

# TĚŽKÉ KOVY V POVRCHOVÝCH VODÁCH

## Úvod

Prvky, které mohou předávat své valenční elektrony jiným prvkům, označujeme jako kovy. Typickými vlastnostmi kovů jsou neprůhlednost, kovový lesk, kujnost, tažnost, dobrá tepelná i elektrická vodivost.<sup>1</sup>

Kovy, které mají specifickou hmotnost (hustotu) vyšší než  $5 \text{ g.cm}^{-3}$  a/nebo se jejich soli sráží sulfidem sodným za vzniku málo rozpustných sulfidů, nazýváme **těžkými kovy**. Mezi těžké kovy řadíme většinu d-prvků a některé kovové p-prvky (např. cín, olovo). **Toxické kovy** jsou kovy, které při určitých koncentracích působí negativně na biotické složky ekosystému. Pojmy těžký kov a toxický kov jsou velmi často zaměňovány, i když ne všechny těžké kovy jsou toxické a naopak. Některé těžké kovy mohou být dokonce pro organismy v určitých dávkách nepostradatelné - esenciální (např. zinek, železo). V ekotoxikologii je pro kovy, které jsou nebezpečné pro biotu, ustálený termín *těžké kovy*, i když se tato synonymizace běžně nedoporučuje. Ekotoxikologie řadí mezi těžké kovy měď, zinek, kadmium, rtuť, nikl, chrom, olovo, železo a mangan. Z hlediska negativního působení na ekosystém jsou do této skupiny také přiřazeny polokovy arsen a selen.<sup>2,3</sup>

Toxický účinek těžkých kovů je většinou způsoben vazbou kationtů kovů na skupiny -SH, -COOH a -NH<sub>2</sub> biologických struktur, čímž dochází k přeměně jejich struktury a funkčnosti. Zpravidla dochází k blokaci enzymů, uvolnění radikálů nebo porušení semipermeability biomembrán. Toxický účinek kovů je ovlivněn jeho množstvím, formou a cestou vstupu kovu do organismu. Velmi nebezpečná je schopnost bioakumulace v organismech a zvyšování koncentrace kovů podél potravních řetězců.<sup>2</sup> K detoxikaci kovů v organismu slouží nízkomolekulární proteiny - metalothioneiny, které obsahují vysoký podíl aminokyseliny cysteinu, na který se kovy vážou.<sup>4</sup>

