

INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR

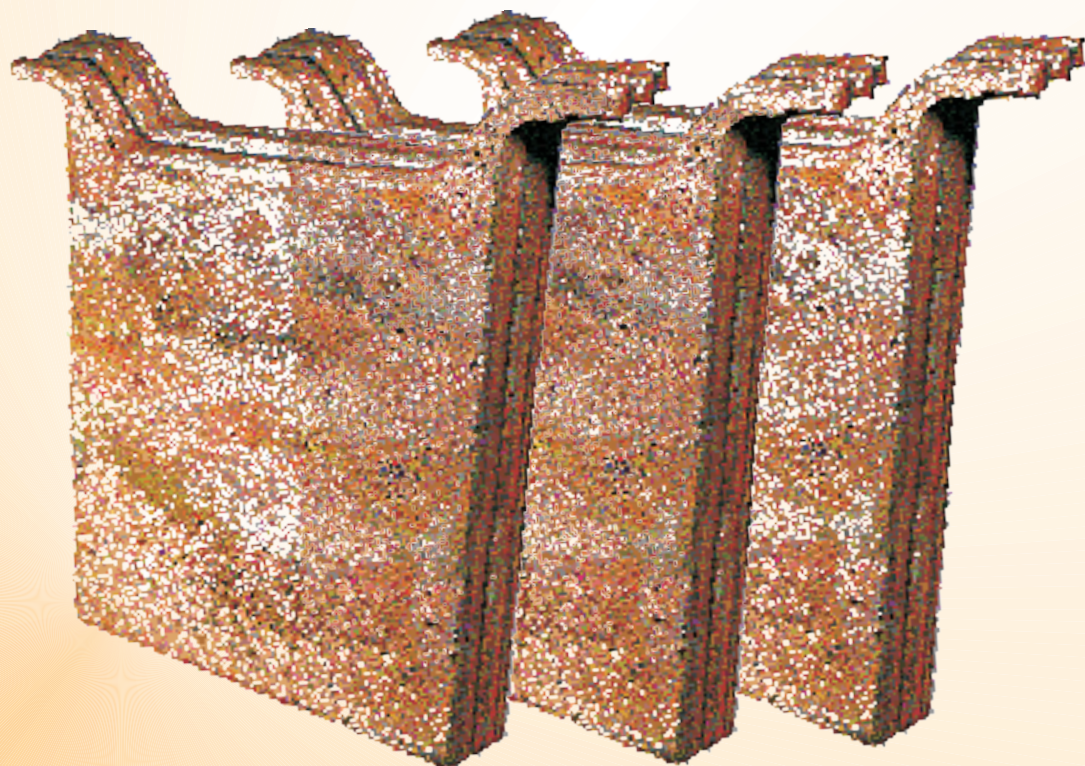


Cu

UDC 669.3  
ISSN 0351-0212

Broj 1 Volumen 36 2011

# BAKAR COPPER



---

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

**Glavni i odgovorni urednik**

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

**Zamenik glavnog i odgovornog urednika**

Dr Ana Kostov, *naučni savetnik*  
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor  
E-mail: [ana.kostov@irmbor.co.rs](mailto: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.*

**Štamparija:** Grafomedtrade Bor

**Tiraž:** 100 primeraka

**Internet adresa**

[www.mininginstitutebor.com](http://www.mininginstitutebor.com)

**Izdavanje časopisa finansijski podržavaju**

Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj  
Republike Srbije  
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

**ISSN 0351-0212**

*Indeksiranje časopisa u SCIndeksu i u ISI.*  
*Naučni časopis kategorizacije M52 za 2010.*

**Izdavač**

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor  
19210 Bor, Zeleni bulevar 35  
E-mail: [nti@irmbor.co.rs](mailto:nti@irmbor.co.rs)  
Tel. 030/454-254

**Sva prava zadržana.**

**Uređivački odbor**

Prof. 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-metalurški fakultet Beograd*  
Doc. dr Milica Gvozdenović, *docent*  
*Tehnološko-metalurški 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*  
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*  
Dr Dejan Trifunović, *naučni saradnik*  
*Tehnološko-metalurški 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, as well as related fields of science. Since 1968, published twice a year.

**Editor-in-Chief**

Ph.D. Milenko Ljubojev, *Principal Research Fellow, associate member of ECS*

Mining and Metallurgy Institute Bor  
E-mail: [milenko.ljubojev@irmbor.co.rs](mailto:milenko.ljubojev@irmbor.co.rs)  
Phone: +38130/454-110

**Co-Editor**

Ph.D. Ana Kostov, *Principal Research Fellow*  
Mining and Metallurgy Institute Bor  
E-mail: [ana.kostov@irmbor.co.rs](mailto: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:** Grafomedtrade Bor

**Circulation:** 100 copies

**Web site**

[www.mininginstitutebor.com](http://www.mininginstitutebor.com)

**COPPER is financially supported by**

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

**ISSN 0351-0212**

*Journal indexing in SCIndex and ISI.*

*Scientific Journal categorization M52 for 2010.*

**Published by**

Mining and Metallurgy Institute Bor  
19210 Bor, Zeleni bulevar 35  
E-mail: [nti@irmbor.co.rs](mailto:nti@irmbor.co.rs)  
Phone: +38130/454-254

**All rights reserved.**

**Editorial Board**

Prof.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. Dragana 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*

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*

Ph.D. Dejan Trifunović, *Research Associate*  
*Faculty of Technology and Metallurgy Belgrade*

UDK: 669.3:621.31(045)=861

STRUČNI RAD

*Oblast: Energetska efikasnost*

**EFIKASNOST RACIONALNOG GAZDOVANJA ELEKTRIČNOM  
ENERGIJOM U METALURGIJI BAKRA**

**EFFICIENCY OF RATIONAL MANAGEMENT IN ELECTRICITY  
COPPER METALLURGY**

Milanče Mitovski<sup>1</sup>, Aleksandra Mitovski<sup>2</sup>

<sup>1</sup>RTB-Bor Grupa, Bor

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru

**Izvod**

*Problemu racionalnijeg gazdovanja energijom u našoj zemlji u prošlosti nije se pridavao preveliki značaj. Razlog za to bila je poslovna filozofija tadašnjeg menadžmenta kao i opšta klima u svetu koja je težište proizvodnje stavljala na stranu količine proizvedenih jedinica nekog proizvoda i na njegov kvalitet.*

*Za razliku od prethodnih vremena, brži razvoj konkurencije na tržištu doprineo je da se danas aspektu smanjenja u potrošnji energije pridaje izuzetno veliki značaj. Poslovna klima promenila se u pravcu smanjivanja svih troškova proizvodnje. Pošto energija učestvuje sa većim ili manjim procentom u jediničnom proizvodu ali svakako uvek u značajnom iznosu to, sa aspekta energetske uštede u proizvodnji generalno gledano, čini polje uštede energije posebno značajnim i interesantnim u pogledu troškova proizvodnje, očuvanja resursa i zaštite životne sredine. Konkretizacija ove tematike je izvršena za pirometaluršku ekstrakciju bakra.*

**Ključne reči:** *energija, ušteda, metalurgija, bakar, potrošnja, efikasnost proizvodnje.*

**Abstract**

*The problem of energy savings in our country was not given much importance in the past. The reason was managements business philosophy of that time as well as general global climate which put production brunt on the side of quantity and quality of produced units. Today, situation is different: exponential growth of market competition contributed to making the aspect of energy consumption savings very significant. Business climate have changed in direction of cutting down all production costs. Since energy participate with larger or lesser percent in basic production unit, but always notably, it is to say that generally looking from the aspect of energetic savings in*

---

<sup>1</sup> E-mail: mitovskimilance@open.telekom.rs

*production process, field of energy savings is especially important and interesting at the expanse of production, savings resources and protection environmental in look. Concretization of this topic is made for pyrometallurgical extraction of copper.*

**Key words:** Energy, savings, metallurgy, copper, consumption, production efficiency.

## UVOD

Energetska efikasnost danas je svakako jedan od intenzivnijih trendova u svetu, a u proteklih decenija u Evropi posebno. Ovaj trend rezultovao je osnivanjem Agencija za energetska efikasnost u gotovo svim evropskim zemljama sa ukupnim godišnjim budžetom u vrednosti više od 5 milijardi dolara. Osnovni zadatak ovih Agencija, pogotovo kada je proizvodna delatnost u pitanju i s obzirom na energetske bilanse u proizvodnim procesima, jeste da formira i podstakne razvoj i prihvatanje novog načina razmišljanja i pristupa kada su u pitanju konkurentnost na tržištu i stalni zahtevi za povećanjem profita, kroz racionalizaciju utroška energenata. Jedna od opšte prihvaćenih teza u raspravama o uštedi električne energije, a da sa njom i nema neke preterane veze, bila je kompenzacija reaktivne snage. Iako je osnovni cilj kompenzacije poboljšanje naponskih prilika i smanjenje opterećenja provodnika u određenom delu električnih instalacija, kao prateća pojava javlja se i smanjenje reaktivne snage (energije) što je gotovo uvek dovodilo do zamene teza. Treba imati na umu da je vrednost jednog kvarh znatno niža u odnosu na druge stavke u računu za električnu energiju shodno važećem tarifnom sistemu, kao i da je granica isplativosti kompenzacije reaktivne snage do  $\cos\phi=0,95$  zbog prirode funkcije tangensa i cene baterija kondenzatora koje se koriste prilikom kompenzacije manjih vrednosti reaktivne snage (tipično do nekoliko MVar). Izuzetak čine veliki industrijski kompleksi, kao što su npr. RTB-Bor, USS-Srbija, površinski kopovi uglja i slični, gde je efekat uštede reaktivne energije izuzetno veliki, mada se umesto rešenja sa kompenzatorskim baterijama može podjednako koristiti i rešenje sa sinhronim mašinama kao kompenzatorima reaktivne energije postavljenim centralno na ulaznim sabirnicama u postrojenje, posebno ako se ima u vidu činjenica da je važećim Zakonom o energetici R. Srbije (*Službeni Glasnik Republike Srbije, br. 84/2004*), ostavljena mogućnost distribuirane proizvodnje električne energije. Svemu ovome u prilog svakako ide i značajan akcenat koji čitav svet daje smanjenju potrošnje svih vrsta neobnovljivih izvora energije kao i zaštiti životne sredine zbog već poznatih problema sa kojima se suočavamo usled ograničene količine fosilnih goriva i efekta staklene bašte. Racionalizacijom potrošnje električne energije i povećanjem efikasnosti njenog korišćenja mogu se postići uštede jednake onim prihodima koji bi se imali pri povećanju obima proizvodnje (5-20)% [1].

## 1. OSNOVNI POTROŠAČI ELEKTRIČNE ENERGIJE U INDUSTRIJI

Sve potrošače energije u industriji možemo podeliti u tri osnovne grupe:

### 1.1. Elektromotori

Elektromotori su najzastupljeniji i najveći potrošači električne energije u industriji. Analize koje je sprovedla Engleska agencija za energetske efikasnost pokazuju da elektromotori čine više od 75% ukupne potrošnje električne energije u industriji. Više od 95% ovih motora su asinhroni elektromotori najrazličitijih konstrukcija. Oko 80% asinhronih elektromotora (po snazi) nalazi se u nereguliranim pogonima (*pogoni sa konstantnom brzinom obrtanja*), a preostalih 20% u reguliranim pogonima (*pogoni sa promenljivom brzinom obrtanja*). Najveći broj energetske dominantnih asinhronih elektromotora u industriji su trofazni niskonaponski asinhroni elektromotori snaga do oko 1,5 MW a veliki broj asinhronih elektromotora je u kategoriji visokonaponskih asinhronih elektromotora, tipično do 15 kV i 15 MW. U industrijskim pogonima mogu se sresti i sinhroni elektromotori većih snaga ali je njihov broj, u odnosu na broj asinhronih elektromotora, značajno manji. Još uvek je izvestan broj pogona opremljen jednosmernim elektromotorima mada je intenzivan razvoj energetske elektronike i njene primene kombinovane sa mikroprocesorskim uređajima u potpunosti, bar kada su novi pogoni u pitanju, potisnuo jednosmerni elektromotor iz upotrebe. Pogoni u kojima rade elektromotori su po pravilu bilo regulirani bilo neregulirani i o ovoj činjenici svakako treba voditi dominantno računa u primeni mera, postupaka i uređaja kada je reč o uštedama električne energije u pogonima sa elektromotorima [2].

### 1.2. Izvori toplote

U izvore toplote spadaju sva grejna tela koja električnu energiju preuzetu iz elektroenergetske mreže transformišu u toplotnu. Pored klasičnih grejača koji su najzastupljeniji izvori toplote u industriji indukcione peći jer su one po pravilu najveći potrošači električne energije kada se pojave u okviru nekog industrijskog pogona. Istovremeno to su i "najprljaviji" potrošači električne energije s obzirom na "prljanje" napojne mreže, a gledano kroz pokazatelje kvaliteta električne energije.

### 1.3. Ostali potrošači električne energije

U grupu ostalih potrošača električne energije spadaju sistemi rasvete, računari, PLC, frekventni regulatori, industrijska elektronika, sensorika itd. Najznačajniju ulogu među njima po pravilu imaju sistemi rasvete, koji u određenim sektorima proizvodnje (*posebno tamo gde sistem rasvete radi za vreme celokupnog proizvodnog procesa*) može imati značajniju poziciju i učešće u strukturi potrošnje električne energije kompanije. Ostali potrošači iz ove kategorije su po pravilu izuzetno mali potrošači električne energije ali su veliki sa aspekta svoje zahtevnosti za odgovarajućim kvalitetom električne energije. Njihov značaj u svim industrijskim pogonima je izuzetno veliki jer njihov otkaz gotovo sigurno vodi ka prekidu industrijskog procesa proizvodnje i velikom gubitku i škartu proizvoda.

## 2. STRUKTURA TROŠKOVA ELEKTRIČNE ENERGIJE POTROŠAČA

Strukturu troškova električne energije jednog industrijskog potrošača koji za registrovanje potrošnje električne energije poseduje industrijsku mernu grupu na VN ili NN strani. Shodno aktuelnom Tarifnom sistemu za prodaju električne energije Republike Srbije, većina mernih mesta u industriji pripadaju tarifnoj kategoriji "Potrošnja na srednjem naponu" 1-110 kV, što je svakako povoljnija varijanta, mada je veliki i onaj broj potrošača koji pripadaju kategoriji "Potrošnja na niskom naponu" do 1 kV. Obračunski period za ovu kategoriju potrošnje je mesec dana. Mesečni obračun troškova za utrošenu električnu energiju vrši se na osnovu Metodologije za obračun i Tarifnog sistema za obračun električne energije za tarifne kupce (*Službeni Glasnik Republike Srbije br. 68/2006 i 1/2007*).

Treba napomenuti da je obračunska snaga mesečna maksimalna aktivna snaga za jednog kupca a utvrđuje se merenjem srednje petnaestominutne aktivne snage tokom kalendarskog meseca. Takođe, značajno je da u pomenutoj kategoriji industrijske potrošnje, po novom Tarifnom sistemu, postoji obračunska snaga i prekomerno preuzeta snaga, koja je duplo skuplja od obračunske. Ova činjenica utiče na izbor vršne snage kao prioritnog parametra pri racionalizaciji potrošnje električne energije. Naplata reaktivne energije je takva da se naplaćuje kompletno preuzeta reaktivna energija tako da industrijski potrošači imaju dve cene: do  $\cos\varphi < 0,95$  i za  $\cos\varphi \geq 0,95$ . Važeće cene (*cenovnik JP EPS br. 455/3-10 od 27. januara 2010. godine*) na VN (*na kojoj je priključen RTB-Bor*) od 1. marta 2010. godine su: aktivna viša tarifa 3,348 din/kWh, aktivna niža tarifa 1,116 din/kWh, obračunska snaga 513,532 din/kW, prekomerna obračunska snaga 1027,063 din/kW, reaktivna energija  $\cos\varphi \geq 0,95$  0,321 din/kVarh, prekomerna reaktivna energija  $\cos\varphi < 0,95$  0,643 din/kVarh,

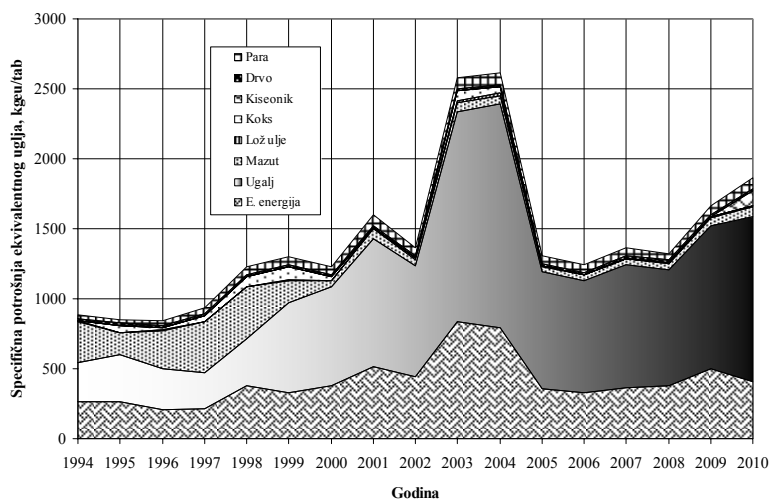
naknada za merno mesto 105,01 din, PDV 18% i ostvareni troškovi za pristup i korišćenje prenosnog sistema 0,2691 din/kWh.

### 2.1. Struktura troškova energije u proizvodnji bakra

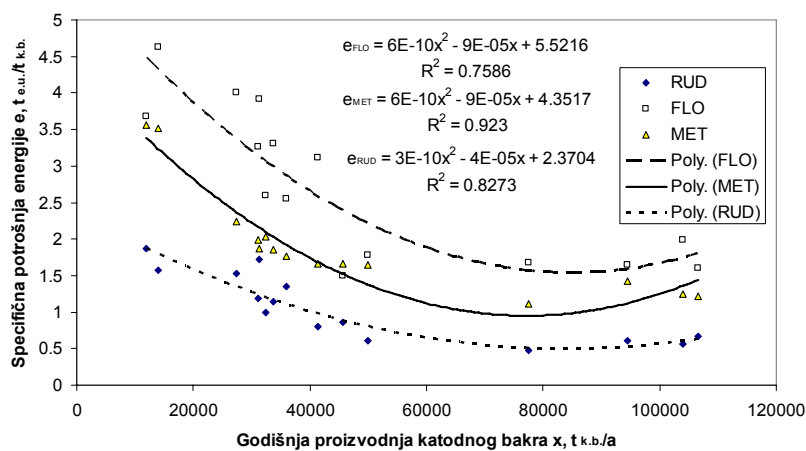
U poslovnoj 2010. godini proizvedeno je pirometalurškom ekstrakcijom [10] 22.202,750 t katodnog bakra. Za tu svrhu prerađena je količina suvog koncentrata 160.794 t, ruda (*sa 5÷7%Cu*) 13.117 t, utrošeno je 2,633 tona ekvivalentnog uglja po toni katodnog bakra, u bruto iznosu, od toga, specifična potrošnja električne energije je 3.009,415 kW<sub>e</sub>h/t<sub>k.b.</sub>. Neto potrošnja energije (*ekvivalent energije katodnog bakra*), svedena na ekvivalentni ugalj, iznosi 2,368 t<sub>cu</sub>/t<sub>k.b.</sub>. Troškovi energenata bez PDV od 41.919,67 din/t<sub>kb</sub> su raspoređeni u topionici 83,84%, elektrolitičkoj rafinaciji 7,68% i u fabrici sumporne kiseline 8,48%. Učešće energenata u troškovima energenata je: ugalj 41,54%, električna energija 23,70%, mazut 4,98%, kiseonik 13,58%, toplota za zagrevanje elektrolita 3,65%, lako tečno gorivo 4,33%, drvo za polovanje 0,46%, i rashladna i demineralizovana 2,83% [7]. S druge strane, u proizvodnoj ceni bakra energenti učestvuju sa 30 do 50%.

Na sl. 1. je prikazana specifična potrošnja energenata po vrstama u proizvodnji anodnog bakra u Topionici bakra svedenih na kg mase ekvivalentnog uglja po toni anodnog bakra za period 1994. do 2010. godine [7]. Na sl. 2 i 3 prikazana je zavisnost specifične potrošnje energenata od godišnjeg kapaciteta proizvodnje bakra i sadržaja bakra u prerađivanom koncentratu. Sa porastom kapaciteta prerade (*za svakih 1000 t bakra*) potrošnja energenata pada za 8,5%, a sa porastom sadržaja bakra u koncentratu (*za svaki %Cu u koncentratu*) pad potrošnje energije je za 21,4%. Ovo direktno se proporcionalno prenosi i na ukupne troškove proizvodnje bakra. Po ovom pitanju pred menadžmenta stoji zaista odgovoran zadatak, suprotno od dosadašnje prakse.



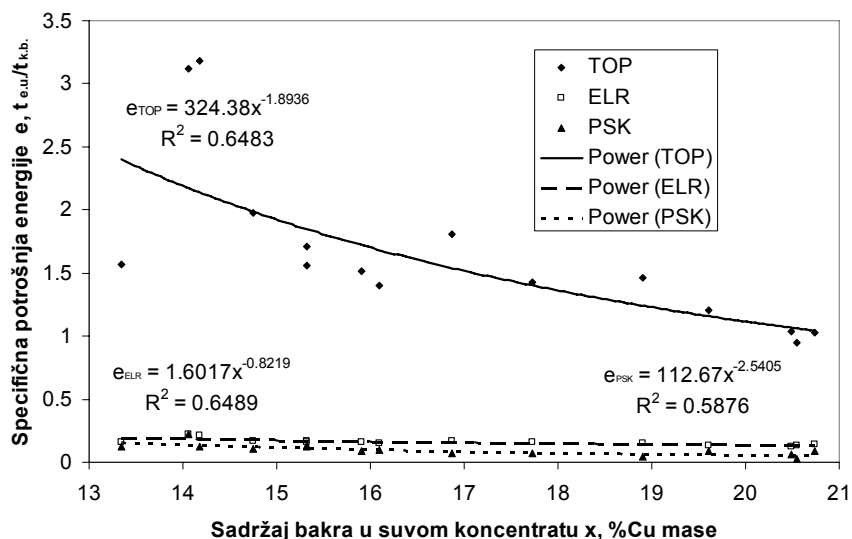


SI. 1. Specifična potrošnja energenata u proizvodnji anodnog bakra u Topionici svedenih na kg mase ekvivalentnog uglja po toni anodnog bakra<sup>2</sup>



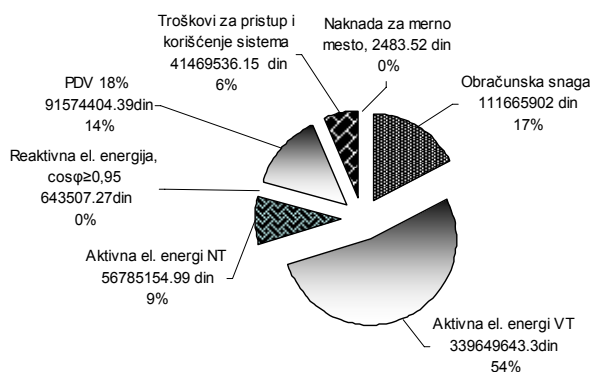
SI. 2. Specifična potrošnja energenata u proizvodnji katodnog bakra od rude do katode po fazama proizvodnje u: rudarstvu (RUD), flotiranju (FLO) i topionici, elektrolitičkoj rafinaciji bakra i proizvodnji sumporne kiseline (MET-topionica, elektrolitička rafinacija i proizvodnja sumporne kiseline) u zavisnosti od godišnje proizvodnje katodnog bakra

<sup>2</sup> U tekstu, odvajanje decimalnih mesta je vršeno zaptom (.), a odvajanje hiljadita mesta tačkom (.), jer su velike cifre preglednije. Na slikama 2, 3 i 4, iz tehničkih razloga, odvajanje decimalnih mesta je urađeno sa tačkom (.)



