

Možnosti zjišťování korundu ve struskách pomocí gravitačního rozduřování na splavech

doc. Ing. Jiří Botula, Ph.D.¹, Ing. Michal Kratochvíl¹, Ing. Aneta Landecká¹

¹ Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Hornicko – geologická fakulta,

17. listopadu 15/2172, Ostrava – Poruba, 708 33

e-mail: jiri.botula@vsb.cz, michal.kratochvil.st@vsb.cz

Souhrn

Cílem studie bylo zjistit možnosti zjišťování korundu, jako škodlivé složky ve struskách. K zjištění možného výskytu a množství korundů ve strusce se aplikovaly možnosti gravitačního rozduřování (pomocí rozdílů měrných hmotností) na splavech. Prvním krokem byla detailní charakterizace materiálu pomocí mechanicko-fyzikálních parametrů, mezi které se řadí například distribuce velikosti částic. Dále se aplikovalo přetřídění, tak aby se získal co nejhomogennější materiál. Následně bylo ověřeno, zda se pomocí gravitačního rozduřování mohou analyzovat částičky korundu ve struskách. Pokusy byly prováděny na vodním a pneumatickém splavu. Na závěr byly vzorky analyzovány pomocí plavení.

Výsledky naznačují, že pomocí aplikace gravitačního rozduřování na splavech v laboratoři se dají zjistit minerály korundu v daných vzorcích strusek. Množství částiček a jejich velikost je závislá na druhu výroby železa, přepravy strusky, a její následné úpravy.

Klíčové slova: struska, korund, třídění, gravitační rozduřování, splavy.

Summary

The aim of the study was to determine the detection of corundum, as harmful components in the slags. It was applied possibilities of gravity concentration (using the density differences) on shaking table to detect possible occurrence and amount of corundum in the slag. The first step was detailed characterization of the material using a mechanical-physical parameters, for example the particle size distribution. Furthermore it was applied reclassification to obtain the most homogeneous material. Subsequently it was examined if it is possible to use gravity concentration for analysing the particles of corundum in slags. Experiments were carried out on the water and pneumatic shaking table. Finally the samples were analyzed by float. The results indicate that it is possible to use gravity concentration on shaking tables to detect corundum in samples of slags in laboratory. The quantity of particles and their size depends on the kind of production of iron, transport of slag and another modifications of material.

Keywords: slag, corundum, classification, gravity concentration, shaking table.

1. Úvod

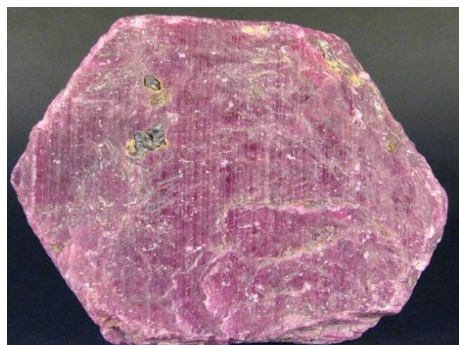
Struska vzniká jako vedlejší produkt při zpracování železa a oceli tavením a rafinací kovů, spalováním uhlí nebo různých odpadů. Struska je považována za odpad, který vzniká jako vedlejší produkt v hutnických procesech. Strusku je možné rozdělit do několika skupin podle jejího vzniku: vysokopecní (při výrobě železa), ocelářenskou (při výrobě oceli) nebo případně slévářenskou. V tabulce č. 1 můžeme porovnat rozdíly v průměrném procentuálním zastoupení jednotlivých složek vyskytujících se ve vysokopecní a ocelářenské strusce. Největší rozdíly zaznamenáváme v hodnotách SiO_2 a $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$. [1,2]

Tabulka č. 1: Procentuální rozdíly mezi základními složkami obsažených ve struskách [2]

Struska	Složka [hm%]					
	MnO	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	FeO+Fe ₂ O ₃
Vysokopecní	0,5-2	10-14	35-38	6-9	34-38	0,5-1
Ocelářenská (uhlíkatá ocel)	3-8	5-15	35-60	2-9	9-20	15-30
Ocelářenská (legovaná ocel)	0,4-2	8-15	39-45	3-8	24-32	1-6

V dnešní době se struska hojně využívá jako druhotná surovina převážně ve stavebnictví. V tomto odvětví dokáže dobře nahradit primární suroviny. Je tedy výhodná jak z ekologického, tak z ekonomického hlediska. [1,3]. Účinně snižuje náklady na výrobu použitého stavebního materiálu (cement, suché maltové směsi, beton, malta, cihly, dlažební kostky a celá řada dalších výrobků) až o 15-30%. Řadu příkladů s využíváním strusky na tyto účely můžeme nalézt v zahraničí např. v Německu a Dánsku je využíváno téměř 100% roční produkce strusky. Dále až 70% roční produkce se využívá v USA, Velké Británii, Polsku, atd. [4]

