

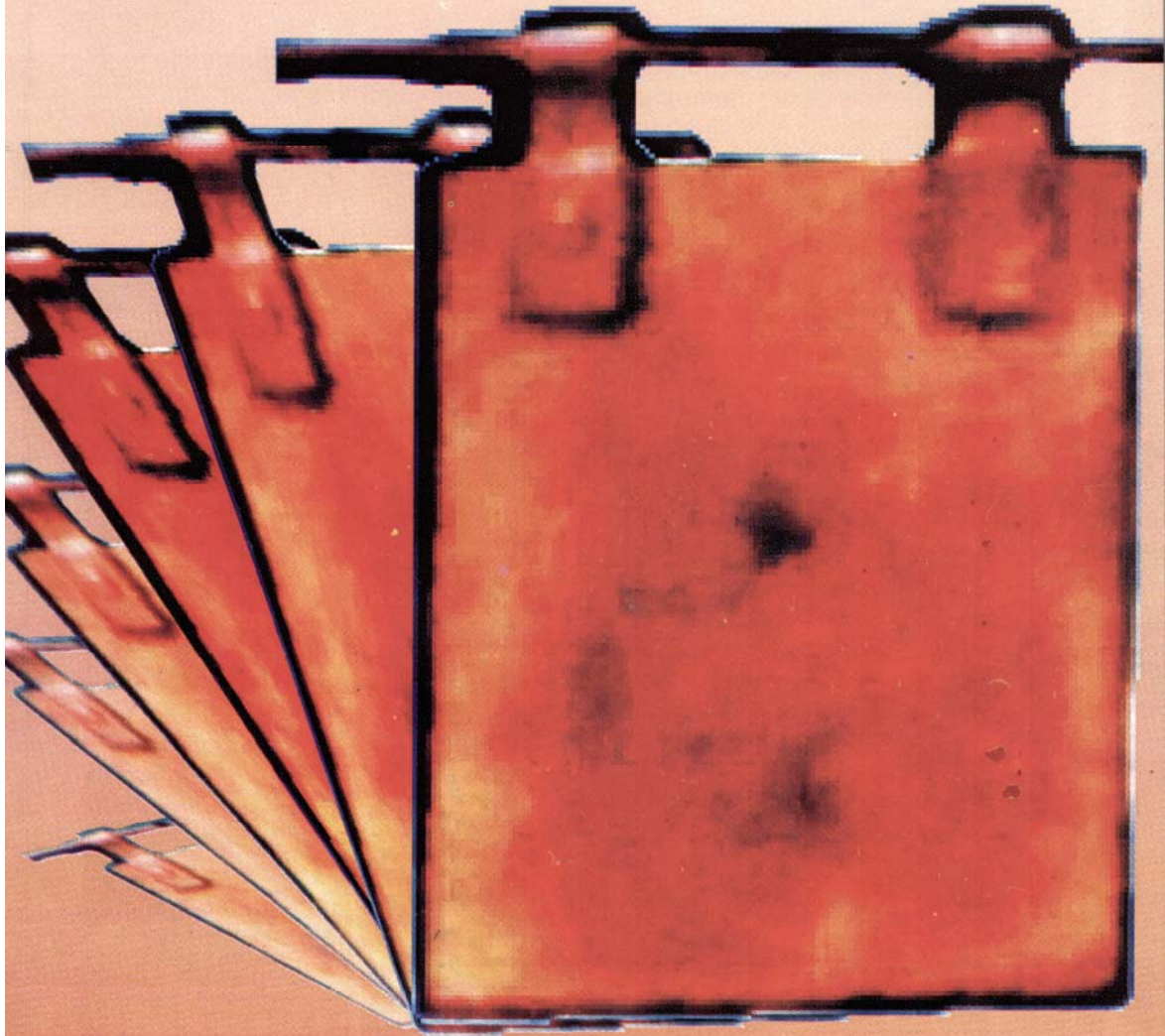
Cu

UDC 669.3  
YU ISSN 0351-0212

BAKAR

broj 2      volumen 34      2009

COPPER



---

---

BAKAR je časopis baziran na bogatoj tradiciji stručnog i naučnog rada iz oblasti koje se bave problemima dobijanja i prerade bakra kao i dodirnih oblasti. Izlazi dva puta godišnje.

**Izdavač**

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor  
Naučnotehnoška informatika

**Redakcioni odbor**

Prof. dr Vlastimir Trujić, viši naučni saradnik,  
Dr Milenko Ljubojev, naučni savetnik,  
Dr Ana Kostov, viši naučni saradnik,  
Dr Mile Bugarin, viši naučni saradnik,  
Dr Miroslav Ignjatović, naučni savetnik,  
Prof. dr Zvonimir Stanković,  
Prof. dr Velizar Stanković,  
Prof. dr Nedeljko Magdalinović,  
Prof. dr Milan Antonijević,  
Dr Milanče Mitovski

**Izdavački savet**

Blaža Lekovski, dipl.inž.,  
Mr Milan Dejanovski,  
Dragoljub Cvetković, dipl.inž.,  
Dr Dragan Milivojević,  
Mr Novica Milošević, dipl.hem.  
Dr Viša Tasić, dipl. inž.

**Glavni i odgovorni urednik**

Dr Milenko Ljubojev, naučni savetnik,  
dopisni član JINA

**Zamenik glavnog i odgovornog urednika**

Đorđe Stanković, dipl. inž.

**Urednik**

Vesna Marjanović, dipl. inž.

**Tehnički urednik**

Suzana Cvetković

**Adresa redakcije**

Institut za rudarstvo i metalurgiju  
19210 Bor, Zeleni bulevar 35  
Tel. 030/454-109, 030/454-254  
Fax 030/435-175  
E – mail: nti@irmbor.co.rs

**Priprema za štampu**

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor  
Ljiljana Mesarec, teh.

**Štampa:** Grafomedtrade Bor**Tiraž:** 60 primeraka

COPPER is a magazine based on rich tradition of expert and scientific work from the field of copper production and treatment as well as from the familiar fields of science. It is published twice a year.

**Publisher**

Mining and Metallurgy Institute Bor  
Scientificotechnological Informatics

**Editorial Board**

Prof. D.Sc. Vlastimir Trujić,  
D.Sc. Milenko Ljubojev,  
D.Sc. Ana Kostov,  
D.Sc. Mile Bugarin,  
D.Sc. Miroslav Ignjatović,  
Prof. D.Sc. Zvonimir Stanković,  
Prof. D.Sc. Velizar Stanković,  
Prof. D.Sc. Nedeljko Magdalinović,  
Prof. D. Sc. Milan Antonijević,  
D. Sc. Milanče Mitovski

**Publishing Council**

B.Sc. Blaža Lekovski,  
M. Sc. Milan Dejanovski,  
B. Sc. Dragoljub Cvetković,  
D.Sc. Dragan Milivojević,  
M.Sc. Novica Milošević  
D. Sc. Viša Tasić

**Editor-in-chief**

D. Sc. Milenko Ljubojev

**Executive editor-in-chief**

B. Sc. Đorđe Stanković

**Editor**

B. Sc. Vesna Marjanović

**Technical Editor**

Suzana Cvetković

**Editorial office adress**

Mining and Metallurgy Institute  
19210 Bor, 35 Zeleni bulevar  
Phone 030/454-109, 030/454-254  
Fax 030/435-175  
E – mail: nti@irmbor.co.rs

**Preparation for printing**

Mining and Metallurgy Institute Bor  
Ljiljana Mesarec

**Printed in:** Grafomedtrade Bor**Circulation:** 60 copies

---

---

UDK: 669.1:669.184:546.56(045)=861

## STVARANJE MAGNETITA U PROCESU KONVERTOROVANJA

### MAGNETITE PRODUCTION IN THE CONVERTING PROCESS

Aleksandra Milosavljević\*, Branislav Čađenović\*, Milorad Ćirković\*,  
Aleksandra Ivanović\*

\*Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

#### Izvod

*Proces konvertorovanja predstavlja jedan od najdinamičnijih procesa u ekstraktivnoj metalurgiji uopšte, pa je zato od posebnog značaja izučavanje hemizma procesa kao i uticaja raznih faktora na poboljšanje tehnoloških pokazatelja topionice bakra u celini. Iz tih razloga, stvaranju magnetita treba posvetiti pažnju obzirom da magnetit utiče na promenu fizičko-hemijskih osobina šljake, čime narušava i tehnološke pokazatelje konvertorovanja. Ovo se može izbeći samo vođenjem procesa na visokim temperaturama, što nije ekonomski opravdano, pa se optimalnim izborom parametara, kao što su parcijalni pritisci kiseonika i SO<sub>2</sub>, stvorena količina magnetita može svesti na minimum.*

**Ključne reči:** magnetit, konvertorovanje, bakar

#### Abstract

*The most dynamic process in extractive copper metallurgy is converting, and therefore the chemistry of converting reactions as well as various factors has a great influence on copper smelter technology, in general. Magnetite has a negative influence on technological indicators of converting due to a variation of physic-chemical characteristics of slag. This is possible to avoid only at high process temperatures that is not economically justified. Choosing the optimum technological parameters, including partial pressure of oxygen and SO<sub>2</sub>, the produced magnetite would be minimal.*

**Key words:** magnetite, converting, copper

#### UVOD

Magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) spada u grupu spinela jer predstavlja složen oksid u kome je železo dvo i trovalentno, tj. FeO·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Magnetit se u bakrencu i šljaci fizički rastvara, što znači da se u njima javlja kao posebna faza. Ako se formiraju krive zasićenja bakrenca i šljake sa magnetitom, na različitim temperaturama, može se uočiti da siromašniji bakrenac, kao i bakrenac na višoj temperaturi može da primi više magnetita, kao i šljaka koja sadrži manje SiO<sub>2</sub>. Ravnoteža se uvek uspostavlja u šljaci i bakrencu. Ukoliko je šljaka presićena magnetitom, on prelazi u bakrenac. Kada se bakrenac presiti, onda se magnetit u vidu taloga izdvaja na dnu peći.

Stvaranje magnetita se u obojenoj metalurgiji ne može izbeći, a pri topljenju bakra on predstavlja jedan od značajnijih problema. Temperatura topljenja magnetita je  $1600^{\circ}\text{C}$ . Povećanje količine magnetita uslovljava veći viskozitet šljake, što dovodi do povećanja mehaničkih gubitaka bakra.

Da bi pristup ovom problemu bio potpun, između ostalog potrebno je razmotriti i uticaj hemijskih potencijala kiseonika i sumpora, kao i temperature i parcijalnog pritiska  $\text{SO}_2$  na proces topljenja i konvertorovanja.

### Proces konvertorovanja

Proces konvertorovanja sastoji se iz dva perioda. U toku prvog perioda vrši se oksidacija sulfida železa, a u drugom oksidacija sulfida bakra [1]. Jedan od uzročnika nastajanja problema pri radu konvertora u prvom periodu jeste magnetit, koji se unosi u konvertor sa bakrencem, a takođe se i stvara pri samom konvertorskom procesu. Kako bi se ograničila količina stvorenog magnetita i sačuvao ozid konvertora, neophodna je optimizacija parametara procesa.

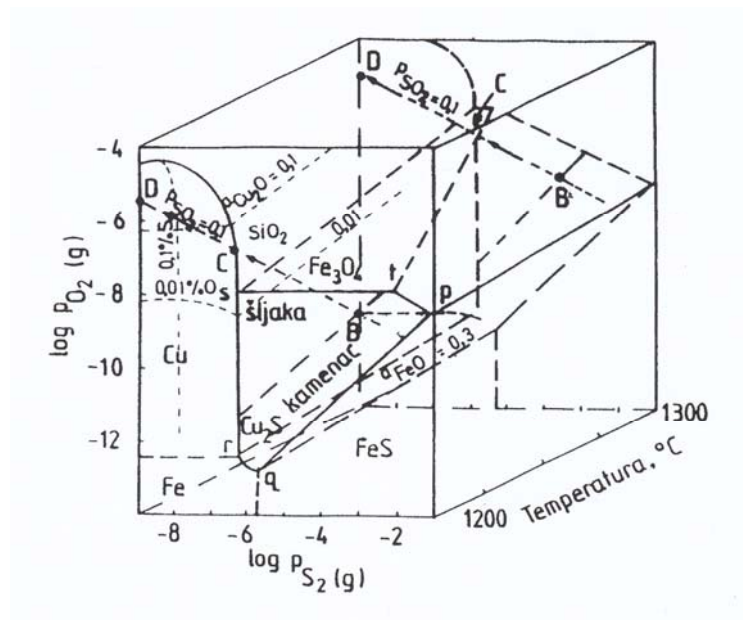
Nakon ulivanja bakrenca ( $1150^{\circ}\text{C}$ ) u konvertor uneta je izvesna količina magnetita. Reakcijama oksidacije sulfida železa oslobađa se velika količina toplote, što povećava temperaturu rastopa u konvertoru. Po dostizanju temperature stvaranja šljake, u konvertor se dodaje polovina potrebne količine kvarca u cilju obrazovanja fajalitne šljake  $\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ . Dodatkom kvarca rastop se hladi, ali konvertor i dalje radi sa viškom toplote, pa je neophodno dodavanje hladnog materijala [2] da ne bi došlo do pregrevanja konvertora. Količina dodatog hladnog materijala zavisi od sadržaja bakra u bakrencu, tj. od energetske sposobnosti konvertora. Zatim se dodaje preostala količina kvarca koja vezuje  $\text{FeO}$  u fajalit čime je onemogućena dalja oksidacija do  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Ovako formirana fajalitna šljaka sadrži oko 20%  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , izliva se i nakon toga se ponovo dodaje bakrenac i postupak se ponavlja sve do izlivanja poslednje šljake.

Takođe, tokom procesa konvertorovanja, pri obrazovanju fajalitne šljake, jedan deo magnetita ostaje neizredukovano. Konvertorska šljaka sa povećanim sadržajem magnetita ima veću temperaturu topljenja, specifičnu težinu i viskozitet, a obzirom da se ona vraća u proces topljenja (plamenu peć), može stvoriti velike probleme u radu i tako uticati na rad topionice u celini. Povećanjem sadržaja  $\text{SiO}_2$  u konvertorskoj šljaci, sadržaj magnetita u istoj se smanjuje.

### Uticaj temperature i parcijalnog pritiska $\text{SO}_2$ na stvaranje magnetita

Upravljanje procesom oksidacije  $\text{FeS}$  i  $\text{Cu}_2\text{S}$  pri konvertorovanju može se omogućiti adekvatnim izborom parcijalnog pritiska  $\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_2$  i temperature. Obzirom na to da dinamika stvaranja magnetita ima poseban značaj, zbog čega se u prvom periodu dodaje  $\text{SiO}_2$  radi stvaranja fajalitne šljake, konstruiše se poseban dijagram za sistem  $\text{Cu-Fe-S-SiO}_2$ . Dobijeni rezultati se prikazuju u koordinatnom sistemu  $\log p_{\text{O}_2}$  -  $\log p_{\text{S}_2}$  -  $T$ , za realne intervale parcijalnih pritisaka i tem-

peratura, istovremeno uzimajući u obzir i aktivnosti bakra i sumpora u ovom sistemu. Ovakav dijagram prikazan je na slici 1.



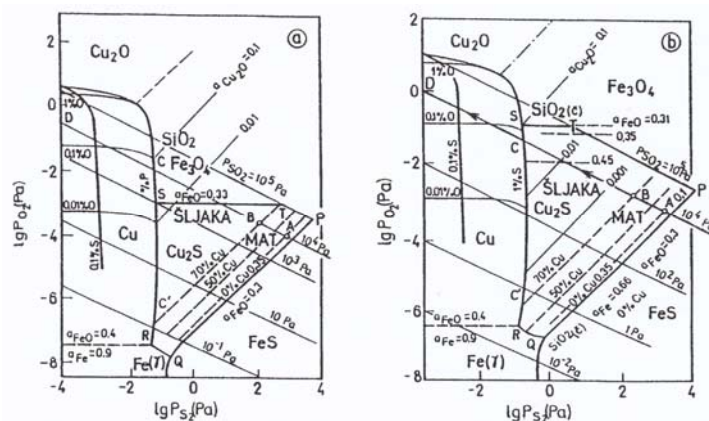
Slika 1. Dijagram potencijala S-O<sub>2</sub>-T u sistemu Cu-Fe-S-O-SiO<sub>2</sub>

Na slici 1 oblast p<sub>tsrq</sub> odgovara ravnoteži tečnog bakrenca, šljake i gasovite faze. Linija PT ( $p_{SO_2} = 10^5$  Pa) predstavlja gornju granicu ravnoteže tečnog bakrenca i šljake sa gasovitom fazom. Sastavu bakrenca pre početka konvertorovanja odgovara tačka B. Uduvavanjem kiseonika u sistem, povećava se potencijal kiseonika, a smanjuje potencijal sumpora.

Završetak prvog perioda procesa konvertorovanja označen je tačkom C na slici 1, a drugom tačkom D. Dakle, sam proces prikazan je linijom BCD, pri čemu na temperaturi od 1200°C ova linija preseca duž st koja označava oblast stvaranja Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, pa je stvaranje magnetita pri ovakvom vođenju procesa neizbežno.

Povećanjem temperature duž [st] linije, oblast stvaranja magnetita se smanjuje, pa se na temperaturi od 1300°C stvaranje magnetita može očekivati samo pri parcijalnim pritiscima SO<sub>2</sub> većim od 10<sup>4</sup> Pa (slika 1).

Uticaj temperature na proces topljenja i konvertorovanja može se utvrditi poređenjem dijagrama stabilnosti za 1200 i 1300°C, što je prikazano na slici 2.

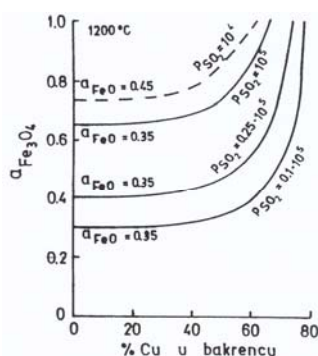


Slika 2. Dijagram stabilnosti u sistemu Cu-Fe-S-O-SiO<sub>2</sub>  
a) 1200°C, b) 1300°C

Proces topljenja na slici 2 prikazan je pravom ABC, pri  $p_{SO_2} = 10^4$  Pa. Oblast PQRST predstavlja ravnotežu tečnog bakrenca i šljake sa gasovitom fazom. TP označava ravnotežu čvrstog magnetita sa rastopom bakrenca i šljake za  $p_{SO_2} = 10^5$  Pa. ST pokazuje ravnotežu šljake zasićene čvrstim SiO<sub>2</sub> i Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. RQ i RS odgovaraju ravnoteži metalnog železa i tečnog bakra sa rastopom bakrenca i šljake, a PQ ravnoteži oksidacije sulfida železa.

