

# Recenzované vedecké články

## Raфинácia alkalického výluhu s vysokým obsahom zinku a jeho získavanie

### Refining of Alkaline Leachate with High Zinc Content and its Recovery

doc. Ing. Zita Takáčová, PhD.; Ing. Jana Pirošková, PhD.; prof. Ing. Andrea Miškuřová, PhD.

Technická univerzita v Košiciach, Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie, Ústav recyklačných technológií, Letná 1/9, Košice – Sever, 04200, Slovenská republika

*Práca sa venuje optimalizácii podmienok raфинácie zinkového výluhu z alkalického lúhovania EOP úletov v uhličitanom amónnom. Použitým raфинáčnym krokom je cementácia, ktorá predstavuje vysoko efektívnu a pritom jednoduchú metódu na odstránenie väčšiny prítomných kontaminantov, ako je železo, olovo, meď a ďalších. Kým obsah zinku v raфинovaných výluhoch sa pohyboval cca od 8-11 g·l<sup>-1</sup>, obsah nečistôt bol na úrovni jednotiek až desiatok mg·l<sup>-1</sup>. Na cementáciu sa vybral ako cementátor práškový hliník a zinok v pomere 1:1, pretože ich kombinácia sa predbežnými experimentami potvrdila ako najefektívnejšia. V práci sa realizovalo termodynamické štúdium prostredníctvom E-pH diagramov a  $\Delta G^0$ , ktorým sa potvrdila schodnosť navrhovaných experimentov cementácie pravdepodobne cestou vyzrážania uhličitanov predmetných kovov z výluhu alebo ich získania v elementárnej forme. V experimentoch sa sledoval vplyv navážky cementátorov (Al:Zn = 2,5:2,5 g·l<sup>-1</sup> respektíve 5:5 g·l<sup>-1</sup>) a vplyv teploty 20-80 °C na účinnosť cementácie hlavných nečistôt. U všetkých sledovaných kontaminantov s výnimkou železa došlo k ich úplnému odstráneniu už pri t = 20 °C. Na 100 %-né odstránenie železa bola potrebná teplota 80 °C. Z raфинovaného výluhu sa následne získalo ZnO dostatočnej kvality (viac ako 96 %) na jeho použitie v elektrotechnike alebo v gumárenskom priemysle.*

**KLúčové slová:** raфинácia; cementácia; kalcinácia; zinok; oxid zinočnatý

*For the treatment of zinc-containing wastes such as electric arc furnace dust, alkaline leaching can be used in addition to acid leaching. In this case, the advantage of alkaline leaching agents is the mutual separation of Zn and Fe present. During alkaline leaching with (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> the zinc passes into the leachate, but most of Fe is concentrated in the insoluble residue. However, in addition to zinc and small amount of iron, a number of accompanying metals such as Pb, Cu, Cr, Mn and Cd are also extracted into the leachate. For this reason, the leachates need to be refined before further processing. The most common and most affordable method of refining is cementation where zinc is used as a cementing agent. For the purpose of high efficiency of contaminant removal, a combination of Zn and Al metal powder as cementing agents was chosen for refining experiments. In order to predict the cementation conditions, E-pH diagrams for the Me-Zn-Al-C-N systems (where Me = Fe, Pb, Cu) at 20 °C were constructed using HCS Chemistry 6.1. The diagrams show that by using Zn and Al as cementing agent iron can be removed from solution as FeCO<sub>3</sub> rather than as metallic Fe at the considered pH = 8-9. The thermodynamic study confirmed the probability of cementation of the accompanying metals by Zn and Al, where  $\Delta G^0$  of the expected reactions takes a negative value even at 20 °C. In the experiments, the effect of the weight of the cementing agents (Al:Zn = 2.5:2.5 g·l<sup>-1</sup> and 5:5 g·l<sup>-1</sup>, respectively) and the effect of the temperature of 20-80 °C on the cementation efficiency of the main impurities were investigated. The results show that metals such as Pb and Cu can be removed with maximum efficiency at 20 °C, even at lower cementation weights. However, only 38.8 % of Fe is cemented under these conditions. The removal of Fe is influenced by the temperature, where the efficiency of iron cementation increased from 38.8 % at 20 °C to 80 % at 60 °C using Zn:Al = 2.5:2.5 g·l<sup>-1</sup>. Complete Fe removal at lower cementation weights occurred at 80 °C. A temperature of 40-60 °C may be considered sufficient to remove 100 % Fe, Pb and Cu using a higher weight of cementing agents (Zn:Al = 5:5 g·l<sup>-1</sup> leachate). The refined leachate was subsequently crystallized and the intermediate was calcined at 900 °C for 4 h. The Zn content of the produced ZnO ranges from 74.5 to 77.7 %, corresponding to 93.03-96.67 % of ZnO. ZnO with the highest purity was obtained from the leachate after cementation with Zn:Al = 5:5 g·l<sup>-1</sup> at 60 °C. The obtained ZnO can theoretically be used in the rubber industry because it achieves the required parameters of zinc and impurities content. A certain limitation for this application of ZnO could be the elongated shape of ZnO particles. Therefore, a suggestion for further research is to modify the shape of ZnO particles by changing the parameters of the crystallization and calcination process. Another possible use of the obtained ZnO with such purity is in the production of semiconductor component called varistors regardless of the particle shape.*

