

ODBORNÝ ČASOPIS PRE PODNIKATEĽOV, ORGANIZÁCIE, OBCE, ŠTÁTNU SPRÁVU A OBČANOV

**1. MINIMALIZÁCIA, ZHODNOCOVANIE  
A ZNEŠKODŇOVANIE**

- PRÍSPEVOK K CHARAKTERIZÁCII VYBRANÝCH PÔD, K ODHADU BIOLOGICKEJ PRÍSTUPNOSTI ZINKU A K HODNOTENIU BIOUHLIA Mária Nováková, Juraj Lesný, Vladimír Firšták
- RECYKLÁCIA INDIA Z VYBRANÝCH DRUHOV ODPADOV Gréta Maruškinová, Tomáš Havlík, Ivana Kobialková
- BIOREMEDIÁCIE ZA ÚCASTI MIKROORGANIZMOV PRI ELIMINÁCII ŤAŽKÝCH KOVOV Ing. Janka Sudzinová, PhD., prof. Ing. Miroslava Kačániová, PhD.
- SLOVÁCI V POROVNANÍ S OSTATNÝMI KRAJINAMI TRIEDIA MÁLO. AK SA TO NAUČIA, OD JANUÁRA UŠETRIA Kolektív
- ENVIDOM ROZŠIRUJE PONÚKANÉ SLUŽBY O ZBER ELEKTROODPADU CEZ PRACOVNÉ DNI Jana Nahálková
- Z KOMUNÁLNEHO ODPADOVÉHO HOSPODÁRSTVA Kolektív
- KOMPOSTOVANIE SA STÁVA SÚČASŤOU MODERNÉHO ŽIVOTNÉHO ŠTÝLU PhDr. Angela Sviteková
- V MICHALOVCIACH DOSTAVALI KOMPOSTÁREŇ, V NOVÁKOVCH CHCÚ ROZDÁVAŤ KOMPOSTÉRY Kolektív
- SYSTÉM HELIOS GREEN POMÁHA ASEKOLU LIKVIDOVAŤ ODPADY Kolektív

**2. PREDPISY, DOKUMENTY, KOMENTÁRE**

- BUDEME ĎALEKO NA SLOVENSKU RECYKLOVAŤ ZMESOVÉ PLASTY? h. prof. Ing. František Máťel, CSc.
- DOTÁCIU NA LIKVIDÁCIU ČIERNYCH SKLÁDKOV V RÁMCI PROGRAMU „VEĽKÉ UPRATOVANIE SLOVENSKA“ DOSTANE TEMER POLOVICA ŽIADATEĽOV Kolektív
- PODPORA VYUŽITIA OBNOVITEĽNÝCH ZDROJOV ENERGIE Doc. Ing. Michal Stričík, PhD.
- VYHODNOTENIE PREDCHÁDZAJÚCEHO PROGRAMU V NÁVRHU NOVÉHO PROGRAMU ODPADOVÉHO HOSPODÁRSTVA SR NA ROKY 2016 – 2020 Kolektív
- ROZVOJ ELEKTROMOBILITY – PRÍLEŽITOSŤ ZMENŠIŤ NEGATÍVNY DOPAD DOPRAVY NA ZDRAVIE A ŽIVOTNÉ PROSTREDIE Kolektív
- VLÁDA SCHVÁLILA STRATÉGIU ROZVOJA ELEKTROMOBILITY V SR Kolektív
- KAUZA CHEMICKEJ SKLÁDKY VO VRAKUNI – ZÁVEREČNÁ SPRÁVA Kolektív

**3. SPEKTRUM**

- V BRATISLAVE ODŠTARTOVALA OLIMPÍADA, V RIMAVSKEJ SOBOTE RECYKLUJÚ OBALY V TVORIVEJ DIELNI Kolektív
- PRVÝ EURÓPSKY DEŇ RECYKLÁCIE BATÉRIÍ Mgr. Silvia Sekáčová
- ZAMORENIE ZÁHRADNÝCH PÔD PATOGÉNNYMI ČINITEĽMI Ing. et Ing. Marián Sudzina, PhD., prof. Ing. Miroslava Kačániová, PhD. Ing. Katarína Rovná, PhD.
- POČET ÚMRTÍ SPÓSOBENÝCH ZNEČISTENÍM OVZDUŠIA SA DO ROKU 2050 ZVÝŠI Z 3,3 NA 6,6 MILIÓNA Kolektív
- PG PRISPEJE K ZASTAVENIU GLOBÁLNEHO OTEPLÖVANIA ZEME ZNÍŽENÍM EMISIÍ SKLENÍKOVÝCH PLYNOV O 30 % Kolektív
- SVETOVÝ TÝŽDEŇ ZELENÝCH BUDOV Kolektív
- SLÁVNOSTNÉ OTVORENIE ORIGINÁLNEHO NÁUČNÉHO AREÁLU NA DEVÍNSKEJ KOBYLE Barbara Immerová
- ZAUJÍMAVOSTI ZO ZAHRANIČIA Kolektív



