

INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR



Cu

UDC 669.3
ISSN 0351-0212

Broj 2 Volumen 36 2011

BAKAR COPPER



BAKAR je časopis baziran na bogatoj tradiciji stručnog i naučnog rada ne samo iz oblasti dobivanja i prerade bakra, već i iz oblasti obojene i crne metalurgije, tehnologije, nanotehnologije, hemije, pripreme mineralnih sirovina, zaštite životne sredine, energetske efikasnosti, i primenjene informatike i povezanih srodnih oblasti. Izlazi dva puta godišnje još od 1968. godine.

Glavni i odgovorni urednik

Dr Milenko Ljubojev, *naučni savetnik, redovni član IAS*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
E-mail: milenko.ljubojev@irmbor.co.rs
Tel. 030/454-110

Zamenik glavnog i odgovornog urednika

Dr Ana Kostov, *naučni savetnik, dopisni član IAS*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
E-mail: ana.kostov@irmbor.co.rs
Tel. 030/454-108

Urednik

Vesna Marjanović, *dipl.inž.*

Prevodilac

Nevenka Vukašinović, *prof.*

Tehnički urednik

Suzana Cvetković, *teh.*

Priprema za štampu

Ljiljana Mesarec, *teh.*

Štampa: Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

Tiraž: 100 primeraka

Internet adresa

www.irmbor.co.rs

Izdavanje časopisa finansijski podržavaju

Ministarstvo prosvete i nauke
Republike Srbije
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

ISSN 0351-0212

Indeksiranje časopisa u SCIndeksu i u ISI.
Nacionalni časopis kategorije M52

Izdavač

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
19210 Bor, Zeleni bulevar 35
E-mail: institut@irmbor.co.rs
Tel. 030/436-826

Sva prava zadržana.

Uredivački odbor

Dr Vlastimir Trujić, *viši naučni saradnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Prof. dr Milan Antonijević, *red. prof.*
Tehnički fakultet Bor
Dr Mile Bugarin, *viši naučni saradnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Prof. dr Tatjana Volkov Husović, *vanr. prof.*
Tehnološko-metalički fakultet Beograd
Doc. dr Milica Gvozdenović, *docent*
Tehnološko-metalički fakultet Beograd
Doc. dr Mile Dimitrijević, *docent*
Tehnički fakultet Bor
Prof. dr Dragana Živković, *red. prof.*
Tehnički fakultet Bor
Prof. dr Nedeljko Magdalinović, *red. prof.*
Fakultet za menadžment Zaječar
Dr Lidija Mančić, *viši naučni saradnik*
Institut tehničkih nauka SANU
Prof. dr Desimir Marković, *red. prof.*
Tehnički fakultet Bor
Dr Aleksandra Milosavljević, *naučni saradnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Prof. dr Duško Minić, *vanr. prof.*
Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica
Dr Milanče Mitovski
RTB - TIR Bor
Dr Miroslav Sokić, *naučni saradnik*
Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina Beograd
Prof. dr Jasmina Stevanović, *vanr. prof.*
IHTM-Centar za elektrohemiju Beograd
Dr Srećko Stopić
RWTH Aachen, IME Aachen, Nemačka
Dr Nadežda Talijan, *naučni savetnik*
Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju Beograd
Dr Viša Tasić, *naučni saradnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Prof. dr Vasyl Tomashyk, *red. prof.*
Ukrajinska nacionalna akademija nauka, Institut za poluprovodničku fiziku Kijev
Dr Dejan Trifunović, *naučni saradnik*
Tehnološko-metalički fakultet Beograd

COPPER is a journal based on the rich tradition of expert and scientific work not only in the field of copper production and treatment, but also in the field of non-ferrous and ferrous metallurgy, technology, nanotechnology, chemistry, mineral processing, ecology, energy efficiency, applied informatics, as well as related fields of science. Since 1968, published twice a year.

Editor-in-Chief

Ph.D. Milenko Ljubojev, *Principal Research Fellow, full member of ECS*
Mining and Metallurgy Institute Bor
E-mail: milenko.ljubojev@irmbor.co.rs
Phone: +38130/454-110

Co-Editor

Ph.D. Ana Kostov, *Principal Research Fellow, corresponding member of ECS*
Mining and Metallurgy Institute Bor
E-mail: ana.kostov@irmbor.co.rs
Phone: +38130/454-108

Editor

Vesna Marjanović, *B.Eng.*

English Translation

Nevenka Vukašinović

Technical Editor

Suzana Cvetković

Preprinting

Ljiljana Mesarec

Printed in: Mining and Metallurgy Institute Bor

Circulation: 100 copies

Web site

www.irmbor.co.rs

COPPER is financially supported by

The Ministry of Education and Science of the Republic Serbia
Mining and Metallurgy Institute Bor

ISSN 0351-0212

Journal indexing in SCIndex and ISI.

National Scientific Journal categorization M52

Published by

Mining and Metallurgy Institute Bor
19210 Bor, Zeleni bulevar 35
E-mail: institut@irmbor.co.rs
Phone: +38130/436-826

All rights reserved.

Editorial Board

Ph.D. Vlastimir Trujić, *Senior Research Associate*
Mining and Metallurgy Institute Bor
Prof.Ph.D. Milan Antonijević,
Technical Faculty Bor
Ph.D. Mile Bugarin, *Senior Research Associate*
Mining and Metallurgy Institute Bor
Prof.Ph.D. Tatjana Volkov Husović
Faculty of Technology and Metallurgy Belgrade
Ph.D. Milica Gvozdenović
Faculty of Technology and Metallurgy Belgrade
Ph.D. Mile Dimitrijević
Technical Faculty Bor
Prof.Ph.D. Dragan Živković
Technical Faculty Bor
Prof.Ph.D. Nedeljko Magdalinović
Faculty of Management Zaječar
Ph.D. Lidija Mančić, *Senior Research Associate*
Institute of Technical Science of SASA
Prof.Ph.D. Desimir Marković
Technical Faculty Bor
Ph.D. Aleksandra Milosavljević, *Research Associate*
Mining and Metallurgy Institute Bor
Prof.Ph.D. Duško Minić
Faculty of Technical Sciences Kosovska Mitrovica
Ph.D. Milanče Mitovski
RTB - TIR Bor
Ph.D. Miroslav Sokić, *Research Associate*
Institute for Technology of Nuclear and Other Raw Materials Beograd
Prof.Ph.D. Jasmina Stevanović
IHTM-Department of Electrochemistry Belgrade
Ph.D. Srećko Stopić
RWTH Aachen, IME Aachen, Germany
Ph.D. Nadežda Talijan, *Principal Research Fellow*
Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy Belgrade
Ph.D. Viša Tasić, *Research Associate*
Mining and Metallurgy Institute Bor
Prof.Ph.D. Vasyl Tomashyk,
Institute for Semiconductor Physics of National of Sciences of Ukraine Kyiv
Ph.D. Dejan Trifunović, *Research Associate*
Faculty of Technology and Metallurgy Belgrade

BAKAR 36 (2011) 2 COPPER

UDK: 669.046:669.3(045)=861

ORIGINALNI NAUČNI RAD

Oblast: Metalurgija

TERMODINAMIČKA I KINETIČKA ANALIZA PROCESA PRŽENJA BAKARNE ŠARŽE

THERMODYNAMIC AND KINETIC ANALYSIS OF THE COPPER BATCH ROASTING PROCESS

Vladan Andrejić¹, Milorad Ćirković¹,
Aleksandra Mitovski², Ivan Mihajlović², Nada Šrbac²

¹Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor,

²Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet, Bor

Izvod

U radu su prikazani rezultati termodinamičkih i kinetičkih ispitivanja procesa oksidacionog prženja šarže sastavljene od sulfidnih koncentrata bakra, dobijenih iz različitih ležišta. Ispitivanje procesa prženja bakarne šarže važno je iz praktičnih razloga, obzirom da se ona prerađuje u realnom topioničkom postupku dobijanja bakra. Karakterizacija polaznih uzoraka i produkata oksidacije na karakterističnim temperaturama izvršena je pomoću termijske i X-Ray analize. Konstruisani su PSD dijagrami zavisnosti $\log \log P_{S_2} - \log P_{O_2}$ za sisteme Cu-S-O i Cu-Fe-S-O na osnovu kojih su određene oblasti stabilnosti pojedinih faza. Na osnovu eksperimentalnih rezultata procesa, urađena je i kinetička analiza po metodi Sharpa i određeni odgovarajući kinetički parametri.

Ključne reči: termijska analiza, oksidacija, sistem Cu-Fe-S-O.

Abstract

The results of thermodynamic and kinetic investigation of the process of oxidative roasting batches consisting of sulphide copper concentrate, obtained from different deposits are presented in this paper. Testing copper batch roasting process it is important for practical reasons, since it is processed in real copper smelting process of copper obtaining. Characterization of the starting samples at the characteristic temperatures was done using thermal and X-ray diffraction analysis. Phase stability diagrams $\log P_{S_2} - \log P_{O_2}$ for the Cu-S-O and Cu-Fe-S-O systems have been constructed, while the possibility and sequence of oxidacion reactins of presented sulphides

¹ E-mail: vandrejbor@gmail.com

have been determined. Based on the experimental results of the process, kinetic analysis of roasting process according to the Sharp method was performed and characteristic kinetic parameters were determinated.

Key words: thermal analysis, oxidation, system Cu-Fe-S-O

UVOD

U konvencionalnoj proizvodnji bakra polazna sirovina je šarža, koja je sastavljena od sulfidnih koncentrata bakra i topitelja. Imajući u vidu da je procenat bakra u pojedinim koncentratima nizak, formiranje šarže adekvatnog sastava, se obavlja mešanjem koncentrata dobijenih iz različitih rudnih ležišta. Na taj način, postiže se odgovarajući sastav bakarne šarže, odnosno sadržaj bakra u njoj kako bi se povećala ekomska opravdanost pirometalurškog postupka dobijanja bakra. Obzirom na veliki značaj sulfidnih minerala u metalurgiji teških obojenih metala, proces oksidacije različitih sulfida bakra bio je predmet proučavanja mnogobrojnih autora [1 do 8].

EKSPERIMENTALNI DEO

Za eksperimentalna ispitivanja, čiji se rezultati prezentuju u ovom radu korišćen je uzorak šarže, Š-1, formiran od različitih sulfidnih koncentrata bakra dobijenih iz rudnika Majdanpek, Veliki Krivelj i Bor, Srbija.

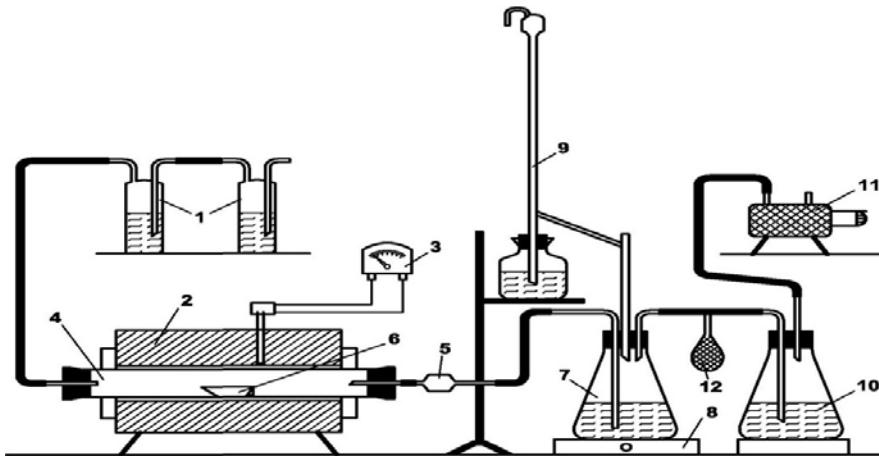
Hemijski sastav polaznog uzorka određen je metodama: atomske emisione spektroskopije sa indukovanim kuplovanom plazmom (ICP-AES), atomskom apsorpcionom spektrofotometrijom (AAS) i elektrogravimetrijom.

Termijska analiza je urađena u atmosferi vazduha, a za ispitivanja je korišćen uređaj za DTA i TG analize NETZSCH STA 409EP i DERIVATOGRAPH 1500 (MOM Budapest).

Za karakterizaciju polaznog uzorka i produkata oksidacije korišćen je difraktometar za prah PHILIPS PW 1710.

REZULTATI I DISKUSIJA

Kinetička istivanja procesa oksidacionog prženja koncentrata bakra u izotermiskim uslovima vršena su na aparaturi koja je prikazana na slici 1.

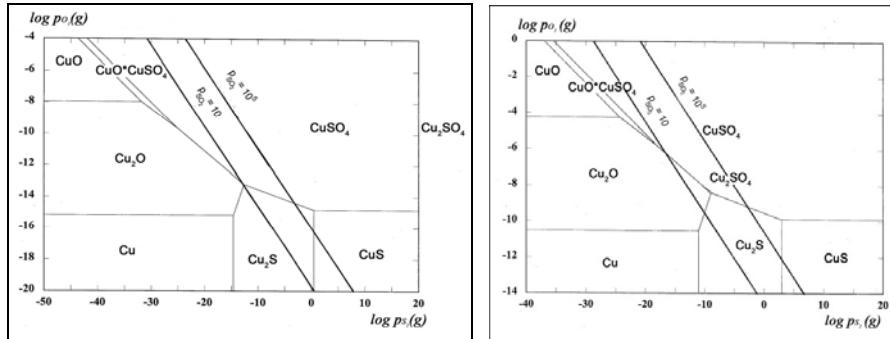


Sl. 1. Aparatura za ispitivanja procesa oksidacionog prženja u izotermiskim uslovima

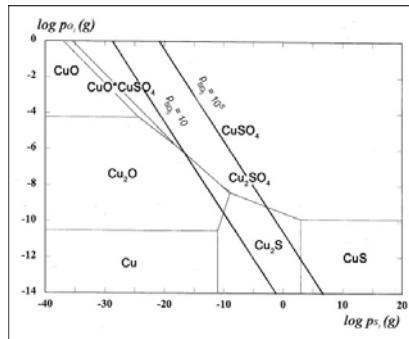
- 1 – ispiralica;
- 2 - marsova peć;
- 3 – pirometar;
- 4 - staklena cev;
- 5 – filter za gas;
- 6 - lađica za probu;
- 7 - apsorpciona posuda;
- 8 - magnetna mešalica;
- 9 - automatska bireta;
- 10 - kontrolna apsorpciona posuda;
- 11 - vakuum pumpa;
- 12 – ručna pumpa za ispiranje cevi.

Na osnovu poznatih termodinamičkih vrednosti za reakcije koje se odvijaju u sistemu Cu - S - O i Fe - S - O [9-11], konstruisani su dijagrami stabilnosti navedenih sistema. PSD dijagrami su predstavljeni zavisnošću $\log P_{S_2} - \log P_{O_2}$ tipičnom za oksidacioni proces pri različitim temperaturama i različitim vrednostima P_{SO_2} .

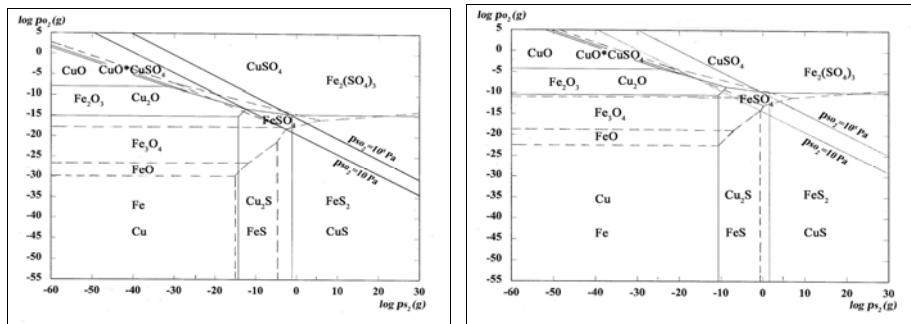
Na slikama 2 do 5 prikazani su PSD dijagrami sistema Cu-S-O i Cu-Fe-S-O na različitim temperaturama.



