

INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR



Cu

UDC 669.3
ISSN 0351-0212

Broj 2 Volumen 38 2013

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 meta-lurgije, tehnologije, nanotehnologije, hemije, pripreme mineralnih sirovina, zaštite životne sredine, energetske efikasnosti, i primenjene informatike i povezanih srodnih oblasti.

Izlazi dva puta godišnje još od 1968. godine.

Glavni i odgovorni urednik

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

Zamenik glavnog i odgovornog urednika

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

Urednik

Vesna Marjanović, *dipl.inž.*

Prevodilac

Nevenka Vukašinović, *prof.*

Tehnički urednik

Suzana Cvetković, *teh.*

Priprema za štampu

Vesna Simić, *teh.*

Štampa

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

Tiraž: 100 primeraka

Internet adresa

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
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, *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
Dr Aleksandra Milosavljević, *naučni saradnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Prof. dr Duško Minić, *vanr. prof.*
Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica
Dr Milanče Mitovski
RTB - Bor Grupa
Dr Miroslav Sokić, *naučni saradnik*
Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih
mineralnih sirovina Beograd
Prof. dr Jasmina Stevanović, *vanr. prof.*
IHTM-Centar za elektrohemiju Beograd
Dr Srećko Stopić
RWTH Aachen, IME Aachen, Nemačka
Dr Nadežda Talijan, *naučni savetnik*
Institut za hemiju, tehnologiju i
metalurgiju Beograd
Dr Viša Tasić, *naučni saradnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Prof. dr Vasyl Tomashyk, *red. prof.*
Ukrajinska nacionalna akademija nauka,
Institut za poluprovodničku fiziku Kijev
Dr Dejan Trifunović, *naučni saradnik*
Tehnološko-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
Phone: +38130/454-110

Co-Editor

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

Editor

Vesna Marjanović, *B.Eng.*

English Translation

Nevenka Vukašinović

Technical Editor

Suzana Cvetković

Preprinting

Vesna Simić

Printed in

Mining and Metallurgy Institute Bor

Circulation: 100 copies

Web site

www.irmbor.co.rs

COPPER is financially supported by

The Ministry of Education, 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
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, *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
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, *Research Associate*
Institute for Technology of Nuclear and Other
Raw Materials Beograd
Prof.Ph.D. Jasmína Stevanović
IHTM-Department of Electrochemistry Belgrade
Ph.D. Srećko Stopić
RWTH Aachen, IME Aachen, Germany
Ph.D. Nadežda Talijan, *Principal Research Fellow*
Institute of Chemistry, Technology and
Metallurgy Belgrade
Ph.D. Viša Tasić, *Research Associate*
Mining and Metallurgy Institute Bor
Prof.Ph.D. Vasyl Tomashyk,
Institute for Semiconductor Physics of
National of Sciences of Ukraine Kyiv
Ph.D. Dejan Trifunović, *Research Associate*
Faculty of Technology and Metallurgy Belgrade

UDK: 621.316.722/.357:549.56(045)=861

ORIGINALNI NAUČNI RAD

Oblast: Primenjena industrijska informatika

**PREDIKTIVNI REGULATOR STRUJE ZA TIRISTORSKE
ISPRAVLJAČE U POSTROJENJIMA ZA ELEKTROLITIČKU
RAFINACIJU BAKRA I ELEKTROVINING**

**PREDICTIVE CURRENT CONTROLLER FOR THYRISTOR
RECTIFIERS IN COPPER ELECTROREFINING AND
ELECTROWINNING INDUSTRY**

Srđan Srdić¹, Miloš Nedeljković¹

¹Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet,
Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd

Izvod

U radu je predstavljen prediktivni regulator struje tiristorskih ispravljača za primenu u postrojenjima za elektrolitičku rafinaciju bakra i elektrovining. Postrojenja za elektrolitičku rafinaciju bakra i elektrovining se najčešće napajaju pomoću tiristorskih ispravljača velikih snaga, koji treba da obezbede neprekidno napajanje elektrolitičkih ćelija. U ovim ispravljačima struja se najčešće reguliše pomoću PI regulatora, pri čemu se signal povratne sprege dobija filtriranjem signala struje opterećenja niskopropusnim filterom. Zbog kašnjenja koje unosi filter, pojačanja regulatora moraju da budu smanjena da bi se održala stabilnost sistema. Zbog toga PI regulator ne može dovoljno brzo da kompenzuje eventualni nagli porast struje ispravljača pri kratkom spoju elektroda, usled čega dolazi do povećanog električnog naprezanja tiristora i brzih osigurača, a time i do njihovog ubrzanog starenja. Prediktivni regulator koji je predložen u ovom radu omogućava brz odziv na promene reference struje i na poremećaje u vidu kratkih spojeva elektroda. Primenom predloženog regulatora, električna naprezanja tiristora i osigurača pri kratkim spojevima elektroda su manja nego u sistemu sa PI regulatorom, što omogućava veću pouzdanost i raspoloživost sistema za napajanje. U radu su predstavljeni rezultati simulacije modela sistema sa predloženim regulatorom, koji pokazuju odlične dinamičke osobine predloženog regulatora. Dobijeni rezultati su eksperimentalno verifikovani na realizovanom laboratorijskom prototipu sistema.

Ključne reči: *prediktivni regulator struje, tiristorski ispravljači, elektrolitička rafinacija, elektrovining*

¹ E-mail: srdic@etf.rs

Abstract

Predictive current controller for thyristor rectifiers in copper electrorefining and electrowinning industry is presented in this paper. Due to their reliability and cost-effectiveness, high power thyristor rectifiers are still the most commonly used configuration for power supplies in copper electrorefining and electrowinning industry. A PI controller is traditionally used to control the load current in those systems. Since the filtering of the feedback current signal (in order to obtain the dc component of the load current) produces a time-lag of the feedback signal, the PI current controller cannot compensate fast enough for the overcurrents which may occur after electrode short-circuits. These overcurrents induce unwanted electrical stress on the thyristors and fast-reacting fuses, thus reducing their service life and the overall system reliability and availability. Predictive controller proposed in this paper enables fast response to both the reference changes and the disturbances caused by the electrode short circuits. In this way, unwanted electrical stress on the thyristors and the fast-reacting fuses is reduced and the overall system availability and reliability can be increased. The simulation model and the laboratory prototype of the system were developed. Both the simulation and experimental results demonstrated an excellent dynamic performance of the proposed controller.

Keywords: *predictive current controller, thyristor rectifiers, electrorefining, electrowinning*

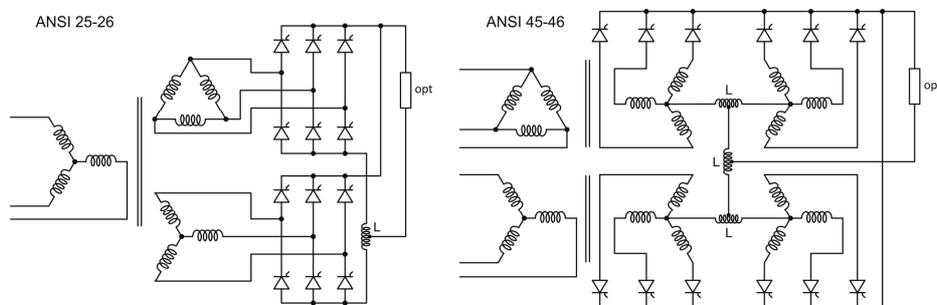
UVOD

Globalna potražnja za bakrom je u stalnom porastu. Zahvaljujući ekspanziji industrije električnih mašina i opreme, industrije potrošačke elektronike, kao i industrije građevinske i transportne opreme, u proteklih 50 godina proizvodnja bakra je porasla za više od 3 puta [1]. U 2011. godini proizvodnja bakra je dostigla 19.5 miliona tona, od čega je oko 3.5 miliona tona dobijeno rafinacijom sekundarnog bakra [1]. Prema [2], oko 10% ukupno proizvedenog bakra dobija se hidrometalurškim postupkom, dok se oko 90% dobija pirometalurškim postupkom. Noviji podaci [3] pokazuju da bakar dobijen hidrometalurškim postupkom čini oko 20% ukupno proizvedenog bakra. U oba postupka, bakar visoke čistoće se dobija elektrohemijskim putem: elektrolitičkom rafinacijom (ER) u slučaju pirometalurškog postupka, ili elektrovinom (EW) iz rastvora dobijenih solventnom ekstrakcijom (SE). Stalna težnja ka proizvodnji bakra postupkom koji najmanje zagađuje životnu sredinu dovela je, između ostalog, i do porasta zastupljenosti hidrometalurškog postupka sa SE–EW procesima u proizvodnji bakra. Ovim postupkom je 2011. godine proizvedeno oko 3.4 miliona tona bakra, što je oko 17% ukupne proizvodnje bakra te godine [1]. U [4] je pokazano da SE–EW proces može uspešno da se koristi i za dobijanje komercijalnog katodnog bakra iz rudarskih i metalurških rastvora na ekološki prihvatljiv način, pri čemu se ostvaruje i pouzdana zaštita životne sredine.

Postrojenja za elektrolizu bakra su veliki potrošači električne energije. Ukupna potrošnja električne energije u procesu elektrolitičke rafinacije iznosi oko 300–400 kWh po toni proizvedenog bakra [3]. Da bi se proizvela jedna tona bakra EW procesom, teorijski je neophodno 754 kWh/tCu [3]. Međutim, praksa je pokazala da je za proizvodnju jedne tone bakra EW procesom neophodno oko 2000 kWh električne energije [3]. Osim razlika u potrošnji električne energije, EW i ER proces se razlikuju i po potrebnom naponu elektrolitičke ćelije. Kod EW procesa potrebni napon ćelije iznosi približno 0.3 V, dok je za ER proces neophodno obezbediti oko 2 V po ćeliji. Gustina struje za oba procesa iznosi oko 300 A/m² [3]. Maksimalna vrednost gustine struje je u ER procesu ograničena na oko 300 A/m², jer pri većoj gustini struje može doći do pasivacije bakarne anode, tj. do formiranja izolacionog CuSO₄·5H₂O sloja na površini anode, što dovodi do prekida oksidacije bakra na anodi [3]. U zavisnosti od broja elektrolitičkih ćelija, potrebni jednosmerni napon za napajanje postrojenja za elektrolitičku rafinaciju i elektrovinog je tipično u opsegu od 40 V do 350 V, dok potrebna jačina jednosmerne struje ima vrednost u opsegu od 10 kA do 50 kA [5]. Prema [3], efikasnost katodne struje, koja se definiše kao odnos mase bakra dobijenog elektrodepozicijom i mase bakra koja bi teorijski trebalo da se dobije (na osnovu Faradejevog zakona), u slučaju EW procesa je u granicama od 89% do 94%, dok je u slučaju ER procesa u granicama od 93% do 98%. Neiskorišćena struja odlazi na kratke spojeve unutar ćelija, lutajuće struje, reoksidaciju katode i formiranje nusproizvoda u parazitnim reakcijama [6].

SISTEMI ZA NAPAJANJE ER I EW POSTROJENJA U INDUSTRIJI BAKRA

Napajanje industrijskih postrojenja velikih snaga najčešće se vrši pomoću tiristorskih ispravljača, prvenstveno zbog njihove jednostavnosti, visoke pouzdanosti i velike efikasnosti [5], [7], [8]. U industrijskim postrojenjima se uobičajeno primenjuju šestofazni (12-pulsni) tiristorski ispravljači, konfiguracija ANSI 25-26 i ANSI 45-46, koji su prikazani na Slici 1. Na Slici 1 je sa "opt" označeno opterećenje ispravljača, dok su sa "L" označene međufazne prigušnice. U industriji bakra se najčešće primenjuje konfiguracija ANSI 45-46, jer je pogodna za primenu u postrojenjima sa nižim radnim naponima [7], [9].



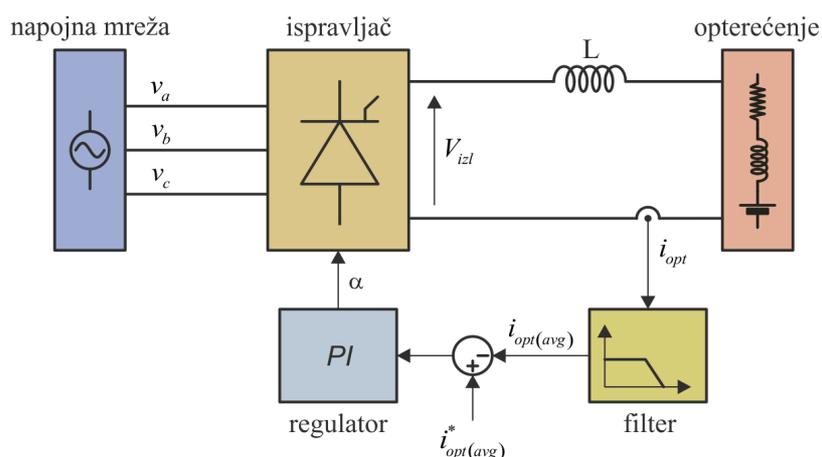
Sl. 1. Konfiguracije tiristorskih ispravljača koje se najčešće primenjuju u industrijskim postrojenjima velikih snaga

Polazeći od podataka iz standarda IEEE 493-1997, u [8] je utvrđeno da konfiguracija ANSI 45-46 ima najmanji broj kvarova godišnje i najmanje troškove usled pouzdanosti (*reliability cost*). Za sistem razmatran u [8], najmanji ukupni troškovi (koje čine troškovi opreme, troškovi utrošene energije, troškovi usled gubitka proizvodnje zbog kvarova i troškovi održavanja) ostvaruju se primenom konfiguracije ANSI 25-26 i iznose 10.15 miliona dolara godišnje. Ukupni troškovi koji nastaju primenom konfiguracije ANSI 45-46 procenjeni su na 10.24 miliona dolara godišnje.