epos

ISSN 1335-7808



92

9 771335 78004

**MINIMALIZÁCIA, ZHODNOCOVANIE A ZNEŠKODŇOVANIE**

[14] Houben, D. et al. 2013. Beneficial effects of biochar application to contaminated soils on the bioavailability of Cd, Pb and Zn and the biomass production of rape-

seed (*Brassica napus* L.). In *Biomass and Bioenergy*. ISSN 0961-9534. 2013, vol. 57, p. 196-204.

Gréta Maruškinová, Tomáš Havlík, Ivana Kobialková

## **RECYKLÁCIA INDIA Z VYBRANÝCH DRUHOV ODPADOV**

## ABSTRAKT

Indium patrí do zoznamu 20 kritických surovín, ktorý vydala Európska únia v roku 2014. Vďaka svojim vlastnostiam si nachádza široké uplatnenie v mnohých oblastiach priemyslu, napríklad v elektrotechnickom, hutníckom či chemickom priemysle.

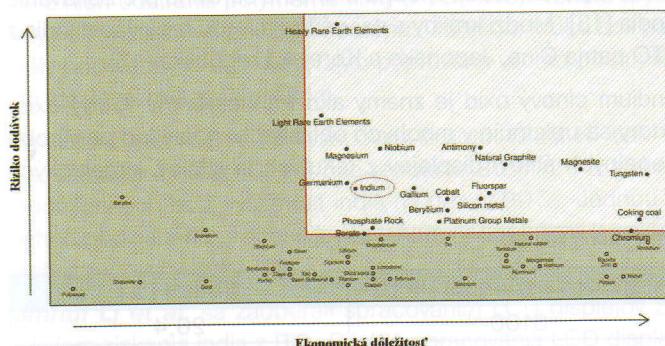
Rozvoj priemyselnej činnosti, rastúce požiadavky na kvalitu a množstvo nových technológií vedú k zvyšujúcemu sa dopytu po tomto kove.

Kedže výskyt india je obmedzený, je nevyhnutné monitorovať technologické procesy jeho získavania nielen z primárnych surovinových zdrojov, ale taktiež z odpadov.

Článok sa zaobrá všeobecnou charakteristikou india, popisom primárnych surovín a odpadov s obsahom india a v neposlednom rade prehľadom technologických postupov získavania tohto kritického kovu z odpadov.

1. ÚVOD

Indium je zriedkavo sa vyskytujúci kov bez vlastných surovinových zdrojov. Je zaraďovaný medzi kritické suroviny (obr. 1) so strategickým významom a širokým uplatnením najmä v elektronickom priemysle [1]. Najdôležitejšie použitie india je v posledných rokoch vo výrobe ITO (indium cínového oxidu) a táto oblasť spotrebuje približne 2/3 svetovej produkcie In.



Obr. 1: Kritické suroviny pre EÚ [5]

Najvýznamnejšia aplikácia ITO je pri výrobe optoelektronických zariadení, ako sú napríklad LCD displeje (Liquid Crystal Displays) [2]. Od roku 1970, kedy boli LCD displeje vynájdené sa stali najviac sa vyskytujúcou zobrazovacou technológiou na trhu. V dôsledku technologického vývoja a rastúcej rýchlosťi nahradzovania starších technológií novšími sa LCD displeje dostávajú do toku odpadov po menej ako 5 rokoch, a tým sa stávajú najrýchlejšie rastúcou zložkou odpadov z elektrických

a elektronických zariadení [3]. Dopyt po LCD displejoch aj v dnešnej dobe stúpa a taktiež narastá produkcia rozmerovo väčších displejov, čím dochádza k zvyšovaniu spotreby In v nich [4].

Kedže zásoby india sú obmedzené a dopyt po tomto kove neustále narastá, cieľom príspevku je upriamiť pozornosť na nenahraditeľnosť india a potrebu jeho recyklácie z druhotných surovín.

