

Nataša Slijepčević^{1*}, Dragana Tomašević Pilipović¹,
Aleksandar Došić², Đurđa Kerkez¹, Dunja Rađenović¹,
Miladin Gligorić², Stefan Đorđievski³

¹Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Novi Sad, Srbija, ²Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Tehnološki fakultet, Zvornik, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina, ³Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor, Srbija

Naučni rad

ISSN 0351-9465, E-ISSN 2466-2585

UDC:622.271.1'17(497.11 Bor)

doi:10.5937/ZasMat1703317S



Zastita Materijala 58 (3)
317 - 322 (2017)

Efikasnost primene tehnike stabilizacije/solidifikacije na jalovinu iz Rudnika Bor

IZVOD

Odlaganje jalovine koja nastaje prilikom prerarke rude iz rudnika Bor, predstavlja veoma veliki problem za životnu sredinu usled visokog stepena zagađenja jalovine teškim metalom, u ovom slučaju bakrom. Zbog toga je neophodno jalovinu podvrgnuti određenim tretmanima remedijacije. U ovom radu vršeno je ispitivanje procesa izluživanja bakra i efikasnost tretmana jalovine rudnika Bor koja je stabilizovana/solidifikovana primenom gline i letećeg pepela kao imobilizacionih agenasa. Urađena je karakterizacija jalovine pomoću semi-dinamičkog testa izluživanja u rezervoaru - ANS 16.1. Svi imobilizacioni agensi u tretmanu jalovine su se pokazali dosta uspešno. Tretirani otpad se može smatrati prihvatljivim za odlaganje, a može se razmotriti i njegova „kontrolisana upotreba“.

KLjučne reči: jalovina, bakar, solidifikacija/stabilizacija, glina, leteći pepeo.

1. UVOD

Jalovina je otpadni materijal koji nastaje kao rezultat rudarske delatnosti. Odlaganjem jalovine tj. izdvajanjem koncentrata rude, zemljište može biti opterećeno značajnim količinama teških metala. Usled padavina može doći do spiranja teških metala kojima je zemljište kontaminirano, pri čemu ovi metali mogu preći i u podzemne i površinske vode. Kao efikasna metoda za rešavanje ovog problema pokazala se tehnika solidifikacija/stabilizacija. Stabilizacija se odnosi na tehniku koja smanjuje hazardni potencijal otpada tako što konvertuje kontaminante u manje rastvorne i manje mobilne pa samim tim manje dostupne. Ovo se postiže hemijskim i/ili fizičkim procesima, a ove promene su većim delom rezultat visoke pH vrednosti koja je uslovljena dodatkom vezivnih sredstava. Solidifikacija se odnosi na tehniku u kojoj se otpad kompaktira u monolitnu čvrstu materiju visokog strukturnog integriteta [1].

Materijal koji nastaje kao otpad nakon tretmana tehnikom solidifikacije/stabilizacije može se na kraju upotrebiti u određene svrhe ili ga odlažemo.

Tokom vremena sastav odloženog otpada se menja, a veliki deo ovog materijala nije lako biodegradabilan. Izluživanje je vremenski najduža emisija koja potiče od deponija na kojima se odlaže ovakav otpadni materijal. Stoga ono određuje potrebno vreme za tretman i kontrolu emisije. U cilju procene potrebnog vremena za tretman izluživanjem, danas se primenjuju različite metode, od manjih testova koji uključuju mešanje do terenskih testova većeg obima. Stoga je razumno pretpostaviti da što su uslovi testa bliži uslovima na terenu, rezultati će biti bliži stvarnim budućim vrednostima emisije na deponiji. U cilju dizajniranja testova izluživanja koji su pouzdani za dugoročna predviđanja, najvažnije je poznavanje faktora koji utiču na izluživanje. Osnovna podela testova izluživanja je na ekstrakcione i dinamičke. Dinamički testovi uključuju kontinualno ili povremeno obnavljanje ekstrakcionog sredstva kako bi se održala velika razlika u koncentraciji između čvrste i tečne faze. Oni pružaju podatke koji se tiču kinetičke imobilizacije kontaminanta i kompleksnih mehanizama u vezi sa izluživanjem.

