

ODSTRAŇOVÁNÍ SLOUČENIN MĚDI A ZINKU Z VOD ADSORPCÍ NA HYDROXIDU HOŘEČNATÉM

NINA STRNADOVÁ a DANIELA MATĚJKOVÁ

*Ústav technologie vody a prostředí, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6
nina.strnadova@vscht.cz*

Došlo 30.6.05, přepracováno 2.9.05, přijato 19.1.06.

Klíčová slova: adsorpce, voda, měď, zinek

Úvod

Obsah sloučenin kovů ve vodě patří mezi hygienicky i vodohospodářsky významné ukazatele. Kritéria vymezující jejich povolený obsah v pitných, povrchových i odpadních vodách, ale také v kalech, půdě, dále pak v různých zemědělských produktech a potravinářských výrobcích se stále zpřísňují. K nejrizikovějším kovům se řadí rtuť, arsen, antimon, kadmium, olovo, chrom a nikl. Kovy se ve vodách mohou vyskytovat ve formě jednoduchých kationtů nebo aniontů, ve formě komplexních aniontů nebo neutrálních molekul (komplexy s huminovými látkami, aminokyselinami a iontové asociáty s ionty uhličitany, hydorgenuhlíčitany, síranovými a fosforečnanovými). Toxicita závisí především na formách výskytu příslušného kovu, přičemž podstatně vyšší toxicita přísluší zpravidla iontové formě kovu, nižší toxicitu mají formy komplexní.

Limitní emisní koncentrace

Zdrojem těžkých kovů v povrchových vodách jsou různá průmyslová odvětví. Limitní koncentrace kovů v tekoucích povrchových vodách vymezuje nařízení vlády č. 61/2003 Sb. formou imisních standardů tj. ukazatelů přípustného znečištění povrchových vod¹. Imisní standardy vyjadřují maximální přípustné znečištění povrchových vod při průtoku Q_{355} (průtok, který je v toku po dobu 355 dní v roce dosažen a překročen), popř. při minimálním zaručeném průtoku vody v toku. Někdy je udána hodnota standardu, limitní koncentrace (koncentrace), která je považována za splněnou, pokud je roční počet vzorků s vyšší koncentrací než odpovídá standardu větší než 5 %. V tabulce I jsou uvedeny přípustné hodnoty emisních koncentrací sloučenin mědi a zinku ve vyčištěné vodě pro vybrané provozy.

Povolená koncentrace zinku v povrchových vodách je $200 \mu\text{g l}^{-1}$ a mědi $30 \mu\text{g l}^{-1}$. Koncentrace Cu a Zn jsou též vymezeny v imisních standardech, vyjadřujících ukazatele a přípustné hodnoty znečištění povrchových vod, které

Tabulka I

Přípustné hodnoty emisních koncentrací pro měď a zinek ve vyčištěných odpadních vodách

Průmyslový obor	Cu [mg l^{-1}]	Zn [mg l^{-1}]
Textilní průmysl	0,5	2,0
Barevná metalurgie	0,5	2,0
Těžba a zpracování rud	1,0	3,0
Spalování odpadů	0,5	1,5

jsou vhodné pro život a reprodukci původních druhů ryb a dalších vodních živočichů. Pro vody lososové je přípustná hodnota pro celkový obsah Zn menší než $0,3 \text{ mg l}^{-1}$ a pro vody kaprové menší než $1,0 \text{ mg l}^{-1}$. V případě rozpuštěných sloučenin mědi je přípustná koncentrace pro vody lososové i kaprové stejná, nižší než $40 \mu\text{g l}^{-1}$. Přípustné hodnoty koncentrací sloučenin Zn a Cu závisí i na obsahu vápníku a hořčíku ve vodě (na tvrdosti vody), protože v jejich přítomnosti dochází k tvorbě komplexních kationtů Zn a Cu se sloučeninami Ca a Mg a toxický vliv se snižuje. Obecně se vzrůstající „tvrdostí“ vody stoupá i povolená koncentrace sloučenin Zn a Cu.

