

INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR

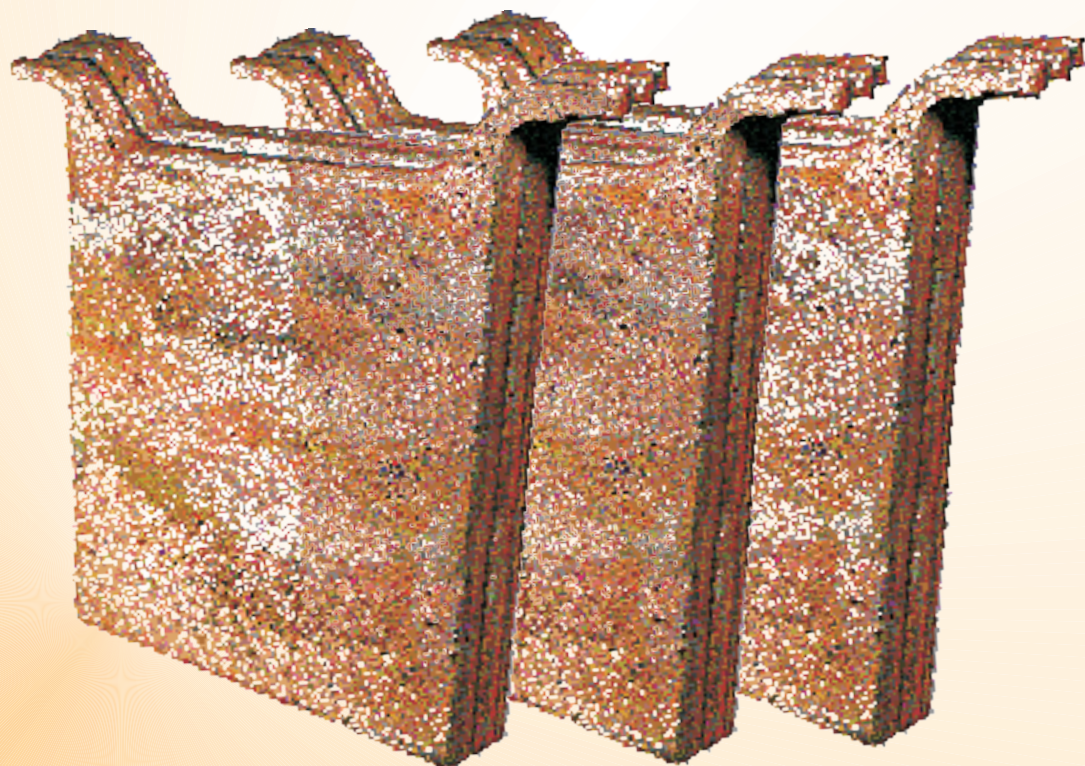


Cu

UDC 669.3  
ISSN 0351-0212

Broj 1 Volumen 39 2014

# 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 primenjene informatike i povezanih srodnih oblasti.

Izlazi dva puta godišnje još od 1968. godine.

#### **Glavni i odgovorni urednik**

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

#### **Zamenik glavnog i odgovornog urednika**

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

Vesna Simić, *teh.*

#### **Štampa**

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

**Tiraž:** 100 primeraka

#### **Internet adresa**

[www.irmbor.co.rs](http://www.irmbor.co.rs)

#### **Izdavanje časopisa finansijski podržavaju**

Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog  
razvoja Republike Srbije  
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