## 2. VŠEOBECNÁ CHARAKTERISTIKA INDIA

Indium je mäkký, dobre taviteľný kov striebrobielej farby, ktorý sa svojimi chemickými vlastnosťami podobá hliníku a gáliu [6]. Indium sa vyznačuje nízkou teplotou tavenia (156,6 °C) a vysokou teplotou varu (2071,85 °C). Všeobecne platí, že indium zlepšuje pevnosť a tvrdosť zlatín a taktiež ich odolnosť voči korózii [7]. Indium je dobre rozpustné v kyselinách, ale neraz rozpustné v roztokoch hydroxidov alkalických kovov.

S kyslíkom je pri izbovej teplote nereaktívne, avšak pri vyšších teplotách s ním reaguje a vytvára oxid  $\text{In}_2\text{O}_3$ . Pri zahriatí na teplotu tavenia horí fialovým plameňom [8].

Indium nemá vlastné surovinové zdroje. Jeho minerály, ako sú indit  $\text{FeIn}_2\text{S}_4$  a roquesit  $\text{CuInS}_2$  sa v prírode vyskytujú veľmi zriedkavo. V dôsledku nízkej miery výskytu je indium klasifikované ako stopový prvok a ekonomicky môže byť získavaný len ako vedľajší produkt pri výrobe zinku, medi alebo olova zo sulfidických rúd [9]. V spomenutých sulfidických rudách sa koncentrácia india pohybuje od 1 do 50 ppm [7].

V koncentráte zinku, ktorý možno považovať za najbežnejší komerčný zdroj india, je jeho koncentrácia taktiež nízka (70 až 200 ppm).

Takmer celá globálna produkcia India pochádza z procesov primárnej výroby Zn zo sulfidických rúd a zo spracovania úletov a plynov, ktoré vznikajú pri pretavovaní Zn. Zvyšná časť India (menej ako 5 %) sa ziskava v procesoch spracovania vedľajších produktov výroby medi, cínu a olova [10].

Medzi najvýznamnejšie zdroje india pri výrobe neželezných kovov patria:

- Zdroje india pri výrobe zinku, kde sa indium sústreduje najmä v zinkovom praženci, ktorý vzniká pri oxidačnom pražení zinkového koncentrátu v etážovej peci.
  - Zdroje india pri pyrometalurgickom spôsobe výroby zinku, kde 20 % india prchá v podobe nižších oxidov  $In_2O$  a  $InO$  a 60 až 70 % india prechádza do surového zinku. Ďalším významným zdrojom india sa stáva takzvaná olovená kolónia, ktorá vzniká pri rafinácii surového zinku.

- Zdroje india pri hydrometalurgickom spôsobe výroby zinku, kde sa indium sústredí najmä v nerozpustnom zvyšku, ktorý vzniká pri spracovaní zinkového praženca kyselinou sírovou. Indium možno nájsť aj v med'nekad-miovej cementačnej hube, ktorá vzniká pri čistení roz-toku po lúhovaní od medi a kadmia pomocou cementácie.
- Zdroje india pri výrobe olova, kde sa indium sústredí hlavne v aglomeráte, ktorý vzniká aglomeračným praže-ním. Indium tiež prechádza do surového olova a trosky [6].

Ako už bolo spomenuté, viac ako 95 % india sa získava vo forme vedľajšieho produktu z primárnej výroby zinku. Keďže neexistuje žiadny spoľahlivý odhad globálnych rezerv india, možno tieto rezvery odvodiť z rezerv zinku [10].

Rezvery zinku boli v roku 2014 odhadnuté na približne 234,5 Mt. V Zn rude sa priemerne nachádza 50 g In/t rudy, teda rezvery india v Zn rude možno stanoviť na 11 725 t [11].

Tabuľka 1 zobrazuje odhadované rezvery zinku v jednotlivých krajinách a predpokladané množstvo india v nich.

Indium je vďaka špecifickým vlastnostiam strategickým prvkom v elektronickom a energetickom priemysle. Najdôležitejšia oblasť použitia india je v posledných rokoch vo výrobe ITO [1, 9]. Ďalšie použitie india popisuje obr. 2.



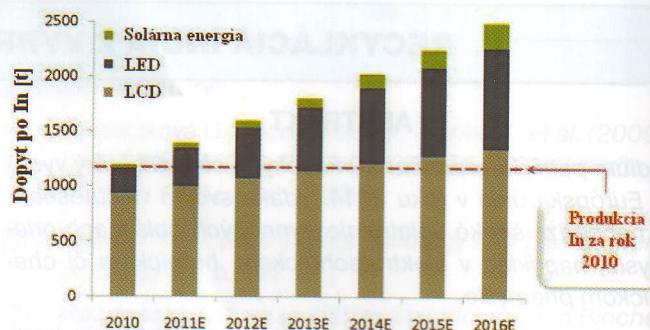
Obr. 2: Oblasti použitia india [12]

Celosvetová produkcia india za rok 2014 bola 820 t, čo predstavuje približne 3 % nárast oproti roku 2013 [11]. Najväčším producentom india je Čína. Ďalšími veľkými dodávateľmi sú Kórejská republika, Kanada a Japonsko [13].

