



ISPITIVANJE MOGUĆNOSTI REMEDIJACIJE ZEMLJIŠTA SA ODLAGALIŠTA OTPADA KONTAMINIRANIH ARSENUMOM (As)

EXAMINATION OF THE POSSIBILITY OF SOIL REMEDIATION FROM WASTE DISPOSAL SITES CONTAMINATED WITH ARSEN (As)

Dunja Prokić¹, Jasna Stepanov¹, Ljiljana Ćurčić¹, Hristina Stevanović Čarapina^{1,*}, Prvoslav Marjanović²

¹Fakultet zaštite životne sredine, Univerzitet Educons, Sremska Kamenica, Srbija

²Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, Srbija

Primljen: 08. jul 2012.

Prihvaćen: 31. avgust 2012.

IZVOD – Kontaminacija zemljišta nastaje kao rezultat eksczesnog ispuštanja opasnih materija i njihovog „mešanja“ sa supstancama koje su prirodno prisutne u zemljištu. Odlaganje otpada na neadekvatno opremljenim deponijama predstavlja potencijalnu pretnju po zagađenje životne sredine. Deponije otpada mogu da naruše kvalitet okolnog zemljišta, površinskih i podzemnih voda. Po podacima iz Izveštaja o stanju zemljišta u Republici Srbiji (2010), na području Srbije identifikovano je 375 kontaminiranih lokaliteta, među kojima najveći procenat čine deponije komunalnog otpada (1700 ha zauzetih odlaganjem otpada). Pomenute deponije su u većoj ili manjoj meri neuređene, i imajući u vidu njihove specifičnosti, do sada nisu sprovedena istraživanja u cilju procenjivanja njihovog uticaja na zagađenje okolnog zemljišta i podzemnih voda.

U radu je predstavljen segment istraživanja izvršenih u okviru Doktorske disertacije: "Razvoj metodologije za sanaciju zagađenih područja", kroz analizu mogućnosti imobilizacije arsena, kao zagađujuće materije, prisutnog u zemljištu na lokaciji odlagališta otpada, primenom metode stabilizacije/solidifikacije uz dodatak različitih matriksa: cementa i smeše cementa i imobilizacionog agensa na bazi prirodnih i sintetskih zeolita. Cilj istraživanja je utvrđivanje nivoa izlučivanja arsena iz S/S uzoraka i s tim u vezi ispitivanje mogućnosti njihovog daljeg korišćenja u formi korisnih proizvoda. Rezultati istraživanja ukazuju na mogućnost različite primene dobijenih solidifikata (zavisno od udela cementa i cement/aditiva u efikasnoj imobilizaciji arsena) kroz bezbedno odlaganje na deponijama inertnog ili neopasnog otpada kao i kroz dalju upotrebu u građevinskoj industriji. Zavisno od potencijalne primene dobijenog solidifikata potrebno je izvršiti dodatna ispitivanja koja se odnose na kvalitet zahtevanih karakteristika.

Ključne reči: kontaminacija, zemljište, otpad, remedijacija, stabilizacija/solidifikacija

ABSTRACT – This paper analyzes the possibility of immobilization of arsenic, as pollutants present in soil at the landfill site by using the method of stabilization / solidification with cement and/or cement with additives addition. The survey aims to study level of As immobilization by using leaching test from S/S samples and is in this connection to examine the possibilities of their safe

* Kontakt adresa autora: H. Stevanović-Čarapina, Fakultet zaštite životne sredine, Univerzitet Educons, Sremska Kamenica, Srbija.
E-mail: hristina.carapina@eco-expert.rs

* Rad nastao kao rezultat rada na projektu Ministarstva nauke: "Petogeneza i mineralni resursi Karpato-balkanida i njihov značaj u zaštiti životne sredine"

disposal. The results indicate that the arsenic contaminated soil after treatment with S / S method with the use of cement as well as cement/aditive moxture, as a matrix can be safely disposed of in landfills for inert and non hazardouw waste. There are some possibilities for use such blocs as a construction materila in the construction industry, but further investigation must o be carried out.

The paper presents selected results from research activities developed in Doctoral dissertation: "The development of the rehabilitation of polluted areas". Main focus is in application of remediation technologies on soil contaminated by As, originated from waste disposal sites. Remediation is based on process of solidification, by using cement and cement/aditives as a matrix (in the S/S).

