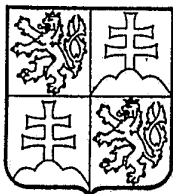


ČESKÁ A SLOVENSKÁ
FEDERATIVNÍ
REPUBLIKA
(19)



FEDERÁLNÍ ÚŘAD
PRO VYNÁLEZY

POPIS VYNÁLEZU

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

273 299

(21) PV 123-89.N
(22) Přihlášeno 06 01 89

(40) Zveřejněno 11 04 90
(45) Vydáno 20 01 92

(11)

(13) B1

(51) Int. Cl.⁵
B 01 D 59/26

(75) Autor vynálezu DRÁBEK KAREL prom.geol.,
KALOUSKOVÁ JANA MUDr. CSc., PRAHA

(54) Sorbent pro odstraňování škodlivin
z vodných roztoků

(57) Řešení se týká použití uhelných kalů jako sorbentů pro odstraňování iontů těžkých kovů, radionuklidů, popřípadě některých organických látek z vodných roztoků, kontaminovaných a odpadních vod. Podstata řešení spočívá v tom, že jako sorbent pro odstranění škodlivin z vodných roztoků se použijí uhelné kaly, odpadový produkt technologie úpravy uhlí, v množství 1 až 100 g.l⁻¹, přičemž sorpce probíhá při teplotě 4 °C a vyšší a při pH větším než 3. Uhlenné kaly je možno použít bez předchozí úpravy ve velkých objemech pro zachycování iontů těžkých kovů, radionuklidů a některých organických látek z odpadních vod hutních, chemických, metalurgických a zemědělských provozů, při čištění vod včetně vodních toků a nádrží, dále všude tam, kde je potřebné odstranit tyto škodliviny z vodných roztoků a - vzhledem ke značným zásobám uhelných kalů - i při ekologických haváriích, při kterých se do vod uvolní radioaktivní prvky nebo těžké kovy.

Vynález se týká použití uhelných kalů jako sorbentu pro odstraňování iontů těžkých kovů, radionuklidů, popřípadě některých organických látek z vodných roztoků, odpadních a kontaminovaných vod.

Průmyslové exhalace a odpady, spalování fosilních paliv a chemizace zemědělství způsobují stále vzrůstající znečištění životního prostředí těžkými kovy; mnohdy dochází k nekontrolovaným únikům škodlivin, znamenajícím ekologické havárie. (Environmental Health Criteria 1. Mercury, WHO, Ženeva 1976; Heavy Metals in the Environment, Commission of European Communities Consultants Ltd., Edinburg 1983). Schopnost nižších organismů kumulovat těžké kovy může znehodnocovat produkty biotechnologií (Horikoshi T., Nakajima A., Sakagushi T., Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol. 12, 90, 1981; Cibulka a kol., Pohyb kadmia, olova a rtuti v zemědělské výrobě a biosféře, MZV ČSR, STN, Praha 1986). S přibývajícím počtem jaderných provozů se zvyšuje i nebezpečí úniku radioaktivních látek do prostředí. V důsledku toho se likvidace škodlivin z prostředí stává stále naléhavějším úkolem.

K odstraňování těžkých kovů, eventuálně radionuklidů, z vodných roztoků byla vyvinuta řada způsobů, které je zhruba možno rozdělit do tří skupin. Prvá z nich je založena na principu srážení a spolusrážení, například železnatými nebo železitými ionty (CS č. 225 793, US č. 4 680 126, GB č. 1 560 644), hořečnatými ionty (US č. 4 419 246, pomocí pyritu (US č. 4 422 943)) nebo triethiokarbonátem (US č. 4 612 125).

Druhá skupina metod využívá iontoměničů, například zeolitů (GB č. 2 181 424 A) a třetí skupina zahrnuje sorpce. Byla navržena řada sorbentů, využívajících například aktivního uhlí nebo uhlíku (US č. 1 11 207, CS č. 191 779), keramických materiálů (GB č. 197 113 A), řas (CS č. 114 613), mycelií vláknitých hub (CS č. 184 471), řas a vyšších rostlin (CS č. 201 705), dále sorbentů na bázi ligninu (CS č. 227 470), chitinu a chitosanu (US č. 3 533 940, US č. 3 635 818), přírodně se vyskytujícího chitinového materiálu (CS č. 212 794) nebo jehličí (CS č. 242 324). Mnoho metod využívá kombinace uvedených postupů.