**Key words:** refining; cementation; calcination; zinc; zinc oxide

## Úvod

Recyklácia úletov z elektrických oblúkových pecí (EOP) je v súčasnosti široko diskutovanou témou, a to z dôvodu jeho vysokej produkcie, nebezpečných vlastností a ekonomickej hodnoty vďaka obsahu zinku. V súčasnosti sa úlety z EOP s nízkym obsahom Zn (približne 3 %) primiešavajú do peliet/brikiet na výrobu železa. V prípade úletu s vyšším obsahom Zn (25 - 46 %) sa uprednostňuje pyrometallurgické spracovanie [1], najmä Waelzov proces, ktorým sa spracuje takmer 90 % vyprodukovaného úletu. Produktom je surový ZnO, ktorý sa následne rafinuje elektrolyticky alebo ISP procesom (Imperial Smelting Process) [2, 3]. Hydrometallurgické spracovanie EOP úletov sa v priemysle používa len zriedkavo. Vo výskumnom meradle však existuje množstvo štúdií zaoberajúcimi sa procesmi kyslého lúhovania úletov [4 - 10]. Okrem kyslého lúhovania možno pri spracovaní úletov z EOP použiť aj alkalické médiá, ako napríklad NaOH [3] a  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  [11, 12]. Výhodou alkalického lúhovania je vzájomná separácia Zn a Fe, pretože kým Zn Fe prechádza do výluhu, väčšina Fe sa koncentruje v nerozpustnom zvyšku. Dôvodom je skutočnosť, že Zn sa extrahuje najmä zo ZnO, zatiaľ čo Fe sa z fázy  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  nevytlúhuje. Okrem Zn sa však do výluhu extrahuje aj množstvo sprievodných kovov, ako je Pb, Cu, Cr, Mn, Cd, atď. [3, 11, 12]. Z uvedeného dôvodu je potrebné výluhy pred ďalším spracovaním rafinovať. Najbežnejšou metódou rafinácie je cementácia. Cementácia je proces založený na vytesňovaní ušľachtilejšieho kovu ( $\text{Me}^{z+}$ ) pomocou menej ušľachtileho kovu ( $\text{M}^0$ ) podľa reakcie:



Schodnosť cementácie sa určí pomocou hodnôt elektródových potenciálov, pričom vytesňujúci kov musí mať zápornejší elektródový potenciál ako kov vytesňovaný.

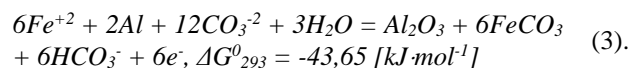
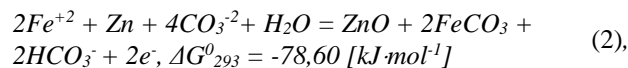
Pre experimenty cementácie sa ako cementátor použila kombinácia práškového Zn a Al za účelom zvýšenia účinnosti procesu cementácie sprievodných kovov z alkalického výluhu po lúhovaní EOP úletu pomocou  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , keďže predbežnými experimentmi sa zistila nedostatočná účinnosť ich cementácie pomocou samotného zinku. Časť dosiahnutých výsledkov je súčasťou publikácií [13, 14].

Cieľom práce bolo študovať podmienky cementácie vybraných sprievodných kovov, hlavne Fe, Cu a Pb (množstvo cementátora, teplotu 20 – 80°C) zo spomínaných výluhov s obsahom zinku 8,25 a 11,75 mg·l<sup>-1</sup>. Zámerom bolo získať rafinovaný výluh s dostatočnou čistotou pre následnú kryštalizáciu medziproduktu a zisk kalcinovaného ZnO s vhodnými vlastnosťami na jeho použitie v keramickom, elektrotechnickom alebo gumárenskom priemysle.

