



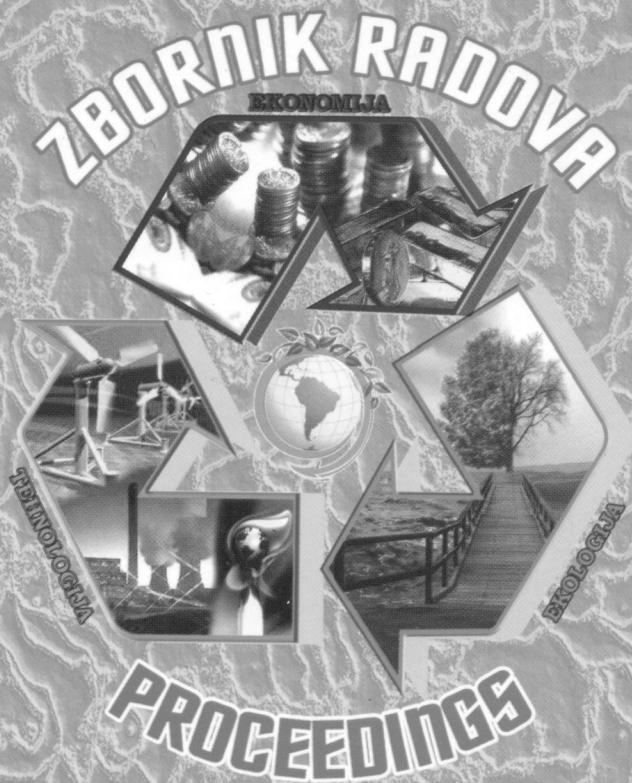
Univerzitet u Beogradu  
TEHNIČKI FAKULTET U BORU  
Katedra za Mineralne i Reciklažne Tehnologije



4<sup>th</sup>  
**V**

SIMPOZIJUM "RECIKLAŽNE TEHNOLOGIJE I ODRŽIVI RAZVOJ"

SYMPOSIUM "RECYCLING TECHNOLOGIES AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT"



Urednik / Editor  
Jovica Sokolović

Kladovo  
3 - 6. novembar 2009.

**IV SIMPOZIJUM "RECIKLAŽNE TEHNOLOGIJE I ODRŽIVI RAZVOJ",**  
sa međunarodnim učešćem

**4<sup>th</sup> SYMPOSIUM "RECYCLING TECHNOLOGIES AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT",** with international participation

**Urednik/Editor:** Mr Jovica Sokolović

**Izdavač/Publisher:** Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru

**Štampa/Printed:** "Grafomed-Trade" Bor

**Tiraž:** 200

**Str.** 651

CIP - Каталогизacija y publikaciji  
Народна библиотека Србије, Београд

502.131.1:628.477.6(082)  
628.477.6(082)  
502.174:502.521(082)

**СИМПОЗИЈУМ "Рециклажне технологије и одрживи развој" са међународним учешћем (4 ; 2009 ; Кладово)**

Zbornik radova = Proceedings / IV simpozijum "Reciklažne tehnologije i održivi razvoj" sa međunarodnim učešćem = IV Symposium "Recycling Technologies and Sustainable Development" with International Participation, Kladovo, 3-6. novembar 2009. ; [organizator] Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Katedra za mineralne i reciklažne tehnologije ; urednik, editor Jovica Sokolović. - Bor : Tehnički fakultet, 2009 (Bor : Grafomed Trade). - X, 643 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 200. - Predgovor urednika: str. VI. - Bibliografija uz većinu radova. - Registar. - Abstracts.

ISBN 978-86-80987-73-6

1. Соколовић, Јовица [уредник] [аутор додатног текста] 1974- 2. Технички факултет (Бор). Катедра за минералне и рециклажне технологије

а) Отпадне материје - Одрживи развој - Зборници б) Отпадне материје - Рециклажа - Зборници с) Земљиште - Ремедијација - Зборници

COBISS.SR-ID 170749196

**ISBN 978-86-80987-73-6**



**SIMPOZIJUM "RECIKLAŽNE TEHNOLOGIJE I ODRŽIVI RAZVOJ"**

**SYMPOSIUM "RECYCLING TECHNOLOGIES AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT"**

**3 - 6. novembar 2009., Kladovo, Srbija**

## **ISTRAŽIVANJE SADRŽAJA TEŠKIH METALA U OPEKARSKIM PROIZVODIMA**

### **RESEARCH ON HEAVY METAL CONTENT IN CLAY BRICK PRODUCTS**

**Milica Arsenovic\*, Branko Živančević, Zàgoroka Radojević**

Institut za ispitivanje materijala a.d., Bulevar vojvode Mišića 43, 11000 Beograd, Srbija