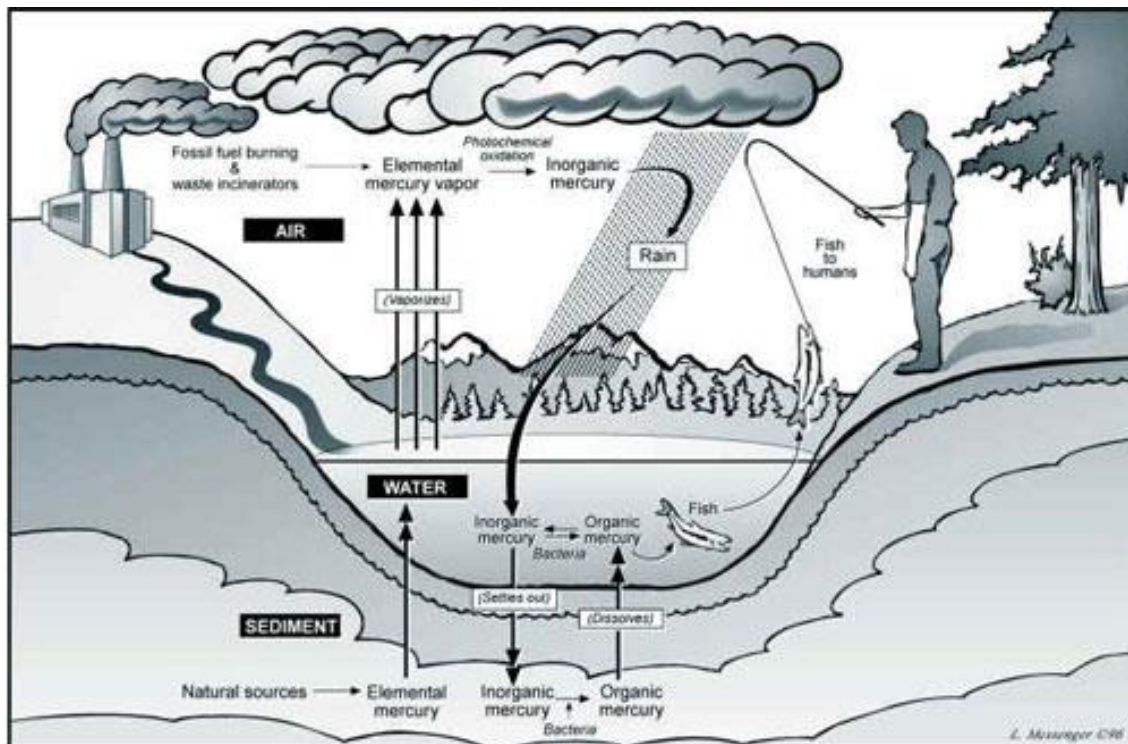
## Těžké kovy v prostředí

Těžké kovy jsou v určitých, zpravidla nízkých koncentracích, přirozenou součástí zemské kůry. V životním prostředí kovy migrují dvěma základními cykly - geochemickými a biologickými. Geochemický cyklus zahrnuje koloběh látek v horninovém prostředí, jejich interakci s prostředím (atmosférou, hydrosférou, biosférou) a jejich následné chemické reakce a přeměny (oxidace, methylace apod.). Prostřednictvím biologických cyklu jsou těžké kovy zabudovávány do živých organismů. V tomto cyklu hrají významnou roli mikroorganismy, které umožňují vstup toxických kovů do organismů prostřednictvím zabudování kovů do organických komplexů. Organické formy kovů mohou být mnohonásobně toxicitější než původní anorganické formy daného kovu (např. methylrtuť). Migrační cykly kovů mohou mít jak přirozený, tak antropogenní původ. V současné době je závažná migrace antropogenního původu, která u některých kovů (např. u rtuti) převažuje nad tou přirozenou.<sup>2</sup> Nejčastější antropogenní zdroje kontaminace životního prostředí těžkými kovy jsou shrnuty v tabulce 1. Příklad cyklu rtuti v prostředí je znázorněn na obrázku 1.

**Tabulka 1:** Antropogenní zdroje kontaminace životního prostředí těžkými kovy.<sup>2</sup>

<b>Těžký kov</b>	<b>Zdroje kontaminace</b>
Olovo	úpravny rud, hutě, rafinerie, chemický průmysl, akumulátory, pigmenty do barev, olovnaté sklo, zemědělství, fosilní paliva, automobilový provoz
Arsen	zpracování rud, aditiva do skla, zemědělství, kouření, léčiva pro veterinární medicínu, ochranné prostředky na dřevo
Selen	zpracování rud, komunální odpady, fosilní paliva, povrchové úpravy kovů, polovodiče
Měď	elektrochemický materiál, slitiny, komunální odpad, chemický průmysl, zemědělství
Zinek	galvanizace, pigmenty do barev a keramických glazur, slitiny, zemědělství, komunální odpad, kouření
Kadmium	pigmenty pro barvy a plasty, baterie, fosilní paliva, kouření
Rtuť	zpracování rud, zemědělství, elektrochemie, katalytické procesy, baterie, lékařství, fosilní paliva
Chrom	chemický průmysl, pigmenty do barev, ochranné prostředky na dřevo, zpracování kůže, výroba cementu, pokovování, fosilní paliva

NiKl                   úpravny rud, hutě, rafinerie, baterie, pokovování, slitiny, kosmetický průmysl,  
kouření



Obrázek 1: Koloběh rtuti v přírodě.<sup>5</sup>

## Těžké kovy v povrchových vodách

## Zdroje znečištění

Ve vodách hrají významnou roli antropogenní zdroje těžkých kovů, které se sem dostávají s odpadními vodami z metalurgického, fotografického, textilního a kožedělného průmyslu. Nezanedbatelnými zdroji jsou také agrochemikálie (např. pro zinek, arsen, rtuť), spalování fosilních paliv, výfukové plyny z motorových vozidel (např. pro rtuť, olovo, zinek, kadmium) i kovové materiály, se kterými voda přichází do přímého kontaktu (potrubí pro rozvod vody) (např. pro železo, mangan, zinek, měď). Těžké kovy jsou do povrchových vod nejčastěji splachovány z půd nebo se do nich dostávají odpadní vodou, popřípadě atmosférickým spádem.<sup>3</sup>