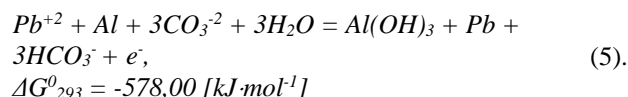
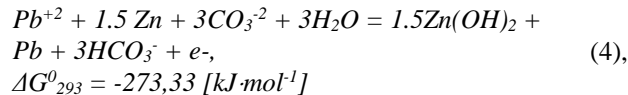
## 1. Termodynamické štúdium

Pre účely predikcie podmienok cementácie sa zostrojili E-pH diagramy pomocou HCS Chemistry 6.1 [15] pre systémy Me-Zn-Al-C-N (kde Me = Fe, Pb, Cu) pri najnižšej z uvažovaných teplôt (20 °C), obr. 1. Zvolil sa rozsah pH 6 – 10, pričom sa forma prítomnosti skúmaných kovov hodnotila pri pH = 8 - 9, čo predstavovalo skutočné pH výluhu. Zároveň sa zohľadnili aj maximálne koncentrácie cementovaných kovov vo výluhoch. Z E-pH diagramov vyplýva, že oblasť stability kovového Fe v prítomnosti  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  a iných rozpustených nečistôt sa nachádza v oblastiach mimo stability vody v celom uvažovanom rozsahu pH, preto možno očakávať, že pomocou Zn a Al pri uvažovanom pH = 8-9 sa železo môže z roztoku odstrániť skôr ako  $\text{FeCO}_3$  než ako kovové Fe.

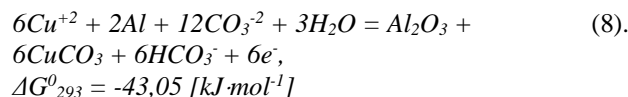
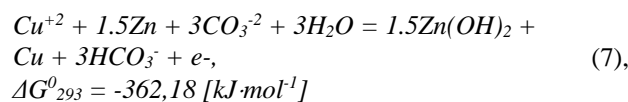
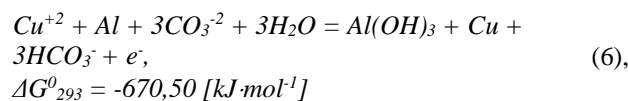
Priebeh cementácie železa pri teplote 20 °C reprezentujú chemické reakcie (2, 3) a hodnota zmeny štandardnej Gibbsovej energie ( $\Delta G^0_{293}$ ) vypočítaná na 1 mol cementovaného kovu.

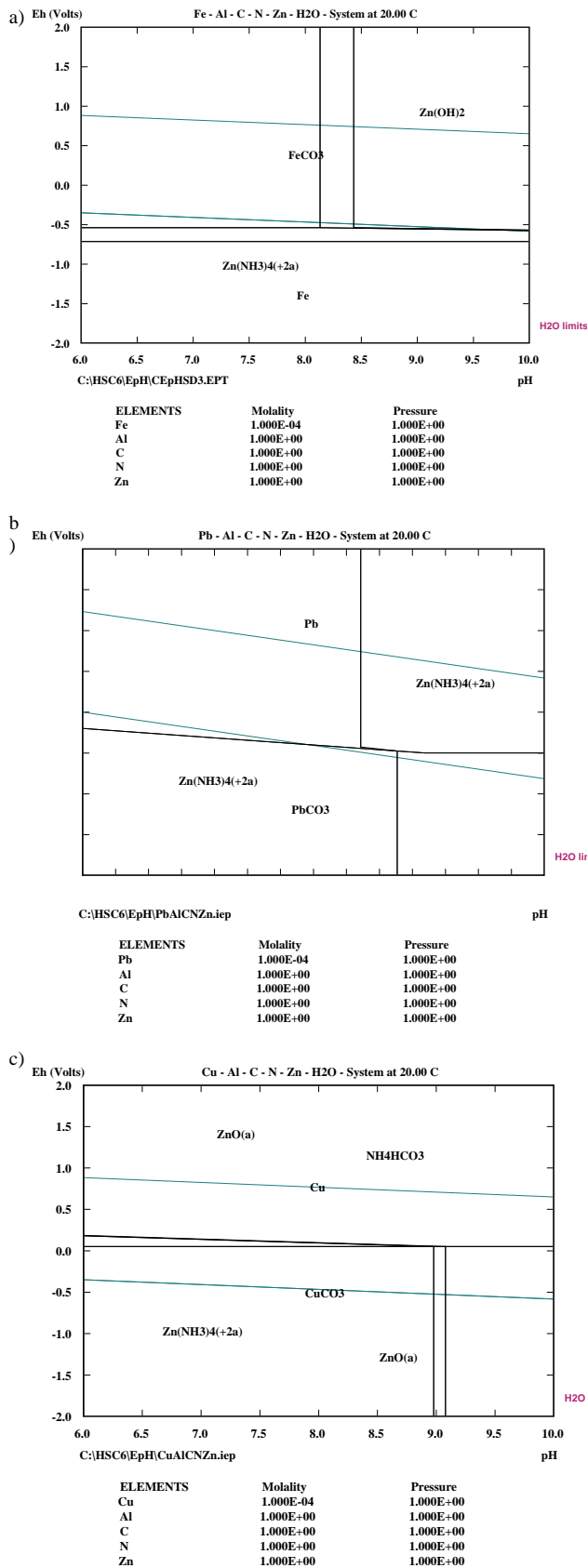


Olovo sa pri teplote 20 °C pravdepodobne bude cementovať v elementárnej forme (4, 5),