#### **IZVOD**

Teški metali spadaju u najopasnije zagađujuće supstance životne sredine, posebno usled razvoja industrije, kada je ljudskim delovanjem došlo do nekontrolisane emisije metala u atmosferu i hidrosferu i njihove akumulacije u sedimentima i zemljištu. Cilj ovog primarnog istraživanja je utvrđivanje ukupnog sadržaja teških metala u ciglarskim proizvodima uzorkovanim iz 12 različitih ciglana. Određivan je sadržaj Cr, Cu, Ni, Mo, Zn, Co, Cd, Sb, Hg, As i Pb, kao indikator mogućnosti izluživanja u okolinu dejstvom atmosferilija.

**Cljučne reči:** teški metali, opekarski proizvodi, životna sredina, održivi razvoj.

#### **ABSTRACT**

Heavy metals are one of the most harmful substances in the environment, occurred especially after industry revolution, when activities of humans caused their uncontrolled emission to the atmosphere and hydrosphere with later accumulation in sediments and soil. The aim of this primary research was to determine heavy metals total content in clay brick products sampled in 12 different masonry factories. Total content of Cr, Cu, Ni, Mo, Zn, Co, Cd, Sb, Hg, As and Pb is estimated, as an useful potential leaching indicator under atmospheric effect.

**Keywords:** heavy metals, clay brick products, environment, sustainable development.

#### **UVOD**

Teški metali su prisutni svuda u našoj okolini – u vazduhu koji dišemo, vodi koju pijemo, hrani koju jedemo, kao i u stvarima koje koristimo i sa kojima dolazimo u kontakt, uključujući proizvode koji se koriste za zidanje. Teški metali spadaju u najopasnije zagađujuće supstance životne sredine, posebno usled razvoja industrije, kada je ljudskim delovanjem došlo do nekontrolisane emisije metala u atmosferu i hidrosferu i njihove akumulacije u sedimentima i zemljištu. Pored visoke toksičnosti, teške metale karakteriše i stabilnost.

Cilj ovog primarnog istraživanja je utvrđivanje ukupnog sadržaja teških metala u ciglarskim proizvodima uzorkovanim iz 12 različitih ciglana, koje su označene brojevima. Osnovne sirovine za proizvodnju opekarskih proizvoda su gline koje pripadaju nemetalničnim mineralnim sirovinama. Uslovi nastanka glinenih depozita i različiti uticaji tokom vremena na njih, ukazuju na moguće prisustvo i teških metala. U procesu

\* osoba za kontakt: [milica.arsenovic@institutims.rs](mailto:milica.arsenovic@institutims.rs)

#### IV Simpozijum „Reciklažne tehnologije i održivi razvoj“ (IV SRTOR)

proizvodnje proizvodi se termički tretiraju na visokim temperaturama koje dostižu 900 – 1100°C. Pod tim uslovima realno postoji mogućnost vezivanja i teških metala i nastanka novih stabilnih mineralnih tvorevina. Npr. poznato je da se Cr javlja u obliku Cr-spinela u sinterovanim proizvodima, kao rezultat zagrevanja na visokim temperaturama.

U ciglarskoj industriji se sve više dodaju i sekundarne sirovine radi uštede prirodnog materijala, za korekciju i optimizaciju sirovinskih smeša i za uštedu energije koja se troši za termičku obradu proizvoda. Kao sekundarne sirovine koriste se raznovrsni materijali: muljevi, šljake, pepeli i drugi. Potencijalno i oni su mogući nosioci teških metala. Sa tim u vezi, ovi rezultati su značajni pokazatelj kapaciteta primarne sirovine da primi sekundarnu u svoju strukturu, a da dobijeni proizvod ne bude štetan po okolinu. U nastavku istraživanja proučavaće se sadržaj teških metala u opekarskim proizvodima kada su korišćene i sekundarne sirovine. Potom će opekarski proizvodi biti ispirani, pri uslovima sličnim prirodnim. Nakon tretmana po istoj proceduri koja je opisana u ovom radu određivaće se zaostali sadržaj teških metala koji je ostao vezan u materijalu.