#### **ISSN 0351-0212**

*Indeksiranje časopisa u SCIndeksu i u ISI.*

*Nacionalni časopis kategorije M52*

#### **Izdavač**

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

#### **Sva prava zadržana.**

#### **Uredivački odbor**

Dr Vlastimir Trujić, *naučni savetnik*  
*Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor*  
Prof. dr Milan Antonijević, *red. prof.*  
*Tehnički fakultet Bor*  
Dr Mile Bugarin, *naučni savetnik*  
*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*  
Dr Aleksandra Milosavljević, *naučni saradnik*  
*Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor*  
Prof. dr Duško Minić, *red. prof.*  
*Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica*  
Dr Milanče Mitovski  
*RTB - Bor Grupa*  
Dr Miroslav Sokić, *viši naučni saradnik*  
*Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih*  
*mineralnih sirovina Beograd*  
Dr Jasmina Stevanović, *naučni savetnik*  
*Institut za hemiju, tehnologiju i*  
*metalurgiju Beograd*  
Dr Srećko Stopić  
*RWTH Aachen, IME Aachen, Nemačka*  
Dr Nadežda Talijan, *naučni savetnik*  
*Institut za hemiju, tehnologiju i*  
*metalurgiju Beograd*  
Dr Viša Tasić, *viši naučni saradnik*  
*Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor*  
Prof. dr Vasyl Tomashyk, *red. prof.*  
*Ukrajinska nacionalna akademija nauka,*  
*Institut za poluprovodničku fiziku Kijev*  
Dr Dejan Trifunović, *naučni saradnik*  
*Tehnološko-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, applied informatic, as well as related fields of science. Since 1968, published twice a year.

**Editor-in-Chief**

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

**Co-Editor**

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

**Editor**

Vesna Marjanović, *B.Eng.*

**English Translation**

Nevenka Vukašinović

**Technical Editor**

Suzana Cvetković

**Preprinting**

Vesna Simić

**Printed in**

Mining and Metallurgy Institute Bor

**Circulation:** 100 copies

**Web site**

[www.irmbor.co.rs](http://www.irmbor.co.rs)

**COPPER is financially supported by**

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

**ISSN 0351-0212**

*Journal indexing in SCIndex and ISI.*

*National Scientific Journal categorization M52*

**Published by**

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

**All rights reserved.**

**Editorial Board**

Ph.D. Vlastimir Trujić, *Principal Research Fellow*  
*Mining and Metallurgy Institute Bor*  
Prof.Ph.D. Milan Antonijević  
*Technical Faculty Bor*  
Ph.D. Mile Bugarin, *Principal Research Fellow*  
*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*  
Ph.D. Aleksandra Milosavljević, *Research Associate*  
*Mining and Metallurgy Institute Bor*  
Prof.Ph.D. Duško Minić  
*Faculty of Technical Sciences Kosovska*  
*Mitrovica*  
Ph.D. Milanče Mitovski  
*RTB – Bor Group*  
Ph.D. Miroslav Sokić, *Senior Research Associate*  
*Institute for Technology of Nuclear and Other*  
*Raw Materials Beograd*  
Ph.D. Jasmina Stevanović, *Principal Research Fellow*  
*Institute of Chemistry, Technology and*  
*Metallurgy 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, *Senior Research Associate*  
*Mining and Metallurgy Institute Bor*  
Prof.Ph.D. Vasyl Tomashyk,  
*Institute for Semiconductor Physics of*  
*National of Sciences of Ukraine Kyiv*  
Ph.D. Dejan Trifunović, *Research Associate*  
*Faculty of Technology and Metallurgy Belgrade*

UDK: 669...5:621.791.3:669.22./872/.6(045)=861

ORIGINALNI NAUČNI RAD

Oblast: Materijali

## EKOLOŠKI BEZOLOVNI LEM Ag-In-Sn

### ECOLOGICAL LEAD-FREE SOLDER Ag-In-Sn

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

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

E-mail: aleksandra.milosavljevic@irmbor.co.rs

ana.kostov@irmbor.co.rs

#### Izvod

*Iako su direktive Evropske Unije o zaštiti životne sredine, kao WEEE i RoHS direktive, sprovedene još u 2003. godini, olovni lemovi se još uvek upotrebljavaju u Srbiji. U cilju poštovanja evropskih i svetskih direktiva i zakona, neophodno je da se smanji količina toksičnih elemenata i da se uspostavi proizvodnja lemova bez olova i kadmijuma. U ovom radu je predstavljena bezolovna legura koja se koristi za proizvodnju ekoloških lemova sa različitim aplikacijama.*

**Ključne reči:** ekološki bezolovni lem, srebro, indijum, kalaj

#### Abstract

*Although the European Union's directive about environment protection as WEEE and RoHS have been carried out in 2003, lead solders are still in used in Serbia. In the aim to respect the European and world directives and laws, it is necessary to reduce a quantity of toxic element and to establish lead and cadmium free solders in production. In this paper it was presented lead-free alloy, which are used for ecological solders manufacturing and various applications.*