Meď sa môže z výluhu za stanovených podmienok pri teplote 20 °C odstrániť ako Cu alebo  $\text{CuCO}_3$ , (6-8),



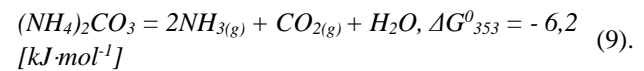


Obr. 1 E-pH diagramy pre systémy Me-Zn-Al-C-N-H<sub>2</sub>O pri 20 °C, kde Me = Fe a), Pb b), Cu c)

Fig. 1 E-pH diagrams for Me-Zn-Al-C-N-H<sub>2</sub>O system at 20 °C, where Me = Fe a), Pb b), Cu c)

Termodynamické štúdium potvrdilo pravdepodobnosť cementácie sprievodných kovov pomocou kovového Zn a Al, kde  $\Delta G^0$  očakávaných reakcií nadobúda zápornú hodnotu aj pri 20 °C.

Pri vyšších teplotách sa proces cementácie môže líšiť, a to aj v dôsledku rozkladu  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  a prítomnosti iných zlúčenín na báze dusíka, uhlíka a vody, pretože približne pri 50 °C sa začína rozkladať  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  a uvoľňovať plynný  $\text{NH}_3$  a  $\text{CO}_2$  podľa reakcie (9)



Otázkou v praktickom meradle je aj pasivácia práškoveho Zn a Al a jej vplyv na rýchlosť a účinnosť cementácie a formu cementačných produktov.

## 2. Experimentálna časť

Na experimenty sa použili EOP úlety, ktorých zloženie je uvedené v tab.1.

Tab. 1. Chemické zloženie vstupného úletu z EOP

Tab. 1 Chemical composition of the inlet drift from the EOP

Zložka	Zn	Fe	Pb	Cd	Cu
[hm. %]	28,01	26,34	0,73	0,02	0,12
Zložka	Cr	Mn	Ni	Ca	Si
[hm. %]	0,31	1,90	0,013	5,25	1,44

EOP úlety sa v prvom kroku podrobili lúhovaniu nasledovným postupom:

1. lúhovanie EOP úletu vo vode;
2. lúhovanie premytého úletu v  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  s koncentráciou  $100 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ , 50 °C, 2 hodiny, pri pomere kvapalnej fázy k pevnej fáze K:P = 10;
3. opätovné lúhovanie úletu získaným výluhom obohateným o  $25 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$   $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , 50 °C, 30 minút, K:P = 10.

Týmto postupom sa získali výluhy, ktoré sa následne použili na cementačné experimenty. Obsah vybraných kovov v cementovaných výluhoch je uvedený v tab. 2. Chemická analýza úletov, výluhov a získaného produktu sa vykonala metódou atómovej adsorpčnej spektrometrie (AAS) pomocou prístroja Varian AA240+.

Cementácia sa realizovala v sklenenom reaktore, ktorý bol vložený do termostatu kontrolovaného vodného kúpeľa, za nasledovných podmienok: cementátor Zn:Al v pomere 2,5:2,5  $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ , 5:5  $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  výluhu, teplota 20, 40, 60 a 80 °C, čas 30 minút, 300 otáčok/min. Účinnosť cementácie sa vypočítala podľa vzťahu (10):

$$\eta = \frac{c_{(0)} - c_{(1)}}{c_{(0)}} \cdot 100 [\%] \quad (10),$$

kde:  $c_{(0)}$  je počiatková koncentrácia iontu kovu vo výluhu,  $c_{(1)}$  je konečná koncentrácia iontu kovu vo výluhu.

Výluhy po cementácii ďalej postupovali na kryštalizáciu medziproduktu na báze hydratovaného uhličitanu zinočnatého eho kalcináciu za účelom získania práškoveho ZnO. Kryštalizácia zásaditého výluhu prebiehala pri teplote 105 °C v kryštalizačných miskách.

Produkt kryštalizácie sa následne kalcinoval pri teplote 900 °C počas 4 hod. Kalcináty sa podrobili analýze AAS,rtg difrakčnej fázovej kvalitatívnej analýze a pozoro-

rovaniu pomocou skenovacieho elektrónového mikroskopu (SEM).

### 3.1. Dosiahnuté výsledky

#### 3.1.1 Cementácia sprievodných kovov

Obsah Zn, Fe, Pb a Cu vo výluhoch pred a po cementácii a účinnosť cementácie sú uvedené v tab. 2.