Korund je krystalická forma oxidu hlinitého (Al₂O₃) v hexagonální stavbě. V přírodě se korund vyskytuje jak v bezbarvém provedení, tak se i v různých barevných variacích. Barva je závislá na obsažených stopových prvcích v minerálu. Na obrázku č. 1 (A – safír; B – rubín) jsou znázorněny přírodní variace korundu. Po diamantu je korund jeden z nejtvrdějších minerálů vyskytujících se v přírodě, čímž je korund velmi odolný proti oděru a korozi. Díky svým fyzikálním vlastnostem je hojně využíván v průmyslu jako abrazivum. Dále díky své vysoké tepelné odolnosti se využívá v žáruvzdorných vyzdívkách. Jednodušší než těžba je výroba umělého korundu modifikací oxidu hlinitého z bauxitu. Tento proces je velice energeticky a výrobně náročný. Samotnou rudu je potřeba nejprve rozemlít a smíchat s vápencem a hydroxidem sodným. Takto vzniklá směs je přečerpána do vysokotlakých nádob, kde je následně zahřívána. Hydroxid sodný s oxidem hlinitým, který se z daného roztoku vysráží, se propere a zahřeje, čímž je ze směsi odstraněna přebytečná voda. Cílem celého procesu je získaný bílý prášek podobný cukru. Často se do směsi přidávají stopové prvky, které materiál zbarvují a zlepšují jejich fyzikální a chemické vlastnosti. [5,6,7].



Obrázek č. 1A



Obrázek č. 1B

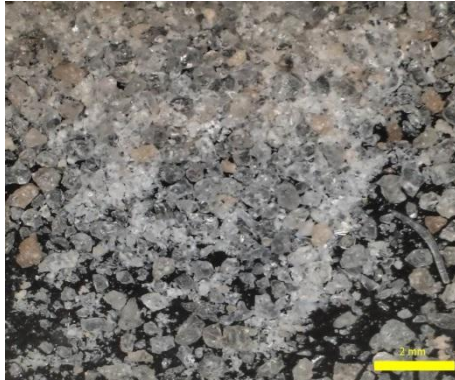
Obrázek č. 1: Přírodní korund [7]

2. Experiment, metody

Ve studii byla použita a zkoumána vysokopecní struska, která byla pomocí základních úpravářenských metod (sítování, mletí, magnetická separace) upravena na vlastnosti, které by vyhovovaly jejímu dalšímu využití v průmyslu (Obrázek č. 2). V laboratorních pokusech byly využity vzorky různých šarží a dnů výroby. Na vzorcích byly stanoveny jejich základní mechanicko-fyzikální vlastnosti s vyhodnocením možností dalšího využití v konkrétní technologii.

2.1 Sítová analýza

Sítová analýza byla provedena podle normy ČSN EN 933-1 (721193). Tato norma odpovídá evropské normě EN 933-1:2012. Byla použita část 1: Stanovení zrnitosti, sítový rozbor (obsah: 5 Zkušební zařízení; 6 Příprava zkušebních navážek; 7 Zkušební postup; 8 Výpočet a vyjádření výsledků). [8]



Obrázek č. 2A

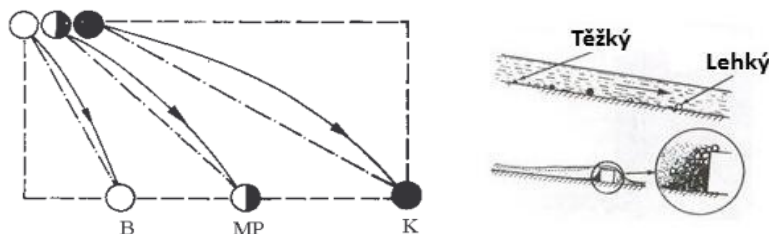


Obrázek č. 2B

Obrázek č. 2: Vysokopecní struska [9]

2.2 Rozdružování na splavech

Rozdružování materiálu se děje v proudu média na mírně nakloněné desce, která vykonává nerovnoměrný kmitavý pohyb v podélném směru. Základní podmínkou je dostatečně velký rozdíl měrných hmotností rozdružovaných komponent. Princip rozdružování je znázorněn na obrázku č. 3. Desky mohou být obdélníkového nebo kosodélníkového tvaru. Na desce jsou upevněny lišty, které zpomalují pohyb částic. Větší nebo těžší částice mají vyšší těžiště, a proto na desce postupují dále, než malé nebo lehčí částice. Sklon desky bývá mezi 2° až 10° v příčném směru. [10]



Obrázek č. 3: Princip rozdružování na splavech

Pozn.: B - odpad, MP - meziprodukt, K - koncentrát

Na částice působí:

- hmotnostní síla (velké částice ve vodě),
- unášecí síla média,
- třecí síla (vlečné tření),
- kývavý pohyb (délka a počet kyvů).

