

Odkaliská Markušovce a Slovinky – aplikácia metodického postupu na hodnotenie odkaliskových sedimentov pochádzajúcich z úpravy rúd na modelových odkaliskách

ROMAN TÓTH¹, EDGAR HILLER¹, MARIÁN PETRÁK², LUBOMÍR JURKOVIČ¹,
PETER ŠOTTNÍK², JAROSLAV VOZÁR³ a KATARÍNA PEŤKOVÁ¹

¹Katedra geochemie Prírodovedeckej fakulty UK, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava;
tothr@fns.uniba.sk

²Katedra ložiskovej geológie Prírodovedeckej fakulty UK, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava

³Ekologické laboratóriá EL, spol. s r. o., Radlinského 17A, 052 01 Spišská Nová Ves

Tailings impoundments Markušovce and Slovinky: Application of the methodology for evaluation of impoundment sediments from ore processing on the model impoundments

Tailing impoundments Slovinky and Markušovce, which are used for deposition of flotation sludge from the treatment and processing of Cu-Fe ores, contain high concentrations of potentially toxic elements (As, Sb, Hg, Cu, Fe, Mn, Ba, Al, Pb). The aim of this study was the evaluation of the geochemical stability of the sediments deposited at the model impoundments, following our suggested methodology for the complex audit of the tailings impoundments, containing waste from the minerals exploitation. Such a comprehensive evaluation can also serve as a suitable basis for the selection and application of effective remediation methods and recovery of waste from mining and ore processing.

Studied impoundment sediments have alkaline character, do not produce active acidity and potentially toxic elements present in these sediments are relatively tightly bound, as seen from the results of the complex geochemical evaluation. The impoundment sediments can be therefore considered as geochemically stable and based on the chosen methodology classified as category B (non-dangerous waste).

Key words: evaluation of impoundment sediments, methodology, geochemical stability, impoundment Slovinky, impoundment Markušovce

Úvod

Hodnotenie odkaliskových sedimentov formou komplexného auditu odkalísk obsahujúcich odpad po ťažbe nerastných surovín môže slúžiť ako podklad na vypracovanie potrebných požiadaviek na monitoring, prevádzkovanie a taktiež sanáciu takéhoto druhu úložiska ťažobného odpadu (odkaliska). Základom na vytvorenie vhodného metodického postupu slúžiaceho na komplexný audit odkalísk je získanie nevyhnutného množstva dátových údajov a informácií o odkaliskových kaloch. Účelom tejto štúdie bolo získanie širokej škály informácií o odkaliskových kaloch deponovaných v modelových lokalitách (odkalisko Markušovce, odkalisko Slovinky), ktoré slúžia na ukladanie flotačných kalov pochádzajúcich z úpravy a spracovania Cu-Fe rúd.

Úložiská odpadov sa podľa zákona MŽP SR č. 514/2008 Z. z. kategorizujú na úložiská kategórie A a úložiská kategórie B podľa druhu, množstva a vlastností ukladaných ťažobných odpadov, umiestnenia úložiska, miestnych environmentálnych podmienok a rizika vzniku závažnej havárie. V rámci nakladania s odpadom z ťažobnej činnosti je nevyhnutné predmetnému odpadu

na základe analytickej kontroly odpadu priradiť stupeň nebezpečnosti (O – ostatný, resp. N – nebezpečný) a na základe technológie vzniku odpadu priradiť katalógové číslo odpadu (podľa Katalógu odpadov, vyhláška MŽP SR č. 284/2001 Z. z. a v znení neskorších predpisov).

Posudzovanie rizík aktívnych odkalísk na Slovensku sa v súčasnosti nerealizuje v komplexnej forme. Štúdium environmentálnych vplyvov odkalísk na kvalitu životného prostredia predstavujú prieskumy (inžiniersko-geologický, geotechnický, geofyzikálny) s doplnujúcim určovaním minerálnych fáz a chemického zloženia ukladaného materiálu zo spracovania rúd. Z hľadiska preskúmanosti odkalísk na Slovensku v súčasnosti prebieha monitoring vo viacerých lokalitách v rámci projektu Ministerstva životného prostredia SR – „Čiastkový monitorovací systém – geologické faktory“, časť 03 – Antropogénne sedimenty charakteru environmentálnych záťaží, časť 04 – Vplyv ťažby na životné prostredie.