Sl. 3. Specifična potrošnja energenata u proizvodnji katodnog bakra od koncentrata do katode po fazama proizvodnje u: Topionici (TOP), elektrolitičkoj rafinaciji bakra (ELR) i proizvodnji sumporne kiseline (PSK) u zavisnosti od sadržaja bakra u suvom koncentratu

U 2010. poslovnoj godini za potrošače baznog dela RTB-Bor priključenih na TS Bor-3 utrošili su 154.107.290 kWh aktivne električne energije, 4.210.759 kVarh reaktivne i prosečna obračunska snaga 22.013 kW. Ugradnjom kondenzatorskih baterija u TS Bor-3, potrošnja reaktivne energije je smanjena značajno (*faktor snage cosφ povećan je sa oko 0,77 na 0,9996 u 2010. godini*) i time su smanjeni troškovi za skoro dva miliona dinara mesečno.



**Sl. 4.** Učešće aktivne (više i niže tarife), reaktivne energije i vršnog opterećenja u ceni električne energije (koja u 2010. godini u proseku, svedena na aktivnu energiju, iznosi 3,8955 din/kWh, ili 3,78 euro centi/kWh) [7]

### 3. ASPEKT UŠTEDE ELEKTRIČNE ENERGIJE

U najširem smislu ukoliko prihvatimo tehno-menadžrski pristup ovom problemu aspekte uštede električne energije u industriji možemo svrstati u dve kategorije:

**3.1. Direktne** uštede električne energije - ovaj aspekt podrazumeva sve aktivnosti i mere koje za rezultat imaju direktno smanjenje potrošnje električne energije (*ušteda angažovane snage, uštede u potrošnji aktivne energije, uštede u potrošnji reaktivne energije*).

**3.2. Indirektne** uštede električne energije - ovaj aspekt podrazumeva skup svih ušteda koje se imaju usled smanjenja ili eliminacije štetnih pojava u industrijskim mrežama (*viši harmonici, propadi i preskoci napona, prekidi u napajanju i slično*). Sve pomenuto spada u domen koji obuhvata pojam kvaliteta električne energije, a kao posledicu ima povećanje pouzdanosti električnog napajanja i raspoloživost rada industrijskog pogona, produžavanje radnog veka elektroopreme i smanjenje troškova održavanja (*uštede usled suzbijanja štetnih posledica izazvanih naručenim kvalitetom električne energije*). S druge strane, sve mere, metode i postupke uštede električne energije u industriji moguće je podeliti u tri kategorije, i to:

- trenutne (*daju trenutno efekat uštede, iskazan kroz smanjenje troškova za električnu energiju*); one mogu biti lokalnog karaktera ako se njima tretiraju samo konkretni potrošači električne energije u okviru industrijskog subjekta, ali mogu biti i na nivou kompanije kao celine globalni;

- kratkoročne (*daju rezultate na vremenskom periodu nakon jedne do tri godine, odnosno ulaganja i investiranja u njih se otplate u ovom vremenskom periodu i posle perioda otplate ostvaruje se čista dobit realizovana kroz uštedu električne energije*); pored lokalnog karaktera ove metode mogu da imaju i ostrvski karakter - ako se tretiraju pojedine grupe potrošača električne energije u okviru jednog dela procesa proizvodnje;
- dugoročne (*daju rezultate nakon perioda dužeg od tri godine*); po pravilu su globalnog karaktera, to jest ovim metodama se tretiraju čitavi industrijski kompleksi, a odluke koje se donose imaju strateški karakter.

Direktna ušteda električne energije moguća je kod 1. i 2. grupe industrijskih potrošača ali i kod jednog dela potrošača električne energije iz grupe 3. a to su sistemi rasvete. Ostvarivanje uštede u potrošnji električne energije moguće je obaviti na nekoliko polja:

1. ušteda angažovane snage,
2. ušteda potrošnje aktivne energije,
3. ušteda potrošnje reaktivne energije.

Postoje, međutim i postupci koji utiču na sva tri navedena polja uštede električne energije u industriji a to su:

- Objedinjavanje merenja potrošnje električne energije, ukoliko se ono vrši na više od jednog mesta u okviru posmatranog industrijskog kompleksa, a u okviru istog naponskog nivoa (na primer: kod vodovoda, toplana, poljoprivrednih preduzeća, odnosno, generalno kod svih geografski rasprostranjenih potrošača električne energije kod kojih se obračun preuzete električne energije realizuje na više različitih mesta),
- Prelazak na merenje potrošnje električne energije na strani višeg napona za sve potrošače koji imaju transformatore u okviru svojih pogona. Ovo je direktna posledica koja proizilazi iz trenutno važećeg Tarifnog stava o kupoprodaji električne energije na teritoriji Srbije. Treba napomenuti da se u većini slučajeva menadžment u industriji odlučuje za trenutne rezultate uštede električne energije jer im za njih nisu potrebna ozbiljnija razmatranja sistema i tehnološkog procesa. Ovakva razmatranja po pravilu zahtevaju uključivanje i specijalnosti izvan tehničkog sektora i koordinaciju između njih. Sa druge strane za donošenje bilo kakvih dugoročnih odluka o uštedi potrebno je imati jasnu predstavu o tokovima električne energije i njenom kvalitetu što predpostavlja inicijalnu investiciju u pouzdane sisteme merenja, skladištenja i analize svih relevantnih električnih veličina po pojedinim grupama potrošača u industrijskom postrojenju. Tipičan primer direktne uštede električne energije je, na primer, prelazak na alternativne vidove grejanja u

industrijskim postrojenjima gde god je to moguće (upotreba grejača na gas ili naftu umesto električnih grejača – primer realizacije je, na primer, projekat u kome se grejanje tankova i još nekih potrošača prebacuje sa sistema električnih grejača od nekoliko desetina kW na sistem pare koja se proizvodi u parnim kotlovima).

### **3.1.1. Mogućnosti uštede angažovane snage**

Metode koje daju trenutne rezultate

1. Kada su neregulisani pogoni sa asinhronim motorima u pitanju tada je instalacija optimizatora rada asinhronih motora sa funkcijom softstarta svakako jedna od metoda koja daje trenutne rezultate jer je uticaj rada, (*s obzirom na obavezno prisutnu predimenzionisanost asinhronih motora kao i činjenicu da su asinhroni elektromotori u toku rada veoma često podopterećeni*) a posebno starta asinhronih elektromotora izuzetno veliki na angažovanu snagu (*usled izrazito velike vrednosti polazne struje asinhronih elektromotora i u slučaju velikog broja startovanja istih*).

2. Kada su regulisani pogoni u pitanju tada je svakako značajna upotreba frekventnih regulatora koji prilagođavajući brzinu asinhronih elektromotora zahtevima procesa indirektno utiču na smanjenje angažovane snage. Ovi regulatori imaju i funkciju "mekog" starta tako da umanjuju i uticaj starta asinhronih elektromotora na vrednost angažovane snage u okviru proizvodnog subjekta. Iz ovoga sledi zaključak da je preporučljivo preći na frekventne regulatore ali generalno i na asinhronne elektromotore gde god je to moguće u regulisanim pogonima, a izbaciti jednosmerne elektromotore i njihove regulatore iz upotrebe.

3. Kontrola uključivanja velikih potrošača, to jest obezbeđivanje sukcesivnog uključivanja velikih potrošača na određenom vremenskom intervalu.

#### **Kratkoročne i dugoročne metode**

Sprovođenje detaljnih merenja potrošnje angažovane snage na vremenskom periodu od 1 do 3 godine po svakom izvodu iz transformatorske stanice iz koje se napajaju pojedine proizvodne linije i donošenje mera u skladu sa dobijenim rezultatima. Merenja treba realizovati mernim sistemima koji mere sve neophodne standardne električne veličine (*napone, struje, snage, faktore snage, energije*) ali i one veličine koje se isključivo odnose na procenu kvaliteta električne energije. Merenja treba raditi kontinuirano kako bi se pratili efekti preduzetih mera koje mogu biti: dislokacija određenih potrošača, pravljenje plana uključivanja i isključivanja potrošača, promene u procesu proizvodnje, kaskadna realizacija pogona sa asinhronim elektromotorima gde god je to moguće (*na primer, 2x45kW ili 55kW + 27kW umesto korišćenja jednog elektromotora od 90kW*) itd..

### **3.1.2. Mogućnosti uštede aktivne energije**

#### ***Metode koje daju trenutne rezultate***

1. Kod nereguliranih pogona moguće je koristiti odgovarajuće optimizatore rada asinhronih motora koji na osnovu zahtevanog opteređenja na vratilu vrše prilagođavanje preuzete aktivne energije iz mreže. Ovu meru treba primenjivati kako u slučaju uvođenja novih pogona sa asinhronim elektromotorima tako i u slučaju revitalizacije postojećih pogona sa asinhronim elektromotorima.

2. Kod reguliranih pogona svakako je ponovo značajno naglasiti upotrebu frekventnih regulatora koji obezbeđuju maksimalnu uštedu aktivne energije.

3. S obzirom da je cena aktivne električne energije u noćnom režimu (23 do 07h) tri puta niža od više dnevne tarife, raspodela potrošnje električne energije ostvaruje se tehnološkim organizacionim merama, tako što se maksimalna potrošnja postiže u vreme nižeg dnevnog tarifnog stava. Aktivnosti koje na taj način ne ugrožavaju tehnološki proces, treba vršiti u trećoj smeni kada je na snazi niži dnevni tarifni stav.

4. Primena uređaja za uštedu električne energije u delu potrošnje koja se ima za sistem osvetljenja industrijskih potrošača. Ovde se može delovati u dva smera. Jedan je korišćenje energetske efikasnijih svetiljki a drugi je primena uređaja koji omogućavaju rad svetiljki sa sniženim naponom (*uz zadržavanje kvaliteta osvetljenja*), kojima se smanjuje potrošnja aktivne električne energije u ovim sistemima u iznosu od oko (20-30)%.

#### ***Kratkoročne i dugoročne metode***

Sprovođenje detaljnih merenja potrošnje aktivne energije na vremenskom horizontu od 1 do 3 godine po svakom izvodu iz transformatorske stanice i donošenje mera u skladu sa dobijenim rezultatima. Merenja treba realizovati kontinuirano kako bi se pratili efekti preduzetih mera koje mogu biti: racionalnije to jest ravnomernije planiranje procesa proizvodnje koje uzima u obzir broj i vreme rada pojedinih mašina, odnosno delova proizvodnog procesa, mogućnost uvođenja treće smene, razvoj optimizacionih algoritama za upravljanje proizvodnjom itd.

### 3.1.3. *Mogućnosti uštede reaktivne energije*

#### *Mere koje daju trenutne rezultate*

1. Kod nereguliranih pogona sa asinhronim elektromotorima moguće je koristiti odgovarajuće optimizatore rada koji popravljaju faktor snage kod podopeterećenih elektromotora, a samim tim i prave uštedu u potrošnji reaktivne energije [4, 6].

2. Kod reguliranih pogona svakako je ponovo značajno naglasiti upotrebu frekventnih regulatora koji obezbeđuju maksimalnu uštedu reaktivne energije, odnosno rad sa faktorom snage bliskim jedinici.

3. Primena uređaja za uštedu električne energije u delu potrošnje koja se ima za sistem osvetljenja industrijskih potrošača. Ovde se može delovati u dva smera. Jedan je korišćenje energetske efikasnijih svetiljki a drugi je primena uređaja koji omogućavaju rad svetiljki sa sniženim naponom (*uz zadržavanje kvaliteta osvetljenja*), kojima se smanjuje potrošnja reaktivne električne energije u ovim sistemima u iznosu od oko (30-40)%.

4. Upotreba baterija za kompenzaciju reaktivne energije sa automatskom regulacijom; baterijama kondenzatora treba pokriti onaj deo reaktivne energije za koji se ispostavi da nedostaje nakon primene optimizatora rada asinhronih elektromotora i frekventnih regulatora, kao i uređaja koji obezbeđuju efikasniji rad sistema rasvete industrijskih potrošača.

5. Upotreba sinhronih kompenzatora kod većih potrošača reaktivne energije. Kratkoročne i dugoročne metode su identične onima koje su pomenute kod mogućnosti uštede aktivne energije.

## 4. EFEKTI KORIŠĆENJA SEKUNDARNE (OTPADNE) ENERGIJE U TOPIONICI BAKRA

Tehnološki proces proizvodnje bakra u metalurško-hemijskom kompleksu RTB-BOR Grupe "produkuje" zavidne količine visokotemperaturske sekundarne (*otpadne*) toplotne energije, koja se nekontrolisano u većem delu "gubi" u okolini. Tako, u pirometalurškoj proizvodnji bakra "produkuje" se sekundarna toplotna energija 1,621 kW<sub>t</sub>/kg suvog koncentrata ili raspoloživa toplota (*koja predstavlja razliku toplote na izlazu iz peći i toplote na temperaturi koja je iznad temperature tačke rose sumporne kiseline gasova*) 1,315 kW<sub>t</sub>/kg suvog koncentrata. Za projektovani kapacitet topionice bakra u Boru<sup>3</sup> raspoloživa toplotna snaga sekundarne energije je 92,111 MW<sub>t</sub>, što je

---

<sup>3</sup> U zadnjoj deceniji rad metalurškog kompleksa RTB-Bor, zbog situacije u privredi u Srbiji, radi sa smanjenim kapacitetom

ekvivalentno snagi paro-turbinskog termopostrojenja, u kome se izvršava realni Rankine-Clausius-ov toplotni ciklus, u visini od 28,334 MW<sub>e</sub>.

U slučajevima kada se proizvodi električna energija u Termoelektrani u Boru, specifična potrošnja pare, za period od 29 meseci u proseku, iznosi 7,843 kg pare/kWh proizvedene električne energije (ili 22.509,41 kJ/kWh), što odgovara neto stepenu iskorišćenja toplotnog ciklusa turboagregata od oko 0,1599, ili sa utilizacionim parnim kotlom neto 0,1209 i bruto 0,1591.

Korišćenjem raspoložive visokotemperaturske sekundarne energije pirometalurškog procesa u proizvodnji bakra (*proces: prženje, topljenje, konvertovanje i plamena rafinacija*) u RTB-Bor u Boru može se ostvariti snaga 28,334 MW, pri odvijanju Rankine-Clausius-ovog realnog toplotnog ciklusa. Sekundarnom energijom može se pokriti potreba za toplotnom energijom, u letnjem periodu, u Boru (oko 10 MW<sub>t</sub> ili pare 12,85 t/h), a ostala količina toplote (oko 88 MW<sub>t</sub>) za proizvodnju električne energije. Za ovu svrhu mogu se koristiti parna turbina sa protivpritiskom ili kondenzaciona parna turbina sa oduzimanjem pare. U tom slučaju proizvodila bi se električna energija i toplotna energija za potrebe zagrevanja elektrolita, priprema tople potrošne vode. Ova konstatacija posebno je bitna kod usvajanja termoenergetske šeme toplotnog ciklusa u gradnji „nove“ topionice sa novom savremenijom tehnologijom proizvodnje bakra [3, 5].

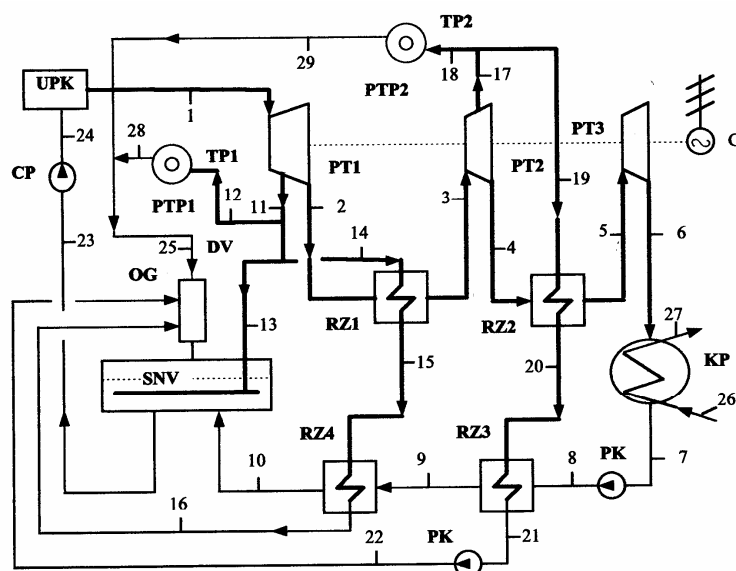
Izgradnjom „nove“ topionice bakra, koja je trenutno aktuelna u Boru, po autogenom tehnološkom postupku<sup>4</sup> treba očekivati eliminisanje imisije sumpor dioksida i poletine, a s njom i olova, cinka, žive, kadmijuma, arsena i ostalih komponenata, i smanjenje količine imisije ugljen dioksida i azotnih oksida. Ovim će biti smanjeno učešće procesa proizvodnje bakra na efekte globalnog zagrevanja kao što su efekat „staklene“ bašte i pojava „kiselih“ kiša u okolini Bora i šire, kao i eliminisanje direktnih šteta od gasova topionice na poljoprivredu i eko sistem u okolini.

---

<sup>4</sup> Tehnologija topljenja u Outokumpu Flash Smelting Furnace, mada, sa tehničko-tehnološkog stanovišta i troškova proizvodnje bakra, provejava mišljenje stručne javnosti da je ipak najpovoljnija tehnologija topljenja koncentrata bakra "Oxygen injection smelting" (ISA ili Ausmelt tehnologija), gde su niža investiciona ulaganja za oko 37%, a troškovi proizvodnje za skoro 40% [8]. Takođe, druga naznačena tehnologija topljenja bakronosne šarže trenutno je u punom zamahu širenja u svetu. U [11] prof. dr Carlos M. Diaz navodi da su trenutno u svetu zastupljene sledeće savremene tehnologije (broj topionica): 26 Outokumpu flash smelting, 5 Ausmelt, 7 Isasmelt, 5 Mitsubishi Copper continius smelting, 9 Noranda/Teniente bath smelting itd. S tim da Outokumpu Flash smelting se primenjuje od 1949. godine, a Isasmelt od 1992. godine.



Suvozasićena para, koja se proizvodi u utilizacionim parnim kotlovima procesa topljenja i konvertovanja „nove“ topionice, pritiska 6,0 MPa, može da se koristi za proizvodnju električne energije u kondenzacionom paroturbinskom postrojenju i za proizvodnju toplotne energije za toplifikaciju i za tehnološke potrebe. Jedna od šema hipotetičkih parnih blokova, koju je obradio dr M. Mitovski, je prikazana na sl. 5, [9]. Na ovaj način, osim pokrivanja sve potrebe baznog dela RTB-Bor toplotnom energijom, proizviće se i električna energija oko 31,5 GW<sub>e</sub>h godišnje. Cena proizvedene energije, bez cene gasovitih produkata procesa topljenja, iznosi električne 0,02067 USD/kW<sub>e</sub>h i toplotne energije 7,969 USD/MW<sub>t</sub>h.



Sl. 5. Šema hipotetičkog paroturbinskog postrojenja za proces topljenja

- UPK- utilizacioni parni kotao,
- PT1- stepen parne turbine visokog pritiska,
- PT2- stepen parne turbine srednjeg pritiska,
- PT3- stepen parne turbine niskog pritiska,
- KP- kondenzator pare,
- G- generator električne energije,
- SNV- spremnik napojne vode,
- PK- pumpa za kondenzat,
- CP- cirkulaciona pumpa, RZ rekuperativni zagrejač,
- OG- odgasivač,
- TP1- tehnološka para pritiska 2,0 MPa,
- TP2- tehnološka para pritiska 0,7 MPa,
- DV- dopunska voda (kondenzat sa 120°C),
- PTP- potrošač tehnološke pare

#### 4. ZAKLJUČCI

Elektroenergetska kriza u Srbiji poslednjih godina prouzrokovala je orijentaciju ka uštedi električne energije generalno i ka ostvarivanju efikasnijeg rada svih vrsta potrošača električne energije. Deficit u električnoj energiji u Srbiji prisutan je skoro čitavu poslednju deceniju. Ne ulazeći u razloge koji su do ovakvog stanja doveli neminovno je da se mora razmišljati, i da se moraju preduzimati mere, u pravcu rešavanja ovog problema. Činjenica je, da ni u situaciji kada ogroman deo industrije ne radi, zadovoljenje potreba za električnom energijom se realizuje izuzetno velikim uvozom električne energije. Stoga, pored aktivnosti usmerenih na izgradnju neophodnih proizvodnih kapaciteta, značajnija pažnja mora se posvetiti i uštedi električne energije u svim segmentima gde je to moguće.

Smanjenje potrošnje energenata i troškova proizvodnje po jedinici mase proizvoda, osim racionalnijeg gazdovanja energijom, adekvatnog kvaliteta koncentrata bakra (*ne niže od 20%Cu*) i energenata, neophodno je i ostvarivanje optimalni kapacitet pri maksimalnom kapacitivnom i vremenskom iskorišćenju metalurških agregata (*efektivno oko 40 t<sub>sk</sub>/h*).

Korišćenjem pak sekundarne (*otpadne*) toplotne energije tehnoloških procesa, kojim raspolaže Bor (*pre svega RTB-Bor Grupa*) kao specifičnost, smanjiće potrošnju primarne energije što će doprineti, osim ekonomske efikasnosti, i manje zagađivanje okoline. Sekundarna energija oslobodiće se iz tehnoloških procesa koristila se ili ne, i zagađivaće okolinu u svakom slučaju, a proizvodnjom potrebne energije, kao što je sada, dodatno zagađuje okolinu. Ovim se povećava energetska i ekonomska efikasnost aktuelnog tehnološkog procesa. Ovoj temi mora da se pridaje veći značaj kod izgradnje „nove“ topionice i fabrike sumporne kiseline, pre svega korišćenju visokotemperaturske otpadne toplote, kao što su procesi topljenja i konvertovanja u Topionici bakra i izgradnji savremeni i efikasni energetska sistem.

#### 5. LITERATURA

- [1] Mitovski, M. i Mitovski, A., Potencijalne mogućnosti za smanjenje potrošnje električne energije u metalurgiji, VII Savetovanje metalurga Srbije, Primenjena istraživanja i perspektive razvoja metalurške industrije Srbije, Beograd 2008.
- [2] Đukić, G. i Živković, P., Predlog mera za racionalizaciju potrošnje električne energije u kompaniji Sintelon, Beograd, 2004.
- [3] Mitovski, M. i Ćirković, M. Energija u metalurgiji bakra, Institut za bakar Bor, 2007.

- [4] Đukić, G. i dr., Tehno-ekonomska analiza rešenja problema kompenzacije reaktivnih snaga u TS-BOR 3, Energija broj 3-4, 2007.
- [5] Mitovski, M. i dr., Pобољшanje energetske efikasnosti korišćenjem sekundarne toplotne energije u metalurgiji bakra, VII naučno-stručni simpozijum sa međunarodnim učešćem «Metalni nemetalni materijali» Zenica (BiH) 2008.
- [6] Đukić, G. i Živković, P. Predlog mera za racionalizaciju potrošnje električne energije u kompaniji DELYUG, Beograd, 2002.
- [7] Mitovski, M. Energetska efikasnost pogona TIR-a u 2010. godini, RTB-Bor, Bor 2011.
- [8] Mitovski, M. i Mitovski, A., Uticaj proizvodnje bakra na efekat „staklene“ bašte i „kisele“ kiše, Bakar 35(2010) 2, str. 11-24, Bor, 2010.
- [9] Mitovski, M. Korišćenje sekundarne energije nakon izgradnje nove topionice bakra RTB-Bor u Boru, Bor 2011.
- [10] List RTB-Bor „Kolektiv“.
- [11] Carlos M. Diaz, Copper Sulphide Smelting: Past Achievements and Current Challenges, World of metallurgy- ERZMETALL 63 (2010) No. 3, pp. 114-123.