Porastom potencijala kiseonika (slika 2) aktivnost magnetita raste, pa će i njegovo stvaranje biti ubrzano i izraženije na nižim temperaturama (slika 7a). Pri vođenju procesa duž ABCD linije, posebnu pažnju treba obratiti na neprestano uklanjanje šljake kako bi se izbeglo stvaranje većih količina magnetita i tako izbegao problem.

Na ponašanje magnetita takođe veliki uticaj ima i aktivnost FeO (slika 3).



Slika 3. Uticaj aktivnosti FeO,  $p_{SO_2}$  i sadržaja bakra u bakrencu na aktivnost Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>



Vođenje procesa na dovoljno visokim temperaturama i pri maloj aktivnosti FeO može uticati na smanjenje količine stvorenog magnetita, što je prikazano na slikama 2 i 3.

## EKSPERIMENTALNI DEO

U cilju sagledavanja raspodele magnetita u toku konvertorovanja u Topionici bakra u Boru, dat je prikaz jedne konvertorske operacije. U toku jedne konvertorske operacije mere se parametri procesa (temperatura, protok vazduha, zaprašenost, pritisak), kao i uzorkovanje ulaznih sirovina, međuprodukata i produkata.

Konvertorska operacija praćena je pri početnim uslovima:  $t_{\text{opeke}} = 700^{\circ}\text{C}$  (mereno optičkim pirometrom),  $t_{\text{bakrenca}} = 1030\text{-}1080^{\circ}\text{C}$ , sadržaj bakra u bakrencu 44,5%, protokom vazduha  $30000\text{-}40000 \text{ m}_N^3/\text{s}$  i pritisku od 1 bar.

## REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati hemijskih analiza ulaznih i izlaznih sirovina u toku jedne konvertorske operacije prikazani su u tabeli 1.

**Tabela 1.** Hemijski sastav materijala koji se ulažu i dobijaju pri konvertorovanju

	Cu	Cu <sub>ox</sub>	S	Fe	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	FeO	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Bakrenac	44,5		24,00	25,52	6,85		0,67		
Šljaka PP	0,51			40,72	7,10	10,72	33,40	3,18	4,94
Kvarc							71,60	4,42	5,29
Hladan materijal	35,00	5,83	13,40	27,92	19,08		11,33	0,41	0,76
Šljaka I	5,16	1,08	1,20	48,59	25,89	62,20	24,00	1,08	1,70
Šljaka II	3,35	1,12	1,00	49,70	24,81	63,62	26,88	0,76	1,40
Šljaka III	2,35	1,28	0,60	49,98	22,55	63,97	25,93	0,63	1,32
Šljaka IV	3,15		1,63	67,90	21,86	67,90	22,08	0,49	1,46
Šljaka V	4,88		1,73	66,09	20,50	66,09	21,61	0,52	1,45
Šljaka (rad na bakar)	40,71	24,00	0,40	27,23	18,23	17,94	12,10	0,43	0,85
Prašina iza konv.	52,32		12,80	4,23	2,21	3,38	25,03	0,25	0,96
Prašina iz rashl.kom(rad na šljaku)	61,32	3,33	16,00	2,47	1,33	1,94	17,39	0,14	0,59
Prašina iz rashl.kom(rad na bakar)	86,92	17,36	8,20	0,78	0,68	0,37	1,25	0,086	0,059
Prašina iz sabir. kom.	67,20	8,10	12,00	6,20	3,78	4,48	5,15	0,11	0,30
Prašina iz el.filt.	36,82	7,43	10,60	5,63	3,48	4,00	29,83	0,15	1,30
Blister bakar	99,60		trag	0,003					

Na osnovu hemijske analize može se zaključiti da su šljake prilično bogate na bakru i magnetitu. Povećan sadržaj bakra posledica je nepotpunog raslojavanja šljake od belog mata, izuzetno bogatog bakrenca za ovaj režim rada, hladnog rada konvertora i hladne šljake (1110°C pri izlivanju).

Kvarc se pri formiranju fajalitne šljake dodaje u dva navrata, obzirom da pri njegovom dodavanju dolazi do fizičkog pothlađenja rastopa. Da bi se stvorili uslovi za stvaranje fajalitne šljake, potrebno je dostići radnu temperaturu rastopa, a kako je sama reakcija stvaranja fajalita egzotermna, zbog viška toplote dodaje se i hladan materijal u konvertor. Pri dodavanju hladnog materijala pažnju treba obratiti na sastav bakrenca. Pri konvertorovanju siromašnih bakrenaca (<40%Cu) postižu se veći toplotni efekti (prvenstveno u I periodu), nego pri radu sa bogatijim bakrencima, pa je stoga i količina pretopljenog hladnog materijala veća [3].

Iz prethodno navedenih razloga, u Topionici bakra u Boru posebna pažnja se poklanja kvalitetu dobijene šljake pri čemu se kontroliše sadržaj Cu, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> i FeO, kao i temperatura dobijene šljake. Na osnovu izvršenih merenja dobijen je sledeći srednji sastav konvertorske šljake: Cu-3-5%; SiO<sub>2</sub>-25-28%; Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-15-20%; FeO-60-65%, pri srednjoj temperaturi od 1150-1200°C.

## ZAKLJUČAK

Stvaranje magnetita u procesu konvertorovanja može bitno uticati ne samo na ovu tehnološku celinu, već i na rad cele topionice bakra u Boru. Obzirom da se konvertorska šljaka ponovo vraća u proces topljenja, ukoliko sadrži veće količine magnetita, može uzrokovati probleme u radu plamene peći. Takva šljaka ima drugačije fizičko-hemijske osobine i samim tim utiče na tehnološke pokazatelje procesa.

Povećanje temperature procesa iznad 1300°C znatno smanjuje mogućnost stvaranja magnetita, ali s druge strane utiče na ekonomsku opravdanost, pa se rešenje ovog problema mora potražiti usaglašavanjem i ostalih parametara procesa, a ne samo temperature.

## LITERATURA

- [1] Ž.Živković, V.Savović, Fizičko-hemijske osnove procesa topljenja i konvertorovanja u metalurgiji bakra, Tehnički fakultet, Bor, 1996.
- [2] B.Čađenović, S.Ivanović, B.Milićević, N.Mitevska, D.Maček, Optimizacija tehnoloških parametara rada konvertora u cilju smanjenja hladnog materijala, Institut za bakar, Bor, 2000.
- [3] R.Stolić, D.Mišić, A.Milosavljević, Energetska efikasnost procesa konvertovanja u proizvodnji bakra, Procesna tehnika, 1(2002)149



UDK: 669.586:669.1:669.15(045)=861

**POSTUPAK TOPLOG CINKOVANJE SA ASPEKTA  
NASTAJANJA ČVRSTOG OTPADA - EKOLOŠKI METOD  
POVRŠINSKE ZAŠTITE GVOŽĐA I ČELIKA**

**HOT-DIP GALVANIZATION PROCESS AS AN ECOLOGICAL  
METHOD FOR SURFACE PROTECTION OF IRON AND STEEL**

Aleksandra Ivanović \*, Vojka Gardić \*, Tatjana Apostolovski-Trujić \*

\*Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor

**Izvod**

*Postupak toplog cinkovanja kao metod za zaštitu od korozije ima mnoge komparativne prednosti u odnosu na druge postupke antikorozivne zaštite budući da su prevlake cinka na čeliku sa „dugim životnim vekom“ kao i da je postupak tehnički vrlo jednostavan i ekološki najbezbedniji po okolinu.*

*U radu je dat prikaz procesa toplog cinkovanja sa uticajnim parametrima kako na rad samog kupatila tako i na kvalitet prevlake cinka, kao i količine, vrste i hemijski sastav čvrstog otpada koje nastaju u postupku toplog cinkovanja.*

**Ključne reči:** postupak toplog cinkovanja, prevlake cinka, čvrsti otpad

**Abstract**

*Hot-dip galvanization process as a method for corrosion protection has many comparative advantages, regarding to the other anti-corrosion protection procedures, since zinc coatings on steel have long life time, as well as the process is technically very simple and ecologically safest for the environment.*

*This paper presents the hot galvanization process with influential parameters both to the operation of baths and quality of zinc coatings, as well as quantity, type and chemical composition of solid waste, formed in the hot-dip galvanization process.*

**Key words:** hot-dip galvanization, zinc coatings, fluxing

**UVOD**

Proces toplog cinkovanja jeste proces presvlačenja gvožđa i čelika cinkom i spada u ekološki prihvatljive procese za zaštitu od korozije. Sagledavajući podatke o gubicima koji nastaju usled korozije gvožđa i čelika (svakih 90 sekundi jedna tona čelika pretvori u rđu, a na svake dve tone proizvedenog čelika jedna odlazi kao zamena za čelik koji je zarđao) upotreba toplog cinkovanja kao procesa za zaštitu od korozije, doprinosi da se za svaku tonu zaštićenog čelika

uštedi dovoljno energije da se zadovolje energetske potrebe prosečne porodice za nekoliko nedelja.

Metalni cink je bleštavo beo metal koji na vazduhu podleže oksidaciji i taj sloj oksida ga štiti od dalje korozije. Vrlo je reaktivan i u kiseloj i u baznoj sredini. Najvažnija primena metalnog cinka je u području zaštite materijala od korozije budući da će prevlake cinka na čeliku godinama štiti čelične konstrukcije i samim tim minimalizovati održavanje.

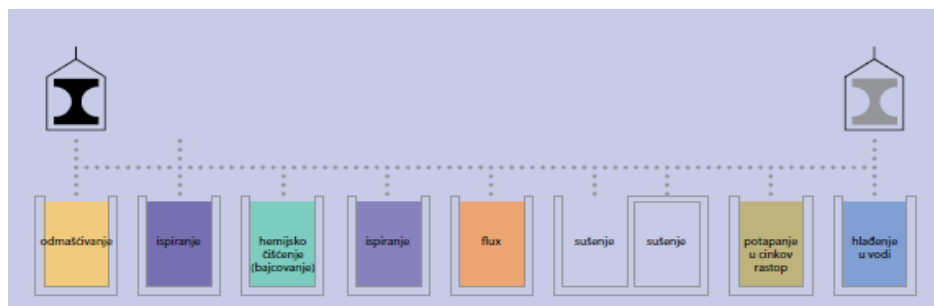
Postupak toplog cinkovanja kao metod za zaštitu od korozije ima mnoge komparativne prednosti u odnosu na druge postupke antikorozivne zaštite budući da su prevlake cinka na čeliku sa „dugim životnim vekom“ kao i da je postupak tehnički vrlo jednostavan i ekološki najbezbedniji po okolinu.

U Srbiji je interesovanje za ovim načinom zaštite u porastu, iako se još uvek ne može reći da je to najdominantniji vid zaštite čelika na ovim prostorima, nasuprot Evropi koja ovaj vid antikorozivne zaštite koristi masovno.

U prilog tome govori podatak da se u Evropi pocinkuje godišnje 6 miliona tona čelika, od toga u Nemačkoj 1,4 miliona tona, u Italiji 1,3 miliona tona, u Austriji 140.000 tona, u Sloveniji samo 20.000 tona.

### PROCES TOPLOG CINKOVANJA

Proces toplog cinkovanja se sastoji iz dva dela: hemijske pripreme materijala i samog cinkovanja.



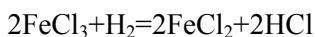
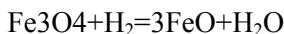
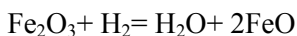
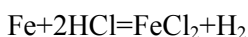
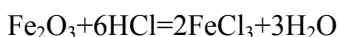
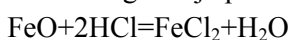
Slika 1. Šema tehnološkog postupka toplog cinkovanja

Proces cinkovanja se odigrava samo na čistoj površini te je postupak pripreme površine čelika od suštinskog značaja u dobijanju maksimalnog kvaliteta cinkove prevlake. Proces pripreme površine za cinkovanje sastoji se od odmašćivanja i uklanjanja prljavštine i šljake. Za uklanjanje te vrste prljavštine u upotrebi je niz postupaka:

- **Odmašćivanje** – vrši se upotrebom baznog ili kiselog rastvora za odmašćivanje, zavisno od materijala koji se odmašćuje [1].
- **Bajcovanje** – materijal se potapa u kiselinu sobne temperature u cilju uklanjanja oksidnih slojeva gvožđa ostalih u toku metalurškog procesa, u

periodu skladištenja ili u toku procesa obrade čelika, sa površine sirovine. U radovima [2,3] data je analiza korišćenja kako sumporne i hlorovodonične kiseline, pojedinačno, tako i primena njihove smeše, sa preporukama za primenu u zavisnosti od vrste čelika. Odabir odgovarajućeg rastvora nagrizaćućih kiselina podrazumeva i osvrt na to koliko ta primena ima uticaja na radnu i životnu sredinu i razvijenost tehnologija regeneracije istrošenog rastvora kiselina.

U toku nagrivanja površine sirovine, odvijaju se sledeće hemijske reakcije:



Radi uvećanja efektivnosti nagrivenih kupatila primenjuje se inhibitor procesa nagrivanja. Primena inhibitora u kupatilima sone kiseline izaziva:

- štednju sone kiseline
- smanjenje količine rastvora koji nastaju nakon nagrivanja;
- smanjenje isparavanja hlorovodonika i izdvajanje vodonika;
- smanjenje sadržaja gvožđa u rastvorima;
- postizanje veće čistoće površine obrađivane sirovine.

- **Fluksovaje** - Pre uranjanja u vruć cink materijal se podvrgava operaciji fluksovaja koja obezbeđuje zaštitu metalne površine od oksidacije, kao i radi završnog intenzivnog čišćenja i inhibiranja dalje moguće oksidacije gvožđa i čelika pre uranjanja u kadu sa rastopljenim cinkom. Ovim postupkom se uklanjaju i poslednji delovi oksida sa površine komada koji odlazi na cinkovanje omogućujući bolje prijanjanje rastopljenog cinka na čelik. U radovima Cook-a [4] detaljno je dat prikaz sastava, ispitivanja i kontrole fluksa koji se koristi u pripremi procesa toplog cinkovanja.

- **Sušenje** – materijal se nakon fluksovaja upućuje na sušenje. Neophodnost sušenja proizvoda proizilazi iz činjenice da je rastvor na površini i dalje aktivan, nagriza površinu proizvoda, izazivajući ispuštanje određene količine gvožđa, koje se prenosi do cinkanog kupatila. To izaziva povećanje gubitka cinka i stvaranja čvrstog otpada, takozvanog „tvrđog cinka“, koji se povremeno uklanja sa dna kade za toplo cinkovanje. Radi otklanjanja ove negativne pojave, materijal se nakon fluksovaja odmah uvodi u sušaru, gde se suši ostavljajući na površini materijala samo so cinkhlorida  $\text{ZnCl}_2$  i amonijum hlorida  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Sušenje se mora vršiti u najkraćem vremenu, zbog toga radna temperatura u sušari treba da iznosi od  $130^\circ\text{C}$  do  $180^\circ\text{C}$ .

**-Potapanje u rastopljeni cink**– materijal se potapa u cinkov rastop na temperaturi između 430°C – 460°C sa ukupnim količinama nečistoća (osim gvožđa i kalaja) ispod 1.5% po masi. Prevlaka cinka je posledica metalurških difuzionih reakcija, kod kojih se difuzijom cinka prema unutra i gvožđa prema spolja, stvaraju intermetalne gvožđe-cink faze sa različitim sadržajem gvožđa. Gvožđe-cink intermetalni slojevi omogućavaju međusobnu vezu i dobro prijanjanje prevlake cinka na čeličnu osnovu sprečavajući njegovo ljušćenje, s tim što je poželjno što manje prisustvo gvožđa u cinkovom sloju. Veliko učešće gvožđa koje difundira u sloj cinka topljenjem čelične osnove u mnogome pogoršava korozivnu otpornost takve prevlake. Istraživanja usmerena na zavisnost stepena reakcije između čelika i cinka i vremena, ukazuju da postoji parabolična zavisnost između ovih parametara, tako da je početni stepen reakcije vrlo brz, a praćen je uzburkanošću kade sa cinkom. U ovom periodu se formira glavni sloj zaštite. Posle toga, reakcija se uspori a debljine prevlake se bitno ne uvećava iako je element u kadi duže vremena. Potapanje traje 4-5 min. a može biti i duže za teže elemente, koji imaju visoku termičku otpornost ili tamo gde cink sporije prodire u unutrašnjost.

U procesu toplog cinkovanja prisutnost aluminijuma u kupatilu sa rastopljenim cinkom u određenom procentu je jako poželjna. Prisutnost kalaja u kupatilu sa rastopljenim cinkom doprinosi postizanju prevlaka sa velikim sjajem. Dodatak kalaja u kupatilu sa rastopljenim cinkom ne može biti veći od 0,10% do 0,15%, od istovremene količine dodatka aluminijuma u visini od 0,10% do 0,15%.

Sadržaj olova u kupatilu sa rastopljenim cinkom ne može biti viši od 0,20% do 0,30%. Olovo se taloži na dno kade za cinkovanje i delimično se otklanja zajedno sa takozvanim „tvrđim cinkom” periodično iz kupatila, što predstavlja jedan od izvora čvrstog otpada u postupku toplog cinkovanja.

Hemijski sastav makrokomponentata tvrdog cinka i količine otpada iz postupka toplog cinkovanja u pogonu “Unipromet” Čačak prikazan je u tabeli 1 i odnose se na količine koje nastaju pri kapacitetu pogona za toplo cinkovanje od 10.000 t obrađene robe na godišnjem nivou.