Koncentrace mědi a zinku pro povrchové vody, které jsou využívány, nebo u kterých se předpokládá využití jako zdroje pitné vody, je pro kategorie A1 přípustná koncentrace mědi $20 \mu\text{g l}^{-1}$ a zinku $500 \mu\text{g l}^{-1}$, pro kategorie A2 je uvedena koncentrace mědi $50 \mu\text{g l}^{-1}$ a zinku 1 mg l^{-1} a pro kategorie A3 je uvedena koncentrace mědi $100 \mu\text{g l}^{-1}$ a zinku 1 mg l^{-1} . Kategorie A1 až A3 se vztahují k standardním metodám úpravy surové vody na vodu pitnou a se zvyšujícím se číslem roste i náročnost na technologické stupně úpravy.

Sloučeniny mědi a zinku patří k vybraným zvláště nebezpečným látkám ve vodách, stejně tak jako sloučeniny dalších kovů (As, Sn, Cr, Ni a Pb), u nichž je uvedeným nařízením vlády č.61/2003 Sb. vymezeno i vypouštěné prahové množství a u nichž se požaduje minimální četnost sledování $12\times$ za rok. Pro měď je uvedeno denní množství 5 gramů a roční množství $1,5 \text{ kg}$, pro zinek je uvedeno denní množství 20 gramů a roční množství $7,0 \text{ kg}$.

Pro pitnou vodu je vyhláškou č. 252/2004 Sb. vymezena jako nejvyšší mezní hodnota pro Cu 1 mg l^{-1} , koncentrace zinku uvedena není.

Formy výskytu mědi ve vodách

Formy výskytu mědi ve vodách jsou vzhledem k její snadné komplexaci značně rozmanité. Z rozpuštěných forem výskytu přicházejí v úvahu kromě jednoduchého iontu Cu^{2+} především hydroxokomplexy $[\text{CuOH}]^+$, $[\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{aq})]^0$, $[\text{Cu}(\text{OH})_3]^-$, $[\text{Cu}(\text{OH})_4]^{2-}$ a dále uhličitany komplexy $[\text{CuCO}_3(\text{aq})]^0$, $[\text{Cu}(\text{CO}_3)_2]^{2-}$, $[\text{Cu}(\text{CO}_3)\text{OH}]^-$ a $[\text{Cu}(\text{CO}_3)(\text{OH})_2]^{2-}$. V organicky znečištěných hydrogenuhličitany vodách může být v neutrální oblasti karbonatokomplex $[\text{CuCO}_3(\text{aq})]^0$ dominující rozpuštěnou složkou. Značně stabilní jsou také

tzv. aminkomplexy $[\text{Cu}(\text{NH}_3)]^{2+}$ až $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_5]^{2+}$, dále pak kyanokomplexy $[\text{Cu}(\text{CN})_2]^-$ a $[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{3-}$. Aminkomplexy a kyanokomplexy přicházejí v úvahu především v odpadních vodách z galvanizoven. Naopak málo stabilní jsou chlorokomplexy, např. $[\text{CuCl}]^0$, $[\text{CuCl}]^+$, $[\text{CuCl}_2]^-$ aj., a sulfatokomplex $[\text{CuSO}_4(\text{aq})]^0$.

Na rozdíl od olova a kadmia je měď pro lidský organismus nezbytným (esenciálním) prvkem a je přijímána potravou v množství asi 2–5 mg za den. Koncentrace mědi v krevní plazmě se pohybuje kolem 1 mg l^{-1} . Rozpuštěné sloučeniny mědi se vstřebávají zažívacím ústrojím. Vylučování je pomalé a děje se prostřednictvím žluči. Soli mědi jsou dráždivé, iritují pokožku a oční sliznice a požití většího množství vyvolává zvracení, průjem a nadměrné slinění. Koncentrace cca 1 mg l^{-1} a vyšší negativně ovlivňuje organoleptické vlastnosti (chuť) vody. Chronická akumulace mědi v lidském organismu je způsobena genetickou poruchou, neschopností vylučovat měď žlučí. Tato porucha se nazývá Wilsonova nemoc. Vede k poškození jater a mozku. Poměrně přísné limity pro koncentraci mědi v povrchových vodách jsou dány její značnou toxicitou pro vodní organismy včetně ryb³.