**Keywords:** ecological lead-free solder, silver, indium, tin

## 1. UVOD

Svetska elektronska industrija koristi velike količine lemova na bazi olova. Međutim zbog svoje toksičnosti olovo predstavlja veliku pretnju životnoj sredini. Početkom dvadeset prvog veka, Kongres SAD-a je pokrenuo inicijativu da se olovo zameni drugim, manje štetnim metalima [1]. U Evropi i Japanu ova ideja je ne samo prihvaćena, nego i proširena. Prema WEEE direktivi, u Evropi iz upotrebe do 2010. godine treba izbaciti olovo, kadmijum, šestovalenti hrom i neke organske toksične supstance [1].

Iz tog razloga, u projektu koje finansira Evropska Unija u okviru IPA programa prekogranične saradnje Rumunija–Republika Srbija [2], se pristupilo razvoju novih ekoloških lemnih materijala koji ne sadrže toksične elemente i istovremeno ispunjavaju mnogobrojne uslove u pogledu mehaničkih i električnih osobina, korozione postojanosti i ekonomske isplativosti.

Obzirom da je cilj pronalaženja optimalne zamene za lemове koji sadrže olovo i kadmijum, proizvedeni ekološki lemovi moraju biti po osobinama slični standardnim lemovima, uz što manja odstupanja i odgovarajuću ekonomsku isplativost.

U ovom radu prikazan je osvojeni novi ekološki lemn materijal AgInSn, čije će karakteristike biti izložene u daljem tekstu.

## **2. PROBLEMATIKA I STANJE U OBLASTI RAZVOJA BEZOLOVNIH LEMOVA**

Jedan od aktuelnih svetskih trendova poslednjih godina je tzv. lead-free pokret, obzirom na važeće zakonske regulative (WEEE, RoHS i sl.) koje se odnose na ograničene koncentracije toksičnih elemenata [1]. Među tim elementima čiji sadržaj treba ograničiti na minimalno dozvoljene koncentracije, nalazi se i olovo, koje je u širokoj upotrebi u industriji, posebno elektronskoj kao sastavni deo lemova [3]. Iz tih razloga neophodno je pronaći alternativu već postojećim lemovima na bazi olova i kalaja, koja će obuhvatiti zadovoljavajuću kombinaciju elemenata u vidu novog ekološkog lema. Takvi novi ekološki lemovi treba da pored ekološkog aspekta zadovolje i niz drugih osobina koje su od nepobitne važnosti za primenu u praksi, kao i ekonomsku isplativost.

Najširu primenu u oblasti niskotopivih lemova ima olovno-kalajni lem, prvenstveno zbog niske temperature topljenja, kvašljivosti, pouzdanosti i ekonomske isplativosti. Iz tih razloga veoma je teško odabrati adekvatnu zamenu, tj. leguru koja će u potpunosti moći da zameni ovaj standardni lem i da pri tom ima odgovarajuće osobine.

Naime, veliki broj bezolovnih legura (od kojih su neke patentirane) nalazi primenu u određenim oblastima elektronske industrije, ali uz izvesna ograničenja: visoka cena u odnosu na standardni lem, visoka temperatura topljenja, što povlači izvesne promene sadašnje tehnologije ili nedovoljna pouzdanost lema. Ono što se sa sigurnošću može tvrditi jeste da primenu nalaze kalajni lemovi sa dodatkom srebra, bakra, indijuma, zlata, itd. [4]

Bezolovne legure koje se u svetu najviše primenjuju su legure koja nalaze primenu u elektronici je Sn-In-Ag [5]. Najpoznatija od tih legura je Indalloy 227 (Sn77,2In20Ag2,8). Prema ispitivanjima Indium Corporation of America, Delphi

Delco Electronic Systems i drugih, kao moguće rešenje navode se legure sastava Sn(71,5–91,9)In(4,8–25,9)Ag(2,6–3,3), sa ili bez dodatka četvrtog elementa [5].