Cieľom tejto štúdie bolo zhodnotiť odkaliskové sedimenty modelových lokalít na základe nami navrhovaného metodického postupu na komplexný audit odkalísk obsahujúcich odpad po ťažbe nerastných surovín (Jurkovič et al., 2012). Tento metodický postup,

vypracovaný v rámci projektu APVV-VMSP-P-0115-09 „Metodický postup pre komplexný audit odkalísk obsahujúcich odpad po ťažbe nerastných surovín“, je zameraný na hodnotenie ťažobných odpadov (odkaliskových sedimentov) z hľadiska ich geochemickej a geotechnickej stability. Hodnotenie chemickej stability takýchto odpadov v sebe zahŕňa ekotoxikologické, mineralogické a geochemické metódy hodnotenia, pričom predkladaná štúdia sa zaoberá hodnotením geochemickej stability daných odkaliskových sedimentov.

Metodika

V prvej fáze boli študované deponované kaly (odpad) zaradené podľa katalógu odpadov a bol im pridelený stupeň nebezpečnosti. V ďalšej fáze bol odkaliskový materiál reprezentatívne vzorkovaný. Pri vzorkovaní odkaliskových materiálov boli použité prieskumné vrty, ktorými bolo prevrútané teleso odkaliska až na podlažie. Takýmito vrtmi bolo možné zabezpečiť prevrútie celého profilu odkaliska a zároveň overiť založenie a izoláciu dna odkaliska (obr. 2a, b).

Na odkalisku Markušovce boli odkaliskové sedimenty odobraté prostredníctvom hĺbkového vrtu RU-1 (hĺbka 37,5 m), lokalizovaného v bilančnej časti odkaliska (obr. 1a), na odkalisku Slovinky prostredníctvom hĺbkového vrtu SLO_1 (hĺbka 21 m), lokalizovaného v strede najvrchnejšej etáže odkaliska (obr. 1b). Vzorky odkaliskových sedimentov boli homogenizované, vysušené a presitované na frakciu < 1 mm, časť vzoriek bola ponechaná v ich prirodzenej forme.

Najdôležitejšie experimentálne postupy komplexného geochemického hodnotenia vykonané na vzorkách odkaliskových sedimentov na odkaliskách Markušovce a Slovinky sú prehľadne zosumarizované v tab. 1.

Výsledky a diskusia

Odkaliskové sedimenty v lokalite Slovinky a Markušovce predstavujú odpad z ťažobnej činnosti a spadajú do skupiny 01 (podskupina 0101, odpady z ťažby rudných nerastov, kategória nebezpečnosti O – ostatný odpad).

Odkalisko Slovinky

Vrchná časť odkaliska Slovinky (do 5 m) je tvorená struskou z Kovohút Krompachy, pod ktorou sú uložené flotačné kaly pochádzajúce zo spracovania siderit-sulfidických rúd, pričom analýzami celkového zloženia materiálu odkaliska bol zistený výrazný rozdiel v zložení vrchnej vrstvy strusky a hlbšie uloženého flotačného kalu (tab. 2). Z potenciálne toxických prvkov, ktoré môžu predstavovať prípadné riziko znečistenia pre okolité životné prostredie, bola vo vrchnej vrstve odkaliska (struska) a spodnej časti odkaliska zistená zvýšená koncentrácia najmä pri Cu, Zn, Cr, Pb, Ba, Sn, As a Sb.

Materiál uložený na odkalisku Slovinky má alkalický charakter (pH 7,76 až 8,69); priemerná hodnota mernej elektrickej vodivosti vo vrchnej časti odkaliska (struska) dosahuje hodnotu 31,75 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a v kale uloženom pod struskou hodnotu 447,29 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tab. 1
Použitie geochemické metódy komplexného hodnotenia odkaliskových sedimentov
Applied geochemical methods of the complex evaluation of tailings impoundment sediments