Hlavní nevýhodou uvedených způsobů odstraňování těžkých kovů eventuálně radionuklidů z vodných roztoků je jednak ekonomická náročnost, jednak nemožnost získat sorbent v dostatečném množství. To omezuje použití ve velkých objemech a téměř vylučuje použití v případech havarijních situací.

Tyto nevýhody odstraňuje v podstatné míře použití uhelných kalů jako sorbentů ke snižování koncentrace těžkých kovů a radionuklidů z vodných roztoků.

Uhelné kaly jsou směsí uhlí a doprovodných hornin z okolí sloje, tedy jílu, jílovců, tufů nebo tufitů. Jsou odpadovým produktem při úpravě uhlí, jejich velké zásoby jsou depozovány u jednotlivých uhelných dolů. Jedná se tedy o materiál snadno dostupný ve značných objemech. Technologie úpravy uhlí zaručuje, že směs má relativně malou zrnitost. Podmínky vzniku uhelných slojí většinou způsobují značnou stálost jejich vlastností a návazně i stálost vlastností uhelných kalů. Rozdíl na sorpce těžkých kovů na uhelnou hmotu a doprovodné horniny byla využita pro zobrazování struktur hornin a fosilií.

Výhodou uhelných kalů je nejen sorpční schopnost uhlené hmoty, daná velkým sorpčním povrchem, obsahem huminových kyselin a dalších látek vhodných vlastností, ale i iontově-výměnný charakter přítomné minerální složky. Z tohoto důvodu jsou kaly pro odstraňování škodlivin z roztoků účinnější, než čisté mleté uhlí. Tuto skutečnost dokumentuje graf č. 1, kde byl sledován úbytek rtuti z vodného roztoku o koncentraci $4 \text{ mmol Hg}^{2+} \cdot \text{l}^{-1}$ (800 mg $\text{Hg}^{2+} \cdot \text{l}^{-1}$) působením aktivního uhlí, černého a hnědého uhlí a uhelných kalů v průběhu 24 hodin při teplotě 4°C a pH 5,5 bez míchání vzorku.

Sorpční kapacita kalů není výrazně ovlivněna zrnitostí, proto se kaly dají používat bez dalších nákladných úprav.

Uhelné kaly z různých lokalit mají rozdílné zastoupení uhelné a minerální složky, liší se i pH vodného výluhu, což ovlivňuje sorpční a iontově-výměnnou kapacitu a afinitu k různým iontům. Například ze slovenského terciéru (lokalita Cigeľ) se svým charakterem více blíží aktivnímu uhlí, zatímco kaly ze středočeského karbonu (Kladno, důl Gottwald I) a severočeského terciéru (Komořany) mají výraznější iontově-výměnné vlastnosti.

Sorpce těžkých kovů na uhelné kaly probíhá i při nízké hodnotě pH; přitom u kalů s výraznějšími iontově-výměnnými vlastnostmi lze jejich sorpční kapacitu několikanásobně zvýšit úpravou pH sorbovaného roztoku na vyšší hodnotu a naopak snížením pH do silně kyselé oblasti zvýšit několikanásobně schopnost desorpce. U kalů s vlastnostmi podobnými aktivnímu uhlí nemá pH na sorpci a desorpci výrazný vliv.

Těžké kovy se v materiálu kalů váží jak adsorpcí na povrch, tak i elektrostatickými interakcemi s neuhelnou složkou. Ionty Hg^{2+} jsou vzhledem k velikosti iontového poloměru a náboji vázány pevně všemi testovanými kaly a v destilované vodě, tj. při pH 5,5, nedochází téměř k jejich desorpci. V rozmezí koncentrací 0,0004 až 4,0 $\mu\text{mol Hg}^{2+}/\text{g}$ kalů je týdenní desorpce při pH 5,5 zanedbatelná, v rozmezí koncentrací 20 až 100 $\mu\text{mol Hg}^{2+}/\text{g}$ kalů se při stejném pH za týden uvolní do vody maximálně 4% Hg^{2+} . Okyselení na pH = 1 desorpci Hg několikanásobně (3 až 6krát) zvýší, přítomnost iontů, například Na^+ , zvyšuje desorpci Hg^{2+} méně výrazně (0 až 3krát) v závislosti na podílu iontově-výměnné složky užitých kalů.