Jako médium se využívá voda (vodní splav) nebo vzduch (pneumatický splav). U vodních splavů se využívá účinku tenké vrstvy vody tekoucí po mírně nakloněné splavové desce. Díky naklonění se rmut snaží stékat po desce nejkratší cestou, tzn. kolmo k podélné ose splavu. Na zrno působí dvě síly a to ve směru podélné osy působí síla setrvačná (snaha přesunout zrna na opačný konec splavu). Dále působí na zrno síla proudu vody, která je kolmá ke směru působení setrvačné síly. Princip práce je poměrně složitý, dochází převážně k tomu, že částice vyšší hustoty se pohybují po povrchu splavové desky a působením kmitavého pohybu splavu jsou unášeny směrem k výstupní části. Částice s nízkou hustotou nedosáhnou ke konci výstupní části z důvodu působení proudu vody, která odnáší zrna pryč z desky.

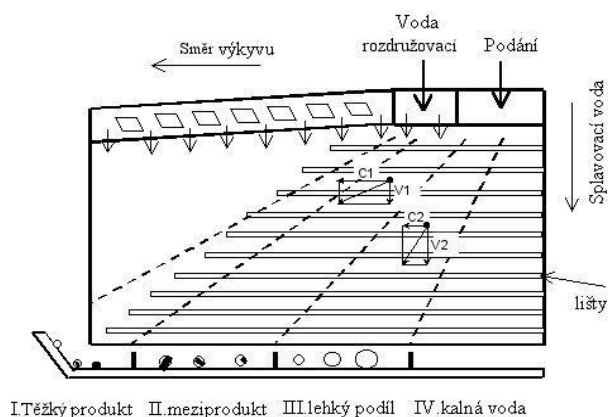
Těžší zrna jsou navíc chráněna před působením vody nainstalovanými lištami. Postup rozdrůžování na vodním splavu a působení sil je ilustrován na *obrázku č. 4A*. Zatímco u pneumatických splavů se využívá nadnášení částic pomocí stlačeného vzduchu vhněného ze spod desky. Postup rozdrůžování na vzdušném splavu je zobrazen na *obrázku č. 4B*. Protékání rmutu po desce se blíží laminárnímu proudění a rychlost unášených zrn můžeme vyjádřit vztahem pro dvě zrna:

$$v_1 = u_1 - v_{m1} \sqrt{\cos \alpha \cdot \tan \gamma_1 - \sin \alpha} \quad 3.1$$

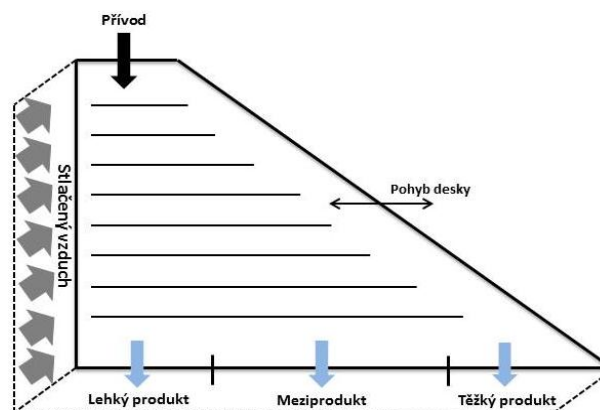
$$v_2 = u_2 - v_{m2} \sqrt{\cos \alpha \cdot \tan \gamma_2 - \sin \alpha} \quad 3.2$$

v_n	...	rychlost unášeného zrna [m.s],
u_n	...	rychlost vodního proudu [m.s],
v_{mn}	...	konečná pádová rychlost zrna,
α	...	úhel sklonu splavové desky [°],
$\tan \gamma_n$...	koeficient tření.

Účinnost rozdrůžování závisí hlavně na rychlosti vody, sklonu desky a množství přiváděného materiálu v přívodu. Rychlost proudu rmutu se zvětšuje se zvětšováním úhlu sklonu desky a zvětšující se měrnou hmotností kapaliny. S přibývající se její viskozitou se rychlost proudu zmenšuje. Bude se tedy jednat o zrna soupádná, bude $v_{m1} = v_{m2}$ a pokud položíme do vztahu 3.1 a 3.2 úvahu, že rozdíl v koeficientu tření je minimální $f_1 = f_2$ ($\tan \gamma_1 = \tan \gamma_2$), pak se bude velké zrno malé hustoty pohybovat velkou rychlostí a malé zrno velké hustoty se bude pohybovat malou rychlostí. [10,11]



Obrázek č. 4A



Obrázek č. 4B

Obrázek č. 4: Princip rozdrůžování na vodním (A) a pneumatickém splavu (B)

Pro laboratorní pokusy byly využity tyto splavy:

- **vodní splav:**

Laboratorní vodní splav firmy *Holman-Wilfley*, model *Holman 800*. Na zařízení je možno nastavovat: *sklon desky, množství proudění kapaliny a přiváděného materiálu, délka a rychlost kmitů desky*. Na *obrázku č. 5A* je znázorněn vodní splav firmy *Holman-Wilfley*.

- **pneumatický splav:**

Laboratorní pneumatický splav firmy *Triple/S Dynamics*, model *V135E*. Na zařízení je možno nastavovat: *sklon desky (horizontální a vertikální nastavení), síla proudění vzduchu, množství přiváděného materiálu, délka a rychlost kmitů desky*. Na *obrázku č. 5B* je znázorněn vodní splav firmy *Triple/S Dynamics*.