Jedan od primarnih zadataka sistema za napajanje ER i EW postrojenja je obezbeđivanje besprekidnosti napajanja postrojenja. Naime, svaki prekid u napajanju dovodi do gubitka proizvodnje i, samim tim, do gubitka profita. Osim toga, u slučaju EW procesa, pri gubitku napajanja dolazi do depolarizacije i oksidacije olovne anode i do kontaminacije elektrolita i bakarnih katoda [10], [11].

Uobičajen način regulacije struje opterećenja u tiristorski napajanim postrojenjima je podešavanjem ugla upravljanja tiristorima pomoću PI regulatora, sa povratnom spregom po srednjoj vrednosti regulisane struje opterećenja. Uprošćeni blok dijagram ovog sistema prikazan je na Slici 2. Regulacija struje opterećenja pomoću PI regulatora podrazumeva postojanje povratne sprege po jednosmernoj komponenti struje opterećenja koja se dobija filtriranjem signala struje opterećenja niskopropusnim filterom sa niskom graničnom učestanošću. Zbog kašnjenja koje unosi filter, pojačanja regulatora moraju da budu smanjena da bi se održala stabilnost sistema. Sa druge strane, smanjenjem pojačanja regulatora dobija se sporiji odziv sistema, što takođe nije poželjno, jer je cilj da se postigne što brža regulacija struje opterećenja. Smanjenje pojačanja regulatora zarad stabilnosti se negativno odražava na odziv sistema na poremećaje, koji nastaju pri kratkim spojevima elektroda u elektrolitičkim ćelijama. Prisustvo tri ili više ovih kratkih spojeva unutar ćelije, u

toku jednog ciklusa katode, smatra se normalnim [6]. U slučaju Vokerove (Walker) konfiguracije ćelijskih sabirnica, struja katode koja je u kratkom spoju može da dostigne tri puta veću vrednost od radne struje katode. U slučaju *Optibar* sabirnica, ova struja oko 1.5 puta veća od radne struje katode [12].

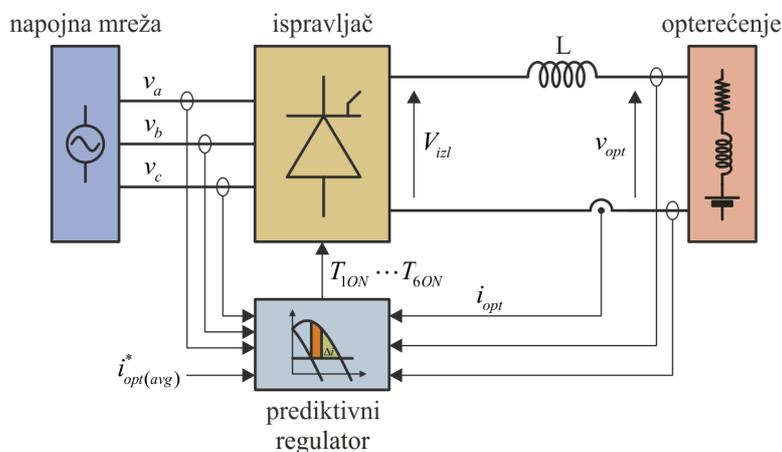


Sl. 2. Uprošćeni blok dijagram tipičnog sistema za regulaciju struje pomoću PI regulatora, u tiristorski napajanim postrojenjima velikih snaga

Kratki spojevi unutar ćelija mogu dovesti do neželjenog povećanja izlazne struje ispravljača, a samim tim i do neželjenog električnog napreznja tiristora i brzih osigurača unutar ispravljača. S obzirom na to da u sistemu sa slike 2 povratna informacija o struji kasni zbog filtriranja signala struje, regulator struje neće registrovati porast struje (u kratkom intervalu neposredno nakon pojave kratkog spoja elektroda), i samim tim neće blagovremeno reagovati adekvatnim povećanjem ugla upravljanja tiristorima. Zbog toga, izlazna struja ispravljača može da poraste iznad dozvoljenog limita, što može da dovede i do reagovanja prekostrujne zaštite i isključenja ispravljača. Isključenje ispravljača dovodi do gubitaka usled prekida proizvodnje i usled hemijske kontaminacije katoda. Osim toga, pri kratkim spojevima elektroda dolazi do povećanog električnog napreznja tiristora i brzih osigurača, a time i do njihovog ubrzanog starenja. Prema tome, veća brzina odziva regulatora struje je veoma poželjna u slučaju kratkih spojeva elektroda, jer omogućava efikasnije ograničavanje izlazne struje ispravljača i smanjenje električnih napreznja osigurača i poluprovodničkih prekidača.

PREDLOŽENI PREDIKTIVNI REGULATOR STRUJE ZA TIRISTORSKE ISPRAVLJAČE U ER I EW POSTROJENJIMA

Osnovne karakteristike sistema sa predloženim prediktivnim regulatorom struje za tiristorske ispravljače u ER i EW postrojenjima mogu da se objasne pomoću blok dijagrama sistema, prikazanog na Slici 3. [13] Za razliku od sistema sa PI regulatorom (Slika 2), gde se regulacija struje vrši na osnovu informacije o srednjoj vrednosti struje opterećenja, regulacija struje predloženim prediktivnim regulatorom vrši se na osnovu informacije o trenutnoj vrednosti struje opterećenja. Prema tome, u predloženom sistemu ne postoji filter signala struje, a PI regulator je zamenjen prediktivnim regulatorom struje. Osim informacije o trenutnoj vrednosti struje opterećenja, za regulaciju struje predloženim regulatorom potrebne su i informacije o naponu mreže, kao i o naponu na opterećenju. Regulatoru se zadaje referenca, $i_{opt(avg)}^*$, koja odgovara srednjoj vrednosti struje opterećenja, dok se na izlazu regulatora dobijaju komande za uključenje pojedinih tiristora ($T_{1ON} \dots T_{6ON}$). Princip rada predloženog regulatora može da se objasni na primeru trofaznog tiristorskog mosnog ispravljača koji radi u ispravljačkom režimu rada, sa baterijom kao opterećenjem [13].

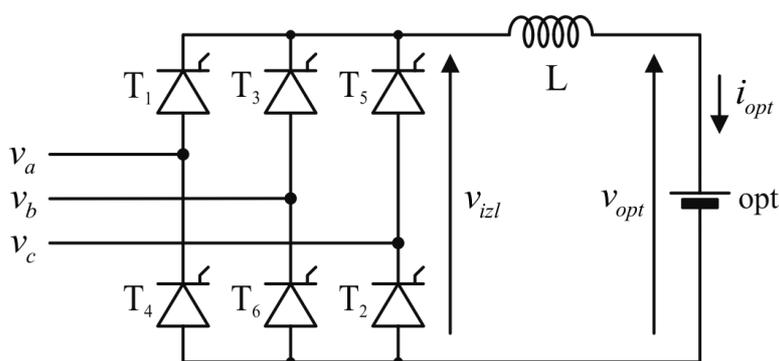


Sl. 3. Uprošćeni blok dijagram sistema sa predloženim prediktivnim regulatorom struje opterećenja

Principijelna šema ovog ispravljača je prikazana na Slici 4. Predložena prediktivna metoda, bazira se na jednačini veze između napona i struje prigušnice L u jednosmernom kolu ispravljača, koja za usaglašene referentne smerove napona i struje glasi:

$$i_L(t_2) = \frac{1}{L} \int_{t_1}^{t_2} u_L(t) \cdot dt + i_L(t_1) \quad (1)$$

Dakle, za određivanje struje opterećenja u trenutku t_2 , potrebno je poznavati vrednost struje opterećenja u trenutku t_1 , kao i razliku napona v_{izl} i v_{opt} u intervalu od t_1 do t_2 .

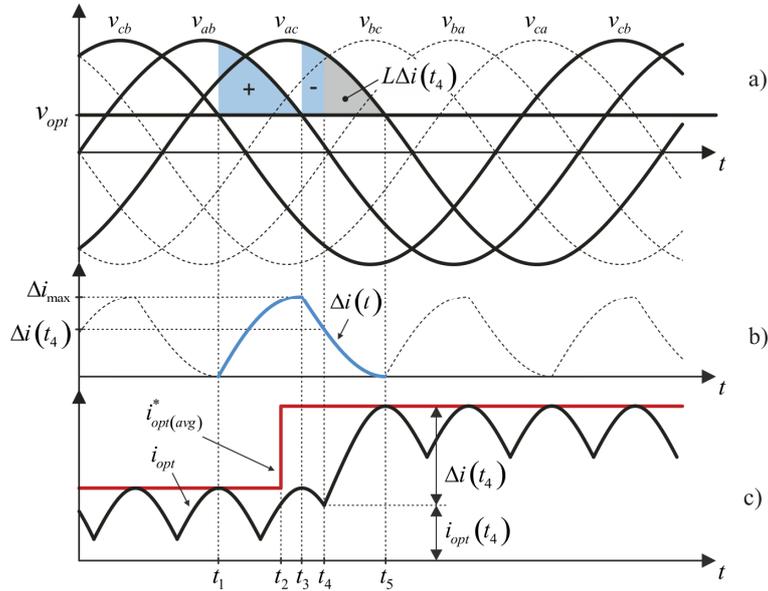


Sl. 4. Principijelna šema trofaznog tiristorskog punoupravljljivog mosnog ispravljača

Na Slici 5 su prikazani talasni oblici napona i struja koji odgovaraju ispravljaču sa Slike 4. Da bi se odredio trenutak uključjenja jednog od tiristora mosta, potrebno je izvršiti dva merenja "površine napona" na prigušnici (površine koja se dobije integracijom napona na prigušnici). Prvim merenjem se određuje maksimalni očekivani raspoloživi priraštaj struje, Δi_{max} , koji može da se iskoristi pri regulaciji struje. Ovaj maksimalni očekivani raspoloživi priraštaj struje srazmeran je plavoj površini sa znakom "+" (Slika 5.a)). Usvojeno je da se maksimalni raspoloživi priraštaj struje računa između dva sukcesivna trenutka u kojima mrežni naponi postaju jednaki naponu opterećenja (trenuci t_1 i t_3 na Slici 5).

Na Slici 5 b), plavom linijom (u intervalu od t_1 do t_3) je prikazana vrednost integrala napona na prigušnici, podeljena sa induktivnošću prigušnice:

$$\frac{S_+(t)}{L} = \frac{1}{L} \int_{t_1}^t (v_{ab} - v_{opt}) \cdot dt \quad (2)$$



SI. 5. Talasni oblici koji odgovaraju ispravljaju sa Slike 4:

a) naponi mreže i napon opterećenja, b) očekivani raspoloživi priraštaj struje opterećenja, c) struja opterećenja i referenca struje

Maksimalni očekivani raspoloživi priraštaj struje kroz prigušnicu (tj. struje opterećenja) dobija se, dakle, u trenutku t_3 , i iznosi:

$$\Delta i_{\max} = \frac{1}{L} \int_{t_1}^{t_3} (v_{ab} - v_{opt}) \cdot dt \quad (3)$$

Drugo merenje "površine napona" na prigušnici počinje u trenutku t_3 . Površina dobijena drugom integracijom (plava površina sa znakom "-") oduzima se zatim od prethodno dobijene površine (plava površina sa znakom "+"), i na taj način se dobija očekivani priraštaj struje koji je raspoloživ u nekom trenutku t , do koga se stiglo tokom druge integracije, tj:

$$\Delta i(t) = \Delta i_{\max} - \frac{1}{L} \int_{t_3}^t (v_{ac} - v_{opt}) \cdot dt \quad (4)$$

Prema tome, očekivani priraštaj struje koji je raspoloživ u trenutku t_4 , srazmeran je sivoj površini na Slici 5.a), i iznosi:

$$\Delta i(t_4) = \Delta i_{\max} - \frac{1}{L} \int_{t_3}^{t_4} (v_{ac} - v_{opt}) \cdot dt \quad (5)$$

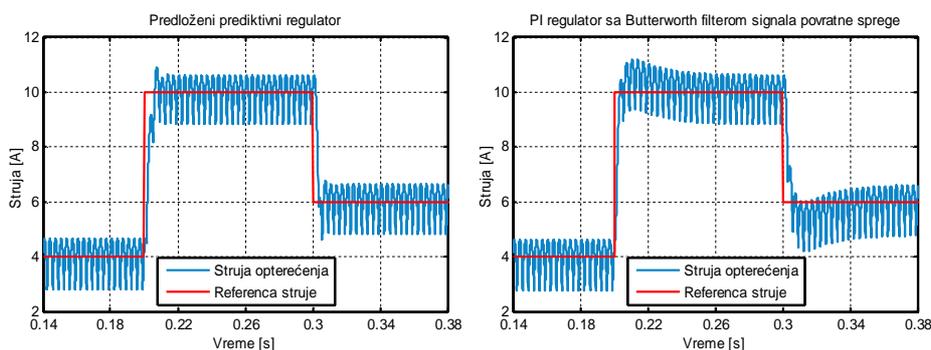
Ako bi se odgovarajući tiristor uključio u trenutku t_4 , maksimalna trenutna vrednost struje koja bi se dostigla tokom provođenja tog tiristora bila bi $i_{opt}(t_4) + \Delta i(t_4)$, tj. jednaka zadatoj referenci struje. Regulator, dakle, radi tako što najpre odredi maksimalni očekivani raspoloživi priraštaj struje. Zatim, na osnovu maksimalnog raspoloživog priraštaja struje, regulator predviđa očekivani priraštaj struje u nekom trenutku t , tako što od maksimalnog priraštaja struje oduzima priraštaj dobijen integracijom napona na prigušnici od t_3 do t . Prema tome, silazna ivica krive (od t_3 do t_5), predstavljene plavom bojom na Slici 5. b), je kriva očekivanog raspoloživog priraštaja struje kroz prigušnicu (tj. struje opterećenja). Dakle, da bi se dostigla željena vršna vrednost struje opterećenja, odgovarajući tiristor će dobiti komandu za uključenje u onom trenutku u kojem se zbir izmerene trenutne vrednosti struje opterećenja i očekivanog raspoloživog priraštaja struje opterećenja izjednači sa referencom struje. Na Slici 5. c), tiristor T_2 dobija komandu za uključenje u trenutku t_4 . Na Slici 5 se takođe vidi da je neophodno da srednja vrednost napona na opterećenju bude sporo promenljiva. Naime, kada bi se srednja vrednost napona opterećenja znatno menjala tokom integracije napona na prigušnici, tada ne bi bilo moguće tačno predvideti priraštaj struje kroz prigušnicu, jer srednja vrednost napona v_{opt} u jednačini (4) nije ista kao u jednačini (3). Dakle, srednja vrednost napona opterećenja može da se menja u onoj meri u kojoj ne utiče bitno na izračunavanje raspoloživog priraštaja struje pomoću jednačine (4). Ovaj uslov je ispunjen u slučaju procesa elektrolize, jer se napon niza elektrolitičkih ćelija ne menja brzo pri normalnom radu. Na Slici 5. c) se vidi da regulator reguliše vršnu vrednost struje opterećenja. Potrebno je, međutim, regulisati srednju vrednost struje opterećenja, jer performanse sistema za elektrolizu zavise od srednje, a ne od vršne vrednosti struje. Regulacija srednje vrednosti struje se veoma približno postiže tako što se očekivani priraštaj struje, dobijen jednačinom (4), pomnoži sa $2/\pi$. Ako se referenca struje poveća tako da je željeno povećanje struje opterećenja veće od maksimalno raspoloživog priraštaja struje, tada se tiristorima zadaje ugao upravljanja koji omogućava dostizanje nove reference u najmanjem broju koraka. U slučaju kada se referenca struje smanji tako da je željeno smanjenje struje veće od maksimalno raspoloživog negativnog priraštaja struje, tiristorima se zadaje konstantan ugao upravljanja, jednak 100° . Prilikom određivanja raspoloživog priraštaja struje, predloženi regulator uzima u obzir i uticaj komutacije tiristora,

tako što od predviđene raspoložive "površine napona" oduzima površinu koja je srazmerna sa induktivnošću komutacione prigušnice.