**Tabela1.** Hemijski sastav “tvrđog cinka” –makrokomponentata-čvrsti otpad pogona za toplo cinkovanje i količine metala koje se gube otpadom na godišnjem nivou

Hemijski sastav	%	Količina metala koja se gubi kroz čvrsti otpad „tvrđi cink“	
		Min (kg/god)	Max (kg/god)
<b>Zn</b>	96	1920	3840
<b>Fe</b>	1,1	22	44
<b>Al</b>	2,8	56	112

U radovima Safaeirad-a [5] prikazan je uticaj olova u cinkanom kupatilu na mikrostrukturu, teksturu i mehaničke karakteristike prevlake.

Aluminijum i antimon koji se dodaju cinkanom kupatilu pokazuju pozitivan efekat jer se dobijaju prevlake sa boljom otpornošću ka koroziji [6,7].

Prisutnost gvožđa u kupatilu za nanošenje prevlake cinka je nepoželjna i štetna, jer negativno utiče na kvalitet dobijenih prevlaka i na ekonomiku procesa cinkovanja metodom zaronjavanja. Kupatilo za cinkovanje se uvek nalazi u kontaktu sa čelikom, kako preko materijala koji se unosi kao šarža, tako i sa opremom koja se koristi za prenos delova koji se cinkuju. Radi ograničavanja veličine rastvorenog gvožđa u kadi, čelik korišćen za proizvodnju mora da ima odgovarajući hemijski sastav. Silicijum, fosfor, ugljenik i mangan u čeliku imaju najveći uticaj na reakciju cink-gvožđe.

U radovima [6,7,8] dat je detaljan prikaz uticajnih parametara kako na kvalitet prevlake cinka tako i na kvalitet zaštićenih predmeta. Procesne promenljive su: temperatura u kupatilu za cinkovanje, brzina hlađenja, vreme uranjanja i sastav kupatila.

Takođe, usled stalnog kontakta rastopljenog cinka sa vazduhom, na površini kupatila za toplo nanošenje cinka pojaviće se takozvana „šljaka“, koja predstavlja drugi vid čvrstog otpada koji nastaje u postupku toplog cinkovanja. Hemijski sastav i količine metala koje se gube čvrstim otpadom u vidu šljake na godišnjem nivou prikazane su u tabeli 2 i odnose se na količine koje nastaju pri kapacitetu pogona za toplo cinkovanje od 10 000 t obrađene robe na godišnjem nivou. Prosečna količina šljake koja nastaje u pogonu toplog cinkovanja pri pomenutom kapacitetu je 10 t/god.

**Tabela 2.** Hemijski sastav šljake – makrokomponenta - čvrsti otpad pogona za toplo cinkovanje i količine metala koje se gube otpadom na godišnjem nivou

Hemijski sastav	%	Količina metala koja se gubi kroz čvrsti otpad - šljaka	
		Min (kg/god)	Max (kg/god)
Zn	95-98	9 500	9 800
Fe	0,5-0,88	50	88

**- Hlađenje**—Elementi se nakon toplog cinkovanja hlade vodom ili na vazduhu

Pogonski uslovi za toplo cinkovanje, kao što su temperatura, vlažnost i kvalitet vazduha, ne utiču na kvalitet pocinkovane zaštite, što postupku toplog cinkovanja daje prednost nad bojenjem gde su ovi parametri od suštinskog značaja [9, 10, 11].

Otpadne vode od ispiranja čeličnih delova nakon tretmana u rastvorima za odmašćivanje i bajcovanje podvrgavaju se tretmanu prečišćavanja, koji podrazumeva, najčešće, proces neutralizacije otpadnih voda, a koji za posledicu ima nastajanje treće vrste čvrstog otpada u postupku toplog cinkovanja, a to je mulj. Mulj je po hemijskom sastavu hidroksid svih metala koji ulaze u sastav čelika koji se ovim postupkom obrađuje ili rastvora koji se nalazi u liniji postupka toplog cinkovanja.

Količina mulja nastalog preradom protočno-ispirnih voda, pri protoku vode od 2,8 m<sup>3</sup>/h iznosi 12 t/god. Količina mulja nastalog preradom istrošenih rastvora od skidanja nekvalitetne prevlake cinka, bajcovanja i odmašćivanja je 300 t/god, pri pomenutom kapacitetu pogona za toplo cinkovanje.

Hemijski sastav mulja, nastao procesom neutralizacije u pogonu za toplo cinkovanje prikazan je u tabeli 3.

**Tabela 3.** Hemijski sastav mulja i količina metala koja se gubi sa ovom vrstom otpada na godišnjem nivou

Hemijski sastav	(mg/kg)	Količina metala koja se gubi kroz čvrsti otpad – mulj od neutralizacije (kg/god)
<b>mikrokomponente</b>		
<b>Cd</b>	1	0,3
<b>Pb</b>	370	111
<b>As</b>	90	27
<b>Ba</b>	30	9
<b>Cr</b>	54	16,2
<b>Ni</b>	660	198
<b>Cu</b>	140	42
<b>Se</b>	50	15
<b>Sb</b>	3	0,9
<b>Ti</b>	70	21
<b>Mg</b>	3200	9 600
<b>P</b>	30	9
<b>S</b>	35000	1 050
<b>K</b>	160	48
<b>Na</b>	3700	1 110
<b>Al</b>	900	270
<b>Si</b>	11900	3 570
<b>Mn</b>	2200	660
Makrokomponente	(%)	t/god
Zn	25,8	77,4
Ca	13,6	40,8
Fe	11,10	33,3

## EKOLOŠKI ASPEKTI PROCESA

Svetska industrija se danas okreće postupcima koji imaju nisku potrošnju energije i vrlo malo otpada. Cinkovanje je jedno od takvih rešenja budući da ono kroz svrsishodnu upotrebu prirodnih resursa ostvaruje efikasnu zaštitu

okoline i prevlaci nastaloj tokom postupka toplog cinkovanja ne trebaju nikakve popravke doprinoseći tako izdržljivoj gradnji.

U postupku toplog cinkovanja, cink koji ne formira prevlaku na metalu, ostaje u kadi za dalju upotrebu. Emisije iz postupka toplog cinkovanja su vrlo niske i čvrsti otpad koji nastaje u toku postupka toplog cinkovanja (tvrdi cink i šljaka) predstavljaju ulazne sirovine u pogonima za reciklažu metala. Uvođenjem monitoringa otpadnih voda u smislu praćenja koncentracija makrokomponenti, omogućilo bi smanjenje potrošnje vode na minimum, kao i količine nastalih otpadnih voda i mulja nastalog u postupku neutralizacije otpadnih voda.

Emisije u atmosferu su vrlo niske i strogo određene zakonskim normama. Peći za toplo cinkovanje su tunelske sa filterima čime se efikasno sprečava gasna emisija.

Osnovne prednosti procesu su:

- izuzetno dug period antikorozivne zaštite;
- otpornost na mehanička oštećenja, pocinkovani sloj je preko intermetalne faze vezan sa čeličnom osnovom;
- sposobnost prekrivanja teško dostupnih površina;
- vrlo dobra korozivna otpornost u različitim sredinama;
- ekonomičan proces antikorozivne zaštite, jer je moguća zaštita većih količina, bez obzira na geometriju konstrukcije tj. proizvoda;
- sposobnost preoblikovanja – moguće je preoblikovanje pocinkovanih delova bez oštećenja antikorozivnog zaštitnog sloja;
- bitan uticaj na zdravlje ljudi prilikom kontakta sa vodom i prehrambenim proizvodima, regulacijom parametara u pojedinim fazama cinkovanja možemo uticati na debljinu antikorozivnog sloja i na razna fizička i hemijska svojstva antikorozivnog zaštitnog sloja [12, 13].

## ZAKLJUČAK

U radu su prikazane osnovne karakteristike postupka toplog cinkovanja kao jednog od najefikasnijih, ekološki najprihvatljivijeg i ekonomski najisplativijeg metoda zaštite čelika.

Prednost toplog cinkovanja je u kvalitetu zaštite, mogućnost recikliranja čvrstog otpada koji nastaje u postupku toplog cinkovanja, mogućnost uvođenja monitoring sistema za praćenje otpadnih voda i smanjenje potrošnje vode, čime se smanjuje štetan uticaj na okolinu, površinske i podzemne vode.

Prikazane su i količine čvrstog otpada koje nastaju na godišnjem nivou u jednom od pogona za toplo cinkovanje u Srbiji.



## ZAHVALNOST

Ovaj rad potpomognut je od Ministarstva za nauku Vlade Republike Srbije u okviru projekta “*Razvoj tehnologije zaštite voda regeneracijom rastvora i reciklažom metala iz pogona vrućeg cinkovanja*” program tehnološkog razvoja (MNTR 19026)

## LITERATURA

- [1] [www.envi.vitkovice.cz](http://www.envi.vitkovice.cz)
- [2] W. F. Kladnig, Internatinal Journal of Materials and product technology, 19(2003)550-561
- [3] C. S. Stocks, J.Wood, S.Guy, Resources, Conservation and Recycling, 44 (2005) 153-166
- [4] T. H. Cook, Metal Finishing 101 (2003) 22-35
- [5] M. Safaeirad, M.R.Toroghinejad, F.Ashrafizadeh, Journal of Materials Processing Technology 196(2008) 205-212
- [6] R. Parisot, S. Forest, A.F.Gougues, A.Pineu, D. Mareuse, Computational materials Science 19 (2000) 189-204
- [7] S. M. A. Shibli, R.Manu, V. S.Dilimon, Applied Surface Science 251 (2005), 179-185
- [8] F. Hanna, N. Nassif, Surface Technology 21(1984) 27-37
- [9] M. H. Hong, H. Saka, Journal of Electron Microscopy53 (2004), 545-552
- [10] H.Asgari, M.R.Toroghinejad, M.A.Golozar, Current Applied Phisics 9(2009)59-66
- [11] S. J. Makimattila, E.O.Ristolainen, M.Sulonen, Scripta Metallurgica 19 (1985)211-214
- [12] N. Katiforis, G. Papadimitriou, Surface and Coatings Technology 78 (1996) 185-195
- [13] D. D. N. Singh, R.Ghosh, Surface and Coatings Technology 202 (2008) 4687-4701

UDK: 628.54:576.8(045)=861

**ANAEROBNI TRETMAN OTPADNIH VODA**

**ANAEROBIC TREATMENT OF WASTEWATER**

Vojka Gardić\*, Aleksandra Ivanović\*,  
Tatjana Apostolovski-Trujić\*, Suzana Stanković\*

\*Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

**Izvod**

*Tretman industrijskih otpadnih voda anaerobnim mikroorganizmima omogućava konverziju organskih zagađivača do metana i ugljen(IV)-oksida. Nastali gas – biogas dalje se koristi kao izvor energije. Osim organskih zagađivača, proces omogućava konverziju sulfata, sulfita, nitrata i nitrita u produkte koji nisu štetni po okolinu.*

***Ključne reči:** anaerobni tretman, otpadne vode, mikroorganizmi i biogas*

**Abstract**

*Wastewater treatment using anaerobic microorganisms enables conversion of organic pollutants to methane and carbon (IV)-oxide. The produced gas, known as bio gas, is further used as a valuable fuel. In addition to organic pollutants, this process allows the conversion of sulphate, sulphite, nitrate and nitrite in the products that are harmful to the environment*

***Key words:** anaerobic treatment, wastewater, microorganism, biogas*

**UVOD**

Anaerobni tretman otpadnih voda smatra se tehnologijom 21. veka. Spada u biološke tretmane otpadnih voda bez upotrebe vazduha ili elementarnog kiseonika. Odsustvo kiseonika vodi ka kontrolisanoj anaerobnoj konverziji organskih jedinjenja do ugljen (IV)-oksida i metana. Nastali gas može se primeniti kao izvor energije.

Prednost anaerobnog tretmana je velika brzina prerade (10 do 20 puta veća u odnosu na konvencionalni postupak koji uključuje primenu aktivnog uglja) i mali troškovi prerade. Vreme povratka investicija procenjuje se na manje od dve godine.

Veliki broj primena usmerene su ka tretmanu otpadnih voda sa sadržajem organskih zagađivača. Međutim, postupak je efikasan i kada su pored organskih zagađivača prisutni i neorganski (sulfati i teški metali, nitrati i nitriti).

U radu će biti prezentovane mogućnosti i mehanizam anaerobnog postupka u tretmanu otpadnih voda. Osim pomenutih, postupak ima primenu i pri bioremedijaciji (biodegradacija ili biotransformacija toksičnih zagađivača), gde mikroorganizmi u anaerobnim uslovima oksidišu zagađivače do ugljen (IV)-oksida, ili ih redukuju do manje toksičnih supstanci (dehlorinacija hlorovanih ugljovodonika).

Postupak je primenljiv i kod tretmana zagađenih podzemnih voda ili naslaga na mestu zagađenja [1].

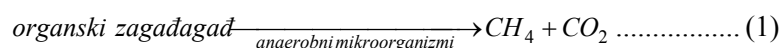
## MEHANIZAM ANAEROBNOG TRETMANA INDUSTRIJSKIH OTPADNIH VODA

### Organske supstance kao zagađivači

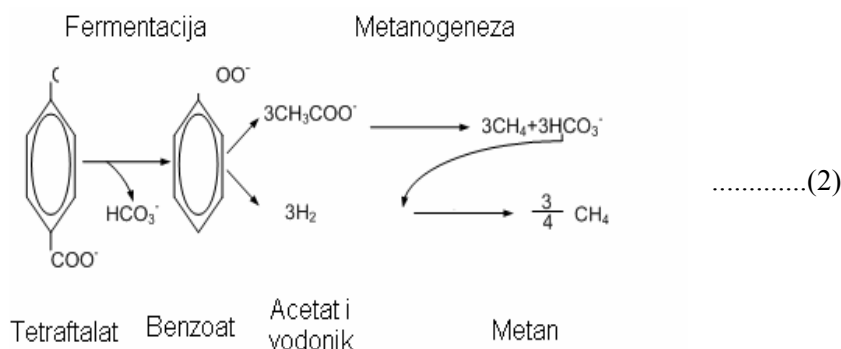
Industrijske otpadne vode sa određenim sadržajem organskih zagađivača moguće je podvrgnuti anaerobnom tretmanu. Tokom procesa dolazi do konverzije organskih zagađivača uz pomoć anaerobnih mikroorganizama do gasovitih produkata.

Gas nastao anaerobnim delovanjem mikroorganizama na organske materije sadrži  $\text{CO}_2$  i  $\text{CH}_4$  i poznat je kao biogas.

Mehanizam konverzije organskih zagađivača može se opisati sledećom jednačinom:



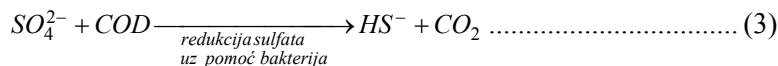
Ili



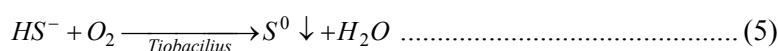
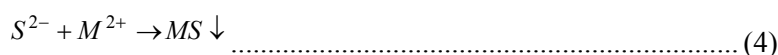
Količina organskih materija prisutnih u vodi meri se potrebnom količinom kiseonika za hemijsku oksidaciju pomenutih zagađivača (chemical oxygen demand - COD), što je u osnovi mera za sadržaj organskih jedinjenja ili njihovu koncentraciju.

### Sulfati i sulfiti kao zagađivači

Prisustvo sulfatnih jona u otpadnim industrijskim vodama ne predstavlja problem prilikom primene anaerobnog tretmana. Anaerobni mikroorganizmi redukuju sulfatne ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) ili sulfitne ( $\text{SO}_3^{2-}$ ) jone do sulfidnog ( $\text{S}^{2-}$ ), prema sledećoj jednačini:



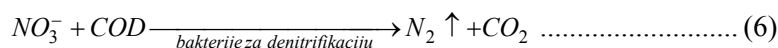
U slučaju prisustva jona teških metala, biološki nastao sulfidni jon reaguje sa jonima teških metala i taloži ih u obliku metal-sulfida. Međutim, sulfidi metala u zemljištu mogu da disosuju na jone i na taj način nastaje zagađenje podzemnih voda jonima teških metala, dok se sulfidni jon oksiduje do elementarnog sumpora. Opisani procesi teku prema sledećim jednačinama:



### Nitrati i nitriti kao zagađivači

Prisutni nitrati u otpadnim vodama podležu procesu denitrifikacije. Denitrifikacija u otpadnim vodama počinje procesom oksidacije prisutnih organskih ili neorganskih supstanci i istovremenom redukcijom nitrata ili nitrita do elementarnog azota.

Proces denitrifikacije može se opisati sledećom jednačinom:

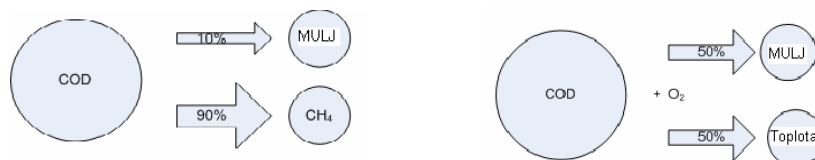


Procesom denitrifikacije dolazi do konverzije neorganskih zagađivača, nitrata i nitrita, do azota, koji inače čini 70% atmosfere, tj. nastaje nezagađujući produkt.

Međutim, često se u efluentu azot nalazi u obliku amonijum jona ( $NH_4^+$ ), tada je neophodno efluent podvrgnuti prvo oksidaciji primenom hemotrofičnih bakterija do nitrata (uz pomoć kiseonika), proces poznat pod nazivom nitrifikacija. Efluent koji je već podvrgnut opisanoj predtretmanu dalje se može tretirati anaerobnim mikroorganizmima (podleže procesu denitrifikacije) [2, 3, 4].