U oblasti niskotopivih lemova, od posebnog interesa su i lemovi na bazi kalaja sa dodatkom indijuma, srebra, bakra, i dr., pri čemu je posebna pažnja usmerena na što niži sadržaj indijuma u leguri sa aspekta ekonomske isplativosti, a sa druge strane dovoljno visok kako bi snizio tačku topljenja.

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

U okviru novih lemnih bezolovnih legura, u okviru istraživanja niskotopivih bezolovnih lemova u okviru projekta [2] od selektovane Ag-In-Sn legure čiji je sadržaj kalaja iznad 50%, a indijuma 10 do 30%, izabrani su sledeći sastavi legura dati u tabeli 1.

**Tabela 1.** Sastavi odabranih Ag-In-Sn legura

Legura	$X_i$			% at			% mas		
	Sn	In	Ag	Sn	In	Ag	Sn	In	Ag
L1	0,5	0,35	0,15	50	35	15	51,29	34,73	13,98
L2	0,6	0,28	0,12	60	28	12	61,23	27,64	11,13
L3	0,7	0,21	0,09	70	21	9	71,07	20,63	8,30
L4	0,8	0,14	0,06	80	14	6	80,81	13,68	5,51
L5	0,9	0,07	0,03	90	7	3	90,45	6,81	2,74

Tehnologija proizvodnje odabranog lema obuhvatila je sledeće faze: izradu predlegura, konstrukciju određene dimenzije profila, analizu potrebnih parametara livenja i definisanje adekvatnih tehnoloških rešenja, definisanje pokrovnih sredstava i dinamike legiranja, definisanje minimalno potrebne količine livene žice za proces plastične deformacije, poluindustrijski eksperiment, ispitivanje izlivenih ingota i profila (hemijska, metalografska, mehanička, fizička i tehnološka), definisanje termomehaničkog režima plastične deformacije i izbor mašina, ispitivanje gotovih proizvoda, analizu rezultata i ponavljanje eksperimenata sa eventualnom korekcijom uočenih nedostataka.

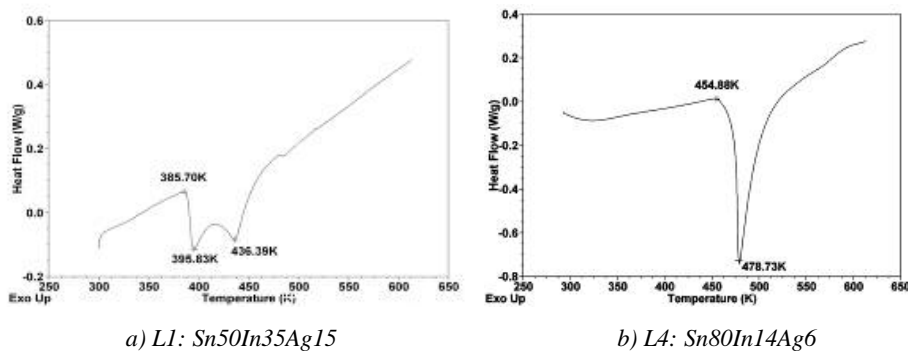
Predlegure odabranih sastava izrađene su od čistih metala (99,99%), pretapanjem u elektrootpornoj peći. Uzorci legure zadatog sastava su potom pravljene topljenjem predlegura u indukcionoj peći, u atmosferi vazduha, do 873 K. Dobijeni uzorci su zatim žareni na temperaturi 473 K sat vremena i hlađeni sa žarnom peći pri brzini hlađenja od 5 K/min. U cilju zaštite od oksidacije u svim slučajevima korišćena je pokrivka od ćumura.

Pripremljeni uzorci selektovanih sastava legura podvrgnuti su termijskim, strukturnim, mehaničkim i električnim ispitivanjima.

DSC analizom u cilju određivanja karakterističnih temperatura faznih transformacija (Tabela 2.) podvrgnute su sve odabrane legure. DSC snimci legura L1 i L3 prikazani su na slici 1.