Obrázek č. 5A



Obrázek č. 5B

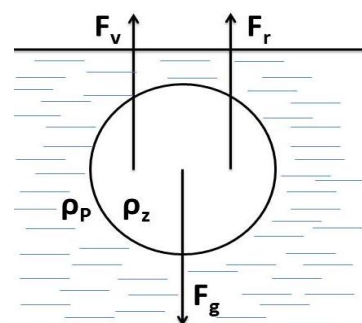
Obrázek č. 5: vodní splav (A) a pneumatický splav s automatickým podavačem (B)

2.3 Rozdružování v těžkých suspenzích

Tato metoda je založena na rozdružování užitkových nerostů podle měrné hmotnosti v takovém prostředí, kdy měrná hmotnost kapaliny je ohraničující mezi měrnými hmotnostmi rozdružovaných nerostů. Materiál s menší měrnou hmotností, než má prostředí, ve kterém se nachází, plave na hladině kapaliny. Naopak složky s větší měrnou hmotností, než má kapalina, klesají ke dnu nádoby (zařízení). Rozdružování v těžkých suspenzích v gravitačním poli se řídí zákonitostmi pohybu částic v tekutině. Vycházíme při tom z Newtonova zákona a pro zjednodušení matematických rovnic volíme kulovitý tvar materiálu. Na zrno v kapalině působí síla vztlačková (F_v), síla odporu prostředí (F_r). Tyto síly působí ve stejném směru. Opačně orientovaná je potom gravitační síla (F_g). Přehled sil a jejich působení je znázorněno na obrázku č. 6. Všechna pevná tělesa mají při pádu v hmotném prostředí dvě období pádu. Je to období, kdy částice padá se zrychlením a období kdy částice padá se stálou neboli konečnou rychlostí. V prvním období, působením hmotnosti, rychlost roste, současně však vzrůstá síla odporu prostředí. V určitém okamžiku dojde k vyrovnání sil a částice padá rovnoměrnou rychlostí. Tuto skutečnost popisuje tato rovnice [12,13]:

$$\left(\frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot \rho_z \cdot g\right) = \left(\frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot \rho_p \cdot g\right) + \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho_p \cdot c_w \cdot \frac{1}{2} \cdot v^2\right) \quad 3.3$$

d	...	průměr zrna [cm],
ρ_z	...	hustota zrna [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$],
g	...	gravitační zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$],
ρ_p	...	hustota prostředí [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$],
c_w	...	koeficient odporu prostředí,
v	...	rychlost pohybu zrna [$\text{m} \cdot \text{s}$].



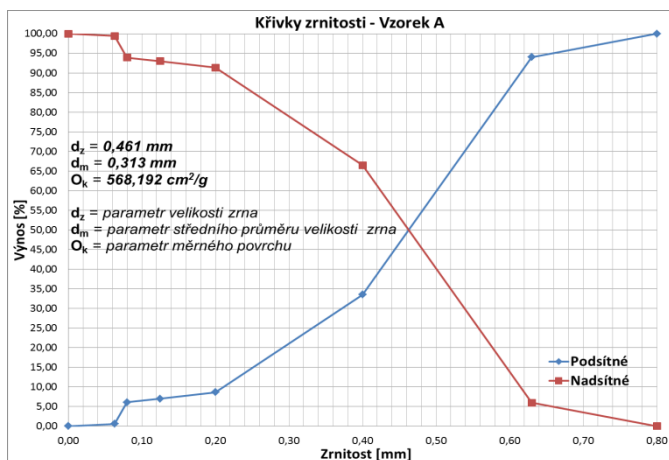
Obrázek č. 6: Směr působení sil

3. Výsledky, diskuze

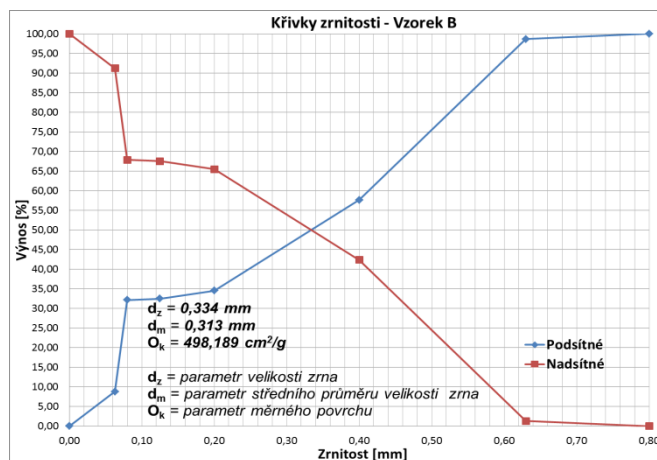
K dispozici byly dva vzorky z jiného výrobního období. První vzorek byl označen jako vzorek A, druhý vzorek jako vzorek B. Praktická část práce je věnována problematice rozdružování na pneumatickém a vodním splavu. Pozornost je věnována rovněž i síťovému rozboru.