Vazba iontů Cd^{2+} a Zn^{2+} v uhelných kalech je méně stabilní. Desorpce ve vodě při pH 5,5 je v rozmezí koncentrací 0,04 až 4 $\mu\text{mol Cd}^{2+}/\text{g}$ kalů maximálně 4 % za 7 dní, v rozmezí koncentrací 20 až 100 $\mu\text{mol Cd}^{2+}/\text{g}$ kalů dosahuje při stejném pH až 40 % 7 dní; desorpce je také výrazně závislá na podílu iontově-výměnné složky kalů. Okyselení na pH = 1 desorpci Cd^{2+} zdvojnásobí až ztrojnásobí, zvýšení desorpce Cd^{2+} po přidání Na^+ iontů je zanedbatelné. Podobné charakteristiky, které jsou podstatné pro eventuální možnost regenerace kalů k opakovanému použití, platí i pro zinečnaté kationty.

Vzhledem k vlastnostem iontů Hg^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} a skutečnosti, že kaly zachytávají i některé organické molekuly typu albuminu, lze očekávat, že budou analogicky sorbovat i další kationty, zejména těžkých kovů a vázaných zemin.

Sorpce na uhelné kaly probíhá i při teplotě +4 °C. Vzhledem k vysoké tepelné odolnosti kalů není zvyšování teploty sorpčního média limitujícím faktorem, naopak by vedlo ke snížení viskozity a zvýšení difuze, a tím ke zvýšení rychlosti sorpce.

Sorpci je možno také urychlit mícháním, vířením sorbentu v tekutině; optimální je průtok sorbované tekutiny vrstvou kalů. Uhelné kaly mají vyšší specifickou hmotnost než aktivní uhlí. Z tohoto důvodu, i když je jejich sorpční kapacita v mnoha případech srovnatelná s kapacitou aktivního uhlí, probíhá sorpce na kaly v klidu pomaleji.

Pomocí uhlených kalů je možno snížit hladinu toxických látek ve vodných roztocích na biologicky a ekologicky neškodnou úroveň, odpovídající ČSN. Silně znečištěné roztoky je možno zbavit nežádoucích škodlivin opakovanou nebo protiproudovou sorpcí. Zásoby uhelných kalů jsou velké a jsou neustále doplňovány, cena je nejméně 1 000krát nižší, než co na aktivního uhlí.

Blíže podrobnosti o podstatě vynálezu použití uhelných kalů jako sorbentu vyplývají z následujících příkladů.

Příklad 1

Do dvaceti zkumavek se odměří po 2 ml roztoku chloridu rtuťnatého v destilované vodě, značeného radionuklidem ^{203}Hg , o koncentraci 0,04 mmol $\text{Hg}^{2+} \cdot \text{l}^{-1}$ a specifické radioaktivitě 1,7 MBq $\cdot \text{l}^{-1}$. Uhelné kaly z jednotlivých lokalit (středočeský karbon - Kladno, severočeský terciér - Komořany, slovenský terciér - Cigeľ) a aktivní uhlí se zbaví hrubších částic a upraví na zrnitost méně než 315 mesh. Vždy do skupiny pěti zkumavek se přidá na vážka 200 mg kalů nebo aktivního uhlí. Roztok rtuť se promíchá se sorbentem a ponechá

v klidu při teplotě 18 až 22 °C po dobu 24 hodin. Potom se vzorky centrifugují při 3 000 otáček/min. po dobu 10 minut a odebere se 1 ml roztoku na měření radioaktivity. Sorbent se dvakrát promyje destilovanou vodou, znovu centrifuguje a v promytém sorbentu se také změří radioaktivita na automatickém detektoru záření gama. Výsledky úbytku radioaktivity v roztoku, vyjádřené v kBq.ml⁻¹, jsou uvedeny v tab. č. 1.

Příklad 2

Postup i podmínky sorpce stejné jako v případě 1, užiije se roztok chloridu kademnatého, značený radionuklidem ^{115m}Cd, v destilované vodě o koncentraci 0,04 mmol Cd²⁺.l⁻¹ a specifické radioaktivitě 20,9 MBq.l⁻¹. Výsledky úbytku radioaktivity, vyjádřené v kBq.ml⁻¹, jsou uvedeny v tab. č. 2.

