresívneho oxidu uhličitého, rozpusteného kyslíka a dusičnanov. Olovo sa môže vyskytovať vo vode vo forme rozpustnej i nerozpustnej. Z rozpustných foriem prevažujú  $\text{Pb}^{2+}$  ión a  $[\text{PbCO}_3(\text{aq})]^0$ . Vo vodách je olovo veľmi nebezpečné. Patrí medzi toxické prvky. Najvyššia prípustná koncentrácia olova v pitnej vode je  $0,05 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Táto hodnota sa vzťahuje aj na vodárenské toky.

*Arzén* je pomerne rozšírený v zemskej kôre a z nej sa dostáva do podzemnej a povrchovej vody vylúhovaním. Umelým zdrojom arzénu sú odpadové vody z garbiarní a výroby farbív. Arzén sa vyskytuje vo vode ako As(V), v nestálej forme ako As(III).



V prírodných vodách sa vyskytuje obvykle v jednotkách až desiatkach  $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ .

Zlúčeniny arzenu sú značne jedovaté. Najvyššia prípustná koncentrácia arzenu v pitnej vode je  $0,05 \text{ mg}/\text{dm}^3$ . Platí to aj pre vodárenské toky.

### 3.1.3 Zlúčeniny síry, fosforu a dusíka

*Zlúčeniny síry* sa vyskytujú v prírodných a odpadových vodách v rôznom oxidačnom čísle (-II, 0,IV, VI). Sú prírodného a umelého pôvodu. Z anorganických zlúčenín síry vo vode môžu byť sírany, siričitany, tiosíranové a sulfán.

Zlúčeniny síry podliehajú chemickým a biochemickým zmenám. Nazývame to ako kolobeh síry, ktorý znázorňujem na obrázku 6.

*Sírany* sa do podzemných vôd dostávajú zo sadrovca. Umelým zdrojom síranov sú odpadové vody z chemického priemyslu a exhaláty s vysokým obsahom  $\text{SO}_2$  a  $\text{SO}_3$ . Povrchové vody obsahujú sírany v jednotkách, desiatkach i stovkách  $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Podobne sú na tom aj podzemné vody. Síranom sa neprikladá zvláštny hygienický význam. Siričitany sa v prírodných vodách prakticky nevyskytujú. Zriedkavý výskyt týchto zlúčenín je umelého pôvodu.

*Tiosíranové* sa v prírodných vodách vyskytujú veľmi zriedka. Výnimku tvoria niektoré minerálne vody (spolu so sulfánom) a odpadové vody.

*Sulfidická síra* sa vyskytuje vo vodách ako nedisociovaný sulfán, jednoduché ióny  $\text{HS}^-$  a  $\text{S}^{2-}$ .

*Sulfán* a jeho iónové formy sú vo vodách nestabilné. Môžu sa chemicky alebo biochemicky oxidovať na sírany. Vo vodách sa môžu trvale vyskytovať iba v anaeróbnom prostredí. Sú tak dôkazom redukčných procesov vo vode.

V anaeróbnom prostredí vzniká v splaškových vodách sulfán, ktorý uniká do atmosféry, kde sa biochemicky oxiduje sírnymi baktériami na kyselinu sírovú. Minerálne vody, ktoré obsahujú najmenej  $1 \text{ mg}/\text{dm}^3$  sulfidickej a tiosíranovej síry sú sírnymi vodami.

Sulfán ovplyvňuje senzorické vlastnosti vody. Najvyššia prípustná koncentrácia sulfánu v pitnej vode je  $0,01 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  [5]. Sulfán je pre ryby veľmi toxický a tak sa jeho prítomnosť vo vodárenských tokoch nepripúšťa.

Anorganický *fosfor* sa dostáva do vôd najmä vylúhovaním z minerálov. Vo vodách sa môže vyskytovať v jednoduchých alebo komplexných iónových alebo neiónových formách, prípadne vo forme polyfosforečnanov.

Ortofosforečnany sa vyskytujú ako:  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  a  $\text{CaHPO}_4$ .

Polyfosforečnany majú štruktúru reťazovitú (katena-polyfosforečnany) alebo cyklickú (cyklo-polyfosforečnany). Z katena-polyfosforečnanov v hydrochémii prichádzajú do úvahy  $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ ,  $\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$ . Cyklo-polyfosforečnany majú všeobecný vzorec  $(\text{HPO}_3)_n$ .

Podzemné vody obsahujú fosforečnany v nepatrných koncentráciách, pretože za prítomnosti vápnika a horčíka vznikajú málo rozpustné zlúčeniny. Povrchové vody obsahujú fosforečnany s vyššou koncentráciou [3]. Dostávajú sa do nich splaškovými odpadovými vodami. Vyššie koncentrácie fosforečnanov sú v povrchových vodách nežiaduce. Sú príčinou nadmerného výskytu rias. Ich obsah v pitnej vode je limitovaný na  $0,4 \text{ mg.dm}^{-3}$ .

Dusík je dôležitý makrobiogénny prvok. Jeho zlúčeniny sa uplatňujú pri všetkých biologických procesoch, prebiehajúcich v prírodných aj odpadových vodách. Dusík sa vyskytuje vo vodách v rôznych oxidačných číslach a v týchto formách:

- anorganicky viazaný
  - amoniakálny
  - dusitanový
  - dusičnanový
- organicky viazaný

Celkový dusík je daný súčtom uvedených foriem [3].

Zdrojom anorganického dusíka sú splachy z poľnohospodársky obrábanej pôdy, hnojenej dusíkatými hnojivami, dažďové vody a niektoré priemyselné odpadové vody. Jednotlivé formy dusíka vo vode podliehajú mnohým biochemickým zmenám, ktoré súhrnne nazývame kolobeh dusíka. Kolobeh dusíka znázorňujem na obrázku 7.

#### *Amoniakálny dusík*

Z foriem výskytu prichádza do úvahy nedisociovaný dusík  $\text{NH}_3$  alebo vo vode hydratovaný  $\text{NH}_4^+$ . Pomerné zastúpenie obidvoch foriem závisí od pH. V prírodných vodách s pH do osem je zväčša prítomný ako  $\text{NH}_4^+$ .

So zvyšujúcou sa hodnotou pH vzrastá výskyt formy  $\text{NH}_3$  a pri pH asi 9,3 je pomer molárnych koncentrácií obidvoch foriem približne 1:1.

Čisté povrchové a podzemné vody obsahujú amoniak obyčajne do  $0,1 \text{ mg.dm}^{-3}$ . Odpadové splaškové vody ho obsahujú väčšie množstvo, až desiatky  $\text{mg.dm}^{-3}$ . Priemyselné odpadové vody a vody z poľnohospodárskej výroby obsahujú až stovky  $\text{mg.dm}^{-3}$  amoniakálneho dusíka. Amoniakálny dusík patrí medzi toxické, vo vodách nežiaduce zložky.

*Dusitany* sa vyskytujú v podzemných a povrchových vodách v malých koncentráciách, ktoré sú vo vodách hygienicky bezvýznamné.

*Dusičnany* sa vyskytujú takmer vo všetkých vodách. V čistých podzemných a povrchových vodách sa vyskytujú v jednotkách  $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Dusičnany indikujú vo vodách staršie znečistenie, pretože sú konečným produktom rozkladu organickej dusíkatej hmoty. Dusičnany sú v pitnej vode pre dospelého človeka málo škodlivé. Ich škodlivý účinok môže byť nepriamy tým, že sa redukujú na toxickéjšie dusitany [3].