3.1 Síťový rozbor

Na grafech jsou znázorněny křivky zrnitosti. Nalezneme zde také hodnoty parametrů velikosti částic, středního průměru velikosti částic a měrného povrchu.



Obrázek č. 7: Křivky zrnitosti – vzorek A



Obrázek č. 8: Křivky zrnitosti – vzorek B

Po porovnání grafů křivek zrnitostí mezi sebou lze dospět k závěru, že vzorek A je mnohem hrubozrnější, než vzorek B. Tomuto faktu nasvědčují hlavně parametry měrného povrchu a velikosti zrna. Dle tvaru křivek podsítného a nadsítného můžeme zhodnotit, že vzorek A má mnohem plynulejší přechod z jemnějších zrn na hrubozrnější zrna a obsahuje mnohem větší procentuální zastoupení hrubých částic. Tato skutečnost vznikla z důvodu použití jiných velikostí ok na sítu v třídíči, které se používalo na třídění suroviny v lince na zpracování primární strusky.

3.2 Rozdružování na pneumtickém splavu

V rámci této části práce byl sledován vliv nastavení parametrů a jejich celkovou technologickou účinnost na gravitační rozdružování na pneumtickém splavu. Na pneumtickém splavu se analyzovaly oba vzorky, které jsme měli k laboratorním pokusům k dispozici.

- vzorek A

V tabulce č. 2 jsou uvedeny výsledky jednotlivých experimentů pro různé druhy nastavení. V tabulce č. 3 jsou uvedeny jednotlivé parametry nastavení splavu při pokusech.

Tabulka č. 2: Výsledky rozdružování na pneumtickém splavu

Pokus	Druh	Výnos [%]	Množství těžkých minerálů		
			Před HCl	Po HCl	Po tavení
Pokus 1A ₁	K1A ₁	5,9	66	17	11
	B1A ₁	94,1	5	2	0
Pokus 2A ₁	K2A ₁	32,4	35	1	0
	B2A ₁	67,6	8	3	0
Pokus 3A ₁	K3A ₁	14,7	6	0	0
	B3A ₁	85,3	1	0	0
Pokus 4A ₁	K4A ₁	23,0	10	0	0
	B4A ₁	77,0	2	2	0
Pokus 5A ₁	K5A ₁	18,7	17	2	1
	B5A ₁	81,3	3	1	1
Pokus 6A ₁	K6A ₁	24,9	27	7	3
	B6A ₁	75,1	7	2	0

Tabulka č. 3: Nastavení parametrů na splavu

Pokus	Nastavení separátoru			Pokus	Nastavení separátoru		
Pokus 1A ₁	Kmity	---	8	Pokus 4A ₁	Kmity	---	7
	Sklon	↑	8		Sklon	↑	8
		→	10			→	9
	Proudění	---	5		Proudění	---	4,5
Podávání	---	4	Podávání	---	4		
Pokus	Nastavení separátoru			Pokus	Nastavení separátoru		
Pokus 2A ₁	Kmity	---	8	Pokus 5A ₁	Kmity	---	9
	Sklon	↑	8		Sklon	↑	8
		→	8			→	9
	Proudění	---	5		Proudění	---	6
Podávání	---	4	Podávání	---	4		
Pokus	Nastavení separátoru			Pokus	Nastavení separátoru		
Pokus 3A ₁	Kmity	---	8	Pokus 6A ₁	Kmity	---	7
	Sklon	↑	8		Sklon	↑	8
		→	6			→	9
	Proudění	---	8		Proudění	---	3,5
Podávání	---	4	Podávání	---	4		

- vzorek B

V tabulce č. 4 jsou uvedeny výsledky jednotlivých experimentů pro různé druhy nastavení. V tabulce č. 5 jsou uvedeny jednotlivé parametry nastavení splavu při pokusech.

Tabulka č. 4: Výsledky rozdrůžování na pneumatickém splavu

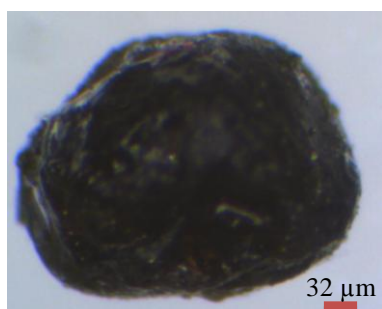
Pokus	Druh	Výnos	Množství těžkých minerálů		
		[%]	Před HCl	Po HCl	Po tavení
Pokus 1B ₁	K1B ₁	33,6	28	4	1
	B1B ₁	66,4	4	0	0
Pokus 2B ₁	K2B ₁	12,7	17	3	2
	B2B ₁	87,3	3	1	0
Pokus 3B ₁	K3B ₁	15,6	7	0	0
	B3B ₁	84,4	1	0	0
Pokus 4B ₁	K4B ₁	61,2	7	0	0
	B4B ₁	38,8	1	1	0