Příklad 3

Do zkumavek se odměří 2 ml roztoku chloridu rtuťnatého v destilované vodě, značeného radionuklidem ²⁰³Hg, o koncentracích 0,0004, 0,004, 0,04, 0,4, 4 a 20 mmol Hg²⁺.l⁻¹. Příprava sorbentů i podmínky sorpce stejné jako v příkladu 1, množství Hg²⁺ zachycené sorbentem při jednotlivých koncentracích Hg²⁺ v roztoku, vyjádřené v μmol Hg²⁺.g⁻¹, jsou uvedeny v tab. č. 3a, množství Hg²⁺ zbylé v roztoku, vyjádřené v procentech z celkového původního množství Hg²⁺ v roztoku, jsou uvedeny v tab. č. 3.

Příklad 4

Postup i podmínky sorpce stejné, jako v příkladu 3, užiije se vodný roztok chloridu kademnatého, značený radionuklidem ^{115m}Cd, o koncentracích 0,004, 0,04, 0,4, 4, 20 mmol Cd²⁺.l⁻¹. Výsledky jsou uvedeny v tab. 4a, 4b.

Příklad 5

Postup i podmínky stejné jako v příkladu 3, užiije se vodný roztok chloridu zinečnatého, značený radionuklidem ⁶⁵Zn o koncentracích 4 a 20 mmol Zn²⁺.l⁻¹. Výsledky jsou uvedeny v tab. 5a, 5b.

Příklad 6

Postup i podmínky stejné jako v příkladu 3, použije se vodný roztok albuminu, značený radionuklidem ¹²⁵I, o koncentraci 100 mg albuminu.l⁻¹. Výsledky jsou uvedeny v tab. č. 6.

Příklad 7

Do dvaceti zkumavek se odměří po 5 ml výluhu celulózy v Paskově s přidaným roztokem chloridu kademnatého tak, že výsledná koncentrace je 0,004 mmol přidaného Cd²⁺.l⁻¹ výluhu; pH výluhu je 3,5. Do dvaceti dalších zkumavek se odměří stejné množství výluhu se stejnou koncentrací přidaného Cd²⁺, pH se však upraví pomocí louhu sodného na 9,5. Přidání sorbentů, podmínky sorpce a zpracování vzorků pro měření stejné jako v příkladu 1. Množství Cd²⁺, zachycené sorbentem při pH 3,5 a 9,5, vyjádřené v procentech z celkového množství Cd²⁺, přidaného k výluhu z celulózy, je uvedeno v tab. 7.

Příklad 8

Do dvaceti zkumavek se odměří 4,2 ml výluhu z celulózy, obsahující Cd²⁺, přidané ve formě roztoku chloridu kademnatého; výsledná koncentrace Cd²⁺ je 0,0037 mmol.l⁻¹ výluhu. Přidá se 200 mg sorbentu o zrnitosti menší než 315 mesh, vzorky se promíchají a ponechají v klidu při teplotě 18 až 22 °C po dobu 24 hodin, potom se centrifugují při 3 000 otáček/min. po dobu 10 minut a výluh se přelije do další zkumavky, obsahující 200 mg čerstvého sorbentu. Po dalších 24 hodinách se postup ještě jednou zopakuje. Celková doba

sorpce je 3 x 24 hodin, celkové množství užitého sorbentu 600 mg. Celkové množství Cd^{2+} , zachycené sorbenty z opakované sorpce, vyjádřené v procentech z celkového množství Cd^{2+} přidaného k výluhu, a množství Cd^{2+} , zbývajících ve výluhu, jsou uvedena v tab. 8.