## Formy výskytu těžkých kovů ve vodách

Těžké kovy jsou v povrchových vodách přítomné jak v rozpuštěné, tak v nerozpuštěné formě. Kovy rozpuštěné ve vodě tvoří zpravidla komplexy a to jak s anorganickými ( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ), tak i organickými (huminové látky, aminokyseliny) ligandy. Velmi značná část kovů je ovšem v povrchových vodách adsorbována na povrch nerozpuštěných suspendovaných nebo koloidních látek. Z tohoto důvodu se nedoporučuje vyhodnocovat znečištění povrchových vod těžkými kovy pouze analýzou vody, ale je hlavně nutné analyzovat a vyhodnocovat sedimenty. Sedimenty jsou důležité zvláště z toho důvodu, že se v nich těžké kovy kumulují. Koncentrace těžkých kovů ve vodě je poté závislá na imobilizačních a remobilizačních procesech, kterými se kovy buď vážou do sedimentů, nebo se z nich uvolňují. Mezi významné imobilizační procesy patří *alkalizace vody*, která vede ke srážení kovů v podobě uhličitánů nebo sulfidů, *oxidace*, *adsorpce na tuhé fáze a zabudování do biomasy*. K remobilizačním procesům pak řadíme *rozpuštění sloučenin kovů vlivem poklesu pH*, *redukci*, *komplexaci*, *desorpci* a *uvolňování kovů z odumřelé biomasy*.<sup>3</sup>

## Vlastnosti těžkých kovů ve vodách

Kovy ve vodách velmi často podléhají hydrolyze za vzniku nerozpustných nebo velmi málo rozpustných sloučenin (uhličitany, sulfidy, fosforečnany). Z tohoto důvodu se kovy ve vodách nacházejí ve velmi nízkých koncentracích. Vyšší koncentrace kovů v povrchových vodách lze naměřit pouze v kyselých vodách a/nebo ve vodách s vyšším obsahem huminových látek.

Významnou vlastností kovů je tvoření komplexních sloučenin, které mají odlišné vlastnosti od jednoduchých iontů ve vodě.

Některé kovy (např. měď) mohou také již při malých koncentracích katalyzovat chemické reakce, které ve vodě probíhají.

Podléhání biochemickým transformacím je další významná vlastnost těžkých kovů. Nejvýznamnějším procesem je biomethylace, která je typický zejména pro rtuť ( $\text{Hg}^{\text{II}} \rightarrow \text{CH}_3\text{Hg}^+ \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{Hg}$  (těkavá - uvolnění do atmosféry)), arsen a selen.

Poslední významnou vlastností těžkých kovů ve vodách je jejich toxicita. Z hlediska toxicity mají ve vodách prioritní význam rtuť, kadmium, olovo a arsen. Z hlediska působení můžeme rozlišit akutní a chronickou toxicitu. Chronické otravy těžkými kovy jsou způsobeny zejména jejich bioakumulačními vlastnostmi. Největší bioakumulační schopnost mají rtuť, kadmium, selen a olovo.<sup>2,3</sup> Toxické účinky vybraných těžkých kovů jsou popsány níže.

### **Olovo (Pb)<sup>3,6</sup>**

<b>Zdroj:</b>	zejména metalurgický průmysl, výroba akumulátorů, sklářský průmysl
<b>Forma:</b>	$\text{Pb}^{2+}$ (kyselé vody), karbonatokomplexy (neutrální/slabě alkalické vody), hydroxokomplexy, dikarbonatokomplexy (alkalické vody), trihydroxoolovnatanu, tetrahydroxoolovnatanu (silně alkalické vody)
<b>Hladiny (<math>\mu\text{g.l}^{-1}</math>):</b>	3.8 (pitná voda, výstup z vodáren), 0.37 (povrchové vody) v sedimentech až 4x vyšší koncentrace než ve vodě
<b>Limity (<math>\text{mg.l}^{-1}</math>):</b>	0.01 (pitná voda), 0.005 (kojenecká voda), 0.5 (odpadní vody s výpustí do povrchových vod), 0.1 (zooplankton, fytoplankton) 0.01/0.004 (kaprovité/lososovité ryby)
<b>Toxické účinky:</b>	pro prvky toxický již při $0.5 \text{ mg.l}^{-1}$ , pro makrozoobentos v tekoucích vodách při $0.2 \text{ mg.l}^{-1}$ , u ryb poškození epitelu žaber, erytrocytů, leukocytů a nervové soustavy, v lidském organismu se kumuluje v kostech, působí neurotoxicky a je považovaný za potenciální karcinogen