### Prednosti anaerobnog tretmana otpadnih voda

Prednosti anaerobnog tretmana otpadnih voda u odnosu na aerobni predstavljaju se upoređivanjem vrednosti COD-a, tj. raspodelom utrošenog kiseonika u odnosu na dobijene produkte (slika 1).



a) anaerobni tretman

b) aerobni tretman

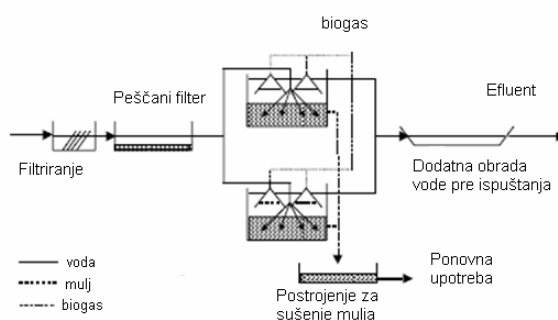
Slika 1. Raspodela COD-a pri različitim tretmanima otpadnih voda

Aerobni tretmani kao produkt imaju velike količine mulja, čije odlaganje zahteva velika dodatna ulaganja. Aeracija otpadnih voda je neophodna za pomenuti tretman što zahteva dodatnu oprema koja je skupa i dodatni je potrošač energije, dok se sa slike 1. jasno vidi da je pri anaerobnom tretmanu velika konverzija organskih zagađivača u metan, koji je moguće kasnije koristi kao izvor energije. Tehnologija je jednostavna za vođenje, što se ogleda i u slučaju potrebe povećati kapacitete postrojenja za obradu otpadne vode. Na slici 2. data je fotografija jednog anaerobnog postrojenja za tretman otpadnih voda.

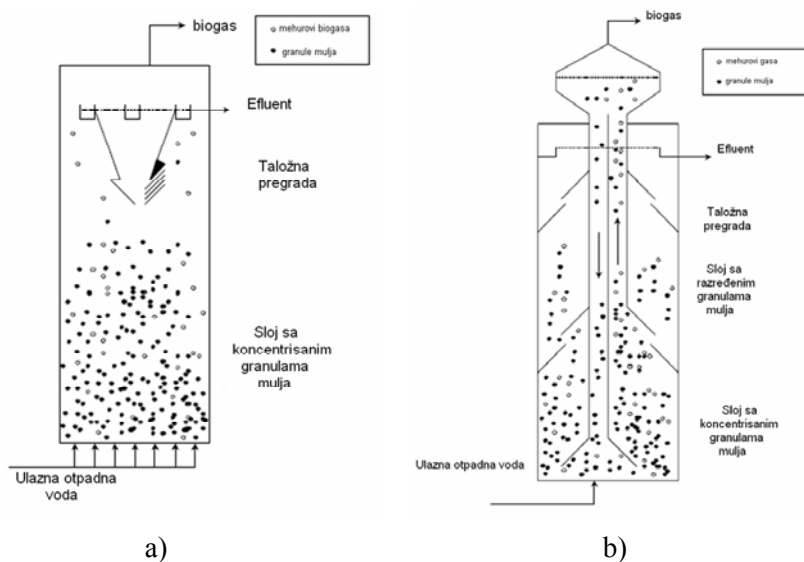


**Slika 2.** Izgled anaerobnog postrojenja za prečišćavanje industrijskih otpadnih voda u primeni (Mirzapur)

Na slici 3. prikazan je šematski prikaz celokupnog postrojenja za prečišćavanje industrijskih otpadnih voda. Jedna jedinica predstavlja anaerobni tretman otpadnih voda odakle se jasno vidi jednostavnost proširenja kapaciteta postrojenja.



**Slika 3.** Šematski prikaz anaerobnog tretmana kao deo postrojenja za prečišćavanje industrijskih otpadnih voda

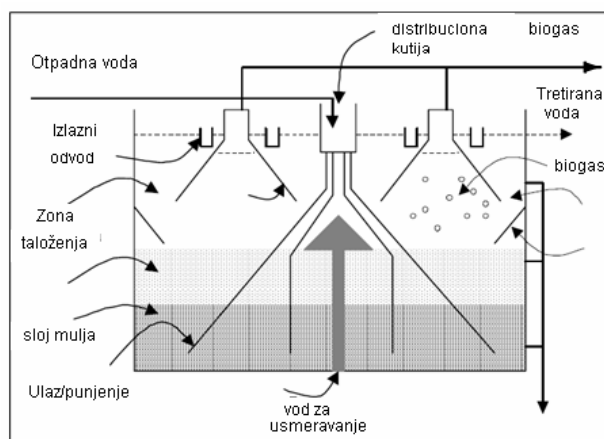


**Slika 4.** Šematski prikaz

a) najednostavnije jedinice i

b) jedinice sa pregradama za anaerobni tretman otpadnih voda

Postupak anaerobnog prečišćavanja primenjuje se i u slučajevima prerade komunalnih otpadnih voda, sa velikom efikasnošću, malim troškovima prerade, uz dobijanje biogasa kao energenta. Izgled jednog takvog postrojenja šematski je prikazan na slici 5 [5, 6, 7, 8].



**Slika 5.** Šematski prikaz postrojenja za anaerobno prečišćavanje komunalnih otpadnih voda

## ZAKLJUČAK

Anaerobni tretman otpadnih voda omogućava prečišćavanje industrijskih, komunalnih i drugih otpadnih voda sa određenim sadržajem organskih i neorganskih zagađivača (nitrata, nitrita, sulfata, sulfita, jona teških metala).

Proces je ekonomski isplativ jer se kao produkt dobija biogas, sa određenom energetsom vrednošću.

Anaerobni tretman ne zahteva velika ulaganja u opremu i procenjeno je da je moguć povraćaj investicije za dve godine.

Tretman je jednostavan u smislu upravljanja i ako postoje potrebe i povećanja kapaciteta.

Brzina tretmana je 10-20 puta veća u odnosu na konvencionalni tretman sa aktivnim ugljem.

Iz izloženog se vidi veliki broj prednosti anaerobnog tretmana u odnosu na druge tretmane prečišćavanja kako industrijske tako i komunalne otpadne vode, zato se pomenuti tretman opravdano smatra tehnologijom 21. veka u polju prečišćavanja otpadnih voda

## LITERATURA

- [1] [www.adi.ca](http://www.adi.ca)
- [2] [www.anaerobictechnologies.com](http://www.anaerobictechnologies.com)
- [3] [www.industrialwater.royalhaskoning.com](http://www.industrialwater.royalhaskoning.com)
- [4] Garrido JM, Omil F, Arrojo B, Méndez R, Lema JM. Carbon and nitrogen removal from a wastewater of an industrial dairy laboratory with a coupled anaerobic filter-sequencing batch reactor, *Water Sci Technol* 43, (2001), 249–56.
- [5] A. Gangagni Rao, G. Venkata Naidu, K. Krishna Prasad, N. Chandrasekhar Rao, Anaerobic treatment of wastewater with high suspended solids from a bulk drug industry using fixed film reactor(AFFR), *Bioresource Technology* Volume 96, Issue 1, January 2005, Pages 87-93
- [6] A. Puñal, E. Roca, M. Lema, An expert system for monitoring and diagnosis of anaerobic wastewater treatment plants, *Water Research* 36 (2002) 2656-2666
- [7] [www.elsevier.com/locate/watre](http://www.elsevier.com/locate/watre)
- [8] [www.esemag.com/index.html](http://www.esemag.com/index.html)



## RECIKLAŽA ELEKTRONSKOG OTPADA

### RECYCLING OF ELECTRONIC WASTE MATERIALS

Tatjana Apostolovski-Trujić\*, Aleksandra Ivanović\*, Vojka Gardić\*

\*Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

#### Izvod

*Intenzivan razvoj elektronske industrije tokom XX veka a i početkom XXI veka, prouzrokovao je i porast otpada iz ove industrije pre svega računara na kraju životnog veka. Vrlo je važno pravilno recikliranje zastarelih i odbačenih računara koji predstavljaju veoma rizičan otpad ako se sa njim ne postupa na adekvatan način sa aspekta zaštite životne sredine kao i sa ekonomskog aspekta dobijanja skupih plemenitih metala koji ulaze u sastav svih komponenti u računarima. Direktive EZ o reciklaži otpada elektronskih proizvoda (OEEP) koja se od 2006. primenjuje, prisiljava proizvođače da preuzimaju svoje proizvode i recikliraju 65% njihove prosečne težine. U ovom radu su predstavljene neke od metoda kao i tehničkih barijera za recikliranje pojedinih delova računara*

**Ključne reči:** reciklaža, , elektronski otpad

#### Abstract

*Intensive development of electronic equipment industry results into generation of high quantities of specific waste from this industry at the end of life time. Recycling of waste from electronic equipment (WEEE) is an important subject, not only from the point of view of environment protection, but also regarding the recovery of usable electronic components, precious metals – the basic components of all electronic equipment. The EU Directive on recycling the electronic waste products (WEEE) that is applied since 2006, have forced the manufacturers to reuse their own products and recycle 65% of their average weight. This paper presents some of the methods and technical barriers for recycling of some computer parts.*

**Key words:** recycling, electronic waste

#### UVOD

Porast odbačenih električnih uređaja predstavlja realnost kako u svetu tako i kod nas i to izaziva zabrinutost celokupne svetske javnosti jer se svake godine globalni elektronski otpad povećava, prema procenama Ujedinjenih Nacija, za oko 50 mil. tona. Ujedno, poražavajuća je činjenica da se samo nekih 15%

odbačenih elektronskih komponenti reciklira a da ostalih 85% završi na deponijama smeća. Raspoloživost postojećih deponija kao i visoka cena formiranja novih predstavlja samo jedan od problema dok je drugi, mnogo značajniji sa aspekta zaštite životne sredine problem prisustva materija opasnih po životnu sredinu u elektronskom otpadu poput: Pb, Cd i njihova jedinjenja, Hg, As, razni bioakumulativni otrovi, organski halogenidi i dr. (oko 40% Pb u zemlji potiče iz elektronskog otpada) [1].

Mnogo je razloga zbog kojih je recikliranje starih računara otežano. Pre svega, proizvodnja računara je skopčana sa korišćenjem velikog broja toksičnih komponenti koje prilikom recikliranja predstavljaju opasnost po osoblje koje radi na tim poslovima. Takođe, projektovanje računara je izvedeno tako da ih čini teškim za rasklapanje i pravilno postupanje sa štetnim materijalima. Poseban problem su monitori zbog visoke koncentracije Pb koje ulazi u sastav katodnih cevi (oko 20% Pb prosečno zbog zaštite od zračenja) [1].

Tretman računara na kraju životnog veka mora biti znatno ozbiljniji i mora se zakonski regulisati jer slaba zakonska regulativa u ovoj oblasti dovodi do pojave toksičnih materija na deponijama i samim tim povećavaju se troškovi raščišćavanja nagomilanog opasnog otpada. Recikliranje štetnih materija ima ograničenu korist za okolinu upravo zbog toga što samo pomera štetne materijale u druge proizvode kojima će ipak, na kraju, biti potrebno odlaganje. Primarni cilj bi trebalo da bude projektovanje i proizvodnja proizvoda sa smanjenim a na kraju i kompletno bez štetnih materijala. Ovakvi problemi doveli su do usvajanja Direktive EZ o OEEP – otpad električnih i elektronskih proizvoda koja od 2006. god. prisiljava proizvođače da preuzimaju svoje proizvode i recikliraju 65% njihove prosečne težine.

### **Količine i struktura tržišta**

Prema nekim istraživanjima računari i druga električna i elektronska oprema zauzimaju oko 1.6% od ukupne količine štetnog otpada na godišnjem nivou (214 miliona tona; SAD, podaci se odnose na 1997.g.)[2]. Visoko razvijene zemlje u saradnji sa kompanijama koje proizvode električnu i elektronsku opremu imaju u vidu koliki je uticaj njihovih proizvoda na životnu sredinu, kako tokom eksploatacije tako i na kraju životnog veka.

Prosečni vek trajanja računara je u 1997. godini bio 4-6 godina, a u 2005. god. iznosi samo dve godine što je rezultat ubrzanog razvoja u toj oblasti. Imajući u vidu ovu činjenicu, očekuje se da će se količina elektronskog otpada na deponijama vrlo brzo udvostručiti.

Pod pritiskom javnog mnjenja velike kompanije su započele projekte reciklaže zastarelih računara, a najpoznatiji su takvi projekti kompanija HP i Dell. U njima postoje specijalizovani pogoni u kojima se na adekvatan način, sa

minimumom ugrožavanja zdravlja radnika, vrši reciklaža starih računara i računarske opreme. Tehnologija i oprema u ovakvim pogonima je nedostižna za većinu manje bogatih zemalja jer strogi propisi primoravaju ovakve pogone da filtriraju izduvne gasove i otpadnu vodu i da na svaki način spreče ugrožavanje životne sredine. Iz tih razloga je takvim firmama jeftinije da izvoze računarski otpad u zemlje „trećeg sveta“, gde jeftini radnici u neadekvatnim uslovima „recikliraju“ stare računare. Činjenica da samo Amerika izvozi oko 50-80% svog ukupnog elektronskog otpada govori dovoljno.

U Srbiji su količine ovakvog otpada relativno male jer teška ekonomska situacija uslovljava korišćenje računara u što dužem periodu. Kako vreme prolazi količine odbačenih računara bi mogle ubrzano da porastu.

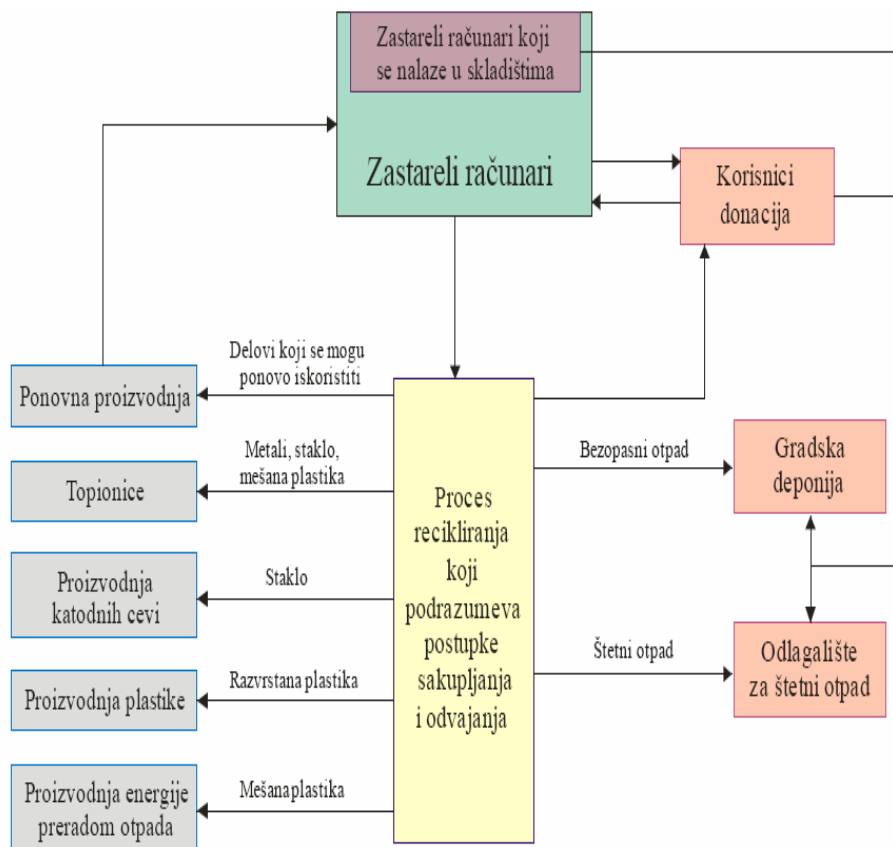
Konstantan porast prodaje računarske opreme rezultiraće i u porastu količina elektronskog otpada proporcionalno, mada se još uvek ne mogu naslutiti kolike će to cifre biti. Prema studiji koja je u SAD-u sprovedena od strane International Data Corporation [3] u 1997. godini je prodato 5.5 miliona jedinica računara, sa godišnjim rastom od 14 %. Kada je u pitanju Japan, procenjuje se da je 2001-e godine bilo 830.000 jedinica korišćenih računara na tržištu pri čemu je taj broj porastao za 18% 2002. godine [4]. Tržište novim računarima u 2001. godini je bilo 12 miliona računara, što je 11% manje nego u 2000. godini. Što se Evrope tiče, ne postoje studije koje se bave procenom tržišta korišćenim i novim računarima.

## PROCES RECIKLIRANJA

Za sada postoje četiri osnovne metode reciklaže elektronskog otpada:

- Rastavljanje opreme – ručno odvajanje delova
- Mehanička obrada – usitnjavanje i rezanje
- Spaljivanje i pročišćavanje – nakon što se spale gorivi delovi mogu se odvojiti metali
- Hemijska obrada – izdvajanje plemenitih metala hemijskom postupcima

Na slici 1 je prikazan tipičan proces rastavljanja računara pri čemu se pojedini delovi mogu ponovo iskoristiti, dok se otpad u zavisnosti od njegove štetnosti, odlaže na gradsku deponiju ili odlagalište predviđeno za takav otpad.



**Slika 1.** Tipičan proces rastavljanja i odlaganja zastarelih računara

Nakon rastavljanja, pristupa se mehaničkoj obradi računara – demontaža čekićem i mlinom za drobljenje. Sledeći korak podrazumeva odvajanje metalnih delova putem konvencionalnih tehnika odvajanja:

- vibracione tehnike odvajanja,
- ciklonsko odvajanje,
- izdvajanje vrednih metala potapanjem i ispiranjem,
- odvajanje putem turbulencije,
- magnetna separacija,
- tehnike odvajanja pod pritiskom vazduha,
- prosejavanje.

Sakupljeni metali koji se ponovo mogu iskoristiti a sadrže dvovalentno gvožđe, se ponovo obrađuje u tradicionalnim topionicama i fabrikama za preradu čeličnog otpada, a obojeni metali mogu se koristiti kao drugorazredni sirovi materijali. Upotrebom mlinova za drobljenje, pojedini delovi se dovode u stanje mešovitog granulate iz šega se može izolovati do 99% čistog bakra putem metode fizičke separacije.

## TEHNIČKE BARIJERE

Prilikom recikliranja osnovni problem koji se javlja jeste nedostatak podataka o materijalnom sadržaju proizvoda koji je se reciklira pa se stoga javljaju razna ograničenja i tehničke prepreke.

### Proizvodni podaci

Većina korisnika elektronskih uređaja a i radnici u pogonima reciklaže imaju ograničeno poznavanje vezano za sadržaj materijala proizvoda kojim rukuju a kako je osnovni cilj procesa reciklaže rastavljanje i raspodela delova u odgovarajuće kontejnere za pojedinačne vrste materijala, to predstavlja glavni nedostatak pri procesu reciklaže.