*Kyanidy* sa dostávajú do prírodných vôd iba odpadovými vodami. Tradičné zdroje kyanidových odpadových vôd sú koksárne, galvanizovne, flotačné úpravné a niektoré organické syntézy [7]. Jednoduché kyanidy sú veľmi toxické. Ich najvyššia prípustná koncentrácia v pitnej vode je  $0,1 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ .

### 3.1.4 Uhličitaný, halogenidy a rádioaktívne látky

*Oxid uhličitý* a jeho iónové formy sú pravidelnou zložkou prírodných vôd. Do vody sa dostávajú z viacerých zdrojov. Oxid uhličitý biochemického pôvodu vzniká biologickým rozkladom organických látok vo vode. Ďalším zdrojom môže byť termický rozklad uhličitanových hornín alebo chemický rozklad týchto hornín kyslými vodami, ktoré vznikajú pri oxidácii rúd s obsahom síry. Zdrojom iónových foriem sú hlavne uhličitanové horniny.

*Hydrogénuhličitaný*  $\text{HCO}_3^-$  sú pravidelnou súčasťou prírodných vôd. Ich obsah je rozdielny. Atmosférické vody ho obsahujú jednotky  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , povrchové a podzemné vody desiatky až stovky  $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  [3]. Najväčšie množstvá  $\text{HCO}_3^-$  obsahujú niektoré minerálne vody, až tisícky  $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ .

*Uhličitaný*  $\text{CO}_3^{2-}$  sa v bežných prírodných vodách nevyskytujú. Pod názvom voľný  $\text{CO}_2$  sa rozumie rozpustený  $\text{CO}_2$  vo vode. Je označovaný symbolom  $\text{CO}_2(\text{aq})$ . Necelé 1% reaguje s vodou za vzniku  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .

Voľný  $\text{CO}_2$  je dokázateľný takmer vo všetkých prírodných vodách, ktorých hodnota pH neprevyšuje 8,3 [1]. V tečúcich povrchových vodách sa  $\text{CO}_2$  vyskytuje v jednotkách  $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Podzemné vody obsahujú niekoľko desiatok  $\text{mg}/\text{dm}^3$  voľného  $\text{CO}_2$ . Minerálne vody ho obsahujú nad  $1000 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Obsah  $\text{CO}_2$  vo vodách nie je hygienicky významný.

*Fluór* je prítomný v malých množstvách vo viacerých mineráloch. Z nich sa dostáva do vôd vylúhovaním. Umelým zdrojom fluóru sú niektoré priemyselné odpadové vody

zo sklárskeho a chemického priemyslu. Väčšina povrchových vôd obsahuje veľmi malé koncentrácie fluóru, stotiny až desatiny  $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . V podzemných vodách jeho obsah býva do  $0,2 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Fluór sa vo vodách nachádza prevažne ako anión  $\text{F}^-$ . Do úvahy prichádzajú hexafluorokremitany  $[\text{SiF}_6]^{2-}$ , komplexné zlúčeniny s Fe(III) a Al(III). Fluór má vo vodách význam zo stomatologického hľadiska.

*Chlór* sa vyskytuje vo všetkých prírodných vodách. Obsahujú ho rôzne horniny, z ktorých sa po zvetrávaní dostane do vody. Je v nej prítomný prevažne ako anión  $\text{Cl}^-$ . Chloridy sú najrozšírenejšou formou výskytu chlóru vo vodách.

Do úvahy prichádzajú aj chlorokomplexy  $[\text{Fe}^{\text{II}}\text{Cl}]^+$ ,  $[\text{Fe}^{\text{III}}\text{Cl}_2]^+$ ,  $[\text{Hg}^{\text{II}}\text{Cl}_3]^-$ ,  $[\text{Hg}^{\text{II}}\text{Cl}_4]^{2-}$ .

Z ďalších foriem sú vo vode prítomné anión  $\text{ClO}^-$ , elementárny chlór a  $\text{HClO}$ . Umelým zdrojom chlóru sú niektoré priemyselné vody. Zo zdravotného hľadiska sú chloridy vo vode neškodné. Ich obsah v pitnej vode je limitovaný na  $100 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ .

*Bróm a jód* sú vo vodách prítomné prevažne ako anióny  $\text{Br}^-$  a  $\text{I}^-$ . Jodidov je spravidla menej ako bromidov [1]. V atmosférických vodách sú pôvodu prírodného (prímorské oblasti) alebo umelého (priemyselné exhaláty). V podzemných a povrchových vodách sú prítomné obvykle len v stopových koncentráciách. Vyššie koncentrácie týchto prvkov sú nachádzané v minerálnej a morskej vode.

Všetky prírodné vody sú slabo rádioaktívne. Rádioaktivitu spôsobujú látky prírodného a umelého pôvodu. Prírodnú rádioaktivitu spôsobujú rádionuklidy  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{40}\text{K}$ . Rádioaktivitu podzemných vôd spôsobuje zvyčajne rádionuklid  $^{40}\text{K}$ .

Umelú rádioaktivitu spôsobujú rádionuklidy vznikajúce pri jadrových explóziách. Sú to najmä  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{132}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ .

Väčšina prírodných rádionuklidov sú  $\alpha, \gamma$  žiariče. Umelé rádionuklidy sú  $\beta$  alebo  $\gamma^{ab}$ . Plynný radón je hlavným zdrojom prirodzenej rádioaktivity minerálnych vôd.

## 5.2 Organické látky vo vodách

*Organické látky* nachádzame vo vodách povrchových aj podzemných. Ich pôvod je veľmi rôznorodý. Organické znečistenie prírodných vôd spôsobujú výluhy z pôdy a sedimentov, ako aj produkty činnosti organizmov žijúcich vo vode. Príčinou umelého organického znečistenia je ľudský faktor a jeho činnosti. Organické látky môžeme posudzovať z viacerých hľadísk. Z biologického hľadiska ich rozdeľujeme na biologicky rozložiteľné a biochemicky odolné. Osobitnú skupinu tvoria organické látky, ktoré dlho

zotrúvajú v prostredí a sú biologicky nerozložiteľné. Tieto sa môžu dostať až do pitnej vody.

V pitnej vode sa organické látky nachádzajú rádovo v desatinách až jednotkách  $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ .

V povrchových vodách je ich výskyt desaťnásobne vyšší. V silne znečistených odpadových vodách sa výskyt organických látok udáva v  $\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Predpokladá sa, že v povrchových vodách je niekoľko sto až tisíc organických zlúčenín. Organické látky môžu významne ovplyvňovať vlastnosti a kvalitu podzemných vôd [3].

Niektoré z nich sú toxické, iné sú karcinogénne alebo môžu mať mutagénne účinky. Netoxické organické zlúčeniny môžu negatívne ovplyvňovať kyslíkovú bilanciu povrchových vôd alebo ich senzorické vlastnosti.

### 3.2.1 Fenoly

*Fenolové zlúčeniny* sa v prírode vyskytujú ako dôležité biologické látky. Veľké množstvo z nich vzniká sekundárnym metabolizmom. Metabolický intermediát kyselina p-hydroxybenzoová podlieha oxidačnej dekarboxylácii, čím vzniká 1,4-dihydroxybenzén, ktorý sa mení na arbutín.

Ďalším príkladom fenolov sú flavóny a flavonoly.

Vo vodách môžu byť prírodného alebo syntetického pôvodu. Fenoly prírodného pôvodu sú jednoduché rastlinné triesloviny, ligníny a humínové látky. Fenoly syntetického pôvodu sa do povrchových vôd môžu dostať odpadovými vodami z petrochemického a farbiarskeho priemyslu alebo z tepelného spracovania uhlia. Veľký význam majú fenoly vo vodách upravovaných na pitnú vodu. Ich maximálny obsah v pitnej vode je stanovený na hodnotu  $0,05 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  [3].