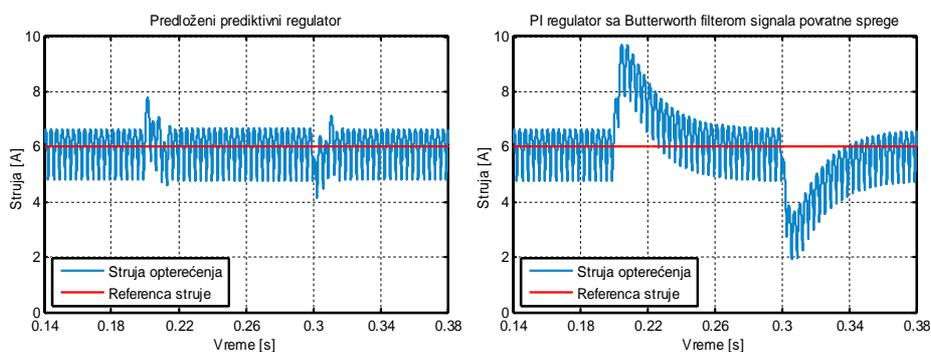
REZULTATI SIMULACIJA SISTEMA SA PREDLOŽENIM REGULATOROM I SISTEMA SA PI REGULATOROM STRUJE OPTEREĆENJA

Polazeći od prethodno objašnjenog principa rada predloženog regulatora, realizovan je model trofaznog tiristorskog punoupravljivog ispravljača sa predloženim regulatorom i baterijom napona 12 V kao opterećenjem. Realizovan je i model sistema sa PI regulatorom struje, *Butterworth* filterom signala povratne sprege i baterijom napona 12 V kao opterećenjem, čime je omogućeno poređenje ova dva sistema. Pojačanja PI regulatora su podešena tako da se istovremeno postignu što kraće vreme uspona, što manji preskok struje i što kraće vreme smirenja odziva, pri skokovitoj promeni reference struje. Oba modela su realizovana u programskom paketu *Simulink*. Na Slici 6 su uporedno prikazani odzivi sistema sa predloženim regulatorom i sistema sa PI regulatorom, pri promeni reference struje opterećenja. Pojačanja PI regulatora su $K_P = 1.5$, $K_I = 70$, a signal povratne sprege je filtriran *Butterworth* filterom drugog reda i granične učestanosti 1256 rad/s. Na Slici 7 su prikazani odzivi oba sistema pri nastanku prolaznog kratkog spoja opterećenja, u trajanju 100 ms.

Na Slici 7 se vidi da, u slučaju odziva sistema sa PI regulatorom, maksimum struje opterećenja koji se dostiže nakon pojave luka iznosi oko 9.70 A, što je povećanje od 46.1% u odnosu na maksimum struje (6.64 A) koji je dostizan pre pojave kratkog spoja. U slučaju odziva sistema sa prediktivnim regulatorom, maksimum struje opterećenja koji se dostiže nakon pojave kratkog spoja je mnogo manji i iznosi oko 7.78 A, što je povećanje od 17.2% u odnosu na maksimum struje (6.64 A) koji je dostizan pre pojave kratkog spoja.



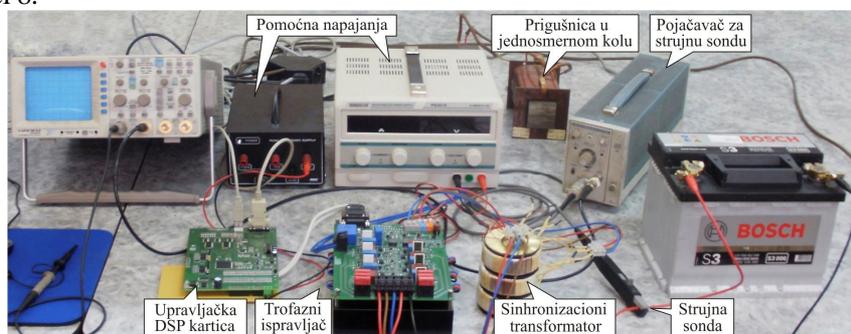
Sl. 6. Odzivi sistema pri promeni reference struje opterećenja



SI. 7. Odzivi sistema pri kratkom spoju krajeva opterećenja, koji nastaje u $t = 0.2$ s i traje 100 ms

EKSPERIMENTALNA VERIFIKACIJA REZULTATA SIMULACIJE

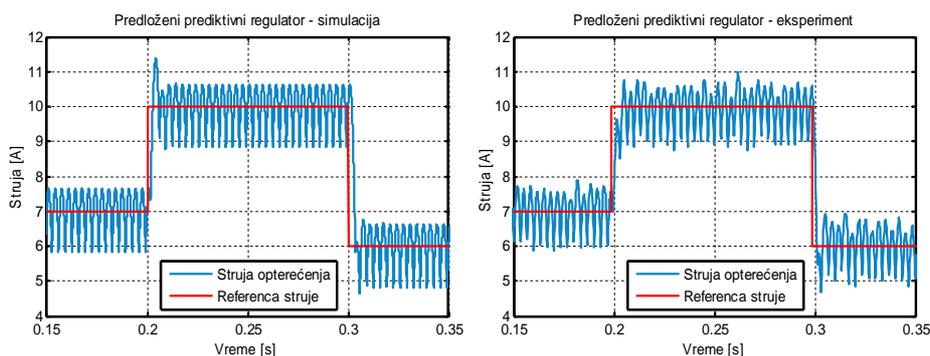
Eksperimentalna verifikacija rezultata koji su dobijeni simulacijom sistema sa predloženim regulatorom izvršena je pomoću laboratorijske postavke, prikazane na Slici 8.



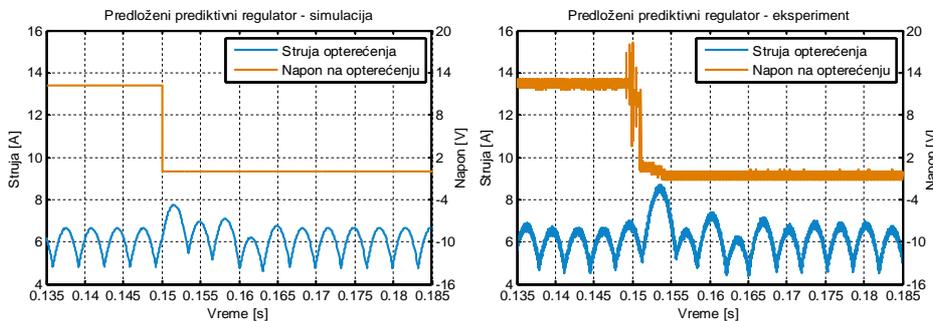
SI. 8. Laboratorijska postavka sa prototipom trofaznog ispravljača sa predloženim regulatorom

Signali za uključenje tiristora u trofaznom tiristorskom punoupravljivom mosnom ispravljaču zadavani su pomoću DSP procesora TMS320F2407, kompanije *Texas Instruments*, koji se nalazi na upravljačkoj DSP kartici. Struja je merena strujnom sondom A6302, kompanije *Tektronix*, a talasni oblici struje i napona su snimani osciloskopom HM1508, kompanije *Hameg*. Kao opterećenje je korišćena akumulatorska baterija napona 12 V i kapaciteta 55 Ah, kompanije

Bosch. Na Slici 9 su prikazani odzivi sistema sa predloženim regulatorom na promenu reference struje opterećenja, koji su dobijeni simulacijom i eksperimentom. Na Slici 10 su prikazani talasni oblici struje i napona na opterećenju u sistemu sa predloženim regulatorom, pri kratkom spoju opterećenja.



Sl. 9. Odziv predloženog regulatora na promenu reference struje: rezultati simulacije i eksperimenta



Sl. 10. Odziv predloženog regulatora na kratak spoj opterećenja: rezultati simulacije i eksperimenta

Na osnovu talasnih oblika na slikama 9 i 10, može se utvrditi veoma dobra korelacija između rezultata dobijenih simulacijom i eksperimentom. Na Slici 9 (na talasnom obliku koji je dobijen simulacijom) može se uočiti postojanje preskoka prvog impulsa struje nakon povećanja reference. Ovaj preskok je posledica množenja očekivanog raspoloživog priraštaja struje sa $2/\pi$. Preskok nije uočljiv na talasnom obliku dobijenom eksperimentalno, zbog postojanja greške u sinhronizaciji ispravljača. Greška u sinhronizaciji je posledica činjenice da se odbirci struje i napona dobijaju na svakih $100 \mu\text{s}$, akumulacijom 4 odbirka

sa periodom odabiranja 25 μ s. Na eksperimentalno dobijenom talasnom obliku na Slici 10 je uočljiv prenapon koji je posledica rada kontaktora kojim je izvršeno kratko spajanje krajeva baterije.

ZAKLJUČAK

U radu je predstavljen prediktivni regulator struje tiristorskih ispravljača za primenu u postrojenjima za elektrolitičku rafinaciju bakra i elektrovining. Predloženim regulatorom struja opterećenja se reguliše na osnovu informacije o trenutnoj vrednosti regulisane struje (a ne na osnovu informacije o njenoj srednjoj vrednosti, kao kod PI regulatora), što omogućava brz odziv regulatora na promene reference struje i na poremećaje u vidu kratkih spojeva elektroda. Primenom predloženog regulatora, električna napreznja tiristora i osigurača pri kratkim spojevima elektroda su manja nego u sistemu sa PI regulatorom, što omogućava veću pouzdanost i raspoloživost sistema za napajanje. U radu su predstavljeni rezultati simulacija i eksperimenata, koji potvrđuju prednosti predloženog regulatora u odnosu na PI regulator.

LITERATURA

- [1] The World Copper Factbook 2012, The International Copper Study Group-ICSG, 2012.
- [2] E. Požega, L. Gomidželović, V. Trujić, D. Živković, "Analiza savremenih tehnologija u metalurgiji bakra", Bakar, vol. 35, no. 1, pp. 15–24, 2010.
- [3] M. E. Schlesinger, M. J. King, K. C. Sole, W. G. Davenport, Extractive Metallurgy of Copper, 5th edition, London: Elsevier Ltd. 2011.
- [4] V. Conić, V. Cvetkovski, M. Cvetkovska, "Proizvodnja katodnog bakra solventnom ekstrakcijom iz rudarskih i metalurških rastvora u cilju zaštite životne okoline", Bakar, vol. 33, no. 2, pp. 17–22, 2008.
- [5] A. Siebert, A. Troedson, and S. Ebner, "AC to dc power conversion now and in the future," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 38, no. 4, pp. 934–940, Jul./Aug. 2002.
- [6] E. P. Wiechmann, A. S. Morales, P. Aqueveque, "Improving Productivity and Energy Efficiency in Copper Electrowinning Plants", IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 46, no. 4, pp. 1264–1270, Jul./Aug. 2010.
- [7] J. R. Rodriguez et al., "Large current rectifiers: State of the art and future trends", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 52, no. 3, pp. 738–746, Jun. 2005.

-
- [8] P. E. Aqueveque, E. P. Wiechmann, and R. P. Burgos, "On the efficiency and reliability of high-current rectifiers", in Conference Recordings of 41st IEEE IAS Annual Meeting, Oct. 8–12, 2006, vol. 3, pp. 1290–1297, 2006.
 - [9] R. R. Brown, "Rectifier and DC bus system design for the copper electrowinning industry", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 26, no. 6, pp. 1116–1119, Nov./Dec. 1990.
 - [10] E. P. Wiechmann, P. Aqueveque, A. S. Morales, P. F. Acuna, R. Burgos, "Multicell High-Current Rectifier", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 44, no. 1, pp. 238–246, 2008.
 - [11] L. Cifuentes, E. Astete, G. Crisostomo, J. Simpson, G. Cifuentes and M. Pilleux, "Corrosion and protection of lead anodes in acidic copper sulphate solutions", *Corrosion Engineering, Science and Technology*, vol. 40, no. 4, pp. 321–327, Dec. 2005.
 - [12] P. Aqueveque, E. P. Wiechmann, R. P. Burgos, "Short-Circuit Detection for Electrolytic Processes Employing Optibar Intercell Bars", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 45, no. 4, pp. 1225–1231, July/Aug. 2009.
 - [13] S. Srdic, M. Nedeljkovic, "Predictive Fast DSP-Based Current Controller for Thyristor Converters", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 8, pp. 3349–3358, Aug. 2011.