Tab. 1: Odhadované rezvery Zn v roku 2014 a predpokladaný obsah In v nich [10, 11]

| Krajina/region | Rezvery Zn [Mt] | Odhadovaný obsah In [t] | Podiel [%] |
|----------------|-----------------|-------------------------|------------|
| Austrália      | 62              | 3100                    | 26,4       |
| Čína           | 43              | 2150                    | 18,3       |
| Peru           | 29              | 1450                    | 12,4       |
| Mexiko         | 16              | 800                     | 6,8        |
| India          | 11              | 550                     | 4,7        |
| Kazachstan     | 10              | 500                     | 4,3        |
| USA            | 10              | 500                     | 4,3        |
| Kanada         | 5,9             | 295                     | 2,5        |
| Bolívia        | 4,5             | 225                     | 1,9        |
| Írsko          | 1,1             | 55                      | 0,5        |
| Ostatné krajin | 42              | 2100                    | 17,9       |
| Spolu          | 234,5           | 11 725                  | 100        |

Produkcia a dopyt po tomto kove sú ovplyvnené jeho konečným využitím predovšetkým pri výrobe ITO filmov, ktoré sa aplikujú do LCD displejov a solárnych článkov [14]. Obr. 3 zobrazuje prognózu rastu dopytu indiu na základe 15 % nárastu v roku 2010.



Obr. 3: Graf dopytu india v závislosti od konečného použitia [15]

Cena india je ovplyvnená najmä LCD výrobou. Pohybuje sa okolo 550 \$/kg [16].

Množstvo sekundárne vyprodukovaného india nie je známe. Niektoré zdroje hovoria o 500 t india získaného zo sekundárnej výroby ročne. Najväčšie množstvo sekundárne vyrobeného india však pochádza z recyklácie ITO filmov vyskytujúcich sa v LCD displejoch [10].

### 3. MOŽNOSTI RECYKLÁCIE INDIA Z ODPADOV

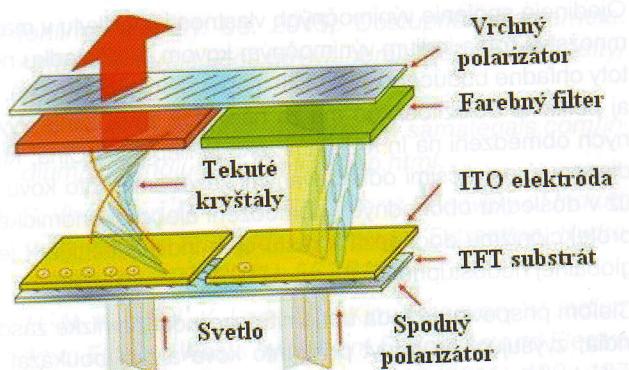
Sekundárna výroba india je založená na jeho získavaní z ITO. Nanášanie ITO vo forme tenkého filmu je značne neefektívny proces, pretože len približne 30 % ITO je naneseného na cieľový substrát a zvyšných 70 % predstavuje tzv. *pre-consumer scrap*, ktorý sa hromadí v závodoch a práve tento odpad možno považovať za vhodnú druhotnú surovinu pre získanie india [13]. Medzi krajinu s najvyššou mierou recyklácie india z ITO patria Čína, Japonsko a Kórejská republika [17].

Indium cínový oxid je známy ako transparentný vodivý oxid, ktorý sa uplatňuje v mnohých oblastiach, napríklad pri výrobe tepelných štítov, displejov z tekutých kryštálov, organických

svetelných diód a solárnych článkov [18]. ITO je zmes oxidov cínu a india s percentuálnym zastúpením 90 %  $\text{In}_2\text{O}_3$  a 10 %  $\text{SnO}_2$  [19].

Najvýznamnejšou oblasťou použitia ITO sú LCD displeje, ktoré sa za posledných desať rokov stali najpoužívanejšou zobrazovacou technológiou.

Indium sa teda v LCD displejoch nachádza vo forme ITO filmov, ktoré sú súčasťou elektródy zobrazenej na obr. 4 [20].