**Tabela 2.** Karakteristične temperature za ispitivane Ag-In-Sn legure

Legura	Temperatura, K	
	Početak fazne transformacije	Maksimum pika
L1	386	396 i 436
L2	386	393 i 455
L3	428	465
L4	455	479
L5	470	489



**Sl. 1.** DSC krive Ag-In-Sn legura

Na osnovu prikazanih rezultata jasno se može videti da postoji razlika između legura sa višim sadržajem indijuma i legura sa nižim i to ne samo u odnosu na tačku topljenja. Generalno, što je veći sadržaj indijuma u leguri, to je niža tačka topljenja. Međutim, kao što se vidi na slici 1a), kod legura sa  $\text{In} > 27\%$ , endotermni pik ima dva maksimuma, što je uslovljeno prisustvom niskotopivih In-Sn jedinjenja u strukturi legure.

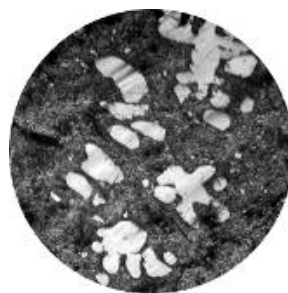
Mikrostruktura uzoraka određena je korišćenjem optičke mikroskopije i SEM-EDX analize, pri čemu su uzorci pripremljeni na standardni način, ispolirani i nagriženi. Mikrostruktura Ag-In-Sn legura karakteriše se kalajnom osnovom u koju su uloženi primarni kristali čvrstog rastvora bogatog na Ag i In. Upoređujući snimke ispitivanih Ag-In-Sn legura primećuje se razlika u tamnim konstituentima, što je posledica različitih koncentracija indijuma (slika 2).

Na slici 3 su predstavljeni rezultati optičke mikroskopije, dok su na slici 4 i u tabeli 3 prikazani rezultati SEM-EDX analize, na osnovu kojih se zaključuje da je osnova rastvor bogat na kalaju (tačke 2 i 3), uz prisustvo faze bogate srebrom i indijumom (tačke 1 i 4).

Ekperimentalno dobijeni rezultati u saglasnosti su sa optimiziranim vrednostima dobijenih korišćenjem pandat softvera (slika 5).