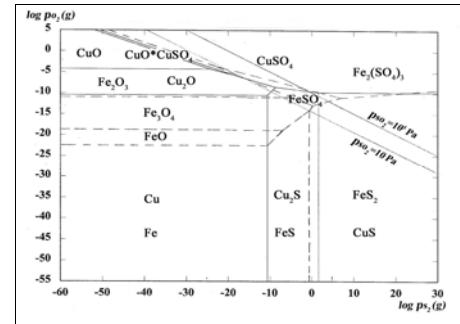
Sl. 2. PSD dijagram sistema Cu-S-O na temperaturi od 773 K



Sl. 3. PSD dijagram sistema Cu-S-O na temperaturi od 973 K



Sl. 4. PSD dijagram sistema Cu-Fe-S-O na temperaturi od 773 K



Sl. 5. PSD dijagram sistema Cu-Fe-S-O na temperaturi od 973 K

Dobijeni PSD dijagrami potvrđuju da su sulfidi nestabilni u kiseoničnoj atmosferi pri čemu se njihova oksidacija odvija po različitim mehanizmima, zavisno od temperature i parcijalnog pritiska gasovitih komponenti u sistemu. Pri nižim temperaturama, oksidacija se odvija uz obrazovanje sulfata, dok sa porastom temperature oksidacija teče uz obrazovanje oksida.

Polazni uzorak bakarne šarže ima sledeći hemijski sastav, tabela 1.

Tabela 1. Hemski sastav uzorka bakrne šarže Š-1

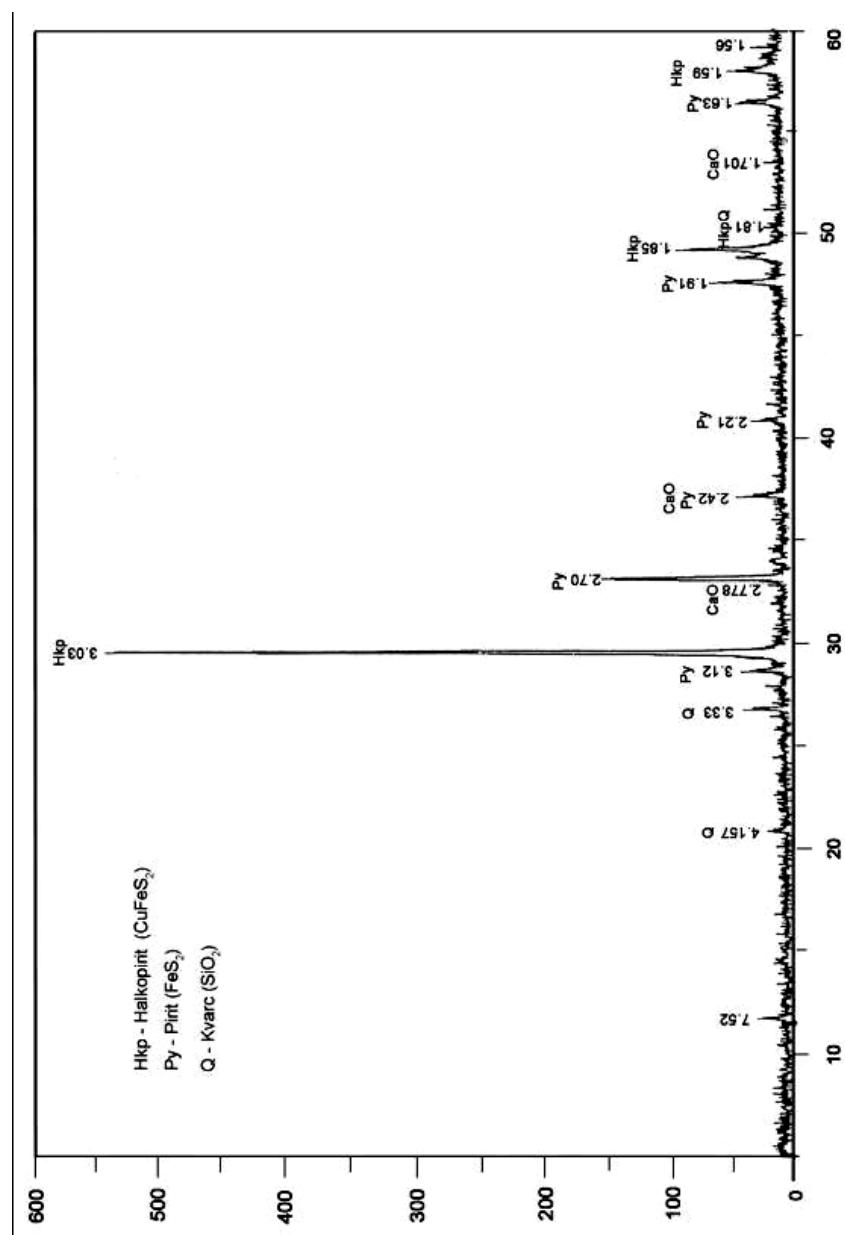
Komponenta	Sadržaj , %
Cu	17,06
Fe	27,70
S	32,28
CaO	1,75
Al ₂ O ₃	2,79
SiO ₂	1,2
Pb	0,20
Zn	0,61
As	0,063
Ag	23,0 (g/t)
Au	2,8 (g/t)
Ostalo	16,34

Dobijeni rezultati hemijske analize ukazuju da je sadržaj bakra u ispitivanom uzorku 17,06%, sadržaj sumpora 32,28%, i železo je u uzorku prisutno sa 27,70%.

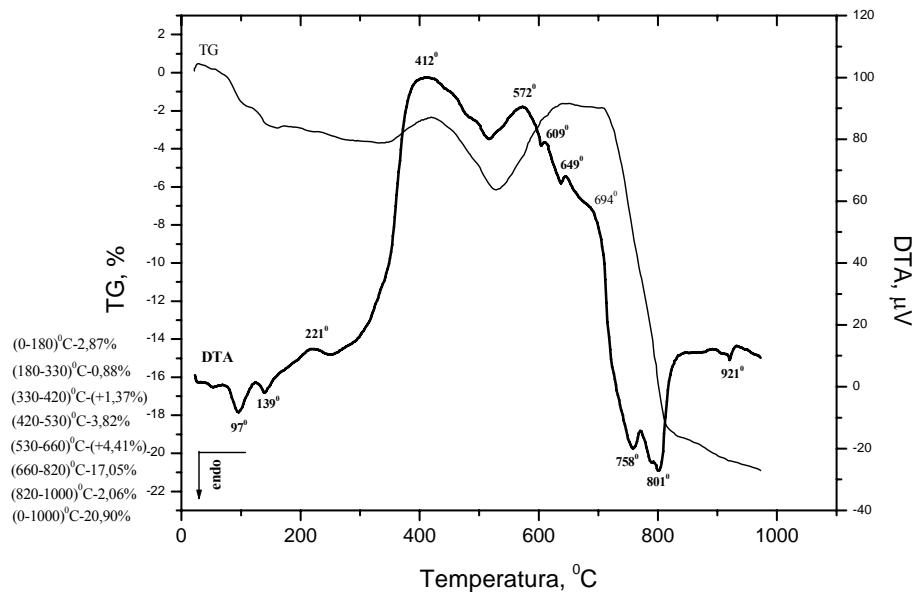
Na slici 6 prikazani su rezultati rendgensko-difrakcione analize za polazni uzorak bakarne šarže. Dobijeni rezultati rentgeno-difrakcione analize pokazuju da je dominantan mineral halkopirit (CuFeS_2), a da su u šarži prisutni pirit (FeS_2) i kvarc (SiO_2).

Na osnovu tabele 2 i slike 6 može se reći da je šarža sačinjena od vrlo čistih komponenti, odnosno da je u pitanju halkopiritni koncentrat koji je najpoželjniji za pirometaluršku preradu.

Termijska analiza (DTA i TG) za ispitivani uzorak bakarne šarže urađena je u atmosferi vazduha, pri brzini zagrevanja od 10 °/min i maksimalnoj temperaturi zagrevanja od 1000°C, a dobijeni rezultati prikazani su na slici 7.



Sl. 6. Rezultati rendgensko-difrakcionne analize za polazni uzorak bakarne šarže

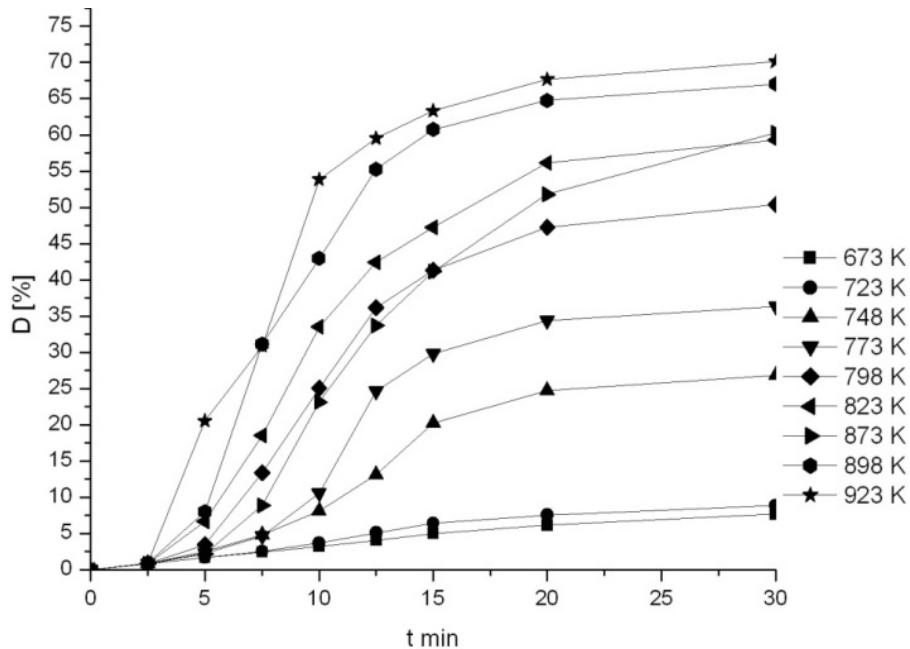


Sl. 7. Termijska analiza polaznog uzorka bakarne šarže

Na osnovu dobijenih rezultata, za uzorak bakarne šarže, slika 7, može se uočiti endotermni pik na DTA krivoj, koji se odražava gubitkom mase na TG krivoj, što odgovara gubitku vlage u uzorku. Dalji porast temperature iznad 573K, uslovljava pojavu više egzoternih pikova (DTA kriva), koji prati porast ili i gubitak mase na TG krivoj, a odgovaraju nastajanju sulfata i oksida komponenata bakarne šarže. Sa porastom temperature iznad 973K, na DTA krivoj javljaju se endotermni pikovi, praćeni gubitkom mase na TG krivoj, i predstavljaju razlaganje nastalih sulfata.

Kinetika procesa oksidacionog prženja bakarne šarže urađena je Sharp-ovom metodom izotermske kinetike [12], posto je ova metoda veoma efikasna za obradu kinetičkih eksperimentalnih podataka.

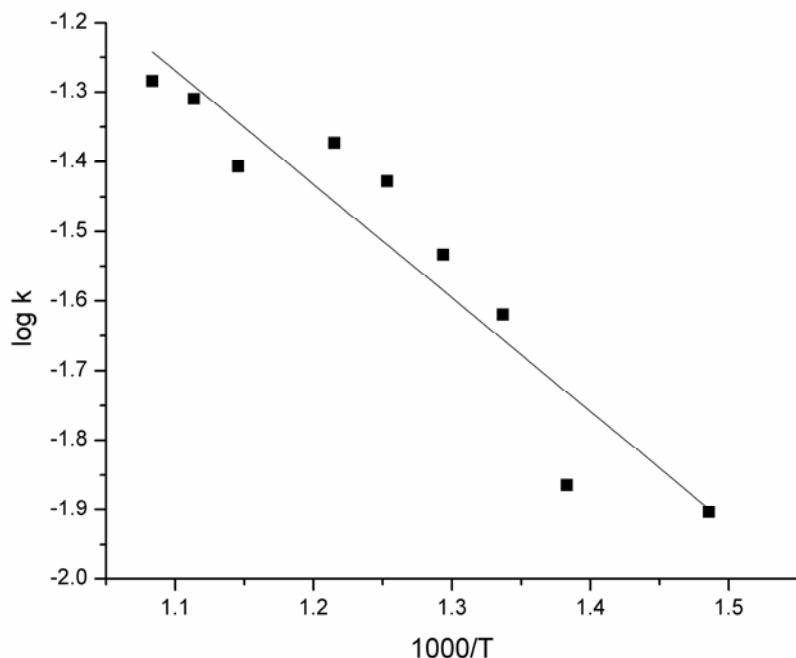
Na slici 8 prikazane su eksperimentalne krive zavisnosti stepena desulfurizacije od vremena, $\alpha = f(\tau)$, za različite temperature.



Sl. 8. Grafička zavisnost stepena desulfurizacije uzorka bakarne šarže od vremena i temperature

Obradom dobijenih rezultata, konstruisan je Arhhenius-ov dijagram, slika 9, za proces prženja bakarne šarže.

Na osnovu dobijenih rezultata, određena je vrednost za energiju aktivacije procesa prženja, a njena vrednost za ispitivani proces oksidacije uzorka bakarne šarže iznosi 35 kJmol^{-1} , što govori da se ispitivani proces nalazi u prelaznoj oblasti.



Sl. 9. Arrhenius-ov dijagram za proces prženja bakarne šarže

ZAKLJUČAK

U radu su predstavljeni rezultati termodinamičkih i kinetičkih ispitivanja procesa prženja bakarne šarže. Konstruisani su PSD dijagrami zavisnosti $\log pS_2$ - $\log pO_2$, tipičnom za procese oksidacije sulfida bakra i železa pri različitim temperaturama i različitim vrednostima P_{SO_2} i na njima su prikazane oblasti u kojima se odvijaju procesi oksidacije. Takođe, predstavljeni su i rezultati ispitivanja desulfurizacije u izoternskim uslovima, u temperaturnom intervalu od 673 - 923K, na osnovu kojih je urađena kinetička analiza po Sharpovoј metodi i određeni odgovarajući kinetički parametri. Dobijena vrednost za energiju aktivacije od 35 kJmol^{-1} , ukazuje da se ispitivani proces oksidacije odvija u prelaznoj oblasti.

LITERATURA:

- [1] D. N. Klušin, Sulfidirovanije cvetnih metalov, Metalurgizdat, 1968.
- [2] M. Cocić, M. Logar, S. Cocić, D. Živković, B. Matović, S. Dević, Determination of sulphide concentrates of ore copper by XRPD and chemical analysis, Hemijska industrija, vol. 63,4(2009) 319-332
- [3] N. Šrbac, D. Živković, Ž. Živković, I. Mihajlović, Monograph: Sulphides – thermal, thermodynamic and kinetic analysis, Punta, Bor, 2005. (in Serbian)
- [4] N. Šrbac, I. Mihajlović, Ž. Živković, I. Ilić, D. Minić, Kinetic analysis of copper concentrate with higher arsenic contents roasting process, 37th IOC on Mining and Metallurgy, 3-6 October 2005, Hotel Jezero, Bor Lake, Serbia and Montenegro, 407.
- [5] I. Mihajlović, N. Šrbac, Ž. Živković, Kinetic Modelling of Chalcocite Particle Oxidation, Scandinavian Journal of Metallurgy, vol. 33 (2004) 316 -321
- [6] N. Šrbac, Ž. Živković, D. Živković, I. Mihajlović, V. Velinovski, Thermal analisis of the copper sulfide minerals oxidation process, 34th IOC on Mining and Metallurgy, 30 Sep – 3 Oct. 2005, Hotel Jezero, Bor Lake, Yugoslavia, 309
- [7] V. S. Chekushin, N. V. Oleinikova, Review of Investigations on the Thermodynamics of Reduction of Copper from Oxides and Sulfides, Russian Journal of Non-Ferrous Metals, vol. 49,3 (2008) 160–165
- [8] I. Mihajlović, N. Šrbac, Ž. Živković, R. Kovacević, M. Stehernik, A potential method for arsenic removal from copper concentrates, Minerals Engineering, vol. 20 (2007) 26-33
- [9] V. J. Babuškin, G. M. Matveev, O. P. Mčedlov - Petrosjan, Termodinamika silikatov, Strojizdat, Moskva, 1986
- [10] M.H. Karapetjanc, Himičeskaja termodinamika, Himija, Moskva, 1975.
- [11] O. Kubaschewski, Metallurgical thermochemistry, Pergamon Press, Oxford, 1967.
- [12] H. J. Sharp, et al., J. Amer. Ceram. Soc., 49(1966) 379

BAKAR 36 (2011) 2 COPPER

UDK: 621.397.42:681.7(045)=861

ORIGINALNI NAUČNI RAD

Oblast: Primjena informatika

ALGORITAM ZA PROCENU NAGIBA TEKSTA ZASNOVAN NA BINARNIM MOMENTIMA

ALGORITHM FOR THE ESTIMATION OF THE TEXT SKEW BASED ON BINARY MOMENTS

Darko Brodić¹, Jovan Vaduvesković¹, Zoran Stević¹

¹Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beogradu

Izvod

U ovom radu prikazana je metoda binarnih momenata koja se koristi za procenu nagiba kako štampanog, tako i za rukom pisanog teksta. Iako se navedena metoda koristila za štampani tekst, za njenu primenu na rukom pisani tekst bilo je neophodno izvršiti određena prilagođenja. Navedena prilagođenja se ostvaruju deljenjem slike dokumenta pomoću graničnih okvira u pojedinačne objekte koji se nazivaju povezane komponente. Primenom na kreirane povezane komponente, metoda binarnih momenata se može koristiti za određivanje nagiba rukom pisanog teksta. Da bi se ispitao kvalitet, robustnost i efikasnost navedene metode za određivanje nagiba teksta provedeno je niz eksperimenata koji su zasnovani na jedno ili više linijskom tekstu. Dobijeni rezultati su ohrabrujući. Naime, upotreba momenata omogućava kvalitetnu i efikasnu procenu ugla nagiba teksta u većini slučajeva. Navedena metoda se u datom ili prilagođenom obliku može koristiti i u obradi slike u medicini, rудarstvu, metalurgiji, geologiji i dr.