Příklad 9

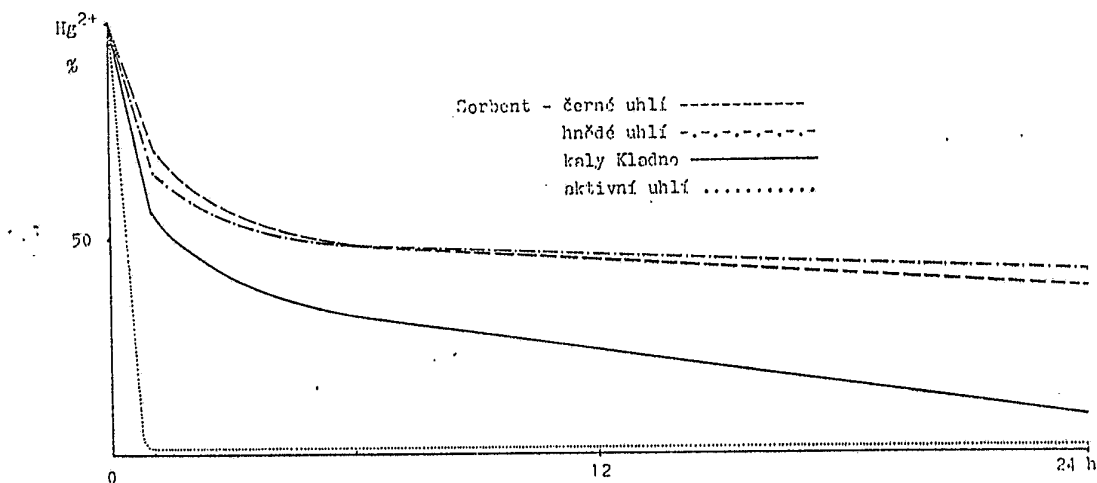
Do zkumavek se odměří 2 ml roztoku chloridu rtuťnatého, značeného radionuklidem ^{203}Hg , o koncentraci 20 mmol.l^{-1} . Přidají se sorbenty - uhelné kaly z různých lokalit (viz příklad 1) a aktivní uhlí v navážce 200 mg. Roztok se sorbenty se promíchá a ponechá v klidu po dobu 4 hodin při teplotě 18 až 22 °C. Potom se vzorky centrifugují 10 minut při 3 000 otáček/min., zjistí se množství Hg^{2+} v sorbentech a provede se desorpce následujícím způsobem: ke třetině vzorků se přidají 2 ml destilované vody, pH = 5,5, k další třetině 0,1 N kyselina chlorovodíková (2 ml, pH = 1) a k poslední třetině 2 ml 0,01 M chloridu sodného. Vzorky se ponechají v klidu při teplotě 18 až 22 °C po dobu 72 hodin. Potom se centrifugují při 3 000 otáček/min. po dobu 10 minut a odebere se alikvot pro stanovení množství uvolněné rtuť. Výsledky sorpce i desorpce Hg^{2+} jsou uvedeny v tab. 9.

Příklad 10

Postup i podmínky stejné jako v příkladu 9, použije se vodný roztok chloridu kadmátového, značený radionuklidem ^{115m}Cd , o koncentraci $20 \text{ mmol Cd}^{2+}.\text{l}^{-1}$. Výsledky sorpce i desorpce Cd^{2+} jsou uvedeny v tab. 10.

Graf 1

Časový průběh sorpce Hg^{2+} při teplotě 4 °C, pH 5,5



Tab. 1

Množství radionuklidu $^{203}\text{Hg}^{2+}$ zbývajících v roztoku po sorpci uhelnými kaly nebo aktivním uhlím

Sorpce 24 h, teplota 18 až 22 °C; n = 5

Množství radioaktivity zbývající v roztoku po sorpci [kBq . ml⁻¹]
(průměr ± SE)

Výchozí radioaktivita [MBq . l ⁻¹]	1,7
Kaly - Kladno	0,12 ± 0,02
Komořany	0,03 ± 0,01
Cigelf	0,07 ± 0,01
Aktivní uhlí	0,13 ± 0,02

Tab. 2

Množství radionuklidu ^{115m}Cd²⁺ zbývající v roztoku po sorpci uhelnými kaly nebo aktivním uhlím
Sorpce 24 h, teplota 18 až 22 °C; n = 5

Množství radioaktivity zbývající v roztoku po sorpci [kBq . ml⁻¹]
(průměr ± SE)

Výchozí radioaktivita [MBq . l ⁻¹]	20,9
Kaly - Kladno	3,08 ± 0,09
Komořany	10,64 ± 0,75
Cigelf	1,65 ± 0,03
Aktivní uhlí	1,97 ± 0,11

Tab. 3a

Množství Hg²⁺ zachycené uhelnými kaly nebo aktivním uhlím z roztoků o různých koncentracích Hg²⁺
Sorpce 24 h, teplota 18 až 22 °C; n = 5