Formy výskytu zinku ve vodách

Zinek se v podzemních a povrchových vodách vyskytuje v koncentračním rozmezí od $5 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$ do $200 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$. Velké množství zinku se dostává do podzemní vody při oxidačním rozkladu sulfidických rud. Z průmyslových odpadních vod obsahují zinek např. vody ze zpracování zinkových rud, z moření mosazi a ze závodů na zpracování tuků. Významné množství zinku se do životního prostředí dostává atmosférickým spadem (spalování fosilních paliv).

Z rozpuštěných forem výskytu přicházejí v úvahu jednoduchý ion Zn^{2+} , hydroxokomplexy $[\text{Zn}(\text{OH})]^+$, $[\text{Zn}(\text{OH})_2(\text{aq})]^0$, $[\text{Zn}(\text{OH})_3]^-$, $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$, $[\text{Zn}(\text{CO}_3)(\text{aq})]^0$, $[\text{Zn}(\text{CO}_3)_2]^{2-}$, $[\text{ZnHCO}_3]^+$ a ve vodách s vysokou koncentrací síranů též sulfatokomplex $[\text{ZnSO}_4(\text{aq})]^0$. Kromě toho jsou známy i chlorokomplexy a fosfátokomplexy. V průmyslových odpadních vodách přicházejí v úvahu kyanokomplexy a aminkomplexy. Zinek tvoří i komplexy s organickými látkami přítomnými v přírodních vodách. Ve vodách je rozpustnost zinku limitována zejména rozpustností ZnCO_3 , $\text{Zn}_5(\text{OH})_6(\text{CO}_3)_2$, nebo v silněji alkalické oblasti $\text{Zn}(\text{OH})_2$.

Zinek patří mezi esenciální stopové prvky pro lidi, zvířata i rostliny. Doporučený denní příjem pro dospělé osoby je 10 mg až 20 mg. Zinek je součástí některých enzymů. V krvi je zinek ze 75 % vázán v plazmě, z 22 % na erytrocytech a ze 3 % na leukocytech⁴. Pro člověka se považuje koncentrace zinku ve vodě 30 mg l^{-1} za prahovou hranici toxicity. Onemocnění způsobená požíváním vody s obsahem zinku nejsou známa. Ve vyšších koncentracích způsobuje svíravou chuť vody. Zinek je ovšem značně toxický pro ryby a další vodní organismy. Jde o koncentrace pohybující se řádově již v desetínách mg l^{-1} .

Při průmyslové expozici je nejznámějším a nejčastějším toxickým projevem vdechování jemného prашného aerosolu zinku, projevující se pocitem malátnosti, bolestí hlavy, škrábáním v krku a dráždivým kašlem.

Metody odstraňování sloučenin kovů z vod

Pro odstraňování sloučenin kovů z vod je využívána řada postupů. Obecně je možné pro odstraňování sloučenin kovů z vod použít procesy iontové výměny, membránové procesy, srážecí postupy a adsorpci. Účinným řešením odstraňování některých organických i anorganických polutantů z vody je adsorpce^{5–9}. Pro adsorpci je vyvíjena celá řada moderních adsorpčních materiálů (aktivní uhlí, aktivní koks, uhlíkatá molekulová síta, uhlíkové tkaniny, iontovýmenné pryskyřice, hydroxid hořečnatý), jejichž účinnost je poměrně vysoká, ale nevýhodou je vysoká cena. Další možností je využití přírodních sorbentů (hnědé a černé uhlí, humáty železa, rašelina, kůra, huminové kyseliny, řasy, atd.), jejichž cena je nesrovnatelně nižší, nicméně sorpční kapacita je omezená. Z tohoto hlediska se jako vhodné jeví zeolity (syntetické i přírodní).

Cíl práce

V práci byla pozornost zaměřena na využití hydroxidu hořečnatého jako adsorpčního činidla pro odstraňování sloučenin mědi a zinku z vod. Práce byla zaměřena na snížení koncentrace mědi a zinku ze třech typů vod.

Experimentální část

Adsorbent: hydroxid hořečnatý s obsahem $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 99,5 %. Základní charakteristiky sorbentu jsou uvedeny v tabulce II.