U radu je prikazana metoda tretmana jalovine rudnika Bor postupkom stabilizacije/solidifikacije primenom letećeg pepela, gline i kombinacije letećeg pepela i gline. Urađena je karakterizacija jalovine pomoću semi-dinamičkog testa izluživanja u rezervoaru (eng. Tank leaching test) – ANS 16.1. Radi ispitivanja mogućnosti korišćenja dobijenih stabilizovanih/solidifikovanih smeša u praksi ispita-

*Autor za korespondenciju: Nataša Slijepčević

E-mail: natasa.slijepcevic@dh.uns.ac.rs

Rad primljen: 02. 06. 2017.

Rad prihvacen: 06. 07. 2017.

Rad je dostupan na sajtu: www.idk.org.rs/casopis

no je izluživanje metala ovim testom, kao merilo efikasnosti procesa stabilizacije/solidifikacije.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

2.1. Karakterizacija jalovine rudnika Bor

Uzorak jalovine rudnika Bor je okarakterisan rendgensko-difrakcionom (XRD) analizom koja je vršena na difraktometru GNR Explorer u 2θ opsegu od $4-70^\circ$, sa korakom od $0,02^\circ$ i ekspozicijom 2s. U sirovom uzorku jalovine rudnika Bor određene su početne koncentracije toksičnih metala. Odmeren je 1g jalovine koji je potom podvrgnut metodi digestije EPA 3051a (mikrotalasna digestija Milestone, star E) [2]. Nakon digestije analiziran je sadržaj ukupnih metala (Cu, Zn, Pb, Ni, Cd) atomskom apsorpcionom spektrometrijom (Perkin Elmer AanalystTM 700) u skladu sa procedurom EPA 7000B [3].

2.2. Priprema S/S smeša

Uzorci za analizu pripremani su mešanjem gline (G), letećeg pepela (F), kao imobilizacionih agenasa, i jalovine (J) iz rudnika Bor u određenim kombinacijama i količinama. Jalovina je osušena na 105°C , a zatim je mešana sa imobilizacionim agensima. Nakon homogenizacije smeša, svakoj smeši je dodat optimalni sadržaj vode prema proceduri ASTM D1557-00 [4], smeše su zatim komprimirane u skladu sa ASTM D1557-00 metodom [4], obezbeđujući pritisak od 2700 kNm/m^3 ($56,000 \text{ lbf/ft}^3$). Zatim, smeše su smeštene u inertne plastične vrećice i ostavljene da odstoje 28 dana na temperaturi od 20°C . Nakon toga, smeše su isečene tako da se dobiju kocke dimenzija $3\pm 0,3\text{cm} \times 3\pm 0,3\text{cm} \times 3\pm 0,3\text{cm}$, pa su zatim podvrgnute semi-dinamičkom ANS 16.1 testu [5].

2.2. Test izluživanja u rezervoaru (Tank leaching test) – ANS 16.1. Difuzioni model

Ovaj tip testova izluživanja se koristi za monolitne uzorke, sastoji se iz njihovog potpunog potapanja u rastvor za izluživanje u zatvorenoj posudi. Rastvor za ekstrakciju obično je destilovana ili dejonizovana voda, a izluživanje se izvodi bez mešanja pod statičkim ili semidinamičkim uslovima. Procena dugoročnog modela izluživanja metala često koristi ANS 16.1 model izluživanja [5]. Ovaj model bazira se na Fikovoj difuzionoj teoriji i obezbeđuje brzinu difuzije metala koja može da omogući procenu efikasnosti tretmana [6]. Korišćenjem ovog modela mogu se izračunati stvarni difuzioni koeficijenti metala u smešama na sledeći način:

$$De = \pi \left[\frac{a_n}{A_0} \right]^2 \left[\frac{V}{S} \right]^2 T_n \quad (1)$$

Gde je a_n gubitak kontaminanta (mg) tokom određenog vremenskog perioda izluživanja sa indeksom n , A_0 je početna koncentracija kontaminanta u uzorku (mg), $(\Delta t) = t_n - t_{n-1}$, V je zapremina uzorka (cm^3), S je geometrijska površina uzorka izračunata iz dimenzija (cm^2), T_n je vreme (s) u sredini perioda izluživanja a De je stvaran difuzioni koeficijent ($\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$) [6].

Zbog toga što difuzija zauzima mesto u intersticijalnoj tečnosti poroznog tela, De vrednosti iz prethodne jednačine se smatraju „stvarnima“.