UDK: 536.7:669.215/.871/.75(045)=861

ORIGINALNI NAUČNI RAD

Oblast: Materijali

**TERMODINAMIČKA ANALIZA Au-Ga-Sb SISTEMA
POMOĆU RKM MODELA**

**THERMODYNAMIC ANALYSIS OF Au-Ga-Sb SYSTEM
BY RKM MODEL**

Lidija Gomidželović¹, Dragana Živković², Ana Kostov¹, Emina Požega¹

¹Institut za bakar, Zeleni bulevar 35, 19210 Bor

²Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet, VJ 12, 12910 Bor

Izvod

U radu su predstavljeni rezultati termodinamičke analize legura u sistemu Au-Ga-Sb. U okviru termodinamičke analize, primenjena je RKM metode predviđanja, i to u preseccima iz ugla zlata, galijuma i antimona 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 1673 K.

Ključne reči: termodinamika, RKM model, Au-Ga-Sb sistem

Abstract

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

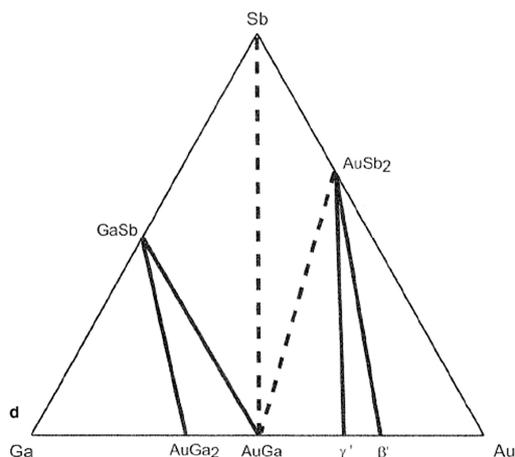
Keywords: thermodynamics, RKM model, Au-Ga-Sb system

UVOD

Poluprovodnička III-V jedinjenja i njihovi čvrsti rastvori su važni materijali koji se primenjuju u polju optoelektronike, kao i u elektronskim uređajima visoke brzine. Proizvodnja ovih uređaja uključuje procese koji zahtevaju kontakt između čvrste i tečne faze ili gasne faze pri ravnotežnim uslovima. Zbog toga je

¹ E-mail: lgomidzelovic@yahoo.com

poznavanje faznih dijagrama i termohemije ovih poluprovodničkih sistema značajno, jer pruža podatke koji omogućavaju analizu graničnih uslova prilikom različitih delova procesa [1]. Ternarni sistem Au-Ga-Sb, iako spada u grupu III-V poluprovodnika, do sada nije detaljno istražen. Ovaj ternarni sistem su istraživali Liu and Mohny [2] u okviru istraživanja fazne ravnoteže sistema "prelazni Me-Ga-Sb" i predviđanja termički stabilnih kontakata sa GaSb. Iako elementarni kontakti imaju prednost zbog jednostavnije proizvodnje, sa termodinamičke tačke gledišta moguće je iskoristiti binarne i ternarne kontaktne materijale koji su u termodinamičkoj ravnoteži sa poluprovodnikom. Na primer, Lince and Williams [3] su primenivši Au-Ga-Sb sistem na razvoj kontakata, dokazali da su AuGa_2 filmovi termodinamički stabilni na GaSb pri $T = 747 \text{ K}$. Kontakti između zlata i GaSb su široko korišćeni, zbog čega su Tsai and Williams [4] eksperimentalno odredili izotermalni presek prikazan na slici 1. Nedavno su objavljeni rezultati istraživanja faznog dijagrama Al-Ga-Sb sistema primenom CALPHAD metode u kombinaciji sa diferencijalnom skenirajućom kalorimetrijom [5].



Sl. 1. Izotermalni presek ternarnog sistema Au-Ga-Sb na 298 K [4]

TEORIJSKE OSNOVE

Postoji dosta različitih modela 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 [6] koji je u ovom radu iskorišćen za predviđanje termodinamičkih osobina ispitivanih trojnih sistema.

Osnovna jednačina Redlich-Kister-Muggianu modela [6] za trojni sistem glasi:

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

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, ΔG^E i ΔG_{ij}^E odgovaraju integralnim molarnim eksces Gibbsovih 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, galijum 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

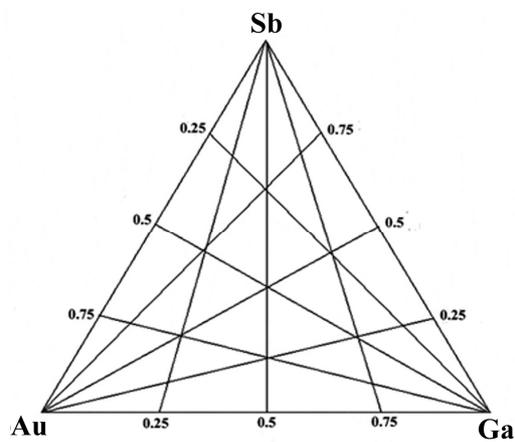
$$a_i = x_i \gamma_i \quad (3).$$

REZULTATI I DISKUSIJA

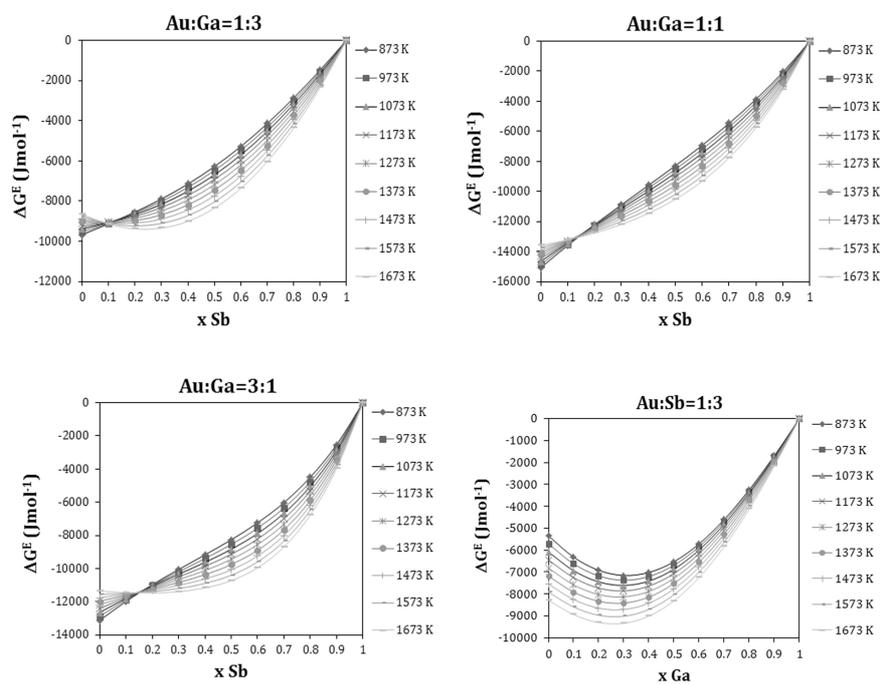
Iz koncentracionog područja ternarnog sistema Au-Ga-Sb izabrani su preseki prikazani na slici 2 i izvršeno je termodinamičko predviđanje u temperaturnom intervalu 873 - 1673 K korišćenjem RKM metode, pri sadržaju treće komponente $x_i = 0, 0.1 - 0.9, 1$. Kao polazni podaci za proračun poslužili su Redlich-Kister parametri dati u tabeli 1. Vrednosti integralne ekscesne Gibbsove energije i aktivnosti, dobijene na ovaj način, prezentovane su na slikama 3 i 4.

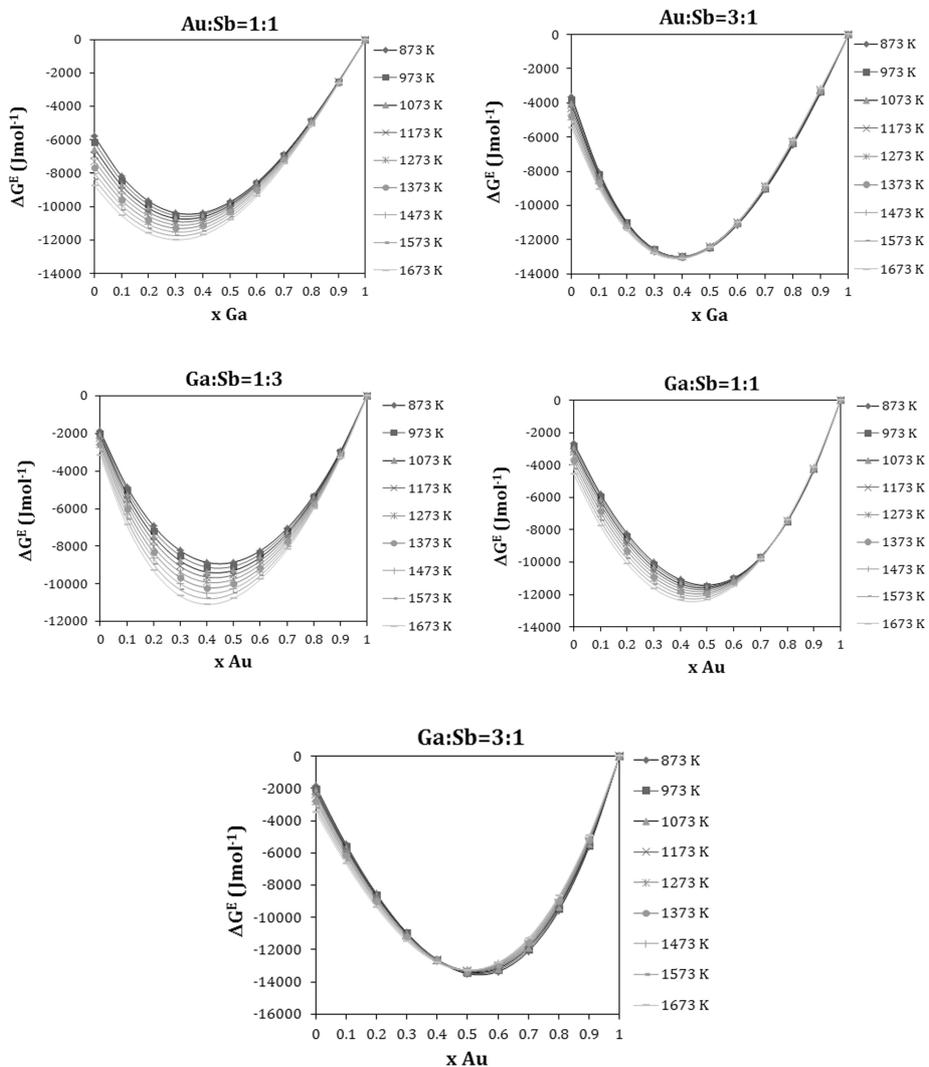
Tabela 1. Redlich-Kister parametri za konstitutivne binarne sisteme

System ij	L_{ij}^0 (T)	L_{ij}^1 (T)	L_{ij}^2 (T)
Au-Ga [7]	-71830.123+42.286T-4.289TlnT	-22892.323+5.069T	-8839.911+5.069T
Ga-Sb [1]	-13953.8+71.07866T-9.9232TlnT	1722.9-1.92588T	21288.3
Au-Sb [8]	-10288.0428-14.7865028T	-2901.66787-7.2503632T	1217.43604-4.74909763T

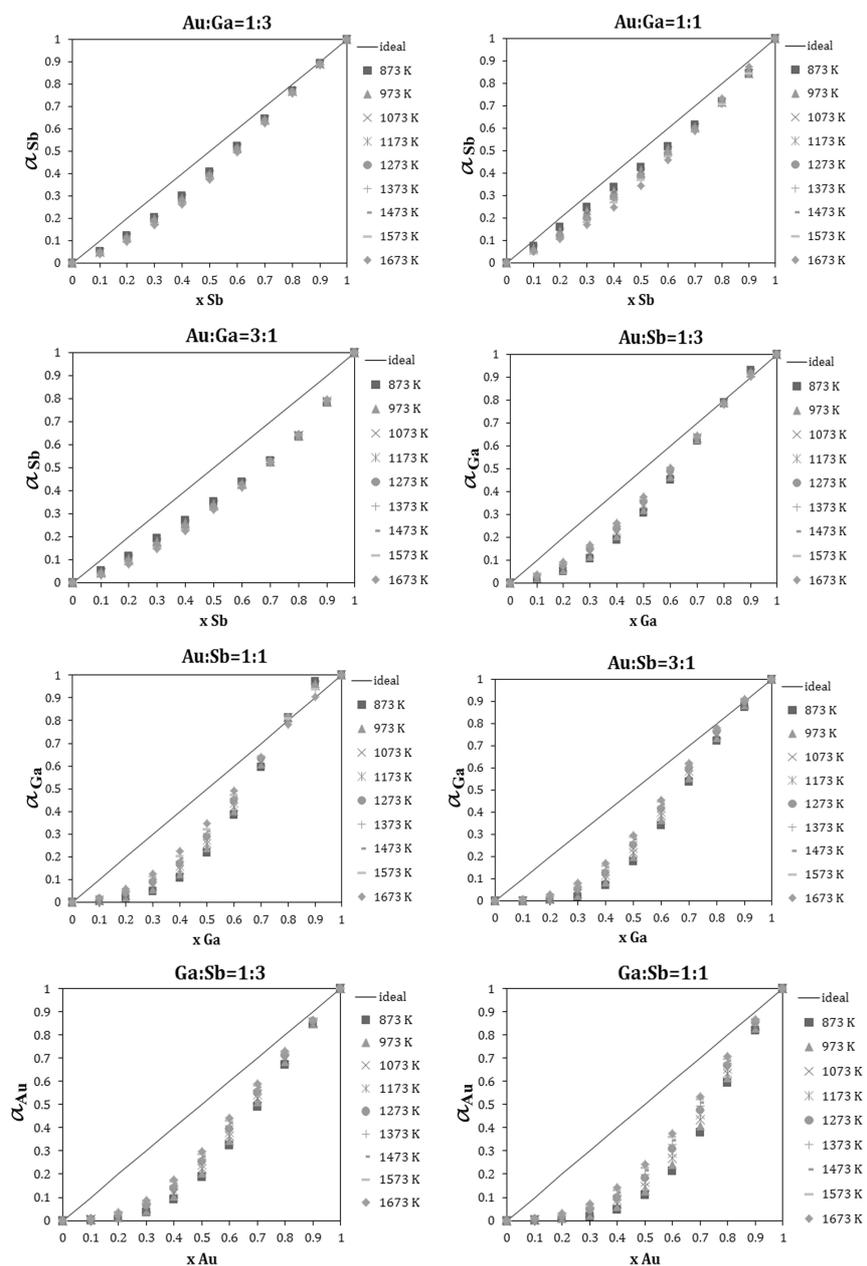


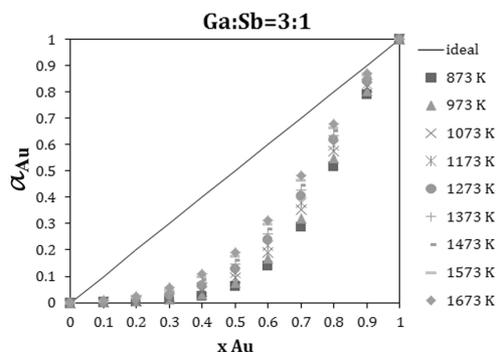
Sl. 2. Šematski prikaz ispitivanih koncentracionih područja ternarnog sistema Au-Ga-Sb