Ključne reči: Nagib teksta, binarni momenti, binarna slika, obrada slike.

Abstract

This paper presents the binary moment algorithm for skew estimation of the printed and handwritten text. This method has been successfully used for the skew estimation of the printed text. However, for skew estimation of the handwritten text some extensions are needed. This was accomplished by incorporating the bounding box extraction into the method. This way, the document image was split into the connected components. Furthermore, the binary moment method has been applied to the each connected component. As the result, the each connected component is characterized by its skew angle. To estimate the quality, correctness and robustness of the proposed method some experiments based on single and multi line text samples have been accomplished. The obtained results are encouraging. Hence, in most cases the proposed method

¹ E-mail: dbrodic@tf.bor.ac.rs

is appropriate for the skew estimation of the text. Furthermore, it should be used in original or extended version for the digital image processing in the domain of medicine, mining, metallurgy, geology, etc.

Key words: *Text skew, binary moment, binary images, image processing.*

1. UVOD

Nagib teksta u slici dokumenta predstavlja ugao pod kojim se nalazi tekst u određenoj tački dokumenta u odnosu na x ili y osu. Procena datog nagiba predstavlja jedan od najznačajnijih zadataka tokom procesa obrade slike dokumenta [1]. Naime, procena i određivanje ovog ugla omogućavaju pronalaženje linije teksta. To dalje znači da se data linija teksta može ispraviti. Nakon toga otvoren je put za pravilnu segmentaciju teksta i njegovo optičko prepoznavanje.

Do sada je razvijeno više metoda za procenu nagiba teksta. One se mogu podeliti u sledeće kategorije [1]: metode bazirane na histogramu, Docstrum metoda, metode bazirane na Hough-ovoj transformaciji, metode bazirane na Fourier-ovoj transformaciji, metode bazirane na vertikalnoj projekciji, kros-korelaceione metode i ostale metode.

Iako je do sada razvijen veliki broj metoda za procenu ugla nagiba teksta, metoda bazirana na primeni geometrijskih momenata se izdvaja svojom jednostavnosću, efikasnošću i preciznošću [2]. Međutim, do sada se metoda koristila uglavnom za štampani tekst ili za pisano štampani tekst.

U ovom radu prikazano je proširenje navedene metode bazirane na momentima za procenu ugla nagiba kako štampanog, tako i rukom pisanog teksta. Navedeno proširenje je omogućeno izdvajanjem povezanih komponenti pomoću graničnih okvira. Na ovaj način je, u okviru dokumenta sa tekstrom, izvršeno izdvajanje pojedinačnih objekata teksta nad kojima se relativno jednostavno primenjuje metoda binarnih momenata koja procenjuje ugao njihovog nagiba.

Rad je koncipiran u 6 poglavlja. U poglavlju 2 date su osnove binarne slike. U poglavlju 3 prikazana je osnovna i proširena metoda binarnih momenata. U poglavlju 4 definisani su načini i vrste testiranja. U poglavlju 5 prikazani su rezultati testiranja i data je njihova komparativna analiza. U poglavlju 6 prikazan je zaključak.

2. BINARNA SLIKA

Tokom procesa skeniranja slike vrši se njena digitalizacija. Naime, na ovaj način se analogna slika koja se ubacuje u skener pretvara u digitalnu sliku. Početna analogna slika u dvodimenzionalnom kontinualnom prostoru može se predstaviti funkcijom $f(x, y)$, gde su x i y koordinate kontinualnog dvodimenzionalnog prostora, dok f predstavlja amplitudu, odnosno intenzitet,

koja se često naziva svetlina sive slike (**eng.** *Grayscale Image*). Znači, kao rezultat procesa digitalizacije dobija se digitalizovana prezentacija slike iz koja prelazi iz dvodimenzionalnog kontinualnog u diskretni prostor. Tokom ovog procesa kontinualna slika se deli u M redova i N kolona. Na ovaj način se slika deli na jednake prostorne regije koji se zovu pikseli (**eng.** *Pixel*). Celobrojna vrednost intenziteta $f(m, n)$ u celobrojnim koordinatama (m, n) predstavlja digitalizovanu vrednost intenziteta slike, pri čemu vredi da je $m = \{1, \dots, M\}$, $n = \{1, \dots, N\}$ i $f \in \{0, \dots, L-1\}$, gde je $L = 256$ za sivu sliku [3]. Digitalizovana slika se može predstaviti matricom **D** na sledeći način [3]:

$$D = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Kako bi se od sive slike **D** dobila crno-bela, odnosno binarna slika (**eng.** *Binary Image*) potrebno je provesti postupak binarizacije (**eng.** *Binarization*). Binarna slika predstavlja sliku u kojoj svaki piksel može dobiti jedan od dva nivoa intenziteta. Ti intenziteti mogu biti jednaki crnoj ili beloj nijansi sivog, odnosno vrednostima 0 i 1. Ovaj postupak je predstavljen sledećom relacijom [4]:

$$X(m,n) = \begin{cases} 1 & D(m,n) > D_{th} \\ 0 & D(m,n) \leq D_{th} \end{cases} \quad (2)$$

gde D_{th} predstavlja prag intenziteta i dobija se određenim algoritmom binarizacije [4]. Pri tom algoritam određuje vrednost intenziteta praga koji je neophodan da bi se digitalna slika data matricom **D** pretvorila u binarnu sliku koju reprezentuje matrica **X**. Znači, kao rezultat postupka binarizacije dobija se binarna slika predstavljena matricom slike dokumenta **X**.

3. METODA BINARNIH MOMENATA

Nagib teksta predstavlja karakteristiku koja je povezana kako sa štampanim, tako i sa rukom pisanim tekstrom. Ugao nagiba teksta (**eng.** *Text Skew*) predstavlja njegovo odstupanje od horizontalne ili vertikalne ose. Procena veličine ugla nagiba teksta predstavlja jedan od najznačajnijih i nakomplikovanijih zadataka u procesu obrade slike dokumenta [5]. Do sada je razvijeno više različitih vrsta metoda za procenu veličine nagiba teksta. Jedna od takvih grupa metoda je zasnovana na upotrebi geometrijskih momenata (**eng.** *Geometrical Moments*).

Moment predstavlja skalarnu veličinu koja se koristi za određivanje karakteristika odredene funkcije. Između ostalog pomoću momenata može da se

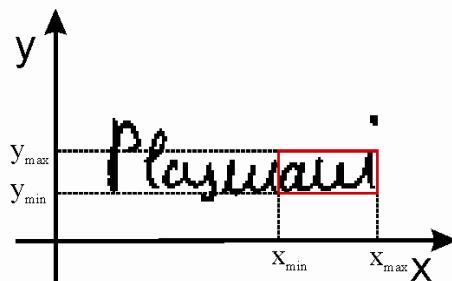
odredi površina objekta, središnja tačka objekta i dr. Značajnu karakteristiku momenata predstavlja njegova „osetljivost” na rotaciju objekata. Upravo to i predstavlja polaznu osnovu za njihovu upotrebu u proceni ugla nagiba teksta. Do sada se metoda momenata efikasno koristila za štampani tekst [6]. Međutim, njena primena na rukom pisani tekst nije davala dovoljno dobre rezultate. Ipak, proširivanje metode upotrebom graničnih okvira koji razdvajaju povezane komponente omogućena je primena ove metode i na rukom pisani tekst.

3.1. Granični okviri

Pre nego što se primjenjuje metoda momenata neophodno je izvršiti predprocesiranje. U tom koraku se vrši izdvajanje objekata teksta pomoću graničnih okvira (eng. Bounding Box). Na ovaj način se rešavanje procene nagiba celokupnog teksta u dokumentu, prevodi u niz jednostavnih procena koje se odnose na pojedinačne razdvojene objekte teksta [...]. Takvi razdvojeni objekti teksta nazivaju se povezane komponente (eng. *Connected Components*). Granični okvir predstavlja konveksni poligon u kojem su sve njegove stranice paralelne sa koordinatnim osama. On ograničen i definisan sa 4 ključne tačke: $x_{min}, y_{min}, x_{max}, y_{max}$. Da bi se određeni piksel slike dokumenta $X(i, j)$ nalazio u graničnom okviru, neophodno je da ispunji uslove zadate sledećim nejednakostima [7]:

$$X(i, j) \mid (x_{min} \leq i \leq x_{max}) \wedge (y_{min} \leq j \leq y_{max}) \quad (3)$$

Znači, tačka $X(i, j)$ je uključena u granični okvir ako su ispunjeni svi uslovi zadati nejednačinom (3). Na sl. 2. data je ilustracija graničnog okvira.



Sl. 2. Granični okvir oko teksta (crveni okvir predstavlja granični okvir)

Na ovaj način se svi elementi teksta kao što su slova, delovi reči, ili čak cele reči koji predstavljaju objekte teksta izdvajaju se pomoću graničnih okvira i čine povezane komponente. Međutim, kako bi ugao nagiba svake povezane komponente bio pravilno određen, neophodno je izvršiti dodatno čišćenje elemenata prisutnih u graničnom okviru. Naime, u graničnom okviru se osim osnovnog tekstualnog objekta - povezane komponente mogu naći i određeni fragmenti objekata iz drugih graničnih okvira koji predstavlja šum [8]. Ovaj slučaj je prikazan na sl. 3.



Sl. 3. Sadržaj graničnog pravougaonika sa povezanom komponentom:
a) pre čišćenja, i b) posle čišćenja

Kao što se vidi na sl. 3.a) delovi objekata iz drugih graničnih okvira su se preklopili sa povezanom komponentom u okviru njenog graničnog pravougaonika. Pri tom se povezana komponenta prepoznaje po tome što se rasprostire između krajnjih tačaka po x i y osi određenih graničnim okvirom. Za razliku od toga fragmenti objekata prisutnih u graničnom okviru ne zadovoljavaju prethodno navedene kriterijume. Upravo to i predstavlja osnovu za njihovo lociranje, a zatim i čišćenje određenim morfološkim filtrima [8]. Posle procesa čišćenja ostaje samo povezana komponenta bez dodatnih fragmenata objekata iz drugih graničnih okvira, kao što je prikazano na slici 3.b).

3.2. Geometrijski momenti

Moment je mera raspodele piksela oko centra slike. Na ovaj način on prikuplja „globalne“ informacije o obliku i karakteristikama slike. Za diskretnu 2-D sliku moment se računa upotrebom relacije (4), dok se za binarnu sliku koristi relacija (5) [9]:

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (4)$$

$$m_{pq} = \sum_1^{n_1} \sum_1^{n_2} x^p y^q \quad (5)$$

$$\mu_{pq} = \sum_{1}^{n_1} \sum_{1}^{n_2} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) \quad (6)$$

$$\mu_{pq} = \sum_{1}^{n_1} \sum_{1}^{n_2} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q \quad (7)$$

Neke od značajnih karakteristika slike se mogu izračunati upotrebom momenata. Tako npr. momenat m_{00} određuje površinu oblasti objekta. Isto tako središnja tačka (**eng.** *Gravity Center*) objekta se određuje iz relacija (8) i (9):

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}} \quad (8)$$

$$\bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (9)$$

pri čemu se m_{10} , m_{01} i m_{00} računaju na sledeći način:

$$m_{10} = \sum_{1}^{n_1} \sum_{1}^{n_2} x^1 y^0 \quad (10)$$

$$m_{01} = \sum_{1}^{n_1} \sum_{1}^{n_2} x^0 y^1 \quad (11)$$

$$m_{00} = \sum_{1}^{n_1} \sum_{1}^{n_2} x^0 y^0 \quad (12)$$

Pomoću jednačina (10), (11) i (12) računaju se jednačine (13), (14) i (15):

$$\begin{aligned} \mu_{11} &= \sum_{1}^{n_1} \sum_{1}^{n_2} (x - \bar{x})^1 (y - \bar{y})^1 \\ \mu_{11} &= m_{11} - \frac{m_{10} m_{01}}{m_{00}} \\ \mu_{11} &= m_{11} - \bar{y} m_{10} \\ \mu_{11} &= m_{11} - \bar{x} m_{01} \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned}
 \mu_{20} &= \sum_{1}^{n_1} \sum_{1}^{n_2} (x - \bar{x})^2 (y - \bar{y})^0 \\
 \mu_{20} &= m_{20} - \frac{2m_{10}}{m_{00}} + \frac{m_{10}^2}{m_{00}} \\
 \mu_{20} &= m_{20} - \frac{m_{10}^2}{m_{00}} \\
 \mu_{20} &= m_{20} - \bar{x}m_{10}
 \end{aligned} \tag{14}$$

$$\begin{aligned}
 \mu_{02} &= \sum_{1}^{n_1} \sum_{1}^{n_2} (x - \bar{x})^0 (y - \bar{y})^2 \\
 \mu_{02} &= m_{02} - \frac{m_{01}^2}{m_{00}} \\
 \mu_{02} &= m_{02} - \bar{y}m_{01}
 \end{aligned} \tag{15}$$

Kombinacijom jednačina (13), (14) i (15) dobija se jednačina (16) pomoću koje se računa ugao nagiba objekta. Naime, momenti drugog reda m_{02} , m_{11} , m_{20} poznati su kao moment inercije. Oni se koriste da bi se odredila jedna od najvažnijih karakteristika slike, a to je orientacija. Orientacija slike opisuje kako je slika postavljena u vidnom polju ili u odnosu na pravac glavne ose. Orientacija glavne ose za ugao orientacije θ određuje je pomoću momenata na sledeći način [9]:

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2\mu_{11}}{\mu_{20} - \mu_{02}} \right) \tag{16}$$

gde je θ ugao glavne ose koja je najbliža x osi i ide od $-\pi/4 \leq \theta \leq \pi/4$. Jednačina (16) određuje ugao nagiba θ za određenu grupu piksela koja predstavlja objekat.

4. EKSPERIMENTI

Osnovni cilj eksperimenata je da na adekvatan način procene preciznost rada određenog algoritma. Pri tom se, u ovom slučaju, procenjuje efikasnost i tačnost metode binarnih momenata za određivanje orientacije posmatranog teksta. Naime, precizno određivanje ugla orientacije nekog tekstualnog objekta je bitno zbog dalje primene te karakteristike u algoritmima za segmentaciju linije teksta. Na ovaj način, određivanje karakteristike orientacije teksta predstavlja korak predobrade za navedene algoritme. Eksperiment je podeljen u dve grupe:

- testovi na uzorcima jednolinijskog štampanog teksta [10];

- testovi na uzorcima višelinjskog rukom pisanog teksta.

4.1. Test nad uzorcima jednolinijskog štampanog teksta

U prvom eksperimentu se testira preciznost procene orijentacije štampanog teksta dobijene pomoću metode binarnih momenata. Pri tom su korišćeni dokumenti sa samo jednom linijom teksta koja se sastoji iz više objekata. Navedeni uzorci teksta su rotirani u rasponu od -45° do $+45^\circ$ sa korakom od 5° . Uz to, testirani uzorci su kreirani u rezolucijama 150 i 300 dpi, kako bi se utvrdilo da li različita rezolucija uzorka utiče na ispitivanu metodu. Ocena odstupanja dobijenih rezultata uglova β_M od testnih uzoraka β_{REF} vršena je pomoću apsolutne greške:

$$\Delta\beta_M = |\beta_{REF} - \beta_M| \quad (17)$$

$$RE_M = \Delta\beta / \beta = \left| \frac{\beta_{REF} - \beta_M}{\beta_{REF}} \right| \quad (18)$$

 This is single line test

a)

b)

Sl. 4. Jednolinijski uzorak teksta:

- uzorak teksta 1, sastavljen od slova I,
- uzorak teksta 2, sastavljen od običnog teksta.