### **Arsen (As)<sup>3,6,7</sup>**

<b>Zdroj:</b>	geogenní původ (zejména sulfidické rudy - arsenopyrit), Imise (ze spalování fosilních paliv), hutní a rudný průmysl, sklářský průmysl, voda z prádelen
---------------	--

<b>Forma:</b>	As <sup>III</sup> (anaerobní podmínky), H <sub>2</sub> AsO <sub>4</sub> <sup>-</sup> a HAsO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (slabě kyselá/slabě alkalické vody), As <sup>V</sup> (neutrální/alkalické vody), methylderiváty (methylarsan, dimethylarsan, trimethylarsan) (zejména v eutrofních vodách), málo rozpustné arseničnany kovů (zejména Fe, Cr, Ba)
<b>Hladiny (µg.l<sup>-1</sup>):</b>	1.5 (pitná voda, výstup z vodáren), 0.8 (povrchové vody), přes 100 (arsenové minerální vody, např. prameny v Karlových Varech), obrovská kumulační schopnost v sedimentech
<b>Limity (mg.l<sup>-1</sup>):</b>	0.01 (pitná voda), 0.005 (kojenecká voda), 0.02 (imisní standard), 0.5 (odpadní vody s výpustí do povrchových vod), 1.5 (odpadní voda ze skláren)
<b>Toxické účinky:</b>	sloučeniny As <sup>3+</sup> mnohonásobně toxičtější než As <sup>5+</sup> ; vodní bezobratlí hynou při koncentracích vyšších než 1 mg.l <sup>-1</sup> , kapr při 30 mg.l <sup>-1</sup> , u bentických živočichů dochází k výrazné akumulaci arsenu v tkáních; arsen působí jako enzymatický jed (váže se na -SH skupinu aminokyselin) a nervový jed; byly u něj prokázány karcinogenní a teratogenní účinky

### Selen (Se)<sup>3,6</sup>

<b>Zdroj:</b>	geogenní původ (sulfidické rudy - např. pyrit), spalování fosilních paliv, při výrobě kyseliny sírové, sklářský, keramický a elektrotechnický průmysl
<b>Forma:</b>	Se <sup>IV</sup> (zejména hydrogenseleničitany) a Se <sup>VI</sup> (zejména selenany), methylderiváty (dimethylselenid)
<b>Hladiny (µg.l<sup>-1</sup>):</b>	1.2 (pitná voda, výstup z vodáren), 0.05 (povrchové vody),
<b>Limity (mg.l<sup>-1</sup>):</b>	0.01 (pitná voda), 0.01 (kojenecká voda), 0.04 (imisní standard), 0.1 (odpadní vody s výpustí do povrchových vod)
<b>Toxické účinky:</b>	pouze při vyšších koncentracích selenóza u lidí a zvířat (zejména kožní problémy, kardiovaskulární choroby)

### Měď (Cu)<sup>3,6</sup>

<b>Zdroj:</b>	geogenní původ (sulfidické rudy - např. chalkopyrit, chalkosin), odpadní vody z povrchové úpravy kovů, algicidy, fungicidy, reakce vod s měděnými materiály (potrubí, střechy)
<b>Forma:</b>	Cu <sup>II</sup> , hydroxokomplexy, aminokomplexy, kyanokomplexy,

	fosfatokomplexy , organokomplexy s huminovými látkami, aminokyselinami, peptidy (velmi významné v povrchových vodách)
<b>Hladiny (<math>\mu\text{g.l}^{-1}</math>):</b>	3.8 (pitná voda, výstup z vodáren), 1.4 (povrchové vody), 1000 (reaktivní voda v potrubí)
<b>Limity (<math>\text{mg.l}^{-1}</math>):</b>	1.0 (pitná voda) (při koncentracích vyšších než 0.1 dochází ke změnám organoleptických vlastností vody), 0.2 (kojenecká voda), 0.025 (imisní standard), 0.5–1.0 (odpadní vody s výpustí do povrchových vod), <0.01 (ryby)
<b>Toxické účinky:</b>	především volný iont $\text{Cu}^{2+}$ , dále hydroxokomplexy ( $[\text{CuOH}]^+$ , $[\text{Cu}(\text{OH})_2]^0$ ); silně toxický pro makrozoobentos i ryby, u kterých způsobuje dýchací potíže (úhyn ploštěnek při $0.004 \text{ mg.l}^{-1}$ , měkkýšů při $0.015 \text{ mg.l}^{-1}$ , říční bentos při $0.2 \text{ mg.l}^{-1}$ , ryb při $>0.01 \text{ mg.l}^{-1}$ ), silný algicidní účinek (desetiny $\text{mg.l}^{-1}$ )