Tabulka č. 5: Nastavení parametrů na splavu

Pokus	Nastavení separátoru			Pokus	Nastavení separátoru		
Pokus 1B ₁	Kmity	---	8	Pokus 3B ₁	Kmity	---	9
	Sklon	↑	4		Sklon	↑	7
		→	10			→	6,5
	Proudění	---	5		Proudění	---	6
Podávání	---	4	Podávání	---	4		
Pokus	Nastavení separátoru			Pokus	Nastavení separátoru		
Pokus 2B ₁	Kmity	---	9	Pokus 4B ₁	Kmity	---	6,5
	Sklon	↑	9		Sklon	↑	2
		→	9			→	6,5
	Proudění	---	3,5		Proudění	---	4,25
Podávání	---	4	Podávání	---	3		

Jak je vidět z dosažených výsledků, probíhá gravitační rozdrůžování sledované suroviny velmi proměnlivě. Dosahované výnosy koncentrátů se pohybují v rozmezí od 8 % do 32 % u vzorku A a u

vzorku *B* se pohybují výnosy v rozmezí 12 % až 60 %. Mezi výsledky byly pozorovány významné rozdíly. Tyto rozdíly jsou rovněž sledovány v množství získaných těžkých minerálů v koncentrátu. V *tabulkách* č. 4 a 5 jsou zvýrazněny nejlepší výsledky experimentu. Jako nejdůležitější parametr, který byl pozorován, je počet minerálů, které zůstanou po vyvaření v *HCl* a poté po vytavení v *boraxu*. Nejlepší výsledky byly pozorovány pro vzorek *A* v pokusech 1A₁, 5A₁ a 6A₁, a pro vzorek *B* v pokusech 1B₁ a 2B₁. Největší množství minerálů bylo získáno v pokusu 1 u vzorku *A*. Ve zmíněném pokusu se dokázalo získat přes 66 minerálů, po vyvaření zůstalo 17 minerálů a 11 minerálů po vytavení v boraxu. V pokusu 6 bylo získáno 27 minerálů, 7 minerálů po vyvaření v *HCl* a 3 minerály po vytavení. V pokusu 1A₁ se získaly 4 těžké minerály po vyvaření a 1 minerál po vytavení. V pokusu 2A₁ to byly 3 těžké minerály po vyvaření a 2 minerály po vytavení. Některé zdokumentované minerály jsou na *obrázcích* č. 9 (*A* – před vařením v *HCl*, *B* – po vaření v *HCl*, *C* – po tavení v boraxu).



Obrázek č. 9A: Minerál 1T před vařením v HCl



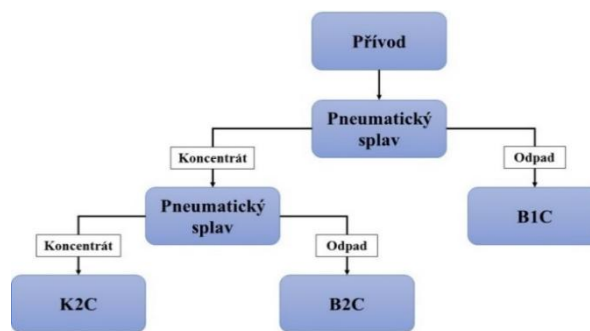
Obrázek č. 9B: Minerál 1T po vaření v HCl



Obrázek č. 9C: Minerál 1T po tavení v boraxu

3.2.1 Přečistné rozduřování na pneumtickém splavu

Tabulka č. 6 uvádí výsledky přečistného rozduřování koncentráту na pneumtickém splavu. V *tabulce* jsou uvedeny i parametry nastavení separátoru. Volilo se takové nastavení, jenž bylo v předešlých pokusech označeno za nejlepší podle získaných minerálů ze vzorků. Koncentrát byl získán základním rozduřením materiálu. Přečistnou separací je tedy možno získat kvalitnější koncentrát bez chybných zrn. Nastavení druhé separace bylo stejné jako při prvním rozduřování. Byl analyzován produkt koncentráту s označením *K2C* a poté produkty odpadu s označením *B1C* a *B2C*. Pomocí této separace se nezískaly žádné minerály po vyvaření v *HCl*. Na *obrázku* č. 10 je zobrazen technologický postup přečistného rozduřování. Tento technologický postup se aplikoval pouze na vzorek *B*.



Obrázek č. 10: Schéma technologického postupu

Tabulka č. 6: Výsledky experimentu přečistného rozduřování a jeho nastavení

Pokus	Druh	Výnos	Množství těžkých minerálů			Nastavení separátoru		
		[%]	Před HCl	Po HCl	Po tavení	Kmity	---	9
Pokus 1C	K1C	31,3	---	---	---	Sklon	↑	9
	B1C	68,7	4	0	0		→	9
	K2C	30,9	6	2	0		Proudění	---
	B2C	0,4	7	0	0	Podávání	---	4

3.3 Rozduřování na vodním splavu

V rámci této části práce se opět analyzovaly dva vzorky, které byly k dispozici. Pokus probíhal na vodním splavu. Na elektronickém otočném zařízení spínací krabice bylo nastaveno 298 otáček za

minutu. Toto nastavení odpovídá přibližně 100 kmitů desky za minutu, při sklonu desky 5 %. Nastavení separátoru bylo pro všechny pokusy stejné. Byla použita splavová deska s nakloněnými lištami.