Tab. 2 Obsah Zn, Fe, Pb a Cu vo výluhoch pred a po cementácii a účinnosť cementácie

Tab. 2 Zn, Fe, Pb and Cu content in leachates before and after cementation and cementation efficiency

t [°C]	Cementátor	Pred cementáciou/ Po cementácii	Zn	Fe	Pb	Cu	pH
			[µg·ml <sup>-1</sup> ]				
20	2,5 g/l Zn 2,5 g/l Al	Pred	8250	5,54	21,39	7,59	9,02
		Po / η [%]	8180	3,39 / <b>38,8</b>	0 / <b>100</b>	0 / <b>100</b>	9,01
	5 g/l Zn 5 g/l Al	Pred	8250	5,54	21,39	7,59	9,02
		Po / η [%]	9000	2,76 / <b>50,2</b>	0 / <b>100</b>	0 / <b>100</b>	9,02
40	2,5 g/l Zn 2,5 g/l Al	Pred	11750	2,67	1,51	9,31	8,89
		Po / η [%]	11180	0,71 / <b>73,4</b>	0 / <b>100</b>	0 / <b>100</b>	8,89
	5 g/l Zn 5 g/l Al	Pred	11750	2,67	1,51	9,31	8,89
		Po / η [%]	10560	0 / <b>100</b>	0 / <b>100</b>	0 / <b>100</b>	8,87
60	2,5 g/l Zn 2,5 g/l Al	Pred	8250	5,54	21,39	7,59	9,02
		Po / η [%]	9500	1,13 / <b>79,6</b>	0 / <b>100</b>	0 / <b>100</b>	9,00
	5 g/l Zn 5 g/l Al	Pred	8250	5,54	21,39	7,59	9,02
		Po / η [%]	9640	0 / <b>100</b>	0 / <b>100</b>	0 / <b>100</b>	9,01
80	2,5 g/l Zn 2,5 g/l Al	Pred	11750	2,67	1,51	9,31	8,89
		Po / η [%]	10600	0 / <b>100</b>	0 / <b>100</b>	0 / <b>100</b>	8,80
	5 g/l Zn 5 g/l Al	Pred	11750	2,67	1,51	9,31	8,89
		Po / η [%]	11700	0 / <b>100</b>	0 / <b>100</b>	0 / <b>100</b>	8,88

#### 3.1.2 Charakterizácia získaného kalcinátu (ZnO)

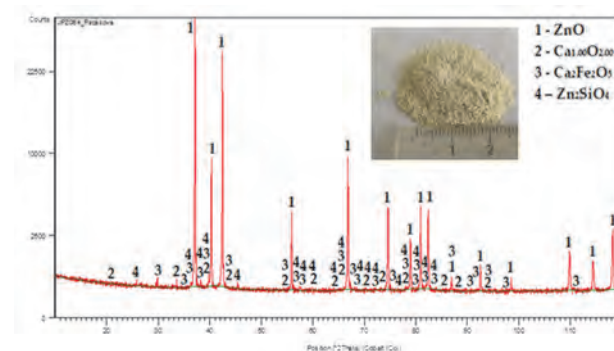
Koncentrácia zinku vo vstupných výluhoch po cementácii určených na kryštalizáciu, hmotnosti kryštalizátov a kalcinátov, obsah zinku a železa v získanom produkte ZnO a jeho čistota sú uvedené v tab. 3.

Tab. 3 Vstupy a výstupy z kalcinácie, obsah Zn a Fe v získanom ZnO a jeho čistota

Tab. 3 Inputs and outputs of calcination, Zn and Fe content in the obtained ZnO and its purity

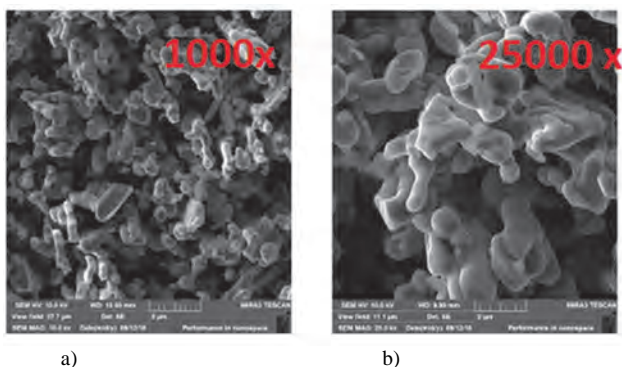
Zn v cemento- vanom výluhu	Kryštalizát - vstup na kalcináciu	Kalcinát	Zn	Fe	Čistota ZnO
[µg·ml <sup>-1</sup> ]	[g]		[%]		
8180	4,30	2,60	<b>75,67</b>	0,05	<b>94,31</b>
9000	3,00	1,86	<b>76,33</b>	0,04	<b>95,00</b>
11180	4,68	2,94	<b>75,36</b>	0,06	<b>93,80</b>
10560	5,60	3,79	<b>77,61</b>	0,04	<b>96,60</b>
9640	2,80	1,28	<b>77,21</b>	0,00	<b>96,10</b>
9500	3,00	1,80	<b>77,67</b>	0,04	<b>96,67</b>
10600	5,82	3,74	<b>76,35</b>	0,03	<b>95,19</b>
11700	3,64	2,44	<b>74,47</b>	0,03	<b>93,03</b>

Výsledky rtg difrakčnej fázovej kvalitatívnej analýzy získaného ZnO s najvyššou čistotou (96,67 %) a jeho morfológia sú zobrazené na obr. 2 a obr. 3.