Key words: *contamination, soil, waste, remediation, stabilization/solidification*

1. UVOD

Kontaminacija zemljišta nastaje kao rezultat nekontrolisanog ispuštanja i mešanja čvrstih ili tečnih opasnih supstanci sa supstancama koje su prirodno prisutne u zemljištu. Rezultati izvršenih procena ukazuju da, na primer, na području Australije postoji oko 100.000 kontaminiranih lokacija za čiju je remedijaciju neophodno izdvojiti između 5 i 10 biliona \$ [1]. U SAD i Evropi postoji daleko veći broj kontaminiranih lokacija, te su i sredstva potrebna za izvođenje remedijacije daleko viša, ali ih veoma teško proceniti [2]. "Na osnovu poslednjih procena širom Evrope prisutno je više od 1.800.000 potencijalno kontaminiranih lokaliteta, sa procenom da 240.000 lokaliteta zahteva remedijaciju" [3].

Deponije, odnosno lokacije koje se uobičajeno koriste za odlaganje čvrstog otpada ukoliko nisu adekvatno izgrađene i opremljene, predstavljaju potencijalnu pretnju, jer mogu da naruše kvalitet okolnog zemljišta, površinskih i podzemnih voda. Glavnu opasnost predstavljaju procedne vode sa deponija koje najčešće sadrže zagađujuće, a neretko i toksične supstance iz otpada i mogu da ih transportuju u podzemne i površinske vode i okolno zemljište [4]. Ako se uzme u obzir podatak da na području Republike Srbije postoji 164 deponije koje su u nadležnosti javno-komunalnih preduzeća, a da gotovo nijedna od njih ne poseduje elemente sanitarne zaštite, kao i da broj divljih deponija premašuje 4.000, moguće je pretpostaviti da je određeni broj ovih lokaliteta kontaminiran raznovrsnim zagađujućim materijama.

Po podacima iz Izveštaja o stanju zemljišta u Republici Srbiji, na području Republike Srbije identifikovano je 375 lokaliteta na kojima je zagađenje zemljišta potvrđeno laboratorijskim analizama zemljišta i podzemnih voda u neposrednoj blizini lokalizovanih izvora zagađenja i prisutno je u dužem vremenskom periodu. U identifikovanim lokalitetima najveći procenat čine deponije komunalnog otpada, koje su u većoj ili

manjoj meri neuređene, i na kojima, zbog njihove specifičnosti, nisu vršena istraživanja da bi se procenio njihov uticaj na zagađenje okolnog zemljišta i podzemnih voda [3].

Teorijski deo: Remedijacija zemljišta sa odlagališta otpada

Lokacije kontaminirane određenim zagađujućim materijama, zahtevaju remedijaciju. Prema US EPA (*United States Environmental Protection Agency*), postupku primene određene tehnologije remedijacije prethodi identifikacija prisutnih zagađujućih materija i procena njihovog uticaja na zdravlje ljudi i životnu sredinu [5]. Nakon identifikacije i procene uticaja zagađujućih materija, sledi postupak tretmana ili uklanjanja kontaminiranog medijuma. Za sprovođenje remedijacije zagađenog zemljišta koristi se širok spektar tehnologija, sa ciljem da se prisutne zagađujuće materije potpuno uklone sa lokacije i/ili da se tretiraju do nivoa kada više neće predstavljati pretnju po zdravlje ljudi i životnu sredinu [6, 7].

Jedna od metoda koja se danas široko primenjuje za tretman opasnog otpada i kontaminiranog zemljišta je metoda stabilizacije/solidifikacije (u daljem tekstu S/S). Stabilizacija predstavlja proces mešanja vezivnog sredstva sa otpadom da bi se minimalizovao nivo migracije zagađujućih materija iz otpada i da bi se redukovala njegova toksičnost. Dakle, stabilizacija se može opisati kao proces potpunog ili delimičnog vezivanja zagađujućih materija uz pomoć dodavanja vezivnih materijala, koja rezultuje redukcijom toksičnosti tretiranog materijala ili ograničenjem njegove rastvorljivosti. Solidifikacija je proces u toku kog se, usled dodavanja aditiva, menja fizička priroda tretiranog materijala (aktivnost, stišljivost i/ili permeabilnost). Kao rezultat procesa nastaju monolitni blokovi tretiranog materijala visoke strukturne stabilnosti. Ciljevi S/S objedinjeno obuhvataju smanjenje toksičnosti otpada, smanjenje mobilnosti

zagađujućih materija i poboljšanje fizičkih karakteristika stabilisanog materijala [8].

Promena zakonskih propisa o otpadu u Evropskoj uniji početkom 21. veka ima značajan uticaj na klasifikaciju i metode tretmana otpada, ali i na remedijaciju kontaminiranog zemljišta. Najznačajnije promene su povezane sa revizijom Evropskog kataloga otpada i uvođenjem Direktive o deponijama otpada [8].