Kada odredimo De vrednosti korišćenjem prethodne jednačine možemo odrediti indeks izluživanja (LX) koji je negativan logaritam stvarnog koeficijenta difuzije. Vrednost LX data je sledećom jednačinom [6]:

$$LX = \frac{1}{m} \sum_{n=1}^m [-\log(D_e)]_n \quad (2)$$

Gde je n broj određenih perioda izluživanja a m je ukupan broj pojedinačnih perioda izluživanja. Ovaj test je izveden na sobnoj temperaturi sa dejonizovanom vodom kao agensom za izluživanje. Uzorci su smešteni u inertne plastične mrežice i postavljeni u visećem položaju u plastičnu posudu sa dejonizovanom vodom, pri čemu je odnos tečnost/čvrsto (L/S) bio 10:1 (l kg^{-1}). Test je rađen pod semidinamičkim uslovima pri čemu je monolit potapan u svež rastvor dejonizovane vode nakon 2, 7, 24, 48, 72, 120, 456, 1128 i 2160 sati, a u rastvoru nakon izluživanja i filtriranja na membranskom filteru ($0,45 \mu\text{m}$) određena je koncentracija metala AAS tehnikom.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Karakterizacija jalovine

Rezultati dobijeni XRD analizom pokazuju da od minerala preovlađuju kvarc i kaolinit, dok pirit nije bio identifikovan pomoću dobijenog difraktoograma. Visok sadržaj gvožđa je verovatno u obliku amorfnih hidroksida pa se ne može detektovati rendgenskom difrakcijom. Sadržaj bakra je relativno visok za jalovinu. Jedan od problema je što biljke usvajaju bakar iz zemljišta i u korenu i stablu koncentruju ovaj metal. Nanosi ove jalovine su prisutni i u reci Timok sve do ušća u Dunav na trameđi Srbija-Bugarska-Rumunija i to predstavlja veliki ekološki problem s obzirom da je jalovinom prekrivena velika površina najkvalitetnijeg obradivog zemljišta pored reke.

Pseudo-ukupni sadržaj metala u početnom uzorku jalovine prikazan je u tabeli 1 gde je i upoređen sa graničnim vrednostima za klasifikaciju

otpada. Na osnovu rezultata iz tabele 1 vidimo da samo koncentracija bakra u značajnoj meri prelazi granične vrednosti prema direktivi EPA 658/09 [7]. Koncentracije ostalih metala (Pb, Ni, Zn, Cr, Cd) ne prelaze granične vrednosti navedenih direktiva.

Tabela 1. Pseudo-ukupni sadržaj metala u početnom uzorku jalovine (mg/kg)

Table 1. Pseudo-total metal content in the original sample of the tailings (mg/kg)

Parametar	Vrednost	Granična vrednost ¹	Granična vrednost ²
Pb (mg/kg)	51.7	300	400
Ni (mg/kg)	16.75	60	160
Zn (mg/kg)	58.95	200	-
Cu (mg/kg)	796	60	-
Cd (mg/kg)	1.25	3	80

Solidwaste disposal, EPA 658/09, 2009

Waste classification guidelines, Part 1, Department of Environment, Climate Change and Water NSW, 2009

3.2. Smeša jalovine i letećeg pepela

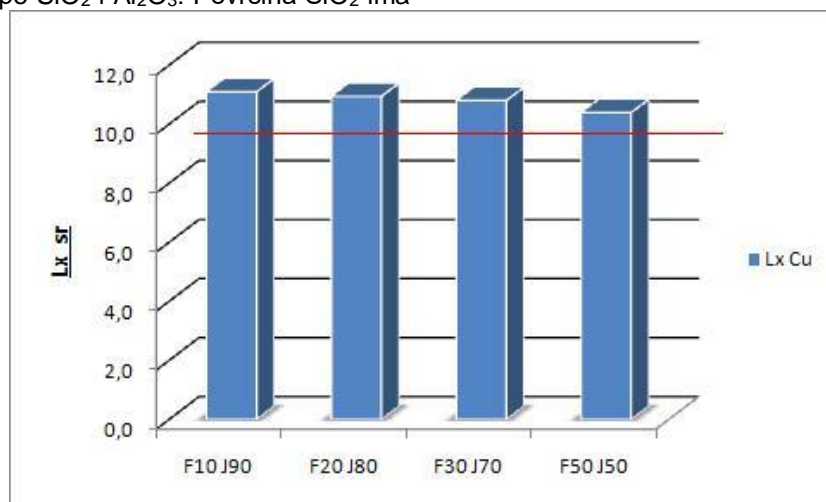
Kumulativni procenti izluženog metala bakra u smeši jalovine i letećeg pepela nakon 90 dana kretali su se u opsegu: od 0,10% (smeša sa 90% jalovine i 10% letećeg pepela) do 1,68% (smeša sa 50% jalovine i 50% letećeg pepela). Najefikasnija smeša je ona sa 90% jalovine i 10% letećeg pepela, jer je prisutan najmanji procenat izluženog bakra. Ovo se može objasniti zahvaljujući poznavanju površine letećeg pepela na kojoj se nalaze funkcionalne grupe SiO_2 i Al_2O_3 . Površina SiO_2 ima