Obr. 2 Rtg záznam kalcinátu ZnO s obsahom Zn 96,67 %

Fig. 2 XRD pattern of calcined ZnO with Zn content of 96,67 %

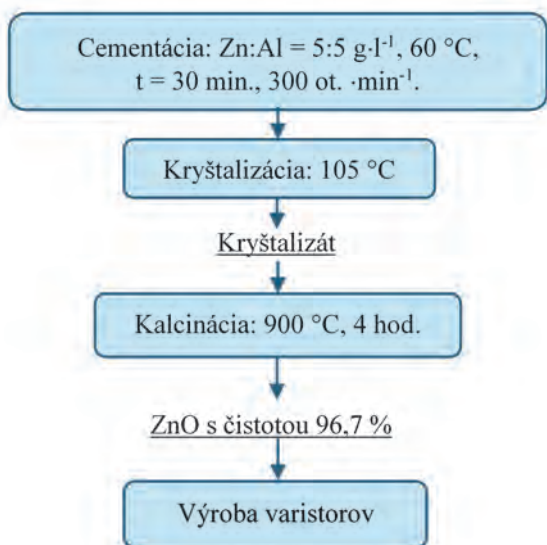


Obr. 3 Morfológia kalcinátu ZnO s obsahom Zn 96,67 %, a) zväčšenie 1000 ×, b) zväčšenie 25000 ×

Fig. 3 Morphology of calcined ZnO with Zn content of 96.67 %, a) magnification 1000 ×, b) magnification 25000 ×

Na základe získaných výsledkov sa navrhol postup spracovania a rafinácie výluhov s obsahom Zn po alkalickom lúhovaní EOP úletov. Na obr. 4 je uvedená bloková schéma navrhovaného postupu s aplikáciou pre elektrotechnický priemysel.

#### Zn výluhy po alkalickom lúhovaní EOP úletov



Obr. 4 Navrhovaný postup rafinácie a spracovania alkalických Zn výluhov

Fig. 4 Proposed process for the refining and processing of alkaline Zn leachates

### 3. Diskusia a záver

Tento príspevok popisuje postup rafinácie alkalického výluhu, ktorý môže byť jedným z krokov komplexného spracovania úletov z EOP s cieľom získať zinok vo forme ZnO a prípadne aj ďalšie kovy. Cementácia je jednoduchá, lacná a spoľahlivá rafinačná metóda a navyše v prípade zinku ako cementačného činidla je cementovaný výluh obohatený o zinok z vylúhovaného cementátora. Hliník je zase vhodným cementátorom v prípadoch, ak výluh obsahuje kovy, ktoré majú nízky elektródový potenciál, ako je napr. železo. Výhodou tiež je, že hliník neznečisťuje výluh a koncový produkt, nakoľko v danom prostredí, rozmedzí

pH a elektrochemických potenciálov je prítomný v tuhom stave.

Výsledky experimentov cementácie ukazujú, že kovy ako Pb a Cu možno s maximálnou účinnosťou odstrániť už pri teplote 20 °C aj pri nižšej navážke cementátorov. Avšak za daných podmienok sa vycementuje iba 38,8 % Fe. Na odstraňovanie Fe má vplyv teplota, kedy so stúpajúcou teplotou vzrástla účinnosť cementácie železa z 38,8 % pri 20 °C na 80 % pri 60 °C pri použití Zn:Al = 2,5:2,5 g·l<sup>-1</sup> výluhu. K úplnému odstráneniu železa pri nižšej navážke cementátorov došlo pri teplote 80 °C. Za postačujúcu teplotu na odstránenie 100 % Fe, Pb, Cu možno označiť teplotu 40-60 °C, ale s použitím vyššej navážky cementátora (Zn:Al = 5:5 g·l<sup>-1</sup> výluhu). Výhodou navrhovaného postupu cementácie s použitím kombinácie cementátorov Zn a Al je aj skutočnosť, že pri cementácii nedošlo k prechodu hliníka do výluhu. Za daných podmienok pH a elektrochemického potenciálu je pravdepodobná jeho pasivácia vo forme nerozpustného Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alebo jeho vyzrážanie z výluhu napríklad vo forme Al(OH)<sub>3</sub>, keďže hliník môže pôsobiť ako donor elektrónov s následným vyzrážaním z výluhu [16].