UDK: 622.785:669...1(045)=861

PREGLEDNI RAD

*Oblast: Metalurgija praha*

**PREDNOSTI POSTUPAKA METALURGIJE PRAHA**

**CONVENIENCE OF POWDER METALLURGY TECHNIQUE**

Aleksandra Ivanović<sup>1</sup>, Slavica Milojević<sup>2</sup>, Vesna Marjanović<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor

<sup>2</sup>TIR-Fabrika bakarne žice, Bor

**Izvod**

*Metalurgija praha se danas koristi za proizvodnju široke palete konstrukcijskih komponenata, samopodmazujućih ležajeva i reznih alata. Jedna je od najkorišćenijih tehnika za proizvodnju finalnih proizvoda ili poluproizvoda s obzirom na ekonomske aspekte njene primene.*

*U radu se daje pregled najčešće korišćenih postupaka metalurgije praha uz kratak opis istih.*

**Ključne reči:** *metalurgija praha, sinterovanje*

**Abstract**

*Powder metallurgy is one of the most popular technique for production a lot of constructive product, self-oiled bearing and cutting tools. It is one of the most popular technique for production final product or semi-product because the economy benefit of this process are better than other. In this paper are presented the most used powder metallurgy technique with their brief description.*

**Key words:** *powder metallurgy, sintering*

**1. UVOD**

Metalurgija praha (eng. powder metallurgy) koristi se za proizvodnju široke palete konstrukcijskih komponenata, samopodmazujućih ležajeva i reznih alata.

Tehnologija sinterovanja omogućava proizvodnju finalnih proizvoda ili poluproizvoda presovanjem praha i njegovim zagrevanjem (sinterovanjem) na temperaturi nešto nižoj od temperature topljenja praha ili ukoliko se radi o višefaznim sistemima, na temperaturi ispod tačke topljenja primarne faze [1,2].

---

<sup>1</sup> Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor

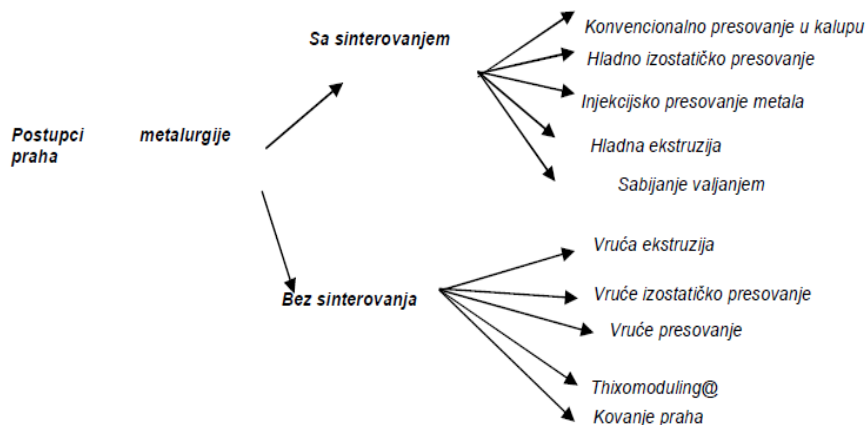
<sup>2</sup> TIR-Fabrika bakarne žice, Bor

Mnogobrojne tehnološke operacije sinterovanja metalnog praha podvode se pod metalurgiju praha. Stepenn interesovanja za metalurgiju praha je u velikoj ekspanziji poslednjih godina, posebno tamo gde postoje problemi u pogledu troškova, potrošnje energije i materijala, kao i sa ekološkog aspekta [3,4,5]. PM konkuriše sledećim postupcima proizvodnje: nodularni liv, precizni liv, livenje pod pritiskom, kovanje i obrada rezanjem.

## 2. MESTO PRIMENE POSTUPAKA PM:

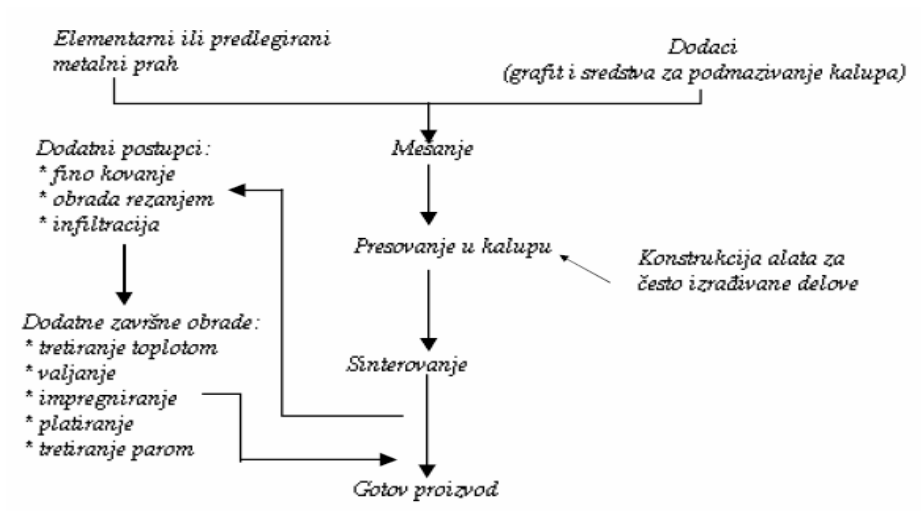
- Metali sa vrlo visokom temperaturom topljenja (npr. W, Mo, Ta,) se vrlo teško proizvode livenjem, a često su i krhki u livenom stanju
- Kompozitni materijali koji se sastoje od dva ili više metala, koji nisu međusobno topivi niti u tečnom stanju ili mešavine metala s nemetalnim materijalima (kao što su npr. oksidi ili vatrootporni materijali) posebno su prikladni za izradu metalurgijom praha. U ovu grupu spadaju: materijali za elektrokontakte, tvrdi metali za alate, frikcioni materijali za kočnice i dr.
- Porozni materijali, tj. namerno i kontrolisano porozni materijali koji služe za neku posebnu svrhu (npr. samopodmazujući ležaji).
- Konstrukcijski mehanički delovi koji po količini čine najveću grupu PM proizvoda. Najveći deo njih otpada na delove od železnog praha, ali značajnije količine se proizvode i iz bakra, mesinga, bronz e i aluminijuma, kao i nekih retkih metala (berilijum, titan). Njihova mehanička svojstva su jednaka ili čak bolja od delova jednakog hemijskog sastava, dobivenih valjanjem ili kovanjem.
- Materijali visoke čvrstoće izrađeni iz praha, npr. super legure na bazi Ni ili Co koji daju svojstva bolja nego ona postignuta livenjem ili kovanjem istih legura. Prednost izrade iz praha je bolja iskoristljivost (skupih) materijala i jednolično vrlo sitnozrnasta mikrostruktura. To rezultira boljom otpornošću na habanje i dužim vekom trajanja proizvedenih delova.

Na slici 1 prikazana je klasifikacija postupaka metalurgije praha.



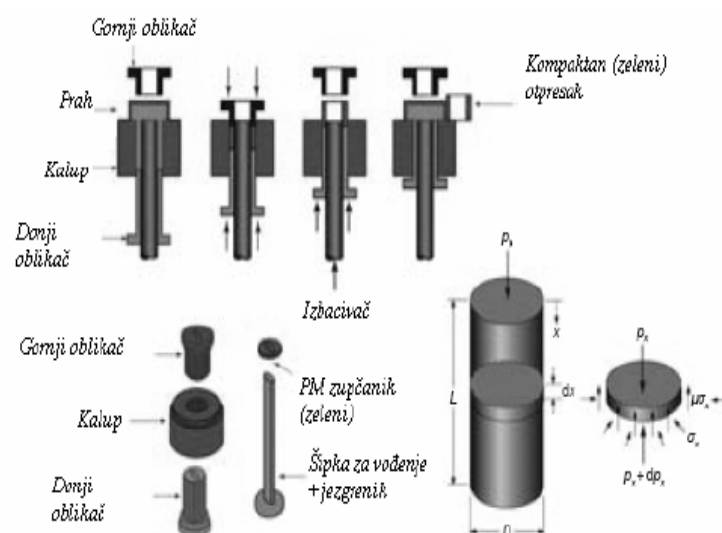
Sl. 1. Klasifikacija postupaka metalurgije praha

2.1. Konvencionalni postupak – presovanje u kalupu

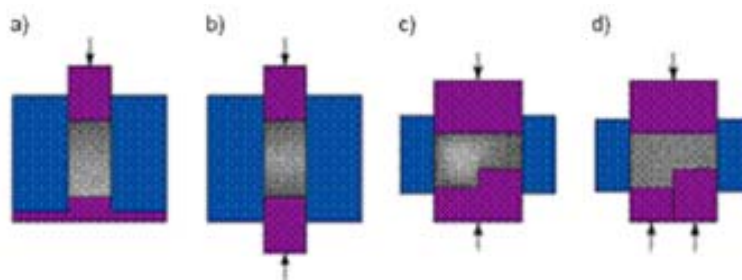


Sl. 2. Šematski prikaz faza izrade delova metalurgijom praha klasičnim postupkom sinterovanja

## 2.2. Presovanje u kalupu



SI. 3. Prikaz procesa presovanja



SI. 4. Varijacija gustine ( $g/cm^3$ ) kod sabijanja metalnog praha u različitim kalupima:  
 a) jednostrano presovanje,  
 b), c) i d) dvostrano presovanje.



*Sl. 5. Mehanička presa 7.3MN (825t) za presovanje metalnog praha u kompaktni oblik*

### **2.3. Sinterovanje**

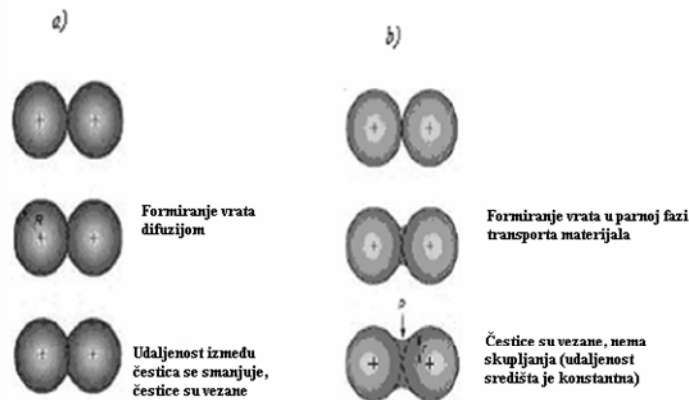
„Zeleni“ presovani predmet se stavlja u peć i u kontrolisanoj atmosferi zagreva do temperature malo ispod tačke topljenja praha

Atomi se pomeraju po površini zrna praha do tačke spoja pojedinih zrna uspostavljenih kod prethodnog presovanja

Što je vreme sinterovanja duže, prah postaje sve čvršće metalurški vezan, dok ne postigne svojstva urediva sa svojstvima livenih ili kovanih materijala istog sastava.



- **Mehanizmi sinterovanja**



Sl. 6. Šematski prikaz dva mehanizma sinterovanja metalnih prahova:

a) transport materijala u čvrstoj fazi

b) transport materijala u tečnoj fazi

$R$  - prečnik čestice,  $r$  - prečnik vrata,

$\rho$  - prečnik profila vrata

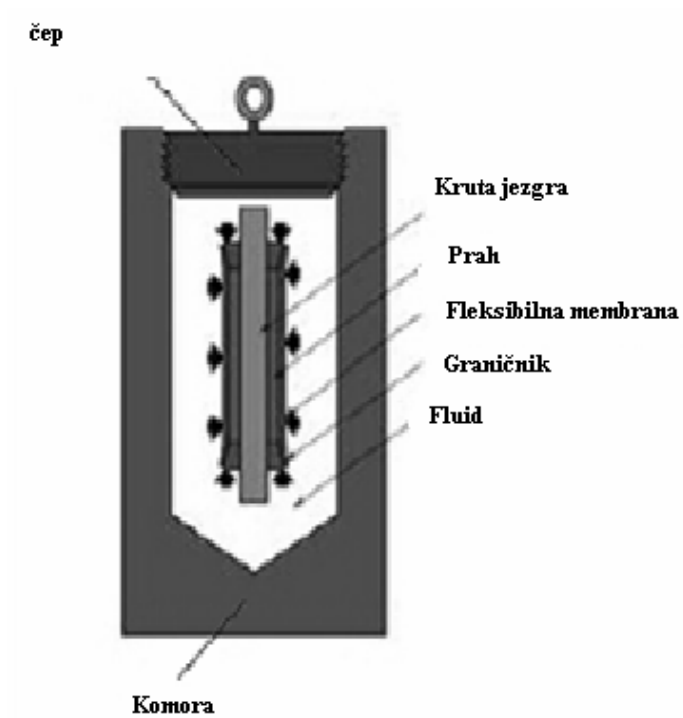
- **Dodatni postupci**
- **Fino kovanje** (eng. *coining*) služi za dobijanje tačnih mera i ispravljanje deformacija od tople obrade, a takođe i za povećanje gustine proizvoda
- **Obrada rezanjem** služi za izradu onih detalja koji nisu mogli biti izvedeni u fazi presovanja (npr. poprečne rupe)
- **Infiltracija** je proces kojim se šupljine (pore) jednog PM proizvoda za vreme sinterovanja ispunjavaju nekim metalom ili legurom niže temperature topljenja nego osnovnog materijala

## 2.4. Izostatičko presovanje

Varijante postupka:

- **Hladno izostatičko presovanje** (eng. **CIP** – Cold Isostatic Pressing) koje se izvodi samo uz primenu pritiska
- **Vruće izostatičko presovanje** (eng. **HIP** – Hot Isostatic Pressing) koje se izvodi uz primenu pritiska pri visokim temperaturama (pri tome dolaze u obzir temperature od sobne do  $2200^{\circ}\text{C}$  i pritisci od niskog vakuma do 2000 bara)

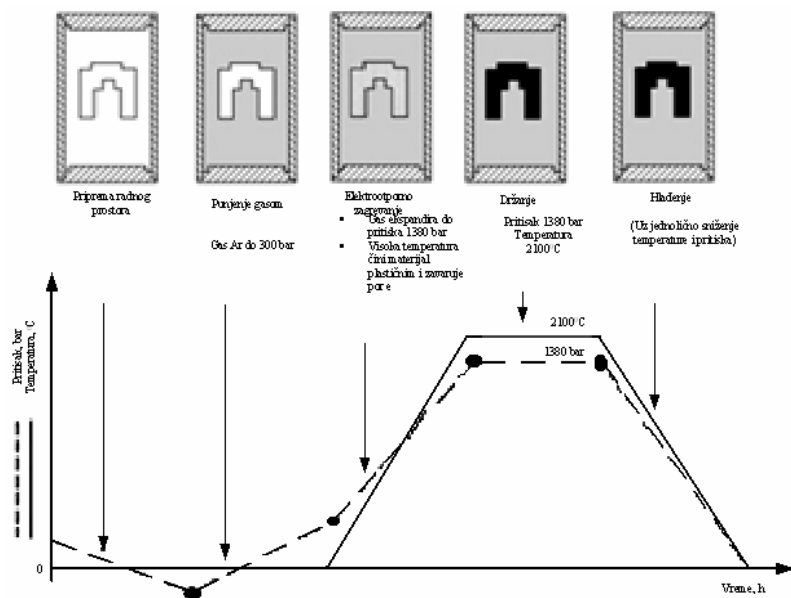
- CIP postupak



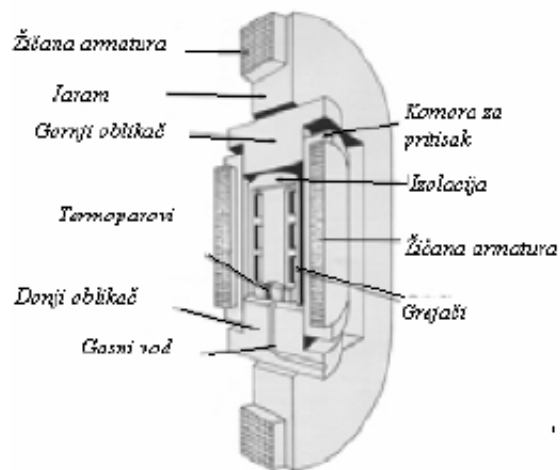
Sl. 7. Šematski prikaz CIP postupka

- HIP postupak

Kod ovog postupka presovanje i sinterovanje su istovremeni procesi i primenjuje se za prahove koji se teško presuju na hladno ili koji se dobro ne sinteruju.



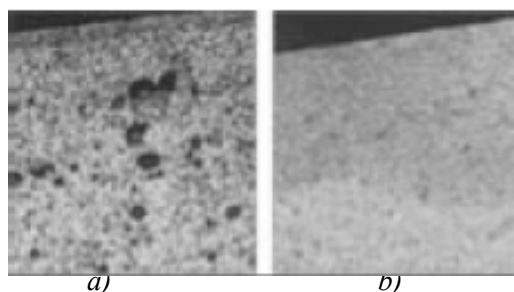
Sl. 8. Šematski prikaz postupka HIP



Sl. 9. Peć

*Primena HIP postupka:*

- uklanjanje poroznosti odlivka,
- podmlađivanje (eng. rejuvenation) delova koji su u radu bili izvrgnuti puzanju (npr. lopatica turbina),
- difuziono spajanje različitih metala a i metala i keramike,
- proizvodnja velikih delova koji se izrađuju od tvrdih metala,
- proizvodnja specijalnih sinterovanih materijala: brzorezni čelici, superlegure i Ti-legure.



**Sl. 10.** Mikrostruktura uzorka livenog uzorka i uzorka nakon primene HIP postupka

- a) Mikrostruktura livenog uzorka sa poroznostima  
 b) Mikrostruktura nakon primene HIP postupka – uklonjena poroznost

## Prednosti HIP postupka:

- HIP postupak ne zavisi od oblika (i posle postupka ostaje isti), tako da se i kompleksni proizvodi iz teško topivih metala (jer su HIP-ovanjem pri visokim temperaturama dovedeni u plastično stanje) mogu uspešno obraditi na konačni ili gotovo konačni oblik (eng. net shape ili near net shape),
- za takav proces potreban je omot (eng. envelope) određenog oblika koji je obično od metalnog lima (kod jednostavnih oblika) ili od stakla (kod kompleksnih oblika) i koji se posle HIP-ovanja odstranjuje.

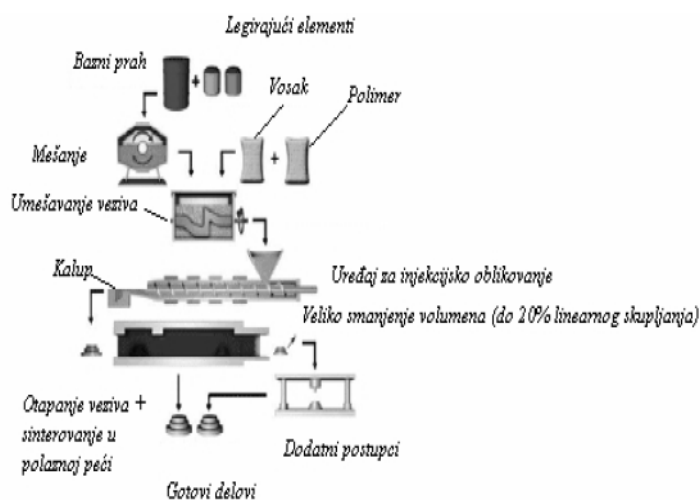
## Nedostaci HIP postupka:

- vremenski ciklus je dug pa je niska produktivnost,
- mali propusni kapacitet,
- visoki investicioni troškovi.

## 2.5. Injekcijsko presovanje metala (engl. MIM – Metal Injection Moulding)

Karakteristike MIM-a:

- ograničeni broj materijala koji se može presovati (niskolegirani i nerđajući čelici, legure za meke magnete, mesing, bronza, WC, čisti Ni, elektronske legure, W-Cu kompoziti),
- postupak je ograničen na relativno male proizvode vrlo složenog oblika za srednje do velike količine proizvodnje,
- skuplji je od konvencionalnih postupaka presovanja u kalup.



Sl. 11. Šema postupka MIM

## 2.6. Sabijanje valjanjem

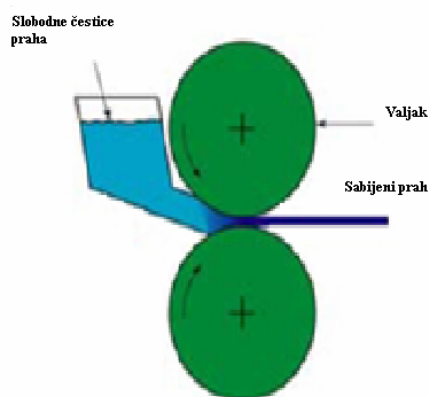
Postupak se primenjuje za oblikovanje određenih mekomagnetskih legura i kompozitnih materijala.

*Prednosti:*

- za proizvodnju tanke trake potrebno je samo nekoliko prolaza,
- ekonomska isplativost naročito kod valjanja praha Ni, Co i Cu, kao i elektroda za Ni-Cd.

*Nedostatci:*

- previsoke cene prahova,
- nizak propusni kapacitet.



Sl. 12. Šema postupka valjanja prahova

## 2.7. THIXOMODULING®

Od nekoliko injekcijskih postupaka oblikovanja u polučvrstom stanju (eng. Semi-Solid Injection Moulding) najpoznatiji je Thiomoulding® - postupak presovanja iz testastog stanja koji objedinjuje elemente livenja pod pritiskom i injekcijskog presovanja.

Ovaj postupak je najpre ispitan i uveden za Mg legure, a mogu se još oblikovati Al i Zn legure. Za razliku od MIM postupka ovde se ne koristi vezivo za metalni prah i nije potrebno sinterovanje.

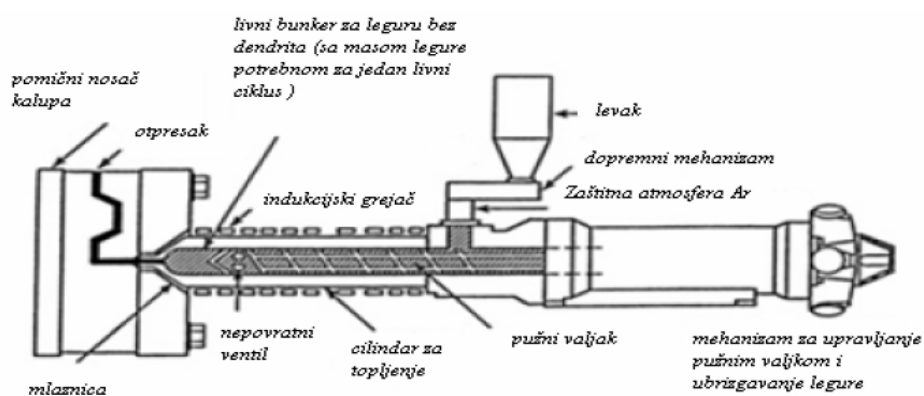
*Faze ovog postupka:*

- reolivenje (eng. rheocasting) - ovde se ostvaruje struktura bez dendrita
- grejanje (eng. reheating) – indukcijskim grejanjem se postiže ravnoteža čvrste i tečne faze
- oblikovanje (eng. forming) – u kalupu se formira gotovi deo iz materijala koji je u testastom obliku iz prethodne faze.

Ovim postupkom proizvode se vrlo komplikovani i raznoliki proizvodi u području kompjuterske tehnike, mobilnih telefona, kamera i drugih optičkih aparata, automobilske i avio-industrije.