### REZULTATI I DISKUSIJA

#### Priprema uzoraka i metoda ispitivanja

Određivan je sadržaj Cr, Cu, Ni, Mo, Zn, Co, Cd, Sb, Hg, As i Pb u ciglarskim proizvodima uzorkovanim iz 12 različitih ciglana. Reprezentativni opekarski proizvodi su osušeni do konstantne mase na 105°C, ohlađeni na sobne uslove i samleveni u vibracionom mlinu do finoće čestica ispod 50 mikrona. Samleveni uzorci su presovani pri pritisaku 20 t u vremu od 10 s.

Primenjena analitička tehnika je energetsko-disperzivna rendgensko-fluorescentna spektrometrija (energy-dispersive x-ray florescence), EDXRF. Korišćen je EDXRF spektrometar *Oxford ED 2000*, eksitacioni izvor je rendgenska cev maksimalne snage 50 W sa srebrnom target anodom. Podešavanje napona i jačine struje rendgenske cevi vrši se u intervalu 4-50 kV, i 1-1000µA. Detektor je energetsko-disperzivni Si (Li) koji se hladi tečnim azotom (aktivna površina kristala je 30mm<sup>2</sup>, rezolucija 185 eV za Mn Ka liniju – 5.9 keV), a procesor je SMART digital pulse. Zadato vreme u kojem se vrši merenje intenziteta spektralne linije odnosno vreme eksitacije je 200 s. U Tabeli 1. prikazani su korišćeni eksperimentalni uslovi.

**Tabela 1. OXFORD ED 2000-uslovi određivanja kvantitativnog hemijskog sastava teških metala**

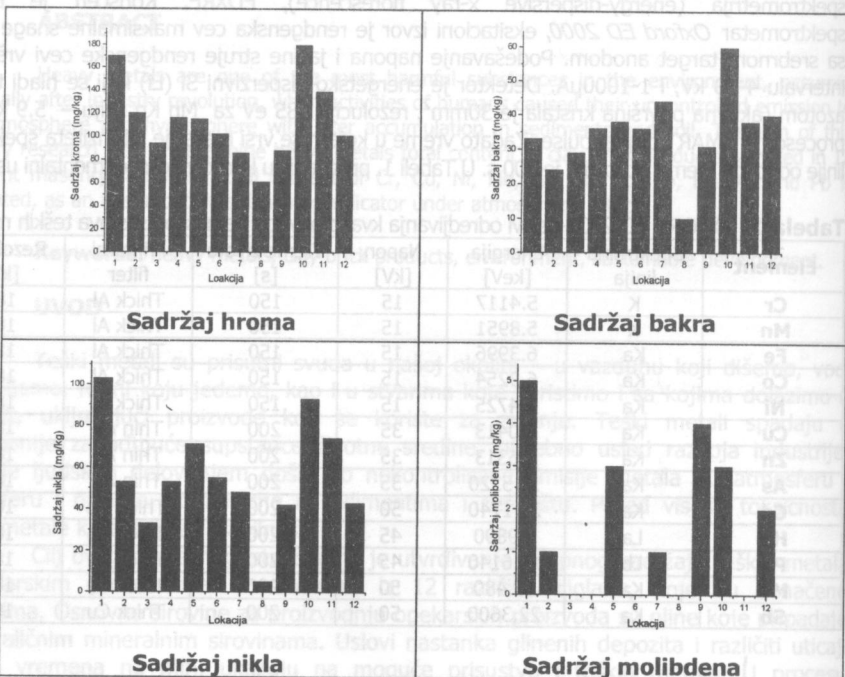
Element	Spektralna linija	Energija [keV]	Napon [kV]	Vreme života [s]	Primarni filter	Rezolucija [keV]
Cr	K	5.4117	15	150	Thick Al	185
Mn	K	5.8951	15	150	Thick Al	185
Fe	Ka	6.3996	15	150	Thick Al	185
Co	Ka	6.9254	15	150	Thick Al	185
Ni	Ka	7.4725	15	150	Thick Al	185
Cu	Ka	8.0413	35	200	Thin Ag	185
Zn	Ka	8.6313	35	200	Thin Ag	185
As	Ka	10.5320	35	200	Thin Ag	185
Cd	Ka	23.1740	50	200	Thick Cu	185
Hg	La	9.9890	45	200	Thick Ag	185
Pb	Lb	12.6140	45	200	Thick Ag	185
Mo	Ka	17.480	50	200	Thick Cu	185
Sb	Ka	22.3600	50	200	Thick Cu	185