4.2. Test nad uzorcima višelinjskog rukom pisanog teksta

U drugom eksperimentu se testira preciznost procene orijentacije rukom pisanog teksta dobijene pomoću metode binarnih momenata. Za početni uzorak teksta uzeta je slika višelinjskog rukom pisanog dokumenta. U ovom eksperimentu se uzorak rukom pisanog teksta deli u fragmente teksta. Navedeni fragmenti teksta predstavljaju objekte teksta koji se izdvajaju pomoću graničnih okvira i čine povezane komponente. Zatim se vrši upoređivanje momenata neočišćenih i očišćenih povezanih komponenti. U ovom eksperimentu se utvrđuje da li postoji razlika između određivanja ugla neočišćene i očišćene povezane komponente, i kolika je ta razlika.

5. REZULTATI I DISKUSIJA

5.1. Rezultati testa nad uzorcima jednolinijskog štampanog teksta

Rezultati su sačinjeni na osnovu ispitivanja dva uzorka jednolinijskog teksta koji su rotirani u rasponu od $+45^\circ$ do -45° sa korakom od 5° . Pored toga uzorci teksta su dati u dve rezolucije: 150 i 300 dpi. Na ovaj način se vršila procena uticaja rezolucije slike na kvalitet određivanja ugla ispitivanom metodom. Rezultati su prikazani u tabelama 1-4.

Tabela 1. Rezultati jednolinijskog štampanog teksta (uzorak teksta 1) pri rezoluciji od 300 dpi

300 dpi		Uzorak teksta 1	
β_{ref} ($^\circ$)	β_{m1} ($^\circ$)	$\Delta\beta_{m1} = \beta_{m1} - \beta_{ref} $	$RE_{m1} = (\beta_{m1} - \beta_{ref})/\beta_{ref}$
45	45,0030	0,003	6,66667E-05
40	40,0089	0,0089	0,0002225
35	35,0191	0,0191	0,000545714
30	30,0040	0,004	0,000133333
25	24,9896	0,0104	0,000416
20	19,9948	0,0052	0,00026
15	14,9902	0,0098	0,000653333
10	9,9781	0,0219	0,00219
5	4,9942	0,0058	0,00116
0	0,0000	1,448E-17	-
-5	-4,9993	0,0007	0,00014
-10	-9,9778	0,0222	0,00222
-15	-14,9902	0,0098	0,000653333
-20	-19,9955	0,0045	0,000225
-25	-24,9978	0,0022	8,8E-05
-30	-29,9967	0,0033	0,00011
-35	-34,9884	0,0116	0,000331429
-40	-40,0136	0,0136	0,00034
-45	-45,0084	0,0084	0,000186667

Tabela 2. Rezultati jednolinijskog štampanog teksta (uzorak teksta 2) pri rezoluciji od 300 dpi

300 dpi		Uzorak teksta 2	
β_{ref} (°)	β_{m2} (°)	$\Delta\beta_{m2} = \beta_{m2} - \beta_{ref} $	$RE_{m2} = (\beta_{m2} - \beta_{ref}) / \beta_{ref}$
45	45,2785	0,2785	0,006188889
40	40,2908	0,2908	0,00727
35	35,2369	0,2369	0,006768571
30	30,1823	0,1823	0,006076667
25	25,2679	0,2679	0,010716
20	20,2447	0,2447	0,012235
15	15,3090	0,309	0,0206
10	10,2794	0,2794	0,02794
5	5,2876	0,2876	0,05752
0	0,2533	0,2533	-
-5	-4,7459	0,2541	0,05082
-10	-9,7477	0,2523	0,02523
-15	-14,7529	0,2471	0,016473333
-20	-19,7457	0,2543	0,012715
-25	-24,6976	0,3024	0,012096
-30	-29,7697	0,2303	0,007676667
-35	-34,6974	0,3026	0,008645714
-40	-39,6870	0,313	0,007825
-45	-44,7102	0,2898	0,00644

Tabela 3. Rezultati jednolinijskog štampanog teksta (uzorak teksta 1) pri rezoluciji od 150 dpi

150 dpi		Uzorak teksta 1	
β_{ref} (°)	β_{m1} (°)	$\Delta\beta_{m1} = \beta_{m1} - \beta_{ref} $	$RE_{m1} = (\beta_{m1} - \beta_{ref}) / \beta_{ref}$
45	44,9893	0,0107	0,000237778
40	40,0412	0,0412	0,00103
35	35,0434	0,0434	0,00124
30	29,9751	0,0249	0,00083
25	25,0198	0,0198	0,000792
20	19,9928	0,0072	0,00036
15	15,0457	0,0457	0,003046667
10	9,9196	0,0804	0,00804
5	4,9932	0,0068	0,00136

0	0,0012	0,0012	-
-5	-5,0018	0,0018	0,00036
-10	-9,9272	0,0728	0,00728
-15	-15,0407	0,0407	0,002713333
-20	-19,9751	0,0249	0,001245
-25	-24,9979	0,0021	8,4E-05
-30	-29,9686	0,0314	0,001046667
-35	-35,0397	0,0397	0,001134286
-40	-40,0497	0,0497	0,0012425
-45	-44,9710	0,029	0,000644444

Tabela 4. Rezultati jednolinijskog štampanog teksta (uzorak teksta 2) pri rezoluciji od 150 dpi

150 dpi		Uzorak teksta 2	
β_{ref} (°)	β_{m2} (°)	$\Delta\beta_{m2} = \beta_{m2} - \beta_{ref} $	$RE_{m2} = (\beta_{m2} - \beta_{ref}) / \beta_{ref}$
45	45,1620	0,162	0,0036
40	40,1647	0,1647	0,0041175
35	35,0574	0,0574	0,00164
30	29,9191	0,0809	0,002696667
25	25,0766	0,0766	0,003064
20	20,1154	0,1154	0,00577
15	15,2592	0,2592	0,01728
10	10,0751	0,0751	0,00751
5	5,2163	0,2163	0,04326
0	0,1498	0,1498	-
-5	-4,8253	0,1747	0,03494
-10	-9,7779	0,2221	0,02221
-15	-14,8868	0,1132	0,007546667
-20	-19,8789	0,1211	0,006055
-25	-24,7567	0,2433	0,009732
-30	-29,8046	0,1954	0,006513333
-35	-34,9020	0,098	0,0028
-40	-39,8742	0,1258	0,003145
-45	-44,8844	0,1156	0,002568889

Kao što se vidi u tabelama 1. i 3., odnosno 2 i 4 uglovi nagiba dobijeni

metodom binarnih momenata su vrlo slični i minorno odstupaju od referentnog ugla nagiba početnog teksta. Zbog toga, promena rezolucije ne utiče u značajnijoj meri na procenu ugla nagiba teksta. Upravo zbog ove robusnosti, metoda binarnih momenata se može koristiti za procenu ugla nagiba teksta i u rukom pisanim tekstu, ali uz određena specifična prilagođenja.

5.2. Rezultati testa nad uzorcima višelinjskog rukom pisanih teksta

U drugom eksperimentu se uzorak rukom pisanih teksta u rezoluciji od 300 dpi deli u 154 povezane komponente za koje se određuje ugao nagiba. Na ove povezane komponente primenjuje se metoda binarnih momenata i to u slučaju bez i sa čišćenjem fragmenata objekata. Procena dobijenih rezultata se vrši analizom apsolutnom greškom. Jedan deo dobijenih rezultata je prikazan u tabeli 5.

Tabela 5. Deo rezultata rukom pisanih teksta pri 300 dpi bez i sa čišćenjem povezanih komponenti u graničnim okvirima

k	Moment sa čišćenjem povezanih komponenti	θ_M ($^{\circ}$)	Moment bez čišćenja povezanih komponenti	θ_M ($^{\circ}$)	$\Delta\theta$ ($^{\circ}$)
1		32.9935		-11.8996	44.8931
2		32.9040		26.3817	6.5223
3		25.8633		13.2525	12.6108
4		36.3097		15.4110	20.8987

Iz tabele se vidi da u određenom broju slučajeva postoji razlika između uglova očišćenih i neočišćenih objekata. Ta razlika može da iznosi i do 45° . Ipak treba napomenuti da se takvi ekstremni slučajevi veoma retko događaju. Empirijski se pokazalo da nema velike razlike kod povezanih komponenata sa čišćenjem i bez čišćenja (u oko 80% slučajeva). Ipak u preostalih 20% slučajeva razlika ide od minornih 0.56° do ekstremnih 44.89° . Ipak, u većini takvih slučajeva, što predstavlja oko 70% slučajeva, razlika iznosi do 1° , dok je samo u 4% slučajeva razlika veća od 15° .

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazan algoritam za procenu ugla nagiba teksta zasnovan na binarnim momentima. Navedena metoda je prisutna u literaturi, ali se retko koristila za rukom pisani tekst. Zbog toga je u ovom radu izvršeno prilagođenje i proširena je oblast njene primene. To je ostvareno primenom graničnih okvira. Na taj način moguće je izvršiti izdvajanje povezanih komponenti iz rukomписаног dokumenta. Primenom metode binarnih momenata na povezane komponente izvršena je procena njihovog ugla nagiba. Testiranje je pokazalo da:

- ugao nagiba teksta metodom binarnih momenata bez modifikacija može se koristiti samo kao polazna osnova za dalje istraživanje,
- procena nagiba teksta objekata u graničnim okvirima nad kojima se vrši čišćenje daje bolju tačnost uglova nagiba ispitivanog teksta, i
- da je metoda binarnih momenata robustna na promenu rezolucije slike. Isto tako inkorporacija čišćenja fragmenata objekata koji su bili pridruženi povezanim komponentama je učinila da metoda bude još preciznija. Ipak treba napomenuti da u određenim slučajevima pojava delova teksta koji idu značajno ispod ili iznad linije teksta onemogućavaju pravilnu procenu ugla nagiba teksta pomoću momenata. Zbog toga je neophodno nastaviti nadogradnju i proširenje navedene metode određenim aktivnostima koje imaju za cilja umanjenje uticaja ovakvih elemenata tokom procene ugla nagiba teksta.

Na kraju treba napomenuti da iako je metoda izložena na primeru tekstualnih slika, ona se može primeniti i u drugim područjima obrade slike i grafičke dokumentacije kao što su primena u medicini, rutarstvu, metalurgiji geologiji i dr.

LITERATURA

- [1] A. Amin, S. Wu, Robust Skew Detection in Mixed Text/Graphics Documents, Proceedings of 8th ICDAR '05, Seoul, Korea, 2005, Vol.1, pp. 247-251.
- [2] M. K. Hu, Visual Pattern Recognition by Moment Invariant, IRE Transaction on Information Theory, Vol. 8, 2 (1962) 179 - 187.
- [3] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, Digital Image Processing, 2nd ed., Prentice-Hall: Bergen County, NY, USA, 2002.
- [4] N. A. Otsu, Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.9, 1 (1979) 62–66.

- [5] B. Yuan, C. L. Tan, Skew Estimation for Scanned Documents from Noises, in International Conference on Document Analysis and Recognition – ICDAR, Seoul, Korea, 2007, p. 277 - 281.
- [6] G. Kapogiannopoulos, N. A. Kalouptsidis, Fast High Precision Algorithm for the Estimation of Skew Angle Using Moments, in Proceedings of Signal Processing, Pattern Recognition, and Applications – SPPRA, Crete, Greece, 2002, pp. 370 - 143.
- [7] F. P. Preparata, M. I. Shamos, Computational Geometry: An Introduction, Springer-Verlag, Germany, 1985.
- [8] D. Brodić, S. Čečulović., Uklanjanje šuma u binarnoj slici pomoću morfoloških filtera, Bakar, Vol.36, 1 (2011) 45-58.
- [9] R. J. Ramteke, K. P. Imran K. P, S. C. Mehrotra, Skew Angle Estimation of Urdu Document Images: A Moments Based Approach, International Journal of Machine Learning and Computing Vol.1, 1 (2011) 7-12.
- [10] D. Brodić, D. R. Milivojević, Z. Milivojević, Basic Test Framework for the Evaluation of Text Line Segmentation and Text Parameter Extraction, Sensors, Vol.10, 5 (2010) 5263–5279.
- [11] D. Brodić D, Greške merenja i njihova primena u analizi rezultata, Inovacije i razvoj, 2 (2010) 75-90.

BAKAR 36 (2011) 2 COPPER

UDK: 669.235:658.576:543.55(045)=861

STRUČNI RAD

Oblast: Hidrometalurgija

FORMIRANJE KUPATILA ZA RODINIRANJE KORIŠĆENJEM RODIJUMA IZ SEKUNDARNIH SIROVINA

PLATING BATH PREPARATION USING RHODIUM FROM SECONDARY RAW MATERIALS

Vlastimir Trujić¹, Zorica Ljubomirović¹, Zdenka Stanojević Šimšić¹, Suzana Dragulović¹, Silvana Dimitrijević¹, Vesna Conić¹

¹Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor

Izvod

U ovom radu prikazan je postupak formiranja kupatila za rodiniranje - rodijum (III) – sulfata. Za potrebe rodiniranja može se koristiti reciklirani rodijum, pa se u ovom radu prikazuje dobijanje rodijuma iz sekundarnih sirovina. Kombinacijom pirometalurškog, hemijskog i elektrohemijiskog postupka moguće je dobiti rodijum visokog kvaliteta. Rodijum (III) koji se koristi za pripremu kupatila bilo je potrebno prevesti iz hloridnog oblika u sulfatni taloženjem Rh(III) rastvora sa NaOH, i rastvaranjem dobijenog Rh(OH)₃ u sumpornoj kiselini.

Ključne reči: *Kupatilo za rodiniranje, rodijum (III) sulfat, reciklirani rodijum.*

Abstract

This paper presents a procedure for plating bath preparation - rhodium (III) – sulfate. For the purposes of plating can use recycled rhodium, and this paper presents the obtaining rhodium from secondary raw materials. Combining pyrometallurgical, chemical and electrochemical process, it is possible to obtain high-quality rhodium. It is necessary to convert rhodium (III), used for the plating bath preparation, from chloride in sulphate form, using precipitation with KOH, and dissolution of the obtained rhodium hydroxide in sulfuric acid.

Key words: *Plating bath, rhodium (III) - sulphate, recycled rhodium.*

¹ E-mail: zoricaljubomirovic@ymail.com

1. UVOD

Rodijum je u zemljinoj kori zastupljen u veoma maloj količini svega od 10-40 ppm, najčešće kao pratilec ruda bakra i nikla ili u aluvijalnim ležištima.

Najvažniji resursi ovog metala nalaze se u Južnoj Africi, pesku reka Uralskih planina, u Severnoj i Južnoj Americi. Najvažniji izvoznici rodijuma su Južna Afrika (više od 80%) i Rusija. Od ukupne svetske proizvodnje rodijuma najviše se troši u industriji automobila za autokatalizatore - 80%. Procena je da su proizvodni troškovi rodijuma 6 puta veći od troškova proizvodnje zlata.

Razdvajanje rodijuma od ostalih metala u industrijskim uslovima je kompleksan proces, jer se metal pojavljuje u rudama pomešan sa drugim metalima kao što je paladijum, srebro, platina i zlato. Cena rodijuma je rasla poslednjih godina, zaključno sa 2008. godinom, kada je dostigla istorijski maksimum od 9776 \$/oz.

Visoka cena platinskih metala na tržištu i njihov nizak sadržaj u rudama naveo je na to da se razvije proces dobijanja ovih metala iz sekundarnih sirovina i iz siromašnih ruda. [1].

Usled visoke cene i nestašice platinskih metala njihova reklaža iz sekundarnih sirovina ima ogroman značaj. U prilog tome idu podaci da uporedjujući svetsku proizvodnju platine, na treće mesto dolazi dobijanje platine iz sekundarnih sirovina iza rudarske proizvodnje u južnoj Africi i Rusiji. Dobijanje rodijuma iz istrošenih katalizatora rangira na drugo mesto, odmah iza rudarske proizvodnje u Južnoj Africi.

Reciklaža platinskih metala iz istrošenih materijala raste u poslednje dve decenije i očekuje se da će se ovaj trend nastaviti u budućnosti.