Množství Hg^{2+} sorbované 1 g sorbentu [$\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$] - průměr $\pm$ SE

Výchozí koncentrace Hg^{2+} [mmol $\cdot$ l $^{-1}$]	0,0004	0,004	0,04	0,4	4	20
Kaly - Kladno	0,0037 $\pm$ 0,0002	0,035 $\pm$ 0,005	0,37 $\pm$ 0,01	3,43 $\pm$ 0,08	29,17 $\pm$ 0,87	67,30 $\pm$ 2,38
Komořany	0,0039 $\pm$ 0,0002	0,039 $\pm$ 0,001	0,39 $\pm$ 0,02	2,98 $\pm$ 0,03	24,91 $\pm$ 0,24	90,79 $\pm$ 2,72
Cigeli	0,0037 $\pm$ 0,0004	0,037 $\pm$ 0,002	0,38 $\pm$ 0,02	3,28 $\pm$ 0,05	30,04 $\pm$ 0,56	85,57 $\pm$ 4,49
Aktivní uhlí	0,0038 $\pm$ 0,0002	0,038 $\pm$ 0,002	0,37 $\pm$ 0,07	3,25 $\pm$ 0,04	27,83 $\pm$ 0,32	109,36 $\pm$ 7,49

Tab. 3b

Množství Hg^{2+} zbývající po sorpci uhelnými kaly nebo aktivním uhlím v roztocích o různých koncentracích Hg^{2+}

Sorpce 24 h, teplota 18 až 22 °C; n = 5

Množství Hg^{2+} zbývající v roztoku po sorpci [%] (průměr $\pm$ SE)

Výchozí koncentrace Hg^{2+} [mmol $\cdot$ l $^{-1}$]	0,0004	0,004	0,04	0,4	4	20
Kaly - Kladno	8 $\pm$ 1	11 $\pm$ 1	7 $\pm$ 1	14 $\pm$ 1	27 $\pm$ 1	66 $\pm$ 1
Komořany	3 $\pm$ 1	3 $\pm$ 1	2 $\pm$ 1	28 $\pm$ 1	38 $\pm$ 1	55 $\pm$ 1
Cigeli	7 $\pm$ 1	6 $\pm$ 1	4 $\pm$ 1	18 $\pm$ 1	35 $\pm$ 1	57 $\pm$ 2
Aktivní uhlí	5 $\pm$ 1	6 $\pm$ 1	7 $\pm$ 1	19 $\pm$ 1	30 $\pm$ 1	45 $\pm$ 4

Tab. 4a

Množství Cd^{2+} zachycené uhelnými kaly nebo aktivním uhlím z roztoků o různých koncentracích Cd^{2+}

Sorpce 24 h, teplota 18 až 22 °C; n = 5

Množství Cd^{2+} sorbované 1 g sorbentu [$\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$] - průměr $\pm$ SE

Výchozí koncentrace Cd^{2+} [$\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$]	0,004	0,04	0,4	4	20
Kaly - Kladno	$0,039 \pm 0,006$	$0,34 \pm 0,01$	$3,48 \pm 0,07$	$13,39 \pm 0,39$	$17,92 \pm 0,15$
Komořany	$0,025 \pm 0,001$	$0,20 \pm 0,01$	$2,34 \pm 0,04$	$14,92 \pm 0,27$	$28,15 \pm 0,43$
Cigleř	$0,040 \pm 0,001$	$0,37 \pm 0,02$	$3,87 \pm 0,06$	$32,21 \pm 0,13$	$66,81 \pm 3,16$
Aktivní uhlí	$0,037 \pm 0,001$	$0,36 \pm 0,02$	$3,67 \pm 0,08$	$36,10 \pm 0,66$	$149,76 \pm 5,43$

Tab. 4b

Množství Cd^{2+} zbývajících po sorpci uhelnými kaly nebo aktivním uhlím v roztocích o různých koncentracích Cd^{2+}

Sorpce 24 h, teplota 18 až 22 °C; n = 5

Množství Cd^{2+} zbývajících v roztoku po sorpci [%] (průměr $\pm$ SE)