Fenoly z chemického hľadiska delíme na hydrolyzovateľné a kondenzované. Hydrolyzovateľné fenoly majú štruktúru polyesterov s dvomi základnými zložkami (fenolkarboxylová kyselina a sacharid). Kondenzované triesloviny patria z chemického hľadiska do skupiny flavonoidov.

#### *Fenoly syntetického pôvodu*

K znečisteniu prírodných vôd fenolmi syntetického pôvodu prispievajú odpadové vody z tepelného spracovania uhlia, z výroby pesticídov, z rafinérií ropy a z farbiarskeho priemyslu. Nitrofenoly sú toxickou skupinou fenolových zlúčenín v odpadových vodách. Najškodlivejší je 2,4-dinitrofenol, ktorý sa používa vo

farbiarskom priemysle. Limitujúca hranica pre obsah fenolov v pitnej vode je  $0,05 \text{ mg.dm}^{-3}$ .

#### *Jednoduché rastlinné fenoly*

Sú to monomérne monohydroxy - až polyhydroxyfenolové zlúčeniny (obr. 8). Do vôd sa dostávajú hlavne humifikačným procesom pri vylúhovaní humusu vodou.

#### *Rastlinné triesloviny*

Sú to fenolové zlúčeniny, ktoré sú rozpustné vo vode. Do vôd sa dostávajú prirodzenou cestou alebo umelou, z odpadových vôd z garbiarskeho a drevárskeho priemyslu. Triesloviny sú z hľadiska chemickej štruktúry polyhydroxyfenoly. Najdôležitejšími funkčnými skupinami sú fenolové hydroxyly [1].

### 3.2.2 Ligníny a humínové látky

*Lignín* je po celulóze jednou zo základných zložiek rastlinných tiel. Vo vyšších rastlinách predstavuje 20-30% z celkovej hmoty dreva [6].

Ligníny sú fenolové zlúčeniny, ktoré sú nerozpustné vo vode. Sú to vysokopolymérne látky s veľkým obsahom metoxy skupín [1].

Na prítomnosť lignínu a na jeho podiel na znečisťovaní vôd sa usudzuje zo všeobecne stanovenej oxidovateľnosti. Častejšie sa problematika vplyvu lignínu na povrchové vody spája s problematikou vplyvu odpadových vôd z výroby celulózy na čistotu povrchových vôd [6]. Lignínsulfónany sú biologicky ťažko rozložiteľnou súčasťou znečistenia odpadových vôd z výroby sulfitovej celulózy. V povrchových vodách sa za 30 dní výskumu rozložilo len 4-15% lignínu a po 20 týždňoch 30-70% lignínu [1]. Je viac ako pravdepodobné, že aktivita dna a premiešavanie spôsobené turbulenciou toku urýchlia proces likvidácie lignínov samočistením [6]. Pri odstraňovaní lignínov samočistením v rieke okrem biochemickej oxidácie hrajú dôležitú úlohu aj procesy fyzikálno - chemické a mechanické.

*Humínové látky* sú vysokomolekulárne cyklické zlúčeniny, ktoré sú zložené z atómov uhlíka, kyslíka, vodíka a dusíka. Vznikajú rozkladom rastlinnej hmoty počas humifikačných procesov. Najväčšie množstvo humínových látok obsahuje rašelina (40-50%) [3].

Humínové látky sú zmesou zlúčenín rozpustných aj nerozpustných vo vode. Vyskytujú sa v mnohých povrchových vodách, kde sa vylúhujú z pôd a rašelin. V našich

povrchových vodách je obsah humínových látok vysoký. Z hygienického hľadiska sú tieto látky nezávadné a ich limitujúci obsah v pitnej vode je  $2,5 \text{ mg.dm}^{-3}$ .

### 3.2.3 Pesticídy

*Pesticídy* sú látky, ktorými sa bojuje proti rastlinným a živočíšnym škodcom. Podľa biologického účinku sa delia na insekticídy, fungicídy, herbicídy a rodenticídy.

Z chemického hľadiska sú pesticídy anorganické alebo organické zlúčeniny. Organické pesticídy prevažujú nad anorganickými a delia sa na chlórované a organofosfátové. Chemická štruktúra pesticídov je veľmi rôznorodá. K hlavným zdrojom znečistenia ekosystémov patria pesticídy používané v poľnohospodárstve, vodnom a lesnom hospodárstve, verejnom zdravotníctve. Dôležitými zdrojmi priameho znečistenia vodných tokov sú odpady z priemyselnej výroby pesticídov a odpady z domácností. Najškodlivejšie sú letecké postreky, pri ktorých dochádza k úletu 50-75% pesticídov mimo určenej oblasti [1].

Vo vodách sa len nepatrná časť pesticídov nachádza v pravom roztoku vzhľadom na ich malú rozpustnosť. V tabuľke 9 uvádzam príklady pesticídov a ich rozpustnosť vo vode [1].

Najväčšie množstvo pesticídov sa koncentruje v sedimentoch na dne riek, jazier a oceánov. Vo vode je pre živé organizmy nebezpečná aj nízka koncentrácia pesticídov, nakoľko dochádza k ich kumulácii.

DDT a iné chlórované insekticídy zasahujú do metabolizmu steroidných hormónov a ovplyvňujú rozmnožovaciu schopnosť populácií. Tento problém sa týka aj samotného človeka a biologické dôsledky nie je možné predvídať. Popri biologických účinkoch pesticídy pôsobia rušivo najmä na samočistiacu schopnosť vody. Zhoršujú jej senzorické vlastnosti a ovplyvňujú chod biologických čistiarní odpadových vôd. Je tu reálna možnosť znehodnotenia podzemných vôd pesticídmi a ich rezíduami. Svetová zdravotnícka organizácia stanovila prípustné denné dávky pesticídov. Z ich hodnôt je možné zhruba odvodiť prípustné koncentrácie pesticídov v pitnej vode.

### 3.2.4 Karcinogénne látky

Riešenie problematiky výskytu karcinogénnych látok v hydrosfére je zvlášť naliehavé. Krivka vzrastu rakovinových ochorení má vzostupnú tendenciu u človeka bez rozdielu veku. Karcinogénne látky vyskytujúce sa v životnom prostredí sú hlavne pesticídy, detergenty, ťažké kovy a ich organické komplexy, nitrozoamíny,

nitrozlúčeniny, halogénderiváty, niektoré aromatické a alifatické amíny. Vzhľadom na veľkú karcinogénnu aktivitu sú pre človeka najnebezpečnejšie polyaromatické uhľovodíky, polycyklické karbonylové zlúčeniny, nitroheteroaromáty a nitroaromáty. Uvedené látky majú prokarcinogénny charakter a metabolicky sa aktivujú na priame karcinogény.

Karcinogénne polycyklické uhľovodíky sú vo vode rozpustené alebo adsorbované na rôznych časticiach. Z dôvodu znečistenia riečnych tokov týmito látkami a ich citlivosti na svetlo a kyslík sa predpokladá ich rýchly prechod zo štádia prokarcinogénov na priame karcinogény. Uvedenú skutočnosť ilustruje schéma metabolickej aktivácie benzo(a)pyrénu:

Človek je ohrozený karcinogénnymi látkami z viacerých zdrojov. Malo by byť v záujme nás všetkých chrániť hydrosféru pred znečisťovaním karcinogénnymi látkami, a tak predchádzať možnosti vzniku rakovinových ochorení.