Reciklirani rodijum, kao i drugi platinski metali, mogu se dobiti kombinacijom pirometalurškog, hidrometalurškog i elektrohemiskog procesa. Kao polazne sekundarne sirovine obično se koriste istrošeni automobilski katalizatori, filter mase, obloge peći iz proizvodnje staklenih vlakana i drugi materijali koji sadrže PGMs.

Rodijum se tradicionalno koristi kao dekorativna prevlaka nakita od zlata i srebra. Elektrolitičke prevlake rodijuma imaju široku primenu zbog svoje velike tvrdoće i otpornosti na koroziju. Koeficijent refleksije rodijumskih prevlaka je nešto manji nego kod srebrnih, ali za razliku od srebra rodijum dugo vremena ne tamni. Zbog toga se prevlake od rodijuma koriste za zaštitu srebrnih površina od tamnjenja. U poslednje vreme elektrolitičke prevlake rodijuma primenjuju se za prevlačenje legura belog zlata.

Osim za prevlačenje nakita, rodijumske prevlake se koriste u elektronici i drugim granama industrije uz porast primene u poslednjih nekoliko godina.

Za rodiniranje nakita, najčešće iz sulfatnih, fosfatnih ili sulfatno-fosfatnih kupatila primenjuju se nerastvorne (platinske) anode, a korekcija elektrolita tokom elektrolize vrši se dodatkom rodijum-sulfata, sumporne kiseline i razblaživanja vodom.

U literaturi se kao pogodna kupatila za rodiniranje spominju i sulfamatni, perhloratni, fluorobotatni i nitratni elektroliti. Kao kupatila za rodiniranje mogu se koristiti kupatila na bazi osnove limunske, vinske, mlečne, borne kiseline, alkalija, fosfata i amonijum nitrata [2].

Pripremanje rodijum (III) – sulfatnih kupatila vrši se po različitim postupcima [3].

U ovom radu predstavljen je kompletan postupak pripreme kupatila za rodiniranje od recikliranog rodijuma do rodijum (III) - sulfata.

2. PREGLED PROCESA

Kompletan proces dobijanja rodijum (III) - sulfata sastoji se od nekoliko faza:

- dobijanje čistog rodijuma,
- rastvaranje rodijuma u carskoj vodi ili smeši ($HCl + Cl_2$),
- taloženje rodijum – hidroksida,
- rastvaranje taloga u sumpornoj kiselini.

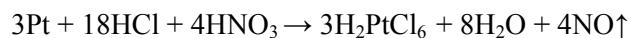
Prva faza u postupku prerade rodijuma predstavlja fazu pripreme materijala. Priprema se sastoji od drobljenja, mlevenja i prosejavanja materijala.

Nakon faze pripreme sledi proces topljenja sekundarnih sirovina sa bakrom (kupelacija platinskih metala u bakru), kako bi se postiglo koncentrisanje platinskih metala u cilju izlivanja anoda sa povećanim sadržajem platinskih metala. Postupkom elektrolitičke rafinacije anodnog bakra sa povećanim sadržajem PGMs, dobija se anodni mulj u kome su koncentrisani platinski metali. Anodni mulj se dalje hemijski tretira kako bi se izdvojili platinski metali.

3. PRERADA ANODNOG MULJA

Anodni mulj se dalje tretira različitim hemijskim metodama u cilju razdvajanja platine, paladijuma i rodijuma. Ovi metali se rastvaraju u 6M hlorovodoničnoj kiselini uz dodatak koncentrovane azotne kiseline kao oksidansa, u temperaturnom intervalu od $80 - 95^{\circ}C$.

Poznato je da se platinski metali mogu rastvoriti i u razblaženoj smeši kiselina $3HCl$ (12M): HNO_3 (16M) [4]. Proces rastvaranja se odvija prema sledećoj reakciji:



Platina se iz rastora taloži dodavanjem NH_4Cl pri čemu se dobijeni talog, redukuje do elementarne platine. Sledeća faza procesa je izdvajanje paladijuma iz rastvora koji sadrži Rh^{3+} i Pd^{2+} jone. Pd se iz rastvora taloži dodavanjem HCl i NH_4OH . Dobijeni talog se zatim redukuje do elementarnog paladijuma.

Da bi se izvršila cementacija rodijuma rastvoru, koji sadrži Rh^{3+} jone, dodaje se aluminijum.

Kako bi se uklonio višak aluminijuma iz rastvora dodaje se NaOH . Nakon filtriranja rodijum ostaje u obliku cementnog mulja.

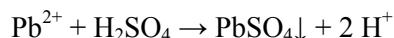
Rodijumova kiselina (H_3RhCl_6) se dobija rastvaranjem cementnog mulja, koji se dobija cementacijom Rh posle izdvajanja platine i paladijuma. Rastvaranje se vrši u hlorovodoničnoj kiselini uz dodatak oksidacionog sredstva (HNO_3 ili gasovitog hlora). Uparavanjem dobijenog rastvora uklanja se višak hlora ili višak HNO_3 , u zavisnosti koje je oksidaciono sredstvo korišćeno.

Tragovi platine i paladijuma uvek ostanu u cementnom ostatku tako da se pri njegovom rastvaranju rastvaraju i oni, kao i zaostali neplemeniti metali (Zn , Cu , Sb ...), sto znači iz tako dobijene rodijumove kiseline treba ukloniti neplemenite metale, kao i tragove Pt i Pd .

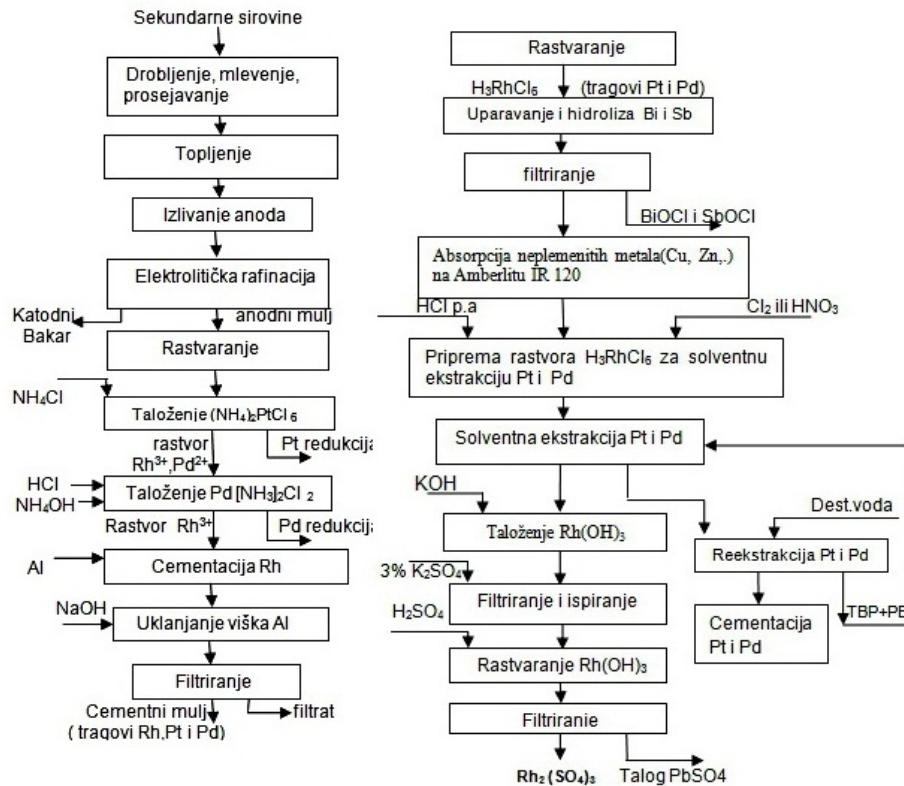
Uparavanjem rodijumove kiseline uklanja se i višak slobodne HCl , tako da se prilikom razblaživanja uparenog rastvora destilovanom vodom ujedno vrši i hidroliza bizmuta i antimona u obliku SbOCl i BiOCl . Ova dva metala se izdvajaju filtriranjem. Dalje prečišćavanje rodijumove kiseline i odvajanje plemenitih od neplemenitih metala postiže se absorpcijom jona neplemenitih metala (Zn , Cu ,...) na jako kiselim kationskom jonoizmenjivaču. U ovom eksperimentu katjonska izmena vršena je na jonoizmenjivačkoj smoli tipa Ambrelit IR 120.

Sledeća faza prečišćavanja rodijumove kiseline predstavlja uklanjanje tragova platine i paladijuma. Tragovi platine i paladijuma uklanaju se solventnom ekstrakcijom, korišćenjem rastvora tributil fosfata TBP ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}$) u Petrol etru (1:3), kao ekstragensa. Posle solventne ekstrakcije u rastvoru ostaje samo Pb .

Uklanjanje Pb vrši se u toku pripreme rastvora rodijum - sulfata prilikom taloženja rastvora rodijumove kiseline sa sumpornom kiselinom. Reakcija taloženja odvija se prema sledećoj reakciji:



Šema postupka dobijanja rodijum (III) – sulfata od rodijuma iz sekundarnih sirovina prikazana je na slici 1.



Sl.1. Šema postupka dobijanja rodijum (III)-sulfata iz rodijuma iz sekundarnih sirovina

4. DOBIJANJE RODIJUM (III) –SULFATA

Rodijum je u rastvoru rodijumove kiseline u obliku hlorida (H_3RhCl_6). U cilju prevođenja rodijuma u sulfatni oblik rodijumu se dodaje 15% rastvor NaOH pri čemu nastaje žuti talog. Reakcija taloženja se odvija prema sledećoj jednačini:



Dobijeni talog se ispira 3% rastvorom K_2SO_4 , do negativne reakcije ispirnih voda na jone hlora (proba sa rastvorom AgNO_3). Nakon filtriranja i pranja taloga, rodijum - hidroksid se rastvara u sumpornoj kiselini pri čemu se dobija rastvor rodijum (III)-sulfat.



Dobijeni rodijum (III) -sulfat predstavlja elektrolit za rodiniranje.

5. ZAKLJUČAK

Ovaj rad predstavlja pregled kompletног procesa pripreme kupatila za rodiniranje- rodijum (III) – sulfata. Proces dobijanja rodijum (III) - sulfata sastoji se od nekoliko faza: dobijanje čistog rodijuma, rastvaranje rodijuma uz dodatak $\text{HCl} + \text{oksidans}$ (Cl_2 ili HNO_3), prečišćavanje dobijenog rastvora, tačno doziranje rodijum – hidroksida i dobijanje rodijum(III)-sulfata elektrolita za elektrodepoziciju rodijuma.

ZAHVALNICA

Autori ovog rada zahvaljuju se Ministarstvu prosvete i nauke Republike Srbije za finansijsku podršku pri realizaciji projekta TR 34024 pod nazivom: "Razvoj tehnologija za reciklažu plemenitih, retkih i pratećih metala iz čvrstog otpada Srbije"

LITERATURA

- [1] R. I. Edwards, W. A. M. te Riele, G.J. Bernfield, Review on the recovery of the platinum-group metals, in: G.J.K. Acres (Ed.), Gmelin Handbook of Inorganic Chemistry, Platinum (Technology of the Platinum-group Metals), Supp. vol. A1, Springer, Berlin, 1986, pp. 1–23
- [2] Chepuri R. K. Rao, D. C. Trivedi, Chemical and electrochemical depositions of platinum group metals and their applications, Coordination chemistry reviews 249 (2005) 613-631
- [3] D. Plecher, R. I. Urbina, Electrodeposition of rhodium. Part 2. Sulfate solutions, Journal of Electroanalytical Chemistry 421 (1997) 145-151
- [4] S. Dragulović, M. Dimitrijević, A. Kostov, S. Jakovljević, Recovery of Platinum Group Metals from Spent Automotive Catalyst, 12th International Research/Expert Conference “Trends in the Development of Machinery and Associated Technology” TMT 2008, 26-30 August, Istanbul, Turkey 2008, p. 1289

BAKAR 36 (2011) 2 COPPER

UDK: 621.25:546.56:66.066(045)=861

STRUČNI RAD

Oblast: Hidrometalurgija

APSORPCIJA SUMPORNE KISELINE NA AMBERLITU IRA-400 U CILJU PRIPREME RASTVORA ZA SOLVENTNU EKSTRAKCIJU BAKRA

ABSORPTION OF SULFURIC ACID ON AMBERLITE IRA-400 IN ORDER TO PREPARE SOLUTION FOR SOLVENT EXTRACTION OF COPPER

Suzana Dragulović¹, Vladimir Cvetkovski¹, Vesna Conić¹, Zdenka Stanojević
Šimšić¹, Branka Pešovski¹, Danijela Simonović¹, Zorica Ljubomirović¹

¹Institut za Rudarstvo i Metalurgiju u Boru

Izvod

U radu su prikazana ispitivanja smanjenja koncentracije sumporne kiseline u otpadnim rastvorima od odbakrivanja anodnog mulja sa sadržajem PGM sorpcijom na anjonskim jonoizmenjivačima. Sorpcija sumporne kiseline vršena je na anjonskom jonoizmenjivaču tipa AMBERLIT IRA 400, koji je bio u obliku R_2SO_4 . Sorpcija sumporne kiseline vršena je iz otpadnog rastvora koncentracije 41,83g H_2SO_4 , pri čemu su menjani vreme trajanja sorpcije i broj stupnjeva. Desorpција, odносно regeneracija anjonskog jonoizmenjivača vršena je destilovanom vodom, pri čemu je dobijen razblažen rastvor sumporne kiseline, koji može ponovo da se upotrebi za odbakrivanje nove količine anodnog mulja.

Ključne reči: sorpcija, anjonski jonoizmenjivač, desorpција, odbakrivanje anodnog mulja

Abstract

This paper presents research work which deals with decrease of the sulphuric acid concentration in waste solutions (with presence of PGMs), obtained after anode slime decopperization using sorption on anion exchangers. Sorption of the sulphuric acid was carried out on anion exchanger, type AMBERLITE IRA 400, in the form R_2SO_4 . The concentration of the waste solution from which sulphuric acid sorption was carried out, had been 41,83g H_2SO_4 . Parameters as duration of the sorption and number of stages were changed during work. Desorption, i.e. regeneration of the anion exchanger was done with distilled water in order to get diluted solution of the sulphuric acid which can be used again (reused) for decopperization of a new amount of anode slime.

Key words: sorption, anion exchanger, desorption, anode slime decopperization.

¹ E-mail: vesna.conic@irmbor.co.rs

1. UVOD

Otpadni rastvori koji nastaju pri odbakrivanju anodnog mulja sa sadržajem PGMs, pored slobodne sumporne kiseline sadrže bakar i platinske metale (Rh, Pt i Pd). U radu [1] prikazana je jedna od mogućnosti prerade otpadnih rastvora u cilju izdvajanja katodnog bakra i dobijanja čistih platinskih metala. Jedna od faza procesa prerade otpadnih rastvora je i neutralizacija viška slobodne kiseline do određene koncentracije 0,8 g/l H₂SO₄ kako bi mogao da se izvrši proces solventne ekstrakcije bakra. U cilju smanjenja troškova prerade otpadnih rastvora ispitana je mogućnost apsorpcije viška sumporne kiseline na anjonskom jonoizmenjivaču, čime se smanjuje utrošak hemikalija i skraćuje proces eliminisanjem nekih faza. Takođe, eluat (rastvor dobijen regeneracijom anjonskog jonoizmenjivača) može da se vрати u proces odbakrivanja nove količine anodnog mulja, čime se smanjuje utrošak sumporne kiseline za odbakrivanje pri čemu nema nastajanja otpadnih voda.

Iskorišćena je mogućnost selektivne apsorpcije sumporne kiseline iz otpadnih rastvora od odbakrivanja anodnih muljeva primenom procesa sulfat-bisulfatne razmene [2] na anjonskom jonoizmenjivaču:



R – Polimerska osnova anjonskog jonoizmenjivača

U koncentrovanim rastvorima sumporne kiseline ta ravnoteža je pomerena udesno, a u razblaženim ulevo. Ako se kroz sloj anjonskog jonoizmenjivača SO₄²⁻ forme propusti koncentrovani rastvor sumporne kiseline, koji sadrži jone metala, može se ostvariti odvajanje kiseline od soli metala [3]. Razdvajanje je zasnovano na razlici u sorpcijskom uzajamnom delovanju između komponenata rastvora i sorbenta. Na izlazu iz jonoizmenjivačke kolone mogu se dobiti rastvori soli u kojima praktično nema kiseline. Regeneracija apsorbovane kiseline (eluacija) na anjonskom jonoizmenjivaču vrši se destilovanom vodom, prema sledećoj reakciji.