### Recikliranje metala

Metali čine oko 60% ukupne količine elektronskog otpada. Najčešće korišćeni metali su: železo, olovo, nerđajući čelik i druge legure čelika, aluminijum i njegove legure, legure bakra, olova i cinka. Olovo je najčešće korišćeno u proizvodnji CRT-a i pri lemljenju i za sada ne postoji isplativa alternativa za olovo. Postoje neka istraživanja u pravcu razvoja postupaka lemljenja bez olova..

### Recikliranje štampanih ploča

Štampane ploče su zastupljene u najvećem broju elektronskih uređaja (oko 20%). Složenost štampanih ploča čini njihovu reciklažu komplikovanom. Prvi korak u njihovoj reciklaži predstavlja vizuelni pregled kojim treba utvrditi prisustvo toksičnih elemenata pre svega na prisustvo kondenzatora i baterija koji se moraju ukloniti sa štampanih ploča. Oni se skidaju i usmeravaju u specijalizovane firme na dalji tretman.

Sastav štampanih ploča iz elektronskih uređaja [6]:

- nemetale tj. polimer očvrnut staklenim vlaknom 70%
- bakar 16%

---

• lem	4%
• gvožđe, ferit	3%
• nikl	2%
• srebro	0,05%
• zlato	0,03%
• paladijum	0,01%
• ostali (bizmut, antimon, tantal i dr.)	4.91%

Sa stanovišta reciklaže iskorišćene štampane ploče mogu se svrstati u tri kategorije prevashodno po otpadnoj vrednosti (sadržaju implementiranih plemenitih metala). To su otpadne štampane ploče sa oznakama H (visok nivo), M (srednji nivo) i L (nizak nivo) iskoristivosti. Ova podela u osnovi predstavlja sadržaj plemenitih metala. [6]

Reciklaža štampanih ploča je, nažalost, samo u malom procentu (oko 15%) zastupljena danas. Značajno veća količina štampanih ploča završava na deponijama u originalnom stanju ili eventualno mehanički obrađena radi redukcije zapremine.

### **Recikliranje plastike**

Plastični materijali čine oko 19% ukupnog elektronskog otpada. Kod recikliranja plastike javlja se problem dobijanja visokog kvaliteta materijala jer termoplastični materijali ne predstavljaju problem ali složena plastika predstavlja jer je nemoguće razdvojiti različite vrste plastike. Zbog nekompatibilnosti različitih plastika, delovi skinuti sa starih proizvoda mogu biti identifikovani i sortirani kao različiti tipovi plastike. Pravci daljeg istraživanja u okviru rešavanja ovog problema prilikom recikliranja trebali bi da se kreću ka iznalaženju adekvatnog načina rada sa svakim tipom plastike (recikliranje, obnavljanje ili spaljivanje), kao i efikasne i ekonomski isplative identifikacione tehnike i tehnologije odvajanja a i efikasnog načina mešanja originalne i reciklirane plastike.

Prilikom obrade mešane plastike nema velikih troškova ali postojanje tržišta za jedan takav material je dosta diskutabilno. Teže je naći tržište za mešanu plastiku nego za materijale od smole, a i smole imaju nižu tržišnu vrednost. I stoga je jedna od opcija da se identifikuju vrste plastike, ili ručno ili upotrebom tehnologija za odvajanje. Najveći problem nije sam tehnološki postupak sortiranja plastike već da li se to može izvesti na ekonomski isplativ način.

### **Obrada monitora i CRT stakla**

Kod monitora računara katodna cev čini 32% težine i sadrži toksične fluorescentne materijale zbog čega spada u opasni otpad. Zato je bitno da se upotrebe

odgovarajuće metode za postupanja sa katodnim cevima poput nekih mehaničkih, termalnih i hemijskih procesa recikliranja CRT-a (CRT je engleska skraćenica za "Cathod Ray Tube", kod nas poznatiju kao "katodna cev".)

Katodna cev se sastoji od dva tipa stakla. Ekran je napravljen od stakla koje sadrži barijum i stroncijum a unutrašnja strana sadrži olovo. Pored toga, za razliku od monohromitnih cevi, cev za sliku u boji ima metalnu masku. Tokom recikliranja ove vrste cevi, mora se skinuti fluorescentni omotač a pored toga i da se različite vrste staklenih i metalnih delova odvoje. Mnogo brojne prepreke treba prevazići pre recikliranja stakla monitora uključujući i odvajanje stakla koje sadrži olovo od ostalih vrsta stakla.

Reciklažom katodnih cevi dobijaju se materijali: metal, plastika i staklo, čelik i staklo od CRT-a, dok od kompletnih monitora različiti metali, više vrsta plastike i stakla.

Recikliranjem katodnih cevi, zanemarljive količine bakra, nikla i čelika se mogu ponovo dobiti. Bakarne žice i zaštitno staklo, posle određenih tretmana recikliranja, završavaju kao štetni otpad. Noviji modeli monitora daju manje dragocenih metala nego stariji. Takođe, visokokvalitetne plastične smole, posle uspešnog odvajanja i recikliranja, nalaze svoje tržište.

Upotreba recikliranog stakla kao sirovog materijala podrazumeva određene uslove:

- svako staklo koje sadrži olovo ili drugu potencijalno štetnu materiju mora biti efikasno uklonjeno.
- materijal mora biti samleven do veličine zrna manje od 1 do 2 milimetara kako bi mogao da se pomeša sa drugim obradjenim sastojcima i da omogućí pouzdanu analizu materijala.
- materijal mora biti dobro sortiran i analiziran i mora da sadrži stabilnu boju, da ima isti režim rada i gustinu stakla koje treba da se proizvede.

## ZAKLJUČAK

Reciklaža, kao industrijska grana definitivno ima budućnost jer rast i razvoj informacionih tehnologija svakodnevno nameće potrebu proizvodnje nove računarske opreme dok ona stara predstavlja problem, kao sa stanovišta ekonomije tako i sa stanovišta ekologije. Pravilno recikliranje E-otpada predstavlja odgovor na jedan takav gorući problem, kao iz razloga zaštite životne sredine, tako i iz razloga očuvanja energije i sirovina. U ovom radu su prikazani neki od načina recikliranja pojedinih delova računara kao i poteškoće koje se pri tome javljaju.



**LITERATURA**

- [1] Silicon Valley Toxics Coalition, videti stranicu na sajtu: <http://www.svtc.org/>
- [2] Yu Yue et al. "A decision-making model for materials of end-of-life electronic products", Journal of Manufacturing Systems, (2000).
- [3] Luening, E., Used PC market surging, CNET News.com, 1998, you can see the page: <http://www.news.com.com/2100-1001-209684.html>
- [4] My-Com PC Web, you can see the page: <http://pcweb.mycom.co.jp/news/2002/08/22/23.html>
- [5] Matthews et al., "Disposition and end-of-life options for personal computers", Carnegie Mellon University Design Initiative technical report, Pittsburgh, PA, Carnegie Mellon University, 1997.
- [6] Matthew C. Frank: The Recycling of Computer Circuit Boards, (2005), 52-61.
- [7] European Commission, Draft proposal for a European parliament and council directive on waste electric and electronic equipment, Brussels, 2000, Belgium, [http://www.eia.org/download/eic/21/www\\_Final\\_Proposal\\_June\\_2000.htm](http://www.eia.org/download/eic/21/www_Final_Proposal_June_2000.htm), 2000-07-31.
- [8] S.Dragulović, V.Gardić, S.Dimitrijević, A.Ivanović, Z.Stanojević-Šimšić, Reciklaža srebra iz srebrnih kontakata hemijskim postupkom, Zaštita materijala 49(2008), 51-52

**OTPADNI BAKAR KAO SEKUNDARNA SIROVINA**

**WASTE COPPER AS SECONDARY RAW MATERIALS**

Vesna Marjanović\*, Vesna Cvetković-Stamenković\*

\*Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

**Izvod**

*Industrijski otpad obojenih metala nastaje kod topljenja metala i legura, kod proizvodnje valjanih proizvoda, strugotina, opiljci, kod livenja, kod hemijske industije i sl. Razvoj reciklaže otpadaka doveo je do velikih unapređenja u tehničko-tehnološkoj i organizacionoj oblasti.*

***Ključne reči:** sekundarne sirovine, bakar, reciklaža*

**Abstract**

*Industrial waste of non-ferrous metals is produced in smelting of metal and alloys, production of rolled products, chips, saw dust, casting, chemical industry, etc. Development of recycling waste has led to major improvements in technical-technological and organizational fields of science.*

***Key words:** secondary raw materials, copper, recycling*

**UVOD**

U svim granama privrede nastaje industrijski otpatci obojenih metala i legura. Otpaci se dele na procesni i amortizacioni otpadak. Procesni-proizvodni industrijski otpad obojenih metala nastaje kod topljenja metala i legura, kod proizvodnje valjanih proizvoda, strugotina, opiljci, kod livenja, kod hemijske industije, kod nanošenja zlatnih prevlaka i sl. U amortizovani industrijski otpad ubrajaju se rashodovana osnovna sredstva u industriji, građevinarstvu, transportu, komunalni otpad i sl.

Otpadnog bakra najviše ima u elektrotehničkoj industriji–16,2%, automobilskoj industriji–7,2%, crnoj metalurgiji 6,4% i obojenoj metalurgiji 3,9%.

Proizvodni i amortizovani industrijski otpad obojenih metala deli se na klase:

- A. Proizvodni i komadasti otpad
- B. Strugotine

- C. Otpadne prašine kobalta, molibdena i volframa i njihovih legura koje nastaju u procesu izrade i obrade delova
- D. Otpad belih limova
- E. Otpad olovnih akumulatora
- F. Otpad od rezanja titanskog lima i njihovih legura
- G. Ostali otpad

Za procenu količine otpada obojenih metala koriste se metode matematičke statistike i teorija verovatnoće. Primena matematičke statistike zamenjuje subjektivnu ocenu proizvodnog procesa realnim podacima dobijenim merenjem parametara procesa.

### PRIMARNA PRIPREMA

Pod pripremom otpadaka obojenih metala podrazumeva se njihovo dovođenje u takvo stanje koje će obezbediti efikasnu metaluršku preradu. To podrazumeva odvajanje metalnih i nemetalnih delova, odmašćivanje, smanjenje vlažnosti, umanjevanje veličine i mase i dr. Kvalitetna priprema otpadaka dovodi do smanjenja potrošnje goriva, električne energije, efikasno korišćenje metalurške opreme, transportnih sistema i sl.

Osnovne operacije pripreme su:

- *sortiranje* – sastoji se u razdvajanih pomešanje sekundarne sirovina na jednorodne metale, legure itd., zatim sortiranje po veličini i frakcijama. Sortiranje može da se vrši ručno, mehanički, u teškoj sredini i sortiranjem korišćenjem peći za rastapanje.
- *magnetna separacija* – koristi se za rastresite strugotine veličine do 10 cm, izdrobljene šljake, liveni otpad do 15 cm, otpad u vidu prašine bilo kojeg sastava, razlomljeni kablovi, otpad od prosejavanja itd. Cilj ove operacije je da se izdvoje feromagnetni delovi i predmeti. Pri izboru tipa elektromagnetnog separatora uzima se u obzir krupnoća materijala, neophodni stepen izdvajanja, produktivnost i sl.
- *razdvajanje* – cilj ove operacije je odvajanje metalnih i nemetalnih delova, razdvajanje mehaničkih vezanih delova, kao i smanjenje do veličine pogodne za kasnije operacije. Osnovne operacije razdvajanja su: sečenje aligatorskim makazama, rezanje pomoću plamena, drobljenje kablovskog otpada, razdvajanje elektromotora i automobilskih hladnjaka i drugih vrsta otpada. Može biti ručno i mehanizovano.
- *drobljenje* – je međuoperacija koja se primenjuje pri pripremi sekundarnih sirovina za dalju obradu ili transport. Bakarni otpad koji se podvrgava usitnjavanju su laki negabaritni kablovski i drugi bakarni provodnici struje, kućišta elektromotora, bakarna strugotina, statorski

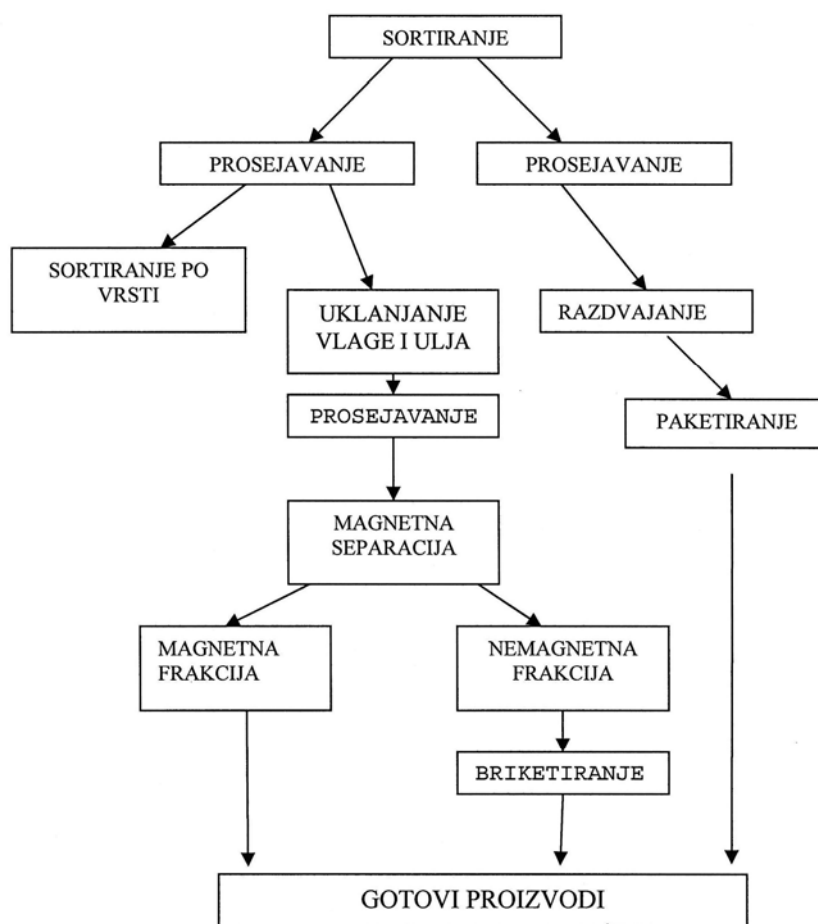
namotaji itd. Mašine za drobljenje se dele na mašine: - opšte namene (čekićaste i rotorne drobilice) koje se koriste za drobljenje krupnijih komada, a služe za sitno i srednje drobljenje, i specijalizovane mašine (uređaji za raskidanje paketa, drobilice za strugotinu, uređaji za kidanje i sl.). Za fino usitnjavanje primenjuju se mlinovi, rotorni usitnjivači i sl.

- *odmašćivanje i sušenje* – odmašćivanje se na osnovu tehnološkog procesa deli na hidrotermijsko i termičko odmašćivanje. Hidrotermijsko odmašćivanje sastoji se u ispiranju strugotine zagrejanim alkalnim rastvorom na temperaturi od 60-80°C u centrifugalnim ili pužastim mešalicama.
- *pakovanje i briketiranje otpada* – smatra se osnovnim tehnološkim operacijama primarne obrade. Pakovanje-paketiranje je mehaničko zbijanje nekompaktne sirovine u pakete određene dimenzije, težine i gustine. Tako dobijeni materijal šaržira se u metalurške peći. Tehnološki proces paketiranja se sastoji iz sledećih operacija: prijem i priprema, ubacivanje u presu, paketiranje, izbacivanje paketa iz matrične prese, prijem i otpremanje gotovih paketa. Briketiranje je tehnološka operacija pripreme metalne strugotine tj. dovođenje u kompaktno stanje za dalju metaluršku preradu u livnicama tj. pećima za topljenje.
- *elektrostatička separacija* - elektrostatički separator zasniva se na primeni elektrostatičkog polja, a primenjuje se za razdvajanje tankih Cu i Al kablova prečnika do 0,4 mm od izolacije.
- *ostale metode separacije*-tu pripada vazдушna, hidrostatička separacija i dr.

## **RESURSI I RECIKLAŽA SEKUNDARNIH SIROVINA BAKRA I BAKARNIH LEGURA**

Sakupljanje i prerada bakarnog otpada je jedna od najmlađih industrijskih proizašla grana. Ona je prizlašla iz trgovine otpadnim materijalima i feleričnom robom, ali vremenom ova delatnost prelazi u industriju. Osnovni izvori nastajanja bakrnog otpada su sledeće industrijske grane: energetika, elektronika, telekomunikacije, roba široke potrošnje itd. Značaj i uloga bakarnog otpada zasniva se na sledećem:

- 1) bakarni otpad direktno zamenjuje katodni bakar dobijen iz svežih sirovina, i na taj način se produžava vek prirodnim ležištima bakra,
- 2) upotreba bakarnog otpada je ekonomičnija u odnosu na korišćenje bakra iz primarnih sirovina koja ima dugačak ciklus proizvodnje.



Slika 1. Opšta šema primarne pripreme

## VRSTE BAKARNOG OTPADA

Bakarni otpad može biti različitog oblika i sastava, a pored toga sadrži i različite primese kao što su: Pb, Zn, Sn i dr. Bakarni otpad može da se podeli na *procesni otpad* – onaj koji nastaje u procesu prerade i proizvodnje bakra (proizvodnja metala i legura, valjanje, livenje, proizvodnja kablova i provodnika) i *amortizacioni otpad* – nastaje izbacivanjem iz upotrebe proizvoda koji sadrže bakar (drumska i šinska vozila, transformatori, generatori,

kablovi, provodnici, livnički proizvodi i dr.). Količina procesnog otpada zavisi od primenjene tehnologije. Dok količina amortizacionog otpada zavisi od količine metala u upotrebi kao i sastava bakarnih proizvoda. Bakarni otpad se može razvrstati na osnovu bakra i njegovih legura i to na bakarni, mesingani i bronzani otpad. To omogućava bolju, jeftiniju i jednostavniju proizvodnju, kontrolu kvaliteta, lakši i brži obračun proizvodnje.