### Zinek (Zn)<sup>3,6</sup>

<b>Zdroj:</b>	geogenní původ (sfalerit, smithsonit), běžná součást hornin, půd a sedimentů, imise (ze spalování fosilních paliv, zpracování neželezných rud), odpadní vody ze zpracování zinkových rud, elektrotechnických výrob, zinkové materiály (nádoby apod.)
<b>Forma:</b>	$\text{Zn}^{2+}$ , hydroxokomplexy, sulfatokomplexy, kyanokomplexy , aminokomplexy, organokomplexy
<b>Hladiny (<math>\mu\text{g.l}^{-1}</math>):</b>	38.6 (pitná voda, výstup z vodáren), 8.2 (povrchové vody), až 5000 (zinkové nádoby)
<b>Limity (<math>\text{mg.l}^{-1}</math>):</b>	v pitné a kojenecké vodě není koncentrace zinku limitována (nad $5 \text{ mg.l}^{-1}$ dochází ke změnám organoleptických vlastností vody), 0.16 (imisní standard), 2.0 (odpadní vody s výpustí do povrchových vod), 0.3/0.03 (kaprovité/lososovité ryby)
<b>Toxické účinky:</b>	velmi toxický pro vodní živočichy (úhyn pošvatek při $0.4 \text{ mg.l}^{-1}$ , jepic při $0.3 \text{ mg.l}^{-1}$ , blešivců při $0.2 \text{ mg.l}^{-1}$ , ryb při $>0.03 \text{ mg.l}^{-1}$ ); podobné toxické účinky jako měď

### Kadmium (Cd)<sup>3,6</sup>

<b>Zdroj:</b>	geogenní původ (doprovází zinek v jeho rudách), fosforečnanová hnojiva, čistírenské kaly, spalování fosilních paliv, pigmenty, stabilizátory termoplastů, odpadní vody z galvanického pokovování
---------------	--

<b>Forma:</b>	$Cd^{2+}$ , hydroxokomplexy, sulfatokomplexy, karbonatokomplexy, organokomplexy
<b>Hladiny (<math>\mu g.l^{-1}</math>):</b>	0.5 (pitná voda, výstup z vodáren), 0.04 (povrchové vody) (sedimentované plaveniny (příklad z Labe) $3.7 \text{ mg.kg}^{-1}$ )
<b>Limity (<math>mg.l^{-1}</math>):</b>	0.005 (pitná voda), 0.002 (kojenecká voda), 0.007 (imisní standard), 0.2 (odpadní vody s výpustí do povrchových vod), 0.0002–0.001 (pro ryby)
<b>Toxické účinky:</b>	zejména $Cd^{2+}$ , velmi toxický pro vodní živočichy (úhyn zooplanktonu při 0.03–0.08 $mg.l^{-1}$ , ryb při 2–20 $mg.l^{-1}$ ); významná bioakumulační schopnost (přenos potravním řetězcem); negativní vliv na reprodukci, poškození centrální nervov soustavy, potenciální karcinogen