U Evropskom katalogu otpada (2002. g.) se kao posebna klasa otpada identifikuje građevinski otpad i otpad od rušenja, uključujući i iskopano zemljište sa kontaminiranih lokacija [9,10]. Direktiva o deponijama otpada prevashodno ima značajnu ulogu u sprečavanju nastajanja kontaminiranih lokacija od odlaganja otpada, jer se njome: [11,12,13]

- zabranjuje deponovanje pojedinih vrsta otpada (tečnog, zapaljivog, eksplozivnog, infektivnog bolničkog ili klaničnog otpada, starih guma i drugih tipova otpada, koji ne zadovoljavaju kriterijume postavljene u Aneksu II)
- zahteva smanjenje odlaganja biorazgradljivog otpada
- zabranjuje deponovanje netretiranog otpada i zajedničko odlaganje inertnog, opasnog i komunalnog otpada
- uvodi klasifikaciju deponija prema vrsti otpada koji se na nju odlaže i sl.

U radu su prikazani rezultati istraživanja primene postupka S/S, kao metode izbora za remedijaciju zemljišta sa odlagališta komunalnog otpada, kontaminiranog arsenom. Analizirana je mogućnost imobilizacije arsena, prisutnog u zemljištu, primenom metode S/S uz dodatak cementa, kao i cementa sa dodatkom imobilizacionog agensa na bazi prirodnih i sintetskih zeolita. Cilj istraživanja je utvrđivanje nivoa izluživanja arsena iz S/S uzoraka i s tim u vezi ispitivanje mogućnosti njihovog daljeg korišćenja u formi korisnih proizvoda.

2. EKSPERIMENTALNI DEO: ANALIZA UZORAKA ZEMLJIŠTA SA ODLAGALIŠTA OTPADA I PRIPREMA S/S UZORAKA

Uzorci zemljišta su uzeti sa dva lokaliteta na kojima se vrši dugogodišnje odlaganje komunalnog i drugih tokova otpada i u njima je utvrđivan sadržaj arsena, metodom EPA 6010c – "Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry" na aparatu ICP-AES sistem Thermo iCAP 6500 Duo (Thermo Fisher Scientific). Rezultati izvršenih analiza, realizovanih na osam uzoraka otpadnog zemljišta, predstavljeni su u tabeli 1.

Tabela 1. Sadržaj arsena u uzorcima zemljišta sa nepropisnih odlagališta komunalnog otpada (mg/kg suve materije)

Oznaka uzorka	1	2	3	4	5	6	7	8
Sadržaj As (mg/kg)	2.785,87	4.095,00	4.799,15	4.799,15	1.700,16	1.023,85	2.463,72	1,971,95
Granična vrednost* (mg/kg)	29							
Reme. vrednost* (mg/kg)	55							
LD** (mg/m ³)	0,03							

* Uredba o programu sistematskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa ("Službeni glasnik R Srbije, broj 88/2010)

** Granica detekcije

Rezultati laboratorijske analize sadržaja arsena u uzorcima zemljišta pokazuju da su u gotovo svim uzorcima koncentracije arsena daleko više od vrednosti za koje se zahteva remedijacija prema Uredbi o programu sistematskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa ("Službeni glasnik R Srbije, broj 88/2010) [14].

S/S uzorci su formirani tako što su kontaminirani uzorci mešani sa različitim udelima cementa i cementa sa aditivom uz pomoć ručne mešalice do obrazovanja homogene mešavine (tabela 2). Tokom procesa mešanja

dodavana je određena količina vode, kako bi se pospešio proces hidratacije i postigao prethodno definisani odnos voda:cement. Formirana smeša je postavljena u specijalne, prethodno pripremljene kalupe - modle. U skladu sa uslovima standarda za ispitivanje, ovako pripremljeni uzorci su u kalupima ostavljeni da odstoje 7 dana na sobnoj temperaturi od 15 do 20 °C. Svakodnevno je vršeno njihovo kvašenje, korišćenjem dejonizovane vode, da bi se sprečilo pucanje S/S materijala. Nakon 7 dana, S/S uzorci su izvađeni su iz kalupa i ostavljeni da odstoje još 27 dana na sobnoj temperaturi i bez prisustva vlage [15, 16, 17, 18].