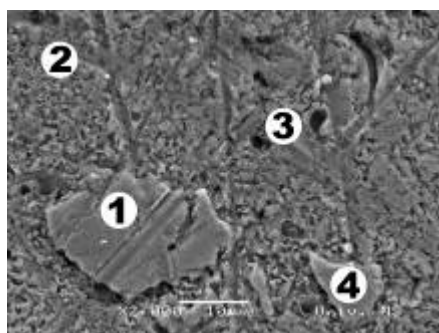


a) Legura L1: Sn50In35Ag15  
uvećanje 200x



b) Legura L3: Sn70In21Ag9  
uvećanje 125x

Sl. 3. Mikrostruktura Ag-In-Sn legura



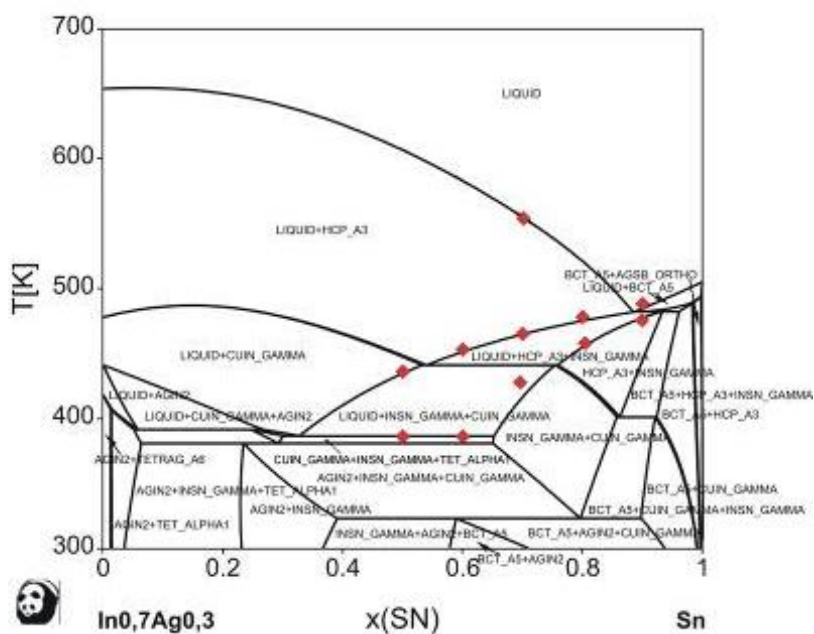
Sl. 4. SEM snimak legure L4 Sn80In14Ag6

Tabela 3. Raspodela faza (EDX) u leguri L4 Sn80In14Ag6

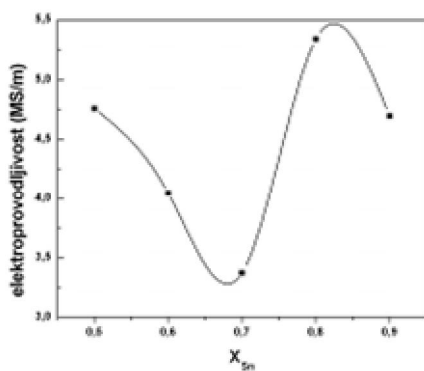
Spektar	mas%Ag	mas%In	mas%Sn
1	69,58	30,42	
2		14,49	85,51
3		14,62	85,38
4	37,37	23,04	39,59

Na osnovu izmerenih vrednosti za elektroprovodljivost i mikrotvrdoću ispitivanih uzoraka, formirani su dijagrami zavisnosti ovih veličina od sastava, što se može videti na slikama 6 i 7. Zavisnosti su gotovo identične jer su uslovljene promenom u strukturi legura, tj. pojavom intermetalnog AgIn<sub>2</sub> jedinjenja.

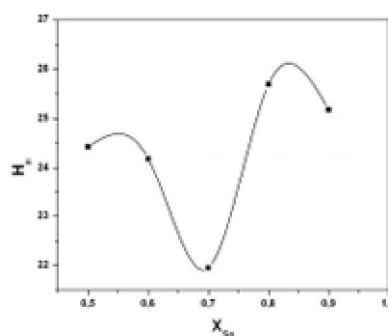




Sl. 5. Vertikalni presek sistema Ag-In-Sn pri konstantnom molskom odnosu  $\text{In}:\text{Ag} = 7:3$  u poređenju sa eksperimentalnim vrednostima dobijenih DSC metodom



Sl. 6. Elektroprovodljivost Ag-In-Sn legura u zavisnosti od sadržaja Sn u leguri



Sl. 7. Mikrotvrdoća Ag-In-Sn legura u zavisnosti od sadržaja Sn u leguri

#### 4. ZAKLJUČAK

Prikazani rezultat – novi lemní materijal na bazi indijuma, srebra i kalaja, tipa od značaja je u proširenju asortimana ekoloških bezolovnih lemova, koji mogu biti konkurentni ne samo na domaćem, već i na svetskom tržištu.

Kao najbitniji aspekt izdvaja se ekološki, obzirom da ispitivana lemná legura ne sadrži toksične elemente za razliku od lemova koji su kod nas u širokoj upotrebi. Navedena legura je u odnosu na olovne lemове svakako skuplja, ali se njena viša cena može opravdati potrebom za postizanjem odgovarajućih osobina, a i uskladu je sa novim zakonskim regulativama koje su na snagu stupile u Evropskoj Uniji 1. jula 2008. godine.

Sa stanovišta praktične primene, jedan od najbitnijih faktora je temperatura topljenja, jer određuje maksimalnu dozvoljenu temperaturu kojoj proizvod može biti izložen, a što utiče i na mikrostrukturu lemnog spoja, debljinu intermetalnog sloja i broj prisutnih intermetalnih faza.

Takođe, važni faktor sa gledišta optimalnog hemijskog sastava prikazane lemné legure i njene ekonomske isplativosti, jeste i količina prisutnog indijuma u leguri, koja je dovoljno visoka kako bi obezbedilo sniženje tačke topljenja legure, ali i dovoljno niska kako ne bi došlo do pojave tzv. parcijalnog topljenja legure, što je nepoželjno u praksi.