Obr. 4: Prierez LCD panelom [21]

Dopyt po LCD displejoch celosvetovo stúpa, predovšetkým z dôvodu úspory energie. Predpokladá sa nárast produkcie rozmerovo väčších LCD displejov, čo bude mať za následok zvýšenie spotreby india. Z uvedených dôvodov a vzhladom k nedostatku india sa pozornosť čoraz viac zameriava na získavanie india zo sekundárnych zdrojov, medzi ktoré patria aj LCD displeje [4].

**Yunxia He et al.** skúmali proces získavania india z použitých LCD displejov prostredníctvom redukcie uhlíkom vo vákuu. V prvom kroku boli LCD displeje ručne demontované a následne z nich odstránili polymérne filmy (PVC, TAC). Tekuté kryštály boli odstránené použitím acetónu. V ďalšom kroku boli pánele podrvené na 0,3 mm. Takto pripravená vzorka postúpila do vákuovej redukcie uhlíkom.

Optimálne podmienky si vyžadovali teplotu 1223 K, tlak 1 Pa, prípadok uhlíka 30 % a čas redukcie 30 min. Pri týchto podmienkach bola výťažnosť india na úrovni 90 %. Jednou z výhod popísaného procesu je, že v ňom nedochádza k vzniku nebezpečných látok [22].

**Jinhui Li et al.** sa zaoberali spracovaním LCD displejov za účelom získania india z ITO. Postup spracovania LCD displejov pozostával z nasledujúcich krokov:

- z odstránenia polarizačných filtrov tepelným šokom v peci,
- z odstránenia tekutých kryštálov pomocou ultrazvukového kúpeľa a
- z kyslého lúhovania indium-cínového oxidu za účelom získania india.

Autori zistili, že teplota 220 °C je dostačujúca pre jednoduchú ručnú separáciu polarizačných filmov. V kroku odstránenia tekutých kryštálov pomocou ultrazvukového kúpeľa vyhodnotili

za najlepšie podmienky výkon 40 kW a frekvenciu 40 kHz. Panely boli následne podrvené na 5 mm a vzorka o hmotnosti 1000 g bola lúhovaná v 500 ml kyslého roztoku, ktorý bol pripravený z koncentrovanej HCl a  $\text{HNO}_3$  (v rôznom pomere).

Počas lúhovania sa sledoval vplyv teploty (20, 45, 60, 85 °C) a lúhovacieho činidla. Za optimálne podmienky prevodu india do roztoku boli stanovené: teplota 60 °C, doba lúhovania 30 min. a zmes koncentrovanej kyseliny chlorovodíkovej a dušičnej v objemovom pomere HCl :  $\text{HNO}_3$  :  $\text{H}_2\text{O}$  = 45 : 5 : 50. Pri týchto podmienkach bola výťažnosť india do roztoku 92 % [23].

**Jiaxu Yang et al.** sa venovali hydrometalurgickému spracovaniu LCD displejov s cieľom získať indium. LCD displeje boli pred samotným spracovaním upravované drvením, pričom v tomto prípade neboli odstránené polarizačné filmy. Podrvené LCD displeje autori lúhovali v kyslom médiu, konkrétnie v roztokoch  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$  a HCl s koncentráciami 0,1 M, 1 M a 6 M. Pomer K : P (kvapalná fáza : pevná fáza) bol 10 (0,1 g/ml) a lúhovanie prebiehalo po dobu 4 dní.

Výsledky preukázali, že pri použití 1 M HCl a 1 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  sa prejde do roztoku takmer všetko indium (80 – 95 %) za menej ako 8 hodín.

Roztoky po lúhovaní LCD displejov v HCl a v  $\text{H}_2\text{SO}_4$  sa ďalej spracovávali kvapalinovou extrakciou pomocou extrakčných činidiel DEHP, TBP, Cyanex 272 a Cyanex 923, s cieľom selektívne získať In z roztoku. Viac ako 99 % india o čistote 90 % bolo získaného z roztoku po lúhovaní LCD displejov v 0,1 a 1 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  za použitia 0,1 M DEHP ako extrakčného činidla. Na prevod india z organickej fázy extrakčného činidla autori použili 1 M HCl. Výsledky preukázali, že popísaným postupom je možné selektívne získať indium z roztoku [21].

**Yuhu Li et al.** vo svojej práci hydrometalurgicky spracovali odpadový ITO materiál s cieľom získať indium. Hydrometalurgický proces pozostával:

- z kyslého lúhovania,
- sulfidickej precipitácie Sn z roztoku po lúhovaní a
- cementácie india pomocou Zn plieškov.