*Prednosti ovog postupka su:*

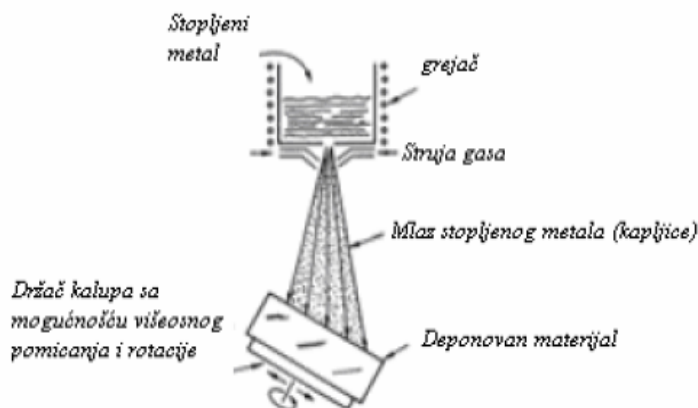
- povećana tačnost i iskoristljivost materijala u odnosu na precizno livenje i livenje pod pritiskom,
- daje lagane, visoko čvrste i žilave proizvode, a pri upotrebi magnezijumskih legura ostvaruje dobru izolaciju od radio-frekvencijskih talasa,
- daje proizvode visokog kvaliteta izrađene na tačnu meru s uskim tolerancijama i smanjenim stezanjem materijala, smanjenim zaostalim naponima i deformacijama proizvoda,
- omogućuje proizvodnju tankih cevi do 0.5 mm debljine zida,
- daje visoku ponovljivost i kod kompleksnih oblika.



Sl. 13. Šema uređaja za oblikovanje u polučvrstom stanju

## 2.8. Oblikovanje naštrecavanjem – Sprej taloženje

Ovaj postupak oblikovanja raspršivanjem (eng. Spray-forming technique) se izvodi kontrolisanim naštrecavanjem stopljenog materijala, atom po atom, na odgovarajući kalup pomičan u više osa. Postupak je prikladan za predmete manjih dimenzija od teško topivih materijala koji se izrađuju pojedinačno ili u malim serijama.



Sl. 14. Šematski prikaz procesa sprej-taloženja

## 2.9. Kovanje praha (eng. PF-Powder Forging)

Pri ovom postupku predoblik je dobijen primenom konvencionalnog presovanja u kalupu od izmerene količine praha i sličnog je oblika delu koji će biti proizveden i tada se zagreva u peći (u inertnoj atmosferi) do temperature kovanja, a zatim kuje na finalni oblik u zatvorenoj matrici radi postizanja dovoljne deformacije materijala koji eliminiše gotovo svu poroznost.

Postupak je potencijalno primenljiv za sve materijale koji se toplo kuju.

Primena je ograničena na veliko serijsku proizvodnju (npr. automobilska industrija), za srednje do velike delove. To je tako zbog traženog visokog stepena automatizacije neophodnog radi troškovne efikasnosti i zbog zahtevanog visokog propusnog kapaciteta.

Postupak omogućava kovanje bez rastura, ukoliko je prah tačno izmeren. Takođe, moguće je proizvesti delove sa uskim stepenom tolerancije što omogućava visoku tačnost alata koji se izrađuju a i smanjuje potrebu za naknadnom mašinskom obradom.

## 3. ZAKLJUČAK

Razmatranjem svih prednosti koje daju procesi metalurgije praha, dolazi se do zaključka da proizvodnja konstrukcijskih komponenata, samopodmazujućih ležajeva i reznih alata postupcima metalurgije praha ima komparativne prednosti u odnosu na klasičnu metalurgiju.



Prednosti PM:

1. ušteda energije i materijala,
2. smanjenje troškova proizvodnje,
3. bez štetnih ili sa smanjenom emisijom štetnih gasova,
4. smanjenje ili čak i bez otpada sa sadržajem metala,
5. zadovoljavajuća mehanička svojstva,
6. migućnost proizvodnje metala sa vrlo visokom temperaturom topljenja (npr. W, Mo, Ta,) se vrlo teško proizvode livenjem,
7. proizvodnja delova od kompozitnih materijala koji se sastoje od dva ili više metala, koji nisu međusobno topivi niti u tečnom stanju ili mešavine metala s nemetalnim materijalima,
8. proizvodnja materijala visoke čvrstoće .

## LITERATURA

- [1] A. F. Lisovsky, Powder Metallurgy Science and Technology, 3(2) (1991): 41-51.
- [2] Prof. dr Bernd Kieback, Fundamentals of sintering – theory and practice, EPMA Summer school on Powder metallurgy, San Sebastian 02. - 08. June 2001.
- [3] Požega, E. D., S. L. Ivanov, and A. T. Ivanović, Influence different chemical composition and percentage rate of added activators on depth of boride layer, Zaštita materijala 50. (2009) 2: 99 - 104.
- [4] Pohmurskij, I. V., Karpenko, V. G. (1967) Fiziko-hemičeskaja mehanika materialov, 4, (in Russian)
- [5] Nestorović, S., I. Marković, and D. Marković, Influence of powder metallurgy on the environment pollution, Ecologica 17. (2010) 58: 177- 180.

UDK: 546.815:504.06(045)=861

PREGLEDNI RAD

Oblast: Ekologija

## POREKLO I SADRŽAJ OLOVA U ŽIVOTNOJ SREDINI

## ORIGIN AND CONTENTS OF LEAD IN THE ENVIRONMENT

Vesna Marjanović<sup>1</sup>, Aleksandra Ivanović<sup>1</sup>, Jelena Petrović<sup>1</sup>,  
Danijela Simonović<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

### Izvod

*Olovo kao metal koristi se od davnina. Procenjuje se da je zagađenje životne sredine olovom počelo još pre 5.000 godina, kada je počela metalurška prerada olovnih ruda. Od tada, pa do danas proizvodnja i potrošnja olova je u stalnom porastu.*

*Olovo je u životnu sredinu dospelo na razne načine, a to su antropogeni izvori kao što su rudarska i metalurška industrija, upotreba akumulatora, boja, keramike, plastike i drugih proizvoda koji sadrže olovo, sagorevanje fosilnih goriva, korišćenje mineralnih đubriva i sl., kao i prirodni izvori.*

**Ključne reči:** olovo, životna sredina, atmosfera, voda, zemljište, teški metali

### Abstract

*Lead as metal is used since the ancient times. It is estimated that environmental pollution by lead began 5,000 years ago when the metallurgical treatment of lead ore started. Since then to nowadays, the production and consumption of lead has continuously increased. Lead has reached into the environment by various ways, and those are the anthropogenic sources such as mining and metallurgical industry, the use of batteries, paints, ceramics, plastics and other products containing lead, the combustion of fossil fuels, the use of mineral fertilizers and similar, as well as the natural resources.*

**Key words:** lead, environment, atmosphere, water, soil, heavy metals

---

<sup>1</sup>Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor

## 1. UVOD

Olovo, (latinski-Plumbum, Pb) je hemijski element koji pripada grupi teških metala. Za dobijanje olova upotrebljavaju se primarne i sekundarne sirovine. Kao primarne sirovine uglavnom se koriste sulfidne rude koje sadrže galenit, a kao sekundarne sirovine koriste se istrošeni olovni akumulatori i različiti industrijski otpad, kao što su otpaci valjanog olova od kojeg su bile građene hemijske aparature, otpaci olovnih legura i dr. Olovo se može dobiti pirometalurškim i hidrometalurškim postupcima. [1]

Olovo spada u jako toksične materije, a veoma su štetna i organska i neorganska jedinjenja olova. Tetraetil-olovo i tetrametil-olovo koji se dodaju benzinu, otrovni su kao i neorganska jedinjenja. Pri kratkotrajnom delovanju mogu izazvati privremena ili trajna oštećenja organizma. Sagorevanjem benzina olovo iz benzina odlazi u atmosferu preko izduvnih gasova automobila.

Zbog visoke toksičnosti olova u industrijski razvijenim zemljama je usvojena i sprovodi se eliminacija olova iz bezina, jer oko 90% olova u atmosferi potiče iz gasova koji nastaju pri sagorevanju benzina.

Olovo (Pb) je neesencijalan i vrlo toksičan metal koji je na neprirodan način unet u biogeochemijski ciklus. Olovo u životnoj sredini je dospelo na različite načine, a to su rudarstvo i metalurgija, upotreba akumulatora, boja, keramike i plastike koja sadrži olovo, reciklažom, sagorevanjem fosilnih goriva, korišćenjem mineralnih đubriva itd. [2]

Procene emisije Pb ukazuju da je atmosfera značajan i polazni primaoc zagađenja, a da su antropogeni izvori zagađenja bar 1 do 2 puta veći od prirodnih izvora.

Procenjuje se zagađenje olovom počelo pre 5.000 godina, kada su prve neefikasne tehnologije topljenja korišćene na jugozapadu Azije. Tadašnja proizvodnja olova je bila oko 200 t/godišnje. U toku Rimskog carstva proizvodnja je bila 80.000 t/godišnje. [3] Početkom 20. veka proizvodnja je bila  $1 \cdot 10^6$  t/godišnje. Tokom 1960. i 1970. godine upotreba benzina sa dodatkom olova je bila veoma važan izvor zagađenja vazduha širom sveta. Postepeno ukidanje olovnog benzina povećava relativni udeo industrijskog Pb u zagađenju atmosfere. [4]

## 2. OLOVO (Pb) U ATMOSFERI

Neorganskih jedinjenja olova u atmosferi postoje pre svega u obliku suspendovanih čestica. Prosečna veličina čestica emitovana iz topionice je 1,5  $\mu\text{m}$ , od toga je 86% čestica veličine manje od 10  $\mu\text{m}$ . Nakon emitovanja u atmosferu, čestice olova se uklanjaju iz atmosfere mokrim ili suvim taloženje.

Od emitovanog olova oko 40-70% taloži se mokrim taloženjem, a 20-60% čestica olova koje emituju automobili se deponuje u blizini saobraćajnica. Važan faktor u određivanju atmosferskog transporta olova je raspodela veličine čestica. Čestice aerodinamičkog prečnika većeg od 2  $\mu\text{m}$ , talože se relativno brzo iz atmosfere i deponuju relativno blizu izvora emisije (npr., 25 m od saobraćajnice za one veličine čestica emitovane izduvnim gasovima motornih vozila), manje čestice mogu biti transportovane na hiljade kilometara daleko od izvora zagađenja. Čestice olova iz vazduha uklanjaju se kapima kiše, sudarom sa drugim česticama ili gravitacionim taloženjem.

U prošlosti veliki udeo u emisiji olova u atmosferu je bilo sagorevanje olovnog benzina. Danas, industrijski procesi, posebno metala, su glavni izvori emisije olova u atmosferu, i najveće koncentracijama olova nalaze u okolini topionica i proizvođača akumulatora. [5] Emisija olova u period od 1970-2006. godine u SAD dati su u tabeli 1. [6] U tabeli 2 data je emisija olova u zavisnosti od industrijske grane u periodu od 1979 do 1989. god. Prestanak upotrebe olovnog benzina dovodi do smanjene emisije olova u atmosferu, tabela 2.

**Tabela 1.** Emisija olova u atmosferu u SAD u period od 1970 do 2006. godine. [6]

Godišnja emisija olova u kilogramima								
1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2006
$4,4 \cdot 10^8$	$3,2 \cdot 10^8$	$1,5 \cdot 10^8$	$4,6 \cdot 10^7$	$1,0 \cdot 10^7$	$8,0 \cdot 10^6$	$4,0 \cdot 10^6$	$6,0 \cdot 10^6$	$4,0 \cdot 10^6$

**Tabela 2.** Procene emisije olova u SAD (u 103 mt/god.) u period od 1979 do 1989. god. [7]

Izvor emisije	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Transport	94,6	59,4	46,9	46,9	40,8	34,7	15,5	3,5	3,0	2,6	2,2
Sagorevanje goriva	4,9	3,9	2,8	1,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Industrijski procesi	5,2	3,6	3,0	2,7	2,4	2,3	2,3	1,9	1,9	2,0	2,3
Čvrst otpad	4,0	3,7	3,7	3,1	2,6	2,6	2,8	2,7	2,6	2,5	2,3
Ukupno	108,7	70,6	56,4	54,4	46,4	40,1	21,1	8,6	8,0	7,6	7,2

### 3. OLOVO (Pb) U VODI

Otpadne vode iz rudnika olova, industrije prerade olova, proizvodnje pigmenata, proizvodnje i sagorevanja olovnog benzina i dr. unose olovo i njegova jedinjenja u prirodne vode. Jedinjenja  $\text{Pb}^{2+}$  su najčešće prisutna u prirodnim vodama pri vrednostima  $\text{pH} < 7$ . Sa smanjenjem pH vrednosti povećava se rastvorljivost olova u vodi. Prirodni sadržaj olova u rekama i jezerima je 1-10  $\mu\text{g/l}$ .

Površinski nivoi olova na otvorenim okeanima kreću se do 15 ng/l, sa velikim varijacijama. Ispitivanja podzemnih voda su pokazala da se nivo olova kreće od 1 – 100 µg/l. [8]

Raspodela i migracija olova u prirodnim vodama uslovljena je intenzivnim taloženjem i stvaranjem kompleksa sa organskim i neorganskim ligandima. Ligandi mogu biti joni ili molekuli koji imaju slobodne elektronske parove. Takvi joni su: fluorid (F<sup>-</sup>), hlorid (Cl<sup>-</sup>), bromid (Br<sup>-</sup>), jodid (J<sup>-</sup>), sulfid (S<sup>2-</sup>), cijanid (CN<sup>-</sup>), tiocijanat (NCS<sup>-</sup>), hidroksid (OH<sup>-</sup>), peroksid (O<sub>2</sub><sup>2-</sup>), nitrozil (NO<sup>+</sup>), nitrit (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), amid (NH<sub>2</sub><sup>-</sup>), karbonat (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), tiosulfat (S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup>). Molekuli su: amonijak (NH<sub>3</sub>), voda (H<sub>2</sub>O), azot-monoksid (NO), ugljen-monoksid (CO)). [9]

Hidrolizom fosfata i sulfida olova pri pH>6 obrazuje se Pb(OH)<sup>+</sup>, a pri pH>10 rastvaranjem Pb(OH)<sub>2</sub> stvaraju se joni Pb<sup>2+</sup> i Pb(OH)<sup>+</sup> koji se u vodi nalaze u jednakim koncentracijama, a pri pH 8 dominiraju joni Pb(OH)<sup>+</sup>, koji se po svojim sorpcionim osobinama znatno razlikuju od Pb<sup>2+</sup>.

Manji broj ispitivanja je urađeno u slatkoj vodi, ali su dominantne grupe olovo-karbonata u vrednosti oko 90%. U termalnim vodama dominiraju hlorogrupe. Olovo-sulfid, koji je nađen u redukcionim uslovima sistema voda/zemljište, ima malu rastvorljivost (K<sub>s</sub>=8,4•10<sup>-28</sup>). U zavisnosti od pH sulfidni joni podležu hidrolizi, što menja količinu olova u rastvoru, tako da se sa povećanjem kiselosti povećava koncentracija olova.

Organska jedinjenja olova u vodenoj sredini retko se akumuliraju u značajnim količinama, ali su ova jedinjenja veoma toksična i predstavljaju opasnost za ekosistem. Zbog toga je pri oceni zagađujućih supstanci potrebno razdvojiti dejstvo neorganskih jedinjenja olova i organskih jedinjenja. [8]

#### 4. OLOVO (Pb) U ZEMLJIŠTU

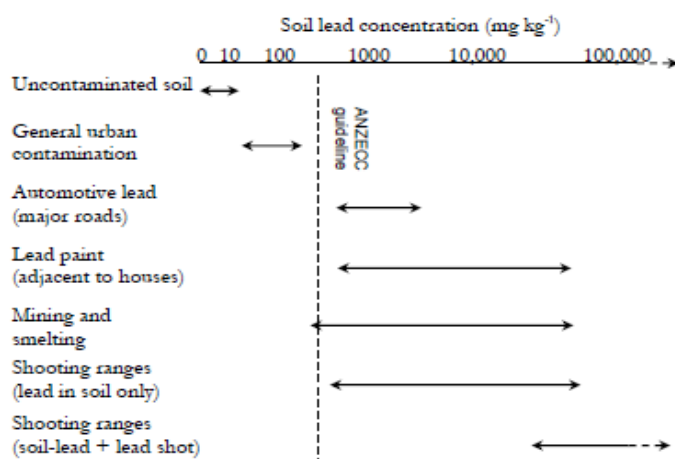
U prirodnom, nazagađenom zemljištu olovo je prisutno u koncentracijama <20 mg/kg (ppm), ali su na mnogim lokacijama konstatovane i znatno veće vrednosti (30-100 mg/kg). Maksimalna dozvoljena vrednost koncentracije olova u zemljištu (MDK) je 100 mg/kg. Zagađenost je najveća pored ivice puta, na rastojanjima do 10 m nađene su vrednosti od nekoliko stotina, pa čak i preko 1000 mg/kg, a na 50 m od puta 10 do 100 mg/kg. Na sadržaj olova u zemljištu i biljkama utiču sledeći faktori: vrsta i broj vozila (gustina saobraćaja), tip zemljišta, topografija terena, vegetacija. U gradovima koncentracija olova je u zemljištu veća u onim delovima gde je saobraćaj intenzivniji. Upoređujući različite dobijene rezultate od strane brojnih autora, ispitivanjem došlo se do zaključka da koncentracija olova u zemljištu eksponencijalno opada sa udaljenošću od puta. Modelirana dispozicija olova predstavljena je eksponencijalnom funkcijom oblika:

$$C_{pb}=A_1e^{-kd}+ A_2e^{-k'd}$$

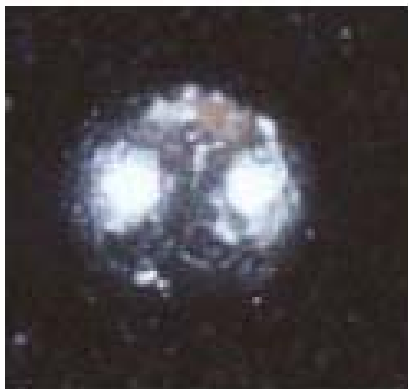
gde je:

$C_{pb}$  koncentracija olova u zemljištu na rastojanju  $d$  od puta. Koefficienti  $A_1$  i  $A_2$  su linearne funkcije prosečnog broja vozila tokom jednog dana, a eksponenti  $k$  i  $k'$  se odnose na dve familije čestica različitih dimenzija. Krupnije čestice se deponuju do 5 m, a sitnije na rastojanjima do 100 m od puta. Zagađenost vazduha olovom iz izduvnih gasova takođe se smanjuje po eksponencijalnom zakonu sa povećanjem udaljenosti od puta. Prosečni automobil obično pređe u toku godine 10.000 km i pri tome potroši od 800 do 1000 l benzina, oslobodi se 16-24 kg olova (iz tetraetil-olova u običnom benzinu), i oko 500 kg jedinjenja ugljenika ( $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$  i dr.).

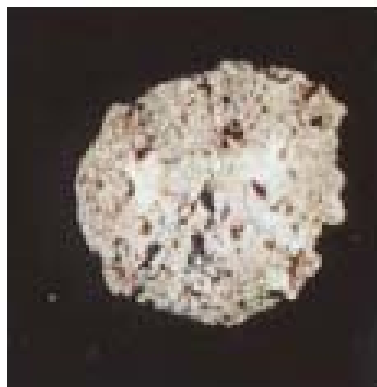
Istraživanja su pokazala da je sadržaj olova u zemljištu zavisi od mesta uzorkovanja i na slici 1 date su koncentracije olova. U nezagađenom zemljištu koncentracija olova je od 0 do 10 mg/kg, u urbanoj sredini koncentracija olova je od 300 do 1.000 mg/kg, pored glavnih puteva koncentracija olova je od 900 do 5.000 mg/kg, u blizini rudnika i topionica olova koncentracija je od 300 do 90.000 mg/kg, u okolini kuća u kojima su korišćene olovne boje koncentracija olova je od 800 do 90.000 mg/kg, na streljištima koncentracija olova (samo olovo u zemljištu) je od 700 do 90.000 mg/kg, dok je koncentracija olova na streljištu (olovo u zemljištu i olovna sačma) od 30.000 do više od 100.000 mg/kg. Iz čega se može izvući zaključak da je sadržaj olova u zemljištu najveći na streljištima gde se koristi olovna sačma. Vreme raspadanja olova u zemljištu u zavisi od vremenskih uslova i iznosi oko 10.000 godina u našim uslovima, dok u tropskoj klimi vreme raspadanja olova je nešto manje od 1.000 godina, slika 2 i 3. [11]



Sl. 1. Koncentracija olova u zemljištu u mg/kg [11]



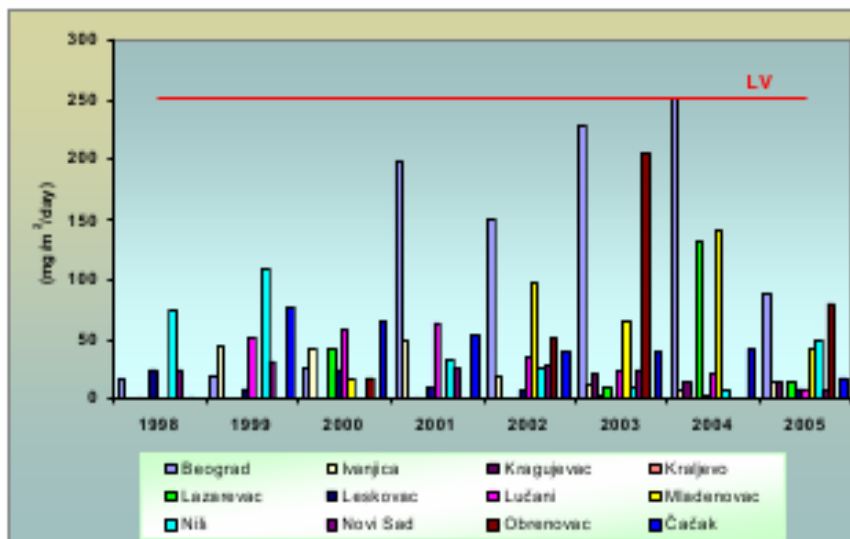
Sl. 2. Nova olovna sačma [11]



Sl. 3. Korodirana olovna sačma [11]

## 5. OLOVO (PB) U ATMOSFERI

Primarni izvor kontaminacije vazduha olovom u našim velikim gradovima su izduvni gasovi iz motornih vozila (koji uglavnom koriste olovno gorivo). Studije sadržaja olova u sedimentiranim česticama su pokazale da su u dozvoljenim koncentracijama na svim merenim mestima. Godišnji proseki olova u sedimentiranim česticama tokom u periodu od 1998 do 2005. godine predstavljen je na slici 4, i pokazuje da nije bilo prekoračenja dozvoljene godišnje granice od  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Važno je napomenuti da godišnji proseki sadržaja olova koji portiče iz izduvnih gasova motornih vozila praćeno samo u Beogradu, Nišu i Novom Sadu. Samo u Beogradu, dozvoljeni limit za urbanu sredinu je premašen na svih deset mernih stanica. [10]



Sl. 4. Prosečna godišnja koncentracija olova ( $\text{mg}/\text{m}^2/\text{d}$ ) u sedimentnim česticama u periodu od 1995. do 2005. godine u većim gradovima u Srbiji [10]

## 6. ZAKLJUČAK

Upotreba olova je počela još pre 5.000 godina, kada su napravljene prve primitivne topionice za topljenje olovnih ruda. Posle toga je proizvodnja i upotreba olova bila je u stalnom porastu. Upotreba olovnog benzina je doprinela porastu sadržaja olova u životnoj sredini, kao i industrijska proizvodnja olova.