Tabela 2. Sastav S/S uzoraka

Oznaka uzorka	Materijal (kg/m ³)	Cement (kg/m ³)	Aditiv (kg/m ³)	Voda (kg/m ³)
2A	1.970	985	0	2.167
3A	1.196,58	95,28	0	150,97
4A	1.196,58	95,28	6,84	150,97
5A	1.404	831,75	0	0
5B	1.404	831,75	8,32	1
7A	1.720	270,44	16,23	0
7B	1.720	487,25	16,24	0
7C	1.720	270,44	8,11	0
7D	1.720	270,44	0	0

Na osnovu podataka predstavljenih u tabeli 2, uočljivo je da je:

- u formiranju uzorka 2A korišćen uzorak kontaminiranog zemljišta 2, uz dodatak 20% cementa, kao i određena količina vode za pospešivanje procesa hidratacije.
- Uzorci 3A i 4A formirani su korišćenjem iste količine i sastava kontaminiranog materijala kao uzorak 2A, ali sa 6,6% cementa, kao i jednake količine vode.
- U uzorak 4A je, za razliku od uzorka 3A, dodato i 0,5% aditiva cementu. Radi se o uzorcima čiji je sadržaj kontaminiranog materijala pre početka S/S bio identičan.
- Slično su formirani i uzorci 5A i 5B, kao i uzorci od 7A do 7D. Sastav S/S uzoraka 5A i 5B ukazuje da je prilikom njihovog formiranja korišćena jednaka količina i sastav kontaminiranog materijala, kao i 37% cementa.
- Uzorak 5B razlikuje se od uzorka 5A, jer je za njegovo formiranje cementu dodato 0,4% aditiva, kao i određena količina vode za pospešivanje procesa hidratacije.
- Prilikom formiranja uzoraka od 7A do 7D korišćena je jednaka količina i sastav kontaminiranog materijala, jednaka količina cementa, izuzev uzorka 7B, kao i različite količine aditiva.

Na svim S/S uzorcima je primenjen modifikovan ANS 16.1 test izluživanja, da bi se što bliže simulirali uslovi koji vladaju na lokaciji sa koje su uzeti uzorci kontaminiranih materijala:

- Test je izveden na sobnoj temperaturi sa dejonizovanom vodom kao rastvorom za izluživanje.
- Uzorci su postavljeni u visećem položaju u staklene posude sa dejonizovanom vodom, pri čemu je odnos tečno/čvrsto (L/S) bio 5:1. Test je rađen pod statičkim uslovima, pri čemu su monoliti stajali potopljeni u dejonizovanoj vodi, a iz nje su uzimani

uzorci (25 ml) posle 1h, 8h, 24h, 72h, 7 dana, 14 dana, 21 dana, 28 i 56 dana.

- Uzorci izluženog sadržaja nakon 7, 14, 21, 28 i 56 dana su, nakon filtriranja na membranskom filteru (0,45 μm), analizirani na sadržaj As.
- Za analizu je korišćen aparat ICP-AES sistem Thermo iCAP 6500 Duo (Thermo Fisher Scientific).

3. DISKUSIJA REZULTATA

Analizom dobijenih rezultata dobijena je matematička zavisnost koja najbolje opisuje proces izluživanja u uslovima testa:

$$Y = \frac{m1 \cdot X}{(m2 + X)}$$

gde je:

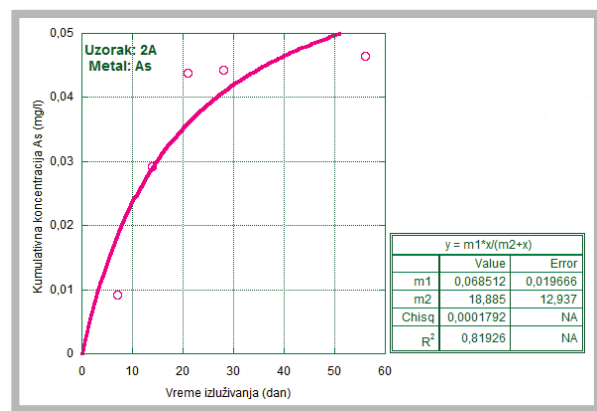
Y – koncentracija metala nakon datog perioda izluživanja u uslovima testa izražena u mg/l

X – vreme trajanja izluživanja izraženo u danima

m1 i m2 – su parametri modela koji su izračunati statističkim metodama fitovanja najbolje linije kroz set tačaka

Predstavljeni model izluživanja je u saglasnosti sa očekivanim ponašanjem za monolitne uzorke u kojima je prodor tečnosti po dubini uzorka limitiran na relativno tanak površinski sloj, pri čemu je i osnovni cilj S/S imobilizacija zagađujućih materija kroz sprečavanje njihovog kontakta sa tečnošću.