#### ZAHVALNOST

*Autori se zahvaljuju na finansijskoj podršci IPA programu prekogranične saradnje Rumunija–Republika Srbija u okviru projekta: Promocija novih ekoloških legura za lemljenje, na bazi obojenih metala iz ruda Rumunsko-Srpske prekogranične oblasti – ECOSOLDER, MIS ETC Code:1409.*

#### LITERATURA

- [1] Official Journal of the European Union, Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment, p.24.
- [2] Romania-Republic of Serbia IPA Cross-Border Cooperation Programme, Project title: Promoting new ecologic filler alloys for soldering, based on the non-ferrous ore of the Romanian-Serbian cross border area – ECOSOLDER, MIS ETC Code: 1409, 2013-2014.

- [3] Information on <http://www.dtsc.ca.gov/HazardousWaste/EWaste>
- [4] A. Milosavljevic, Thermodynamic Investigation and Structural Characterization of Alloys in Ag-In-Sn Ternary System, Master Thesis, University of Belgrade, Technical Faculty Bor, Serbia, (2006).
- [5] H. S. Liu, C. I. Liu, C. Wang, Z. P. Jin and K. Ishida, J. Electron. Mater., 32 (2003) 81.

## 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.

**Gljučne 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@irmbor.co.rs](mailto:nti@irmbor.co.rs) ; [ana.kostov@irmbor.co.rs](mailto:ana.kostov@irmbor.co.rs)

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

*Svim autorima se zahvaljujemo na saradnji.*

## INSTRUCTIONS FOR THE AUTHORS

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

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

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

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

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

**Abstract and Keywords** should be also given in English language.

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

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

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

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

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

[1] B.A. Willis, Mineral Processing Technology, Oxford, Pergamon Press, 1979, p. 35. (*for the chapter in a book*)

[2] H. Ernst, *Research Policy*, 30 (2001) 143–157. (*for the article in a journal*)

[3] <http://www.vanguard.edu/psychology/apa.pdf> (*for web document*)

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

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

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

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

We are thankful for all authors on cooperation.

**SADRŽAJ**  
**CONTENS**

---

L. Gomidželović, D. Živković, A. Kostov, E. Požega <b>TERMODINAMIČKA ANALIZA Au-Ga-Sb SISTEMA POMOĆU RKM MODELA</b> THERMODYNAMIC ANALYSIS OF Au-Ga-Sb SYSTEM BY RKM MODEL .....	1
A. Milosavljević, A. Kostov, R. Todorović <b>EKOLOŠKI BEZOLOVNI LEM Ag-In-Sn</b> ECOLOGICAL LEAD-FREE SOLDER Ag-In-Sn .....	9
S. Đorđević, I. Urošević <b>IZRADA JEDNOSTAVNOG SPEKTROFOTOMETRA OD DELOVA DOSTUPNIH U TRGOVINI</b> BUILDING A SIMPLE SPECTROPHOTOMETER OUT OF PARTS AVAILABLE IN TRADE STORES .....	17
D. Brodić, V. Anđelović, Z. N. Milivojević <b>UTICAJ IZBORA CENTRALNE TAČKE LOG-POLARNE TRANSFORMACIJE NA PROCENU NAGIBA TEKSTA</b> THE EFFECT OF CENTRE POINT DETERMINATION IN THE LOG-POLAR TRANSFORMATION FOR THE TEXT SKEW ESTIMATION .....	29
D. Brodić, G. Vukša, V. Tasić, M. Jevtić <b>UPOTREBA MIKROKONTROLERA ZA AKVIZICIJU PODATAKA I REGULACIJU U INDUSTRIJSKIM PROCESIMA</b> MICROCONTROLLER IN DATA ACQUISITION AND CONTROL OF INDUSTRIAL PROCESSES .....	41
D. Živković, N. Štrbac, M. Sibinović, S. Nikolić <b>AKADEMSKE KOMPETENCIJE KAO INDIKATORI UPRAVLJANJA ZNANJEM - ANALIZA TRENDA PUBLIKOVNIH NAUČNIH RADOVA NA UNIVERZITETIMA U REGIONU U PERIODU OD 1982. DO 2013. GODINE</b> ACADEMIC COMPETENCIES AS KNOWLEDGE MANAGEMENT INDICATORS – ANALYSIS OF SCIENTIFIC PAPERS PUBLICATION TREND AT UNIVERSITIES IN THE REGION IN PERIOD 1982-2013 .....	49

---