Výchozí koncentrace Cd^{2+} [$\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$]	0,004	0,04	0,4	4	20
Kaly - Kladno	1 ± 0	15 ± 1	13 ± 1	17 ± 1	90 ± 4
Komořany	36 ± 1	51 ± 3	42 ± 1	63 ± 2	86 ± 1
Cigleř	0	8 ± 1	3 ± 1	19 ± 1	67 ± 2
Aktivní uhlí	7 ± 1	9 ± 1	8 ± 1	10 ± 1	25 ± 1

Tab. 5a

Množství Zn^{2+} zachycené uhelnými kaly nebo aktivním uhlím z roztoků o různých koncentracích Zn^{2+}

Sorpce 24 h, teplota 18 až 22 °C; n = 5

Množství Zn^{2+} sorbované 1 g sorbentu [$\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$]
(průměr $\pm$ SE)

Výchozí koncentrace Zn^{2+} [$\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$]	4	20
Kaly - Kladno	$18,97 \pm 0,49$	$10,57 \pm 0,30$
Komořany	$12,80 \pm 0,14$	$17,77 \pm 0,45$
Cigelf	$32,43 \pm 0,17$	$53,06 \pm 1,80$
Aktivní uhlí	$30,32 \pm 0,88$	$124,57 \pm 6,48$

Tab. 5b

Množství Zn^{2+} zbývajících po sorpci uhelnými kaly nebo aktivním uhlím v roztocích o různých koncentracích Zn^{2+}

Sorpce 24 h, teplota 18 až 22 °C; n = 5

Množství Zn^{2+} zbývajících v roztoku po sorpci [%]
(průměr $\pm$ SE)

Výchozí koncentrace Zn^{2+} [$\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$]	4	20
Kaly - Kladno	53 ± 1	95 ± 4
Komořany	68 ± 1	91 ± 2
Cigelf	19 ± 1	73 ± 2
Aktivní uhlí	24 ± 1	38 ± 2

Tab. 6

Množství ^{125}I -albuminu zachycené uhelnými kaly a aktivním uhlím a množství zbývajících v roztoku po sorpci

Sorpce 24 h, teplota 18 až 22 °C; n = 5

Množství ^{125}I -albuminu
sorbované 1 g sorbentu
[$\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$]
(průměr $\pm$ SE)

Množství ^{125}I -albuminu
zbývajících v roztoku
po sorpci [%]
(průměr $\pm$ SE)

Výchozí koncentrace ^{125}I -albumin	100 mg $\cdot$ l $^{-1}$	
Kaly - Kladno	234 $\pm$ 31	77 $\pm$ 2
Komořany	466 $\pm$ 21	53 $\pm$ 2
Cigelf	276 $\pm$ 5	72 $\pm$ 6
Aktivní uhlí	80 $\pm$ 2	92 $\pm$ 4

Tab. 7

Procento Cd^{2+} sorbované uhelnými kaly a aktivním uhlím z celkového množství Cd^{2+} přidaného k výluhu z celulózy při různém pH
Sorpce 24 h, teplota 18 až 22 $^{\circ}\text{C}$; n = 5

Množství Cd^{2+} zachycené sorbentem - % z celkového množství Cd^{2+} přidaného k výluhu

pH	3,5	9,5
Výchozí koncentrace přidaného Cd^{2+}	0,004 mmol $\cdot$ l $^{-1}$	
Kaly - Kladno	7 $\pm$ 1	20 $\pm$ 1
Komořany	14 $\pm$ 1	27 $\pm$ 1
Cigelf	23 $\pm$ 2	24 $\pm$ 3
Aktivní uhlí	39 $\pm$ 5	42 $\pm$ 4

Tab. 8

Procento Cd^{2+} zachycené uhelnými kaly a aktivním uhlím po opakované sorpci a Cd^{2+} zbývajících v roztoku z celkového množství přidaného k výluhu z celulózy
 Sorpce 3 x 24 h, teplota 18 až 22 °C; n = 6

Výchozí koncentrace přidaného Cd^{2+}	Množství Cd^{2+} zachycené sorbentem - % z celkového množství přidaného Cd^{2+} (průměr ± SE)		Množství Cd^{2+} zbývajících ve výluhu - % z celkového množství přidaného Cd^{2+} (průměr ± SE)	
	0,0037 mmol . l ⁻¹			
Kaly - Kladno	10 ± 1		89 ± 3	
Komořany	42 ± 1		60 ± 1	
Cigelf	67 ± 2		33 ± 3	
Aktivní uhlí	85 ± 3		17 ± 2	