- vzorek A

Tabulka č. 7: Výsledky rozduřování na vodním splavu

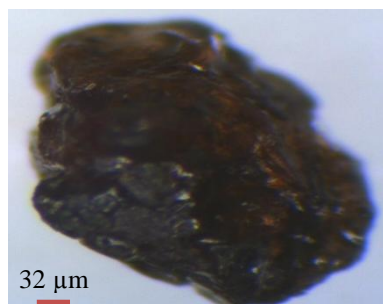
Pokus	Druh	Výnos	Množství těžkých minerálů		
		[%]	Před HCl	Po HCl	Po tavení
Pokus 1A ₂	K1A ₂	19,7	45	20	5
	B1A ₂	80,3	8	3	1
Pokus 2A ₂	K2A ₂	30,5	20	5	0
	B2A ₂	69,5	7	4	0
Pokus 3A ₂	K3A ₂	27,2	36	10	3
	B3A ₂	72,8	10	2	0
Pokus 4A ₂	K4A ₂	22,6	24	7	0
	B4A ₂	77,4	6	5	1

- vzorek B

Tabulka č. 8: Výsledky rozduřování na vodním splavu

Pokus	Druh	Výnos	Množství těžkých minerálů		
		[%]	Před HCl	Po HCl	Po tavení
Pokus 1B ₂	K1B ₂	23,5	10	3	0
	B1B ₂	76,5	2	0	0
Pokus 2B ₂	K2B ₂	25,5	6	1	0
	B2B ₂	74,5	7	4	0
Pokus 3B ₂	K3B ₂	21,9	15	3	1
	B3B ₂	78,1	2	2	1
Pokus 4B ₂	K4B ₂	20,1	19	5	1
	B4B ₂	79,9	6	3	0

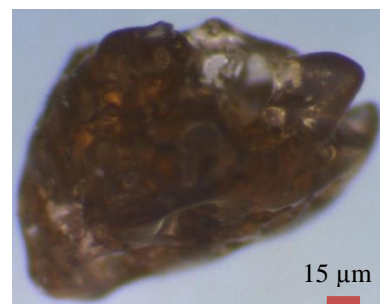
Výsledky gravitačního rozduřování na vodním splavu uvádí *tabulka č. 7* (vzorek A) a *tabulka č. 8* (vzorek B). Jak plyne z údajů ve výše uvedených tabulkách, je účinnost získávání těžkých minerálů podobná, jak u separace na pneumtickém splavu. Výnosy získaného koncentrátu se pohybují v rozmezí od 20 % do 30 %. Rozdíly jsou rovněž pozorovány v množství získaných těžkých minerálů v koncentrátech. Největší množství těžkých minerálů se dokázalo získat po vytavení v boraxu v pokusech 1A₂ a 3A₂. Po jednom kusu minerálu bylo získáno v pokusech 3B₂ a 4B₂. Na *obrázcích č. 11* jsou zobrazeny některé zdokumentované minerály (A – před vařením v HCl, B – po vaření v HCl, C – po tavení v boraxu).



Obrázek č. 11A: Minerál 1T před vařením v HCl



Obrázek č. 11B: Minerál 1T po vaření v HCl



Obrázek č. 11C: Minerál 1T po tavení v boraxu

4. Závěr

Práce je věnována ověření možnosti aplikace fyzikálního úpravnického procesu na vodním a pneumatickém splavu k získání těžkých minerálů ze strusky. Tato metoda by měla sloužit k základnímu poznatku o daném materiálu a množství těžkých minerálů v ní obsažených. V průběhu experimentálních prací byla jako základní metoda získávání těžkých minerálů ověřována gravitační separace na pneumatickém a vodním splavu. Jako doplňková možnost pak byla aplikována přečistná separace na pneumatickém splavu. Dosažené výsledky plně potvrzují reálnost úvah o možném zpracování suroviny. V laboratorních podmínkách bylo získáno celkově 24 těžkých minerálů po vytavení v boraxu z přibližně 15 kg vzorku A. U vzorku B bylo získáno 6 těžkých minerálů po vytavení v boraxu z přibližně 13 kg vzorku. Tyto údaje ovšem nelze zprůměrovat, tak aby se stoprocentně mohlo uvést, kolik přesně minerálů se vyskytuje v množství převedením na určitou váhu produktu. Rozdíly v počtu nalezených minerálů jsou značně odlišné. Tato skutečnost je daná díky tomu, že vzorek A byl zpracováván jiným technologickým nastavením ve výrobní lince. Na základě výše uvedených skutečností se jako reálné schéma úpravy v porovnání obou metod nejlépe jeví metoda na pneumatickém splavu. Je to jednak z důvodu výsledků jednotlivých experimentů, tak i dodržení základních podmínek pro novou metodiku lepšího zjištění těžkých minerálů. Mezi hlavní výhody pneumatického splavu patří - levnější provoz zařízení a jednodušší manipulace s jednotlivými produkty rozdrůžování. U vodního splavu se musí zajistit vodní zdroj, a tím dané i další příslušenství (odvodňování, sušení, atd.).