Vzorky vod: Adsorpční účinnost hydroxidu hořečnatého byla sledována v modelovém vzorku připraveném z destilované vody, dále ve vzorku podzemní vody z lokality Praha Liboc a ve vzorku vltavské vody odebrané v Praze. Testované vzorky vod vykazovaly relativně nízké koncentrace sledovaných kovů, složení je uvedeno v tabulce III, a proto byl obsah sloučenin mědi a zinku uměle navýšen přidávkou roztoků $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3 \text{ H}_2\text{O}$ a $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$ o koncentraci 1 mol l^{-1} . Adsorpce sloučenin mědi a zinku na hydroxidu hořečnatém byla tedy sledována pro vodu destilovanou, podzemní a vodu říční o koncentraci sloučenin

Tabulka II
Základní charakteristiky hydroxidu hořečnatého

Ukazatel	$\text{Mg}(\text{OH})_2$
Velikost částic, μm	0,9–1,6
Specifický povrch, $\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$	6–9
Relativní molekulová hmotnost, g mol^{-1}	58,32
Součin rozpustnosti, $\log K_s$	–10,8

Tabulka III
Základní složení podzemní a vltavské vody

Ukazatel	Podzemní voda	Vltavská voda
pH	7,2	7,6
CHSK _{Mn} , mg l ⁻¹	0,76	6,6
KNK _{4,5} , mmol l ⁻¹	2,35	1,0
ΣCa+Mg, mmol l ⁻¹	2,45	1,08
K, mg l ⁻¹	9,03	4,6
Na, mg l ⁻¹	28,7	14,7
Cl ⁻ , mg l ⁻¹	65,4	20,3
SO ₄ ²⁻ , mg l ⁻¹	83,8	35,6
Fe, mg l ⁻¹	0,125	< 0,01
NO ₃ ⁻ , mg l ⁻¹	48,6	17,5
Konduktivita, μs cm ⁻¹	62,2	306
Zn, mg l ⁻¹	0,037	0,904
Cu, mg l ⁻¹	0,015	0,014
Iontová síla, mmol l ⁻¹	10,6	6,0

Cu a Zn asi 5 mg l⁻¹ (počítáno jako Cu a Zn).

Při měření byly vyhodnocovány následující veličiny:

Adsorpční účinnost E [%] jako procentuální odstranění sloučenin kovu (Cu nebo Zn) z vodného roztoku po ustavení adsorpční rovnováhy. Účinnost byla počítána ze vztahu:

$$E = \frac{C_0 - C_r}{C_0} \cdot 100 \quad (1)$$

kde C_0 je počáteční koncentrace a C_r rovnovážná koncentrace kovu v mg l⁻¹ nebo v mmol l⁻¹.

Adsorpční kapacita sorbentu vyjadřuje množství Cu nebo Zn, které se adsorbuje v rovnovážném stavu na 1 g adsorbentu. Byla vypočítávána ze vztahu:

$$a = \frac{V}{m} (C_0 - C_r) \quad (2)$$

kde a [mg g⁻¹] je adsorpční kapacita, V je objem použitého roztoku [l] a m je hmotnost adsorbentu [g].

Zpracování výsledků měření

K zpracování výsledků byly použity adsorpční izotermy:

Langmuirova izoterma (izoterma pro jednovrstvou adsorpci na homogenním povrchu)

$$a = a_m \cdot \frac{bC_r}{1 + bC_r} \quad (3)$$

kde a_m je maximální adsorpční kapacita (zcela nasycené monovrstvy) v mg g⁻¹ a b je rovnovážná konstanta v l mg⁻¹. Freundlichova izoterma (izoterma pro adsorpci na neho-

mogenním povrchu)

$$a = K \cdot C_r^{1/n} \quad (4)$$

kde K [l g⁻¹] a n [-] jsou konstanty izotermy.

Hodnoty konstant a_m , b , K a n byly vyhodnoceny z experimentálních dat s využitím metod nelineární regrese^{10,11} nebo s využitím transformace na linearizovaný tvar.