Olovo je u životnu sredinu dospelo na razne načine, a to su antropogeni izvori kao što su rudarska i metalurška industrija, upotreba akumulatora, boja, keramike, plastike drugih proizvoda koji sadrže olovo, sagorevanje fosilnih goriva, korišćenje mineralnih đubrivo i sl., kao i prirodni izvori.

Atmosfera je polazni i značajan primaoc zagađenja. Iz atmosfere olovo se uklanja suvim ili mokrim taloženjem i na taj način dospeva u vode i zemljište. Količina rastvorljivog olova zavisi od Ph vrednosti vode i sadržaja rastvorenih soli. Sudbina olova u zemljištu zavisi od adsorpcije na površini minerala, pH vrednosti zemljišta, tipa zemljišta, veličina čestica, organskih materija koje se nalaze u zemljištu i dr. Najveće koncentracije olova u zemljištu su u blizini saobraćajnica, u blizini rudnika i topionica olova, kao i na streljštima.

## LITERATURA



- 
- [1] Vračar R., Nikolić B., Ekstraktivna metalurgija olova, (1995)
  - [2] Rieuwerts J, Farago M, Cikrt M, Bencko V. Heavy metal concentrations in and round households near a secondary lead smelter. *Environ Monit Assess* (1999); 58: 317–325
  - [3] Patterson CC. Native copper, silver and gold accessible to early metallurgist, *Am Antiq* (1971); 36: 286–321.
  - [4] Mihaljevič M. Lead. In: Marshall C, Fairbridge R, editors. *Encyclopedia of Geochemistry*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; (1999), 362.
  - [5] EPA 2003a, Short Sheet: Estimating the Soil Lead Concentration Term for the Integrated Exposure Uptake Biokinetic (IEUBK) Model Office of Solid Waste and Emergency Response, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC 20460, (2007).
  - [6] EPA 2007a, Validation Assessment of In Vitro Lead Bioaccessibility Assay for Predicting Relative Bioavailability of Lead in Soils and Soil-like Materials at Superfund Sites, (2009).
  - [7] EPA 1991e, U. S. Environmental Protection Agency Health Effects assessment Summary Tables, FZ (1991) Annual
  - [8] Aksentijević S., (2011), Model distribucije rezidua hazardnih teških metala između čvrste i tečne faze, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad.
  - [9] Filipović I. i Lipanović S., (1973), *Opća i anorganska kemija*, str. 239
  - [10] Dedijer, A., Mitrović-Josipović, M., Radulović, E., Dimić, B., Marić, L., Krunić-Lazić, M., Špegar, G., Vidojević, D., Jovanović, M., Veljković, N., *Environment in Serbia: an indicator – based review*, (2007), [www.sepa.gov.rs](http://www.sepa.gov.rs)
  - [11] <http://www.lead.org.au/fs/shootingranges.pdf>

UDK: 669.35(045)=861

NAUČNI RAD

Oblast: Materijali i hemijske tehnologije

## PAMETNI MATERIJALI: LEGURE KOJE PAMTE OBLIK

### SMART MATERIALS: SHAPE MEMORY ALLOYS

Aleksandra Milosavljević<sup>1</sup>, Ana Kostov<sup>1</sup>, Radiša Todorović<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor

#### Izvod

*Pametni materijali predstavljaju širok spektar materijala koji reaguju na stimulans okoline promenom nekih svojih osobina. Iz te velike grupe izdvajaju se materijali (legure) koji pamte oblik. Legure sa memorijom oblika zahvaljujući svojim izvanrednim osobinama pomažu pri rešavanju raznovrsnih problema, kako u industrijskim sistemima, tako i u kućnoj upotrebi i medicini. Najčešće korišćene legure su nikel-titan, legure na bazi bakra sa dodatkom cinka, aluminijuma i nikla i legure na bazi železa sa manganom i silicijumom.*

*Imajući u vidu osobine kao i cenu legura na bazi bakra, može se reći da su one najkomercijalnije legure iz grupe SMA (shape memory alloys).*

**Ključne reči:** pametni materijali, legure sa memorijom oblika, bakar

#### Abstract

*Smart materials are functional in comparison with conventional materials, and their classification is based on the relationship between stimulus and response. From this large group of materials, specific type is SMA (Shape Memory Alloys). These type of smart materials has a lot of applications in various fields of engineering. The most effective and widely used SMA alloys are nickel-titanium, copper based alloys with addition of zinc, aluminium and nickel, and iron based alloys with manganese and silicon.*

*Considering all material characteristic, including price, copper based alloys are the most commercial from the group of SMA (Shape Memory Alloys).*

**Key words:** smart materials, Shape Memory Alloys, copper

---

<sup>1</sup> E-mail: [aleksandra.milosavljevic@irmbor.co.rs](mailto:aleksandra.milosavljevic@irmbor.co.rs)

## 1. UVOD

Iz grupe savremenih materijala različite namene izdvajaju se tzv. pametni materijali (engl. smart materials). Pametni materijali reaguju na uticaj okoline, promenom nekih svojih osobina. U zavisnosti od promene spoljnih uslova, dolazi do promene osobina materijala (mehaničke, električne, strukturne). Pametni materijali su uglavnom ugrađeni u sisteme čije se glavne osobine mogu drastično promeniti u zavisnosti od potrebe za određenim svojstvima. U zavisnosti od toga koja osobina se menja, razlikuje se više tipova pametnih materijala. Svi oni su funkcionalni materijali, s tim što se stepen pametnosti određuje u zavisnosti od inicijacije okoline i odziva samog materijala. Tako postoje materijali čije se osobine menjaju pod uticajem električnog, magnetnog, toplotnog ili optičkog stimulansa okoline, a u skladu sa tim i sa različitim vrstama odziva odnosno promene osobine.

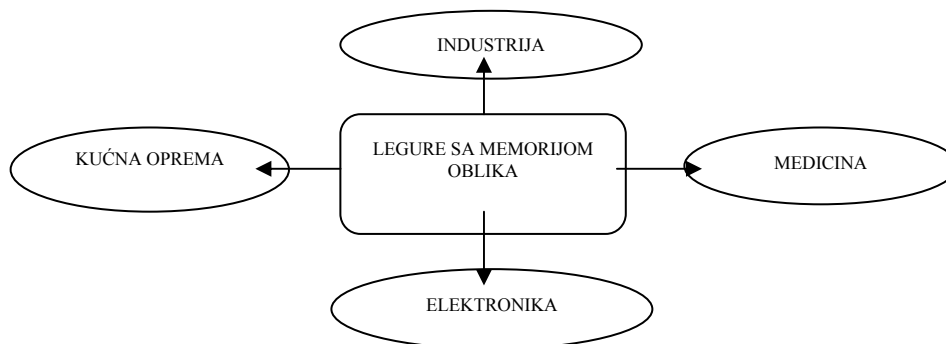
Iz širokog spektra pametnih materijala izdvajaju se SMA (engl. shape memory alloys) materijali, tj. materijali koji pamte oblik. Ovakvi materijali reaguju na termijski stimulans, tj. promenu temperature, a imaju mehanički odziv, tj. dolazi do promene njihovih mehaničkih osobina. Dakle, nakon deformacije, na određenoj temperaturi, materijal se vraća u svoj prvobitan oblik. Promena u kristalnoj strukturi iznad temperature transformacije dovodi do povratka u prvobitan oblik. Postoje velike grupe ovih materijala i to SMA na bazi Ni i Ti, na bazi Cu, i na bazi Fe.

Najviše korišćene su tzv. Nitinol legure [1], odnosno SMA legure sa niklom i titanom. Ovakve legure imaju široku primenu zbog velikog stepena deformacije (do 8%), kao i odlične termičke stabilnosti i korozijske postojanosti. Ipak, u smislu načina dobijanja, zbog reaktivnosti titana, imaju ograničenja, s obzirom na to da se topljenje mora vršiti u vakuumu. Temperatura transformacije ovakvih legura kreće se od -100 do +100 °C.

Komercijalnije legure u odnosu na nitinol su svakako legure na bazi bakra, s obzirom na to da su jeftinije i da se topljenje ne mora vršiti u zaštitnoj atmosferi. Uglavnom su to kombinacije bakra sa cinkom i aluminijumom ili aluminijumom i niklom [2]. Stepenu izduženja im je nešto manji (4-5%), temperature transformacije su -180 do +200°C za Cu-Zn-Al, odnosno -140 do +100°C za Cu-Al-Ni.

Za razliku od prethodnih, legure koje pamte oblik na bazi železa imaju mogućnost deformacije samo do 4%. To su Fe-Mn-Si legure, koje se nakon samo male deformacije mogu vratiti u prvobitan oblik.

Legure koje pamte oblik imaju široku primenu što je prikazano na slici 1.



**Sl. 1.** Područja primene legura koje pamte oblik

Primena legura koje pamte oblik ogleda se kako u velikim sistemima (industrijski sistemi, aeronautika), tako i u kućnoj upotrebi (npr. klima uređaji, razni sigurnosni ventili, PP davači i sl.), kao i u medicini. Najveću primenu ove legure ostvarile su u mehaničkoj i elektromehaničkoj kontroli sistema zahvaljujući osetljivosti na male i ponovljene temperaturne promene.

### EFEKAT MEMORIJE OBLIKA

Efektom memorije oblika naziva se sposobnost metala i legura koji su plastično deformisani u martenzitnom stanju ili u području temperature martenzitnog preobražaja, da pri zagrevanju uspostave prvobitan oblik. Zagrevanje dovodi do obnavljanja kristala početne visokotemperaturne faze i uklanjanja plastične deformacije. Istovremeno, dolazi do povraćaja svih fizičko-mehaničkih svojstava. Martenzitna kristalna struktura je osnova za postizanje efekta pamćenja oblika. Ovakav efekat moguće je postići na dva načina: podvrgavanjem legure pritisku na određenoj temperaturi, ili naglim kaljenjem legure na nekoj kritičnoj temperaturi. Kaljenje na kritičnoj temperaturi je metodologija koja je više u upotrebi, s obzirom na to da martenzitna struktura nastaje spontano, smicanjem atoma legure ili nukleacijom. Dakle, promena je karakterisana bezdifuzionom transformacijom koja se karakteriše koordiniranim kretanjem velikih atomskih grupa.

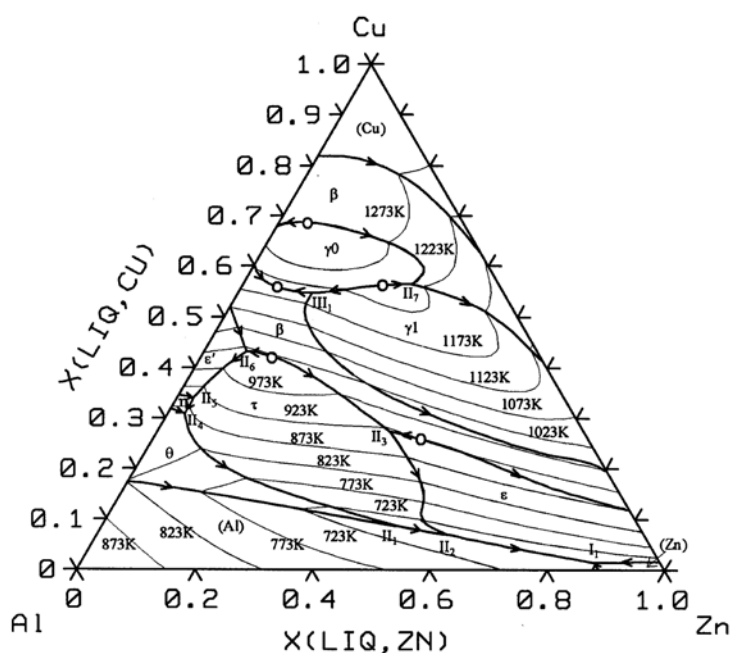
Kod legura koje pamte oblik prisutne su dve faze: martenzit i austenit. Martenzit je relativno meka faza koja se lako deformiše i egzistira na nižim temperaturama za razliku od austenita. Kod visokolegiranih bezugljeničnih legura železa, kao i nekih legura obojenih metala, zagrevanjem nakon kaljenja moguć je bezdifuzioni preobražaj martenzita u austenit, odnosno neku drugu polaznu fazu. Takav preobražaj naziva se obrnuti martenzitni preobražaj. Ovakva transformacija moguća je zahvaljujući velikom broju legirajućih

elemenata, čime se snižava temperatura fazne ravnoteže i preobražaj martenzit-austenit protiče u uslovima pri kojima ne dolazi do raspadanja austenitne faze.

Iako postoji širok spektar legura koje pamte oblik, od najvećeg praktičnog interesa jesu one legure kod kojih postoji povratni efekat, tj. one koje mogu povratiti značajan deo deformacije. Legure koje pokazuju efekat memorije oblika nakon zagrevanja pri čemu dolazi do deformacije martenzita su legure koje pamte oblik u jednom smeru (engl. one-way shape memory), dok one koje menjaju oblik nakon ponovnog hlađenja i vraćaju se u prvobitan oblik, pamte oblik u oba smera (engl. two-way shape memory alloys).

### LEGURE SA MEMORIJOM OBLIKA NA BAZI BAKRA

Legure na bazi bakra sa sposobnošću memorije oblika su veoma komercijalne i uglavnom su to legure sa cinkom, aluminijumom i niklom. Na slici 2. prikazana je likvidus projekcija jednog takvog sistema Cu-Zn-Al, dok je u tabeli 1 dat pregled mogućih invarijantnih reakcija u istom sistemu [3].



Sl. 2. Proračunata likvidus projekcija sistema Cu-Zn-Al [3]

**Tabela 1.** Proračunate invarijantne reakcije u sistemu Cu-Zn-Al [3]

Reakcija	Temperatura, K	Sastav tečne faze
$L+\theta \rightarrow (Al)+\tau$	698	Cu <sub>8,6</sub> Zn <sub>50,5</sub> Al <sub>40,9</sub>
$L+\tau \rightarrow (Al)+\varepsilon$	694	Cu <sub>6,8</sub> Zn <sub>60,1</sub> Al <sub>33,1</sub>
$L \rightarrow (Al)+(Zn)+\varepsilon$	654	Cu <sub>1,6</sub> Zn <sub>87,2</sub> Al <sub>11,2</sub>
$L+\beta \rightarrow \varepsilon+\tau$	917	Cu <sub>27,4</sub> Zn <sub>39,5</sub> Al <sub>33,1</sub>
$L+\eta \rightarrow \tau+\theta$	853	Cu <sub>31,2</sub> Zn <sub>2</sub> Al <sub>66,8</sub>
$L+\varepsilon' \rightarrow \tau+\eta$	893	Cu <sub>34,3</sub> Zn <sub>2</sub> Al <sub>62,8</sub>
$L+\beta \rightarrow \tau+\varepsilon'$	1010	Cu <sub>43,5</sub> Zn <sub>6,9</sub> Al <sub>49,6</sub>
$L+\gamma^{\circ} \rightarrow \beta+\gamma$	1226	Cu <sub>56,4</sub> Zn <sub>28,6</sub> Al <sub>15</sub>
$L+\gamma+\gamma^{\circ} \rightarrow \beta$	1197	Cu <sub>54,6</sub> Zn <sub>12,6</sub> Al <sub>32,8</sub>

Mogućnost pamćenja oblika zavisi od sposobnosti legura da se podvrgnu termoeastičnoj martenzitnoj deformaciji. Legura se prvo hladi i prelazi u martenzitnu fazu, kada je moguća mehanička deformacija. Sve dok je na nižim temperaturama, legura je deformisana, ali ako se zagreje, martenzit se ponovo deformiše u austenit i legura se vraća u prvobitni oblik.

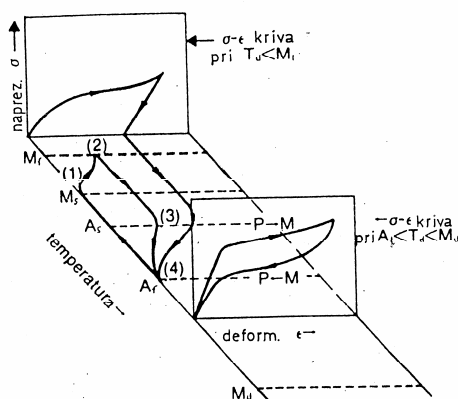
Martenzitna transformacija se ne odigrava na određenoj temperaturi, već postoji čitavo temperaturno područje koje je različito za svaki posmatrani sistem.

Različite temperature deformacija, kao i odgovarajuće naponske krive za Cu-Zn-Al prikazane su na slici 3.

U gornjem levom uglu (slika 3) prikazana je deformacija legura ispod  $M_f$  temperature, dok je legura potpuno u martenzitnom stanju. Pri relativno niskom naprežanju postoji veličina naprežanja kada deformacija može da se deponuje u martenzitnoj strukturi. Kada se opterećenje jednom otkloni, zapaža se elastično rastojanje koje se može zapaziti kod bilo kog metala. Zagrevanjem do  $A_f$  temperature, martenzit sa dodatom deformacijom nestaje i vraća se prvobitna struktura.

Suprotno, u donjem desnom uglu (slika 3), prikazana je kriva koja odgovara leguri deformisanoj između temperature  $A_f$  i  $M_d$ , dok je legura u prvobitnoj fazi na visokoj temperaturi. Ovde je martenzit napregnut pre primenjene deformacije ( $P \rightarrow M$ ). Nakon rasterećenja, martenzitna struktura je nestabilna i prelazi u izvornu fazu ( $P \leftarrow M$ ). Tokom ovog povratnog procesa svaka deformacija koja je bila ugrađena u napregnut martenzit se gubi i materijal se vraća u svoj prvobitni oblik. Ovakvo ponašanje materijala naziva se pseudoelastičnost.

Legure Cu-Zn-Al nalaze široku primenu u industriji (termostati, kontrolna oprema, spojnice, itd.). Najočitiiji primer su razne vrste opruga kod različitih sistema za daljinsku regulaciju i kontrolu (PP davači).



**Sl. 3.** Šematski prikaz naponskih krivih u zavisnosti od temperature deformacije ( $M_s$ -temperatura početka obrazovanja martenzita pri hlađenju;  $M_f$ -temperatura završetka martenzitne transformacije;  $A_s$ -temperatura na kojoj počinje da se obrazuje visokotemperaturna faza;  $A_f$ -temperatura završetka formiranja visokotemperaturne faze pri zagrevanju;  $M_d$ -temperatura ispod koje martenzit može biti indukovano naponom u matičnu fazu)

## ZAKLJUČAK

Prikazane legure koje pamte oblik na bazi bakra tj Cu-Zn-Al, proizašle su kao rezultat istraživanja na projektu Ministarstva nauke TR 34005. Ove legure koje pamte oblik, kao deo grupe pametnih materijala imaju široku primenu kako u industriji, tako i u domaćinstvu kao sastavni delovi raznih sklopova. Njihova velika prednost u odnosu na druge vrste legura ove grupe jeste niska cena, kao i ekološka svrsishodnost.

## ZAHVALNICA

Autori ovog rada zahvaljuju se Ministarstvu prosvete i nauke Republike Srbije za finansijsku podršku pri realizaciji projekta TR 34005 pod nazivom: Razvoj naprednih materijala i tehnologija za multifunkcionalnu primenu zasnovanih na ekološkom znanju, za 2011. godinu.

## LITERATURA

- [1] H. C. Yi, J. J. Moore, SHS synthesized Ni-Ti based shape memory alloys for both low- and high-temperature applications, Journal of Materials Science Letters, Vol. 8 No. 10 (1989) 1182-1184
- [2] T. Tadaki, Shape memory Materials, edited by K. Otsuka and C. M. Wayman, Cambridge University Press, (1999), 97-98
- [3] H. Liang, Y. A. Chang, A Thermodynamic Description for the Al-Cu-Zn System, Journal of Phase Equilibria, Vol. 19 No. 1 (1998) 25-37

UDK: 621.397.42:681.7(045)=861

ORIGINALNI NAUČNI RAD

Oblast: Informatička analitička metoda

UKLANJANJE ŠUMA U BINARNOJ SLICI  
POMOĆU MORFOLOŠKIH FILTARA

BINARY IMAGE NOISE SUPPRESSION BY  
MORPHOLOGICAL FILTERS

Darko Brodić<sup>1</sup>, Sanela Čečulović<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beogradu

**Izvod**

*U ovom radu je dat prikaz osnovnih morfoloških operacija nad binarnom slikom. Njihovom kombinacijom kreirana su 4 morfološka filtra čiji je zadatak uklanjanje šuma u binarnoj slici. Ovi filtri su primenjeni na slikama koje sadrže rukom pisani tekst sa manjim ili većim udelom šuma. Na osnovu provedenih testova i komparativne analize dobijenih rezultata izdvojena su dva morfološka filtra koji daju zadovoljavajuće rezultate uklanjanja šuma. Uz to, izdvojene su i optimalne kombinacije strukturnih elemenata koji najbolje odgovaraju određenom morfološkom filtru. Ukoliko se izvrše izvesna prilagođenja, metoda može da se koristi i u analizi grafičkih dokumenata vezanih za fizičke i hemijska karakteristike materijala.*

**Ključne reči:** morfološke operacije, morfološki filtri, binarna slika, šum u slici, obrada slike.

**Abstract**

*Paper illustrates the basic binary morphological operators for digital image processing. Based on them four morphological filters for image noise suppression is proposed. They are applied to the binary images incorporating different levels of noise. According to testing results as well as its comparative analysis, two morphological filters for image noise suppression are proposed. Furthermore, optimal combination of structuring element type and morphological filter are suggested. Ukoliko se izvrše izvesna prilagođenja, metoda može da se koristi i u analizi grafičkih dokumenata vezanih za fizičke i hemijska karakteristike materijala.*

**Key words:** morphological operators, morphological filters, binary images, noise images, image processing.

---

<sup>1</sup> E-mail: dbrodic@tf.bor.ac.rs



## 1. UVOD

Šum u dokumentima reprezentuje male grupe crnih piksela izvan područja teksta, tzv. “crni” šum ili grupe belih piksela u okviru teksta, tzv. “beli” šum na slici. Uklanjanje šuma smatra se jednim od najvećih problema koji se javljaju u toku digitalne obrade slike [1]. Metode umanjivanja šuma pokušavaju da smanje njegov uticaj. Jedan od načina za prevazilaženje ovog problema jeste primena kombinovanih morfoloških operacija koje se nazivaju morfološki filtri [2].

U ovom radu istražiće se različite vrste morfoloških filtara koje se koriste za uklanjanje “crnog” šuma u binarnoj slici dokumenta. Šum predstavlja značajan problem u binarnoj slici zbog same njene prirode. Naime, binarna slika ima samo dva nivoa intenziteta. Jedan nivo intenziteta predstavlja prednju sliku (**eng.** *Foreground Image*), a drugi pozadinu (**eng.** *Background Image*). Pri tom prednja slika sadrži osnovnu informaciju. Pojavljivanje šuma direktno utiče na osnovnu informaciju, stapajući se sa njom. Na ovaj način je veoma teško razaznati šta je u slici osnovna informacija, a šta šum. Da bi se umanjio uticaj šuma koristiće se sledeće četiri morfološke operacije: dilatacija (**eng.** *Dilatation*), erozija (**eng.** *Erosion*), zatvaranje (**eng.** *Closing*) i otvaranje (**eng.** *Opening*). Njihovom kombinacijom formiraće se sledeći morfološki filtri: dilatacija + erozija (DE), erozija + dilatacija (ED), otvaranje + zatvaranje (OZ) i zatvaranje + otvaranje (ZO).