Z výsledkov dosiahnutých spracovaním rafinovaného výluhu kryštalizáciou a kalcináciou (tab. 3) vyplýva, že obsah zinku v ZnO sa pohybuje od 74,47 % do 77,67 %, čo zodpovedá 93,03-96,67 %-nému obsahu ZnO. ZnO s najvyššou čistotou sa získal z výluhu po cementácii s navážkou Zn:Al = 5:5 g·l<sup>-1</sup> pri teplote 60 °C. Prítomnosť ZnO potvrdila aj fázová analýza (rtg difrakčný záznam tohto kalcinátu, obr. 2). Medzi pravdepodobné kontaminanty patrí napríklad dikalciumferit Ca<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, čo zodpovedá obsahu vápnika v spracovávanom výluhu (cca 60 µg·ml<sup>-1</sup>). Potvrdila sa aj prítomnosť willemitu - Zn<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, pričom kremík možno považovať za stabilný kontaminant bez významného vplyvu na kvalitu a použiteľnosť konečného produktu. Častice získaného ZnO, obr. 3, majú väčšinou podlhovastý skôr nepravidelný tvar s dĺžkou od 5 µm a priemerom cca 1 µm. Jednotlivé častice vytvárajú väčšie zhluky s priemerom približne 100 µm, čo poukazuje na ich spekanie v dôsledku vyššej použitej teploty kalcinácie. Teplotou a dobou kalcinácie však možno do istej miery regulovať aj veľkosť a tvar zrn alebo agregátov ZnO s ohľadom na požiadavky danej aplikácie. V prípade potreby dosiahnutia špecifického tvaru častíc (zrn), je vhodné kontrolovať a upraviť tiež podmienky procesu kryštalizácie medziproduktu.

Získaný ZnO možno teoreticky využiť v gumárenskom priemysle. Minimálna čistota ZnO na použitie v gumárenskom priemysle by mala byť 93 %, pričom obsah Pb a Cd by nemal presiahnuť 3 a 2 mg·kg<sup>-1</sup> [17]. Popisovaný konečný produkt ZnO spĺňa požadovanú čistotu, keďže obsah kadmia bol už vo vstupnom výluhu na cementáciu nulový a cementáciou sa odstránilo 100 % prítomného olova. Určitým obmedzením pre uplatnenie ZnO v gumárenskom priemysle by mohol byť podlhovastý tvar častíc ZnO, keďže podľa [18] gumárenský priemysel uprednostňuje sférický tvar. Námetom na ďalší výskum je preto modifikácia tvaru častíc ZnO zmenou parametrov kryštalizačného a kalcinačného procesu. Ďalšie možné využitie

získaného ZnO s takouto čistotou je v polovodičové technice při výrobě varistorů bez ohledu na tvar částic [19]. Nečistoty v podobě Si, Ca a Fe navyše neznižují kvalitu sůčastky z hlediska elektrických vlastností, naopak môžu pôsobiť ako potrebný dopant. Z toho dôvodu sa tento spôsob využitia získaného ZnO javí ako vysoko perspektívny.

### Pod'akovanie

Práca vznikla v rámci riešenia grantu VEGA MŠ SR 1/0678/23 a za jeho finančnej podpory.