V případě Langmuirovy izotermy byl použit vztah (5) a (6).

$$\frac{C_r}{a} = \frac{1}{a_m b} + \frac{1}{a_m} \cdot C_r \quad (5)$$

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{a_m} + \frac{1}{a_m b} \cdot \frac{1}{C_r} \quad (6)$$

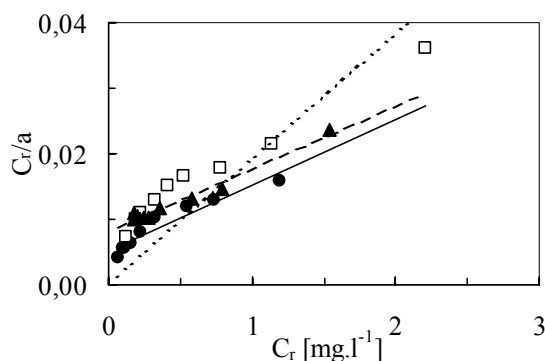
V případě Freundlichovy izotermy vztah (7).

$$\log a = \log K + 1/n \log C_r \quad (7)$$

Výsledky a diskuse

Popis adsorpce sloučenin mědi a zinku na hydroxidu hořečnatém

Konstanty Langmuirovy a Freundlichovy izotermy popisující adsorpci sloučenin Cu a Zn z různých typů vod na hydroxidu hořečnatém jsou uvedeny v tabulkách IV až VII. Výpočet byl proveden jak užitím vztahů pro nelineární regresi, tak pro lineární regresi (s využitím rovnic (5), (6) a (7)). Jako příklad je na obr. 1 uvedena linearizace Langmuirovy izotermy pomocí rovnice (5) pro Cu a všechny testované vody. Vliv použité metody vyhodno-

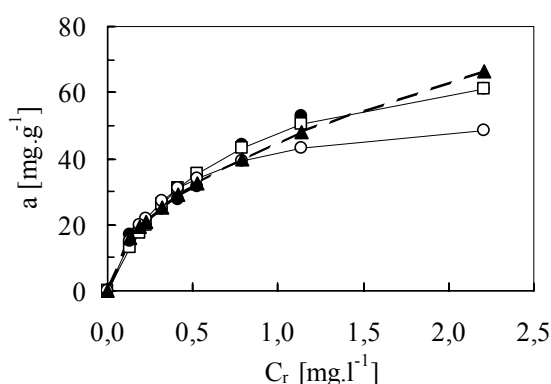
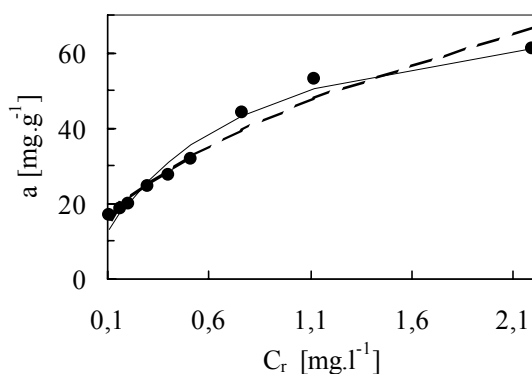


Obr. 1. Výsledky vyhodnocení naměřených hodnot při použití linearizovaného tvaru Langmuirovy izotermy (body představují naměřené hodnoty, křivky hodnoty vypočítané z izotermy); ● destilovaná voda (plná křivka), □ podzemní voda (čárkovaná křivka), ▲ říční voda (tečkovaná křivka)

Tabulka IV

Konstanty Langmuirovy a Freundlichovy izotermy pro sloučeniny mědi (Cu) – nelineární regrese

Parametr	Jednotka	Typ vody		
		destilovaná	podzemní	říční
a_m	mg g^{-1}	109,3	81,3	103,3
Interval hodnot		79,4–174,7	68,02–98,9	89,2–121,5
b	l mg^{-1}	1,56	1,43	1,23
Interval hodnot		0,69–3,27	0,96–2,19	0,92–2,42
K	l g^{-1}	67,0	44,5	54,6
Interval hodnot		63,6–70,4	40,8–48,2	48,7–60,4
n	–	0,577	0,475	0,575
Interval hodnot		0,520–0,636	0,380–0,570	0,451–0,703

Obr. 2. Adsorpční izotermy sloučenin Cu na Mg(OH)_2 – podzemní voda; ● experimentální data, □ — rovnice 5, ○ — rovnice 6, ▲ — rovnice 7Obr. 3. Adsorpční izotermy sloučenin Cu na Mg(OH)_2 – podzemní voda; ● experimentální data, — nelineární regrese – Langmuirova izoterma, --- nelineární regrese – Freundlichova izoterma

cení (lineární a nelineární regrese) na hodnoty konstant a na přesnost ilustrují obr. 2 až 4.