Pod bakarnim otpadom se podrazumeva: škart livenih, kovanih i presovanih komada, bakar nelemljeni i nekalaisani, otpad bakarnih provodnika sa i bez izolacije, bakarna strugotina, otpad rotora motora itd. Mestingani otpad podrazumeva: otpad nerazdvojenih hladnjaka, puščane čaure, kalaisani otpad mesinga itd. Bronzani otpad podrazumeva: bronzani novac, bronzana zvana sa sadržajem kalaja itd.

Bakarni otpad se može podeliti i prema:

- *fizičkom izgledu*, tada je podeljen prema klasi krupnoće na krupnogabaritni, strugotinu, i praškasti otpad bakra i bakarnih legura.
- *hemijskom sastavu*,
- *sadržaju osnovnog metala i nečistoća*, i to u tri grupe. Prva grupa se odlikuje visokim sadržajem metala, a sadržaj nečistoća ne prelazi 3%. U drugu grupu spada bakarni otpad sa sadržajem nečistoća do 10%, a treću grupu čini bakarni otpad sa sadržajem nečistoća većim 10%.

## **BILANSIRANJE SEKUNDARNIH SIROVINA**

Metode matematičke statistike se koriste za procenu količine otpadaka obojenih metala. Ove metode omogućavaju zamenu subjektivne ocene proizvodnog procesa objektivnim podacima dobijenim merenjem parametara procesa. Pri određivanju resursa, količine amortizacionog otpada i tekućeg otpatka iz proizvodnje se računaju odvojeno. Količina amortizacionog otpada zavisi od veka trajanja, zamene i remonta opreme. Količina tekućeg otpatka zavisi od vrste obrade metala i legura, koja je utvrđena proizvodnim programom.

Za proračun svake grupe otpadaka potrebno je raspolagati određenim jednačinama, koje treba da budu usaglašene sa raspoloživim izvornim podacima. One predstavljaju računski model obrade ulaznih podataka, a u cilju prognoze nastajanja bakarnih otpadaka.

## **SREDNJE VREME POVRATKA BAKRA**

Upotrební put bakra počinje od momenta njegove proizvodnje u topionici bakra, zatim njegova prerada u poluproizvod ili gotov proizvod. Vek trajanja gotovog proizvoda je najduži period i on određuje vreme povratka. Vreme za koje se najveći deo proizvoda vrati kao sirovina u proizvodni ciklus naziva se *srednje vreme povratka proizvoda* –  $V_a$ , ono karakteriše period od početka

funkcionisanja aparata, mašina i uređaja, do momenta njihovog ispadanja iz eksploatacije. *Srednje vreme povratka metala  $V_p$*  podrazumeva količinu metala koja je sadržana u aparatima, mašinama i uređajima zaključno sa uračunatim srednjim vremenom njihovog korišćenja. Odnos između srednjeg vremena povratka metala  $V_p$  i srednjeg vremena povratka proizvoda –  $V_a$  dat je sledećom jednačinom:

$$V_p = V_a / (1 + k_s V_a)$$

gde je:

$k_s$ - koeficijent godišnje potrošnje količine obnovljivog metala

U tabeli 1 dati su neki primeri za vreme povratka bakra.

**Tabela 1.** *Vreme povratka bakra*

R. br.	Oprema, mašine, uređaju i sl.	Srednje vreme povratka uređaja $V_a$	Vreme remonta $V_r$	Srednje vreme povratka bakra, $V_p$
1.	Transformatori	20	20	20
2.	Bakarne cevi	15	15	15
3.	Limovi od bakra i bakarnih legura	29	29	29
4.	Armature	10	10	10
5.	Generatori	20	20	20
6.	Veliki motori	10	2	3
7.	Poljoprivredne mašine	15	10	14
8.	Drumska vozila	15	10	14
9.	Šinska vozila	30	4	6
10.	Aparati za domaćinstvo	15	5	6
11.	Industrijska oprema	10	10	10
12.	Kablovi	30	15	20
13.	Telekomunikacioni uređaji	30	30	29
14.	Brodogradnja	30	30	30

Veličine koje se odnose na vreme remonta  $V_r$  i srednje vreme povratka uređaja  $V_a$  u tabeli 1 su podaci dobijeni na osnovu iskustva od proizvođača i potrošača opreme i iz literature.

Srednje vreme povratka bakra zavisi od više faktora: uslova rada, brzine razvoja tehnologije, opterećenosti delova proizvoda ili celog proizvoda u radu, obučenosti kadrova, klimatskih uslova, transportnih uslova, stanja putne mreže, tehničke i opšte kulture, odnosa prema sredstvima rada i dr.

### **METALNI FOND BAKRA**

Pod pojmom metalni fond bakra podrazumeva se ukupna količina metala sadržana u osnovnim i obrtnim sredstvima, kao i u predmetima za ličnu potrošnju. Određivanje bakarnog fonda po glavi stanovnika je osnovni pokazatelj ukupnog ekonomskog razvoja jedne zemlje. Za izračunavanje bakarnog fonda potrebni su podaci o količinama katodnog bakra dobijenog iz bakarne rude, uvoz i izvoz katodnog bakra, sirovine za livnice bakra i bakarnih legura, polufabrikata za izradu gotovih proizvoda, gotovih proizvoda koji sadrže bakra itd. Bakarni fond jedne zemlje raste sa porastom potrošnje katodnog bakra umanjene za bespovratni gubitak bakra, a uvećava se ili smanjuje za bilans uvoza i izvoza gotovih proizvoda koji sadrže bakar.

Pri određivanju prirasta bakrnog fonda, bakar koji se dobija pretapanjem bakarnog otpatka nije dopunski izvor bakarnog fonda. Bakarni fond je potencijalni izvor bakarnih otpadaka, tako da je njegovo proučavanje važan stadijum u prognoziranju buduće strukture sirovinske osnove za proizvodnju bakra.

Nepovratni gubici, stepen povratka i stepen revalorizacije procenjuju se i zavise od primenjene tehnologije, asortimana proizvoda koji sadrže bakar, aktuelnih cena, potrošnje bakra i bakarnih otpadaka, obučenosti kadrova, odnos prema sredstvima, zainteresovanosti za korišćenje bakarnog otpadaka i dr.

### **ZAKLJUČAK**

Sve je više metalnih otpadaka koje treba dovesti u stanje da se mogu opet koristiti u livnicama. Pogoni za reciklažu postaju saradnici topionicama i livnicama u industriji čelika i obojenih metala. Razvoj reciklaže otpadaka doveo je do velikih unapređenja u tehničko-tehnološkoj i organizacionoj oblasti. Obezbeđena tehnička sredstva i tehnologije su veoma važan faktor za prikupljanje metalnih otpadaka, njihovo klasificiranje i pripremu u pogonima za reciklažu. Međutim, sve su strožiji zahtevi za kvalitetom sekundarnih sirovina, ulaganja u savremene tehnologije pripreme otpadaka i smanjenje troškova sakupljanja i pripreme.



**LITERATURA**

- [1] W. W. Kellogg, J. Metals, 28 (12) (1976), p. p. 29-32
- [2] M. Shamsuddin, Metal Recovery from Scrap and Waste, Journal of Metals, 2(1986), p. p. 24-31
- [3] A. Ivanović, V. Cvetković-Stamenković, V. Marjanović, The Industrial, Economic and Environmental Dimension of Recycling, 41st International October Conference on Mining and Metallurgy PROCEEDINGS, 04.10.-06.10.2009, Kladovo, Serbia, p. p. 413-416.
- [4] V. Marjanović, A. Ivanović, B. Rajković, V. Cvetković-Stamenković, Scrap of Electronics, 41st International October Conference on Mining and Metallurgy PROCEEDINGS, 04.10.-06.10.2009, Kladovo, Serbia, p. p. 409-412.

UDK: 546.56:669.4:544.62(045)=861

**ODREĐIVANJE SADRŽAJA BAKRA U LEGURI PbSn20 TEHNIKOM  
ATOMSKE APSORPCIONE SPEKTROFOTOMETRIJE SA PLAMENOM  
ATOMIZACIJOM**

**DETERMINATION OF COPPER CONTENT IN PbSn20 ALLOY BY  
ATOMIC ABSORPTION SPECTROPHOTOMETRY TECHNIQUE WITH  
FLAME ATOMISATION**

Ljubinka Todorović\*, Radiša Todorović\*, Mirjana Šteharnek\*

\*Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

**Izvod**

*U ovom radu prikazana je brza, tačna i precizna metoda za određivanje sadržaja bakra u leguri PbSn20 primenom atomskog apsorpcionog spektrofotometra sa plamenom atomizacijom. Cilj rada bio je ispitivanje i pronalaženje optimalnijih analitičkih uslova za određivanje bakra navedenom tehnikom.*

*Provera dobijenih analitičkih uslova izvršena je analizom uzorka referentnog materijala kao i uporednim analizama nepoznatih uzoraka primenom atomskog apsorpcionog spektrofotometra sa plamenom atomizacijom i optičkog emisionog spektrometra sa varnicom. Dobijeni rezultati su u dobroj saglasnosti. Urađena je i statistička obrada rezultata. Koncentraciono područje određivanja bakra ovom metodom je 0.1-10%.*

*Ključne reči: legura PbSn20, bakar, atomska apsorpciona spektrofotometrija sa plamenom atomizacijom, optička emisiona spektrometrija sa varnicom*

**Abstract**

*This work presents a rapid and precise method for determination of copper content in PbSn20 alloy by atomic absorption spectrophotometer with flame atomization. The aim of this work was investigation and development of optimal analytical conditions for copper determination.*

*Analysis of certified reference material was used for control of optimal analytical conditions as well as comparative analysis of unknown samples by atomic absorption spectrophotometer with flame atomization and optical emission spectrometer with spark. The results of comparative analysis of reference material and unknown samples are in accordance with the certified valued and results of optical emission spectrometer with spark analysis. The content of copper determination by atomic absorption spectrophotometry with flame atomization is in the range of 0.1% to 10%.*

***Key words:** PbSn20 alloys, copper, atomic absorption spectrophotometry with flame atomization, optical emission spectrometer with spark*

## UVOD

Beli metal je legura koja u osnovi sadrži olovo ili kalaj. Prema nameni ove legure se mogu podeliti na: ležajne legure-babiti, legure za livenje pod pritiskom-tipografske, lako topivi lemovi i legure za preradu u plastičnom stanju. Sadržaj kalaja može biti od 0.5% do 95% dok su jeftinije vrste legura rađene sa osnovom olova sa sadržajem i do 95%. Ostali elementi koji mogu da se nađu u leguri su antimon 1-20%, bakar 0.1-10%, arsen 0.1-2%, nikal 0.4-0.6%, kao i tragovi nečistoća iz sirovina, i to: Fe, Al, Zn, Mn, S, Ag i dr.

Za potrebe praćenja tehnološkog procesa proizvodnje ove legure u svakodnevnom radu koristi se tehnika optičke emisije spektrometrije sa varnicom. S obzirom da se ovom tehnikom mogu analizirati jedino kompaktni uzorci na kojima je moguće dobiti idealno glatku i ravnu površinu, jer se analize rade bez prethodnog rastvaranja, bilo je neophodno razviti brzu, tačnu i pouzdanu metodu za određivanje sadržaja bakra za uzorke koji ne mogu ispuniti te zahteve. Razrađena je metoda za određivanje bakra primenom atomskog apsorpcionog spektrofotometra sa plamenom atomizacijom. Pored toga, gornja granica određivanja tehnikom optičke emisije spektrofotometrije sa varnicom je do 6%, a atomskom apsorpcionom spektrofotometrijom sa plamenom atomizacijom do 10%.

## EKSPERIMENTALNI DEO

### Princip metode

Uzorak legure se prevodi u rastvorni oblik rastvaranjem u smesi azotne i hlorovodonične kiseline uz postepeni dodatak vodonik-peroksida. Rastvor uzorka uvodi se u oksidacioni plamen acetilen-vazduh, a sadržaj bakra određuje se merenjem intenziteta apsorbovane svetlosti na talasnoj dužini 324.8nm.

### Potrebna oprema

1. Atomski apsorpcioni spektrofotometar sa plamenom atomizacijom firme Perkin Elmer, model 5000
2. Lampa sa šupljom bakarnom katodom firme Perkin Elmer
3. Uobičajeno laboratorijsko posuđe
4. Optički emisijski spektrometar sa varnicom firme Spectro, model 20

### Reagensi

1. Hlorovodonična kiselina, p.a., 36%
2. Azotna kiselina, p.a., 63%

3. Vodonik-peroksid, p.a., 30%
4. Osnovni rastvor bakra, 1 g/dm<sup>3</sup>
5. Radni rastvor bakra, 0.1 g/dm<sup>3</sup>
6. Kalibracioni rastvori bakra, 1-5 mg/dm<sup>3</sup>
7. Osnovni rastvor olova, 1 g/dm<sup>3</sup>

### Postupak

Odmeri se 0.1g uzorka i prebaci u času zapremine 250 cm<sup>3</sup>, rastvori se smešom kiselina uz postepeni dodatak 5 cm<sup>3</sup> vodonik-peroksida i polako se zagreva na peščanom kupatilu. S obzirom da je rastvaranje sporo, kiseline i vodonik-peroksid se dodaju u manjim porcijama do potpunog rastvaranja. Kada se uzorak potpuno rastvori, stavi se da prokuva da bi se udaljio višak vodonik-peroksida, doda 10 cm<sup>3</sup> azotne kiseline i prenese u normalni sud od 100 cm<sup>3</sup> i dopuni destilovanom vodom do crte.

Nula uzorak priprema se na identičan način kao i nepoznati uzorak izuzev što se umesto uzorka uzima 0.07 g olova čistoće 99.9%.

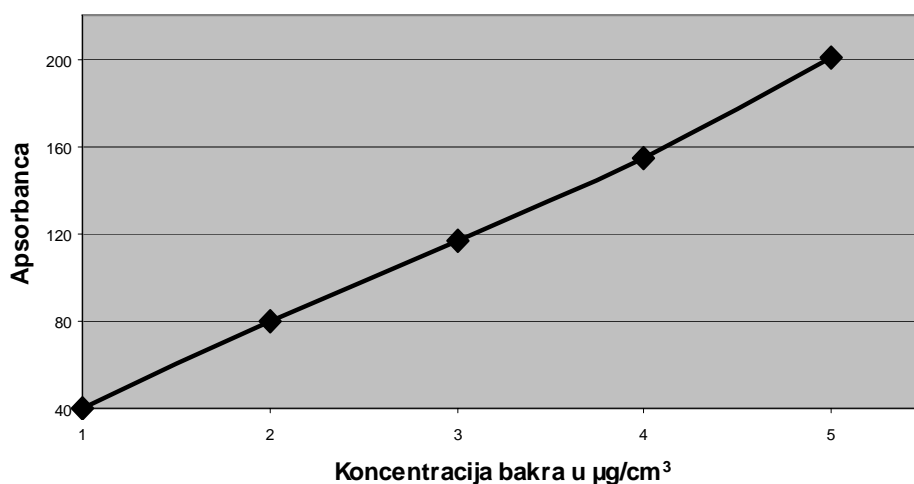
### Kalibracija instrumenta

U pet normalnih sudova od 100 cm<sup>3</sup> pripreme se kalibracioni rastvori bakra koncentracija 1, 2, 3, 4, 5 mg/dm<sup>3</sup>, doda se po 7 cm<sup>3</sup> osnovnog rastvora olova i kompletira do crte destilovanom vodom. Merenja intenziteta apsorbovanog zračenja kalibracionih rastvora, rastvora referentnog materijala i nepoznatih uzoraka vršena su pri sledećim analitičkim uslovima (Tabela 1).

**Tabela 1.** Analitički uslovi određivanja bakra

Talasna dužina	324.8(nm)
Energija lampe	25(mA)
Širina šlita	0.7(nm)
Plamen	Acetilen-vazduh
Protok gasne smeše	1.8-22(l/min)
Visina brenera	7/6

Koristeći navedene analitičke uslove, na osnovu izmerenih intenziteta apsorbovane svetlosti za seriju kalibracionih standarda, konstruisana je kalibraciona kriva kao zavisnost apsorbanice od koncentracije kalibracionih rastvora (slika 1).



Slika 1. Kalibraciona kriva za sadržaj bakra u leguri PbSn20

## REZULTATI

Za ispitivanje tačnosti i pouzdanosti opisane metode, analiziran je uzorak referentnog materijala RPb15/46. Dobijeni su sledeći rezultati prikazani u Tabeli 2.

Tabela 2. Rezultati analize uzorka referentnog materijala RPb15/46

Oznaka uzorka	$c_{\text{AAS}}$ (%)	$c_{\text{sret}}$ (%)
RPb15/46	1.48	1.49

S obzirom da je analiza uzorka referentnog materijala pokazala dobro slaganje sa sertifikovanom vrednošću, urađena je i statistička obrada rezultata analiziranjem uzorka OM 541/2 dvadeset puta, srednja vrednost merenja ( $x_{\text{sr}}$ ), standardna devijacija ( $s$ ), relativna standardna devijacija (RSD) i interval poverenja pri 95% verovatnoći ( $\mu_{95\%}$ ) i rezultati su prikazani u Tabeli 3.

**Tabela 3.** Prikaz statističke obrade rezultata: srednja vrednost merenja ( $\bar{x}_{sr}$ ), standardna devijacija ( $s$ ), relativna standardna devijacija (RSD) i interval poverenja pri 95% verovatnoći ( $\mu_{95\%}$ )

Oznaka uzorka	$\bar{x}_{sr}$ (%)	$s$ (%)	RSD (%)	$\mu_{95\%}$ (%)
OM 541/2	0.857	0.0178	2.08	0.008

Urađena je i uporedna analiza za koncentracije bakra u nepoznatim uzorcima tehnikama atomske apsorpcione spektrofotometrije u plamenu i optičke emisione spektrometrije sa varnicom. Rezultati uporednih analiza prikazani su u Tabeli 4.

**Tabela 4.** Rezultati uporednih analiza tehnikama atomske apsorpcione spektrofotometrije u plamenu ( $c_{F-AAS}$ ) i optičke emisione spektrometrije sa varnicom ( $c_{OES}$ )

Oznaka uzorka	$c_{F-AAS}$ (%)	$c_{OES}$ (%)
OM-5	1.24	1.16
406/5	1.24	1.18
68/2	1.36	1.42
80/2	2.05	2.17
139/4	1.36	1.28

## ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazana je brza, tačna i precizna metoda za određivanje sadržaja bakra u leguri PbSn20 primenom atomskog apsorpcionog spektrofotometra sa plamenom atomizacijom. Cilj rada bio je ispitivanje i pronalaženje optimalnijih analitičkih uslova za određivanje bakra navedenom tehnikom.