Sl. 3. Integralna ekscena Gibbsova energija za Au-Ga-Sb sistem na temperaturama 873-1673 K prema metodi RKM-a





Sl. 4. Aktivnost za Au-Ga-Sb sistem na temperaturama 873-1673 K prema metodi RKM-a

ZAKLJUČAK

Termodinamička analiza ternarnog sistema Au-Ga-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 negativne, sa minimalnim vrednostima do -15 kJ/mol za ugao antimona. Aktivnost sva tri metala u ovom ternarnom sistemu pokazuje negativno odstupanje od Raoult-ovog zakona. Kod zlata je to odstupanje veoma izraženo, dok su vrednosti aktivnosti antimona bliže liniji idealnog stanja. Kod aktivnosti galijuma za vrednosti $x_{\text{Ga}} > 0.8$ primećeno je pozitivno odstupanje od Raoult-ovog zakona. Rezultati prezentovani u ovom radu upotpunjavaju poznavanje termodinamičkih osobina legura Au-Ga-Sb ternarnog sistema, pošto je ovaj ternarni sistem do sada slabo istražen sa termodinamičke tačke gledišta.

ZAHVALNOST

Autori su zahvalni Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Projekti: 172037 Savremeni višekomponentni metalni sistemi i nanostrukturni materijali sa različitim funkcionalnim svojstvima i 34005 Razvoj naprednih materijala i tehnologija za multifunkcionalnu primenu zasnovanih na ekološkom znanju) za finansijsku podršku.

LITERATURA

- [1] I. Ansara, C. Chatillon, H. L. Lukas, T. Nishizawa, H. Ohtani, K. Ishida, M. Hillert, B. Sundman, B.B. Argent, A. Watson, T.G. Chart, T. Anderson, *Calphad*, 18 (2) (1994) 177–222.
- [2] W.E. Liu, S.E. Mohny, *J. Electron. Mater.*, 32 (10) (2003) 1090–1098.
- [3] J.R. Lince, R.S. Williams, *Thin Solid Films*, 137 (1986) 251 –256.
- [4] C. T. Tsai and R.S. Williams, *J. Mater. Res.*, 1 (1986) 820 –826.
- [5] D. Manasijević, D. Živković, N. Talijan, V. Čosović, L. Gomidželović, R. Todorović, D. Minić, *J. Phys. Chem. Solids*, 74 (2013) 280–285.
- [6] O. Redlich, A.T. Kister, *Ind. Eng. Chem.*, 24 (1948) 345 – 348.
- [7] J. Wang, Y.J. Liu, L.B. Liu, H.Y. Zhou, Z.P. Jin, *Calphad*, 35 (2011) 242-248.
- [8] E. Zoro, C. Servant, B. Legendre, *J. Phase Equilib. Diffus.* 28 (3) (2007) 250–257.

UDK: 681.3.06(045)=861

PREGLEDNI RAD

Oblast: *Primenjena industrijska informatika*

RANJIVOST WEB APLIKACIJA
WEB APPLICATION VULNERABILITIES

Darko Brodić¹, Dalibor Jovanović¹, Tamara Ognjanović¹

¹Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beogradu,
Vojske Jugoslavije 12, 19210 Bor

Izvod

U radu su prikazane najkritičnije ranjivosti web aplikacija i opisani načini njihovog otkrivanja. Uz to, prikazani su i načini iskorišćavanja navedenih ranjivosti. Radi lakšeg razumevanja, svaki opis ranjivosti je potkrepljen odgovarajućim primerom u kojem se prikazuju različite napadačke tehnike, vrši analiza napada i koristi sistem za ispitivanje poznatih sigurnosnih rupa u web aplikacijama.

Ključne reči: *web aplikacija, ranjivost, SQL ubacivanje, XSS*

Abstract

This paper describes the most critical vulnerabilities that put web application security at risk. The most critical vulnerabilities and the methods of detection are shown, as well as ways of exploiting these vulnerabilities are given. For easier understanding most of descriptions are followed by appropriate examples that show different manual attack technics from the browser, analysis of the attacks and methods used for testing known security holes in web applications.

Keywords: *web application, vulnerabilities, SQL injection, cross site scripting*

UVOD

Web aplikacije se koriste za različite namene. Jednostavnije web aplikacije vrše objavljivanje i prikazivanje korisničkih sadržaja, pretraživanje njihovog sadržaja, registraciju i prijavu korisnika, slanje i primanje elektronske pošte. Za razliku od toga složenije web aplikacije vrše upravljanje ljudskim resursima, elektronsko poslovanje, Internet kupovinu, poslove internet bankarstva, itd. U radu sa web aplikacijama koriste se informacije koje mogu biti manje ili više osetljive za prikazivanje širem korisničkom auditorijumu. Osetljive informacije su korisnička imena i lozinke, lični korisnički podaci, brojevi kreditnih kartica,

¹ E-mail: dbrodic@tf.bor.ac.rs

kao i neke druge poverljive informacije. Prilikom izrade web aplikacije neophodno je voditi računa na koji način se navedene osetljive informacije skladište, kako se prenose u bazu podataka i na koji način web aplikacija manipuliše sa tim informacijama. Zbog toga, bezbednost web aplikacija predstavlja ključni element računarske sigurnosti.

OSNOVNI ZAŠTITNI MEHANIZMI

Za ostvarivanje sigurnosti web aplikacija neophodno je izvršiti ugradnju određenih zaštitnih mehanizama. Neki od osnovnih zaštitnih mehanizama su: (i) kontrola korisničkog pristupa i korisničkog unosa, (ii) odgovor na napad na sigurnost web aplikacija i (iii) održavanje web aplikacija.

Kontrola korisničkog pristupa je neophodna za sprečavanje pristupa osetljivim informacijama od strane neautorizovanog korisnika. Postoji više kategorija korisnika: neautorizovani, autorizovani korisnici i korisnici sa administratorskim pravima. Pri tom svaki korisnik ne poseduje ista prava pristupanja. Kontrola korisničkog pristupa ostvaruje se ugrađivanjem tri osnovna zaštitna mehanizma:

- (i) Autorizacija. Ona se sprovodi pomoću korisničkog imena i lozinke. U slučaju da web aplikacija zahteva visok nivo sigurnosti, upotrebljava se autorizacija koja koristi pametne kartice, klijentske sertifikate, uređaje kao što su tokeni i sl.
- (ii) Kontrola sesije. Ona se ostvaruje kreiranjem sesije i dodeljivanjem jedinstvenog identifikatora sesije, koji predstavlja jedinstveni znakovni niz. Sesijski identifikator izdaje web aplikacija. On se skladišti i na web serveru i na računaru korisnika. Standardan način prenosa i čuvanja sesijskih identifikatora su HTTP kolačići. Osim toga, mogu da se koriste i sesijski identifikatori koji se smeštaju u skrivena polja ili unutar samog URL-a.
- (iii) Kontrola pristupa. Na ovaj način se osigurava da korisnik pristupa samo onim delovima web aplikacije za koje je i autorizovan.

RANJIVOSTI WEB APLIKACIJA I NJIHOVO OTKRIVANJE

Ranjivost web aplikacije predstavlja slabost koju napadač može iskoristiti kako bi ugrozio sigurnost podataka o korisniku. Ranjivost je presek tri elementa: slabost sistema, pristup napadača do slabosti i sposobnost napadača da je iskoristi [1]. Da bi napadač iskoristio ranjivost web aplikacije mora imati najmanje jedan primenljiv alat ili tehniku kojom se može pristupiti slabosti sistema.

Postoji nekoliko organizacija koje se bave bezbednošću u računarskim sistemima koji su povezani sa sigurnošću web aplikacija. Neke od takvih

organizacija su CERT (Computer Emergency Response Team), OWASP (Open web Application Security Project), WASCO (web Application Security Consortium), SANS Institute, itd. Cilj ovih organizacija je podizanje svesti o bezbednosti web aplikacija, pružanje podrške korisnicima i programerima kao i bezbednosna edukacija programera. One na svojim web stranicama objavljuju liste ranjivosti pronađenih u web aplikacijama, daju savete kako ih izbeći i kako programirati web aplikacije na siguran način, itd. OWASP periodično izdaje listu 10 najkritičnijih ranjivosti web aplikacija. Najkritičnije ranjivosti web aplikacija prema OWASP-u su:

- (i) Izvršavanje napadačkog koda (**engl.** *Cross Site Scripting - XSS*),
- (ii) Ranjivosti na ubacivanje koda (**engl.** *Injection Flaws*),
- (iii) Izvođenje datoteka sa zlonamernim sadržajem (**engl.** *Malicious File Execution*),
- (iv) Nesigurna direktna referenca na objekat (**engl.** *Insecure Direct Object Reference*),
- (v) Falsifikovanje zahteva (**engl.** *Cross Site Request Forgery - CSRF*),
- (vi) Curenje informacija i neispravno rukovanje greškama (**engl.** *Information Leakage and Improper Error Handling*),
- (vii) Kompromitovana autorizacija i kontrola sesije (**engl.** *Broken Authentication and Session Management*),
- (viii) Nesigurna kriptografska skladištenja (**engl.** *Insecure Cripto-graphic Storage*),
- (ix) Nesigurna komunikacija (**engl.** *Insecure Communications*),
- (x) Neuspešna zaštita pristupa URL-a (**engl.** *Failure to Restrict URL Access*).

IZVRŠAVANJE NAPADAČKOG KODA

Izvršavanje napadačkog koda (**engl.** *Cross Site Scripting - XSS*, dalje u tekstu XSS) predstavlja najčešće prisutnu ranjivost web aplikacija. Pomoću XSS-a se ubacuje zlonameran kod u kod dinamički generisane HTML stranice koja se prikazuje korisniku [2]. Ranjivost se pojavljuje kada nije ostvarena kontrola korisničkog unosa. Na ovaj način napadač prosleđuje napadački kod umesto normalnog korisničkog unosa. Za ovu namenu se obično koriste JavaScript, i drugi skriptni jezici koji su podržani od web pretraživača npr. VBScript, ActiveKs, Flash, i dr [3]. Rezultat napada je krađa korisničkog sesionog identifikatora, sprovođenje phishing napada, preusmeravanje web pretraživača na proizvoljne lokacije, instaliranje zlonamernih programa i slično [2-3]. Postojanjem XSS ranjivosti unutar web aplikacije narušava se poverljiv odnos između korisnika i web aplikacije, jer su napadi korišćenjem XSS-a direktno

usmereni protiv korisnika. Postoje tri osnovne vrste XSS-a: (i) reflektovani XSS (**engl.** *reflected XSS*), (ii) Uskladišteni XSS (**engl.** *stored XSS*), i (iii) DOM ili lokalni XSS (**engl.** *DOM-Based XSS*). Vrste XSS-a se razlikuju prema tome na koji način se napadački kod ubacuje i izvodi u korisnikovom web pretraživaču.

Reflektovani XSS

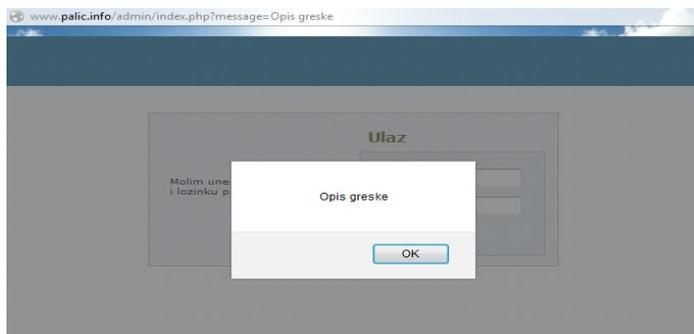
Reflektovani XSS je najjednostavniji i najčešći primer XSS ranjivosti web aplikacija. On se pojavljuje u web aplikacijama gde se vrednost parametra iz URL-a ubacuje u kod dinamički generisane HTML stranice [2]. Jedan od primera ove vrste ranjivost je dinamičko generisanje opisa greške. Pretpostavimo da se za ispis opisa greške koristi sledeći URL: <http://www.primer.com/error.php?message=Opisgreske>. Vrednost koja se predaje parametru message se uzima i ubacuje u kod dinamički generisane HTML stranice. Ukoliko je deo programskog koda koji se koristi za štampanje greške dat sa:

```
<? echo("<p>".$_GET['message'].</p>"); ?>
```

onda je aplikacija ranjiva na reflektovani XSS. Navedeni deo programskog koda uzima vrednost parametra message i ubacuje ga u HTML kod. Upravo taj element omogućava ubacivanje proizvoljnog napadačkog koda. Kako bi se iskoristila data ranjivost potrebno je da se kao vrednost parametra message postavi napadački kod, npr. skript napisan u JavaScript-u. Skripta koja potvrđuje postojanje XSS ranjivosti je [3]:

```
<script>alert('Opis greske');</script>
```

U slučaju da se umesto opisa greške za vrednost parametra message postavi navedena skripta, ona se izvršava nakon što se tako modifikovani URL pokrene unutar web pretraživača. U ovom slučaju skripta unutar web pretraživača otvara novi prozor i ispisuje XSS.