Testiranje kvaliteta umanjivanja šuma pomoću morfoloških filtara biće izvršeno na različitim uzorcima rukom pisanih tekstova. Na osnovu dobijenih rezultata izvršiće se komparativna analiza. Iz date analize predložiće se moguća primena vrsta morfoloških filtara i adekvatnih struktunih elemenata.

Rad je koncipiran u pet poglavlja. U poglavlju 2 date su osnove obrade slike. U poglavlju 3 prikazane su osnovne i kombinovane morfološke operacije. U poglavlju 4 definisan je način testiranja, prikazani njegovi rezultati i data njihova komparativna analiza. Poglavlje 5 predstavlja zaključak.

## 2. OBRADA SLIKE

Digitalizacija slike je proces koji pretvara analognu u digitalnu sliku. Pri tom se vrši konverzija i predstavljanje slike u vidu numeričkih podataka. 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 ili luminansa (**eng.** *Luminance*) sive slike.

Da bi se slika pretvorila u pogodan oblik za digitalnu obradu neophodno je izvršiti proces pretvaranja slike iz analognog u digitalni oblik, odnosno digitalizacija analogne slike koja je data relacijom (1). Na ovaj način se slika iz kontinualnog prostora prevodi u diskretni prostor, a proces koji to ostvaruje zove se digitalizacija (**eng. Image Digitalization**). Kao rezultat dobija se digitalizovana prezentacija slike iz dvodimenzionalnog kontinualnog prostora u diskretnom dvodimenzionalnog prostoru, koja se naziva digitalna slika. Tokom ovog procesa kontinualna slika se deli u  $M$  redova i  $N$  kolona. Na ovaj način je slika podeljena na jednake prostorne regione koji se zovu pikseli (**eng. Pixel**). Presek određenog reda i kolone predstavlja piksel, što znači da je on prostorno određen njihovim vrednostima. 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  $L = 256$  [3]. Na ovaj način digitalizacijom slike dobijena je siva slika (**eng. Grayscale Image**) sa  $L$  nivoa sivih nijansi. Digitalizovana slika se u matricnom obliku može predstaviti na sledeći način [3]:

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

U procesu digitalizacije slike izvršeni su postupci uzorkovanja (**eng. Sampling**) i kvantizacije (**eng. Quantization**). Uzorkovanje vrši digitalizaciju prostornih koordinata  $x$  i  $y$ , odnosno kontinualne koordinate  $x$  i  $y$  pretvara u niz diskretnih vrednosti. Kvantizacija predstavlja merenje intenziteta, odnosno svetline na mestu svakog piksela slike. Saglasno tome, da bi se dobio nivo intenziteta piksela, neophodno je provesti postupak kvantizacije koji omogućava predstavljanje izmerenih vrednosti amplitude osvetljenosti, odnosno intenziteta celobrojnim vrednostima u rasponu od  $f_{min}$  do  $f_{max}$ . Za sivu sliku vredi da je  $f_{min} = 0$ , a  $f_{max} = 255$ .

Kako bi se od sive slike  $D$  dobila crno-bela slika (**eng. Black and White Image**), 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 beloju nijansi sivog, odnosno vrednostima 0 i 1. Ovaj postupak je predstavljen sledećom relacijom [4]:

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

gde  $D_{th}$  predstavlja prag intenziteta i dobija se određenim algoritmom binarizacije. Pri tom algoritam određuje vrednost intenziteta praga koji je neophodan da bi se digitalna slika data matricom  $\mathbf{D}$  pretvorila u binarnu sliku koju reprezentuje matrica  $\mathbf{X}$ . Znači, kao rezultat postupka binarizacije dobija se binarna slika predstavljena matricom slike dokumenta  $\mathbf{X}$ . Na sl. 1. dat je jedan fragment teksta koji predstavlja matricu slike dokumenta  $\mathbf{X}$ .

S. PIJEVIĆ NIKOLA 83/10  
 V. MURAT MURAT 91/10  
 M. JOVANOVIĆ DARKO 76/10  
 R. HUMANIĆ MURAT 70/10  
 S. VEĐA JOPROKOVIĆ 97/10  
 P. POKRAT MURAT 96/10  
 IS. JOROČIĆ CAMENA 64/10  
 G. JOROČIĆ CAMENA 75/10  
 H. ŽOVUŠIĆ STAJA 104/10  
 B. KUNOVIĆ UGANA 122/10

Sl. 1. Slika binarnog dokumenta

### 3. MORFOLOŠKE OPERACIJE

Analiza slike ima za cilj izdvajanje informacija iz slike. Metode matematičke morfologije nalaze značajnu primenu u analizi i obradi slike. Pri tom, digitalna morfologija posmatra sliku u kontekstu teorije skupova. U tom slučaju sliku čini skup piksela koji grupisani u dvodimenzionalnu strukturu predstavljaju određene oblike. Matematičke operacije nad skupovima se koriste za analizu oblika, prebrojavanje, prepoznavanje i slično. Osnovne morfološke operacije su: erozija i dilatacija.

#### 3.1. Binarna dilatacija

Binarna dilatacija je morfološka operacija između binarne slike  $\mathbf{X}$  i strukturnog elementa  $\mathbf{S}$ . Ona vrši širenje objekata prisutnih u slici  $\mathbf{X}$  na osnovu oblika i veličine strukturnog elementa  $\mathbf{S}$ . Na ovaj način se vrši premošćavanje i spajanje šupljina u slici. Binarna dilatacija slike predstavljene matricom  $\mathbf{X}$  sa strukturnim elementom  $\mathbf{S}$ , koja se označava kao  $\mathbf{X} \oplus \mathbf{S}$ , definiše se kao [5-6]:

$$\mathbf{X} \oplus \mathbf{S} = D(\mathbf{X}, \mathbf{S}) = \{z \mid (\hat{\mathbf{S}})_z \cap \mathbf{X} \neq \emptyset\}, \quad (3)$$

gde je sa  $\hat{S}$  označena refleksija strukturnog elementa  $S$  oko svog ishodišta (za  $c$  tačaka). Pri tom se refleksija  $\hat{S}$  definiše kao:

$$\hat{S} = \{c | c = -s \text{ za } s \in S\}. \quad (4)$$

U suštini binarna dilatacija vrši u slici  $X$  popunjavanje područja pikselima po određenoj zadatoj mustri, koju predstavlja strukturni element  $S$ .

### 3.2. Binarna erozija

Binarna erozija je morfološka operacija između binarne slike  $X$  i strukturnog elementa  $S$ . Ona kao rezultat daje izlaznu sliku u kojoj se nalaze vrednosti 1 na svakoj lokaciji ishodišta strukturnog elementa  $S$  na kojoj se isti kompletno nalazi u slici  $X$ . Zbog toga binarnu eroziju možemo shvatiti kao operaciju namenjenu eliminisanju rubnih piksela objekta. Sam proces eliminisanja direktno zavisi od oblika i veličine strukturnog elementa. Binarna erozija slike predstavljene matricom  $X$  sa strukturnim elementom  $S$ , koja se označava kao  $X \ominus S$ , definiše se kao [5-6]:

$$X \ominus S = E(X, S) = \{z | (S)_z \subseteq X\}. \quad (5)$$

Ona predstavlja skup tačaka  $z$  koje zadovoljavaju uslov da  $S$  transliran za  $z$  ostaje sadržan u (podskup od)  $X$ . Relacija (5) je zasnovana na dobijanju translacije strukturnog elementa  $S$  oko svog ishodišta, i to za poziciju  $z$  tačke. Pri tom se translacija strukturnog elementa  $S$  za tačku  $z$ , definisanu svojom pozicijom  $z = (z_1, z_2)$  označava sa  $(S)_z$  i definiše se kao:

$$(S)_z = \{c | c = s + z, \text{ za } s \in S\}. \quad (6)$$

To znači da se sve tačke strukturnog elementa  $S$  poklope sa crnim tačkama slike kada se strukturni element translira za  $z$ . Erozija zapravo briše grupe piksela na slici  $X$  zasnovane na strukturnom elementu  $S$ .

### 3.3. Binarno otvaranje

Binarno otvaranje predstavlja kombinaciju morfoloških operacija erozije i dilatacije. Naime, u ovom slučaju nad slikom  $X$  prvo se primenjuje binarna erozija, nakon čega sledi operacija binarne dilatacije sa istim strukturnim elementom  $S$ . Binarno otvaranje slike predstavljene matricom  $X$  sa strukturnim elementom  $S$ , koja se označava kao  $X \circ S$ , definiše se kao [5-6]:

$$X \circ S = O(X, S) = D(E(X, S), S) = (X \ominus S) \oplus S. \quad (7)$$

Morfološka operacija binarnog otvaranja omogućava povezivanje malih otvora ili uklanjanje slabo povezanih tačaka. Naime, u sklopu binarnog otvaranja erozija prvo uklanja slabo povezane, kao i granične tačke objekta. Nakon toga, dilatacija vrši restauraciju graničnih tačaka objekata, ali ne restaurirajući pri tom i šum.

### 3.4. Binarno zatvaranje

Operacija binarnog zatvaranja je slična operaciji binarnog otvaranja. Naime, u ovom slučaju nad slikom  $X$  prvo se primenjuje binarna dilatacija, nakon čega sledi operacija binarne erozije sa istim strukturnim elementom  $S$ . Binarno zatvaranje slike predstavljene matricom  $X$  sa strukturnim elementom  $S$ , koja se označava kao  $X \bullet S$ , definiše se kao [5-6]:

$$X \bullet S = Z(X, S) = E(D(X, S), S) = (X \oplus S) \ominus S. \quad (8)$$

Binarno zatvaranje popunjava male otvore i izolovane beline. Uz to, ono ukida i izolovane bele piksele. Zbog toga se ova morfološka operacija može koristiti za uklanjanje šuma.

### 3.5. Morfološki filtri

Različitom kombinacijom osnovnih morfoloških operacija u koje ubrajamo dilataciju i eroziju dobijaju se složeniji oblici morfoloških operacija koje se nazivaju morfološkim filtrima [7]. One se mogu koristiti za uklanjanje šuma u binarnoj slici [8]. U ovom radu predlažu se četiri različite vrste morfoloških filtara čija je primarna uloga uklanjanje šuma iz binarne slike. U tu svrhu, analiziraće se sledeći morfološki filtri:

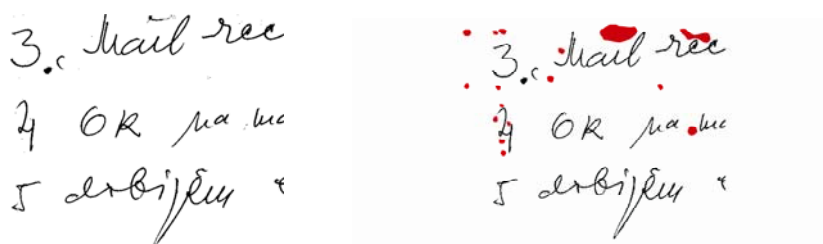
- dilatacija + erozija, odnosno kombinacija dilatacije i erozije (DE),
- erozija + dilatacija, odnosno kombinacija erozije i dilatacije (ED),
- otvaranje + zatvaranje, odnosno kombinacija otvaranja i zatvaranja (OZ), i
- zatvaranje + otvaranje, odnosno kombinacija zatvaranja i otvaranja (ZO).

## 4. TESTIRANJE, REZULTATI TESTIRANJA I KOMPARATIVNA ANALIZA

### 4.1. Testiranje

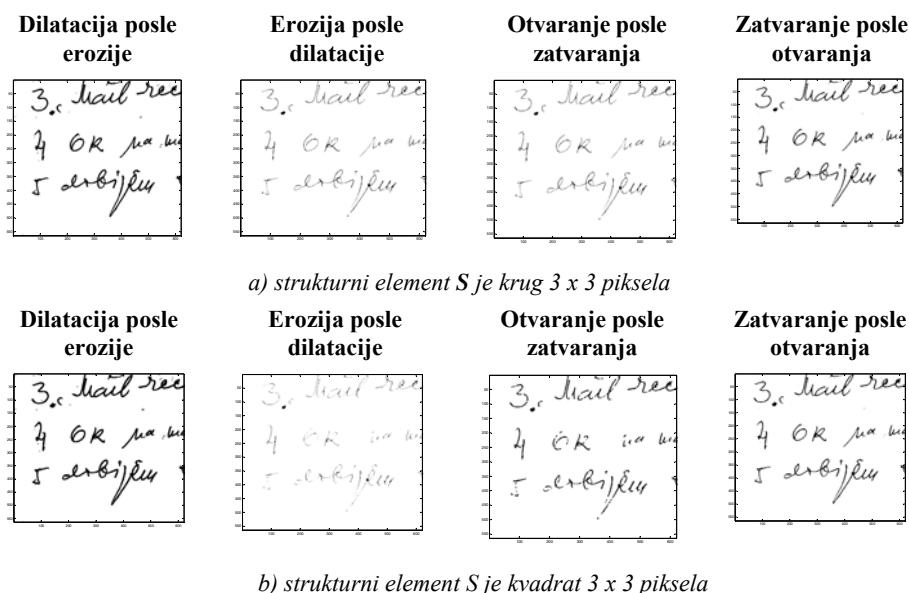
U svrhu testiranja i analize navedena četiri morfološka filtra korišćiće se 80 binarnih slika koje predstavljaju testne uzorke. Ovi testni uzorci su dati u rezoluciji 300 dpi. Njihova veličina se kreće od 125 x 128 do 1176 x 1648

piksela. Na ove uzorke primenjivaće se morfološki filtri koji su bili predmet ispitivanja. Za strukturne elemente koristiće se sledeći oblici i njihove veličine: krug (3 x 3 piksela), krug (5 x 5 piksela), elipsa (3 x 5 piksela), elipsa (5 x 7 piksela), kvadrat (3 x 3 piksela), kvadrat (5 x 5 piksela) pravougaonik (3 x 5 piksela) i pravougaonik (5 x 7 piksela). Na sl.2. dat je jedan od testnih uzoraka teksta.

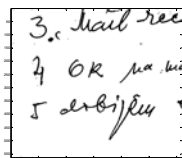


Sl. 2. Testni uzorak teksta: a) binarna slika sa šumom, b) slika teksta sa šumom (šum označen crvenim oblastima).

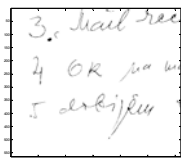
Nakon primene navedena četiri morfološka filtra sa različitim strukturnim elementima na testni uzorak teksta sa šumom (sa sl. 6.) dobijaju se različite rezultatne slike koje su prikazane na sl.3. [9].



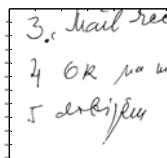
**Dilatacija posle erozije**



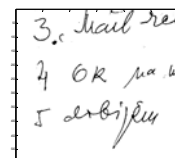
**Erozija posle dilatacije**



**Otvaranje posle zatvaranja**

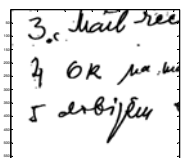


**Zatvaranje posle otvaranja**

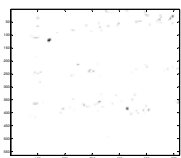


c) strukturni element  $S$  je elipsa  $3 \times 5$  piksela

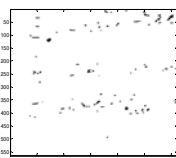
**Dilatacija posle erozije**



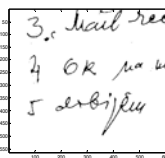
**Erozija posle dilatacije**



**Otvaranje posle zatvaranja**

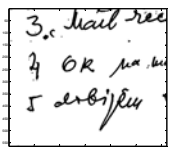


**Zatvaranje posle otvaranja**

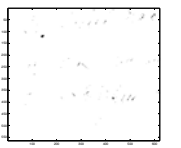


d) strukturni element  $S$  je pravougaonik  $3 \times 5$  piksela

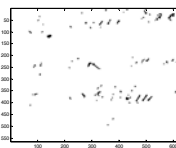
**Dilatacija posle erozije**



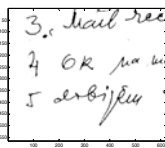
**Erozija posle dilatacije**



**Otvaranje posle zatvaranja**

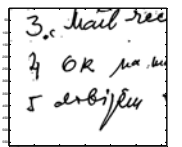


**Zatvaranje posle otvaranja**

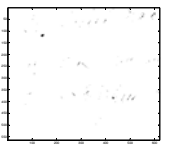


e) strukturni element  $S$  je krug  $5 \times 5$  piksela

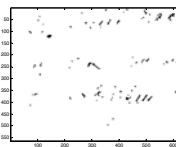
**Dilatacija posle erozije**



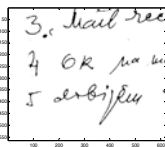
**Erozija posle dilatacije**



**Otvaranje posle zatvaranja**

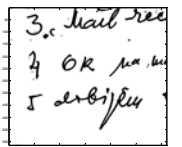


**Zatvaranje posle otvaranja**

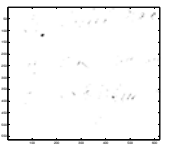


f) strukturni element  $S$  je kvadrat  $5 \times 5$  piksela

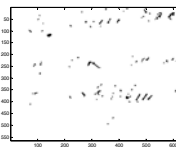
**Dilatacija posle erozije**



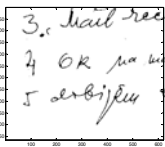
**Erozija posle dilatacije**



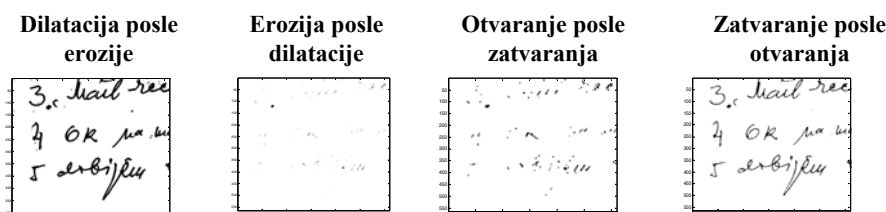
**Otvaranje posle zatvaranja**



**Zatvaranje posle otvaranja**



g) strukturni element  $S$  je elipsa  $5 \times 7$  piksela

h) strukturni element  $S$  je pravougaonik  $5 \times 7$  piksela

**Sl. 3.** Primena morfoloških filtara na testni uzorak teksta sa strukturnim elementom  $S$  koji predstavlja: a) krug  $3 \times 3$  piksela, b) kvadrat  $3 \times 3$  piksela, c) elipsu  $3 \times 5$  piksela, d) pravougaonik  $3 \times 5$  piksela, e) krug  $5 \times 5$  piksela, f) kvadrat  $5 \times 5$  piksela, g) elipsu  $5 \times 7$  piksela, h) pravougaonik  $5 \times 7$  piksela

#### 4.2. Rezultati testiranja i komparativna analiza morfoloških filtara

Uvidom u delove rezultatnih slika prikazanih na sl. 3., jasno je da morfološki filtri ED i OZ nisu pogodni za uklanjanje šuma iz binarnih slika. Naime, ovi filtri iako uklanjaju šum sa slika, paralelno vrše i uklanjanje značajnih delove teksta. Oni, u stvari, razgrađuju objekte teksta zajedno sa objektima šuma, uništavajući pri tom osim šuma i osnovnu informaciju predstavljenu tekstom. Zbog toga ove filtre nije moguće efikasno upotrebiti za uklanjanje šuma iz tekstualnih binarnih slika. Zato će se komparativnoj analizi vršiti poređenje rezultata uklanjanja šuma isključivo vezanih za morfološke filtre DE i ZO. Sumirajući rezultate za morfološki filter DE dobijaju se podaci prikazani u tabeli 1.

**Tabela 1.** Zbirni rezultati za morfološki filter DE

Morfološki filter DE					
Uzorci teksta		S11	S12	S13	S14
		Početni broj objekata šuma			
Strukturni element S		589	1143	1078	854
		Završni broj objekata šuma			
krug	3x3	507	940	907	818
krug	5x5	437	745	558	717
elipsa	3x5	498	889	651	799
elipsa	5x7	199	666	490	697
kvadrat	3x3	449	862	687	720
kvadrat	5x5	337	654	446	640
pravougaonik	3x5	415	768	624	700
pravougaonik	5x7	165	532	396	639



Preračunavanjem podataka u oblik procentualnog smanjenja šuma dobijaju se rezultati prikazani u tabeli 2.

**Tabela 2.** Zbirni rezultati procentualne zastupljenosti šuma za morfološki filter DE

Morfološki filter DE						
Uzorci teksta		Procentualna zastupljenost šuma posle primene filtra				
Strukturni element S		SI1	SI2	SI3	SI4	Srednja vrednost
krug	3x3	86.08%	82.24%	84.14%	95.78%	87.06%
krug	5x5	74.19%	65.18%	51.76%	83.96%	68.77%
elipsa	3x5	84.55%	77.78%	60.39%	93.56%	79.07%
elipsa	5x7	33.79%	58.27%	45.45%	81.62%	54.78%
kvadrat	3x3	76.23%	75.42%	63.73%	84.31%	74.92%
kvadrat	5x5	57.22%	57.22%	41.37%	74.94%	57.69%
pravougaonik	3x5	70.46%	67.19%	57.88%	81.97%	69.38%
pravougaonik	5x7	28.01%	46.54%	36.73%	74.82%	46.53%

Iz navedenih podataka vidi se da povećanje veličine strukturnog elementa omogućava bolje čišćenje slike od šuma. Zbog toga se najbolji rezultati uklanjanja šuma dobijaju izborom strukturnog elementa elipse ili pravougaonika veličine 5 x 7 piksela. Nadalje, sumirajući rezultate za morfološki filter ZO dobijaju se podaci prikazani u tabeli 3.

**Tabela 3.** Zbirni rezultati za morfološki filter ZO

Morfološki filter ZO					
Uzorci teksta		SI1	SI2	SI3	SI4
		Početni broj objekata šuma			
Strukturni element S		589	1143	1078	854
		Završni broj objekata šuma			
krug	3x3	522	979	936	824
krug	5x5	411	816	601	698
elipsa	3x5	489	908	862	801
elipsa	5x7	306	740	549	681
kvadrat	3x3	332	901	723	731
kvadrat	5x5	287	691	422	662
pravougaonik	3x5	346	842	648	719
pravougaonik	5x7	179	597	380	639

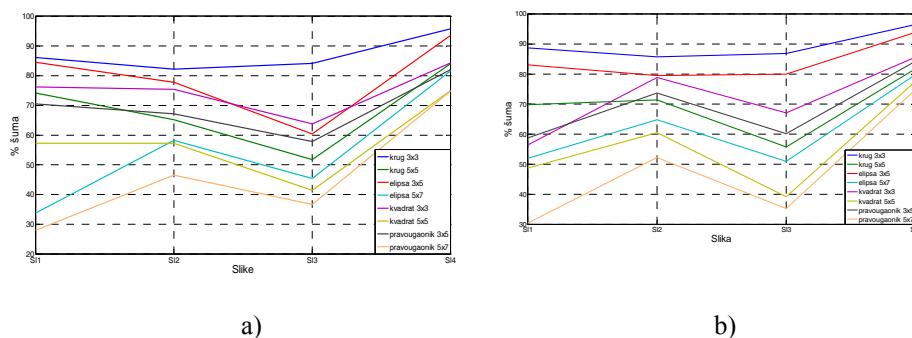
Preračunavanjem podataka u oblik procentualnog smanjenja šuma dobijaju se rezultati prikazani u tabeli 4.