Parameter	Metóda	Literatúra
Celohorninová a chemická analýza	štandardné analytické metódy	(STN EN ISO/IEC 17025, 2005)
Pôdna reakcia (pH)	destilovaná H ₂ O, 1M KCl, pôdna pasta)	(Van Reeuwijk, 2002) (Fiala et al., 1999) (Richards, 1954)
Redox potenciál (E)	pôdna suspenzia, pôdna pasta	(Richards, 1954)
Merná elektrická vodivosť (κ)	výluh s destilovanou vodou	(Van Reeuwijk, 2002) (Fiala et al., 1999)
Neutralizačný potenciál	acido-bázické reakcie s HCl a NaOH	(Sobek et al., 1978) (Skousen et al., 1997) (Miller et al., 1997)
Test vylúhovateľnosti	Metóda	Literatúra
EN 12457-2	extrakcia s destilovanou H ₂ O	(EN 12457, 2002)
TCLP	extrakcia v roztoku CH ₃ COOH + NaOH + dest. H ₂ O	(US EPA, 1994)
Totálny extrahovateľný podiel prvku	extrakcia s 0,5 M HCl	(Kubová et al., 2008)
Analýza odpadových drenážnych vôd	štandardné analytické metódy	–

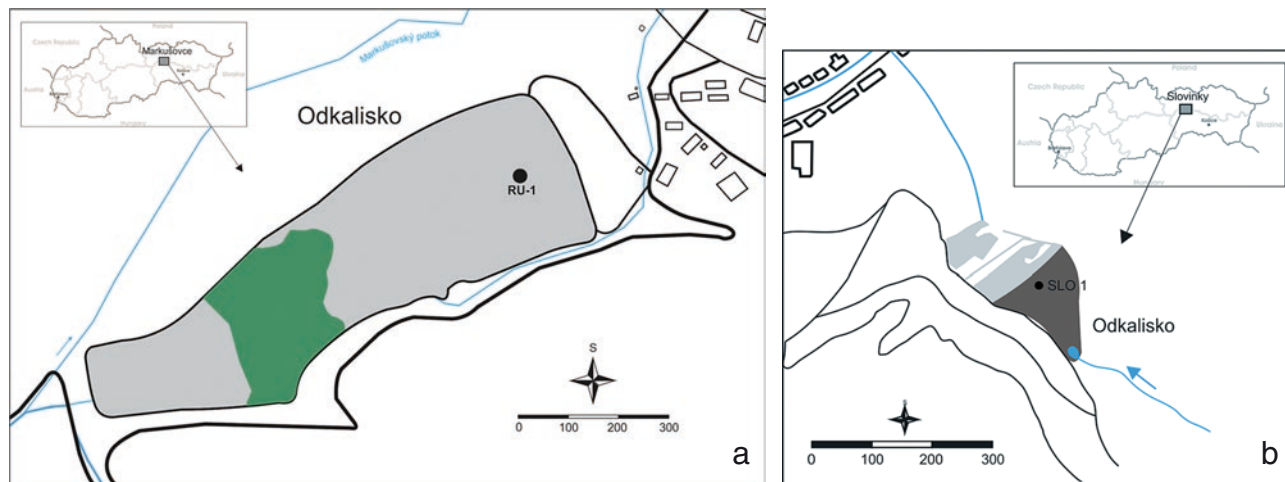
Odkaliskový materiál v lokalite Slovinky neprodukuje aktívnu kyslosť vznikajúcu oxidáciou prítomných sulfidických minerálov, pretože obsah sulfidickej síry je nízky (0,2 %) a neutralizačný potenciál dosahuje hodnoty od 52,1 – 376,3 kg CaCO₃ · t⁻¹ materiálu.

Odkalisko Markušovce

Priemerné zloženie odkaliskového sedimentu uloženého na odkalisku Markušovce je uvedené v tab. 2. Z potenciálne

toxických prvkov sú v odkaliskovom sedimente vo výrazne zvýšenej koncentrácii prítomné najmä Cu, Hg, Mn, Sb a As.

Skúmaný odkaliskový materiál má alkalický charakter (pH 7,58 až 9,15), k zmene oxidačných podmienok na redukčné dochádza v telese odkaliska v hĺbke 13 – 15 m, ako to vyplýva z merania oxidačno-redukčného potenciálu (Petrák et al., 2011). Hodnoty mernej elektrickej vodivosti (EC) materiálu smerom do hĺbky mierne klesali, čo môže byť spôsobené vylúhovaním rozpustných solí v hlbších častiach odkaliska.