2. EKSPERIMENTALNI DEO

Za apsorpciju (sorpciju) sumporne kiseline iz otpadnih rastvora korišćen je jakobazni anjonski jonoizmenjivač tipa Amberlit IRA-400, koji je preveden iz R—OH u R₂—SO₄ oblik.

Prevođenje u sulfatni oblik vršeno je 2% rastvorom sumporne kiseline u višku od 150% u odnosu na kapacitet anjonskog jonoizmenjivača [4], prema sledećoj reakciji:



Prema literaturnim podacima [4] kapacitet anjonskog jonoizmenjivača tipa Amberlit IRA-400 je 1,5 mol/kg jednovalentnih anjona anjonskog jonoizmenjivača odnosno 1,4 mol/dm³ jednovalentnih anjona vlažnog anjonskog jonoizmenjivača tipa Amberlit IRA-400.

Anjonski jonoizmenjivač, posle prevodenja u sulfatni oblik, ispiran je destilovanom vodom od viška sumporne kiseline i kao takav, spremam je za sorpciju sumporne kiseline iz koncentrovanih rastvora. Sorpcija sumporne kiseline iz koncentrovanih rastvora vrši se prema sledećoj reakciji:



Regeneracija anjonskog jonoizmenjivača, odnosno regeneracija apsorbovane sumporne kiseline vršena je destilovanom vodom, prema sledećoj reakciji:



2.1. Uslovi izvodjenja eksperimenta

Određivana je količina apsorbovane sumporne kiseline na anjonskom jonoizmenjivaču tipa Amberlit IRA-400 u zavisnosti od vremena trajanja kontakta između jonoizmenjivača i otpadnog rastvora od odbakrivanja anodnog mulja i to: 30 minuta, 1, 2, 3, 4 i 5 sati. Naime, propušteno je po 1dm³ otpadnog rastvora kroz 0,5 dm³ vlažnog jakobaznog anjonskog jonoizmenjivača tipa Amberlit IRA-400 u jonoizmenjivačkoj koloni.

Na isti način propušteno je po 1dm³ otpadnog rastvora kroz različite količine vlažnog anjonskog jonoizmenjivača tipa Amberlit IRA-400 (0,1; 0,2; 0,5; 0,8; 1,0 i 1,5 dm³) u trajanju od 60 minuta. Koncentracija sumporne kiseline u izlaznim rastvorima određivana je volumetrijski-metodom neutralizacije.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati eksperimenta ispitivanja količine apsorbovane sumporne kiseline na anjonskom jonoizmenjivaču tipa Amberlit IRA-400 u zavisnosti od vremena trajanja kontakta otpadnog rastvora i jonoizmenjivača prikazani su u tabeli 1 i slici 1. Takođe, prikazana je i količina apsorbovane sumporne kiseline na anjonskom jonoizmenjivaču u zavisnosti od zapremine jonoizmenjivača, tabela 2 i slika 2.

Tabela 1. Količina apsorbovane sumporne kiseline u zavisnosti od vremena trajanja kontakta otpadnog rastvora i jonoizmenjivača

Redni broj	Vreme trajanja absorpcije	Koncentracija H_2SO_4 u rastvoru (g/dm^3)		Apsorbovana količina H_2SO_4 g/dm^3 na anjonskom jonoizmenjivaču	
		Početna koncentracija a	Koncentracija na izlazu iz kolone	H_2SO_4 g/dm^3	% u odnosu na početni rastvor
1.	30	41,83	18,08	47,50	56,78
2.	60	41,83	17,73	48,20	57,61
3.	120	41,83	18,23	47,20	56,42
4.	180	41,83	18,58	46,50	55,58
5.	240	41,83	18,85	45,96	54,94
6.	300	41,83	19,38	44,90	53,67

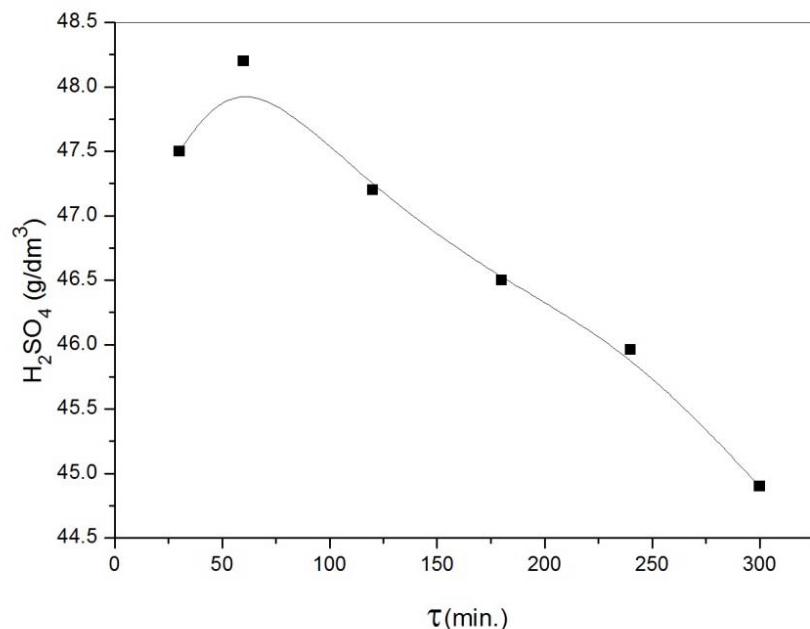
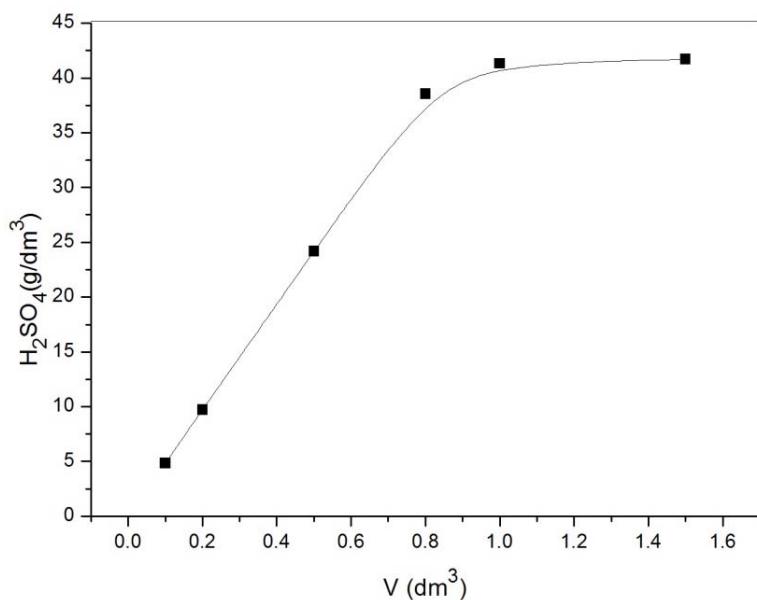
**Sl. 1.** Zavisnost količine apsorbovane sumporne kiseline od vremena trajanja kontakta otpadnog rastvora i jonoizmenjivača

Tabela 2. Količina apsorbovane sumporne kiseline na anjonskom jonoizmenjivaču u zavisnosti od zapremine jonoizmenjivača

Redni broj	Zapremina jonoizmenjivača (dm ³)	Koncentracija H ₂ SO ₄ u rastvoru (g/dm ³)		Apsorbovana kličina H ₂ SO ₄ g/dm ³ na anjonskom jonoizmenjivaču	
		Početna koncentracija	Koncentracija na izlazu iz kolone	H ₂ SO ₄ g/dm ³	% u odnosu na početni rastvor
1.	0,1	41,83	36,97	4,86	11,62
2.	0,2	41,83	32,12	9,71	23,21
3.	0,5	41,83	17,63	24,20	57,85
4.	0,8	41,83	3,28	38,55	92,16
5.	1,0	41,83	0,51	41,32	98,78
6.	1,5	41,83	0,13	41,70	99,69



Sl. 2. Zavisnost količine apsorbovane sumporne kiseline od zapremine jonoizmenjivača

ZAKLJUČAK

Primenom jakobaznog anjonskog jonoizmenjivača tipa Amberlit IRA-400 smanjuje se koncentracija sumporne kiseline u otpadnom rastvoru od odbakrivanja, tako da nije potrebno izvršiti dodatnu neutralizaciju slobodne kiseline pre solventne ekstrakcije bakra. Najbolji rezultati postignuti su pri zapreminskom odnosu otpadnog rastvora i Amberlita, $V_{\text{otp.rastv}} : V_{\text{Amberlita}} = 1:1$ i pri trajanju apsorpcije od 60 minuta, tabela 2. Iz tabele 1 se vidi da je najbolja apsorpcija sumporne kiseline postignuta za 60 minuta, dok pri dužem zadržavanju rastvora dolazi do desorpcije sumporne kiseline.

Sumporna kiselina koja se dobija pri regeneraciji anjonskog jonoizmenjivača destilovanom vodom (reakcija 2) može se vratiti u proces od odbakrivanja anodnih muljeva, tako da se zatvara ciklus i otpadnih voda praktično nema.

Primenom procesa apsorpcije sumporne kiseline na anjonskom jonoizmenjivaču smanjuju se troškovi prerade otpadnog rastvora od odbakrivanja anodnih muljeva, jer se eliminišu faze neutralizacije viška sumporne kiseline i filtriranja nastalog gipsa u procesu neutralizacije.

ZAHVALNOST

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete i nauke Republike Srbije na finansijskoj podršci projektu br. TR-34004: Razvoj ekoloških i energetskih efikasnijih tehnologija za proizvodnju obojenih i plemenitih metala kombinacijom bioluženja solventne ekstrakcije i elektrolitičke rafinacije.

LITERATURA

- [1] V. Conić, S. Dragulović, V. Cvetkovski, Z. S. Šimšić, Z. Ljubomirović, B. Pešovski, D. Simonović, Solvent extraction of copper and platinum group of metals, 43rd International October Conference of Mining and Metallurgy, 12-15 October 2011, Kladovo, Serbia, pp. 132-135.
- [2] M. Raković, S. Dragulović, S. Živković-Nikolić, Sorpcijsko prečišćavanje otpadnih rastvora, XXIV Oktobarsko savetovanje rudara i metalurga, Bor, 1. i 2. oktobar 1992, str. 563-565.
- [3] S. V. Bereza, N. I. Ljubman, L. A. Lukonina, L. I. Mekler, Cvetny metally, 1 (1975) str. 24-25.
- [4] М. Мархол ионообменники В Аналитической химии, Москва, "Мир", 1985, str. 429.

BAKAR 36 (2011) 2 COPPER

UDK: 621.311.1:669.33.012.3(045)=861

STRUČNI RAD

Oblast: Energetska efikasnost u metalurgiji bakra

PREDLOG MERA ZA OPTIMIZACIJU POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U METALURGIJI BAKRA

THE PROPOSED MEASURES FOR OPTIMIZATION OF ELECTRICAL ENERGY CONSUMPTION IN COPPER METALLURGY

Dragan R. Milivojević¹, Marijana Pavlov¹, Viša Tasić¹,
Vladimir Despotović², Darko Brodić²

¹Institut za rударство и металургију Бор

²Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору

Izvod

Rad sadrži prikaz i kratku analizu relevantnih pokazatelja količina i kvaliteta utrošene električne energije na nivou organizaciono-tehnološkog dela metaurgije bakra. Činjenica da u Rudarsko topioničarskom basenu Bor (RTB Bor) postoje transformatorne postrojbe ukupne instalirane snage od oko 500 MVA dovoljna je da upozori na mogućnost velike potrošnje. Naravno da se Kompanija svrstava u red najvećih potrošača električne energije u zemlji. Više od dvadesetak godina u RTB-u Bor preduzimaju se konkretnе akcije u cilju smanjenja ovih troškova. Primjenjuju se tehničko-tehnološke i organizacione mере, kako bi se optimizirala potrošnja električne energije po jedinici proizvoda. Iako je bilo i povremenih oscilacija u primeni i poštovanju uvedenih mera, nesumnjivo je da su rezultati pozitivni.

Ključне речи: električna energija, vršna snaga, normativ, proizvodnja bakra

Abstract

The paper presents review and short analyses of main parameters of electrical energy consumption in Copper Mining and Smelting Complex Bor (RTB), which is one of the greatest electrical energy consumers in Serbia. The installed power of transformer stations in RTB is approximately 500 MVA. Clearly, there is no need to look for other reasons to introduce permanent or periodical measures for the reduction the electrical energy costs. Besides often normative and organizational actions, a real-time monitoring of the electro-energetic system in RTB Bor is in use for over 20 years.

Key words: electrical energy, power picks, copper production, normative

¹E-mail: marijana.pavlov@irmbor.co.rs

1. UVOD

Složeni postupak proizvodnje bakra podrazumeva kontinualne, ali i diskontinualne tehnološke procese u mnogim prostorno razmeštenim pogonima. Ponekad su procesi tehnološki zavisni, a često diskontinualni i sporadični. U svim organizacionim i tehnološkim celinama Kompanije proizvodnja se odvija uz veliki utrošak energije, naročito električne [1]. Ukupna instalisana snaga svih trafostanica u RTB-u Bor iznosi blizu 500 MVA. Iako se u ovom trenutku ne prati istovremeno elektroenergetska slika svih pogona i proizvodnih linija u realnom vremenu, postoji mogućnost monitoringa i nadzora na nivou konzumnih trafostanica, pa i pojedinih pogona i proizvodnih linija.

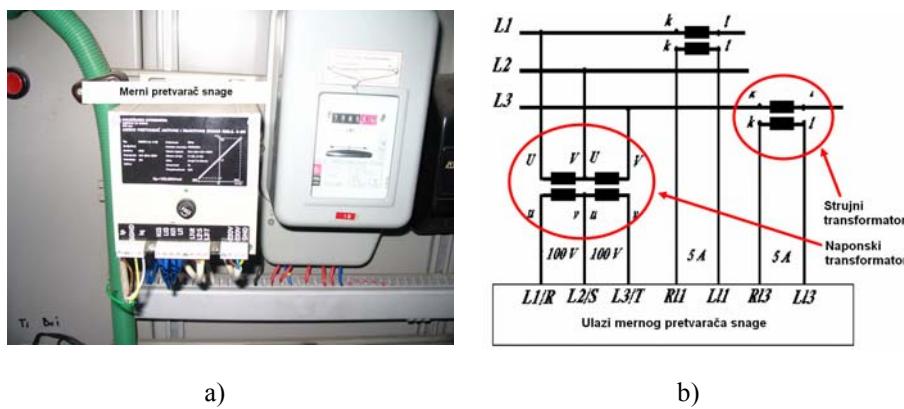
Krajem osamdesetih godina prošlog veka zavodi Instituta za bakar Industrijska informatika i MEGA, u saradnji sa službom za elektroenergetiku RTB-a Bor pristupili su realizaciji Projekta optimizacije troškova ze električnu energiju [2]. Realizacija projekta počela je u periodu od 1990 do 1992. godine [3]. Najpre je automatskim merenjima obuhvaćena trafostanica Bor3. U to vreme, pri optimalnoj mesečnoj proizvodnji bakra, pogoni RTB-a koji se napajaju iz ove tarfostanice trošili su mesečno oko 40 miliona kWh aktivne energije sa vršnom snagom i preko 60 MW [4]. To je bio glavni motiv ovakvog izbora. Formiran je Kontrolni centar. Osnovna funkcija Kontrolnog centra bila je da meri potrošenu električnu energiju i prati angažovanu snagu na dovodima trafostanice i da, u zavisnosti od njenog iznosa, dozvoli ili spreči uključenja novih velikih potrošača (interni je propisano da se potrošači snage veće od 300 kW smatraju velikim). Ponekad je kontrolni centar upozoravao na veliko opterećenje i od tehničkih rukovodilaca pogona zahtevao neka isključenja, kad je to moguće bez rđavih posledica. U okviru druge faze analogno rešenje primenjeno je samo u pogonu Elektrolize [5].

Neki od spoljnih faktora (političke i ekonomске sankcije Srbiji, nedefinisani aranžmani sa Elektroistokom, organizaciona transformacija RTB-a) i interne subjektivne slabosti: popuštanje tehnološke i radne discipline, neefikasna subordinacija, nedostatak motivacije (stimulacije i represije) doveli su do obustave rada na daljoj realizaciji projekta.

U međuvremenu je konzumna trafostanica Bor 3 bombardovana. Napravljeno je privremeno rešenje i improvizovani Kontrolni centar. Uostalom, nastupio je period kada RTB nije plaćao električnu energiju. Takvo stanje trajalo sve do izgradnje nove trafostanice Bor 3 (2003. godine, kao i nekoliko godina kasnije).