Financování

Tento článek byl vytvořen a financován za pomoci projektu SP2016/6 (*Interní číslo: 25280*).

Literatura

- [1] KASINA, Monika, Piotr R. KOWALSKI, Marek MICHALIK, Carl J. MCHARGUE, Kurt E. SICKAFUS a Eduardo ALVES. Mineral carbonation of metallurgical slags. *Mineralogia*. 2015-01-1, **45**(1-2), -. DOI: 10.1515/mipo-2015-0002. ISSN 1899-8526. Dostupné také z: <http://www.degruyter.com/view/j/mipo.2015.45.issue-1-2/mipo-2015-0002/mipo-2015-0002.xml>
- [2] KRATOCHVÍL, Michal. *Zpracování strusek z hutnictví železa a oceli*. Ostrava, 2012. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Doc. Ing. Botula Jiří, Ph.D.
- [3] SAS, Wojciech, Andrzej GŁUCHOWSKI, Maja RADZIEMSKA, Justyna DZIĘCIOŁ a Alojzy SZYMAŃSKI. Environmental and Geotechnical Assessment of the Steel Slags as a Material for Road Structure. *Materials*. 2015, **8**(8), 4857-4875. DOI: 10.3390/ma8084857. ISSN 1996-1944. Dostupné také z: <http://www.mdpi.com/1996-1944/8/8/4857/>
- [4] MENSHOV, P.V., Y.V. KHLUPIN, O.I. NALESNIK a A.V. MAKAROVSKIKH. Ash and Slag Waste as a Secondary Raw Material. *Procedia Chemistry*. 2014, **10**, 184-191. DOI: 10.1016/j.proche.2014.10.032. ISSN 18766196. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1876619614000771>
- [5] ADACHI, Shogo, Manabu ISHIMARU, Younes SINA, Carl J. MCHARGUE, Kurt E. SICKAFUS a Eduardo ALVES. Corundum-to-spinel structural phase transformation in alumina. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 2015, **358**, 136-141. DOI: 10.1016/j.nimb.2015.06.005. ISSN 0168583x. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168583X14001177>
- [6] CHULAPAKORN, T., S. INTARASIRI, D. BOOTKUL a S. SINGKARAT. Identification of deposit types of natural corundum by PIXE. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 2014, **331**, 108-112. DOI: 10.1016/j.nimb.2013.12.034. ISSN 0168583x. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168583X14001177>

[7] JIRÁSEK, Jakub, Martin SIVEK a Petr LÁZNIČKA. *Ložiska nerostů*. Ostrava: Anagram, 2010, 1 CD-ROM. [cit. 2016-01-25]. ISBN 978-80-7342-206-6.

[8] ČSN EN 933-1 (721193). *Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor*. 1.6.2012. Česká republika, 2012. Dostupné z: <http://www.ceske-normy.cz/norma-csnen-933-1-1.6.2012.html>

[9] ZEGZULKA, J., J. BOTULA, L. JEZERSKÁ, M. KRATOCHVÍL, J. HLOSTA a J. NEČAS. Possibilities to improve the mechanical and physical properties of slag for its secondary utilization. *METAL 2015: 24th International Conference on Metallurgy and Materials : proceedings of abstracts : June 3rd-5th 2015, Hotel Voroněž I, Brno, Czech Republic, EU*. 1st Edition. Ostrava: Tanger Ltd., 2015, 192 strany. ISBN 978-80-87294-58-1.

[10] ŠTÁSTNÍK, Stanislav. *Těžba, lomařství a úpravnictví* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2005 [cit. 2016-01-29]. Dostupné z: [http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BJ53-Tezba%20a%20upravnictvi%20surovin%20\(M\)/Tezba%20a%20upravnictvi%20surovin%20-%20upravnictvi%20nerostnych%20surovin.pdf](http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BJ53-Tezba%20a%20upravnictvi%20surovin%20(M)/Tezba%20a%20upravnictvi%20surovin%20-%20upravnictvi%20nerostnych%20surovin.pdf)

[11] BOTULA, Jiří. *Recyklace odpadů kovových a kovonosných*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2003, 86 s. ISBN 80-248-0495-6.

[12] BLÁHOVÁ, Oldřiška a Milan HOLBEIN. *Fyzikální rozduřovací procesy I*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1989, 153 s.

[13] JAN DRZYMALA a [transl. J.A [TRANSL. J. DRZYMALA. *Mineral processing: foundations of theory and practice of minerallurgy*. 1st eng. ed. Wroclaw: University of Technology, 2007. ISBN 978-837-4933-629.