Vstupným materiálom pre lúhovanie bol ITO prášok s veľkosťou častic < 75 µm. Ako lúhovacie činidlo bol použitý 1 M roztok  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a proces lúhovania prebiehal pri 90 °C (K : P = 10) počas 2 hodín. Výťažnosť india do roztoku bola pri daných podmienkach > 99 %. Do roztoku okrem india prešlo aj približne 8 % Sn.

V ďalšom kroku bol sulfidickým zrážaním za pomoci  $\text{H}_2\text{S}$  z roztoku odstránený Sn vo forme SnS. Zrážanie prebiehalo pri tlaku 101,3 kPa a teplote 60 °C. Zrážaním sa podarilo znížiť množstvo Sn v roztoku na 1,35 mg/l, pričom strata india v tomto kroku bola len 0,47 %.

Posledným krokom hydrometalurgického spracovania bola cementácia india z roztoku pomocou Zn pliešku. Cementácia prebiehala pri teplote 65 °C a pH 1 – 1,5. Po 40 h sa podarilo z roztoku získať viac ako 99,9 % india o čistote 99,92 % [24].

Medzi ďalšie potencionálne druhotné suroviny s obsahom india možno zaradiť In zlatiny, úlety z pyrometalurgickej výroby

Zn a taktiež odpady z procesu leptania zariadení na výrobu LCD displejov.

**Marinela Panayotova et al.** popisuje hydrometalurgické získavanie Pb, Sn a In z použitých drôtov obsahujúcich Pb – Sn – In zlatinu.

Vzorka bola pred lúhovaním nastrihaná na 5 mm a zbavená nečistôt premytím v acetóne. Následne bola vzorka lúhovaná v 5 M HCl s príďavkom  $\text{HNO}_3$  ako oxidačného činidla, pri 80 °C (K : P = 2,5) po dobu 1,45 h. Po ochladení roztoku na 10 °C došlo k vyzrážaniu približne 72 % Pb vo forme  $\text{PbCl}_2$ . Takmer 23 % zvyšného Pb sa z roztoku podarilo získať cementáciou pomocou In práske.

Sn bol z roztoku získaný vo forme hydratovaného oxidu pomocou NaOH pri pH 2 – 2,8. V tomto kroku sa získalo viac ako 99 %  $\text{SnO}_2$  o čistote 99,9 %.

In bolo z roztoku získavané pomocou 2 metód.

- Prvý postup bol založený na vyzrážaní In z roztoku vo forme fosfátu pomocou  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , pri pH 3,91. Vzniknutý fosfát bol následne lúhovaný v koncentrovanom roztoku NaOH a tepelne rozložený na oxid.
- Druhá metóda bola založená na získavaní In z roztoku pomocou práškového Zn pri teplote 30 °C.

Oba postupy zabezpečili získanie takmer 99 % In z roztoku [18].

**Li Xuan – hai et al.** študovali získavanie indiu zo ZnO úletov pochádzajúcich z pyrometalurgickej výroby Zn. Úlety boli spracovávané hydrometalurgicky – tlakovým oxidačným lúhovaním v autokláve. Autori počas experimentov sledovali vplyv koncentrácie lúhovacieho činidla, tlaku a oxidačného činidla na prechod In do roztoku. Výsledky experimentov preukázali, že tlakové lúhovanie má priaznívý vplyv na prechod In do roztoku.

Optimálne podmienky tlakového lúhovania boli určené nasledovne: 5,1 mol/l  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , teplota 90 °C, príďavok 0,5 ml/g  $\text{H}_2\text{O}_2$  alebo 2,5 %  $\text{KMnO}_4$  ako oxidačného činidla, doba lúhovania 150 min. Za týchto optimálnych podmienok bola dosiahnutá výťažnosť In do roztoku na úrovni 90 %, čo je o 13 % viac ako v prípade lúhovania za normálneho tlaku [25].

**Hee Nam Kang et al.** získaval indium z odpadu pochádzajúceho z procesu leptania zariadení na výrobu LCD displejov. Spracovávaný odpad obsahoval približne 2 % indiu. Odpad z leptania sa získal neutralizáciou roztoku po leptaní. Filtráciou roztoku sa získal filtračný koláč, ktorý sa lúhal v NaOH.

Za optimálne boli stanovené nasledovné podmienky: 100 °C, 30 min. a koncentrácia NaOH 12 mol/dm<sup>3</sup>. Cieľom alkalického lúhovania bolo odstrániť nečistoty ako Al, Mo, Cr a Mg. Filtračný koláč bol následne lúhovaný v koncentrovanej HCl a roztok po lúhovaní postúpil do ďalšieho kroku kvapalinovej extrakcie pomocou extrakčného činidla PC88A.