jak afinitet vezivanja metalnih jona, centralni jon silikata Si^{4+} ima veliki afinitet prema elektronima, pa su zbog toga joni kiseonika slabo vezani u ovom jedinjenju, što čini silicijum pogodnim za vezivanje jona metala [8]. Ipak, pokazano je da u baznoj sredini silicijum i aluminijum iz letećeg pepela imaju negativno naelektrisanje iznad pH 6,9. Ovo negativno naelektrisanje je aktivno na površini letećeg pepela i dozvoljava metalima (M^{2+}) i metalnim hidroksidima ($\text{M}(\text{OH})_2$) da se kompleksiraju [8].

Ukoliko kumulativne izlužene koncentracije metala poredimo sa koncentracijama koje za otpad propisuje Evropska unija [9], dolazimo do zaključka da se sve smeše jalovine i letećeg pepela za bakar u rastvoru dejonizovane vode mogu smatrati neopasnim otpadom.

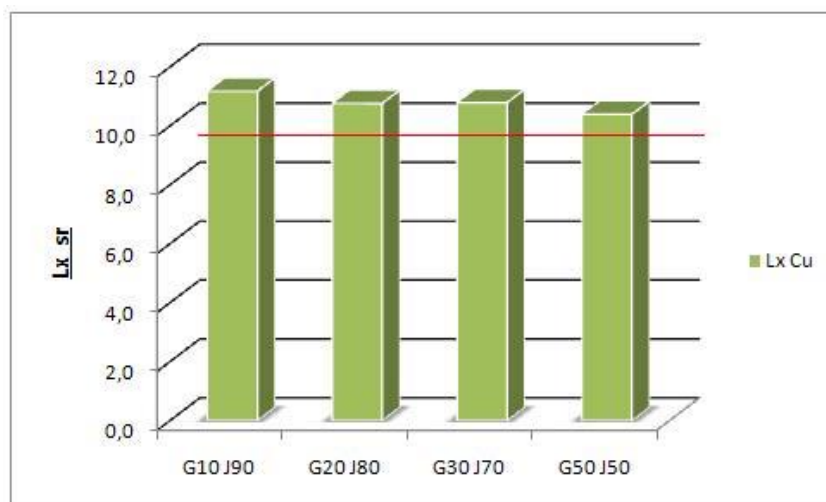
Kumulativne izlužene koncentracije smeša za (Cu), ne prelaze granične vrednosti za metale regulisane Pravilnikom o kategorijama, ispitivanju i klasifikaciji otpada [10]. One se kreću za Cu od $0,47 \text{ mg l}^{-1}$ do $0,55 \text{ mg l}^{-1}$. Prema tome smeša jalovine i letećeg pepela pokazala se veoma dobro kao imobilizacioni agens i ne predstavlja toksični otpad, samim tim ne smatra se štetnom po zdravlje ljudi i životnu sredinu.

Prema Nathwaniju i Phillipsu [11] koeficijenti difuzije metala iz S/S smeša se generalno kreću od vrednosti za veoma mobilne metale, (oko $\text{E-05 cm}^2 \text{ s}^{-1}$) do $\text{E-15 cm}^2 \text{ s}^{-1}$ (praktično imobilisani metali u S/S smešama). Srednje vrednosti difuzionih koeficijenata (\overline{De}) i indeksa izluživanja (LX) za smeše jalovine i letećeg pepela u rastvoru dejonizovane vode prikazane su u tabeli 2 i na slici 1.