Obr. 1. a – Lokalizácia odkaliska Markušovce a odberového bodu (vrt RU-1); b – Lokalizácia odkaliska Slovinky a odberového bodu (vrt SLO 1).

Fig. 1. a – Localization of the impoundment Markušovce and the sampling point (borehole RU-1); b – Localization of the tailings impoundment Slovinky and the sampling point (borehole SLO 1).

Tab. 2

Priemerné zloženie odkaliskových sedimentov uložených na odkaliskách Slovinky a Markušovce a priemerná koncentrácia potenciálne toxických prvkov, nachádzajúcich sa v odkaliskových sedimentoch vo zvýšenej koncentrácii
Average composition of the tailings impoundments sediments deposited at the impoundment Slovinky and Markušovce and average concentrations of potentially toxic elements, which are in the tailings impoundments sediments present in elevated concentrations

Slovinky		Markušovce			
Struska	Flotačný kal	Flotačný kal			
n = 2	n = 5	n = 13			
SiO ₂	35,88 ± 4,36 %	SiO ₂	61,32 ± 2,34 %	SiO ₂	30,7 ± 5,92 %
Fe _{celk}	39,6 ± 2,85 %	Fe _{celk}	13,03 ± 2,41 %	Fe _{celk}	28,6 ± 3,4 %
Al ₂ O ₃	5,95 ± 0,37 %	Al ₂ O ₃	8,07 ± 0,7 %	Al ₂ O ₃	5,25 ± 1,24 %
CaO	6,93 ± 0,36 %	CaO	1,56 ± 0,43 %	Ba	6,34 ± 2,6 %
MgO	3,62 ± 0,91 %	MgO	3,16 ± 0,30 %	S _{celk}	1,71 ± 0,63 %
S _{celk}	0,32 ± 0,22 %	S _{celk}	0,28 ± 0,08 %	S _{sulf}	0,19 ± 0,06 %
S _{sulf}	0,3 ± 0,21 %	S _{sulf}	0,23 ± 0,07 %		
n = 3		n = 7		n = 27	
Cu	7 296 ± 1 969 mg · kg ⁻¹	Cu	1 692 ± 917,0 mg · kg ⁻¹	Cu	624,3 ± 283,3 mg · kg ⁻¹
Zn	28 251 ± 4 764 mg · kg ⁻¹	Zn	2 181 ± 2 221 mg · kg ⁻¹	Hg	118,1 ± 79,0 mg · kg ⁻¹
Cr	531,1 ± 162,2 mg · kg ⁻¹	Cr	42,7 ± 23,5 mg · kg ⁻¹	Mn	1,01 ± 0,12 %
Pb	2 300 ± 1 331 mg · kg ⁻¹	Pb	250,7 ± 235,4 mg · kg ⁻¹	Sb	114,9 ± 38,78 mg · kg ⁻¹
Ba	1 646 ± 1 195 mg · kg ⁻¹	Ba	143,0 ± 57,7 mg · kg ⁻¹	As	48,3 ± 22,3 mg · kg ⁻¹
As	310,3 ± 115,2 mg · kg ⁻¹	As	395,7 ± 196,7 mg · kg ⁻¹		
Sb	1 725 ± 1 792 mg · kg ⁻¹	Sb	228,5 ± 283,8 mg · kg ⁻¹		

Poznámka: Koncentrácie sú uvedené ako priemerné hodnoty a štandardná odchýlka. n – počet vzoriek
Note: Concentrations are expressed as mean value and standard deviation. n – number of samples

Materiál odkaliska Markušovce neprodukuje aktívnu kyslosť vznikajúcu oxidáciou prítomných sulfidických minerálov, pretože obsah sulfidickej síry je nízky (0,2 %) a neutralizačný potenciál dosahuje hodnoty od 50,6 až 321,12 kg CaCO₃ · t⁻¹ materiálu.