2. KONFIGURACIJA I OSNOVNE KARAKTERISTIKE NADZORNOG SISTEMA

Elektroenergetski nadzorni sistem u RTB-u Bor baziran je na distribuiranim računarskim resursima instaliranim u trafostanicama i u kontrolnim centrima. Merenja su rešena ugradnjom mernih pretvarača aktivne i reaktivne snage u sve celije konzumnih trafostanica, slika 1.



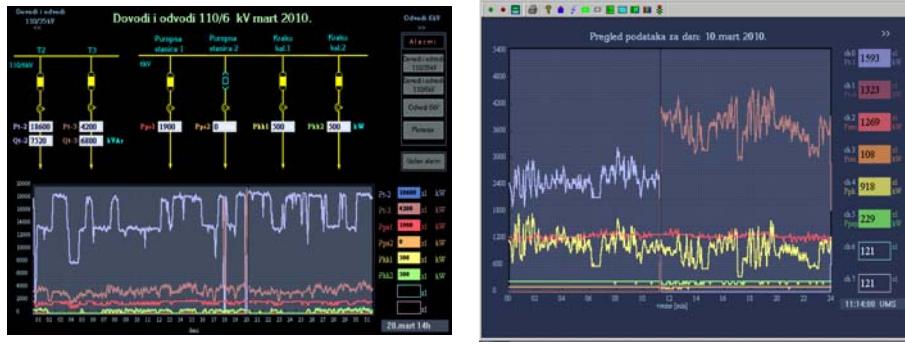
a)

b)

Sl. 1. Merni pretvarač snage u celiji TS
a) i način povezivanja, b)

Merna stanica instalirana u trafostanici je mikroprocesorski uređaj koji vrši merenje električne snage [6]. Između mernih stanica i PC računara (servera) u Kontrolnom centru postoji permanentna veza. U Novoj trafostanici merenja se vrše uređajima koje je instalirao isporučilac opreme (ABB). Podaci merenja sa vremenom njihovog nastanka prenose se nadređenom, računaru gde se obrađuju i prikazuju na ekranu u odgovarajućem obliku (numerički, tabelarni, sinoptički i grafički), slika 2.

Sistem interpretira rezultate i memoriše podatke. Aktivna funkcija sistema ogleda se u tumačenju rezultata obrada, proveri aktuelnih vrednosti i obaveštavanju o nastanku neželjenih stanja (incidentne situacije). Zahvaljujući odgovarajućem algoritmu, moguće je predviđanje (predikcija) prekoračenja zadatih graničnih vrednosti [4]. Informacije o neregularnim stanjima (situacijama) javljaju se u formi upozorenja (alarm) i zahtevaju intervenciju. Sistem omogućava pregled elektroenergetskih stanja pogona u neposrednoj prošlosti (prethodna smena, dan ili mesec), a kreira i vremenske izveštaje: smenske, dnevne, mesečne, kao što je prikazano na slici 3.

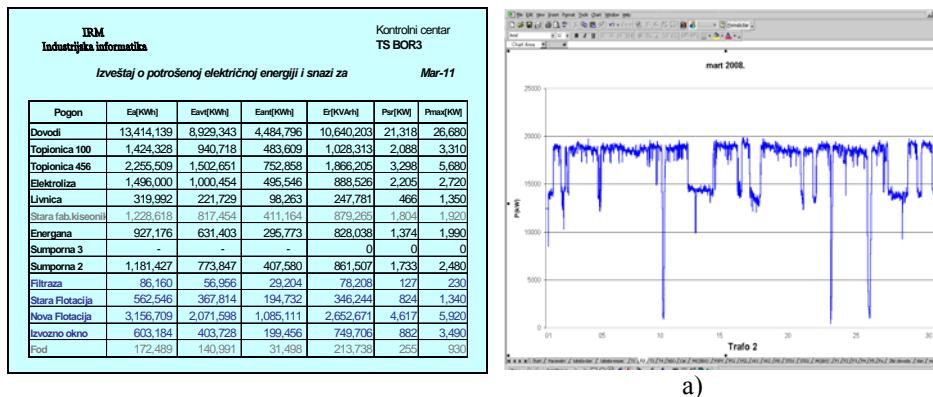


a)

b)

Sl. 2. Prikaz stanja u realnom vremenu
a) sinoptička slika, b) vremenski dijagram

Iako isporučilac energije merenja i obračun vrši na nivou tranzitne i konzumnih trafostanica, izveštaji kontrolnih centara, koji sadrže dovoljno informacija, koriste se za obračun i raspodelu troškova među organizacionim i tehnološkim celinama u RTB-u.



Sl. 3. Forma mesečnog izveštaja
a) tabelarni i b) grafički

Zahvaljujući višegodišnjem kontinualnom radu distribuiranog sistema, posebno njegove celine u TS Bor 3, bilo je moguće prikupiti relevantne podatke o snazi i energiji i izvršiti njihovu obradu i analizu.

3. ELEMENTI ZA OBRAČUN TROŠKOVA ELEKTRIČNE ENERGIJE

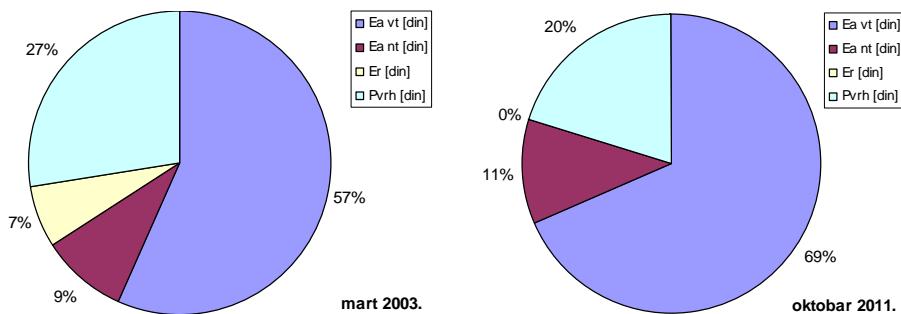
Ukupni troškovi električne energije, U_t formiraju se na bazi izmerenih podataka i elemenata koje definiše isporučilac, a koje usvaja Vlada Republike Srbije (Zakon o energetici, Uredba o uslovima isporuke električne energije i Tarifni sistem), mogu da se prikažu sledećim izrazom:

$$U_t = N_{mm} + P_{os} \cdot C_{os} + P_{pos} \cdot C_{pos} + E_{aevt} \cdot C_{aevt} + E_{aent} \cdot C_{aent} + E_{re} \cdot C_{re} + E_{pre} \cdot C_{pre} \quad (1)$$

pri čemu je:

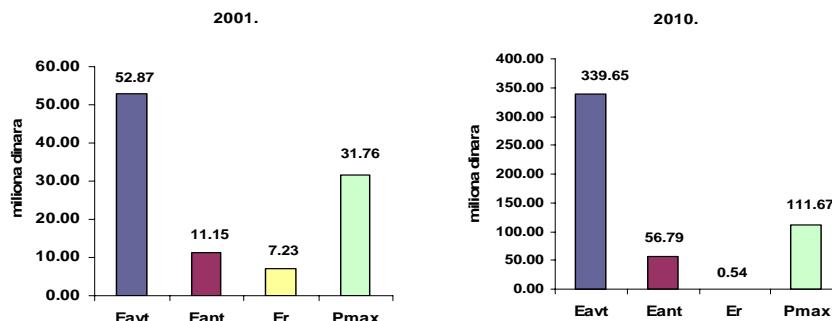
- N_{mm} - naknada za merno mesto (simboličan iznos),
- P_{os} - izmerena maksimalna snaga - obračunska snaga dogovorena s isporučiocem,
- C_{os} - cena jedinice obračunske snage (1 kW),
- P_{pos} - izmerena prekomerna obračunska snaga (iznad dogovorene),
- C_{pos} - cena prekomerne obračunske snage (1 kW),
- E_{aevt} - izmerena utrošena aktivna energija u višoj tarifi,
- C_{aevt} - cena jedinice aktivne energije u višoj tarifi (kWh),
- E_{aent} - izmerena utrošena aktivna energija u nižoj tarifi,
- C_{aent} - cena jedinice aktivne energije u nižoj tarifi (kWh),
- E_{re} - izmerena reaktivna energija ($\cos \varphi \geq 0.95$),
- C_{re} - cena jedinice reaktivne energije (kVArh),
- E_{pre} - izmerena prekomerna reaktivna energija ($\cos \varphi < 0.95$) i
- C_{pre} - cena jedinice prekomerne reaktivne energije (kVArh).

Nemaju svi sabirci u izrazu (1) podjednak uticaj na ukupne troškove. Od presudnog značaja su količine i jedinične cene. Ipak, može da se smatra, i pored promena u radnom režimu, a naročito u tarifnom sistemu, neki se odnosi ipak održavaju. Aktivna električna energija u višoj tarifi i obračunska snaga uvek čine preko 80% iznosa, slika 4.



Sl. 4. Struktura mesečnih troškova za mart 2003 i oktobar 2011. godine

Promene ovih proporcija koje se uočavaju uslovljene su načinom rada svih pogona u toku meseca kao obračunskog perioda. Tehničko-tehnološki uslovi proizvodnje definišu aktuelni radni režim, a angažovana snaga i utrošena energija formiraju elektroenergetsku sliku pogona. Ipak, mnogo značajniji uticaj ima tarifni sistem i pravilnik, to jest promene jediničnih cena. To se može smatrati administrativnim faktorom. Slika 5. ilustruje neke od karakterističnih slučajeva. Pošto se radi o velikim iznosima (u 2010. godini za RTB Bor u celini mesečni računi iznosili su oko 1.3 miliona evra), neminovno je preduzeti mere za smanjenje i optimizaciju svih troškova električne energije. Veoma je korisno objasniti neke od navedenih elemenata, kako bi mogle da se definišu odgovarajuće mere uticaja. Ukupna aktivna električna energija troši se u procesu proizvodnje kao pogonska (motori), toploputna (grejači) i svetlosna energija [7]. Svakako da postoje razne mogućnosti za njeno smanjenje i to treba da predstavlja permanentnu aktivnost. S obzirom na tarifni sistem isporučioca, troškovi aktivne električne energije direktno zavise od njene vremenske raspodele: dve trećine vremena u toku dana (od 07 do 23 časa) je period skupe energije (viša tarifa), a ostatak dana (23 do 07 časova) pripada nižoj tarifi. Trenutno je odnos cena za jedinicu aktivne energije u višoj i nižoj tarifi 3 : 1, na taj način je objasniv odnos troškova na slici 4.



Sl. 5. Apsolutni iznosi i relativni odnos komponenata troškova 2001. i 2010. godine

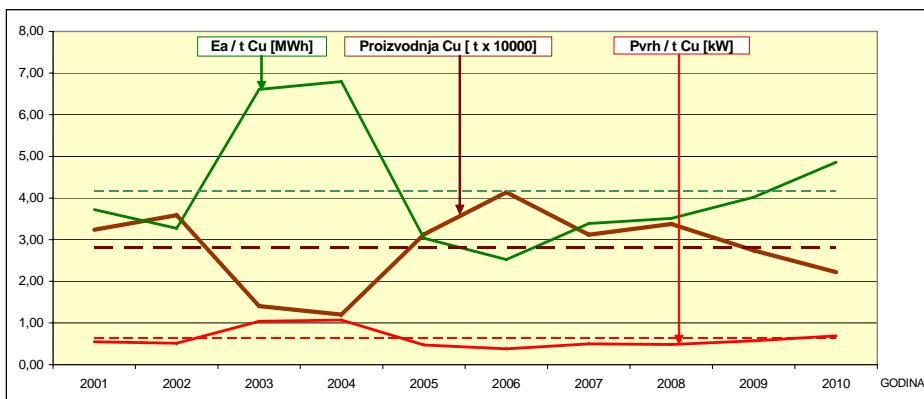
4. PREGLED I ANALIZA ELEKTROENERGETSKIH PODATAKA U ZAVISNOSTI OD PROIZVODNJE I REALNOG ORGANIZACIONOG I TEHNOLOŠKOG OKRUŽENJA

Proizvodnja bakra je veoma složen i heterogen tehnološki proces. Počinje geološkim istražnim radovima, preko rudarstva i pripreme mineralnih sirovina, a završava se metalurškim i elektrolitičkim procesima [9]. Njega karakterišu aktivnosti koje su međusobno zavisne, sekvenčalne su prirode i mogu povremeno da budu i diskontinualni (šaržni procesi). U energetskom smislu najpovoljniji su kontinualni procesi. Metalurški mogu da se svrstaju u tu kategoriju. Najčešće su prekidani zbog nedostatka koncentrata ili prekomernog zagađenja okoline. Razlozi zastoja bili su i redovni remonti, a ponekad i kvarovi na opremi (intervencije).

Funkcija nadzorno-kontrolnog sistema ostvaruju se u dva radna režima: rad u stvarnom vremenu (real time) i kreiranje izveštaja (off-line obrada podataka i analize) [4].

Rad u stvarnom (realnom) vremenu, na osnovi kontrolne strategije pomoću adekvatnih algoritama, vrši uticaj na procese, ili obezbeđuje potrebne podatke za pravovremene intervencije u cilju smanjenja vršne snage. Uvođenje tehnološke discipline rezultira i smanjenjem utrošene energije.

Ovaj put će biti prikazani efekti u metalurškom delu proizvodnje (proizvodnja od koncentrata do katoda), i to za poslednjih 10 godina. Osnovni razlog ovakvog izbora je postojanje nadzornog sistema u TS Bor 3 (i u vreme „privremenog rešenja“) što je omogućilo razgraničenje potrošnje između pogona TIR-a s jedne i pogona RBB-a s druge strane. Zbog preglednosti prikaza izabrane su srednje godišnje vrednosti i prikazane na slici 6.



Sl. 6. Utrošena aktivna energija i vršna snaga TIR-a u odnosu na proizvodnju katoda

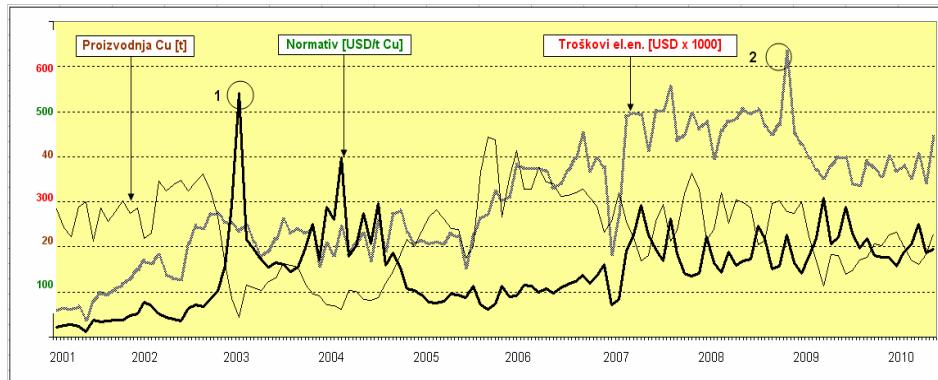
Ono što odmah pada u oči na slici 6 je izuzetno velika potrošnja električne energije i dosta visoka vršna snaga po jedinici proizvodnje (normativ) u 2003. i 2004. godini. Nije teško objasniti da je to prvenstveno posledica značajno smanjene proizvodnje [8], ali i neodgovarajuće organizacije rada. U tim godinama malo se vodilo računa o sinhronizaciji rada pojedinih proizvodnih linija i o planiranju i izvođenju remonta. I jedno i drugo može da se smatra organizacionim propustom i subjektivnim faktorom.

Da bi se još bolje ilustrovala ova pojava prikazana tehničko-tehnološkim parametrima na slici 6, iskoristiće se finansijski parametri prikazani na dijagramu 7. Pošto se radi o 10-godišnjem vremenskom periodu kada je bilo i promene cenovnika od strane isporučioča električne energije [9], promena kursa dinara u odnosu na USD i promena cene bakra na svetskom tržištu, izvršena su sva preračunavanja i na slici 7 predstavljeni relativni odnosi ovih podataka. Zbog preciznosti, ovde su korišćeni mesečni podaci (za razliku od srednjih godišnjih na slici 6). Na pomenutom dijagramu uočljive su dve karakteristične tačke:

- tačka 1 na krivoj specifičnih troškova (normativ) je ekstremna (maksimum) i direktna je posledica izuzetno smanjene proizvodnje bakra u februaru 2003. godine (svega 435 t) i neodgovornog ponašanja u potrošnji električne energije,
- tačka 2 na krivoj troškova za električnu energiju predstavlja maksimalni iznos mesečnih troškova (januara 2009. godine, između ostalog i povećane cene), ali se to nije odrazilo na vrednost normativa zbog velikog skoka cene bakra.