Tab. 9

Vliv pH a přítomnosti iontů na desorpci Hg^{2+} z uhelných kalů a aktivního uhlí
 Sorpce 4 h, teplota 18 až 22 °C, desorpce 72 h, teplota 18 až 22 °C, různé pH; n = 3

Výchozí koncentrace Hg^{2+} v sorpčním roztoku	Sorpce Množství Hg^{2+} sorbované 1 g sorbentu [μmol.g ⁻¹] (průměr ± SE)		Desorpce Množství Hg^{2+} uvolněné do desorpčního roztoku, % z původně nasorbovaného množství (průměr ± SE)		
	20 mmol . l ⁻¹		Desorpční roztok	pH	% Hg^{2+}
Kaly Kladno	62 ± 3		H ₂ O	5,5	6 ± 1
			HCl	1,0	30 ± 4
			NaCl	5,5	12 ± 2
	58 ± 2		H ₂ O	5,5	5 ± 1
			HCl	1,0	18 ± 3
			NaCl	5,5	13 ± 1
	60 ± 1		H ₂ O	5,5	6 ± 1
			HCl	1,0	30 ± 4
			NaCl	5,5	12 ± 2
Komořany	95 ± 3		H ₂ O	5,5	5 ± 1
	90 ± 2		HCl	1,0	18 ± 3
	91 ± 5		NaCl	5,5	13 ± 1

pokračování tabulky 9

Výchozí koncentrace Hg^{2+} v sorpčním roztoku	20 mmol . l ⁻¹	Desorpční roztok	pH	% Hg^{2+}
Kaly Cigeľ	90 ± 3	H ₂ O	5,5	2 ± 1
	89 ± 2	HCl	1,0	13 ± 2
	86 ± 4	NaCl	5,5	3 ± 1
	116 ± 7	H ₂ O	5,5	2 ± 1
	121 ± 7	HCl	1,0	0
	119 ± 8	NaCl	5,5	0
Aktivní uhlí				

Tab. 10

Vliv pH a přítomnosti iontů na desorpci Cd^{2+} z uhelných kalů a aktivního uhlí
 Sorpce 4 h, teplota 18 až 22 °C, desorpce 72 h, teplota 18 až 22 °C, různé pH; n = 3

Sorpce
 Množství Cd^{2+} sorbované
 1 g sorbentu [$\mu\text{mol.g}^{-1}$]
 (průměr ± SE)

Desorpce
 Množství Cd^{2+} uvolněné do
 desorpčního roztoku,
 % z původně nasorbovaného
 množství (průměr ± SE)

Výchozí koncentrace Cd^{2+} v sorpčním roztoku	20 mmol . l ⁻¹	Desorpční roztok	pH	% Cd^{2+}
Kaly Kladno	31 ± 1	H ₂ O	5,5	36 ± 1
	30 ± 1	HCl	1,0	73 ± 4
	31 ± 1	NaCl	5,5	42 ± 2
	41 ± 1	H ₂ O	5,5	25 ± 1
	41 ± 1	HCl	1,0	66 ± 1
	39 ± 1	NaCl	5,5	29 ± 1
	84 ± 2	H ₂ O	5,5	4 ± 1
	88 ± 2	HCl	1,0	29 ± 1
	87 ± 1	NaCl	5,5	12 ± 1
Cigeľ				

pokračování tabulky 10

Výchozí koncentrace Cd^{2+} v sorpčním roztoku	Sorpce	Desorpce		
	Množství Cd^{2+} sorbované 1 g sorbentu [$\mu\text{mol.g}^{-1}$] (průměr $\pm$ SE)	Množství Cd^{2+} uvolněné do desorpčního roztoku, % z původně nasorbovaného množství (průměr $\pm$ SE)		
	20 mmol . l ⁻¹	Desorpční roztok	pH	% Cd^{2+}
Aktivní uhlí	169 $\pm$ 4	H ₂ O	5,5	1 $\pm$ 0
	167 $\pm$ 4	HCl	1,0	0
	164 $\pm$ 4	NaCl	5,5	0

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

Použití odpadového produktu úpravy uhlí, uhelných kal, jako sorbentu pro odstraňování iontů těžkých kovů, radionuklidů a některých organických látek z vodných roztoků.