### Literatúra

- [1] AL-HARAHSEH, M., AL-NUAIRAT, J., AL-OTOOM, A., AL-HAMMOURI, I., AL-JABALI, H., AL-ZOUBI, M. and ALASAI, S. A. Treatments of electric arc furnace dust and halogenated plastic wastes. *J. Environ. Chem. Eng.* (2019), 7, e102856.
- [2] ANTUNANO, N., CAMBRA, J.F. and ARIAS, P.L. Hydrometallurgical processes for Waelz oxide valorisation. *Process Saf. Environ. Prot.* 2019, 129, 308-320.
- [3] PALIMAKA, P., PIETRZYK, S., STEPIEN, M., CIECKO, K. and NEJMAN, I. Zinc Recovery from Steelmaking Dust by Hydrometallurgical Methods. *Metals* (2018), 8, 1-13.
- [4] KAYA, M., HUSSAINI, S. and KURSUNOGLU, S. Critical review on secondary zinc resources and their recycling Technologies. *Hydromet.* (2020), 195, e105362.
- [5] HAZAVEHA, P. K., KARIMIA, S., RASHCHIA, F. and SHEIBANIA, S. Purification of the leaching solution of recycling zinc from the hazardous electric arc furnace dust through an as-bearing jarosite. *Ecotox. And Environ. Safety* (2020), 202, 110893.
- [6] XANTHOPOULOS, P., AGATZINI-LEONARDOU, S., OUSTADAKIS, P. and TSAKIRIDIS P. E. Zinc recovery from purified electric arc furnace dust leach liquors by chemical precipitation. *J. Environ. Chem. Eng.* (2017), 5, 3550-3559.
- [7] HUAN, Y., LI-YUAN, Ch., BING, P., MI, L., NING, P. and DONG-KE, H. A novel method to recover zinc and iron from zinc leaching residue. *Miner. Eng.* (2014), 55, 103-110.
- [8] LAUBERTOVA, M., HAVLIK, T., PARILAK L., DERIN, B. and TRPCEVSKA, J. The Effects of Microwave-assisted leaching on the treatment of electric arc furnace dusts (EAFD). *Arch. Metall. Mater.* (2020), 65, 1, 321-328.
- [9] YAO, Y.T. and HWANG, S.L. Improved hydrometallurgical extraction of zinc and iron from electric arc furnace (EAF) dust waste using hydrochloric acid. *AIP Conference Proceedings* 2019, 2157, 020017.
- [10] HUI-GANG, W., JIAN-MING, G., WENWU, L., MEI, Z. and MIN, G. Recovery of metal-doped zinc ferrite from zinc-containing electric arc furnace dust: Process development and examination of elemental migration. *Hydrometall.* (2016), 166, 1-8.
- [11] BINNEMANS, K., JONES, P. T., FERNANDEZ, A. M. and TORRES, V. M. Hydrometallurgical Processes for the Recovery of Metals from Steel Industry By-Products. *J. Sustain. Metall.* (2020), 6, 505-540.
- [12] HAVLIK, T., MARUSKINOVA, G. and MISKUFOVA, A. Determination of ZnO amount in electric arc furnace dust and temperature dependence of leaching in ammonium carbonate by using of x-ray diffraction. *Arch. Metall. Mater.* (2018), 63, 653-658.
- [13] TAKACOVA, Z., PIROSKOVA, J., MISKUFOVA, A., VINDT, T., HEZELOVA, M. and ORAC, D. Removal of Impurities from EAFD Ammonium Carbonate Leachate and Upgrading the Purity of Prepared ZnO. *Materials* (2023), 16, 5004.
- [14] TAKÁČOVÁ, Z., PIROŠKOVÁ, J. and MIŠKUFOVÁ, A. Cementácia výluhov z lúhovania EOP úletov a príprava konečného produktu. In *Ocelári : 38. ročník konferencie teorie a praxe výroby a zpracování oceli : sborník konference. - Ostrava (Česko): Tanger s. 2024, 110-117, ISBN 978-80-88365-16-7.*
- [15] ROINE, A. HSC chemistry®, ver. 6.1 – software Outotec Research Oy.
- [16] CHOI, S., JEON, S., PARK, I., ITO, M. and HIROYOSHI, N. Enhanced Cementation of Co<sup>2+</sup> and Ni<sup>2+</sup> from Sulfate and Chloride Solutions Using Aluminum as an Electron Donor and Conductive Particles as an Electron Pathway. *Metals* (2021), 248, 1-11.
- [17] RheinChemie Additives. Specialty Rubber Products. <https://rch.lanxess.com/product/zinkoxyd-aktiv-2?lang=en> (citované 13.03.2024).
- [18] ANAND KRISHNAMOORTHY, K. and VARGHESE, S. Review - The Importance of Zinc Oxide (ZnO) in Rubber Technology. *Raw Materials and Applications* (2018), 10, 33-39.
- [19] LIPTAI, P., DOLNIK, B., BRIANCIN, J. and HAVLIK, T. Hydrometallurgical Recycling of Electric Arc Furnace Dust. *Waste Biomass Valor* 2020, 11, 4419-4428.

## Turecko v lednu až dubnu 2024 zvýšilo dovoz šrotu na 6,83 milionu tun

V lednu až dubnu 2024 zvýšily turecké ocelářské podniky svůj dovoz šrotu o 2,5 % ve srovnání se stejným obdobím roku 2023 na 6,83 milionů tun. Hodnota dovozu v tomto období vzrostla o 7,2 % r/r – na 2,95 miliardy USD. Vyplývá to z údajů tureckého statistického institutu (TUIK), uvádí SteelOrbis.

Turecko je v produkci oceli na osmém místě na světě. Turečtí výrobci oceli v roce 2023 snížili produkci oceli o 14 % ve srovnání s rokem 2022 na 33,7 milionů tun. V Turecku je 30 oceláren, včetně 4 vysokých pecí a 26 elektrických obloukových pecí. Jejich roční kapacita výroby oceli se odhaduje na asi 60 milionů tun. Jinými slovy, v roce 2023 bylo využito kapacity 58,5 %.

Zdroj: GMK Center