### Rtuť (Hg)<sup>3,6</sup>

<b>Zdroj:</b>	geogenní původ (rumělka, sulfidické rudy), spalování fosilních paliv, fungicidy, odpadní vody z elektrolýzy NaCl
<b>Forma:</b>	$Hg^0$ , $Hg^{2+}$ , alkylderiváty, hydroxokomplexy, chlorokomplexy, organokomplexy (s huminovými látkami)
<b>Hladiny (<math>\mu g.l^{-1}</math>):</b>	0.25 (pitná voda, výstup z vodáren) (sedimentované plaveniny (příklad z Labe) $3.1 \text{ mg.kg}^{-1}$ )
<b>Limity (<math>mg.l^{-1}</math>):</b>	0.001 (pitná voda), 0.0005 (kojenecká voda), 0.001 (imisní standard), 0.05 (odpadní vody s výpustí do povrchových vod)
<b>Toxické účinky:</b>	zejména methylderiváty; ovlivnění druhového složení zooplanktonu při 0.002 $mg.l^{-1}$ ; významná bioakumulační schopnost (přenos potravním řetězcem, kdy se hromadí ve svalovině - ve svalovině dravých ryb až 10x vyšší koncentrace než v jejich potravě); inhibice enzymových reakcí, snížení reprodukce

### Chrom (Cr)<sup>3,6</sup>

<b>Zdroj:</b>	geogenní původ (chromit, krokoit), odpadní vody z barevné metalurgie, povrchové úpravy kovů, textilního a kožedělného průmyslu
<b>Forma:</b>	$Cr^{3+}$ , sloučeniny $Cr^{III}$ a $Cr^{VI}$ (např. chromany), hydroxokomplexy,



časté oxidačně-redukční přeměny

<b>Hladiny</b>	při běžných rozborech se obvykle nestanovuje, 2.4 (pitná voda, výstup z vodáren)
<b>(<math>\mu\text{g.l}^{-1}</math>):</b>	(sedimentované plaveniny (příklad z Labe) $138 \text{ mg.kg}^{-1}$ )
<b>Limity</b>	0.05 (pitná voda), 0.025 (kojenecká voda), 0.035 (imisní standard), 0.5–1 (celkový chrom z odpadních vody s výpustí do povrchových vod), 0.1–0.3 ( $\text{Cr}^{\text{VI}}$ z odpadních vody s výpustí do povrchových vod), 0.05 ( $\text{Cr}^{\text{VI}}$ pro ryby)
<b>(<math>\text{mg.l}^{-1}</math>):</b>	
<b>Toxické účinky:</b>	pro rostliny a bakterie zejména $\text{Cr}^{\text{VI}}$ , pro vodní bezobratlé a ryby $\text{Cr}^{\text{III}}$ ; úhyn bezobratlých při koncentracích 0.01–5 (nitěnky) $\text{mg.l}^{-1}$ , úhyn ryb v rozmezí 5–30 $\text{mg.l}^{-1}$ pro $\text{Cr}^{\text{VI}}$ , okolo 1 $\text{mg.l}^{-1}$ $\text{Cr}^{\text{III}}$ ; toxicita se snižuje se snižující se hodnotou pH; poškození respiračního epitelu žaber a udušení

### Nikl (Ni)<sup>3,6</sup>

<b>Zdroj:</b>	geogenní původ (minerály síry, arsenu a antimonu), odpadní vody z povrchové úpravy kovů a barevné metalurgie, poniklované materiály
<b>Forma:</b>	$\text{Ni}^{2+}$ , sloučeniny $\text{Ni}^{\text{II}}$ , hydroxokomplexy, karbonatkomplexy, sulfatokomplexy, kyanokomplexy a aminokomplexy v odpadních vodách
<b>Hladiny</b>	5.4 (pitná voda, výstup z vodáren) 3.4 (povrchové vody)
<b>(<math>\mu\text{g.l}^{-1}</math>):</b>	(sedimentované plaveniny (příklad z Labe) $62 \text{ mg.kg}^{-1}$ )
<b>Limity</b>	0.02 (pitná voda), 0.02 (kojenecká voda), 0.04 (imisní standard), 0.5 (odpadní vody z elektrotechnických výroby s výpustí do povrchových vod), 0.8 (odpadní vody z povrchové úpravy kovů s výpustí do povrchových vod), 0.1 (pro ryby)
<b>(<math>\text{mg.l}^{-1}</math>):</b>	
<b>Toxické účinky:</b>	silně toxický pro vodní živočichy (nejcitlivější jsou měkkýši - úhyn již při $0.2 \text{ mg.l}^{-1}$ , toxický pro ryby v rozmezí $30\text{--}75 \text{ mg.l}^{-1}$ )