Sl. 1. Uspešno izvršen napadački kod

Cilj iskorišćavanja XSS ranjivosti je mogućnost da se dođe do poverljivih korisničkih informacija. Na slici 2 prikazano je čitanje sesionog identifikatora iskorišćavanjem ranjivosti web aplikacije na reflektovani XSS.

```
__utma=162955684.62339876.1358129952.1360763656.1361973462.3; __utmz=162955684.1358129952.1.1.utmccn=(organic)|utmcsr=google|utmctr=inurl.%22.rs%2Finfo.php%22|utmcmd=organic; __utmb=162955684; __utmc=162955684
```



Sl. 2. Čitanje sesionog identifikatora pomoću reflektovanog XSS-a

U ovom primeru koristila se skripta koja pročita sesijski identifikator prikazuje u novo otvorenom prozoru u okviru web pretraživača. Navedena skripta je:

```
<script>alert(document.cookie);</script>
```

Kako bi napadač iskoristio reflektovani XSS, on mora navesti korisnika da pokrene posebno modifikovani URL koji u sebi sadrži napadački kod [2]. Nakon što se pronade, ranjivost generiše link na ranjivu web aplikaciju koja u sebi sadrži napadački kod. Tako generisane linkove korisniku se prosleđuju slanjem elektronske pošte ili se objavljuju na raznim forumima, blogovima ili socijalnim mrežama. Na ovaj način se korisnik navodi da pokrene link koji u sebi sadrži kod za krađu sesionog identifikatora. Na slici 3 prikazan je jedan takav napadački kod koji omogućava krađu sesionog identifikatora.

```
<script>  
var i=new Image;  
i.src="http://www.napadac.com/" + document.cookie;  
</script>
```

Sl. 3. Napadački kod za krađu sesijskog kolačića

Bilo kojem korisniku koji poseti ovaj link biće ukraden sesijski identifikator i poslat napadaču.

Uskladišteni XSS

Uskladišteni XSS predstavlja napadački kod koji se uobičajeno skladišti u bazama podataka ili u datotekama na web serveru. Navedena vrsta ranjivosti se javlja u web aplikacijama u kojima su korisnici u međusobnoj interakciji. Iz toga proističe da korisnici mogu objavljivati svoj sadržaj ili poruke kojima drugi korisnici mogu pristupati. U slučaju da ne postoji kontrola korisničkog unosa za takve podatke, može doći do pojave ove vrste ranjivosti. Tipične web aplikacije koje su izložene ovoj vrsti ranjivosti su: forumi, blogovi i socijalne mreže [2-3].

Napadač može koristiti iste ili slične napadačke kodove kao i kod reflektovanog XSS-a. Napadački kod se obično ubacuje kroz različite mehanizme objavljivanja korisničkih poruka i sadržaja u web aplikaciji. Na slici 4 prikazano je unošenje napadačkog koda kroz mehanizam dodavanja nove poruke u web aplikaciji.



Post new Message	
Message Subject	<input type="text" value="XSSPoruka"/>
Message Text	<input type="text" value="<script>alert(document.cookie);</script>"/>
<input type="button" value="Post Message"/> <input type="button" value="Clear"/>	

SI. 4. Unos napadačkog koda za uskladišteni XSS

Ubačeni kod se skladišti i izvršava kada se pristupi stranici u koju je ubačen. U određenim slučajevima to može biti i stranica sa koje je napadački kod i ubačen. U ovom slučaju nije potrebno kreirati link na ranjivu web aplikaciju koja sadrži napadački kod, a zatim linkove slati korisnicima kako bi ih oni pokrenuli. Dovoljno je samo da se jednom napadački kod ubaci na web aplikaciju i da se sačeka da korisnik pristupi stranici koja sadrži ubačeni napadački kod. Svaki put kada korisnik pristupi stranici sa napadačkim kodom on će se izvršiti [2-3].

RANJIVOSTI USLED UBACIVANJA KODA

Ranjivost usled ubacivanja koda jedna je od najčešće zastupljenih ranjivosti web aplikacija. Ona se javlja kada se koriste podaci za kreiranje naredbi ili izradu upita u bazi podataka. Tom prilikom se navedeni podaci ne proveravaju da li sadrže specijalne znakove ili naredbe koje se u bazi mogu primeniti. Postojanje ovih ranjivosti omogućava čitanje, menjanje i brisanje podataka koji se nalaze na web aplikaciji, kao i dodavanje novih podataka. Postoji relativno veliki broj različitih vrsta ranjivosti web aplikacija usled ubacivanja koda, a neke od njih su: (i) SQL ubacivanje, (ii) LDAP ubacivanje, (iii) XPath ubacivanje i (iv) ubacivanje naredbi operativnog sistema.

SQL ubacivanje

SQL ubacivanje je tehnika koja koristi sigurnosnu ranjivost. Ona se ostvaruje u sloju baze podataka aplikacije. To je tehnika koja upisuje odgovarajući tekst u polja formi SQL upita. Na ovaj način upiti iz baze podataka vraćaju neadekvatne podatke. Ova metoda zasniva se na metodi pokušaja i

grešaka, na pogađanju strukture SQL upita i imena atributa i tabela [4]. Najjednostavnija tehnika SQL ubacivanja je zaobilaženje prijave (**engl.** *login form*).

LDAP ubacivanje

LDAP (**engl.** *Lightweight Directory Access Protocol*) ubacivanje se koristi za pristup direktorijumima preko računarske mreže. Određene web aplikacije koriste LDAP kako bi pristupale korisničkim podacima. Za kreiranje LDAP upita obično se koriste ulazni podaci [5]. U slučajevima kada se LDAP upiti koriste za prikaz rezultata dinamički generisanje web stranice (ako nema provere korisničkih ulaznih podataka), web aplikacija može biti ranjiva na LDAP ubacivanje.

XPath ubacivanje

XPath (**engl.** *XML Path Language*) je programski jezik koji se koristi za čitanje podataka iz XML dokumenata. XPath upiti se koriste za pristup podacima, kao i određenim delovima i atributima XML dokumenta. U web aplikacijama obično se za kreiranje XPath upita koristi sadržaj ulaznih podataka. Web aplikacija može biti ranjiva na XPath ubacivanje u slučajevima kad se sadržaj ulaznih podataka ne kontroliše i direktno koristi za kreiranje XPath upita.

Ubacivanje naredbi operativnog sistema

U određenim web aplikacijama ulazni korisnički podaci koriste se kako bi se izvele naredbe operativnog sistema. Uobičajeno se korisnički ulazni podaci koriste za dinamičko generisanje sadržaja HTML stranice ili za čitanje datoteka sa web servera. Automatizovani alati za otkrivanje ranjivosti na ubacivanje naredbi operativnog sistema pokušavaju ubaciti naredbe za čitanje određenih datoteka sa web servera (npr. `/bin/cat`). Pri tom se pokušavaju pročitati konfiguracione datoteke koje postoje na web serveru (npr. `/etc/passwd` i `C:\boot.ini`). Nakon ubacivanja koda u dobijenom odgovoru se traže karakteristični nizovi znakova koje te datoteke sadrže. Web aplikacija je ranjiva na ubacivanje naredbi operativnog sistema u slučajevima u kojima je pronađen takav karakterističan niz znakova.

IZVOĐENJE DATOTEKA SA ZLONAMERNIM SADRŽAJEM

Ponekad se u web aplikacijama ulazni podaci koriste kako bi se izgradila referenca na datoteku na web serveru. Ova ranjivost se može iskoristiti tako da se promenom korisničkog unosa promeni i referenca. Na taj način se web

aplikacija navede da izvrši datoteku sa zlonamernim sadržajem. Pokretanjem i izvršavanjem određenih datoteka mogu se izvršiti proizvoljne komande na web serveru, a u određenim slučajevima i ostvariti potpuna kontrola nad celim računarskim sistemom. Šteta koja može nastati na ovaj način zavisi od korisničkih prava koja su pridružena navedenoj web aplikaciji. Različite web aplikacije kao što su: forumi, blogovi i socijalne mreže svojim korisnicima omogućavaju čuvanje ličnih datoteka na web serveru. U slučaju da web aplikacija prilikom prenosa tih datoteka ne obavlja proveru tipa datoteke, aplikacija postaje osetljiva na ovaj tip ranjivosti. Ova vrsta ranjivosti najzastupljenija je u web aplikacijama napisanim u programskom jeziku PHP, ali ranjive su i druge platforme kao što su Java i .NET.

NESIGURNA DIREKTNA REFERENCA NA OBJEKAT

U mnogim web aplikacijama se kao referenca za pristup različitim objektima aplikacije koristi URL, parametar forme ili sesijski identifikator. Ako kontrola pristupa objektima web aplikacije nije ispravno sprovedena izmenom reference ostvaruje se neautorizovani pristup drugim objektima web aplikacije. Pri tom, objekti web aplikacije su obično razne datoteke, direktorijumi, zapisi u bazi podataka, različiti delovi i funkcionalnosti web aplikacije. Ova vrsta ranjivosti može se iskoristiti za: (i) eskalaciju privilegija koja se ostvaruje neautorizovanim pristupom sadržaju web aplikacije i (ii) pristup proizvoljnim datotekama i direktorijumima. Naime, korišćenjem reference napadač iskorišćava ovu ranjivost i koristi specijalni niz znakova pomoću kojih se proizvoljno kreće kroz direktorijume dok ne dođe do direktorijuma u kojem se nalazi datoteka kojoj želi da pristupi. Niz znakova koje napadač koristi su ".. /" ili ".. \" u zavisnosti od vrste web servera i aplikacije. Taj niz znakova predstavlja prečicu pomoću koje se može pozicionirati u proizvoljan direktorijum na web serveru i pristupiti datoteci koja se nalazi u tom direktorijumu. Automatizovani alati mogu uspešno otkriti ranjivost nekog parametra na korišćenje prečica za pristup proizvoljnim datotekama. Ti alati koriste različite kombinacije prečica kako bi pristupili konfiguracijskim datotekama na web serveru c:\boot.ini i /etc/passwd. Analizom programskog koda mogu se pronaći potencijalno ranjivi delovi koda na korišćenje prečica. Uz to se ispitivanjem ponašanja web aplikacije može utvrditi postoji li ili ne takva ranjivost.

FALSIFIKOVANJE ZAHTEVA

Sprovođenjem napada falsifikovanjem zahteva (**engl.** *Cross Site Request Forgery - CSRF* dalje u tekstu CSRF) narušava se poverenje između web aplikacije i korisnikovog web pretraživača. Cilj CSRF napada je slanje legitimnih

HTTP zahteva web aplikaciji kako bi se sprovela neka zlonamerna radnja [6]. Kada autorizovani korisnik pristupa sadržaju web aplikacije, web pretraživač automatski sa svakim HTTP zahtevom šalje i HTTP kolačić, koji u sebi sadrži i sesijski identifikator [7]. Većina web aplikacija za raspoznavanje autorizovanih korisnika oslanja se samo na dobijeni HTTP kolačić poslat od web pretraživača korisnika. Ovakvo ponašanje web aplikacije može se iskoristiti za sprovođenje CSRF napada. Naime, napadač može napraviti zlonamernu web stranicu, koja u sebi sadrži zlonamerni kod. Kada korisnik poseti takvu web stranicu zlonamernan kod će od korisnikovog web pretraživača zatražiti da sprovede neke dodatne HTTP zahteve i to bez korisnikovog znanja [6-7]. Za ostvarivanje dodatnih HTTP zahteva obično se koristi HTML tag za prikaz slike, kao izvor slike, vrednost parametra *src*, navodi se željeni URL koji se želi posetiti. Jedna od zaštitnih mera je umetanje slučajnih vrednosti unutar svake web stranice ili URL-a [6-7]. Te slučajne vrednosti se prilikom normalnog korišćenja web aplikacije šalju web aplikaciji, dok se na aplikativnoj strani obavlja provera, odgovaraju li poslate vrednosti stvarnim vrednostima trenutnog korisnika. Ako su vrednosti iste, zahtev se prihvata, inače se odbacuje. Prilikom CSRF napada web pretraživač ne šalje ove slučajne vrednosti, pa se zbog toga svi falsifikovani zahtevi odbacuju i time se onemogućava izvođenje CSRF napada.

CURENJE INFORMACIJA I NEISPRAVNO RUKOVANJE GREŠKAMA

Ovaj tip ranjivosti odaje informacije koje se mogu iskoristiti za omogućavanje drugih vrsta ranjivosti. Naime, osetljive informacije obično se otkrivaju kroz zaboravljene komentare koji se nalaze u okviru programskog koda ili HTML stranica. Čest je slučaj otkrivanja osetljivih informacija koje se nalaze u HTTP zaglavlju odgovora web servera. U okviru HTTP zaglavlja obično se nalaze informacije kao što su: vrsta i verzija web servera, i vrsta programskog jezika u kojem je napisana web aplikacija. Iako otkrivanje osetljivih informacija iz HTTP zaglavlja nije direktno vezano za ranjivosti web aplikacija, ipak te informacije mogu pomoći napadaču pri sprovođenju napada na web aplikaciju. U zaboravljenim komentarima se nalaze opisi različitih delova programskog koda, opis načina funkcionisanja neke programske skripte, mrežna imena servera na mreži i slične opisne informacije, kao i korisnička imena i lozinke koji su se koristili tokom razvoja web aplikacije. Ta korisnička imena i lozinke mogu biti važeći i nakon razvojne faze web aplikacije, pa ih napadač jednostavno može iskoristiti za prijavu na web aplikaciju. Sve ove informacije mogu napadaču biti od koristi, pa je zbog toga potrebno izbrisati sve suvišne i nepotrebne komentare iz programskog koda i HTML stranica. Automatizovanim alatima je moguće otkriti curenje ovakvih poverljivih informacija.