Zhodnotenie vylúhovateľnosti sledovaných prvkov z odkaliskových sedimentov

Na zhodnotenie potenciálnej mobility rizikových prvkov boli využité tri jednoduché extrakčné experimenty s tromi rôznymi extrakčnými činidlami. Extrakčné experimenty sú široko používanými metódami na hodnotenie mobility a uvoľňovania prvkov z odkaliskových kalov, antropogénnych sedimentov a pôd. Cieľom extrakčných experimentov je stanovenie relatívnych podielov prvkov štruktúrne viazaných v minerálnych mriežkach v porovnaní s tými podielmi, ktoré sú voľne sorbované na povrchoch zrn, a takýmto spôsobom určiť potenciál vylúhovania

kontaminantov v závislosti od meniacich sa podmienok prostredia (Heikkinen et al., 2008).

Z výsledkov realizovaných extrakčných experimentov vyplýva, že sledované prvky sú v odkaliskových materiáloch uložených na odkaliskách Slovinky a Markušovce pomerne pevne viazané a vytvárajú stabilné zlúčeniny, pretože pri všetkých použitých extrakčných metódach boli z odkaliskového materiálu uvoľnené iba nízke podiely sledovaných prvkov. Koncentrácia sledovaných prvkov vo vylúhoch neprekračovala v ani jednom z prípadov limitnú koncentráciu stanovenú v smernici 2003/33/ES a uvádzanú v regulatívach US EPA (2005), charakterizujúcu materiál (odpad) ako nebezpečný, resp. toxický. Na základe týchto poznatkov je možné skúmaný odkaliskový materiál v daných podmienkach hodnotiť ako geochemicky stabilný (tab. 3). Výsledky vylúhovacích experimentov, a teda nízku mobilitu sledovaných prvkov, potvrdili taktiež analýzy drenážnych vôd vytekajúcich z odkalísk, v ktorých boli namerané nízke koncentrácie sledovaných prvkov (Hiller et al., 2013).

Tab. 3

Priemerná koncentrácia sledovaných prvkov uvoľnených z odkaliskových sedimentov Markušovce a Slovinky pri extrakciách s dest. H₂O a limitné hodnoty sledovaných prvkov na hodnotenie vylúhov z odkaliskových sedimentov, na základe ktorých je možné daný sediment zaradiť medzi inertný, nie nebezpečný alebo nebezpečný odpad (2003/33/ES)

Average concentrations of the monitored elements released from the impoundment sediments Markušovce and Slovinky during the extractions with dist. H₂O and limit values of the monitored elements for valuation of leachates from the impoundment sediments, whereby it is possible to classify the impoundment sediment as inert, non-dangerous, and dangerous waste (2003/33/ES)

Ukazovateľ/parameter	Inertný odpad	Nie nebezpečný odpad	Nebezpečný odpad	Markušovce	Slovinky
			mg · kg ⁻¹ sušiny		
As	0,5	2	25	0,03	0,46
Ba	20	100	300	0,72	0,99
Cu	2	50	100	0,05	3,27
Hg	0,01	0,2	2	0,09	–
Pb	0,5	10	50	–	1,12
Sb	0,06	0,7	5	0,52	3,22
Zn	4	50	200	–	5,85
SO ₄ ²⁻	1 000	20 000	50 000	1 595	1 468



Obr. 2. a – Vzorkovanie odkaliskových sedimentov na odkalisku Markušovce; b – Povrchové výnosy strusky pochádzajúcej z Kovohút Kropáčky, ktoré sú uložené na povrchu odkaliska Slovinky.

Fig. 2. a – Sampling of the tailings impoundment sediments at the impoundment Markušovce; b – Core samples of the slag material from Metallurgical plant Kropáčky, which is deposited on the tailings impoundment Slovinky.

Záver

Komplexné hodnotenie odkaliskových sedimentov pochádzajúcich z úpravy rúd v podobe návrhu metodického postupu predstavuje významný potenciál pri aplikácii moderných a inovatívnych trendov v hodnotení kvality životného prostredia a najmä exaktného riešenia problematiky kontaminácie prostredia z odpadov po banskej činnosti. Výstupy takéhoto komplexného hodnotenia môžu slúžiť taktiež ako vhodný podklad na voľbu a aplikáciu účinných metód prípadnej sanácie alebo zhodnocovania odpadov pochádzajúcich z ťažby a spracovania rúd.

Z výsledkov komplexného geochemického hodnotenia odkaliskových sedimentov uložených na odkaliskách Slovinky a Markušovce vyplýva, že sedimenty uložené na týchto odkaliskách sú geochemicky stabilné a podľa aplikovaného metodického postupu je možné ich zaradiť do kategórie B (nie nebezpečný odpad).