Kvapalinová extrakcia prebiehala pri izbovej teplote po dobu 30 min. pri koncentráции PC88A 1 mol/ dm<sup>3</sup> a podiele O : A (organická fáza : kvapalná fáza) = 3. Na stripovanie autori použili roztoky HCl,  $\text{HNO}_3$  a  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Roztok po kvapalinovej extrakcii bol následne elektrolyticky rafinovaný a výsledným produkтом bolo indium o čistote 99,997 % [15].

Z uvedeného literárneho prehľadu vyplýva, že existuje mnoho postupov, pomocou ktorých je možné získať indium z ITO filmov obsiahnutých v LCD displejoch, v ktorých sa spotrebúva najviac. Existujú však aj iné odpady, ktoré môžu byť potencionálnym zdrojom indiu, a vzhľadom na deficitnosť tohto kovu je potrebné zaoberať sa aj nimi.

#### 4. ZÁVER

Ojedinelé spojenie výnimcočných vlastností a výskytu v malom množstve robia indium výnimcočným kovom. V dôsledku neistoty ohľadne budúceho výskytu In rastie jeho ekonomická, ale aj politická dôležitosť, čo má za následok zavádzanie vývoznych obmedzení na In krajinami, ako je napríklad Čína, ktoré disponujú najväčšími odhadovanými zásobami tohto kovu. Či už v dôsledku obchodných obmedzení alebo ekonomickej protekcionizmu dochádza k rastu cien india a taktiež k jeho globálnej nedostupnosti.

Cieľom príspevku je teda upriamiť pozornosť na nízke zásoby india, zvyšujúci sa dopyt po tomto kove a tým poukázať na potrebu jeho recyklácie z druhotných surovín.

#### Podákovanie:

Táto práca vznikla v rámci riešenia grantu VEGA MŠ SR 1/0293/14 a za jeho finančnej podpory. Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICON pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií, kód ITMS: 26220220182, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja. Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-14-0591.

#### Použitá literatúra:

- [1] A. Ladenberger et al.: GEMAS: Indium in Agricultural and Grazing Land Soil of Europe - Its Source and Geochemical Distribution Patterns, *Journal of Geochemical Exploration*, (2015)
- [2] H. Hasegawa et al.: Chelant - Induced Reclamation of Indium from the Spent Liquid Crystal Display Panels with the Aid of Microwave Irradiation, *Journal of Hazardous Materials*, 254 – 255 (2013), 10 – 17
- [3] [online]. [cit. 10. 04. 2015]. Dostupné na internete: <<http://publications.lib.chalmers.se/records/full-text/165702/165702.pdf>>
- [4] T. Kato et al.: Separation and Concentration of Indium from a Liquid Crystal Display via Homogeneous Liquid – Liquid Extraction, *Hydrometallurgy*, 137 (2013), 148 – 155
- [5] D. KMEŤOVÁ, *Hutníctvo drahých a vzácnych kovov*, 1984, Rektorát Vysokej školy technickej v Košiciach, 320 s., ISBN 85 – 638 – 84
- [6] A. M. Alfantazi, R. R. Moskalyk: Processing of Indium: a review, *Minerals Engineering*, 16 (2003), 687 - 694