### 3.2.5 Detergenty a tenzidy

Veľkou skupinou organických látok, ktoré znečisťujú hydrosféru sú detergenty a tenzidy.

*Detergenty* sú prípravky určené na čistenie a pranie. Sú to spotrebné výrobky, ktoré obsahujú tenzidy, určité množstvo aktivačných prísad (polyfosforečnany) a niektoré špeciálne prísady (bielidlá, parfumy).

*Tenzidy* sú povrchovo aktívne látky. Povrchová aktivita je daná stavbou molekuly s hydrofilnými a hydrofóbnymi skupinami. Aniónaktívne tenzidy (mydlá) tvoria najväčšiu časť výroby tenzidov. Kationaktívne tenzidy majú dobré dezinfekčné vlastnosti a slúžia na výrobu dezinfekčných prostriedkov. Vo vodách sú škodlivé a pôsobia toxicky na vodné organizmy. V súčasnosti sa začína rozširovať výroba neiónových tenzidov.

Prítomnosť tenzidov vo vodách znižuje kyslíkovú bilanciu vodných tokov. Limitujúca hodnota týchto biologicky ťažko rozložiteľných látok v pitnej vode je  $0,2 \text{ mg.dm}^{-3}$ . Vo vodárenských tokoch je to  $0,1 \text{ mg.dm}^{-3}$  aniónaktívnych a  $0,5 \text{ mg.dm}^{-3}$  neiónových tenzidov. Základnou požiadavkou v celosvetovom meradle je prechod na výrobu tenzidov, ktoré sú biologicky ľahko rozložiteľné.

### 3.2.6 Ropa a ropné látky



Povrchové a podzemné vody sú často znečisťované ropou a ropnými látkami. Zdrojom tohto znečistenia je petrochemický priemysel a odpadové vody zo strojárského a hutníckeho priemyslu. Zdroje znečistenia hydrosféry ropnými látkami začínajú pri ťažbe ropy a pokračujú pri jej transporte. Pri pomerne častých kalamitách cisternových lodí sa do morí dostáva 5- 10 miliónov ton ropy. Ropa je zložitá zmes uhl'ovodíkov. N-alkány sú prítomné vo všetkých podieloch ropy. Z ďalších derivátov sú to cykloalkány, izoalkány, aromatické, kondenzované a polykondenzované uhl'ovodíky. V rope sú prítomné aj sírne látky, sulfán , cyklické a acyklické sulfidy, tiofény. Z dusíkatých derivátov sú prítomné pyridíny a chinolíny. V rope sa tiež vyskytujú niektoré olejorozpustné kovové zlúčeniny. Pestré zloženie ropy spôsobuje jej značné potenciálne ovplyvnenie životného prostredia [1].

Olejový film na hladine povrchových vôd znižuje rýchlosť prestupu kyslíka z atmosféry, čo zhoršuje podmienky samočistenia vôd. Ropné látky v množstve 0,01 mg.dm<sup>-3</sup> ovplyvňujú sensorické vlastnosti vody a chuť rybieho mäsa. Pre vodné organizmy sa pripúšťa vyššia koncentrácia, než je prahová koncentrácia pachu. Limitujúca koncentrácia ropy v pitnej vode je 0,01 mg.dm<sup>-3</sup>.

#### 4.3 Mikroorganizmy vo vodách

Voda, ktorá tvorí 99,5% biosféry je pravidelným domovom mikroorganizmov. Tieto možno zadeliť do dvoch základných skupín:

- typické (akvatické) mikroorganizmy
- mikroorganizmy, ktorých prítomnosť vo vode je sekundárna.

Typickým predstaviteľom prvej skupiny je *Thiovulum sp.*, ktorý sa podieľa na biologickom obehu síry. Známym predstaviteľom druhej kategórie je *Escherichia coli*. Do vôd sa dostáva s fekálnym znečistením. Do tejto kategórie patria tiež suchozemské (terestrické) mikroorganizmy. Dažd'ová voda ich zmýva z povrchu rastlín a z pôdy. Takto sa do vody dostávajú druhotne.

Hlavnými predstaviteľmi vodných mikroorganizmov sú riasy, ktoré fotosyntézou produkujú väčšinu organických látok a kyslík vo vode. Z heterotrofných mikroorganizmov sa vo vodách vyskytujú saprofyty, v znečistených vodách aj parazity a patogénne mikroorganizmy.

Vo vodách nachádzame všetky typy mikroorganizmov: baktérie, vírusy, cyanobaktérie, riasy, huby a prvoky. Vírusy a viroidy sú nebunkové organizmy. Baktérie a cyanobaktérie sú prokaryoty. Eukaryotické sú huby, riasy a prvoky.

## Vírusy

Vo vodách sú prítomné *vírusy*, ktoré sú patogénne pre ľudí, rastliny a zvieratá, ako aj vírusy makroorganizmov (bakteriofágy). Najčastejšie sú vírusmi kontaminované odpadové vody. Najznámejšie skupiny vírusov sú enterovírusy, adenovírusy, reovírusy a vírusy hepatitídy.

*Enterovírusy* kontaminujú vodu najčastejšie. Vo vode sa ich prežitie predlžuje so znižujúcou sa teplotou a so zvyšovaním stupňa bakteriálneho a organického znečistenia. Kontaminácia povrchových vôd sa predpokladá v prípade, že do nich priteká odpadová voda.

*Adenovírusy* sa pravidelne vyskytujú v odpadových vodách. Ich výskyt je menej častý v porovnaní s enterovírusmi.

*Reovírusy* sú pravidelnými kontaminantmi odpadových vôd. Boli nájdené aj v riečnej vode. Všetky formy vírusovej hepatitídy (A,B,C) sú na svete veľmi rozšírené. Zdrojom ochorenia a epidémií je kontaminovaná voda.

## Baktérie

Indikátormi fekálneho znečistenia vôd sú koliformné baktérie, klostrídiá a enterokoky.

V povrchových tečúcich vodách výskyt baktérií závisí od množstva fekálnych odpadových vôd. V povrchových stojatých vodách v porovnaní s tečúcimi je pomerne málo týchto baktérií. V odpadových vodách je ich výskyt vysoký [7].

Z enterokokov sú významné druhy *Streptococcus faecalis* a *Streptococcus faecium*. Ich prítomnosť vo vode je indikáciou fekálneho znečistenia. Vyskytujú sa vo všetkých znečistených povrchových vodách. Výskyt klostrídií v porovnaní s výskytom koliformných baktérií je niekoľkonásobne nižší. Baktérie, ktoré sú najčastejšie prítomné vo fekálne znečistených vodách patria do radu *Salmonella*, *Shigella*, *Leptospira*, *Escherichia*, *Francisella*, *Vibrio* a *Mycobacterium* [1]. Baktérie nebezpečné pre človeka sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1. Baktérie, ktoré sú prenášané kontaminovanou vodou

Organizmus	Choroba	Postihnuté miesto v organizme
* <i>Salmonella typhi</i>	týfus	Črevný trakt
* <i>Salmonella enteritidis</i>	gastroenteritída	Gastrointestinálny trakt
* <i>Shigella sp.</i>	dyzentéria	Gastrointestinálny trakt
* <i>Vibrio cholerae</i>	cholera	Intestinálny trakt
<i>Escherichia coli</i>	gastroenteritída	Gastrointestinálny trakt
<i>Francisella tularensis</i>	tularémia	Dýchací aparát Lymfatické uzliny Gastrointestinálny trakt
<i>Leptospira icterohaemorrhagiae</i>	leptospiroza	generalizovaná
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	tuberkulóza	Pľúca a iné orgány
<i>Legionella pneumophila</i>	Legionárska choroba	Pľúca
<i>Campylobacter fetus</i>	gastroenteritída	Gastrointestinálny trakt

### *Ďalšie vodné baktérie*

Vo vodách sa vyskytujú baktérie, ktoré sa účinne uplatňujú v biogeochemickom obehu prvkov a energie. Mnohé z nich sú málo prebádané.