Iako nije moguće izdvojiti neki duži vremenski period uniformnog rada svih

proizvodnih celina, ipak je značajno napraviti prikaz i analizu kretanja potrošnje električne energije i vršne snage i na taj način stvoriti „dinamičku elektroenergetsku sliku“ pogona. Ona svakako treba da bude u korelaciji sa proizvodnim rezultatima, slika 7.



Sl. 7. Odnos troškova električne energije i profita (normativ) od 2001. do 2010. godine

Svakako da postoje raspoloživi podaci za analizu i prikaz troškova svakog od pogona, pa i nekih proizvodnih linija u TIR-u [9], ali to nije predmet ovog rada.

5. PREDLOZI MERA ZA DALJU OPTIMIZACIJU TROŠKOVA I OČEKIVANI EFEKTI

Ako se razmotre rezultati ove uprošćene analize, uočavaju se izvesne pravilnosti. Najveći ideo u troškovima ima aktivna energija, i to u višoj tarifi, zatim vršna snaga i tako dalje, slika 4. Logično je da se, najpre definišu mere i akcije za smanjenje dominantnih uticaja na troškove i to tako da se ne ugrozi tehnoločki proces proizvodnje.

Uticaj na potrošnju aktivne energije u višoj tarifi može da se vrši organizacionim i tehnološkim merama. Najznačajnije su:

- preraspodela radnog vremena velikih potrošača, ukoliko to nema loše posledice na odvijanje tehnološkog procesa; gde god je proces dikontinualan treba insistirati na što dužem radu postrojenja u vreme niže tarife,
- sve planirane zastoje (remonti, popravke, provere, podešavanja) treba organizovati u vreme skupe energije,

- ako postoje predimenzionisani potrošači (agregati) u pogledu instalisane snage, treba ih zameniti odgovarajućim (gde je to finansijski opravdano), a pri instalaciji novih voditi računa o stvarnim potrebama za snagom.

Smanjenje vršne snage ima veliki uticaj na troškove i može da se postigne administrativnim merama:

- prilikom dogovaranja sa isporučiocem energije insistirati na dovoljno velikom iznosu obračunske snage, kako bi se izbegla prekomerna obračunska snaga,
- ugovorom predvideti obračun zajedničke (istovremene) obračunske – vršne snage svih konzumnih trafostanica, ili barem svih u Boru (Bor 3 i Veliki Krivelj) i u Majdanpeku (Majdanpek 1, 2 i 3), što ima opravdanja i sa aspekta prenosa energije.

Organizaciono - tehnološke mere za smanjenje vršne snage podrazumevaju kontrolu i sinhronizaciju uključenja velikih potrošača. To znači, da najpre treba definisati kategoriju potrošača čiji početak rada ima veliki uticaj na povećanje angažovane (a samim tim i vršne) snage i potom insistirati da se takvi potrošači ne startuju u okviru istih 15 minuta, osim ako je to neminovno zbog opasnih posledica [10].

Troškovi reaktivne energije smanjuju se jednostavnim i jednokratnim zahvatom: treba izvršiti kompenzaciju reaktivne snage. To se postiže instalacijom kondenzatorskih baterija, bilo na strani visokog napona (u konzumnim trafostanicama), ili u pogonskim trafostanicama. Postoje dva tipična načina: statički, koji je jednostavniji i jeftiniji, i dinamički, koji je efikasniji, ali skuplji.

Ako bi se sproveo deo navedenih mera, postoje realne mogućnosti da se troškovi električne energije smanje za 2 do 5%, a to na nivou konzumne trafostanice Bor 3 u konkretnom slučaju za mesec oktobar 2011. godine, izgleda kao u Tabeli 1.

Tabela 1. Iznosi potencijalnih ušteda u dinarima za oktobar 2011.

Oktobar 2011.			
	Ušteda	2%	5%
1	Aktivna energija	885 800 din	2 114 450 din
2	Vršna snaga	224 300 din	560 075 din
3	Ukupno	1 110 100 din	2 674 525 din

ZAKLJUČAK

Analizom troškova za električnu energiju uočava se trend njihovog blagog povećanja. To može da se objasni povećanjem cena od strane isporučioца (Jugoistok Niš), ali i održavanjem pa i nesrazmernim povećanjem utrošenih količina. Ovaj drugi faktor bi trebalo da zabrine, naročito ako nije praćen povećanom proizvodnjom bakra. Uvažavanje tih objektivnih uticaja (poskupljenja) i unutrašnjih slabosti (zastarelost opreme i tehnologije i nedoslednost u organizaciji rada) može donekle da opravda nisku stopu poboljšanja elektroenergetske efikasnosti, ali to nikako ne bi trebalo da predstavlja trajnu prepreku uvođenju jedinstvenog sistema nadzora i kontrole potrošnje električne energije u RTB-u.

S obzirom na tehnološke mogućnosti i raspoložive mrežne servise, potrebno je izvršiti sintezu distribuiranog nadzornog sistema koji bi obuhvatio sve konzumne trafostanice i omogućio trenutni uvid u angažovanu snagu na nivou Kompanije u svakom trenutku. Ukoliko se sa isporučiocem energije ugovori obračun zajedničke vršne snage, sistem će pružati pravovremene podatke za uticaj na smanjenje, bolje rečeno, preraspodelu vršne snage.

Kada se postignu željeni efekti ovim metodama, treba nadzorni sistem proširiti na niži nivo, što znači obuhvatiti i pogonske trafostanice. Nakon analize efekata, procenilo bi se koliko je svršishodno kontrolisati i pojedine velike potrošače po pogonima.

ZAHVALNOST

Ovaj rad predstavlja jedan od rezultata rada na Projektu TR33037 – Razvoj i primena distribuiranog sistema nadzora i upravljanja potrošnjom električne energije kod velikih potrošača, finansiranom od strane Ministarstva prospective i nauke Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] M. Mitovski, A. Mitovski, Efikasnost racionalnog gazzdovanja električnom energijom u metalurgiji bakra, Bakar, Vol. 36, 1 (2011) 1 – 16.
- [2] D. R. Milivojević, V. Tasic, V. Despotovic, A. Ignjatović, An Example of Influence on Reduction of Electrical Energy Costs, Proceedings of XLI International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies ICEST 2006, May 2006, Sofia, Bulgaria, pp. 406-409.

- [3] V. Tasic, D. R. Milivojevic, M. Pavlov, V. Despotovic, Reducing the Costs of Electricity in the Copper Mining and Smelting Complex RTB Bor (Serbia) by Using of the Distributed Control System, Proceedings of 33rd International Convention on Information and Communication Techology, Electronics and Microelectronics MIPRO 2010, Opatija, Croatia, May 2010, pp. 98-101.
- [4] D. R. Milivojević, V. Tasić, M. Pavlov, V. Despotović, Synthesis of DCS in Copper Metallurgy, Proceedings of XLII International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies ICEST 2007, 24.6.-27.6.2007, Ohrid, FYR Macedonia, Proceedings, Book 2, pp. 629-631.
- [5] V. Despotovic, D. Milivojevic, V. Tasic, M. Pavlov, T. Skovranek, Distributed System for Monitoring of Technological Process in Copper Mining and Smelting Complex-Bor, Proceedings of ICCC 2007, High Tatras, Slovak Republic, May 2007, pp. 103-106.
- [6] C. W. Taylor, Explaining Reactive Power, IEEE Spectrum, Vol. 36, No. 6, June 1999., str. 76-84.
- [7] E. H. Wataba, R. M. Stephan, M. Aredes, New Concepts of Instantaneous Active and Reactive Powers in Electrical Systems with Generic Loads, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, 2 (1993), 697 – 703.
- [8] T. J. E. Miller, Reactive Power Control in Electric Systems, Willey, 1983., str. 112-138.
- [9] M. Mitovski, M. Cirkovic, Energija u metalurgiji bakra RTB Bor, - Institut za bakar Bor, Srbija, 2007. , str. 250.
- [10] M. Pavlov, V. Despotovic, D. R. Milivojevic, V. Tasic, D. Brodic, Overview of Electrical Energy Costs in Metallurgical Plants of Copper Mining and Smelting Complex Bor, 43rd International October Conference, Procedings, Octobr 12-15, Kladovo, Serbia, 2011, pp. 51-54.

SADRŽAJ
CONTENS

V. Andrejić, M. Ćirković, A. Mitovski, I. Mihajlović, N. Šrbac TERMODINAMIČKA I KINETIČKA ANALIZA PROCESA PRŽENJA BAKARNE ŠARŽE THERMODYNAMIC AND KINETIC ANALYSIS OF THE COPPER BATCH ROASTING PROCESS	1
D. Brodić, J. Vaduvesković, Z. Stević ALGORITAM ZA PROCENU NAGIBA TEKSTA ZASNOVAN NA BINARNIM MOMENTIMA ALGORITHM FOR THE ESTIMATION OF THE TEXT SKEW BASED ON BINARY MOMENTS	11
V. Trujić, Z. Ljubomirović, Z. Stanojević, Šimšić, S. Dragulović, S. Dimitrijević, V. Conić FORMIRANJE KUPATILA ZA RODINIRANJE KORIŠĆENJEM RODIJUMA IZ SEKUNDARNIH SIROVINA PLATING BATH PREPARATION USING RHODIUM FROM SECONDARY RAW MATERIALS	25
S. Dragulović, V. Cvetkovski, V. Conić, Z. S. Šimšić, B. Pešovski, D. Simonović, Z. Ljubomirović APSORPCIJA SUMPORNE KISELINE NA AMBERLITU IRA-400 U CILJU PRIPREME RASTVORA ZA SOLVENTNU EKSTRAKCIJU BAKRA ABSORPTION OF SULFURIC ACID ON AMBERLITE IRA-400 IN ORDER TO PREPARE SOLUTION FOR SOLVENT EXTRACTION OF COPPER	31
D. R. Milivojević, M. Pavlov, V. Tasić, V. Despotović, D. Brodić PREDLOG MERA ZA OPTIMIZACIJU POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U METALURGIJI BAKRA THE PROPOSED MEASURES FOR OPTIMIZATION OF ELECTRICAL ENERGY CONSUMPTION IN COPPER METALLURGY	37

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 uredništvo donosi odluku o objavljinjanju. Rad priložen za objavljinjanje treba da bude pripremljen prema dole navedenom uputstvu da bi bio uključen u proceduru recenziranja. Neodgovarajuće pripremljeni rukopisi biće vraćeni autoru na doradu.

Obim i font. Rad treba da je napisan na papiru A4 formata (210x297 mm), margine (leva, desna, gornja i donja) sa po 25 mm, u Microsoft Wordu novije verzije, fontom Times New Roman, veličine 12, sa razmakom 1,5 reda, obostrano poravnat prema levoj i desnoj margini. Preporučuje se da celokupni rukopis ne bude manji od 5 strana i ne veći od 10 strana.

Naslov rada treba da je isписан velikim slovima, bold, na srpskom i na engleskom jeziku. Ispod naslova rada pišu se imena autora i institucija u kojoj rade. Autor rada zadužen za korespondenciju sa uredništvom mora da navede svoju e-mail adresu za kontakt u fusuotu.

Izvod se nalazi na početku rada i treba biti dužine do 200 reči, da sadrži cilj rada, primenjene metode, glavne rezultate i zaključke. Veličina fonta je 10, italic.

Ključne reči se navode ispod izvoda. Treba da ih bude minimalno 3, a maksimalno 6. Veličina fonta je 10, italic.

Izvod i ključne reči treba da budu date i 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.

Glavni naslovi trebaju biti urađeni sa veličinom fonta 12, bold, sve velika slova i poravnati sa levom marginom.

Podnaslovi se pišu sa veličinom fonta 12, bold, poravnato prema levoj margini, velikim i malim slovima.

Slike i tabele. Svaka ilustracija i tabela moraju biti razumljive i bez čitanja teksta, odnosno, moraju imati redni broj, naslov i legendu (objašnjenje oznaka, šifara, skraćenica i sl.). Tekst se navodi ispod slike, a iznad tabele. Redni brojevi slike i tabela se daju arapskim brojevima.

Reference u tekstu se navode u uglačastim zagradama, na pr. [1,3]. Reference se prilaže na kraju rada na sledeći način:

[1] B.A. Willis, Mineral Processing Technology, Oxford, Pergamon Press, 1979, str. 35. (za poglavje u knjizi)

[2] H. Ernst, Research Policy, 30 (2001) 143–157. (za članak u časopisu)

[3] www: <http://www.vanguard.edu/psychology/apa.pdf> (za web dokument)

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

Zahvalnost se daje po potrebi, na kraju rada, a treba da sadrži ime institucije koja je finansirala rezultate koji se daju u radu, sa nazivom i brojem projekta; ili ukoliko rad potiče iz magistarske teze ili doktorske disertacije, treba dati naziv teze/disertacije, mesto, godinu i fakultet na kojem je odbranjena. Veličina fonta 10, italic.

Radovi se šalju prevashodno elektronskom poštrom ili u drugom elektronskom obliku.

Adresa uredništva je: Časopis BAKAR

Institut za rudarstvo i metalurgiju

Zeleni bulevar 35, 19210 Bor

E-mail: nti@irmbor.co.rs; ana.kostov@irmbor.co.rs

Telefon: 030/454-254; 030/454-108

Svim autorima se zahvaljujemo na saradnji.

INSTRUCTIONS FOR THE AUTHORS

COPPER Journal is published twice a year and publishes the scientific, technical and review paper works. Only original works, not previously published and not simultaneously submitted for publications elsewhere, are accepted for publication in the journal. The papers are anonymously reviewed by the reviewers after that the Editorial decided to publish. The submitted work for publication should be prepared according to the instructions below as to be included in the procedure of reviewing. Inadequate prepared manuscripts will be returned to the author for finishing.

Volume and Font Size. The paper needs to be written on A4 paper (210x297 mm), margins (left, right, top and bottom) with each 25 mm, in the Microsoft Word later version, font Times New Roman, size 12, with 1.5 line spacing, justified to the left and right margins. It is recommended that the entire manuscript cannot be less than 5 pages and not exceed 10 pages.

Title of Paper should be written in capital letters, bold, in Serbian and English. Under the title, the names of authors and their affiliations should be written. Corresponding author must provide his/her e-mail address for contact in a footnote.

Abstract is at the beginning of the paper and should be up to 200 words include the aim of the work, the applied methods, the main results and conclusions. The font size is 10, italic.

Keywords are listed below the abstract. They should be minimum 3 and maximum of 6. The font size is 10, italic.

Abstract and Keywords should be also given in English language.

Basic Text. The papers should be written concisely, in understandable style and logical order that, as a rule, including the introduction part with a definition of the aim or problem of the work, a description of the methodology, presentation of the obtained results as well as a discussion of the results with conclusions and implications.

Main Titles should be done with the font size 12, all capital letters and aligned to the left margin.

Subtitles are written with the font size 12, bold, aligned to the left margin, large and small letters.

Figures and Tables. Each figure and table must be understandable without reading the text, i.e., must have a serial number, title and legend (explanation of marks, codes, abbreviations, etc.). The text is stated below the figure and above the table. Serial numbers of figures and tables are given in Arabic numbers.

References in the text are cited in square brackets, e.g. [1,3]. References are enclosed at the end of the paper as follows:

- [1] B.A. Willis, Mineral Processing Technology, Oxford, Pergamon Press, 1979, p. 35. (*for the chapter in a book*)
- [2] H. Ernst, *Research Policy*, 30 (2001) 143–157. (*for the article in a journal*)
- [3] <http://www.vanguard.edu/psychology/apa.pdf> (*for web document*)

Citation of the unpublished works is not preferable and, if it is necessary, as much as possible completed data source should be listed.

Acknowledgement is given, as needed, at the end of the paper and should include the name of institution that funded the given results in the paper, with the project title and number; or if the work is resulted from the master thesis or doctoral dissertation, it should give the title of thesis/dissertation, place, year and faculty/university where it was defended. Font size is 10, italic.

The manuscripts are primarily sent by e-mail or in other electronic form.

Editorial Address: Journal COPPER
 Mining and Metallurgy Institute Bor
 35 Zeleni bulevar, 19210 Bor
 E-mail: nti@irmbor.co.rs; ana.kostov@irmbor.co.rs
 Telephone: +381 30/454-254; +381 30/454-108

We are thankful for all authors on cooperation.