Da bi se pratila mogućnost bezbednog odlaganja S/S na deponije, izvršena je analiza nivoa izluživanja arsena iz uzorka 2A (dijagram 1). Uzorak 2A je dobijen solidifikacijom uzorka 2, uz korišćenje cementa kao vezivnog materijala.



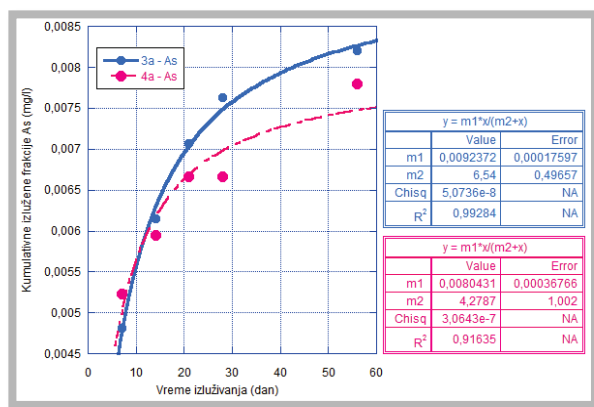
Dijagram 1. Kumulativne izlužene frakcije As iz S/S smeše sa cementom

Na osnovu dijagrama 1 moguće je uočiti da se iz površinskog sloja S/S uzorka difuzijom oslobađa određena količina arsena, dok se unutar S/S uzorka formira čvrsta kristalna rešetka usled hemijskih reakcija između zemljišta i cementa. U literaturi se mogu pronaći podaci da arsen sa kalcijumom gradi teško rastvorljive komponente [19]. Nivo izluživanja ima trend porasta tokom vremena. Kumulativne koncentracije izluženog arsena su se kretale u opsegu od 0,009225 do 0,0465 mg/l. Ukoliko kumulativne izlužene koncentracije arsena (As) poredimo sa koncentracijama koje za otpad propisuje Evropska unija (2003/33/EC), dolazimo do zaključka da se smeša sa 20% cementa može smatrati inertnim otpadom, jer su izlužene koncentracije As u prvih 56 dana praćenja izluživanja ispod koncentracije od 0,06 mg/l koja je propisana Odlukom 2003/33/EC. Prema Pravilniku o kategorijama, ispitivanju i klasifikaciji otpada ("Službeni glasnik Republike Srbije", br. 36/09), a prema kriterijumima maksimalne dozvoljene koncentracije arsena u procednoj tečnosti (mg/l) i pH vrednosti u izluženoj tečnosti, tretirani S/S uzorak ne spada u kategoriju opasnog otpada. Po Pravilniku, a u skladu sa parametrima za ispitivanje otpada i procednih voda iz deponija inertnog, neopasnog ili opasnog otpada, uzorak S/S otpada se, u pogledu koncentracije As, može odložiti na *deponiju inertnog otpada*.

U cilju analize uticaja primene cementa uz dodatak aditiva u imobilizaciji arsena procesom solidifikacije, izvršena je komparativna analiza nivoa izluživanja u uzorcima istog sastava za čiju je solidifikaciju/stabilizaciju korišćen cement, odnosno cement uz dodatak aditiva na bazi prirodnih i sintetskih zeolita u različitim procentualnim udelima. Kao kriterijum za procenu efikasnosti S/S metode korišćena je kumulativna koncentracija (mg/l) izluženih teških metala. Nivo izluživanja arsena iz uzorka 3A poredenjen je sa nivoom izluživanja teških metala iz uzorka 4A (sa početnim identičnim sadržajem kontaminiranog materijala). Za primenu S/S metode je u uzorcima 3A i 4A korišćena identična količina cementa, odnosno 6,6%. Jedina razlika u sastavu pomenutih uzoraka ogleda se u činjenici da je u pripremi uzorka 4A dodata i određena količina aditiva, odnosno 0,5% aditiva cementu. Na dijagramu 2 predstavljen je nivo izluživanja arsena iz S/S uzorka 3A i 4A.

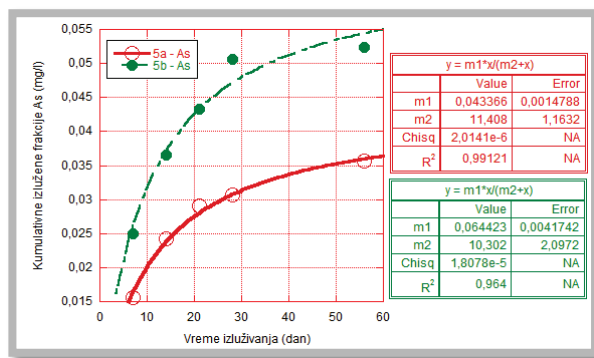
Na osnovu podataka predstavljenih na dijagramu 2, izmerene koncentracije arsena (As) se u uzorku 3A kreću u opsegu od 0,004818 do 0,0082 mg/l, dok se izmerene koncentracije u uzorku 4A kreću u opsegu od 0,005228 do 0,0078 mg/l. Nivo izluživanja As se