Podakovanie. Táto práca vznikla s podporou projektov APVV-VMSP-P-0115-09 „Metodický postup pre komplexný audit odkalísk obsahujúcich odpad po ťažbe nerastných surovín“ a APVV-0344-11, grantu UK 303/2013 a grantu SEGF 2013 – MCKINSTRY SRG 13-76.

References

- EN 12457, 2002: Charakterizácia odpadov. Vylúhovanie. Overovacia skúška na vylúhovanie zrnitých odpadových materiálov a kalov. (Časť 1, 2, 3, 4). Úrad pro technickou normalizáci, metrologii a státní skušebnictví, Praha.
- FIALA, K., KOBZA, J., MATÚŠKOVÁ, L., BREČKOVÁ, V., MAKOVNÍKOVÁ, J., BARANČIKOVÁ, G., BŮRIK, V., LITAVEC, T., HOUŠKOVÁ, B., CHROMANIČOVÁ, A., VÁRADIOVÁ, D. & PECHOVÁ, B., 1999: Závazné metódy rozborov pôd. Čiastkový monitorovací systém – pôda. *VÚPOP, Bratislava*, 142 s.
- GLEYZES, Ch., TELLIER, S. & ASTRUC, M., 2002: Fractionation studies of trace elements in contaminated soils and sediments. *Trends in analytical chemistry*, 21, 6 – 7, 451 – 467.
- HEIKKINEN, P. M., NORAS, P. & SALMINEN, R., 2008: Mine Closure Handbook. *Environmental Techniques for the Extractive Industries, Vammalan Kirjapaino Oy, Espoo*, 169 p.
- HILLER, E., PETRÁK, M., TÓTH, R., LALINSKÁ-VOLEKOVÁ, B., JURKOVIČ, L., KUČEROVÁ, G., RADKOVÁ, A., ŠOTTNÍK, P. & VOZÁR, J., 2013: Geochemical and mineralogical characterization of a neutral, low-sulfide/high-carbonate tailings impoundment, Markušovce, eastern Slovakia. *Environmental Science and Pollution Research*, Feb. 2013, DOI 10.1007/s11356-013-1581-1585.

- JURKOVIČ, L., VOZÁR, J., ŠOTTNÍK, P., LALINSKÁ-VOLEKOVÁ, B., KUČEROVÁ, G., PETRÁK, M. & TÓTH, R., 2012: Metodický postup pre komplexný audit odkalísk obsahujúcich odpad po ťažbe nerastných surovín (návrh). *Manuskript. Archív EL, s. r. o., Spišská Nová Ves, Prírodovedecká fakulta UK, Bratislava*, 51 s.
- KUBOVÁ, J., MATÚŠ, P., BUJDOŠ, M., HAGAŘOVÁ, I. & MEDVEĎ, J., 2008: Utilization of optimized BCR three-step sequential and dilute HCl single extraction procedures for soil-plant metal transfer predictions in contaminated lands. *Talanta*, 75, 1 110 – 1 122.
- MILLER, S., ROBERTSON, A. & DONAHUE, T., 1997: Advances in acid drainage prediction using the Net Acid Generation (NAG) Test. *In: Proc. 4th International Conference on Acid Rock Drainage, Vancouver, BC*, 533 – 549.
- PETRÁK, M., KUČEROVÁ, G., TÓTH, R., LALINSKÁ-VOLEKOVÁ, B., ŠOTTNÍK, P., JURKOVIČ, L., VOZÁR, J. & HILLER, E., 2011: Mineralogické a geochemické hodnotenie materiálu odkaliska Markušovce. *Miner. Slov.*, 43, 4, 395 – 408.
- RICHARDS, L. A., 1954: Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *USDA Agricultural Handbook, No. 60. US Department of Agriculture, Washington DC*, 160 p.
- SKOUSEN, J., RENTON, J., BROWN, H., EVANS, P., LEAVITT, B., BRADY, K., COHEN, L. & ZIEMKIEWICZ, P. F., 1997: Neutralization potential of overburden samples containing siderite. *J. Environmental Quality*, 26, 673 – 681.
- SOBEK, A. A., SCHULLER, W. A., FREEMAN, J. R. & SMITH, R. M., 1978: Field and laboratory methods applicable to overburden and minesoils. Report EPA-600/2-78-054. *U. S. National Technical Information Service Report*, 203 p.
- US EPA, 1994: Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP), Method 1311, Solid Waste Characterization Manual SW-848. *Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, Athens, Georgia, USA*.
- US EPA, 2005: Introduction to hazardous waste identification. Solid Waste and Emergency Response (5305W). EPA530-K-05-012. *US EPA, Athens, Georgia, USA*.
- VAN REEUWIJK, L. P., 2002: Procedures for soil analysis, international soil reference and information centre. *Technical paper, No. 9, 19. International Soil Reference and Information Centre*.
- VYHLÁŠKA MŽP SR č. 284/2001 Z. z. a v znení neskorších predpisov. *Katalóg odpadov*.
- ZÁKON č. 514/2008 Z. z. o nakladaní s odpadom z ťažobného priemyslu a o zmene a doplnení niektorých zákonov. www.zbierka.sk
- 2003/33/ES: Rozhodnutie rady z 19. Decembra 2002, ktorým sa stanovujú kritéria a postupy pre prijímanie odpadu na skládky odpadu podľa článku 16 a prílohy II smernice 1999/31/ES.