Slika 1. Srednji indeksi izluživanja (\overline{LX}) u smešama jalovine i letećeg pepela; (—) LX kriterijum za efikasnost tretmana

Figure 1. Medium leaching indexes (\overline{LX}) from mixtures of mine tailings and fly ash; (—) LX criterion for the efficacy of the treatment



Slika 2. Srednji indeksi izluživanja (\overline{LX}) u smešama jalovine i gline;
(-) LX kriterijum za efikasnost tretmana

Figure 2. Medium leaching indexes (\overline{LX}) from mixtures of mine tailings and clay;
(-) LX criterion for the efficacy of the treatment

Tabela 2. Srednji difuzioni koeficijenti \overline{De} (cm^2s^{-1}) u smešama jalovine sa letećim pepelom

Table 2. Medium diffusion coefficients \overline{De} (cm^2s^{-1}) in the compositions of the tailings with fly ash

Smeša	De (Cu)
F10J90	1,64E-11
F20J80	2,05E-11
F30J70	2,88E-11
F50J50	6,52E-11

Iz tabele 2 vidimo da je Cu u svim smešama jalovine sa letećim pepelom umereno mobilan (koeficijent difuzije od $1,64E-11cm^2s^{-1}$ do $6,25E-11cm^2s^{-1}$).

Prema Kanadskoj agenciji za zaštitu životne sredine [12], LX vrednosti se mogu uzeti kao kriterijum za korišćenje i odlaganje stabilizovanog tretiranog otpada. Sa slike 1 vidimo da vrednosti smeša za Cu zadovoljavaju kriterijume prema Kanadskoj agenciji za zaštitu životne sredine [12] i kako su im vrednosti iznad 9 tretman se smatra adekvatnim otpadom i može se koristiti za "kontrolisanu upotrebu".

3.3. Smeša jalovine i gline

Kumulativni procenti izluženog metala u smeši jalovine i gline nakon 90 dana kretali su se u opsegu: od 0,13% (smeša sa 90% jalovine) do 2,28% (smeša sa 50% jalovine) za bakar. Smeša sa 90%

jalovine i 10% gline može se smatrati najefikasnijom jer se u njoj najmanje izlužuje bakar. Ukoliko kumulativne izlužene koncentracije metala poredimo sa koncentracijama koje za otpad propisuje Evropska unija [9], dolazimo do zaključka da se sve smeše jalovine i gline za Cu smatraju neopasnim otpadom. Kumulativne izlužene koncentracije smeše metala (Cu) ne prelaze granične vrednosti za metale regulisane Pravilnikom o kategorijama, ispitivanju i klasifikaciji otpada [10]. One se kreću za Cu od $0,55 mg l^{-1}$ do $0,59 mg l^{-1}$. Gline igraju važnu ulogu u životnoj sredini jer predstavljaju prirodni „sunder“ polutanata, vezujući njihove anjone ili katjone putem jonske izmene ili adsorpcijom. Ovo se dešava zbog toga što gline sadrže katjone i anjone na svojoj površini, a ti joni mogu biti zamenjeni relativno lako bez uticaja na mineralnu strukturu gline. Srednje vrednosti difuzionih koeficijenata (\overline{De}) i indeksa izluživanja (LX) za smeše jalovine i gline u rastvoru dejonizovane vode prikazane su u tabeli 3 i na slici 2.

Tabela 3. Srednji difuzioni koeficijenti \overline{De} (cm^2s^{-1}) u smešama jalovine sa glinom

Table 3. Medium diffusion coefficients \overline{De} (cm^2s^{-1}) in the compositions of the tailings with clay

Smeša	De (Cu)
G10J90	1,27E-11
G20J80	3,45E-11
G30J70	2,8E-11
G50J50	7,28E-11

Iz tabele 3 vidimo da je Cu u smešama jalovine i gline umereno mobilan (koeficijent difuzije od $1,27E-11\text{cm}^2\text{s}^{-1}$ do $7,28E-11\text{cm}^2\text{s}^{-1}$).

Sa slike 2 vidimo da smeše bakra zadovoljavaju kriterijume prema Kanadskoj agenciji za zaštitu životne sredine [12] i kako su im vrednosti iznad 9 tretman se smatra adekvatnim otpadom i može se koristiti za "kontrolisanu upotrebu".