postepeno povećava sa vremenom u oba uzorka i 56. dana praćenja izluživanja dostiže najvišu vrednost. Praćenje izluživanja As u uzorcima 3A i 4A pokazuje da je nivo izluživanja manji u uzorku u kome je, osim cementa, korišćen aditiv. Imobilizacija As je u uzorku 4A efikasnija, jer je kumulativna koncentracija izluženog As niža nego u uzorku 3A. Evidentno je da je imobilizacija As uz dodatak 6,6% cementa kontaminiranom materijalu moguća, ali da se veća efikasnost postiže u tretmanu sa cementom uz dodatak 0,5% aditiva, iako je u prvih 28 dana nivo izluživanja As u oba uzorka bio približno jednak.



Dijagram 2. Kumulativne izlužene frakcije arsena (As) iz S/S smeše sa cementom i smeše sa cementom uz dodatak aditiva

Nivo izluživanja arsena iz uzorka 5A poreden je sa nivoom izluživanja istog teškog metala iz uzorka 5B. Radi se o uzorcima čiji je sadržaj kontaminiranog materijala, pre početka S/S, bio identičan. Za primenu S/S metode je u uzorku 5A i 5B korišćena identična količina cementa, odnosno 37%. Jedina razlika u sastavu pomenutih uzoraka ogleda se u činjenici da je u pripremi uzorka 5B dodata i određena količina aditiva, odnosno 0,4% aditiva cementu. Na dijagramu 3 predstavljen je nivo izluživanja arsena iz S/S uzorka 5A i 5B.



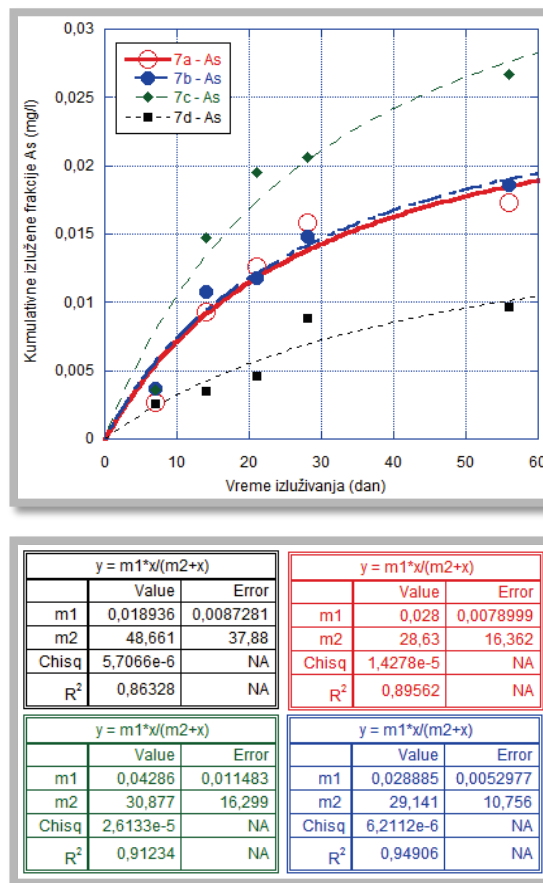
Dijagram 3. Kumulativne izlužene frakcije arsena (As) iz S/S smeše sa cementom i smeše sa cementom uz dodatak aditiva

Na osnovu podataka predstavljenih na dijagramu 3, izmerene koncentracije arsena (As) se u uzorku 5A kreću u opsegu od 0,01558 do 0,0356 mg/l, dok se izmerene koncentracije u uzorku 5B kreću u opsegu od 0,024908 do 0,0523 mg/l. Nivo izluživanja As se postepeno povećava sa vremenom u oba uzorka i 56. dana praćenja izluživanja dostiže najvišu vrednost. Praćenje izluživanja As u uzorcima 5A i 5B pokazuje da je nivo izluživanja manji u uzorku u kome je korišćen cement, bez primene aditiva. Imobilizacija As je u uzorku 5A efikasnija, jer je kumulativna koncentracija izluženog As niža nego u uzorku 5B. Evidentno je da je imobilizacija As uz dodatak 37% cementa kontaminiranom materijalu pokazala dobre rezultate i da predstavlja prihvatljivije rešenje od imobilizacije As uz dodatak 0,4% aditiva cementu. Značajnim povećanjem udela cementa se smanjuje nivo izluživanja As iz S/S materijala. Procenat korišćenog aditiva je relativno mali u odnosu na udeo cementa, pretpostavka je da bi se smanjenem procentualnog udela cementa u mešavini sa kontaminiranim materijalom i aditivom, više osetio uticaj aditiva u imobilizaciji As.