Rukopis doručený 10. 9. 2013

Revidovaná verzia doručená 8. 10. 2013

Rukopis akceptovaný red. radou 30. 10. 2013

Tailings impoundments Markušovce and Slovinky: Application of the methodology for evaluation of impoundment sediments from ore processing on the model impoundments

Tailing impoundments Slovinky and Markušovce, which are used for deposition of flotation sludge from the treatment and processing of Cu-Fe ores, contain high concentrations of potentially toxic elements (As, Sb, Hg, Cu, Fe, Mn, Ba, Al and Pb). The aim of this study was to evaluate the geochemical stability of the sediments deposited at the model impoundments, following our suggested methodology for the complex audit of the

tailings impoundments, containing waste from the minerals exploitation. Such a comprehensive evaluation can also serve as a suitable basis for the selection and application of effective remediation methods and recovery of waste from mining and ore processing.

In the first phase, the studied impoundments sediments were classified according to the waste catalogue.

The sediments deposited at the studied impoundments were sampled from boreholes, RU-1 (38 m deep), and SLO 1 (21 m deep). The tailings samples were air-dried, homogenized, and sieved to <1 mm fraction.

Following our suggested methodology, the basic chemical composition and concentrations of potentially toxic elements were analysed in the studied sediments. The tailings pH, Eh and electrical conductivity were measured by various methods. Static acid-base accounting (ABA) and Net acid generation (NAG) test were performed.

In the next phase, the mobility and leachability of potentially toxic elements was evaluated, conducting three extraction experiments with three different reagents. The standardized leaching test (European norm EN 12457) with deionized water, Toxicity Characteristic Leaching Procedure (US EPA, TCLP 1311) with extraction solution composed from $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH} + \text{dist. H}_2\text{O}$, and extraction with 0.5 M HCl were conducted. In the last phase, surface waters, draining the impoundments, were collected and analysed for the concentrations of potentially toxic elements.

From the obtained results there can be seen that

the tailings impoundment sediments, deposited at the impoundments Markušovce and Slovinky, are composed mainly from SiO_2 , Fe, Al_2O_3 (and Ba at the impoundment Markušovce), with low content of S_{sulf} (0.19–0.3 %). Elevated concentrations of Cu, Hg, Mn, Sb, As, and Ba in the sediments of the impoundment Markušovce, and Cu, Zn, Cr, Pb, Ba, Sb, and As in the sediments of the impoundment Slovinky were analysed. Tailings impoundment sediments deposited at the studied impoundments have alkaline character and do not produce active acidity. Potentially toxic elements are in these sediments relatively tightly bound, as can be seen from the results of the extraction experiments, where only very small portions of potentially toxic elements were released in to the extraction solutions. These results were confirmed by analysing of the drainage waters discharging from tailings impoundments, where only small concentrations of potentially toxic elements were analysed in these waters. The impoundment sediments can be therefore considered as geochemically stable and based on the chosen methodology classified as category B (non-dangerous waste).