**Tabela 4.** Zbirni rezultati procentualne zastupljenosti šuma za morfološki filter ZO

Morfološki filter ZO						
Uzorci teksta		Procentualna zastupljenost šuma posle primene filtra				
Strukturni element S		S11	S12	S13	S14	Srednja vrednost
krug	3x3	88.62%	85.65%	86.83%	96.49%	89.40%
krug	5x5	69.78%	71.39%	55.75%	81.73%	69.66%
elipsa	3x5	83.02%	79.44%	79.96%	93.79%	84.05%
elipsa	5x7	51.95%	64.74%	50.93%	79.74%	61.84%
kvadrat	3x3	56.37%	78.83%	67.07%	85.60%	71.97%
kvadrat	5x5	48.73%	60.45%	39.15%	77.52%	56.46%
pravougaoni k	3x5	58.74%	73.67%	60.11%	84.19%	69.18%
pravougaoni k	5x7	30.39%	52.23%	35.25%	74.82%	48.17%

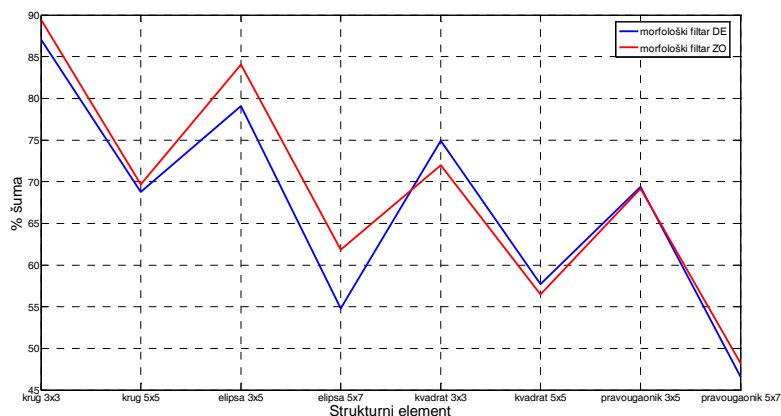
Kao i u slučaju morfološkog filtera DE uvidom u rezultate iz tabele 4. jasno je da povećanje veličine strukturnog elementa utiče na kvalitetnije uklanjanje šuma iz slike. Zbog toga se najbolji rezultati uklanjanja šuma dobijaju se za strukturni element elipse ili pravougaonika veličine 5 x 7 piksela.

Odvojeni uporedni podaci iz tabele 2. za morfološke filtre DE i ZO prikayani su na sl. 4. a) i b), respektivno.



**Sl. 4.** Uporedni rezultati primene morfološkog filtera sa različitim strukturnim elementima: a) filter DE, b) filter ZO.

Na kraju, na sl. 5. prikazani su uporedni rezultati uklanjanja šuma pomoću morfoloških filtara DE i ZO.



**Sl. 5.** Uporedni rezultati primene morfoloških filtara DE i ZO sa različitim strukturnim elementima

Iako su rezultati uklanjanja šuma za morfološke filtre DE i ZO veoma slični, preciznijim uvidom u podatke prikazane na sl. 5. mogu se izabrati filtri i strukturni elementi koji efikasnije rade. Naime, filter DE efikasnije radi sa strukturnim elementom elipse, dok filter ZO efikasnije radi sa strukturnim elementom kvadrata. Za strukturni element kruga i pravougaonika oba filtra imaju sličnu efikasnost uklanjanja šuma. Ipak, najbolji rezultati uklanjanja šuma dobijaju se za veće strukturne elemente kao što su elipsa ili pravougaonik veličine 5 x 7 piksela.

## ZAKLJUČAK

Ovaj rad je imao za cilj analizu četiri morfološka filtra za uklanjanje šuma iz binarne slike. U tu svrhu korišćeno je 80 binarnih slika koje su uzete kao reprezentativni uzorci za testiranje. Date slike predstavljaju isečke rukom pisanih tekstova koji imaju prisutan manji ili veći udeo šuma. Na ove slike primenjena su sva četiri ispitivana morfološka filtra. Nakon njihove primene smanjen je udeo šuma u slikama. Kao kriterijum ispitivanja korišćen je broj objekata šuma pre i posle primene određenog morfološkog filtra. Tako dobijeni rezultati su klasifikovani, sortirani i prikazani u tabelarnom obliku.

Analiziranjem podataka prikazanih u tabelama morfološki filtri ED i OZ su isključeni iz dalje analize zbog razgrađivanja i uništavanja objekata teksta. Zbog toga su predmet daljeg posmatranja i ispitivanja bili morfološki filtri DE i ZO. Njihovom primenom na testirane uzorke binarnih slika šum se umanjivao, u određenim slučajevima, i do 90 %. Uz to, primenom ovih morfoloških filtara omogućava se smanjenje ukupnog broja objekata šuma bez bitnog uticaja na kvalitet same slike. Zbog toga, nakon njihove primene početne slike zadržavaju kvalitet sa neznatnim promenama u vidu podebljavanja ili sužavanja objekata.

Uticaj izbora strukturnog elementa pokazao se kao veoma bitan. Naime, upotrebom većih strukturnih elemenata može se umanjiti šum i više od 50%, u odnosu na izbor manjih strukturnih elemenata. Pri tom, izbor strukturnog elementa pravougaonika veličine 5x7 dao je najbolje rezultate uklanjanja šuma. Može se konstatovati da se morfološki filtri DE i ZO mogu u kombinaciji sa pravilnim izborom oblika i veličine strukturnog elementa efikasno upotrebiti za uklanjanje šuma iz binarne slike.

Izložene metode mogu da se prilagode primeni u optičkoj mikroskopiji kod karakterizacije materijala. Postoje mnoge metode analiza hemijskih i fizičkih osobina materijala (dilatometrija, diferencijalno-termijska analiza i druge) koje se vrše uređajima i instrumentima koji kao izlaz generišu grafičke prikaze: slike, dijagrame i grafike, a navedeni postupak bi bio od velike koristi u pripremi i tretmanu tih izveštaja i analizi osobina.

## LITERATURA

- [1] Likforman-Sulem, L., Zahour, A., Taconet, B. Text line legmentation of historical documents: A survey. *International Journal on Document Analysis and Recognition (IJ DAR)*, 2007, Vol.9, No.2-4, 123-138.
- [2] Goutsias, J., Heijmans, H. J. A. M. *Fundamenta Morphologicae Mathematicae. Fundamenta Informaticae*, 2000, Vol.41, No.1-2, 1-31.
- [3] Gonzalez, R. C., Woods, R. E. *Digital Image Processing*, 2nd ed.; Prentice-Hall: Bergen County, New Jersey, USA, 2002.
- [4] Otsu, N. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1979, Vol.9, No.1, 62-66.
- [5] Shih F. Y. *Image Processing and Mathematical Morphology: Fundamentals and Applications*, CRC Press, Boca Raton, Florida, U.S.A., 2009.
- [6] Heijmans, H. J. A. M. Aspects of the theory of morphological operators and filters, *Workshop on Design Methodologies for Microelectronics and Signal Processing*, Gliwice-Cracow, Poland, 1993, 377-387.

- [7] Brodić, D., Milivojević, D. R., Tasić, V., Preprocessing of binary document images by morphological operators, Proceedings of 34th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics MIPRO 2011, Croatia, 2011, vol. III, CTS&CIS, 276-280.
- [8] Liang, J., Haralick, R. M., Phillips, I. T. Document image restoration using binary morphological filters, Proceeding of SPIE 2660, Vol.274, 1996, doi:10.1117/12.234709.
- [9] Brodić, D., Milivojević, Z. A New approach to water flow algorithm for text line segmentation, Journal of Universal Computer Science, 2011, Vol.17, No.1, 30-47.

UDK: 536.7:669.215:669.872:669.75(045)=861

ORIGINALNI NAUČNI RAD

Oblast: Termodinamika metalnih sistema

**TERMODINAMIČKA ANALIZA TERNARNOG Au-In-Sb  
SISTEMA PRIMENOM RKM MODELA**

**THERMODYNAMIC ANALYSIS OF TERNARY Au-In-Sb  
SYSTEM BY RKM MODEL APPLICATION**

Lidija Gomidželović<sup>1</sup>, Dragana Živković<sup>2</sup>, Ana Kostov<sup>1</sup>, Emina Požega<sup>1</sup>,  
Aleksandra Milosavljević<sup>1</sup>, Radiša Todorović<sup>1</sup>, Radoica Đalović<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut za rudarstvo i metalurgiju, 19210 Bor

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet, 19210 Bor

**Izvod**

*U radu su predstavljeni rezultati termodinamičke analize legura u sistemu Au-In-Sb. U okviru termodinamičke analize, primenjena je RKM metode predviđanja, i to u preseccima iz ugla antimona, zlata i indijuma sa molskim odnosom druge dve komponente jednakim 1:3, 1:1 i 3:1, na osnovu čega su određene vrednosti integralne molarne ekscesne Gibbsove energije i aktivnosti svih prisutnih komponenti u temperaturnom intervalu od 873 do 1673K.*

**Cljučne reči:** termodinamika, RKM model, Au-In-Sb sistem

**Abstract**

*The results of thermodynamic analysis of alloys in ternary system Au-In-Sb are been presented in these work. Thermodynamic analysis was carried out by applying RKM method in sections from Au, In and Sb corner, respectively, with following ratios 1:3, 1:1, 3:1. in the temperature interval from 873K to 1673K.*

**Keywords:** thermodynamics, RKM model, Au-In-Sb system

**1. UVOD**

Zlato i njegove legure se široko primenjuju u savremenim granama tehnike i elektronike, kosmičke i aviacone tehnike, hemije, medicine. Legure zlata se koriste za ostvarivanje električnih kontakata, za izradu provodnika i otpornika, u mernoj tehnici i informatici zbog toga što poseduju dobre mehaničke i

---

<sup>1</sup> E-mail: lgomidzelovic@yahoo.com

električne osobine, kao i korozionu postojanost u oksidacionim i drugim agresivnim sredinama. Elektronska industrija je trenutno najveći korisnik zlata i njegovih legura. Skoro 90 % primenjenog zlata i legura zlata koriste se kao lemovi za električne kontakte pri normalnim pritiscima i u vakumu [1]. Ovako značajnu primenu u elektronici zlato duguje sposobnosti da obrazuje niskotemperaturne eutektikume sa drugim elementima (In, Ga, Si...) koji već poseduju provodnost određenog tipa [1].

Legure na bazi indijuma su moguća alternativa klasičnim lemovima na bazi olova u višestepenom lemljenju potrebnom za ostvarivanje visoke gustine pakovanja u višestruko integrisanim električnim kolima, koja zahtevaju brojne lemne materijale sa tačkama topljenja u širokom opsegu [2,3]. Takođe, fazni dijagrami legura tipa Au-In-Me mogu igrati važnu ulogu u razumevanju razvoja mikrostruktura na graničnoj površini između lemnih materijala na bazi In i Au osnove, i u predviđanju osobina i života tačke kohezije (spajanja), čime se dobija oruđe za dizajniranje potencijalne granične površine [3].

Iz grupe mogućih lemnih materijala koji sadrže zlato i indijum izdvaja se trojna legura Au-In-Sb čije ispitivanje je započeto. Faznu ravnotežu ove legure su do sada istraživali Kubiak i Schubert [4], Tsai i Williams [5]. Liu et al. [3] su koristeći kao bazu podatke o konstitutivnim binarnim sistemima Au-In, In-Sb i Au-Sb [8] izvršili termodinamičko modeliranje ternarnog sistema Au-In-Sb. Po rezultatima Liu et al. AuIn<sub>2</sub> i InSb obrazuju pseudobinarni sistem dok ostale dve sekcije, AuIn-InSb i AuIn-Sb, ne mogu obrazovati pseudobinarne sisteme. Takođe je izvršeno predviđanje termodinamičkih osobina ovog sistema korišćenjem opšteg modela rastvora [9], ispitivanje preseka AuIn-Sb pomoću Oelsenove kalorimetrije [10], ispitivanje faznog dijagrama [11] i elektrohemijaska karakterizacija nekih legura sistema Au-In-Sb [12].

## 2. TEORIJSKE OSNOVE

Postoji mnogo metoda za predviđanje termodinamičkih osobina ternarnih sistema baziranih na informacijama o binarnim sistemima koji ulaze u njihov sastav. Jedan od tih modela je i Redlich-Kister-Muggianu model [13] koji je u ovom radu iskorišćena za predviđanje termodinamičkih osobina ispitivanih trojnih sistema.

Osnovna jednačina Redlich-Kister-Muggianu modela [13] za trojni sistem glasi:

$$\begin{aligned} \Delta G^E = & x_1 \cdot x_2 [L_{12}^0 + (x_1 - x_2) \cdot L_{12}^1 + (x_1 - x_2)^2 \cdot L_{12}^2 + \dots] + \\ & + x_2 \cdot x_3 [L_{23}^0 + (x_2 - x_3) \cdot L_{23}^1 + (x_2 - x_3)^2 \cdot L_{23}^2 + \dots] + x_1 \cdot x_3 \cdot \\ & \cdot [L_{13}^0 + (x_1 - x_3) \cdot L_{13}^1 + (x_1 - x_3)^2 \cdot L_{13}^2 + \dots] + L_{123} \cdot x_1 x_2 x_3 \end{aligned} \quad (1)$$

Prilikom proračuna je usvojeno da je vrednost ternarnog interakcionog parametra  $L_{123}$  jednaka nuli, odnosno zanemarene su sve ternarne međuatomske reakcije zbog nedostatka odgovarajućih eksperimentalnih podataka za ispitivane trojne sisteme.

U prethodno navedenoj jednačini,  $\Delta G^E$  i  $\Delta G_{ij}^E$  odgovaraju integralnim molarnim eksces Gibbsovima energijama za ternarni i binarne sisteme, respektivno, dok  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  odgovaraju molarnim udelima komponenti ispitivanog ternarnog sistema.

Parcijalne termodinamičke veličine za zlato, indijum i antimon su proračunate prema jednačinama:

$$G_i^E = G^E + (1 - x_i) \left( \frac{\partial G^E}{\partial x_i} \right) = RT \ln \gamma_i \quad (2)$$

i

$$a_i = x_i \gamma_i \quad (3)$$

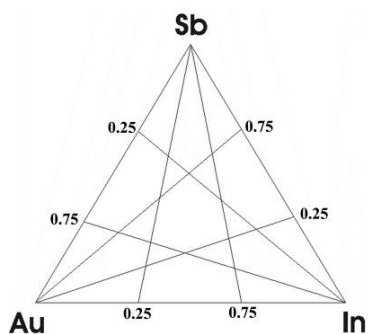
### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Iz koncentracionog područja ternarnog sistema Au-In-Sb izabrani su preseki prikazani na slici 1. i izvršeno je termodinamičko predviđanje korišćenjem RKM metode [6] pri sadržaju treće komponente  $x_i = 0, 0.1 - 0.9, 1$  u temperaturnom intervalu 873 - 1673 K. Kao polazni podaci za proračun poslužili su Redlich-Kister parametri preuzeti iz COST531 baze podataka [8], i dati u tabeli 1. Vrednosti integralne ekscesne Gibbsove energije i aktivnosti, dobijene na ovaj način, prezentovane su na slici 2.

**Tabela 1.** Redlich-Kister parametri za konstitutivne binarne sisteme

System $ij$	$L_{ij}^0(T)$	$L_{ij}^1(T)$	$L_{ij}^2(T)$
Au-In [8]	$-80027.7 + 89.7173262T - 9.57049T \ln T$	$-34977.3 + 117.293782T - 13.0337T \ln T$	0
In-Sb [8]	$-25631.2 + 102.9324T - 13.45816T \ln T$	$-2115.4 - 1.31907T$	2908.9
Au-Sb [8]	$-15437.35 - 4.63455T$	$-18854.1 + 15.64707T$	-4271.85

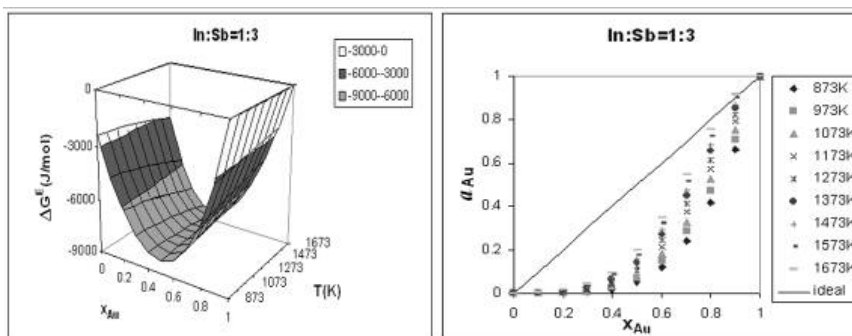




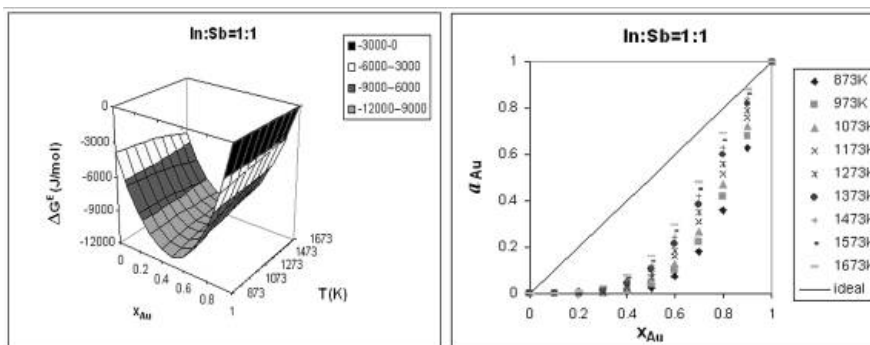
Sl. 1. Šematski prikaz ispitivanih koncentracionih područja ternarnog sistema Au-In-Sb

-preseci iz ugla zlata

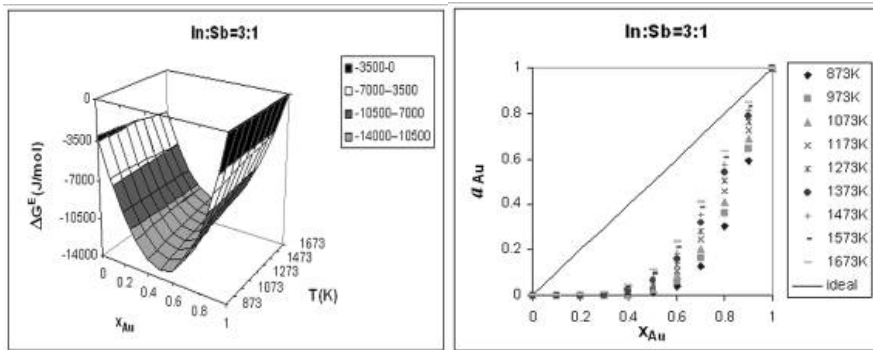
a) In:Sb=1:3



b) In:Sb=1:1

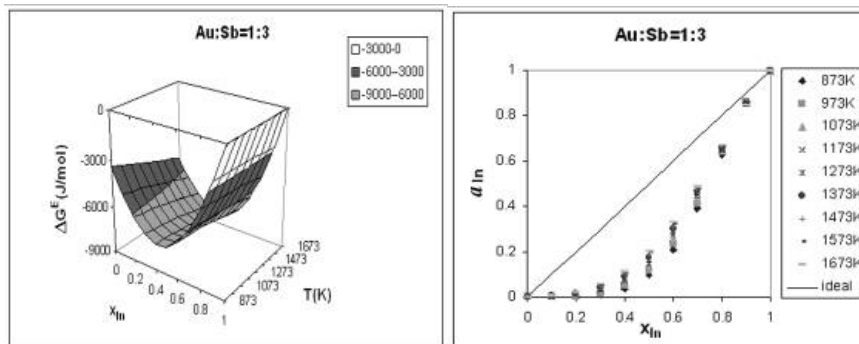


c)  $In:Sb=3:1$

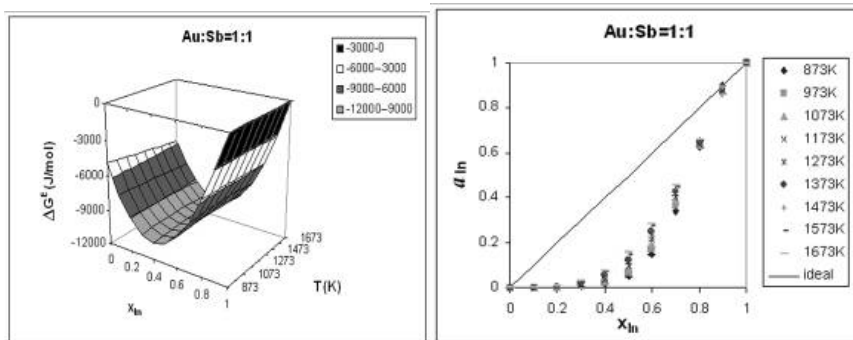


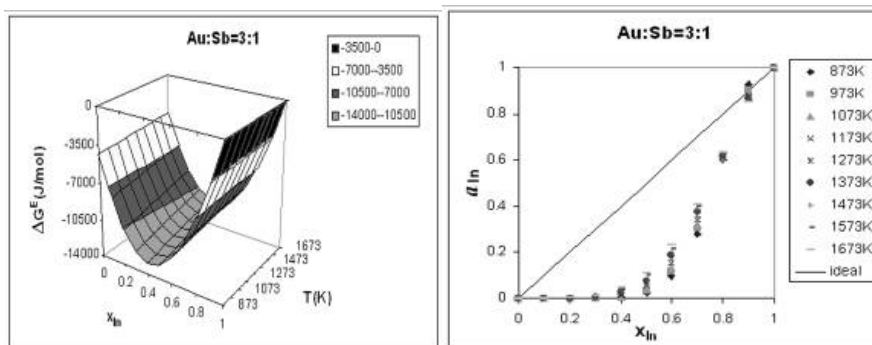
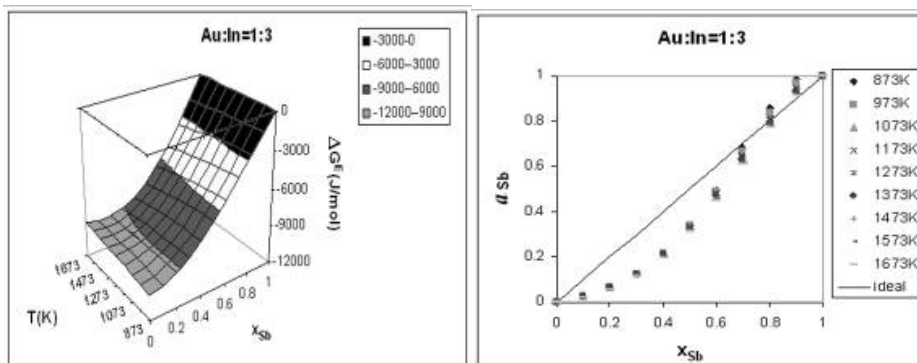
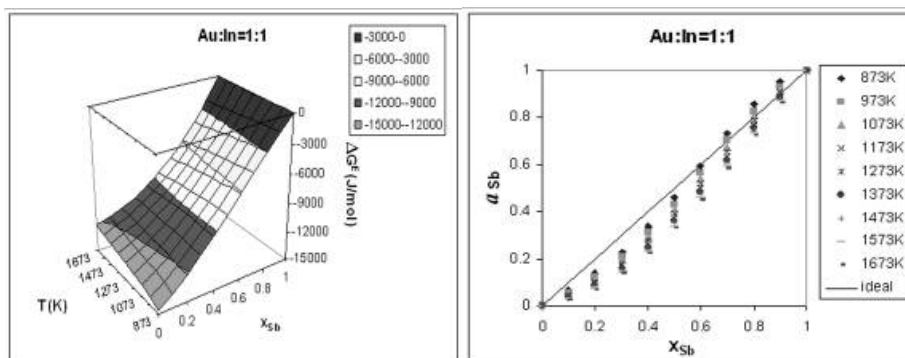
-preseci iz ugla indijuma

d)  $Au:Sb=1:3$

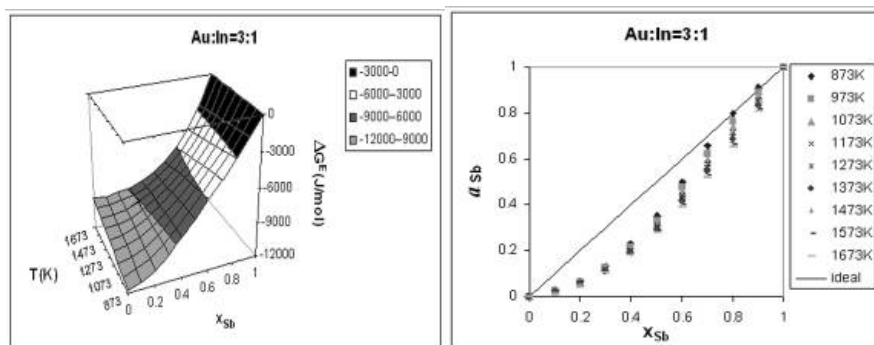


e)  $Au:Sb=1:1$



f)  $Au:Sb=3:1$ *-preseci iz ugla antimona*g)  $Au:In=1:3$ h)  $Au:In=1:1$ 

j)  $Au:In=3:1$



Sl. 2. Integralna ekscesna Gibbsova energija i aktivnost za ternarni sistem Au-In-Sb na temperaturama 873-1673 K prema metodi RKM-a (a – j)

## ZAKLJUČAK

Termodinamička analiza ternarnog sistema Au-In-Sb izvršena je korišćenjem RKM metoda. Vrednosti integralne ekscesne Gibbsove energije dobijene RKM modelom za sve preseke, za raspon temperatura od 873 – 1673 K, su izrazito negativne, sa minimalnim vrednostima u opsegu do -15 kJ/mol, pogotovo u presecima iz ugla antimona i zlata, ne pokazujući značajne međusobne razlike. Sa porastom sadržaja antimona vrednost  $\Delta G^E$  raste. Vrednosti aktivnosti indijuma pokazuju negativno odstupanje od Raoult-ovog zakona u celom području koncentracija, osim za vrednosti aktivnosti u preseku  $Au:Sb=3:1$ , gde se pri sastavu legura sa  $x_{In}>0.9$  uočava pozitivno odstupanje. Proračunate vrednosti za aktivnost zlata u svim ispitivanim presecima pokazuju izrazito negativno odstupanje od Raoult-ovog zakona. Aktivnost zlata se značajno menja sa promenom temperature (sa porastom temperature smanjuje se negativno odstupanje od Raoult-ovog zakona). Pri sastavu legura  $x_{Sb}>0.75$ , aktivnost antimona pokazuje pozitivno odstupanje od Raoult-ovog zakona što ukazuje na to da visok sadržaj antimona u leguri utiče negativno na mešljivost komponenata. Za presek  $Au:In = 1:3$  ne postoji značajna promena aktivnosti antimona u zavisnosti od temperature, dok je kod ostala dva preseka ova promena uočljivija. Rezultati prezentovani u ovom radu upotpunjavaju poznavanje termodinamičkih osobina legura Au-In-Sb ternarnog sistema.