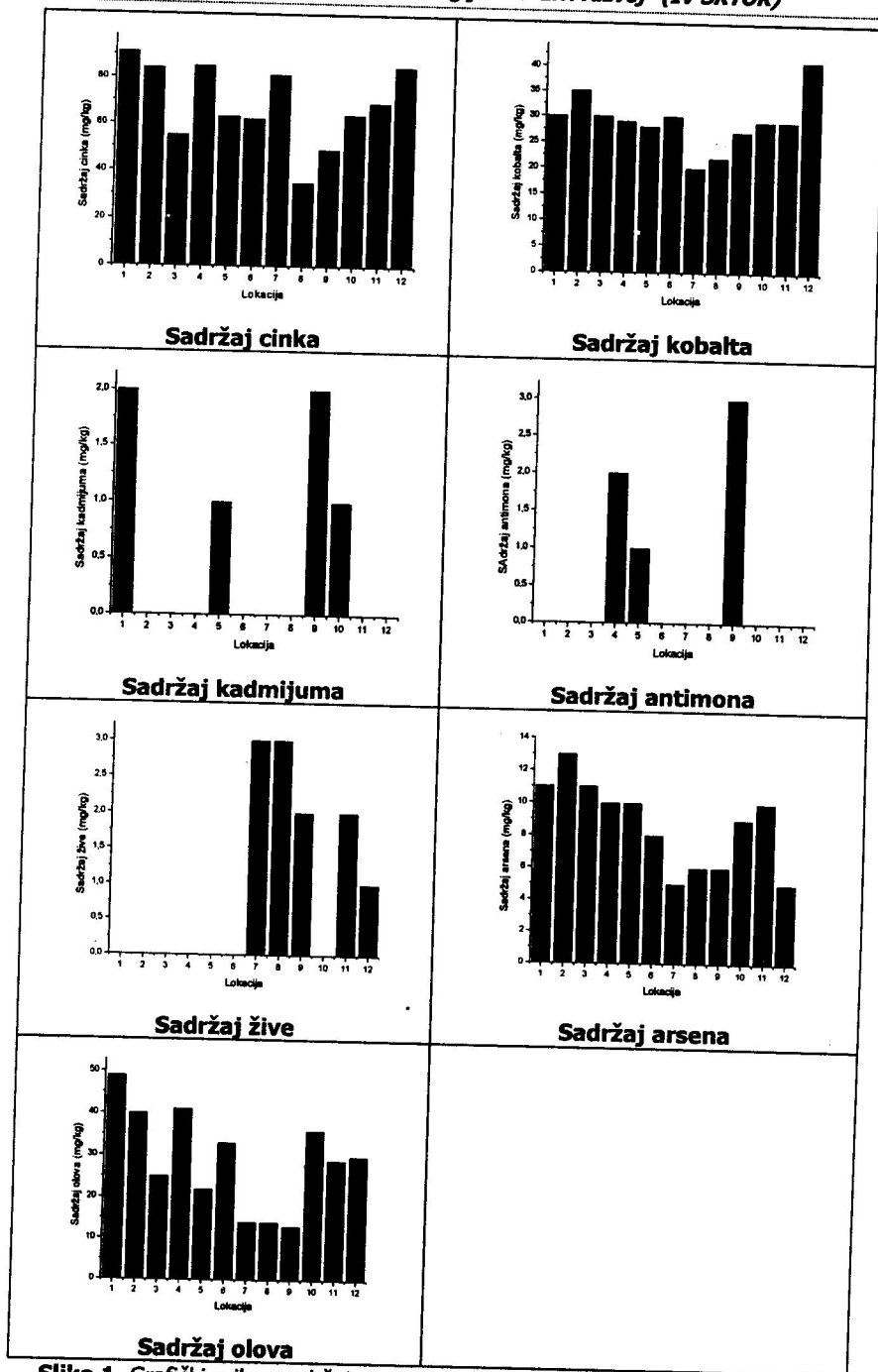
**REZULTATI**

Rezultati određivanja sadržaja teških metala u opekarskim proizvodima sa različitih lokacija dati su u Tabeli 2. Takođe su prikazane vrednosti aritmetičke sredine sadržaja metala za svaki uzorak kao i standardna devijacija merenja, zajedno sa minimalnim i maksimalnim vrednostima. Dobijeni rezultati sadržaja za svaki pojedinačni element dati su i kroz grafički prikaz (Slika 1).