*Cyanobaktérie (sinice)* sú v prírode rozšírené najmä vo vodách. Žijú aj na miestach, ktoré sú pre iné organizmy neprijateľné (ľadovce a horúce pramene). Väčšina týchto organizmov žije v sladkých vodách. Malá časť sa vyskytuje v moriach. Mnoho cyanobaktérií žije v planktóne pri povrchu jazier a vodných nádrží a tvoria tzv. vodné kvety. Niektoré cyanobaktérie sú indikátormi kvality vody. Určité druhy cyanobaktérií sú škodlivé tvorbou toxínov, čo je nebezpečné najmä vo vodách určených na rekreačné účely.

### *Riasy*

*Riasy* sú hlavnými producentmi organických látok vo vodnom prostredí. Fotosyntéza, ktorú uskutočňujú v chloroplastoch je spojená s uvoľňovaním molekulového kyslíka. Riasy vo vodnom prostredí žijú voľne alebo v symbióze s bezstavovcami, najmä s koralmi a hubkami.

Jednobunkové Chromophyta patria medzi najrozšírenejšie morské riasy. Rhodophyta sú makroskopické organizmy morských pobrežných vôd. Makroskopické červené riasy žijú aj v obyčajných vodách. Vlákňité zelené riasy patria do rodu *Ulothrix*.

Pohyblivé riasy s bičíkom patria do rodu *Chlamydomonas* alebo *Euglena*. Známe sú nepohyblivé rody *Chlorella* a *Scenedesmus*. Sú to zástupcovia rias, ktorí žijú

v obyčajných vodách. V plytkej vode s dostatkom svetla je bohatá flóra rias. Základnou podmienkou ich života je udržanie sa na povrchu vôd, ich nárast je viditeľný voľným okom [1].

### *Huby*

Huby sú heterotrofné eukaryonty. Typické akvatické huby (obr. 13) patria do skupiny nižších húb medzi *Mastigomycotina*, *Ascomycotina* a *Deuteromycotina*. Najznámejšie sú rady *Chytridiales*, *Blastocladales*, *Saprolegniales*. Akvatické huby žijú najmä v obyčajných vodách a v menšej miere v moriach. *Chytridiales* sú saprofyty alebo parazity, ktoré žijú v tečúcich vodách s dostatkom kyslíka.

Na dne stojatých plytších vôd, kde je menej kyslíka rastú niektoré *Blastocladales*, ktoré sú takmer anaeróbne. Väčšina vodných druhov čeľade *Saprolegnaceae* žije v znečistených vodách, ktoré obsahujú organické priemyselné odpady.

### *Mikroorganizmy ako indikátory kvality vody*

Výskyt mikroorganizmov vo vodách je biologickou indikáciou ich kvality. Táto sa dá prakticky využiť na hodnotenie pitnej, úžitkovej a odpadovej vody. Mikroorganizmy svojou prítomnosťou indikujú stupeň čistoty alebo znečistenia vôd. Znečistenie organického pôvodu spôsobujú bielkoviny a polysacharidy. Z anorganických látok sa na znečisťovaní podieľajú najmä soli vápnika, železa a mangánu.

## **Pokusy k téme voda**

### **Vlastnosti vody**

#### **Pokus 1 Morská voda je ťažšia**

**Postup:** Do dvoch kadičiek nalejeme asi do polovice rovnaké množstvo vody. V jednej kadičke pripravíme nasýtený roztok kuchynskej soli a zafarbíme ho potravinárskou farbou. Zafarbenú slanú vodu opatrne po stene (pomocou sklenenej tyčinky) nalievame do kadičky s čistou vodou. Keďže má slaná voda väčšiu hustotu, oddelí sa ako dolná farebná vrstva.

## **Pokus 2 Pri ktorej teplote má voda najväčšiu hustotu?**

**Postup:** Do kadičky s vodou dáme kúsok ľadu. Dva teplomery upevníme tak, aby jeden meral teplotu na hladine a druhý pri dne kadičky. Spozorujeme, že voda ochladená ľadom klesá ku dnu. Trvá to dovtedy, až voda pri dne dosiahne teplotu asi 4 °C. Túto teplotu bude mať voda dlhšie, pretože chladnejšia voda zostáva v hornej časti pri ľade.

## **Pokus 3 Voda pri zmrznutí zväčší svoj objem**

**Postup:** Do malej fľaše z plastu alebo hrubého skla nalejeme vodu po okraj, voľne ju prikryjeme alobalom a vložíme do mrazničky. Voda zamrzne a vytláča fóliu.

## **Pokus 4 Zdvihneš kocku ľadu?**

**Postup:** Pomocou nitky máme zdvihnúť kocku ľadu bez toho, aby sme nit' o ľad priviazali. Nitku namočíme do vody a položíme ju na kocku ľadu. Pozdĺž nej nasypeme na ľad soľ, počkáme chvíľu a dvihneme. Soľ premenila časť ľadu na vodu, ktorá ochladením opäť stuhla.

## **Pokus 5 Koľko kvapiek?**

**Postup:** Na stôl položíme vyčistenú a dôkladne vysušenú kovovú mincu a postupne na ňu prikvapkáme vodu. Sledujeme tvar kvapky vytvárajúcej sa na minci. Počítame, koľko kvapiek môžeme pridať, aby voda nepretiekla cez jej okraj na stôl. Pokus zopakujeme tak, že mincu po vyčistení prstami pretrieme tekutým saponátom a znovu počítame kvapky.

## **Pokus 6 Potopí sa?**

**Postup:** Sponu na spisy dôkladne osušíme a pomocou filtračného papiera ju opatrne položíme na hladinu vody (papier necháme klesnúť). Spona sa nepotopí, zostane plávať na hladine, pretože voda má vysoké povrchové napätie. Pokus môžeme zopakovať s ihlou, žiletkou alebo drobnou mincou (10 hal.).

## **Pokus 7 Plávajúce korenie**

**Postup:** Veľký tanier alebo pohár naplníme studenou vodou. Povrch vody rovnomerne posypeme práškovým korením a pozorujeme čo sa s ním deje. Na povrch vody pri okraji taniera opatrne kvapneme tekutý saponát. Saponát znižuje povrchové

napätie a vyššie povrchové napätie na opačnej strane zmršťuje povrch a sťahuje korenie so sebou.

#### **Pokus 8 Točiaca sa špirálka**

**Postup:** Z tenkého medeného drôtika si zhotovíme plochú špirálku z niekoľkými závitmi. Mierne ju potrieme olejom a opatrne položíme na hladinu vody. Vplyvom povrchového napätia a svojho **nezmáčanlivého povrchu** sa špirálka nepotopí. Potom slamkou opatrne nanesieme do stredu špirálky jednu kvapku mydlového roztoku. Špirálka sa začne otáčať. Mydlový roztok sa rozptýli po povrchu vody v jej priestore. A len čo sa dostane na jej koniec, uniká na voľnú hladinu a pritom vyvíja slabú relatívnu silu, ktorá roztáča špirálku. Keď sa špirálka zastaví, opäť kvapneme mydlový roztok do jej stredu a otáčanie sa obnoví.