Z výsledků vyplynulo, že nejnižší hodnoty konstant

K a a_m pro adsorpci mědi byly získány pro podzemní vodu, nejvyšší hodnoty byly získány pro modelové vzorky připravené z destilované vody. Hodnoty konstanty b při užití vztahu (5) byly pro všechny typy vod srovnatelné, pohybovaly se v intervalu 1,16 až 1,98 (tabulka V). Tento poznatek naznačuje, že adsorpční vlastnosti hydroxidu hořečnatého nejsou ovlivněny počáteční koncentrací kovu v roztoku (testovaný rozsah 0–200 mg l^{-1} Cu). Při užití linearizovaného vztahu (6) byly hodnoty konstanty b významně rozdílné, resp. pohybovaly se v intervalu 0,84 až 4,71.

V případě adsorpce zinku hodnoty K a a_m klesaly od destilované vody po vodu říční, hodnoty b vykazovaly opačný trend, stejně tak i konstanta n Freundlichovy rovnice.

Porovnáním hodnot vypočtených užitím nelineární regrese a linearizovaných vztahů pro adsorpci Cu a Zn z vodných roztoků lze konstatovat, že chybných výsledků bylo dosaženo ze vztahu (6), kdy získané hodnoty a_m a b leží mimo konfidenční interval (tabulky IV a V pro Cu a tabulky VI a VII pro Zn).

Konstanta K Freundlichovy izotermy vypočtená pro Cu z rovnice (7) se od vypočtené hodnoty K uvedené v tabulce IV liší max. o 5 %. Pro Zn (tabulka VI) je rozdíl max. 3 %. Významně odlišná je však hodnota konstanty n , která je cca čtyřnásobkem hodnoty získané z nelineární regrese a uvedené v tabulce IV pro Cu, pro Zn je to obdobné, pouze pro říční vodu to je až 16-ti násobek. V obou případech porovnání hodnota n leží mimo konfidenčního intervalu.

Tabulka V

Konstanty Langmuirovy a Freundlichovy izotermy pro sloučeniny Cu získané z linearizovaných vztahů

Typ vody	rovnice 5		rovnice 6		rovnice 7	
	a_m [mg g^{-1}]	b [l mg^{-1}]	a_m [mg g^{-1}]	b [l mg^{-1}]	n [–]	K [l g^{-1}]
Destilovaná	99,010	1,980	60,606	4,714	1,851	64,700
Podzemní	78,740	1,549	56,180	2,918	1,997	44,771
Říční	105,263	1,158	133,333	0,843	1,517	57,505

Tabulka VI

Konstanty Langmuirovy a Freundlichovy izotermy pro sloučeniny Zn – nelineární regrese

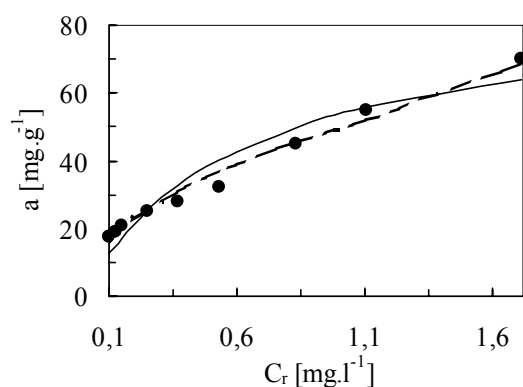
Parametr	Jednotka	Typ vody		
		destilovaná	podzemní	říční
a_m	mg g^{-1}	100,1	93,6	37,1
Interval hodnot		71,5–163,8	64,3–172,1	32,9–41,5
b	l mg^{-1}	1,19	1,33	3,98
Interval hodnot		0,51–2,42	0,43–3,36	2,26–6,48
K	l g^{-1}	52,3	51,2	27,4
Interval hodnot		49,9–54,8	48,1–54,2	26,8–27,9
n	–	0,564	0,534	0,246
Interval hodnot		0,490–0,628	0,455–0,618	0,225–0,267

Maximální absorbovatelné množství

Maximální adsorbované množství sloučenin mědi (počítáno jako Cu) na hydroxid hořečnatý bylo cca 100 mg g^{-1} a pro sloučeniny zinku (počítáno jako Zn) cca 50 mg g^{-1} , přičemž toto množství významně záviselo na druhu vody. Hodnota adsorpční kapacity pro Zn a říční vodu byla cca třetinová ve srovnání s vodou podzemní.