### Železo (Fe)<sup>3,6</sup>

<b>Zdroj:</b>	geogenní původ (zejména pyrit), kyselé důlní vody, průmyslové odpadní vody (např. z mořiren kovů, drátoven), hlavní součást
---------------	---

	dnových sedimentů
<b>Forma:</b>	v bezkyslíkatých vodách sloučeniny Fe <sup>II</sup> (např. hydroxid, uhličitán, sulfid), jejichž rozpustnost je závislá na pH a složení vody; ve vodách s rozpuštěným kyslíkem převažují sloučeniny Fe <sup>III</sup> (z rozpustných forem iont Fe <sup>3+</sup> , hydroxokomplexy)
<b>Hladiny (µg.l<sup>-1</sup>):</b>	66.0 (pitná voda, výstup z vodáren) 190.0 (povrchové vody); povrchové vody obsahují nižší koncentraci železa než podzemní vody (desítky mg.l <sup>-1</sup> ) zdůvodu oxidace iontů a vyloučení tuhých fází Fe <sup>III</sup>
<b>Limity (mg.l<sup>-1</sup>):</b>	0.2 (pitná voda), 2.0 (imisi standard), 5.0 (odpadní vody z těžby a zpracování rud s výpustí do povrchových vod), 2.0 (odpadní vody z povrchové úpravy kovů a elektrotechnické výroby s výpustí do povrchových vod), 0.1/0.2 (pro lososovité/kaprovité ryby)
<b>Toxické účinky:</b>	ve vodách se nepovažuje za příliš toxický kov, ovšem negativně ovlivňuje její organoleptické vlastnosti; vysrážené hydroxidy nebo uhličitany mohou zanášet tělní povrch živočichů a tím např. omezit jejich dýchání; pro vodní bezobratlé působí letálně při koncentracích v rozmezí 10–100 mg.l <sup>-1</sup> , u ryb v rozmezí 0.1–0.2 mg.l <sup>-1</sup>

### Mangan (Mn)<sup>3,6</sup>

<b>Zdroj:</b>	geogenní původ (burel, braunit, železné rudy), průmyslové odpadní vody (např. ze zpracování rud)
<b>Forma:</b>	v oxidačním stupni II, III, IV, VII a organicky vázaný; ve vodách převažují sloučeniny Mn <sup>II</sup> (rozpuštěné formy - aquakomplexy, hydroxokomplexy, nerozpustné formy - hydroxidy, uhličitany, sulfidy, jejichž rozpustnost závisí zejména na pH a složení vody)
<b>Hladiny (µg.l<sup>-1</sup>):</b>	ve vodách zpravidla koncentrace pod 1 mg.l <sup>-1</sup> , díky omezené rozpustnosti uhličitanu a hydroxidu manganatého; 25.0 (pitná voda, výstup z vodáren) 79.0 (povrchové vody);
<b>Limity (mg.l<sup>-1</sup>):</b>	0.05 (pitná voda), 0.05 (kojenecká voda) 0.5 (imisi standard), 1.0 (odpadní vody z těžby uhlí a hutnictví železa s výpustí do povrchových vod)
<b>Toxické účinky:</b>	v koncentracích, ve kterých se vyskytuje v přírodních vodách, je zdravotně nezávadný; toxický zejména v oxidačním stupni VII; v oxidačním stupni II toxický až při koncentracích vyšších než 100 mg.l <sup>-1</sup> pro bezobratlé živočichy, při 150/700 mg.l <sup>-1</sup> pro lososovité/kaprovité ryby

### Zdroje

- 1 Toužín J. 2008: *Stručný přehled chemie prvků*. Tribun EU, Brno.

- 2 Kafka Z. & Punčochářová J. 2002: Těžké kovy v přírodě a jejich toxicita. *Chemické listy* 96. 611 – 617.
- 3 Pitter P. 2009: *Hydrochemie*. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Vydavatelství VŠCHT Praha, Praha.
- 4 Modrá H. in Velišek J. et al. 2014: *Vodní toxikologie pro rybáře*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. 245–268.
- 5 Rawlins W. 2012: State tries to grapple with mercury. *Coastal review online*. Dostupné z <https://www.coastalreview.org/2012/05/state-tries-to-grapple-with-mercury/>. Verze z 1. 12. 2017.
- 6 Svobodová Z. et al. 1987: *Toxikologie vodních živočichů*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- 7 Čelechovská O., Svobodová Z. & Randák T. 2005: Arsenic content in tissues of fish from the river Elbe. *Acta Veterinaria* 74, Brno. 419–425.