Da bi se utvrdile optimalne doze aditiva koje je potrebno dodati cementu za imobilizaciju arsena izvršeno je poređenje nivoa izluživanja arsena iz četiri S/S uzorka. Kvalitet i količina kontaminiranog materijala su jednaki u sva četiri uzorka (7A, 7B, 7C i 7D). Za formiranje S/S uzoraka: 7A, 7C i 7D korišćeno je 13,5% cementa, dok je za formiranje uzorka 7B procentualni udeo korišćenog cementa iznosio 22%. U sva četiri uzorka je, prilikom formiranja S/S uzoraka, primenjena različita količina aditiva. Prilikom formiranja uzorka 7A, cementu je dodato 0,8% aditiva, za formiranje uzorka 7B, cementu je dodato 0,7% aditiva, dok je za formiranje uzorka 7C, cementu dodato 0,4% aditiva. Za formiranje uzorka 7D, korišćen je cement, bez dodatka aditiva. Kao kriterijum za procenu efikasnosti S/S metode korišćena je koncentracija (mg/l) izluženog arsena, odnosno nivo izluživanja teških metala.

Na osnovu podataka predstavljenih na dijagramu 4, najniži nivo izluživanja arsena (As) uočljiv je u uzorku 7D, odnosno u uzorku u kome je kontaminiranom materijalu dodato 13,5% cementa. Ova činjenica ukazuje na mogućnost efikasne imobilizacije arsena uz dodatak 13,5% cementa i bez korišćenja primesa. Najviši nivo izluživanja uočljiv je u uzorku 7C, za čiju je pripremu korišćeno 0,4% aditiva i 13,5% cementa, što upućuje na zaključak da za efikasnu imobilizaciju As uz korišćenje 13,5% cementa nije neophodno korišćenje aditiva. Kumulativne izlužene frakcije As nešto su niže

u uzorku 7A, u odnosu na uzorak 7B, što upućuje na zaključak da se sa porastom udela aditiva i smanjenjem udela cementa smanjuje koncentracija izluženog As.



Dijagram 4. Kumulativne izlužene frakcije As iz četiri S/S smeše sa cementom i različitim udelima aditiva

ZAKLJUČAK

Predstavljeni rezultati ukazuju da je primenom S/S metode uz korišćenje cementa i aditiva moguće izvršiti efikasnu imobilizaciju arsena prisutnog u zemljištu u visokim koncentracijama. Analiza nivoa izluživanja arsena iz S/S smeše, sa aspekta njenog bezbednog odlaganja, pokazuje da se smeša zemljišta i 20% cementa sa aspekta koncentracije arsena može smatrati inertnim otpadom. Međutim, literaturni podaci pokazuju da se praćenjem dugoročnog izluživanja (100 dana) izlužene koncentracije arsena mogu povećati iznad 0,06 mg/l. S toga je preporučljivo pomenutu mešavinu ipak svrstati u kategoriju neopasnog otpada, kako bi se sprečilo njeno nepropisno odlaganje na deponije inertnog otpada i posledice koje ono može imati na životnu sredinu.

Rezultati takođe ukazuju da se uticaj dodatka aditiva cementu i kontaminiranom materijalu za

pospešivanje procesa imobilizacije arsena najviše oseti kada se primenjuje u odnosu 6,6% cementa i 0,5% aditiva.

U slučaju primene cementa u većem procentualnom udelu (37%), dodatak 0,4% aditiva cementu nije pospešio proces imobilizacije arsena.

Najefikasnija imobilizacija As u formiranim S/S uzorcima postiže se uz korišćenje mešavine kontaminiranog materijala i cementa u procentualnog udelu od 13,5%.

Generalno se može zaključiti da je upotreba ovako formiranih S/S uzoraka moguća u građevinskoj industriji sa aspekta oslobađanja arsena iz S/S formi otpada. Međutim, zavisno od potencijalne namene dobijenog solidifikata (npr. primena kao građevinska podloga ili kao građevinski materijal i sl.) moraju se izvršiti dodatna ispitivanja koja se odnose na kvalitet zahtevanih karakteristika, a pre svega na ispitivanje čvrstoće novodobijenih materijala.