Kvantitativní popis adsorpce

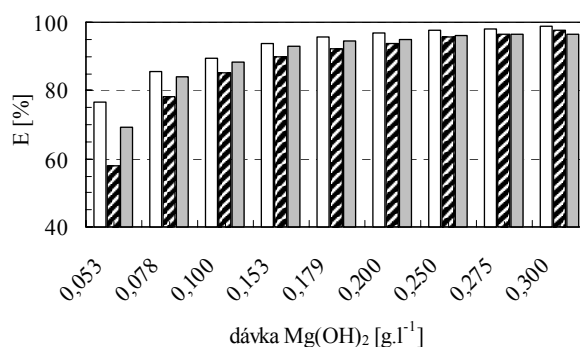
Adsorpci sloučenin Cu a Zn na hydroxidu hořečnatém lze popsat jak Freundlichovou, tak Langmuirovou izotermou, přičemž na výsledek hodnocení nemá významný vliv, zda byla použita nelineární regrese nebo lineární regrese. Adsorpční izotermy pro sloučeniny mědi jsou uvedeny na obr. 2 a 3, pro sloučeniny zinku na obr. 4. Na obrázcích je uvedeno porovnání naměřených rovnovážných koncentrací sloučenin mědi a zinku pro podzemní vodu s koncentracemi vypočítanými z linearizovaných tvarů adsorpčních izoterm (pomocí rovnic (5), (6) a (7) –



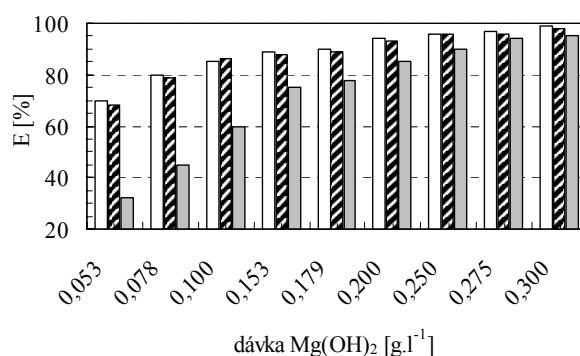
Obr. 4. Adsorpční izotermy sloučenin Zn na $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – podzemní voda; • experimentální data, — nelineární regrese – Langmuirova izoterma, --- nelineární regrese – Freundlichova izoterma

obr. 2) a ze vztahů pro nelineární regrese – obr. 3 a 4.

Z mnoha praktických aplikací využití adsorpce je známe, že na účinnost odstranění adsorbátu má významný vliv i množství použitého sorbentu. (Tento výrok podtrhuje to, co obecně platí pro adsorpci a co je vlastně samozřejmost. Souvisí to s celkovou bilancí adsorpce). Vliv použi-



Obr. 5. Závislost účinnosti odstranění sloučenin Cu na dávce $\text{Mg}(\text{OH})_2$; □ destilovaná voda, ■ podzemní voda, ▨ říční voda



Obr. 6. Závislost účinnosti odstranění sloučenin Zn na dávce $\text{Mg}(\text{OH})_2$; □ destilovaná voda, ■ podzemní voda, ▨ říční voda

Tabulka VII

Konstanty Langmuirovy a Freundlichovy izotermy pro sloučeniny Zn získané z linearizovaných vztahů

Typ vody	rovnice 5		rovnice 6		rovnice 7	
	$a_m [\text{mg g}^{-1}]$	$b [\text{l mg}^{-1}]$	$a_m [\text{mg g}^{-1}]$	$b [\text{l mg}^{-1}]$	$n [-]$	$K [\text{l g}^{-1}]$
Destilovaná	90,090	1,521	55,249	3,851	1,936	50,757
Podzemní	86,207	1,657	55,249	4,114	2,075	49,716
Říční	38,610	3,321	34,965	5,107	4,045	27,346