#### **Pokus 9 Vedio voda elektrický prúd?**

**Postup:** Zostavíme jednoduchý elektrický obvod, ku ktorému pripojíme elektródy. Elektródy vložíme do kadičky s prevarenou vodou. Pozorujeme či obvodom prechádza elektrický prúd. Pokus zopakujeme s minerálnou a pitnou vodou. Prevarená destilovaná voda nevedie elektrický prúd, lebo neobsahuje žiadne ióny.

#### **Pokus 10 Veselé kvety**

**Postup:** Vodu v dvoch pohároch zafarbíme rôznymi potravinárskymi farbami. Vložíme do nich dva čerstvé biele kvety (karafiáty) so skrátеныmi stonkami a necháme ich postáť v teplej izbe. Po niekoľkých hodinách začnú kvety meniť farbu. Nasávajú zafarbenú vodu, ktorá stúpa kapilármi stonky až do okvetných lístkov.

#### **Pokus 11 Voda ako produkt horenia**

**Postup:** Nad plameňom plynového kahana držíme suchú kadičku, ktorá sa zarosí bezfarebnou kvapalinou. Kvapaliny je však tak málo, že nestačí na stanovenie teploty varu a hustoty. Alternatívou uvedeného pokusu môže byť horenie plynového kahana pod skleneným lievikom. Splodiny horenia prechádzajú cez dobre schladenú skúmavku pripojenú k vodnej výveve a za krátky čas skondenzuje väčšie množstvo kvapaliny. Počas horenia zemného plynu vzniká voda.

#### **Pokus 12 Dôkaz vody**

Aj malé množstvo vody môžeme dokázať jednoduchou a rýchlou skúškou.

**Postup:** Filtračný papier napustený roztokom chloridu kobaltnatého je po dôkladnom vysušení modrý. Kvapneme naň malé množstvo destilovanej vody. Pozorujeme vznik ružového sfarbenia, ktoré dokazuje prítomnosť vody. Bezvodý chlorid kobaltnatý  $\text{CoCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$  je jasnoružový.

### **Pokus 13 Voda ako zlúčenina kyslíka**

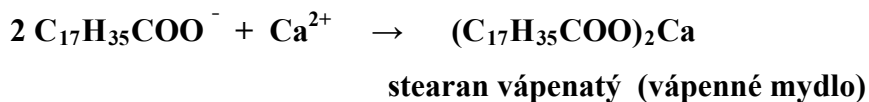
Voda sa po zahriatí vyparuje a vodná para po ochladení skondenzuje. Teplo plynového kahana nestačí na rozklad vody. Na to potrebujeme látku, ktorá má mimoriadne veľkú schopnosť zlučovať sa s kyslíkom obsiahnutým vo vode.

**Postup:** Malé množstvo vody necháme vrieť vo varnej banke s dlhým hrdlom dovtedy, kým sa z banky nevypudí vzduch. Zapálime prúžok horčička a v chemických kliešťoch ho podržíme v banke s vodnou parou (ochranné okuliare, práca v digestóriu). Pre pozorovanie urobíme pokus s horiacou zápalkou. Keďže v pokuse nebol prítomný kyslík zo vzduchu, nemohol horčičik získať kyslík potrebný na horenie oba z vody. Voda je zlúčenina kyslíka.

## **Tvrdosť vody**

### **Pokus 1 Pôsobenie mydla v tvrdej vode**

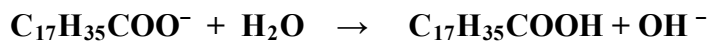
**Postup:** Do prvej skúmavky dáme  $3 \text{ cm}^3$  destilovanej vody, do druhej rovnaké množstvo roztoku vápenatej soli. Pridáme nastrúhané mydlo a dobre pretrepeme. Porovnáme vzniknutý zákal a penu. V tvrdej vode mydlo nepení, vzniká zrazenina a je teda menej účinné. Znamená to, že vápenané ióny tvrdej vody reagujú s aniónmi mastných kyselín mydla za vzniku nerozpustnej zrazeniny „vápenného mydla“. Chemickú podstatu znázorňuje rovnica:



Mydlo je napriek nevýhodám „stálicou“ na poli čistenia a prania. Vyplýva to predovšetkým z jeho účinnosti v mäkkej vode, dostupnosti a obnoviteľnosti zdrojov východiskových surovín pre výrobu, zdravotnej nezáväznosti a nezanedbateľná je aj jeho mikrobiologická degradovateľnosť v prírode.

## **Pokus 2 Zásaditá reakcia mydla**

**Postup:** Mydlo rozpustíme v etanole a pridáme kvapku fenolftaleínu. Pozorujeme a pomaly pridávame destilovanú vodu. Roztok mydla v alkohole reaguje neutrálne. Po pridaní vody sa fenolftaleín zafarbí na červeno. Znamená to, že vodný roztok mydla reaguje zásadito. Vznikajú hydroxidové anióny  $\text{OH}^-$ , ktoré výrazne podporujú čistiaci účinok mydla, ale nepriaznivo pôsobia na pokožku a vlákna tkanín.



## **Pokus 3 Pôsobenie vody a mydla na tuk a tuhé nečistoty**

**Postup:**

a) Do dvoch kadičiek dáme vodu a mydlový roztok (asi do polovice). Pridáme olej (môže byť zafarbený) a prudko pretrepeme. Necháme ustáť a obe vzorky porovnáme. V prvom prípade sa olej usadí na povrchu vody, v druhom prípade mydlo spôsobí vznik emulzie, ktorá je stála niekoľko dní.

b) Práškové drevené uhlie pretrepeme s vodou a mydlovým roztokom. Po niekoľkých minútach suspenzie porovnáme, prefiltrujeme a filtráty opäť porovnáme. Tuhé nečistoty sa podobne ako kvapôčky oleja v predchádzajúcom pokuse obalia aniónmi mydla. Navzájom sa odpudzujú, lebo majú mydlový obal so súhlasným nábojom. Takto sa nemôžu usadzovať na vláknach tkanín a zostávajú rozptýlené v mydlovom roztoku. Mydlový roztok má okrem čistiacich aj emulgačné a dispergačné účinky.

## **Analýza vody**

### **Pokus 1 Zistenie zákalu**

**Postup:** Odoberieme vzorky vody z rôznych zdrojov. Vodu pozorujeme vo fľašiach z bezfarebného skla oproti čiernemu a bielemu podkladu. Opíšeme zákal vzoriek. Je vjodné stanoviť ho hneď po odbere. Zákal vo vode spôsobujú koloidy anorganického a organického pôvodu.

### **Pokus 2 Zistenie zápachu**

**Postup:** Opíšeme a vyhodnotíme zápach vzoriek odobratých v predchádzajúcom pokuse. Druh zápachu pitnej vody stanovujeme čuchom pri teplotách  $20^\circ\text{C}$  a  $60^\circ\text{C}$ . Označujem



ho slovne (hnilobný, plesňový, zatuchnutý, fenolový, chlórový, uhorkový atď.). Vyhodnocuje sa šesťstupňovou klasifikáciou a slovným opisom.

(0) žiaden zápach	(3) znateľný zápach
(1) veľmi slabý zápach	(4) zreteľný zápach
(2) slabý zápach	(5) veľmi silný zápach

### **Pokus 3 Stanovenie pH**

Hodnota pH je dôležitou veličinou na posudzovanie kyslosti alebo zásaditosti vody a je mierou obsahu látok, ktoré ju spôsobujú.

**Postup:** Stanovíme pH vzoriek odobratých v pokuse č.1 použitím univerzálneho indikátora. Do analyzovanej vody pridáme indikátor a vzniknuté sfarbenie porovnáme s farebnou stupnicou pH. Pitná voda musí mať hodnotu pH 6,5 – 7,5. Môžeme ju porovnať s hodnotou pH snehu alebo dažďa v meste. Pokus môžeme zopakovať použitím výluhu červenej kapusty ako acidobázického indikátora.