Provera dobijenih analitičkih uslova izvršena je analizom uzorka referentnog materijala kao i uporednim analizama za sadržaj bakra u nepoznatim uzorcima primenom atomskog apsorpcionog spektrofotometra sa plamenom atomizacijom i optičkog emisionog spektrometra sa varnicom. Urađena je i statistička obrada rezultata. Koncentraciono područje određivanja je 0.1-10%.

Na osnovu analize referentnog materijala (Tabela 2) i uporednih analiza nepoznatih uzoraka (Tabela 4), može se zaključiti da se sadržaj bakra uspešno može analizirati tehnikom atomske apsorpcione spektrofotometrije sa plamenom atomizacijom. Odstupanja su u dozvoljenim granicama na ispitivanom nivou koncentracije.

**LITERATURA**

- [1] Sabioncello P., Filipović I., Opća i anorganska kemija, II, Zagreb, (1962).
- [2] Dozin M.C., Modern Methods of Analysis of Copper and its Alloys, London, (1963).
- [3] Grupa autora, Hemijsko tehnološki priručnik, V, Analitika, Beograd, (1988).
- [4] Perkin Elmer, User Manual, (1982).
- [5] Savić J., Savić M., Osnovi analitičke hemije-klasične metode, Svjetlost, Sarajevo, (1990).

UDK: 552.52:616-074(045)=861

HEMIJSKA ANALIZA GLINE SA LOKALITETA  
DUŠANOVAC KOD NEGOTINA

CHEMICAL ANALYSIS OF CLAY FROM THE LOCALITY  
DUSANOVAC NEAR NEGOTIN

Nevenka Petrović\*, Brankica Anđelić\*, Jelena Petrović\*

\*Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor

**Izvod**

*Za potrebe geoloških istraživanja, prikazane su analitičke metode za određivanje makro komponenti gline: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, CaO, H<sub>2</sub>O i gubitak žarenja. Iz kompozitnih uzoraka, pored navedenih oksida, određeni su MgO, MnO, SO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, pH i H<sub>2</sub>O<sup>+</sup>. U radu su dati kriterijumi za izbor analitičkih metoda. Radi utvrđivanja tačnosti rezultata, vršena je analiza elemenata primenom različitih metoda i tehnika.*

***Ključne reči:** glina, hemijski sastav, topljenje uzorka, analiza oksida,*

**Abstract**

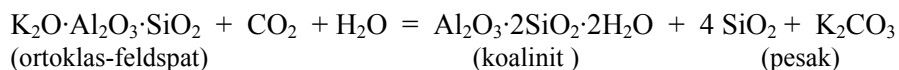
For the needs of geological explorations, the analytical methods were developed for determination the macro components of clays as well as SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, CaO, H<sub>2</sub>O and loss of annealing. The followings MgO, MnO, SO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, pH i H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> were determined from composite samples besides the mentioned oxides. This work gives the criteria for selection of analytical methods. For evaluation the result accuracy, an analysis of elements was carried out using the various methods and techniques.

**Key words:** clay, chemical content, sample melting, oxide analysis

**UVOD**

Hemijski sastav i fizičke osobine gline menjaju se u širokim granicama. Mada su gline smese različitih minerala, za skoro sve vrste zajednički mineral je kaolinit, Al<sub>2</sub>(Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)(OH)<sub>4</sub> (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O) i slični hidratizani alumo-silikati kao što je na primer ili koji sadrži nešto kalcijuma [1].

Glina je proizvod raspadanja feldspata ili feldspatnih (granitnih) stena: tipična reakcija pri raspadanju predstavlja se jednačinom:





Kiše spiraju rastvorni kalijum-karbonat, a pesak i drugi nerastvorni minerali zaostaju sa koalinitom: ova smesa je glina.

Gline mogu da sadrže i pirita, markasita, krečnjaka i drugih sastojaka. Fero i feri oksid, kalcijum-oksidi, magnezijum-oksidi i alkalni oksidi snižavaju tačku topljenja gline, tako da u nekim slučajevima nisu poželjni. Od prirodnih primesa oksidi gvožđa najčešće boje glinu. Pored pomenutih sastava, gline sadrže i organske supstance.

Zbog različitog odnosa oksida koji čine sastav gline, te raznih vrsta otpada stena i zemljišta, čine da geološki uzorak bude kompleksan za hemijsku analizu. Zato je cilj ovog rada da se pronađu adekvatne analitičke metode za određivanje sadržaja navedenih oksida. Iskustva u radu sa alumo-silikatima [2] pomogli su u izboru postupka za ispitivanje sastava gline sa lokaliteta Dušanovac kod Negotina.

## EKSPERIMENTALNI DEO

- Higroskopna voda,  $H_2O^-$ . Utvrđuje se određivanjem gubitka težine uzorka, sušenjem pri  $105^\circ\text{C}$ .
- Vezana voda,  $H_2O^+$ . Za određivanje vezane vode, dobre rezultate daje Penfildova metoda [3]
- Analiza  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $CaO$   
Za analizu makro oksida koji čine sastav gline, poslužila je metoda analize silikatnih stena [4]. Praškast uzorak razlaže se topljenjem sa Na-K karbonatom, nastali kolač tretira se hlorovodoničnom kiselinom, pri čemu se silicijumova kiselina dehidruje i odfiltrira. Žarena silicijumova kiselina tretira se HF i  $H_2SO_4$ , pa se tako iz gubitka težine određuje  $SiO_2$ . Ostatak posle isterivanja silicijum-dioksida, topljen je sa  $KHSO_4$ , lužen vodom i pridodat prvom rastvoru u balonu od topljenja sa smešom  $Na_2CO_3$  i  $K_2CO_3$ . Kad je sav uzorak razoren, iz rastvora su određeni ostali elementi:  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $CaO$
- Gubitak žarenja.(G. Ž.) Gubitak žarenja određuje se tretiranjem uzorka na temperaturi od  $1100^\circ\text{C}$ , pri čemu odlazi vezana voda, prisutne organske materije i eventualno prisutan ugljen-dioksid.
- Analiza  $MgO$ ,  $MnO$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $Cr_2O_3$ ,  
Ovi elementi analiziraju se iz posebne odvage, rastvaranjem uzorka u teflonu sa fluorovodoničnom i perhlornom kiselinom do suva. Suvi ostatak je rastvoren sa mineralnim kiselinama i iz dobijenog rastvora primenom atomske apsorpcione spektrofotometrije određuju pomenuti elementi.
- Sumpor(VI)-oksidi,  $SO_3$ , određen je gravimetrijski kao  $BaSO_4$  taloženjem sa  $BaCl_2$

- Reakcija na karbonate vršena je tretiranjem uzorka sa razblaženom hlorovodoničnom kiselinom i vizuelnim posmatranjem reakcije
- pH gline Za određivanje pH korišćen je standard [5].

## REZULTATI I DISKUSIJA

Za pripremu analitičkog uzorka koji služi za hemijsku analizu gline, geološki sirov uzorak morao se samleti, homogenizovati i osušiti. Visok sadržaj vlage (oko 20%) i plastičnost kao glavna fizička osobina gline, čine da priprema uzorka zahteva posebni tretman i vreme.

Empirijski sastav kaolina koji je približnog sastava  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , ukazuje na visok sadržaj silicijuma i aluminijuma u ispitivanim uzorcima gline. Prevođenje kvarca u rastvorne silikate vrši se topljenjem sa smešom natrijum i kalijum karbonata. Kako se ovo topljenje vrši u platinskom lončetu, jasno je da se svi materijali ne mogu direktno topiti da ne bi oštetili platinu. Ukoliko se pre topljenja izvrši kiselinsko rastvaranje uzorka, komponente koje smetaju platini prelaze u rastvor, a sulfidni sumpor u sulfatni.

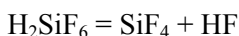
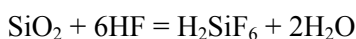
Početak hemijske analize vršen je na uzorcima prvih bušotina D1, gde su ova dva postupka primenjena: direktno topljenje i predhodna kiselinska obrada pa topljenje (tabela 1)

**Tabela 1.** Sadržaj  $\text{SiO}_2$ (%) dobijen direktnim topljenjem i predhodno kiselinskim rastvaranjem

Oznaka uzorka	% $\text{SiO}_2$	
	Direktno topljenje	Kis. Ras. + topljenje
D1 61-62	51.42	51.05
D1 63-64	54.28	54.42
D1 64-65	53.36	53.00
D1 67-68	53.44	52.96

Sadržaj  $\text{SiO}_2$  dobijen na dva načina pokazuje dobro slaganje, pa su ostali uzorci direktno topljeni. I mali sadržaj sumpora (oko 0.2%), dozvoljava direktno topljenje uzorka u platini [2].

Kako talog  $\text{SiO}_2$  posle žarenja može da bude onečišćen oksidima ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), neophodno je da se na žareni ostatak deluje fluorovodoničnom kiselinom, pri čemu će silicijum ispariti kao gasoviti  $\text{SiF}_4$  :



Pravi rezultat sadržaja silicijum-dioksida će se dobiti iz gubitka težine posle dejstva HF (tabela 1). Zaostali oksidi posle udaljavanja  $\text{SiF}_4$ , topljenji su sa

KHSO<sub>4</sub>, luženi vodom i dobijeni rastvor pripojen prvom rastvoru od topljenja sa smešom Na –K karbonatom.(balon od 250 ml ili 500 ml).

Kako je aluminijum-oksidi preveden u rastvor, za određivanje aluminijuma primenjene su dve tehnike (tabela 2): atomska apsorpciona spektrometrija sa indukovano spregnutom plazmom (ICP-AES) i atomska apsorpciona spektrofotometrija(AAS) u plamenu azot-suboksid/acetilen.

**Tabela 2.** Sadržaj Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> u glini rađeni ICP-AES i AAS

Oznaka uzorka	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
	ICP-AES	AAS
<b>Uzorak 1</b>	18.72	18.08
<b>2</b>	18.40	18.28
<b>3</b>	19.23	18.24
<b>4</b>	17.63	17.95
<b>5</b>	17.68	17.96
<b>6</b>	18.78	18.84
<b>7</b>	18.46	17.15

Za određivanje titan (IV)-oksida iz rastvora posle odvajanja silicijuma, primenjene su dve optičke metode hemijske analize: ICP-AES i spektrofotometrija (SF). Rezultati analize prikazani su u tabeli 3

**Tabela 3.** Uporedni rezultati određivanja TiO<sub>2</sub> iz gline

Oznak ispitivane gline	% TiO <sub>2</sub>	
	ICP	SF
<b>Uzorak 1</b>	0.80	0.90
<b>2</b>	0.78	0.84
<b>3</b>	0.73	0.78
<b>4</b>	0.82	0.80
<b>5</b>	0.76	0.82

Zbog prisustva visokog sadržaja alkalnih soli u rastvoru, aluminijum i titan iz uzoraka gline rađene su tehnikama AAS i SF.

Gvožđe i kalcijum rađeni su tehnikom AAS u plamenu vazduh-acetilen. Zbog prisustva velike koncentracije aluminijuma koji smeta kod određivanja kalcijuma u plamenu vazduh/acetilen, uzorci i standardi za kalcijum snimani su sa 5% lantanom [6].

Ispitivanja gline vršena su u blizini Negotina, kod Dušanovca. Bušotine su bile od D1 do D18 na po jedan metar, sa ukupno 585 uzoraka. Hemijski sastav makro komponenti nasumice izabranih uzoraka prikazani su u tabeli 4.

**Tabela 4.** Hemijski sastav gline sa lokaliteta Dušanovac kod Negotina

Oznaka bušotine/m	%H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	% SiO <sub>2</sub>	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% TiO <sub>2</sub>	% CaO	% G.Ž.
D1 (41-42)	20.60	53.94	18.13	6.82	0.88	4.66	10.55
D4 (8-9)	20.80	56.72	16.94	5.75	0.91	3.67	9.02
D6 (15-16)	19.80	60.24	16.63	4.93	0.86	2.99	8.10
D10 49-51	18.60	58.34	16.46	5.91	0.82	4.19	9.16
D12 20-21	21.60	60.00	16.41	6.23	0.85	2.38	8.87
D14 16-17	21.00	56.66	15.16	7.51	0.82	4.02	8.93
D16 9-8	21.60	58.10	16.18	6.20	10.86	4.67	8.45
Prosek min/max	18-22	50-60	14-18	5-7	0.7-0.9	3-6	8-10

Za svaku bušotinu pravljen je kompozit na po 10 m, iz kog su, pored već opisanih oksida, određivani sledeći elementi koji su prikazani u tabeli 5.

**Tabela 5.** Sadržaj oksida u kompozitnom uzorku gline D<sub>2</sub>

Elementi %	METRAŽA						
	0.7-11	11-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.02	16.60	16.49	16.87	16.59	16.63	15.92
SiO <sub>2</sub>	55.54	51.52	53.06	54.40	51.40	51.20	55.30
TiO <sub>2</sub>	0.85	0.84	0.92	0.83	0.82	0.88	0.82
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.93	6.24	5.93	5.50	6.30	6.06	5.75
CaO	4.97	4.41	4.69	4.16	4.34	5.39	4.51
MgO	1.89	2.10	1.87	1.93	1.92	2.18	1.92
SO <sub>3</sub>	0.14	0.13	0.37	0.33	0.39	0.32	0.37
FeO	0	0	0	0	0	0	0
K <sub>2</sub> O	1.81	1.92	1.67	1.87	1.80	1.88	2.02
Na <sub>2</sub> O	1.10	1.07	1.12	1.18	1.09	1.16	1.38
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.079	0.072	0.053	0.104	0.079	0.072	0.069
G.Ž.	10.28	11.51	11.03	10.63	11.82	11.90	9.95
Mn	0.0066	0.082	0.066	0.070	0.074	0.067	0.059
Cu	0.077	0.084	0.098	0.082	0.076	0.066	0.076
pH	7.60	7.76	7.87	7.84	7.97	8.03	7.63

Ukupan broj kompozitnih uzoraka za analizu gline bio je 65.

Iz posebne odvage vršeno je određivanje vezane vode. Dobijeni rezultati za glinu prikazani su u tabeli 6.

**Tabela 6.** Sadržaj vezane vode (%) u glini određen Penfildovom metodom

Oznaka	žuti D1	sivi D1	žuti D2	sivi D2	žuti D4	sivi D4	žuti D5	sivi D5
%H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	5.82	6.28	7.78	7.29	5.56	5.10	5.16	6.24

Osušena proba na 105-110°C žari se u penfildovoj cevi na plameniku sa duvaljkom do crvenog usijanja (600-700°C). Oslobodena voda kondenzuje se na hladnom delu penfildove cevi, i posle hlađenja na sobnoj temperaturi izmeri. Potom se cev ponovo stavi u plamenik da ispari kondenzovana voda i izmeri. Sadržaj vezane vode izračunava se iz razlike težina cevi. Dobijeni rezultati za glinu prikazani su u tabeli 6.

### ZAKLJUČAK

U ovom radu dat je prikaz ispitivanja hemijskog sastava gline sa lokaliteta Dušanovac kod Negotina za potrebe geoloških istraživanja. Opisan je postupak za razaranje uzorka, definisana odvaga za svaku grupu oksida, dato određivanje elemenata uz korišćenje više metoda i izbor analitičke metode za svaki element posebno. Tri različite odvage sa odgovarajućom pripremom, korišćene su za svaki geološki uzorak. Za kompozitne uzorake bilo je potrebno osam posebnih odvaga uz isto toliko načina razaranja. Primenjene su više analitičkih metoda za analizu elemenata: gravimetrija i optičke metode, AAS i SF. Iz svega zaključujemo da se na osnovu urađenog velikog broja pojedinačnih i kompozitnih uzoraka oko (650) i analiziranih komponenti, može utvrditi kvalitet ispitivane gline.

Izabrane metode poslužile su za analizu opita koji su rađeni na uzorcima glina.