**Tabela 2.** Sadržaj metala u ispitivanim uzorcima u mg/kg

Uzorak br.	Cr*	Cu*	Ni*	Mo*	Zn*	Co*	Cd*	Sb*	Hg*	As*	Pb*
1.	170	33	103	5	91	30	2	-	-	11	49
2.	120	24	53	1	84	35	-	-	-	13	40
3.	94	29	33	-	55	30	-	-	-	11	25
4.	116	36	53	-	85	29	-	2	-	10	41
5.	115	38	71	3	63	28	1	1	-	10	22
6.	102	36	55	-	62	30	-	-	-	8	33
7.	86	44	48	1	81	20	-	-	3	5	14
8.	61	10	5	-	35	22	-	-	3	6	14
9.	88	31	42	4	49	27	2	3	2	6	13
10.	180	60	93	3	64	29	1	-	-	9	36
11.	139	38	74	-	69	29	-	-	2	10	29
12.	101	40	43	2	85	41	-	-	1	5	30
Ar. sred.	114.3	34.9	56.1	2.7	68.6	29.2	1.5	2.0	2.2	8.7	28.8
St. dev.	34.6	11.9	26.5	1.5	17.1	5.4	0.6	1.0	0.8	2.6	11.7
min	61	10	5	1	35	20	1	1	1	5	13
max	180	60	103	5	91	41	2	3	3	13	49





Slika 1. Grafički prikaz sadržaja za svaki pojedinačni element

## DISKUSIJA

Rezultati određivanja sadržaja teških metala u opekarskim proizvodima sa različitih lokacija pokazuju da sadržaj ispitivanih metala opada u nizu: hrom, cink, nikel, bakar, kobalt, olovo, arsen, molibden, živa, antimon, kadmijum.

Pretragom literature nisu pronađeni standardi koji daju ukupnu maksimalnu dozvoljenu koncentraciju teških metala u ciglarskim proizvodima ili nekim drugim elementima za zidanje.

Dostupni su podaci iz američkog standarda (Environmental Protection Agency (EPA) Victoria, 2005) i nemački standard DIN 38414-4 za sadržaj metala u vodi. Eksperimenti su rađeni po EPA TCLP (Toxicity Characteristic Procedure) [1]. U Tabeli 3. prikazan je sadržaj izluženih teških metala datih u literaturi kao i dozvoljene koncentracije po američkom standardu (EPA) i DIN 38414-4 za pijaću vodu.

U skladu sa maksimalnim dozvoljenim koncentracijama prilikom izluživanja, prema podacima koje daje EPA, ne očekuje se kontaminacija životne sredine usled izluživanja sledećih metala: Cu, Zn, Cd, Hg, As.

**Tabela 2.** Koncentracija izluženih teških metala<sup>2,3,4</sup> ( - - nije pronađeno; / - nije ispitivano)

Teški metali	Koncentracija metala (mg/l)	Koncentracija metala (mg/l)	Koncentracija metala (mg/kg)	Dozvoljena koncentracija (mg/l)EPA	Dozvoljena koncentracija (mg/l) DIN 38414-4
As	0.025	/	105	2.8	100
Hg	-	/	/	0.4	/
Cd	-	< 0.02	1.3	0.8	20
Cr	0.007	/	70	20	150
Pb	1.941	< 0.2	< 1.6	4	200
Zn	0.255	/	-	1200	1000
Cu	0.190	< 0.03	22	800	500
Ni	0.004	< 0.07	61	8	400

## ZAKLJUČAK

Dobijeni rezultati istraživanja sadržaja teških metala u opekarskim proizvodima čine polaznu osnovu za dalja istraživanja u cilju održivog razvoja ove industrijske grane sa značajnim potencijalom u Srbiji.

## ZAHVALNICA

*Ovaj rad je potpomognut od Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, broj projekta 19020.*

## LITERATURA

1. [www.ehso.com/cssepa/TCLP.htm](http://www.ehso.com/cssepa/TCLP.htm)
2. A. A. Kadir, A. Mohajerani, F. Roddick, J. Buckeridge, Density, Strength, Thermal Conductivity and Leachate Characteristics of Light-Weight fired Clay Bricks Incorporating Cigarette Butts, World Academy of Science, Engineering and Technology 53, 2009.
3. M. Samara, Z. Lafhaj, C. Chapiseau, Valorization of stabilized river sediments in fired clay bricks: Factory scale experiment, Journal of hazardous materials, (2008).
4. K. Hamer, V. Karius, Brick production with dredget harbour sediments. An industrial scale experiment, Waste Management 22 (2002), 521-530.