### **Pokus 4 Ako vzniká kyslý dážď?**

V ovzduší sa v súčasnej dobe nachádza množstvo znečisťujúcich látok. Medzi ne patria oxid siričitý ( $\text{SO}_2$ ) a oxidy dusíka, ktoré reagujú so vzdušnou vlhkosťou za vzniku kyselín a tie dopadajú na zem spolu so zrážkami ako tzv. kyslý dážď, ktorý škodlivo pôsobí nielen na organizmy, ale aj na stavby a priemyselné zariadenia.

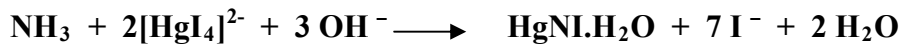
**Postup:** Do skúmavky nalejeme vodu a kvapneme tri kvapky indikátora. Skúmavku uzavrieme zátkou a dobre pretrepeme. Porovnáme vzniknuté zafarbenie s farebnou stupnicou pH. Tento roztok vylejeme do uzatvárateľného pohára (napr. pohár od detskej výživy). Zapálime spolu dve zápalky a necháme ich horieť tak, aby dym šiel do pohára. Potom pohár rýchlo uzavrieme a dobre pretrepeme. Prelejeme do skúmavky a opäť zapíšeme zistenú farbu a hodnotu pH.

### **Pokus 5 Dôkaz amoniaku a amónnych solí**

Amoniakálny dusík sa nachádza takmer vo všetkých typoch vôd. Amoniak patrí medzi ukazovatele čistoty vôd. Pitná voda ho nesmie obsahovať vo väčšom množstve ako  $0,5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , ináč je škodlivá.

**Postup:** Na dôkaz použijeme Nesslerovo činidlo (1g  $\text{HgI}_2$ ; 0,7 g KI rozpustené v  $10 \text{ cm}^3$  10 % NaOH – tzv. alkalický roztok tetrajodoortuťnatanu draselného). Do  $10 \text{ cm}^3$  pitnej

vody pridáme niekoľko kryštálikov vlnanu draselno-sodného (Seignettovej soli) a 0,5 cm<sup>3</sup> Nesslerovho činidla. Žltohnedý zákal, prípadne zrazenina sú dôkazom amoniakálneho dusíka. Základom tohto stanovenia je chemická reakcia:



#### **Pokus 6 Dôkaz dusičnanov**

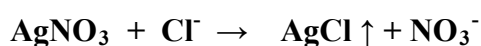
Dusičnany sú v nízkych koncentráciách obsiahnuté vo všetkých typoch vôd. Prevýšenie hygienických noriem predstavuje riziko pre ľudské zdravie, najmä pre kojencov a môže byť príčinou tzv. dusičnavej methemoglobinémie. Dusičnany sa v tráviacom trakte redukujú na dusitany, ktoré ako krvný jed menia hemoglobín na methemoglobín, neschopný prenášať kyslík z pľúc do tkanív. Pitna voda môže obsahovať maximálne 50 mg.dm<sup>-3</sup> dusičnanov, vo vode určenej pre kojencov by nemala prekročiť hranicu 15 mg.dm<sup>-3</sup>.

**Postup:** Odoberieme vzorku z kaluže alebo potôčika v lokalite hnojenej priemyselnými hnojivami. Do 1 cm<sup>3</sup> skúmanej vzorky pridáme 2 cm<sup>3</sup> koncentrovanej kyseliny sírovej H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Po vychladení opatrne navrstvíme 1 cm<sup>3</sup> čerstvo pripraveného nasýteného roztoku síranu železnateho FeSO<sub>4</sub>. V mieste styku tekutín sa objaví tmavohnedý prstenec tvorený nestálou zlúčeninou FeSO<sub>4</sub>.NO. Podobnú reakciu dávajú aj dusitany. Dusičnany možno od nich odlíšiť reakciou skúmaného roztoku s indikátorom brucínom v prostredí kyseliny sírovej za vzniku červeného sfarbenia.

#### **Pokus 7 Dôkaz chloridov**

Chloridy sú súčasťou všetkých prírodných vôd. Ide o netoxické zlúčeniny. Pitná voda má limitovaný obsah chloridov 100 mg.dm<sup>-3</sup>.

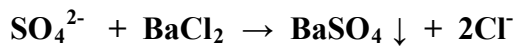
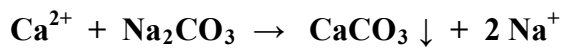
Do jednej skúmavky dáme 10 cm<sup>3</sup> destilovanej vody, do druhej 10 cm<sup>3</sup> pitnej vody a do tretej 10 cm<sup>3</sup> odpadovej vody (napr. po umytí riadu). Do každej skúmavky pridáme 0,5 cm<sup>3</sup> koncentrovanej kyseliny dusičnej HNO<sub>3</sub> a 0,5 cm<sup>3</sup> 5% roztoku dusičnanu strieborného AgNO<sub>3</sub>. Pozorujeme zmeny a porovnávame obsah chloridov v jednotlivých typoch vôd. Prítomnosť chloridov dokazuje vznik bielej zrazeniny, ktorá na svetle tmavne. Pozorované zmeny vyjadruje chemická rovnica:



#### **Pokus 8 Dôkaz vápnika a síranov v minerálnej vode**

Sírany nemajú negatívny účinok na organizmy. V pitných vodách môže byť maximálny obsah síranov  $250 \text{ mg.dm}^{-3}$ . Vápnik je hlavnou zložkou vôd a jeho obsah nie je limitovaný. Vysoká koncentrácia spôsobuje veľké technické problémy súvisiace s tvrdosťou vody.

**Postup:** Do skúmaviek dáme po  $1 \text{ cm}^3$  minerálnej vody. Pridáme činidlá na dôkaz týchto iónov, 10% roztoky uhličitanu sodného  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  a chloridu bárnatého  $\text{BaCl}_2$ . V oboch prípadoch pozorujeme vznik bieleho zákalu. Tieto deje možno vyjadriť chemickými rovnicami:



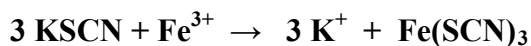
### **Pokus 9 Dôkaz železa**

Prítomnosť železa vo vode je hygienicky neškodná, ale zhoršuje vzhľad vody, ovplyvňuje jej chuť, zanecháva hrdzavé škvrny, spôsobuje premnoženie železitých baktérií, ktoré upchávajú potrubia a pri ich odumieraní zapáchajú. Pitná voda má limitovaný obsah železa  $0,5 \text{ mg.dm}^{-3}$ .

**Postup:**

a) Vzorku minerálnej vody ( $5 \text{ cm}^3$ ) povaríme, potom prefiltrujeme. Do filtrátu pridáme 10% roztok hydroxidu sodného  $\text{NaOH}$ . Pozorujeme vznik nazelenalej zrazeniny, ktorá je zmesou  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  a  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ .

b) Do skúmavky pridáme  $10 \text{ cm}^3$  analyzovanej vody, kvapku koncentrovanej kyseliny dusičnej  $\text{HNO}_3$ , niekoľko kvapiek 5% roztoku peroxidu vodíka  $\text{H}_2\text{O}_2$  a asi  $0,5 \text{ cm}^3$  20% roztoku tiokynatanu draselného  $\text{KSCN}$ . Pri obsahu železa  $0,1 \text{ mg.dm}^{-3}$  vznikne ružové, pri väčšom obsahu červené sfarbenie, čo sa využíva na nalytický dôkaz železitých katiónov  $\text{Fe}^{3+}$ . Základom tohto stanovenia je chemická reakcia:



### **Pokus 10 Dôkaz uhličitanov v minerálnej vode**

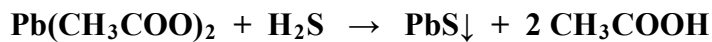
**Postup:** Na hodinové sklíčko dáme niekoľko kvapiek minerálnej vody a opatrne odparíme nad kahanom. Po vychladnutí na vzniknutý povlak kvapneme zriedenú kyselinu chlorovodíkovú  $\text{HCl}$ . Pozorujeme šumenie unikajúceho oxidu uhličitého  $\text{CO}_2$ .