### **Zahvalnost**

*Autori su zahvalni Ministarstvu za nauku i zaštitu životne sredine Republike Srbije (Projekti OI172037 i TR34005) za finansijsku podršku.*

### **LITERATURA**

- [1] D. Živković, Ž. Živković, D. Manasijević, *Thermochimica Acta*, 435 (2005) 113–117.
- [2] J. S. Hwang, *Environment-friendly electronics: Lead-free technology*, Electrochemical Publications Ltd., Port Erin, 2001, str. 97.
- [3] H. S. Liu, C. L. Liu, C. Wang, Z. P. Jin, K. Ishida, *J. Electron. Mater.*, 32 (2003) 81 – 88.
- [4] R. Kubiak and K. Schubert, *Z. Metallkd.*, 71 (1980) 635 – 637.
- [5] C. T. Tsai and R. S. Williams, *J. Mater. Res.*, 1 (1986) 352 – 360.
- [6] G.W. Toop, *Trans. Met. Soc. AIME*, 233 (1965) 850 – 855.
- [7] Y. M. Muggianu, M. Gambino, J. P. Bross, *J. Chimie Physique*, 72 (1975) 83 – 88.
- [8] A.T. Dinsdale, A. Kroupa, J. Vizdal, J. Vrestal, A. Watson, A. Zemanova, *COST 531 Database for Lead-free Solders, Ver. 2.0, 2006*, Unpublished Research.
- [9] Gomidželović, D. Živković, I. Mihajlović, V. Trujić, *Arch. Metall. Mater.*, 51(3) (2006) 355 – 363.
- [10] L. Gomidželović, D. Živković, *J. Therm. Anal. Calorim.*, 98 (2009) 743 – 748.
- [11] L. Gomidželović, D. Živković, N. Talijan, D. Manasijević, V. Čosović, A. Grujić, *J. Optoelectron. Adv. Mater.*, 10 (2) (2008) 455 – 460.
- [12] L. Gomidželović, Z. Stanković, Z. Stević, D. Živković, *Hem Ind*, 63(4) (2009) 289 – 292.
- [13] O. Redlich, A.T. Kister, *Ind. Eng. Chem.*, 24 (1948) 345 – 348.

UDK: 669.3:681.51:543.05(045)=861

STRUČNI RAD

*Oblast: Kompjutersko modelovanje u metalurgiji*

**PRIMENA "HSC CHEMISTRY" PROGRAMA ZA PRORAČUN  
HEMIJSKOG SASTAVA KONCENTRATA BAKRA**

**APPLICATION OF "HSC CHEMISTRY" SOFTWARE FOR CHEMISTRY  
COMPOSITION CALCULATION OF COPPER CONCENTRATE**

Emina Požega<sup>1</sup>, Vesna Krstić<sup>1</sup>, Lidija Gomidželović<sup>1</sup>, Radojica Đalović<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

**Izvod**

*U ovom radu je data uporedna analiza rezultata proračuna racionalnog sastava koncentrata bakra dobijenog matematički i korišćenjem "HSC Chemistry" programa. Proračun je izvršen na 100 kg suvog koncentrata. Uzeta je ruda bakra sa sadržajem 30% halkopirita, 20% pirita i 50% kvarca. Na osnovu mineraloškog sastava izračunat je procentualni sadržaj bakra, železa i sumpora u rudi korišćenjem "HSC Chemistry" programa. Postupak proračuna izložen je u celini formulama, dok su rezultati dobijeni softverom dati tabelarno. Na ovaj način je predstavljena jedna od mogućnosti "HSC Chemistry" kompjuterskog programa.*

**Ključne reči:** racionalni sastav, koncentrat bakra, softver "HSC Chemistry".

**Abstract**

*A comparative analysis of the copper rational composition calculations results obtained by using mathematical and "HSC Chemistry" program are given in this paper. The calculation is based on 100 kg of dry concentrate. Copper ore with 30% chalcopyrite, 20% pyrite and 50% quartz was taken. Based on the mineralogical composition, the percentage content of copper, iron and sulfur in the ore was calculated by using the "HSC Chemistry" program. The calculation procedure is complete expose by formula, while the software obtained results are given by tables. One of the "HSC Chemistry" program possibilities is presented in this way.*

**Key words:** rational composition, copper concentrate, "HSC Chemistry" software

---

<sup>1</sup> E-mail: emina.pozega@irmbor.co.rs

## 1. UVOD

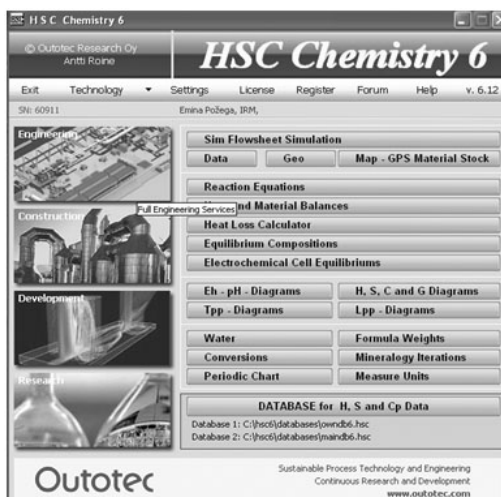
Koncentrati bakra sastoje se od većeg broja sulfidnih minerala, koji čine 80 - 92% od mase koncentrata. Najvažniji od njih su:  $\text{Cu}_2\text{S}$ ,  $\text{CuS}$ ,  $\text{CuFeS}_2$ ,  $\text{FeS}_2$ ,  $\text{FeS}$ , zatim  $\text{NiS}$ ,  $\text{ZnS}$ ,  $\text{PbS}$  i u određenim koncentracijama  $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ,  $\text{As}_2\text{S}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ , kao i retki i plemeniti metali; sve ukupno više desetina elemenata iz periodnog sistema. Oksidni minerali koji su obično prisutni u koncentratima bakra su:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CuCO}_3$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{Cu}_2\text{O}$  i drugi. Njihov sadržaj je obično mali, pa se, posebno  $\text{SiO}_2$  i  $\text{CaO}$ , u cilju uspješnog topljenja i formiranja šljake pogodnog sastava, moraju dodavati koncentratu prilikom sastavljanja šarže [1-3].

Sadržaj bakra u koncentratima se kreće u vrlo širokim granicama (10 - 40%), najčešće iznosi 20 - 36 % bakra, a to zavisi od hemijskog i mineraloškog sastava rude. Mineraloški sastav rude govori o efikasnosti procesa topljenja, zbog čega je od velikog značaja njegovo određivanje. On se može odrediti rendgenskom difrakcijom ili izračunati iz hemijske analize.

U ovom radu su prikazani rezultati ispitivanja hemijskog sastava koncentrata bakra sa ciljem da se utvrdi saglasnost sadržaja bakra, železa i sumpora koji su određeni matematički i korišćenjem "HSC Chemistry" programa na osnovu kvantitativnog mineralnog sastava.

"HSC Chemistry" je kompjuterski termodinamički program [4] uz pomoć koga su termodinamički proračuni lakši i brži. Jedna od mogućnosti "HSC Chemistry" kompjuterskog programa data je u radu autora E. Požega i saradnika [5].

Program je napravljen za različite hemijske i ravnotežne proračune. "HSC Chemistry 6.0" verzija ima četrnaest modula za proračun, slika 1.



Sl. 1. "HSC Chemistry 6.0" program

- |                                  |                               |
|----------------------------------|-------------------------------|
| 1. Reakcione jednačine           | 8. H,S, C i G dijagrami       |
| 2. Toplotni i materijalni bilans | 9. Dijagrami stabilnosti faza |
| 3. Proračuni gubitka toplote     | 10. Minerološka iteracija     |
| 4. Ravnotežni sastavi            | 11. Konverzija sastava        |
| 5. Elektrohemijska ravnoteža     | 12. Periodni sistem elemenata |
| 6. Težinske formule              | 13. Voda (tabele vodene pare) |
| 7. Eh – pH dijagrami             | 14. Jedinice                  |

U tabeli 1. su prikazani najvažniji sulfidni i oksidni minerali bakra [2].

**Tabela 1.** Najvažniji minerali bakra

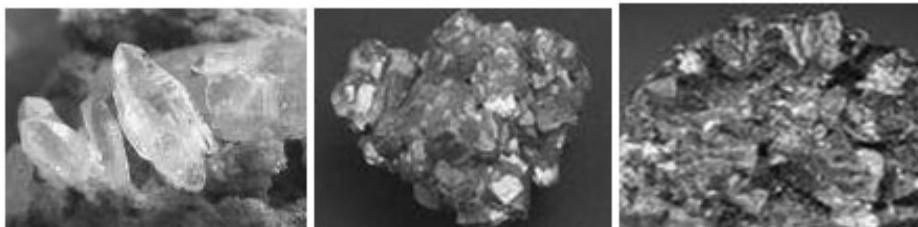
Naziv minerala	Hemijska formula	Sadržaj bakra [%]
Kovelin	CuS	66.5
Halkozin	Cu <sub>2</sub> S	79.9
Halkopirit	CuFeS <sub>2</sub>	34.60
Bornit	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	63.30
Kubanit	CuFe <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	23.50
Enargit	Cu <sub>3</sub> AsS <sub>4</sub>	48.40
Malahit	CuCO <sub>3</sub> ·Cu(OH) <sub>2</sub>	57.40
Azurit	2CuCO <sub>3</sub> ·Cu(OH) <sub>2</sub>	55.10
Kuprit	Cu <sub>2</sub> O	88.80
Tenorit	CuO	79.90
Halkantit	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	25.50
Hrizokola	CuSiO <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O	36.20

## 2. PRORAČUN PROCENTUALNOG SADRŽAJA BAKRA, ŽELEZA I SUMPORA U RUDI

Rendgensko-difrakciono ispitivanje rađeno je na sobnoj temperaturi na rendgenskom generatoru Simens Kristaloflex 810. Za snimanje je korišćena Cu-antikataka sa filtriranim zračenjem, Ni-filtrima, pri naponu od 40 kV i jačini struje od 20 mA. Difrakcioni podaci su prikupljeni u oblasti  $2\theta$  od 4 do 70° sa korakom od 0,02° i vremenom zadržavanja na svakom koraku od 0,5 s. Literaturni podaci sa kojima su upoređivane izračunate vrednosti međupljosnih rastojanja uzeti su iz kartoteke Joint Committee on Powder Diffraction Standard za kvarc (JCPDS card 5-490), pirit (JCPDS card 6-0710) i halkopirit (JCPDS card 9-423). Na osnovu rezultata dobijenih rendgensko-difrakcionom analizom praha određen je kvantitativni mineralni sastav rude: pirit:



$\text{FeS}_2 = 20\%$ , halkopirit:  $\text{CuFeS}_2 = 30\%$  i kvarc:  $\text{SiO}_2 = 50\%$ .



a) pirit [6]

b) halkopirit [7]

c) kvarc [8]

### Sl. 2. Minerali bakra

#### Ruda

Pirit:  $\text{FeS}_2 = 20\%$

Halkopirit:  $\text{CuFeS}_2 = 30\%$

Kvarc:  $\text{SiO}_2 = 50\%$

$$\% \text{Cu}_{\text{ruda}} = \% \text{Cu}_{\text{CuFeS}_2} = 30 * (A_{\text{Cu}}/M_{\text{CuFeS}_2}) = 30 * (63.5/183.5) = \mathbf{10.38\%}$$

$$\% \text{Fe}_{\text{ruda}} = \% \text{Fe}_{\text{CuFeS}_2} + \% \text{Fe}_{\text{FeS}_2}$$

$$\% \text{Fe}_{\text{CuFeS}_2} = 30 * (A_{\text{Fe}}/M_{\text{CuFeS}_2}) = 30 * (56/183.5) = 9.15\%$$

$$\% \text{Fe}_{\text{FeS}_2} = 20 * (A_{\text{Fe}}/M_{\text{FeS}_2}) = 20 * (56/120) = 9.33\%$$

$$\% \text{Fe}_{\text{ruda}} = 9.15\% + 9.33\% = \mathbf{18.48\%}$$

$$\% \text{S}_{\text{ruda}} = \% \text{S}_{\text{CuFeS}_2} + \% \text{S}_{\text{FeS}_2}$$

$$\% \text{S}_{\text{CuFeS}_2} = 30 - \% \text{Cu}_{\text{CuFeS}_2} - \% \text{Fe}_{\text{CuFeS}_2} = 30 - 10.38\% - 9.15 = 10.47\%$$

$$\% \text{S}_{\text{FeS}_2} = 20 - \% \text{Fe}_{\text{FeS}_2} = 20 - 9.33 = 10.67\%$$

$$\% \text{S}_{\text{ruda}} = 10.47\% + 10.67\% = \mathbf{21.14\%}$$

### 3. PRIMENA "HSC CHEMISTRY" PROGRAMA ZA PRORAČUN HEMIJSKOG SASTAVA KONCENTRATA BAKRA

Za razliku od analitičkog proračuna, prilikom rada sa softverom „HSC Chemistry“, posao inženjera se svodi na unošenje ulaznih parametara. Ulazni parametri obuhvataju formule minerala bakra i njihov procentualni sadržaj u rudi, slika 3.

The screenshot shows a spreadsheet window titled 'Mineralogy Conversions C:\HSC6\Content\za rad u bakru.MNR'. The spreadsheet has columns A through K. Column A is 'Substance Name', B is 'Target Element', C is 'Amount', D is 'Content', E is 'Cu', F is 'Fe', G is 'O', H is 'S', and I is 'Si'. Rows 3-7 contain data for CuFeS2, FeS2, and SiO2. Row 4 shows a 'Result' row with values 100, 100.00, 10.39, 18.44, 26.63, 21.17, 23.37. The status bar at the bottom shows 'Exit Help Set Last Row Copy Row 4 to 3 Solve Iterate Sel. 10 Iterate All'.

Sl. 3. Program za proračun hemijskog koncentrata bakra

Izlazni parametri su procentualni sadržaji elemenata u rudi, odnosno tabelarni prikaz racionalnog sastava koncentrata, slika 3.

Zbog male analitičke greške, konverzija hemijskog sastava elemenata u mineraloški uz pomoć „HSC Chemistry“ programa je još teži zadatak. Ovaj program nudi tri načina ove konverzije [4] o čemu će biti reči u nekom od narednih radova. U tabeli 2. je dat hemijski sastav dobijen na osnovu matematičkog proračuna i primenom “HSC Chemistry“ kompjuterskog programa.

Tabela 2. Hemijski sastava koncentrata bakra na osnovu matematičkog proračuna i korišćenjem “HSC Chemistry“ kompjuterskog programa

Element	Matematički proračun	“HSC Chemistry“ program
<b>Cu</b>	10.38 %	10.39 %
<b>Fe</b>	18.48 %	18.44 %
<b>S</b>	21.14 %	21.17 %

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata može se reći da je saglasnost hemijskog sastava dobijenog matematički i korišćenjem "HSC Chemistry" programa dobra.

"HSC Chemistry" je program razvijen od strane Outokumpu kompanije. Outokumpu je ista kompanija koja je razvila topljenje bakra fleš tehnologijom. Ovaj softver je kreiran da im pomogne u procesu modeliranja, ali je sada dostupan i komercijalno.

Hemijskom analizom, bakar se određuje na više načina: spektrofotometrijski (SF) i atomsko-apsorciono spektrofotometrijski (AAS) za uzorke koji sadrže do 3% bakra i elektrogravimetrijski (EG) za uzorke koji sadrže preko 3% bakra. Sumpor se određuje gravimetrijski (G), dok se gvožđe određuje volumetrijski.

Ovim radom je prikazana mogućnost proračuna hemijskog sastava koncentrata lakše i brže uz pomoć "HSC Chemistry" programa.

#### LITERATURA

- [1] I. Mihajlović, Doktorska disertacija, Termodinamička i kinetička analiza procesa prženja koncentrata bakra sa povišenim sadržajem arsena, Bor, 2005.
- [2] D. Vučurović, Č. Knežević, Autogeni procesi topljenja u metalurgiji bakra u svetu, Tehnika, N. 2 – 3, 1993, str. 33.
- [3] D. Vučurović, Savremeno stanje procesa topljenja u metalurgiji bakra u svetu, Beograd, 1985, str.139.
- [4] A. Roine, "HSC Chemistry® 6.0 user's guide ", str. 61.
- [5] E. Požega, L. Gomidželović, V. Trujić, Bakar, 35 (2010) 2 33-40.
- [6][http://www.google.com/search?q=PIRIT&hl=sr&rlz=1W1GGLR\\_en&prmd=ivns&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=z8mJTtPzM4r2sgamvNCxDA&ved=0CDUQsAQ](http://www.google.com/search?q=PIRIT&hl=sr&rlz=1W1GGLR_en&prmd=ivns&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=z8mJTtPzM4r2sgamvNCxDA&ved=0CDUQsAQ)
- [7][http://www.google.com/search?q=HALKOPIRIT&hl=sr&rlz=1W1GGLR\\_en&prmd=ivns&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=fMiJTdfvDInFswbInO24DA&ved=0CEEQsAQ](http://www.google.com/search?q=HALKOPIRIT&hl=sr&rlz=1W1GGLR_en&prmd=ivns&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=fMiJTdfvDInFswbInO24DA&ved=0CEEQsAQ)
- [8][http://www.google.com/search?hl=sr&rlz=1W1GGLR\\_en&site=search&tbm=isch&sa=1&q=pirit&aq=f&aqi=g1&aql=&oq=](http://www.google.com/search?hl=sr&rlz=1W1GGLR_en&site=search&tbm=isch&sa=1&q=pirit&aq=f&aqi=g1&aql=&oq=)

**SADRŽAJ**  
**CONTENS**

---

M. Mitovski, A. Mitovski <b>EFIKASNOST RACIONALNOG GAZDOVANJA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM U METALURGIJI BAKRA</b> EFFICIENCY OF RATIONAL MANAGEMENT IN ELECTRICITY COPPER METALLURGY .....	1
A. Ivanović, S. Milojević, V. Marjanović <b>PREDNOSTI POSTUPAKA METALURGIJE PRAHA</b> CONVENIENCE OF POWDER METALLURGY TECHNIQUE.....	17
V. Marjanović, A. Ivanović, J. Petrović <b>POREKLO I SADRŽAJ OLOVA U ŽIVOTNOJ SREDINI</b> ORIGIN AND CONTENTS OF LEAD IN THE ENVIRONMENT .....	31
A. Milosavljević, A. Kostov, R. Todorović <b>PAMETNI MATERIJALI: LEGURE KOJE PAMTE OBLIK</b> SMART MATERIALS: SHAPE MEMORY ALLOYS.....	39
D. Brodić, S. Čečulović <b>UKLANJANJE ŠUMA U BINARNOJ SLICI POMOĆU MORFOLOŠKIH FILTARA</b> BINARY IMAGE NOISE SUPPRESSION BY MORPHOLOGICAL FILTERS.....	45
L. Gomidželović, D. Živković, A. Kostov, E. Požega, A. Milosavljević, R. Todorović, R. Đalović <b>TERMODINAMIČKA ANALIZA TERNARNOG Au-In-Sb SISTEMA PRIMENOM RKM MODELA</b> THERMODYNAMIC ANALYSIS OF TERNARY Au-In-Sb SYSTEM BY RKM MODEL APPLICATION.....	59
E. Požega, V. Krstić, L. Gomidželović, R. Đalović <b>PRIMENA "HSC CHEMISTRY" PROGRAMA ZA PRORAČUN HEMIJSKOG SASTAVA KONCENTRATA BAKRA</b> APPLICATION OF "HSC CHEMISTRY" SOFTWARE FOR CHEMISTRY COMPOSITION CALCULATION OF COPPER CONCENTRATE .....	67

---

## 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 objavljivanju. Rad priložen za objavljivanje 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 ispisan 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 fusnoti.

**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 slika i tabela se daju arapskim brojevima.

**Reference u tekstu** se navode u ugličastim zagradama, na pr. [1,3]. Reference se prilažu na kraju rada na sledeći način:

[1] B.A. Willis, Mineral Processing Technology, Oxford, Pergamon Press, 1979, str. 35. (za poglavlje 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 poštom ili u drugom elektronskom obliku.

Adresa uredništva je:

Časopis BAKAR

Institut za rudarstvo i metalurgiju

Zeleni bulevar 35, 19210 Bor

E-mail: [nti@irnbor.co.rs](mailto:nti@irnbor.co.rs) ; [ana.kostov@irnbor.co.rs](mailto:ana.kostov@irnbor.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](mailto:nti@irmbor.co.rs) ; [ana.kostov@irmbor.co.rs](mailto:ana.kostov@irmbor.co.rs)  
Telephone: +381 30/454-254; +381 30/454-108

*We are thankful for all authors on cooperation.*