- [7] [online]. [cit. 01. 03. 2015]. Dostupné na internete: <<http://www.indium.com/metals/indium/>>
- [8] H. Hasegawa et al.: Recovery of Indium from End-of - Life Liquid - Crystal Display Panels Using Aminopolycarboxylate Chelants with the Aid of Mechanochemical Treatment, *Microchemical Journal*, 106 (2013), 289 - 294
- [9] [online]. [cit. 01. 03. 2015]. Dostupné na internete: <[http://www.polinares.eu/docs/d21/polinares\\_wp2\\_annex2\\_factsheet5\\_v1\\_10.pdf](http://www.polinares.eu/docs/d21/polinares_wp2_annex2_factsheet5_v1_10.pdf)>
- [10] [online]. [cit. 01. 03. 2015]. Dostupné na internete: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/zinc/mcs-2015-zinc.pdf>>
- [11] [02. 03. 2015], <http://www.samaterials.com/indium/873-indium-sheet-foil-strip.html>
- [12] S. Virolainen, D. Ibana, E. Paatero: Recovery of Indium from Indium Tin Oxide by Solvent Extraction, Hydrometallurgy, 107 (2011), 56 - 61
- [13] H. N. Kang, J. Y. Lee, J. Y. Kim: Recovery of Indium from Etching Waste by Solvent Extraction and Electrolytic Refining, *Hydrometallurgy*, 110 (2011), 120 - 127
- [14] [online]. [cit. 03. 03. 2015]. Dostupné na internete: <<http://www.edisoninvestmentresearch.com/sector-reports/IndiumGalliumOverview071011.pdf>>
- [15] [online]. [cit. 03. 03. 2015]. Dostupné na internete: <[https://www.metalprices.com/pubcharts/Public/Indium\\_Price\\_Charts.asp?WeightSelect=KG&SizeSelect=M&ccs=1011&cid=0](https://www.metalprices.com/pubcharts/Public/Indium_Price_Charts.asp?WeightSelect=KG&SizeSelect=M&ccs=1011&cid=0)>
- [16] M. Panayotova, V. Panayotov: Indium – One of Crucial Metals for the Sustainable Society Development, *Mining and Mineral processing*, 56 (2013), 159 - 164
- [17] I. D. Villar et al.: Generation of Surface Plasmon Resonance and Lossy Mode Resonance by thermal treatment of ITO thin - films, *Optics & Laser Technology*, 69 (2015), 1 - 7
- [18] K. L. Lin et al.: Recycling Thin Film Transistor Liquid Crystal Display (TFT - LCD) Waste Glass Produced as Glass – Ceramics, *Journal of Cleaner Production*, 17 (2009), 1499 - 1503
- [19] J. Yang, T. Retegan, C. Ekberg: Indium Recovery from Discarded LCD Panel Glass by Solvent Extraction, *Hydrometallurgy*, 137 (2013), 68 - 77
- [20] [online]. [cit. 25. 03. 2015]. Dostupné na internete: <<http://www.link-sun.com/Tftlcdmodule.html>>
- [21] Y. He, E. Ma, Z. Xu: Recycling Indium from Waste Liquid Crystal Display Panel by Vacuum carbon – Reduction, *Journal of Hazardous Materials*, 268 (2014), 185 - 190
- [22] J. Li et al.: Recovery of Valuable Materials from Waste Liquid Crystal Display Panel, *Waste Management*, 29 (2009), 2033 - 2039
- [23] Y. Li et al.: Recovery of Indium from Used Indium – Tin Oxide (ITO) Targets, *Hydrometallurgy*, 105 (2011), 207 - 212
- [24] X. H. Li et al.: Indium Recovery from Zinc Oxide Flue Dust by Oxidative Pressure Leaching, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20 (2010), 141 - 145
- [25] [online]. [cit. 09. 09. 2015]. Dostupné na internete: <[http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-14-377\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-14-377_en.htm)>

Ing. Janka Sudzinová, PhD., prof. Ing. Miroslava Kačániová, PhD., SPU v Nitre

### BIOREMEDIÁCIE ZA ÚČASTI MIKROORGANIZMOV PRI ELIMINÁCII ĎAŽKÝCH KOVOV

V procesoch bioremediácie sú práve mikroorganizmy potenciálne vysoko účinné pri redukcii niektorých ekologických rizík. Dokážu efektívne a zároveň selektívne a ekologicky odstraňovať kontaminanty z daného rizikového prostredia.

Priklady mikroorganizmov obsiahnutých v biologických substrátoch aplikovaných pri eliminovaní a odbúravaní často nebezpečných až toxických látok (najmä ďažkých kovov) zo znečistených zložiek životného prostredia sú prehľadne znázornené v schéme 1.

Množstvo vzájomných interakcií kationov kovov a mikroorganizmov (v závislosti od konkrétnych prvkov a mikroorganizmov) v procesoch biologických remediacii vytvára obrovský priestor pre využitie metabolickej aktivity mikroorganizmov pri biodegradácii a biotransformácii toxicických látok.

V súčasnosti sa realizujú intenzívne výskumy zamerané na využitie aktinomycét, baktérií a hub na cielenú elimináciu proble-

matických kontaminantov ich metabolizáciou, transformáciou alebo oxidáciou.

Na efektivnosť biosanačných technológií vplývajú predovšetkým nasledujúce faktory:

- toxicita a koncentrácia kontaminantov,
- pôdna permeabilita,
- prísun kyslíka,
- živiny (typy, koncentrácia),
- teplota,
- rezistencia k ďažkým kovom,
- mikroorganizmy,
- výskyt rôznych organických zlúčenín.

Nielen pri znečistení pôd, podzemných vôd i povrchových vodných zdrojov, ale i v prípade rizikových skládok odpadu