KOMPROMITOVANA AUTORIZACIJA I KONTROLA SESIJE

Autorizacija i kontrola sesije osnovni su bezbednosni mehanizmi koji osiguravaju bezbednost web aplikacije i štite je od napadača. Iskorišćavanjem ovih ranjivosti napadač može u potpunosti zaobići proveru identiteta i neautorizovano pristupiti sadržaju web aplikacije ili doći u posed korisničkih imena i lozinki, sesijskih identifikatora i drugih osetljivih podataka. Ranjivosti autorizacije se pojavljuju prilikom korišćenja slabih korisničkih lozinki. U njih ubrajamo kratke lozinke ili prazne lozinke, lozinke identične korisničkom imenu, lozinke koje se sastoje od uobičajenih reči ili imena koje se mogu naći u rečniku i slično. Otkrivanja korisničkih imena i lozinki metodom pretraživanja grubom silom (**engl. Brute Force**) predstavlja još jednu od napadačkih metoda. Ova metoda koristi se rečnikom podataka koji sadrži standardna korisnička imena i lozinke, kako bi se proizvelo na hiljade neispravnih upita u potrazi za ispravnim korisničkim imenom i lozinkom. Postoje dve osnovne vrste pretraživanja grubom silom [8]: (i) normalno pretraživanje grubom silom i (ii) reverzno pretraživanje grubom silom. Normalno pretraživanje grubom silom koristi jedno korisničko ime i veliki skup korisničkih lozinki. Za razliku od toga, reverzno pretraživanje grubom silom koristi jednu lozinku za veliki skup korisničkih imena. Dodatnu ranjivost predstavlja nepotrebno odavanje informacija prilikom neuspele autorizacije. Naime, prilikom neuspele autorizacije napadaču se mogu nepotrebno odati korisne informacije u vidu saopštenja ili upozorenja. Ranjivosti unutar mehanizma kontrole sesije obično omogućavaju napadaču da dođe do korisničkih sesionih identifikatora. U tom slučaju pribavljeni sesijski identifikatori iskorišćavaju se kako bi se pristupilo sadržaju web aplikacije sa pravima korisnika čiji su sesijski identifikatori kompromitovani. Na ovaj način se krađe identitet korisnicima.

NESIGURNA KRIPTOGRAFSKA POHRANA

Sve naprednije web aplikacije imaju potrebu čuvanja osetljivih podataka. Oni se obično čuvaju u bazi podataka, direktno na hard disku ili na nekom drugom mediju za skladištenje podataka na serveru. Kako bi se zaštitili navedeni podaci, oni se enkriptuju. Najčešći razlozi koji dovode do otkrivanja osetljivih podataka su: (i) spremanje osetljivih podataka u neenkriptiranom obliku, (ii) korišćenje kriptografskih algoritama iz kućne radinosti, (iii) neispravno korišćenje jakih kriptografskih algoritama, (iv) korišćenje dokazano slabih kriptografskih algoritama (MD5, SHA-1, RC3, RC4 i dr) i (v) loše upravljanje ključevima.

NESIGURNA KOMUNIKACIJA

Nesigurna komunikacija nastaje kada se osetljivi podaci između servera i klijenta prenose u nezaštićenom obliku. Svi osetljivi podaci tokom prenosa preko računarske mreže moraju biti u kriptovanom obliku, kako bi se osigurao integritet i tajnost podataka. Ako se tokom prenosa takvih podataka ne koristi enkripcija podaci su nezaštićeni na mreži. Za prenos osetljivih podataka web aplikacije koriste sigurnu verziju HTTP protokola HTTPS (**engl.** *Hipertext Transfer Protocol Secure*) protokol koji koristi SSL (**engl.** *Secure Sockets Layer*) za zaštitu podataka koji se prenose. Enkripciju je potrebno koristiti za prenos osetljivih podataka između korisnika i web servera, ali isto tako i za prenos osetljivih podataka između glavnog servera i ostali servera na mreži. Kako se sa svakim HTTP zahtevom šalje i sesioni identifikator, a u nekim slučajevima i korisničko ime i lozinka, neophodno je izvršiti enkripciju saobraćaja tokom cele sesije, a ne samo tokom prijave korisnika na web aplikaciju. Ukoliko se za prenos osetljivih podataka ne koristi enkripcija dobro pozicionirani napadač prisluškivanjem mreže, može doći u posed tih osetljivih podataka. Međutim, i ako se koristi enkripcija osetljivih podataka, web aplikacija je i dalje ranjiva na sve do sada spomenute ranjivosti. Naime, enkripcija osigurava da se podaci sigurno prenesu preko računarske mreže, ali ne štiti od ranjivosti unutar web aplikacija.

ALATI ZA ISPITIVANJE RANJIVOSTI WEB APLIKACIJA

Alati koji se koriste za ispitivanje ranjivosti web aplikacija zasnovani su na dva principa. Prvi je upoređivanje zahteva i odgovora sa poznatim obrascima ranjivosti, a drugi je nasumično ispitivanje odnosno generisanje nasumičnih ulaznih parametara za aplikaciju uz praćenje ponašanja aplikacije. Prvi način naziva se *glass-box* ispitivanje, jer su korisniku vidljivi procesi i obrasci koji se testiraju, a drugi način naziva se *black-box* ispitivanje, jer su ulazi i izlazi nevidljivi korisniku. Neki od alata za ispitivanje ranjivosti su: Nikto, Wapiti, Skipfish, W3af. Ovi alati za ispitivanje ranjivosti web aplikacija su besplatni alati otvorenog koda. Međutim, ni jedan alat ne poseduje dovoljno funkcionalnosti kako bi pronašao sve ranjivosti određene web aplikacije, tako da se preporučuje upotreba kombinacije alata.

ZAKLJUČAK

U radu su opisane najučestalije i najkritičnije ranjivosti web aplikacija. Kroz primere je prikazano kako nastaju ranjivosti i kako se iskorišćavaju. Prema opisima ranjivosti može se zaključiti da je glavni razlog nastanka ranjivosti

nedovoljno iskustvo programera i administratora u dizajniranju web aplikacija. Razlog nastanka svih propusta predstavlja loše programsko rešenje bezbednosnih mehanizama ili izostanak nekih ključnih bezbednosnih metoda. Ranjivi web sajtovi obično odaju previše osetljivih informacija kroz opise grešaka ili kroz nezaštićene delove. Napadači iskorišćavaju takve propuste kako bi izveli napad na web aplikaciju sa ciljem da kompromituju samu aplikaciju. U zadnje vreme napadači sve više koriste ranjivosti kojima ne napadaju direktno aplikaciju, nego korisnike.

Ljudske greške i propusti sistema tokom 2012. godine u Sjedinjenim Američkim Državama uzrokovali su skoro dve trećine evidentiranih povreda podataka, dok su zlonamerni napadi iznosio 47% zabeleženih prekršaja ili su bili odgovorni za više od jedne trećine, odnosno 33,8% povrede podataka korisnika. U svetu je samo tokom 2011. godine napadnuto i povređeno 232,4 miliona identiteta i ovi napadi su usmereni na korisničke podatke koji se mogu iskoristiti za prevaru [9].

LITERATURA

- [1] The Three Tenets of Cyber Security. U.S. Air Force Software Protection Initiative. Retrieved 2009-12-15
- [2] P. Hope, B. Walther, Web Security Testing Cookbook. Sebastopol, O'Reilly Media, str. 128, 2008.
- [3] J. Grossman, Cross-Site Scripting Worms and Viruses: The Impending Threat and the Best Defense, WhiteHat Security, str. 20, 2008.
- [4] K. Deltchev, New Web 2.0 Attacks. B.Sc.Thesis. Ruhr-University Bochum, 2010.
- [5] J. M. Alonso, R. Bordon, M. Beltran, A. Guzman, LDAP Injection Techniques, 11th IEEE Singapore International Conference on Communication Systems, Guangzhou, str. 980-986, 2008.
- [6] J. Burns, Cross Site Request Forgery: An Introduction To A Common Web Weakness, Information Security Partners, LLC., 2005.
- [7] A. Barth, C. Jackson, J. C. Mitchell, Robust Defenses for Cross-Site Request Forgery, Proceedings of the 15th ACM Conference on Computer and Communications Security - CCS'08, str. 75-88, 2008.
- [8] C. Paar, P. Jan, P. Bart, Understanding Cryptography: A Textbook for Students and Practitioners, New York, Springer, 2010.
- [9] <http://www.indefenseofdata.com/data-breach-trends-stats/>

UDK: 622.361:66.0(045)=861

STRUČNI RAD

Oblast: Priprema mineralnih sirovina

**TEHNOLOGIJA PRERADE GLINA SA
LOKALITETA DUŠANOVAC KOD NEGOTINA**

**TECHNOLOGY FOR PROCESSING CLAY FROM
DUŠANOVAC SITE NEAR NEGOTIN**

Daniela Urošević¹, Vojka Gardić¹, Miroslava Maksimović¹, Ivana Jovanović¹

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

Zeleni bulevar 35, Bor 19210

Izvod

U radu je dat prikaz tehnologije dobijanja opekarskih proizvoda (cigle), preradom gline sa lokaliteta Dušanovac kod Negotina. Izvršenom fizičko-hemijskom karakterizacijom dostavljenih uzoraka gline, u laboratorijama IRM-a, dokazano je da kvalitet gline koja pripada navedenom lokalitetu, odgovara zahtevima opekarske industrije, što je uslovalo definisanje tehnologije, koja već zauzima značajno mesto u svetskoj industriji prerade ove vrste glina.

Način odabira adekvatne tehnologije za pripremu i preradu gline uslovljen je njenim fizičkim, mehaničkim i hemijskim karakteristikama. Kao glavne tehnološke faze prerade izdvajaju se: priprema gline postupcima usitnjavanja i mlevenja, oblikovanje u ekstruderima, faza sušenja i pečenja gline. Svaka od navedenih tehnoloških faza zahteva i adekvatnu opremu određenih karakteristika u pogledu zadovoljenja predviđenog kapaciteta prerade, u koje se ubraja: drobilica, mešač, mlin, ekstruder, auto sekač, tunelske sušnice.

Ključne reči: gline, cigla, tehnologija prerade glina

Abstract

The technology of obtaining building materials (bricks) by manufacture of clay from the Dušanovac site near Negotin is given in this paper. According to physical-chemical characterization of the submitted samples of clay, in the laboratories of IRM, it has been proven that the quality of clays belonging to the aforementioned site, suits the requirements of the brick industry, which resulted the definition of the technology that already occupies an important place in the global industry of processing of these types of clay.

¹ E-mail: daniela.urosevic@irmbor.co.rs

The way of selecting of appropriate technology for the preparation and processing of clay is conditioned by its physical, mechanical and chemical properties. Major technological processing stages are: preparing the clay by grinding and milling processes, design of the extruder, the phase of drying and firing clay. Each of these technological stages requires adequate equipment with specific characteristics in processing capacity, which also includes: crusher, mixer, grinder, extruder, auto cutter, tunnel dryer.

Keywords: clay, brick, clay processing technology

UVOD

PRIMENA OPEKARSKO-CIGLARSKIH GLINA

Opekarske gline, predstavljaju sve one vrste glina (sirovina) koje se koriste za proizvodnju grube keramike. Ove gline su "slabijeg" kvaliteta, koje pre svega nalaze primenu u opekarskoj industriji i ponekad u cementnoj industriji [1].

Boja pečenih opekarskih proizvoda, u osnovi zavisi od mineraloškog sastava sirovine, temperature i uslova pečenja [1]. Dominantan uticaj na boju opekarskih proizvoda ima gvožđe. Opekarske sirovine sadrže gvožđe uglavnom u obliku minerala iz grupe hidroksida (getit, limonit). U procesu pečenja hidroksid gvožđa se transformiše u hematit, koji keramičkom telu daje crvenu boju [2]. Iz rezultata ispitivanja zaključuje se da je boja pečenih proizvoda intenzivno crvena [1,2].

Ne postoji građevinski materijal koji bi mogao da zameni opekarske proizvode u pogledu čvrstoće, poroznosti, izolacionih sposobnosti, postojanosti, sigurnosti protiv požara, otpornosti na atmosferilije i koroziju, postojanosti oblika i mogućnosti za ostvarenje raznolikosti pri gradnji [3].

FIZIČKO-HEMIJSKE KARAKTERISTIKE GLINE SA LOKALITETA DUŠANOVAC KOD NEGOTINA

Od strane Projektnog biroa za geologiju, laboratoriji za PMS i ispitivanja, dostavljeni su uzorci gline dobijeni iz istražnih bušotina, sa lokaliteta Dušanovac kod Negotina sa oznakama: D-11 (1-35 m); D-12 (8,6-49 m); D-13 (1,5-48 m); D-14 (0,6-41 m); D-15; (0,2-44 m); D-16 (0,3-41 m) i D-17(1-43 m) i D-18 (0,3-43,5 m).

Izuzimanjem proračunatih masa, uz očuvanje reprezentativnosti uzoraka, iz navedenih intervala istražnih bušotina, formirani su kompozitni uzorci sive i žute gline, tabela 1.

Karakteristične klase krupnoće (-0,212 +0,020 mm i -0,020+0 mm) prosejanih kompozitnih uzoraka, hemijski su analizirane na sledeće elemente: Al₂O₃; TiO₂; SiO₂; Fe₂O₃; CaO; % G.Ž i H₂O.

Po osnovu procentualnog sadržaja gore navedenih glavnih oksida u glini, definisana je moguća primena iste u industrijske svrhe za izradu određenih proizvoda.

Na formiranim kompozitnim uzorcima žute i sive gline, određivan je granulometrijski sastav, Standardnom akreditovanom metodom: *Metoda prosejavanja na laboratorijskim sitima od tanke mreže, od žice i perforirane metalne ploče (SRPS ISO 2591-1:1992)*.