3.4. Smeša gline i letećeg pepela

Kumulativni procenti izluženog metala bakra u smeši letećeg pepela i gline nakon 90 dana kretali su se u opsegu: Od 0,15% (smeša sa 10% letećeg pepela) do 2,38% (smeša sa 10% letećeg pepela). Na osnovu rezultata zaključujemo da sa povećanjem udela letećeg pepela opada procenat izluživanja bakra. Najefikasnija smeša je ona sa 5% gline i 20% letećeg pepela, gde je prisutno najmanje izluživanje bakra. U nekim slučajevima sa porastom udela letećeg pepela smanjuje se procenat izluženih metala. Ovo smanjenje u izluživanju objašnjava se formiranjem produkata pozolanske reakcije, kao što su hidrati kalcijum silikata (CSH) i kalcijum aluminata (CAH) [13]. Ukoliko kumulativne izlužene koncentracije metala poredimo sa koncentracijama koje za otpad propisuje Evropska unija [9], dolazimo do zaključka da se sve smeše gline i letećeg pepela za Cu smatraju neopasnim otpadom. Kumulativne izlužene koncentracije smeša metala (Cu) ne prelaze granične vrednosti za me-

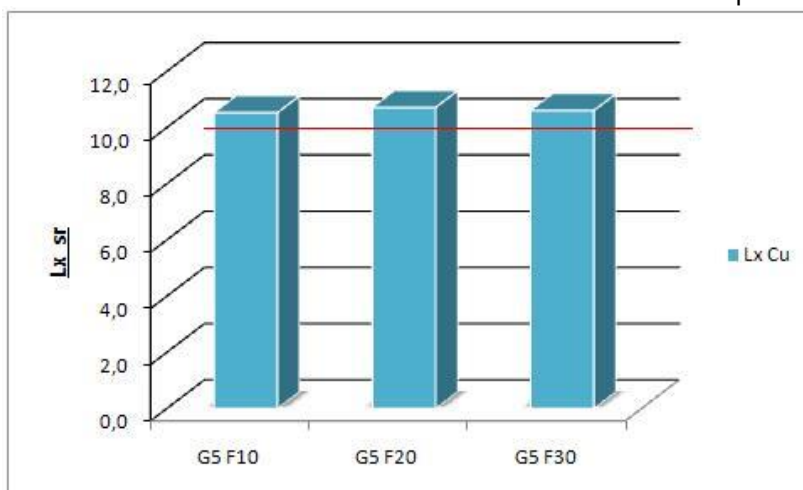
tale regulisane Pravilnikom o kategorijama, ispitivanju i klasifikaciji otpada [10]. One se kreću za Cu od 0,49 mg/l do 1,02 mg/l. Srednje vrednosti difuzionih koeficijenata (\overline{De}) i indeksa izluživanja (LX) za smeše gline i letećeg pepela u rastvoru dejonizovane vode prikazane su u tabeli 4 i na slici 3.

Tabela 4. Srednji difuzioni koeficijenti \overline{De} (cm^2s^{-1}) u smešama gline i letećeg pepela

Table 4. Medium diffusion coefficients \overline{De} (cm^2s^{-1}) in the compositions of the tailings with clay and fly ash

Smeše	De (Cu)
G5F10J85	8,97E-11
G5F20J75	3,03E-11
G5F30J65	3,81E-11

Iz tabele 4 vidimo da je Cu u svim smešama gline i letećeg pepela umereno mobilan (koeficijent difuzije od $3,03E-11\text{cm}^2\text{s}^{-1}$ do $8,97E-11\text{cm}^2\text{s}^{-1}$). Sa sl. 3 vidimo da Cu zadovoljava kriterijume prema Kanadskoj agenciji za zaštitu životne sredine [12], jer su mu sve vrednosti preko 10 i samim tim tretman se smatra adekvatnim otpadom i može se koristiti za "kontrolisanu upotrebu".



Slika 3. Srednji indeksi izluživanja (\overline{LX}) u smešama gline i letećeg pepela; (→) LX kriterijum za efikasnost tretmana

Figure 3. Medium leaching indexes (\overline{LX}) from mixtures of mine tailings fly ash and clay; (→) LX criterion for the efficacy of the treatment

4. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bilo je ispitivanje mogućnosti imobilizacije teških metala iz jalovine rudnika Bor primenom remedijacione tehnike stabilizacija/ solidifikacija kao i određivanje njene efikasnosti u zavisnosti od brojnih faktora.

Iz rezultata pseudo-ukupnog sadržaja metala u početnom uzorku jalovine vidimo da samo koncentracija bakra prelazi u značajnoj meri granične vrednosti prema direktivi EPA 568/09 dok su ostale koncentracije metala ispod granične vrednosti navedene direktive. S obzirom da je rudnik u Boru

rudnik bakra bilo je i očekivati ovakav rezultat pseudo-ukupnog sadržaja metala.