LITERATURA

- Prokić, D. Razvoj metodologije za sanaciju zagađenih područja. Doktorska disertacija, Univerzitet Educons, Sremska Kamenica 2012.
- Naidu, R.; Bolan, N.; Megharaj, M.; Juhasz, A.; Lombi, E.; Smith, E. Human and ecological risk assessment of contaminated sites – Key knowledge gaps, Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Brisbane, Australia, 2010; pp 41-44. Available from: <http://www.iuss.org/19th%20WCSS/symposium/pdf/1621.pdf>
- Izveštaj o stanju zemljišta u Republici Srbiji; Beograd: Ministarstvo životne sredine i prostornog planiranja, Agencija za zaštitu životne sredine Republike Srbije, SEPA, 2009.
- Ismail, R.M.A.; Al-Mattarneh, H.M.A.; Sidek, L.M.; Zain, M.F.M.; Taha, M.R. Dielectric Properties of Soil contaminated by Solid Waste Leachate in the Frequency Range of 100 kHz to 1000kHz. *ICCBT* **2003**, D(35), 373-380.
- Green Remediation: Incorporating Sustainable Environmental Practices into Remediation of Contaminated Sites; Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, US EPA 2008. (EPA 542-R-08-002).
- Abstracts of remediation case studies, Vol. 4. Federal remediation technologies roundtable, US EPA 2000. (EPA 542-R-00-006)
- Ramić, E. Očuvanje prirodnih resursa u izgradnji sanitarnih deponija otpada primenom TERROSTAB tehnologije. *Reciklaža i održivi razvoj* **2008**, 1(2), 113-118.
- La Grega, M.; Buckingham, P.; Evans, J. *Hazardous Waste Management*, 2nd Ed. Mc Graw Hill: New York 2001.
- Mihajlov, A. Segment održivog korišćenja prirodnih resursa i integralnog upravljanja otpadom: Reciklaža. *Reciklaža i održivi razvoj* **2010**, 3(1), 1-8.
- Bone, B.D.; Barnard, L.H.; Boardman, D.I.; Carey, P.J.; Hills, C.D.; Jones, H.M.; MacLeod, C.L.; Tyrer, M. Review of scientific literature on the use of stabilisation/solidification for the treatment of contaminated soil, solid waste and sludges; Science Report SC980003/SR2, Environment Agency: Bristol 2004.
- Vujić, G.; Batinić, B.; Stanisavljević, N.; Ubavin, D.; Živančev, M. Analiza stanja i strateški okvir upravljanja otpadom u Republici Srbiji. *Reciklaža i održivi razvoj* **2011**, 4(1), 14-19.
- Commission Regulation (EC) No 574/2004 of 23 February 2004 amending Annexes I and III to Regulation (EC) No 2150/2002 of the European Parliament and of the Council on waste statistics. Official Journal of the European Union L 90/15. Available from: http://www.ine.es/en/daco/daco42/resiurba/reglamente_en.pdf
- Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste. Official Journal of the European Union L182.
- Uredba o programu sistematskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa ("Službeni glasnik R. Srbije, broj 88/2010).
- Savic, D.; Karabas, S.; Kostic, M.; Mihajlov, A.; Marjanovic, P. Waste soil and sludge: new management perspective within the transition countries and the infrastructure needs; Proceedings of the 12th International Conference on Environmental Science & Technology CEST2011; Editor: TD Lekkas. University of the Aegean, Department of Environmental Studies, Department of Statistics and Actuarial – Financial Mathematics, Global Network for Environmental Science and Technology, Rhodes, Greece 2011; pp. 206.
- Stevanović-Čarapina, H.; Mihajlov, A.; Savić, D. Municipal Waste Related Contaminated Soil:

- Pollution Indicators; International Workshop: "Global and Regional Environmental Protection", GLOREP, Timisoara, Romania 2010.
17. Prokić, D.; Mihajlov, A. Contaminated Sites. Solid Waste Management Practice in Developing Country (Serbia). *Environment Protection Engineering* **2012**, *38(1)*, 81-90.
18. Svetlana, K.; Savić, D.; Marjanović, P. Remedijacione tehnologije: tretman otpadnog mulja i zemljišta kontaminiranih teškim metalima primenom metode stabilizacije/solidifikacije, Zbornik apstrakata Prvog naučnog skupa: "Zaštita životne sredine", Univerzitet Educons, Fakultet zaštite životne sredine, Sremska Kamenica 2011; pp 32.
19. Dutre, V.; Kestens, C.; Schaep, J.; Vandecasteele, C. Study of the remediation of a site contaminated with arsenic. *The Science of the Total Environment* 1998, *220*, 185-194.