tého množství adsorbentu na stupeň odstranění sloučenin Cu a Zn je uveden na obr. 5 a 6. Pro měď je adsorpční účinnost vyrovnána pro všechny typy vod, avšak pro zinek je účinnost významně snížena v říční vodě, a to především při nižších dávkách sorbentu. Vysvětlení lze hledat v přítomnosti ostatních iontů kovů, které mohou být konkurenčně, přednostně sorbovány před zinkem. Dávka sorbentu $0,15 \text{ g l}^{-1}$ vykazuje větší než 90% účinnost odstranění mědi, a to ze všech typů vod. Zinek je s touto účinností a při téže dávce odstraněn pouze z destilované vody. Z podzemní vody vykazuje srovnatelná dávka pouze 85% účinnost. Byla-li použita dávka sorbentu vyšší jak $0,25 \text{ g l}^{-1}$, účinnost odstranění pro oba kovy byla větší než 95 %. V průběhu adsorpčních testů bylo z důvodu alkalického charakteru sorbentu pozorováno i nepatrné zvýšení hodnoty pH. Navýšení bylo maximálně zaznamenáno o 0,5 pH pro Cu a 0,8 pro Zn. V případě Cu se ve sledovaném rozsahu dávek sorbentu $0,05$ až $0,3 \text{ g l}^{-1}$ jednalo o navýšení hodnoty pH z 6,75 na 7,08 u destilované vody, ze 7,7 na 8,0 v případě podzemní vody a ze 7,30 na 7,80 u říční vody. V přítomnosti Zn byla zvýšena hodnota pH v destilované vodě ze 6,50 na 7,30, v podzemní vodě z 7,80 na 8,53 a ve vodě říční z hodnoty 7,63 na 8,42.

Závěr

Hydroxid hořečnatý je účinným adsorbentem pro odstraňování sloučenin mědi a zinku z vodných roztoků. Jeho adsorpční kapacita je vyšší pro sloučeniny Cu^{2+} než pro sloučeniny Zn^{2+} (asi 100 mg g^{-1} pro Cu a asi 50 mg g^{-1} pro Zn). Adsorpci lze popsat jak Langmuirovou, tak Freundlichovou izotermou. Dávka hydroxidu hořečnatého od $0,2 \text{ g l}^{-1}$ umožňuje dosáhnout účinnosti odstranění Cu a Zn vyšší jak 90 %.

LITERATURA

1. Nařízení vlády č. 61/2003 Sb., *O ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových a odpadních vod*. Praha 2003.
2. *Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody*. Praha 2004.
3. Bencko V., Cikrt M., Lener J.: *Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka*. GRADA, Praha 1995.
4. Sollman T.: *A manual of pharmacology*, 8. ed. Phil. W. B. Saunders Co., London 1957.
5. Dimitrova S. V.: *Water Res.* 30, 228 (1996).
6. Ricou P., Lécuyer I., Le Cloirec P.: *Wat. Sci. Technol.* 39, 239 (1999).
7. Cheung C. W., Porter J. F., McKay G.: *Sep. Purif. Technol.* 19, 55 (2000).
8. Ringqvist L., Öborn I.: *Wat. Res.* 36, 2233 (2002).
9. Monser L., Adhoum N.: *Sep. Purif. Technol.* 26, 137 (2002).
10. Origin 6.0 professional: www.origin.lab.com, staženo 6. září 2003.
11. Zámotný P., Bělohav Z.: *Comput. Chem.* 23, 479 (1999).
12. Wan Ngah W. S., Endud C. S., Mayanar R.: *React. Function. Polym.* 50, 181 (2002).

N. Strnadová and D. Matějková (*Department of Water Technology and Environment, Institute of Chemical Technology, Prague*): **Adsorption of Copper and Zinc from Aqueous Solution on $\text{Mg}(\text{OH})_2$**

$\text{Mg}(\text{OH})_2$ was shown to be efficient in removal of copper and zinc from aqueous solutions. Metal removal capacity of $\text{Mg}(\text{OH})_2$ for Cu^{2+} was higher than that for Zn^{2+} . Adsorption data for copper and zinc in batch systems have been obtained. The Langmuir and Freundlich isotherm models adequately describe the adsorption process. The measured data obey the Freundlich isotherm in all cases. The use of a non-linear curve or Origin 6.0 Professional is of advantage because it is possible to calculate the Langmuir isotherm constants directly from the measured equilibrium concentrations.