Na osnovu svega priloženog u radu možemo da zaključimo da su se u tretmanu bakra svi imobilizacioni agensi pokazali veoma efikasnim u stabilizaciji/solidifikaciji jalovine. Po svim ispitivanim kriterijumima agensi koji su se najbolje pokazali za imobilizaciju bakra u jalovini su smeše 10% letećeg pepela, 10% gline sa jalovinom kao i smeša 10% gline i 20% letećeg pepela sa jalovinom. Samim tim navedeni rezultati se mogu koristiti za projektovanje i izgradnju pilot postrojenja na kojima bi se ispitala efikasnost ovih agenasa za remedijaciju jalovine u realnim uslovima.

Zahvalnost

Istraživanja finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnoloskog razvoja Republike Srbije (Projekti III 43005 i TR 37004).

5. LITERATURA

- [1] V.C.Maio (2001) Overview of Mixed Waste Solidification and Stabilization Methods, in: Oh, Chang H. *Hazardous and Radioactive Waste Treatment Technologies Handbook*, CRC Press.
- [2] USEPA Method 3051a (2007). Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, Revision1.
- [3] USEPA Method 7000B (2007) Flame atomic absorption spectrophotometry, Revision 2.
- [4] ASTM D1557-00 Standard test method for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort American Society for Testing Materials. Annual book of ASTM standards:ASTMD1557-91, vol 4.08. ASTM, Philadelphia
- [5] ANS (American National Standard) ANSI/ANS-16.1. (1986) American National Standard for the

- Measurement of the Leachability of Solidified Low-Level Radioactive Wastes by a Short-Term Tests Procedure. ANSI/ANS-16.1. American National Standards Institute, New York, NY
- [6] D.Dermatas, X.Meng (2003) Utilisation of fly ash for stabilization/solidification of heavy metal contaminated soils, *Engineering Geology*, 70, 377-394.
 - [7] EPA 658/09 (2009) Supporting documentation for draft Guideline for solid waste: criteria for assessment, classification and disposal of waste, Environment Protection Authority GPO Box2607 Adelaide SA 5001.
 - [8] S.Mohan, R.Ganhimathi (2009) Removal of heavy metal ions from municipal solid waste leachate using coal fly ash as an adsorbent, *Journal of Hazardous Materials*, 169, 351-359.
 - [9] Official Journal of the European Communities, L11, (2003) Council Decision 2003/33/EC of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills pursuant to Article 16 of and Annex II to Directive 1999/31/EC.
 - [10] Official Gazzete (2010) Ministry of Energy, Development and the Environment, Regulation on categories, testing and classification of waste, The Official Gazette, 56/2010
 - [11] J.S.Nathwani, C.R.Phillips (1980) Leachability of Ra-226 from uranium mill tailings consolidated with naturally occurring materials and/or cement: analysis based on mass transport equation, *Water air soil poll*, 14, 389-402.
 - [12] Environment Canada (1991) Proposed Evaluation Protocol for Cement-Based Solidified Wastes, Environmental Protection Series, Report No. EPS 3/HA/9
 - [13] P.Ricou-Hoeffler, I.Lecuyer, P. Le Cloirec (2001) Experimental design methodology applied to adsorption of metallic ions on to fly ash, *Water Research*, 35 (4), 965-976.

ABSTRACT

EFFICIENCY OF APPLICATION THE SOLIDIFICATION/STABILIZATION TECHNIQUE ON MINE TAILINGS FROM THE BOR

Disposal of mine tailings which appears during the mining activity from Bor mine, represents enormously large environmental problem, because mine tailings is highly polluted by heavy metal, in this case by copper. Therefore it is necessary to expose mine tallings to certain treatments of remediation. In this work main object of the study was to show the leaching of metals and treatment efficiency of mine tailings from Bor that was stabilized/solidified by applying clay and fly ash as an immobilization agents. Characterization was preformed using semi-dynamic leaching test ANS 16.1. All immobilization agents in the treatment of copper were quite successful in the stabilization/solidification of mine tailings. Treated waste can be considered acceptable for disposal, and even considered for "controlled utilization".

Keywords: mine tailing, copper, clay, stabilization/solidification, fly ash

Scientific paper

Paper received: 02. 06. 2017.

Paper accepted: 06. 07. 2017.

Paper is available on the website: www.idk.org.rs/journal