### LITERATURA

- [1] Vitorović D., Hemijska tehnologija, Beograd, Minerva, (1973), str.165.
- [2] Bugarski P. i sar., Priručnik iz analitičke hemije bakra i njegovih pratioaca, Bor, Institut za bakar, (1977), str.180.
- [3] Jurezyk J., Lanz G., Methoden der Eisen-und Manganerzanalyse, Leipzig VEB, (1969), p. 34.
- [4] Kolthoff i Sandel, Anorganska kvantitativna analiza, Beograd, (1963).
- [5] Srpski standard, SRPS ISO 10390, (2007)
- [6] Perkin Elmer, Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrophotometry, (1990)

UDK: 628.54(045)=861

**PRIOLOG FORMIRANJU METODA UZORKOVANJA INDUSTRIJSKOG  
OTPADU U CILJU HARMONIZACIJE SA EVROPSKIM  
STANDARDIMA**

**CONTRIBUTION TO ESTABLISHMENT THE METHODS OF  
INDUSTRIAL WASTE SAMPLING IN ORDER TO RECONCILE WITH  
THE EUROPEAN STANDARDS**

Dragoljub Urošević\*, Zoran Popović\*, Minja Savić\*, Uroš Urošević\*\*

\*Institut za ispitivanje materijala a. d, Beograd

\*\*JKP Beogradski vodovod i kanalizacija, Beograd

**Izvod**

*Jedan od najvažnijih zadataka u okviru procesa ispitivanja i kategorizacije otpada, je postupak uzorkovanja otpada. Ovaj postupak direktno utiče na rezultate laboratorijskih ispitivanja i verodostojnost izvršene kategorizacije. Važan aspekt ovog zadatka trebao bi da bude i izrada tehničkog rešenja (seta) pribora za uzimanje uzoraka.*

*U današnjim uslovima razvoja, utvrđivanje postupaka (metoda) za uzorkovanje industrijskog otpada u Srbiji, treba da je u skladu i sa ciljevima harmonizacije srpskih sa evropskim standardima. Ovakav pristup najpre, zahteva rad na uporednoj analizi EU i srpskih standarda iz oblasti uzorkovanja otpada. Formiranjem adekvatne dokumentacije o standardu, trebalo bi obuhvatiti sve aktivnosti u vezi uzorkovanja otpada, od planiranja (na osnovu zahteva naručioca) uzorkovanje, do transporta uzoraka do laboratorija i načina njihovog čuvanja.*

***Ključne reči:** uzorkovanje, industrijski otpad, metode uzorkovanja, pribor za uzorkovanje, formiranje standarda.*

**Abstract**

*Method of waste sampling is one of the most important tasks in the process of waste testing and categorization. This process directly affects the results of laboratory tests and authenticity of performed categorization. An important aspect of this task should be development of technical solutions for sampling equipment.*

*In present conditions of development, establishment a sampling method for industrial waste in Serbia should be in accordance with objectives of reconciliation of Serbian with European Standards. This approach initially requires work on comparative analyses of Serbian and EU standards in the field of waste sampling. Formation of adequate documentation on standard should cover all activities related to the waste sampling, from planning (based on customer requests), sampling to transport of samples to the laboratories and methods of keeping.*

***Key words:** sampling, industrial waste, sampling methods, sampling equipment, standard formation*

**UVOD**

Utvrđivanje postupaka (metoda) za uzorkovanje industrijskog otpada u cilju harmonizacije sa evropskim standardima, najpre zahteva rad na uporednoj

analizi EU standarda i standarda objavljenih u Srbiji iz oblasti uzorkovanja otpada. Zatim je, neophodno definisati referentni sistem otpadnog materijala koji će biti predmet analize i za koji će se utvrditi metode uzorkovanja. Pri tome, izbor vrste otpada treba da je usklađen sa potencijalnim otpadom iz referentnog sistema i potrebnim kadrovskim i laboratorijskim kapacitetima akreditovane laboratorije. Važan aspekt ovog zadatka trebao bi da bude i izrada idejnog tehničkog rešenja pribora za uzimanje uzoraka. Verifikacija metoda u praksi obuhvatila bi: (1) praćenje definisanih metoda za uzorkovanje otpada, (2) primenu razvijenih pribora za uzimanje uzoraka i (3) Formiranje kompletne dokumentacije o tehničkom rešenju uzorkovača i proceduri uzorkovanja. Ovom dokumentacijom bi se obuhvatile sve aktivnosti u vezi uzorkovanja od planiranja (na osnovu zahteva naručioca) uzorkovanje do transporta uzoraka do laboratorija i načina njihovog čuvanja.

### **METODOLOGIJA**

Cilj izrade postupaka (metoda) za uzorkovanje industrijskog otpada je rešavanje jednog od najvažnijih zadataka u okviru postupka ispitivanja i kategorizacije otpada, jer postupak uzorkovanja otpada direktno utiče na rezultate laboratorijskih ispitivanja i verodostojnost izvršene kategorizacije. Osnovni zadatak u ovom cilju, predstavlja izradu kompletne analize postupka uzorkovanja za izabrane vrste otpada. Analiza obuhvata usklađivanje sa svetskim trendovima izbora najboljih metoda i tehnika uzorkovanja, uzimajući u obzir i postupke čuvanja otpada, te se zbog toga moraju uskladiti sa odgovarajućim EU standardima.

Sve aktivnosti treba da su usmerene na postupno i sveobuhvatno rešavanje postavljenog zadatka i cilja. U tome je, veoma važan, prvi korak koji bi podrazumevao detaljnu analizu postojećeg stanja zakonodavstva i standardizacije u Srbiji iz ove oblasti sa jedne strane, i njeno poređenje sa odgovarajućim standardima propisanim u EU. Ova analiza donela bi kao rezultat zaključak o budućem predmetu izrade zakona i standarda iz ove oblasti u Srbiji. Time bi se i specifičnosti otpada iz domaće industrije i njihove analize približile Evropskim tokovima.

Sledeći korak bi obuhvatio izbor referentnog sistema vrste industrijskog otpada. Pri tome, bi trebalo da se vodi računa o usklađivanju izbora vrsti industrijskog otpada, koje prate delatnosti iz referentnog sistema i mogućnosti postojećih laboratorija i planova razvoja industrijske delatnosti. Referentni sistem vrsta industrijskog otpada, trbao bi da obuhvati industrijske grane iz kojih bi se prikupljao otpad, a to bi bile: rudarstvo, metalurgija, građevinarstvo i metaloprerađivačka industrije. Sledeći od osnovnih zadataka bio bi selekcija metoda za uzorkovanje otpada. Ovo podrazumeva detaljnu analizu postojećih metoda uzorkovanja, od kojih se neke već primenjuju u Srbiji. Detaljna analiza metoda uzorkovanja u poređenje sa metodama u EU standardima, pomoći će pri izboru metoda uzorkovanja izabranih vrsta otpada.

U okviru formiranja metoda za uzorkovanje treba detaljno opisani način uzimanja

uzorka, pribor za uzorkovanje, obim (ekvivalentna i optimalna količina) uzoraka, način transporta i čuvanja uzoraka i potrebna obučena osoba koje uzimaju uzorke.

Nakon formiranja metoda uzorkovanja potrebno je sprovesti njihovu verifikaciju u praksi. Pri tome bi se eventualno, odstupanje od teorijskih postavki rešavalo u skladu sa poznavanjem standarda, karakteristika otpada i načina njegovog laboratorijskog ispitivanja. Ovakav postupak rešavanja doprineo bi daljem razvoju metoda uzorkovanja.

Posebnu pažnju treba posvetiti formiranju dokumentacije o proceduri uzorkovanja. Veoma je važno da dokumentacija koja prati proces uzorkovanja predstavlja neprekidni tok informacija, obuhvata sve informacije potrebne za laboratorijska ispitivanja i karakterizaciju otpada. Razvijene procedure treba da omoguće precizno uzorkovanje od strane obučanih tehničkih lica.

Na kvalitet budućeg ispitivanja uzoraka od velike važnosti su način i uslovi čuvanja uzetih uzoraka. Zbog toga, u okviru ove procedure, treba predvideti i definisanje propisa i uslova čuvanja uzoraka prema vrstama otpada.

## **REZULTAT**

Ključne aktivnosti u ovom postupku bile bi: (1) pregled EU standarda koji se odnose na tematiku otpada, (2) pregled važećih standarda u Srbiji koji se odnose na tematiku otpada, (3) uporedna analiza standarda, (4) referentni sistem industrijskog otpada (otpad vezan za rudarstvo, metalurgiju, građevinarstvo i metaloprerađu), (5) selekcija metoda za uzorkovanje otpada, (6) formiranje metoda za uzorkovanje otpada, (7) idejno tehničko rešenje pribora za uzimanje uzoraka, (8) verifikacija metoda u praksi, (9) model formiranja dokumentacije i procedure uzorkovanja i (10) čuvanje uzoraka.

Zainteresovane strane i potencijalni korisnici rezultata ovakvog postupka bi bili: (1) ministarstva u Vladi Srbije odgovorna za razvoj nauke i tehnologije i zaštitu životne sredine, (2) privredna komora Srbije i (3) privredna društva u oblasti rudarstva, metalurgije, građevinarstva i metaloprerađe. Na ovaj način bi sve pomenute zainteresovane strane učestvovala (svaka na svoj način), u kontroli zagađenja u životnoj sredini (voda, vazduh, tlo, otpad), za identifikovane crne tačke, a na osnovu nove metode/tehnike razvijene na bazi srpskih propisa, harmonizovanih sa međunarodnim zahtevima.

## **ZAKLJUČAK**

Opisanom metodologijom postiglo bi se više ciljeva, od kojih se ističu sledeća tri: (1) definisanje metoda uzorkovanja industrijskog otpada iz referentnog opsega, koje bi bile harmonizovane sa EU standardima, (2) formiranje podloga za idejno rešenje pribora za uzimanje uzoraka industrijskog otpada iz referentnog opsega, prema definisanim metodama i (3) izrada procedura za uzimanje i čuvanja uzoraka. Time bi se, kao indikator uspeha, obezbedila realna podloga za „standard o metodama uzimanja uzoraka industrijskog otpada“ iz referentnog opsega.



Stvorile bi se i mogućnosti za obogaćivanje znanja i sagledavanje vrste, kvaliteta i savremenosti opreme u vlasništvu laboratorija i koja mora da se nabavi, za realizaciju preciznih ispitivanja fizičko-hemijskih karakteristika industrijskog otpada, za klasifikaciju otpada za prekogranična kretanja otpada i za klasifikaciju otpada za tretman i odlaganje.

Predstavljeni model je nastao kao rezultat istraživanja na projektu „Istraživanje, razvoj i primena metoda i postupaka ispitivanja, kontrolisanja i sertifikacije nemetalnih građevinskih proizvoda, otpadnih materijala i upravljanje rizikom u skladu sa međunarodnim standardima“ ev. br. 19017. Projekat je finansirao Ministarstvo za nauku i tehnologiju Srbije. Istraživanjima su postignuto da je usaglašavanjem procedure utorkovanja industrijskog otpada sa zahtevima evropskih normi, realizovan i postupak harmonizacije i omogućena eventualna izrada adekvatnog zakonskog regulativa.

#### LITERATURA

- [1] D. P. Nikitin, Okružajoščaja sreda i čelovek, Viša škola, Moskva, (1980).
- [2] M. R. Ilić, S. R. Miletić, Osnovi upravljanja čvrstim otpadom, Beograd, (1998).
- [3] B. S. Saini, Building environment, Melburn, (1980).
- [4] G. Schumacher Gappingen, Recycling-baustoffe aus Deponie und Abbruchmaterial
- [5] H. Maurer, Herten, Novel Crucher Technology for Economic
- [6] O. K. W. Heinsoth, Economic Recycling of Demolition Material, AT 31(1990), Nr 104. S. Maltezou, Industrial risk management and clean technology, Orac Wien, (1990).
- [7] Hervert F. Lung, Recicling hand book, The Graw-Hill, (1993).
- [8] J. Hasaisch i dr, Aspects of Processing Technbiques for recycling of Building Material, Mogdebur, AT 32(1991) Nr 1
- [9] R. Beckmann i dr., Bewartung von Separationsvertarhren fur Kommunalen Restmul, AT 34 (1993), Nr 6
- [10] O. K. W. Heinsoth, Economic Recycling of Demolition Material, AT 31(1990), Nr 10
- [11] D. Salatić, D. Knežević, Tehnološke osnove projektovanja postrojenja za pripremu mineralnih sirovina, Rudarski institut Beograd, (1999).

## UPUTSTVO AUTORIMA

Časopis BAKAR izlazi dva puta godišnje i objavljuje naučne, stručne i pregledne radove. Za objavljivanje u časopisu prihvataju se isključivo originalni radovi koji nisu prethodno objavljivani i nisu istovremeno podneti za objavljivanje negde drugde. Radovi se anonimno recenziraju od strane recenzenta posle čega redakcija donosi odluku o objavljivanju. Rad priložen za objavljivanje treba da bude pripremljen prema standardima časopisa Bakar da bi bio uključen u proceduru recenziranja. Neodgovarajuće pripremljeni rukopisi biće vraćeni autoru na doradu.

### Standardi za pripremu rada

*Obim i font.* Rad treba raditi u Microsoft Wordu novije verzije, fontom Times New Roman veličine 12 sa razmakom 1,5 reda. Preporučuje se da celokupni rukopis ne bude manji od 5 strana i ne veći od 10 strana.

*Naslov rada.* Iznad naslova rada piše se ime (imena) autora i institucija (institucije) u kojoj radi (rade). Ne preporučuje se da na radu budu više od tri autora. Uz ime prvog autora treba staviti fusnotu koja sadrži elektronsku adresu autora. Ukoliko rad potiče iz doktorske ili magistarske teze u fusnoti treba da stoji i naziv teze, mesto i fakultet na kojem je odbranjena. Za radove koji potiču iz istraživačkih projekata treba navesti naziv i broj projekta, finansijera i instituciju u kojoj se realizuje.

*Izvod.* Izvod dužine 150-300 reči nalazi se na početku rada i sadrži cilj rada, primenjene metode, glavne rezultate i zaključke.

*Ključne reči.* Ključne reči se navode iza rezimea. Treba da ih bude minimalno 3, a maksimalno 6.

*Naslov rada, izvod i ključne reči* treba da budu prevedeni na engleski jezik.

*Osnovni tekst.* Radove treba pisati jezgrovito, razumljivim stilom i logičkim redom koji, po pravilu, uključuje uvodni deo s određenjem cilja ili problema rada, opis metodologije, prikaz dobijenih rezultata, kao i diskusiju rezultata sa zaključcima i implikacijama.

*Reference u tekstu.* Imena stranih autora u tekstu se navode u originalu ili u srpskoj transkripciji, fonetskim pisanjem prezimena, a zatim se u zagradi navodi izvorno, uz godinu publikovanja rada, npr. Miler (Miller, 1957). Kada su dva autora rada, navode se prezimena oba, dok se u slučaju većeg broja autora navodi prezime prvog i skraćenica "i sar." ili "et al."

*Citati.* Svaki citat, bez obzira na dužinu, treba da prati referenca sa brojem strane. Za svaki citat duži od 350 znakova autor mora da ima i da priloži pismeno odobrenje vlasnika autorskih prava.

*Spisak literature.* Na kraju teksta treba priložiti spisak literature koja je navođena u tekstu. Bibliografska jedinica knjige treba da sadrži prezime i inicijale imena autora, godinu izdanja, naslov knjige (kurzivom), mesto izdanja i izdavača, npr:

*Poglavlje* u knjizi navodi se na sledeći način:

[1] Willis B. A.: Mineral Processing Technology, Oxford, Pergamon Press (1979), str. 35.

Članak u časopisu navodi se na sledeći način: autor, godina izdanja (u zagradi), naslov članka, puno ime časopisa (kurzivom), volumen (boldovan), broj i stranice npr:

[2] Petković S., Ivković M. 1(2001): Ocena perspektivnosti otvaranja Rudnika sa podzemnom eksploatacijom u despotovačkom i mlavsko-petrovačkom basenu, Časopis Rudarski Radovi, Bor, 1, str. 66-70.

Web dokument: ime autora, godina, naziv dokumenta (kurzivom), datum kada je sajt posećen, internet adresa sajta, npr:

Degelman, D. (2000). APA Style Essentialis. Retrieved May 18, 2000. from WWW: <http://www.vanguard.edu/psychology/apa.pdf>

Kada se isti autor navodi više puta poštuje se redosled godina u kojima su radovi publikovani. Ukoliko se navodi veći broj radova istog autora publikovanih u istoj godini, radovi treba da budu označeni slovima uz godinu izdanja npr. 1999a, 1999b...

Navođenje neobjavljenih radova nije poželjno, a ukoliko je neophodno treba navesti što potpunije podatke o izvoru.

*Slike i tabele.* Svaka ilustracija i tabela mora biti razumljiva i bez čitanja teksta, odnosno, mora imati redni broj, naslov i legendu (objašnjenja oznaka, šifara i skraćenica).

Adresa redakcije je: **Časpis BAKAR**

**Institut za rudarstvo i metalurgiju,**

**Naučnotehnoška informatika,**

**Zeleni bulevar 35, 19210 Bor**

E-mail: [nti@irmbor.co.rs](mailto:nti@irmbor.co.rs)

Radovi se šalju elektronskom poštom ili u drugom elektronskom obliku, kao i na PTT adrese.

Za obaveštenja koristiti telephone: 030/454-109; 030/454-254

*Svim autorima se zahvaljujemo na saradnji.*

**SADRŽAJ**  
**CONTENS**

---

A. Milosavljević, B. Čadenović, M. Ćirković, A. Ivanović <b>STVARANJE MAGNETITA U PROCESU KONVERTOROVANJA</b> MAGNETITE PRODUCTION IN THE CONVERTING PROCESS.....	1
A. Ivanović, V. Gardić, T. Apostolovski-Trujić <b>POSTUPAK TOPLOG CINKOVANJE SA ASPEKTA</b> <b>NASTAJANJAČVRSTOG OTPADA - EKOLOŠKI METOD</b> <b>POVRŠINSKE ZAŠTITE GVOŽĐA I ČELIKA</b> HOT-DIP GALVANIZATION PROCESS AS AN ECOLOGICAL METHOD FOR SURFACE PROTECTION OF IRON AND STEEL .....	7
V. Gardić, A. Ivanović, T. Apostolovski-Trujić, S. Stanković <b>ANAEROBNI TRETMAN OTPADNIH VODA</b> ANAEROBIC TREATMENT OF WASTEWATER .....	15
T. Apostolovski-Trujić, A. Ivanović, V. Gardić <b>RECIKLAŽA ELEKTRONSKOG OTPADA</b> RECYCLING OF ELECTRONIC WASTE MATERIALS.....	21
V. Marjanović, V. Cvetković-Stamenković <b>OTPADNI BAKAR KAO SEKUNDARNA SIROVINA</b> WASTE COPPER AS SECONDARY RAW MATERIALS.....	29
Lj. Todorović, R. Todorović, M. Šteharik <b>ODREĐIVANJE SADRŽAJA BAKRA U LEGURI PbSn20</b> <b>TEHNIKOM ATOMSKE APSORPCIONE</b> <b>SPEKTROFOTOMETRIJE SA PLAMENOM ATOMIZACIJOM</b> DETERMINATION OF COPPER CONTENT IN PbSn20 ALLOY BY ATOMIC ABSORPTION SPECTROPHOTOMETRY TECHNIQUE WITH FLAME ATOMISATION .....	37
N. Petrović, B. Anđelić, J. Petrović <b>HEMIJSKA ANALIZA GLINE SA LOKALITETA</b> <b>DUŠANOVAC KOD NEGOTINA</b> CHEMICAL ANALYSIS OF CLAY FROM THE LOCALITY DUSANOVAC NEAR NEGOTIN .....	43
D. Urošević, Z. Popović, M. Savić, U. Urošević <b>PRILOG FORMIRANJU METODA UZORKOVANJA</b> <b>INDUSTRIJSKOG OTPADA U CILJU</b> <b>HARMONIZACIJE SA EVROPSKIM STANDARDIMA</b> CONTRIBUTION TO ESTABLISHMENT THE METHODS OF INDUSTRIAL WASTE SAMPLING IN ORDER TO RECONCILE WITH THE EUROPEAN STANDARDS .....	49

---