### **Pokus 11 Dôkaz sulfánu**

Výskyt sulfánu  $\text{H}_2\text{S}$  je v niektorých minerálnych vodách častý a prirodzený. V pitnej vode môže byť jeho obsah maximálne  $0,01 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Keďže je prchavý, musia sa vzorky vody čo najskôr analyzovať.

**Postup:** Do skúmavky dáme  $10 \text{ cm}^3$  analyzovanej vzorky, pridáme  $1 \text{ cm}^3$  koncentrovanej kyseliny chlorovodíkovej  $\text{HCl}$  a mierne zahrejeme. K ústiu skúmavky priložíme navlhčený papierik, ktorý bol predtým nasiaknutý octanom olovnatým  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ . Dôkazom prítomnosti sulfánu je zhnednutie až sčernanie papierika. Pri tomto dôkaze prebieha chemická reakcia:



### **Čistenie vody**

#### **Pokus 1 Prieupustnosť vody v rôznych druhoch materiálu**

**Postup:** Pripravíme si rovnaké množstvo piesku, ílu, pôdy a štrku. Naplníme nimi rovnako veľké kvetináče, pod ktoré dáme priehľadné, najlepšie sklenené misky. Kvetináče súčasne zalejeme rovnakým množstvom vody. Zistíme, že kvetináčom naplneným štrkom preteká voda najrýchlejšie.

#### **Pokus 2 Čistenie vody filtráciou**

Filtrácia je proces, pri ktorom sa prostredníctvom pórovitého materiálu z heterogénnych zmesí oddeľuje tuhá fáza od kvapalnej fázy. Filtračný pórovitý materiál zachytí častice tuhej fázy, kým kvapalinu prepúšťa. V technológii vody sa filtráciou z vody oddeľujú suspendované látky prítomné buď v prirodzenej forme alebo upravené umelým zásahom. Filtrácia je zvyčajne jedným z záverečných technologických dejov pri úprave a čistení vody.

**Postup:**

- a) Kvetináč sa zátokou z vaty na dne a s niekoľkokocentimetrovou vrstvou piesku vytvorí filter, ktorým možno demonštrovať čistenie vody filtráciou.
- b) Priehľadnú dvojlitrovú plastovú fľašu s uzáverom rozrežeme na dve časti. Na dno vrchnej časti dáme trochu vody, vrstvu malých kamienkov, vrstvu hrubého piesku a vrstvu jemného piesku. Trochu rozdrveného dreveného uhlia premiešame s vodou na

kašu, ktorú rovnomerne nalejeme na povrch piesku. Otvoríme uzáver a filtrát zachytávame do druhej fľaše. Porovnáme čistiaci účinok obidvoch zariadení.

### **Pokus 3 Vplyv znečistenej vody na klíčivosť semien**

**Postup:** Do šiestich malých kvetináčov dáme zeminu, zalejeme do nej semienka žeruchy a niekoľko dní polievame. Prvý kvetináč čistou vodou, Ďalšie mydlovou, slanou, octovou, olejovou vodou a posledný kvetináč 1% roztokom kyseliny sírovej (kyslý dážď). Niekoľko dní pozorujeme a každý deň zapíšeme klíčivosť semien v jednotlivých kvetináčoch.

### **Pokus 4 Miničistička**

**Postup:** Štyri plastové poháre naplníme do polovice štrkom, jemným pieskom, aktívnym uhlím, do spodného dáme kávový filter a postavíme ich na seba. Poháre musia mať na dne dierku. Do vrchného nalejeme vodu po umytí riadu a necháme ju pretiecť. Dole zachytávame prefiltrovanú vodu do pohára a pozorne ju prezrieme. Nakoniec pohárom môžeme potriasť a sledovať či sa vytvorí pena z umývacieho prostriedku. Pokus môžeme zopakovať použitím rôznych filtrov (napr. zeme, novinového papiera, vaty) a rôzne znečistených vôd (napr. soľou, tušom, farbou, kávou).

### **Pokus 5 Rastliny produkujú kyslík**

**Postup:** Do zaváraninového pohára s vodou vložíme vodnú rastlinu. Pohár postavíme na slnko. Uvidíme unikať bublinky plynnej látky, pretože zelená rastlina vytvára na slnečnom svetle z vody a oxidu uhličitého CO<sub>2</sub> organické látky a kyslík. Nad rastlinu dáme lievik (zat'ažený, aby nestúpil) a jeho otvor prekryjeme sklenenou rúrkou. Tá sa naplní vznikajúcim kyslíkom, ktorý dokážeme tlejúcou trieskou.

### **Pokus 6 Čistenie vody (krok za krokom)**

Tento pokus obsahuje všetky kroky, z ktorých sa skladá čistenie vody.

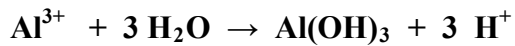
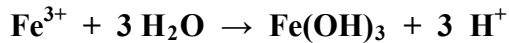
**Postup:** Zmiešame dve šálky bahna alebo špiny s 2 l vody, ktoré nalejeme do dvoch zaváraninových pohárov asi 8 cm od vrchu a poháre označíme písmenami A a B.

#### **Okysličovanie**

Pohár A uzavrieme vrchnákom a trasieme ním v ruke asi 10 sekúnd.

#### **Koagulácia**

V šálke horúcej vody rozpustíme za miešania síran hlinitý  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ . Roztok vlejeme do pohára s okysličenou vodou, pomaly miešame asi 5 minút a sledujeme tvorbu zrazeniny. Soli železa a hliníka sú najbežnejšími koagulantami, pretože ich pridaním do vody dochádza k hydrolýze za tvorby príslušných hydroxidov:



### Sedimentácia

Zrazeninu necháme usadiť a sledujeme dobu usadzovania.

### Filtrácia

Pripravíme si filter a prelejeme cez neho polovicu vody z fľaše A, ktorá obsahuje zrazeninu. Porovnáme čistotu prefiltrovanej vody s vodou vo fľaši B a so zvyškom neprefiltrovanej vody vo fľaši A.

### **Pokus 7 Odstránenie ropných škvŕn z hladiny vody**

**Postup:** Na hladinu vody vo väčšej nádobe nalejeme niekoľko kvapiek ropy alebo motorovej nafty.

a) Škvŕnu skúsime zapáliť.

b) Na škvŕnu nasypeme tenkú vrstvu nejakého adsorbenta (napr. kriedy). Vzniknutú zmes posunieme k okraju nádoby, vyberieme pomocou lyžičky, dáme na azbestovú sieťku a zapálime.

Mechanickú metódu odstránenia ropných škvŕn z hladiny vody môžeme demonštrovať jej ohraničením pomocou zápaliek alebo drevených tyčiek spojených gumovými hadičkami, odtiahnutím k okraju nádoby a odsatím pomocou jednoduchého lekárskeho kvapatka.