Tabela 1. Formirani kompozitni uzorci

Oznaka bušotine	Kompozitni uzorak	Interval (m)
A	B	C
D-11	Žuti	1-25
	Sivi	25-35
D-12	Žuti	8,6-22
	Sivi	22-49
D-13	Žuti	1,5-17
	Sivi	17-48
D-14	Žuti	0,6-18,8
	Sivi	18,8-41
D-15	Žuti	0,2-12
	Sivi	12-44
D-16	Žuti	0,3-21
	Sivi	21-41
D-17	Žuti	1-17
	Sivi	17-43
D-18	Žuti	0,3-25
	Sivi	25-43,5

OPIS TEHNOLOGIJE DOBIJANJA OPEKARSKE CIGLE

Tehnološki proces planirane proizvodnje opekarskih proizvoda-cigle, na predmetnoj lokaciji može se podeliti na: eksploataciju gline, tehnologiju pripreme gline i finalnu preradu gline.

Tehnološki proces počinje eksploatacijom gline koji će se obavljati u neposrednoj blizini pogona za pripremu.

Tehnologija pripreme gline može se podeliti na:

- grubo usitnjavanje u drobilici sa valjcima,
- homogeniziranje formirane mešavine gline i vode u mešaču,
- fino usitnjavanje - mokro mlevenje u mlinu za fino usitnjavanje materijala,

- ekstruziono mešanje,
- oblikovanje gline u ekstruderu,
- sečenje nepečene cigle u auto sekaču.

Finalna prerada gline se može podeliti na:

- sušenje,
- slaganje osušenih poluproizvoda,
- pečenje opekarskih proizvoda u Hofmanovoj peći i
- paletiziranje pečene robe (pakovanje).

Iskopana glina se utovarivačem transportuje u dodavač (hranilicu). Pomoću trakastog transportera se glina doprema u drobilicu sa valjcima na grubo usitnjavanje. U toku procesa usitnjavanja, moguće je drobljenje i mešanje više različitih vrsta gline, čime se obezbeđuju željene karakteristike gline u smislu tvrdoće i boje. Čestice gline se u procesu primarnog drobljenja usitnjavaju do krupnoće od 3-5 mm. Tako usitnjena glina se kvasi vodom pomoću prskalica i homogenizuje u mešaču, odakle odlazi na fino usitnjavanje u mlinu sa valjcima (mokro mlevenje). Fino usitnjena glina do krupnoće od 1-2 mm, se uz dodatak aditiva ponovo homogenizuje u ekstruzionom mešaču gde se ujedno i vrši priprema za presovanje (oblikovanje proizvoda). Presovanje se odvija u ekstruderu gde se pod pritiskom formira u željeni oblik cigle, potiskivanjem kroz šablon. Dugački elementi se seku u auto sekaču za sečenje nepečene cigle.

Izrezani elementi se suše u kanalskim sušnicama koje traje od 18 do 40 sati u zavisnosti od oblika proizvoda u vlažnoj atmosferi na temperaturi od 80 do 120°C. Na ovaj način se omogućava zonalno sušenje cigle, koje kreće iz unutrašnjih delova cigle ka spoljašnjim delovima. Na ovaj način se spoljašnja površina štiti od pojave pukotina i otklonjena je mogućnost pojave zaostale vlage unutar same cigle. Osušeni proizvod se zatim peče na temperaturi od 900 do 1200°C. Tokom procesa pečenja, čestice gline i nečistoća trpe fizičke promene (lepe se), čime se u potpunosti menjaju karakteristike krajnjeg proizvoda u odnosu na sirovinu i dobija se proizvod koga karakteriše velika čvrstoće i dugotrajna stabilnost i otpornost na vremenske prilike.

Pečenje cigle se vrši u Hofmanovoj tunelskoj peći, koja kao gorivo može da koristi naftu, prirodni gas ili ugalj, a otpadna toplota od peći se koristi za potrebe procesa sušenja.

Šema tehnološkog procesa dobijanja opekarske gline data je na slici 1.

Grubo usitnjavanje

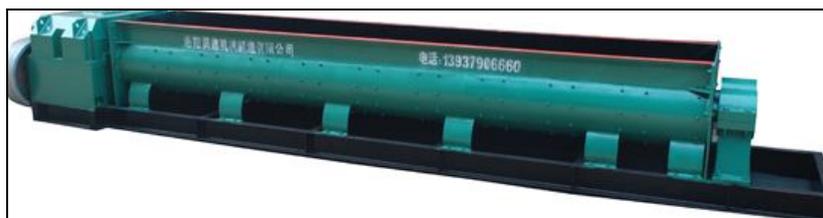
Za grubo usitnjavanje gline koristeće se drobilica sa valjcima GS 80 x 60, dimenzija 5275 x 1940 x 1353, kapaciteta $\leq 32 \text{ m}^3/\text{h}$, snage motora 22 kW. Moguće je podešavanje rastojanja između valjaka do 3mm, u zavisnosti od finoće mlevenja. Izgled drobilice je dat na slici 3.



Sl. 3. Drobilica sa valjcima GS 80 x 60

Mešać

Za mešanje materijala, gline i vode sa ciljem stvaranja homogene smeše, predviđen je mešać JSL3500×360, kapaciteta 35-60 m^3/h , dužine 2800 mm, sa brojem obrtaja osovine 36-42 ob/min, snage motora 37 kW, slika 4.



Sl. 4. Mixer

Fino usitnjavanje

Fino usitnjavanje se odvija na mokro u mlinu GS120 x 100, prikazanom na slici 5, predviđenom za tretiranje ove vrste materijala izlazne krupnoće manje od 2 mm. Primenom ovog mlina poboljšava se plastičnost i homogenost, što ima značaja i uticaja na kvalitet opeke.



Sl. 5. Mlin za mokro mlevenje

Ekstruzioni mešać za pripremu materijala

Ekstruzioni mikser služi za pripremu kompaktne homogene mešavine za oblikovanje gline. Usvojen je mikser DMP50A, kapaciteta 20-45 m³/h, snage motora 55 kW, prikazan na slici 6.



Sl. 6. Ekstruzioni mešać

Vakuum ekstruder

Za presovanje tj. sabijanje materijala pod pritiskom, sa ciljem oblikovanja finalnog proizvoda-cigle, primenjivaće se vakuum ekstruder, JKR40/40-F20, kapaciteta 9 000-12 000 komada cigle na čas, snage motora 45 kW, pritiska 2 MPa. Izlazni proizvod je nepečena cigla sa sadržajem vlage od 12-20% i indeksom plastičnosti od 7 do 17. Vakuum ekstruder je prikazan na slici 7.



Sl. 7. *Vakuum ekstruder*

Auto sekač za sečenje nepečene cigle

Za sečenje dugačkih komada nepečene cigle na odgovarajuće dimenzije, koristeće se automatski sekač prikazan na slici 8, snage motora 5,1 kW.



Sl. 8. *Auto sekač za sečenje nepečene cigle*

Tunelske sušnice

Za sušenje gline predviđene su tunelske sušnice sa 10 tunela, slika 9.



Sl. 9. *Tunelske sušnice*

Pečenje gline

Za pečenje gline predviđene su Hofmanove peći sa 40 "soba" koje će biti u funkciji 24 h s obzirom na njihovu namenu.

Peć je tunelska i u njoj se nalazi kompozicija vagona, koja se pomiče u zadanim intervalima zavisno od proizvoda koji se peče. Kad se na ulazu u peć zakači novi vagon za kompoziciju, mehanizam za povlačenje povlači kompoziciju, a na izlazu peći izlazi vagon s pečenom robom. Gorivo za pečenje opeke je prirodni gas. Iz dela peći u kojem se opeka hladi odsisava se vazduh zagrejan hlađenjem opeke, te uvodi u sušaru gde se otpadni gas iz peći koristi za sušenje opeke, slika 10.



Sl. 10. Hofmanova peć sa sobama za pečenje cigle

ZAKLJUČAK

Glina predstavlja osnovnu sirovinu za dobijanje pečenih glinenih kompozitnih materijala, građevinske opeke i crepa, koja spada u manje kvalitetne gline, rastresitog je stanja i nije teška za primarnu preradu, ali je zbog ostalih bitnih tehnoloških karakteristika neophodna dobra homogenizacija.

Za glinu sa lokaliteta Dušanovac kod Negotina može se konstantovati visoko maseno učešće finih frakcija ispod 0,020 mm, što je ako se uzmu u obzir karakteristike i vrsta sirovine, opravdano.

Kvalitet glina, u našem slučaju ilitsko-smetitske gline, tj. njena moguća primena u industrijske svrhe, može se sagledati iz analiza hemijskog sastava na frakciji $>0,020$ mm. S tim u vezi, ona se može koristiti u opekarskoj industriji u kojoj nisu definisani posebni zahtevi za kvalitetom iste.

Imajući u vidu zastupljenost minerala gline u veoma finim frakcijama, ispod 0,020 mm, treba težiti ka iznalaženju načina i tehnologije za povećanje udela

(masenih učešća) najfinijih frakcija, ispod 0,004 mm, odnosno povećanja sadržaja Al_2O_3 , preko 30%, smanjenje Fe_2O_3 do minimum 0,6%, smanjenje CaO do 0,8%, čime ova glina dobija veću upotrebnu vrednost u svim granama industrije. Sadržaj SiO_2 treba održavati na sadašnjem nivou.

Prisutnost SiO_2 u izvesnoj meri je poželjna, jer SiO_2 deluje kao sredstvo koje smanjuje skupljanje.

Prisutnost želenog oksida u izvesnoj meri utiče na temperaturu pečenja, tj. snižava je jer deluju kao topitelji. Prisutnost oksida gvožđa daje proizvodu i karakterističnu crvenu boju. Humusne i druge organske primese pečenjem sagorevaju i utiču na poroznost proizvoda.

Prisutnost topljivih soli je nepoželjna jer uzrokuje tzv. "iscvetavanje", koje se manifestuje izbijanjem soli na površinu proizvoda, opeke, odnosno samoga zida izrađenog od opeke (prodire čak i kroz malter). Iscvetavanju su posebno sklone soli u obliku alkalnih i zemnoalkalnih hlorida i nitrata.

Predložena tehnologija pripreme i prerade gline sa navedenog lokaliteta, kao i izabrana oprema zadovoljiće potrebe za godišnjim kapacitetom prerade i dobijanje opekarske cigle.

LITERATURA

- [1] Denis Težak, Proizvodnja kvaliteta i ispitivanje opekarske gline, Seminarski rad, Varaždin, lipanj 2011.
- [2] www.claymachinery.com
- [3] www.baosheamachine.com

UDK: 622.73(045)=861

STRUČNI RAD

Oblast: Priprema mineralnih sirovina

**KORELACIJA IZMEĐU SADRŽAJA I ISKORIŠĆENJA
BAKRA U FLOTACIJSKOM KONCENTRATU IZ POGONA
"VELIKI KRIVELJ" U FUNKCIJI FINOĆE MLEVENJA**

**CORRELATION BETWEEN GRADE AND RECOVERY OF
COPPER CONCENTRATE FROM "VELIKI KRIVELJ" FLOTATION
PLANT IN THE FUNCTION OF GRINDING FINENESS**

Ivana Jovanović¹, Dejan Todorović², Igor Miljanović³, Daniela Urošević¹,
Srđana Magdalinović¹, Slađana Krstić¹

¹Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni bulevar 35, Bor

²Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina,
Franše d'Eperea 86, Beograd

³Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, Đušina 7, Beograd

Izvod

Cilj istraživanja čiji su rezultati prikazani u ovom radu bio je da se utvrdi zavisnost tehnoloških pokazatelja flotacijske koncentracije bakra od finoće mlevenja rude iz ležišta "Veliki Krivelj", kao i da se ustanovi korelacija između iskorišćenja i sadržaja bakra u koncentratu. U toku ispitivanja procentualna masena učešća klase -0,074 mm iznosila su 58%, 60% i 65%. Na osnovu dobijenih rezultata utvrđeno je da se najveća iskorišćenja postižu pri finoći mlevenja od 65% -0,074 mm, dok je najbolji kvalitet koncentrata ostvaren pri finoći mlevenja od 60% -0,074mm. Međusobna zavisnost iskorišćenja i sadržaja bakra u koncentratu koji su dobijeni u ovim ispitivanjima može se prikazati polinomnom funkcijom trećeg stepena.

***Ključne reči:** bakar, flotacijska koncentracija, finoća mlevenja, iskorišćenje*

Abstract

The aim of the research whose results are presented in this paper was to determine the dependence of technological indicators of copper flotation on grinding fineness of ore from the deposit "Veliki Krivelj", as well as to establish concentrate grade-recovery correlation. During this testing, the percentage mass share of class -0.074 mm was 58%, 60% and 65%, respectively. On the basis of the obtained results, it was found that the highest recovery of copper was achieved at grinding fineness of 65% -0.074 mm, and the best quality of concentrate at grinding fineness of 60% -0.074 mm. Interdependence of copper concentrate grade and recovery can be presented by polynomial function of the third degree, in this case.

¹ E – mail: ivajo7@gmail.com

Keywords: copper, flotation concentration, grinding fineness, recovery

UVOD

Ležište bakra Veliki Krivelj pripada porfirskim ležištima velikih razmera [1,2]. U ekonomski značajnom delu ležišta Veliki Krivelj glavni minerali nosioci bakra su halkopirit i nešto ređe halkozin i kovelin. Halkopirit je u većini slučajeva srastao za kvarc, a nešto manje za pirit. Od minerala jalovine najčešće se sreću: kvarc, plagioklas, hlorit, biotit, sericit i dr., pri čemu se plagioklasi zahvaćeni procesom raspadanja pretvaraju u kalcit, sericit i glinovite minerale.

Veličina zrna halkopirita u ležištu je takva da se najveći broj zrna kreće u granicama od 10÷200 µm, pri čemu i do 60% maseno čini halkopirit čija je krupnoća u području od 30÷100 µm. Sličnu granulometrijsku karakteristiku imaju i zrna halkopirita vezana za pirit, dok se pirit pojavljuje u nešto krupnozrnijoj formi [3].

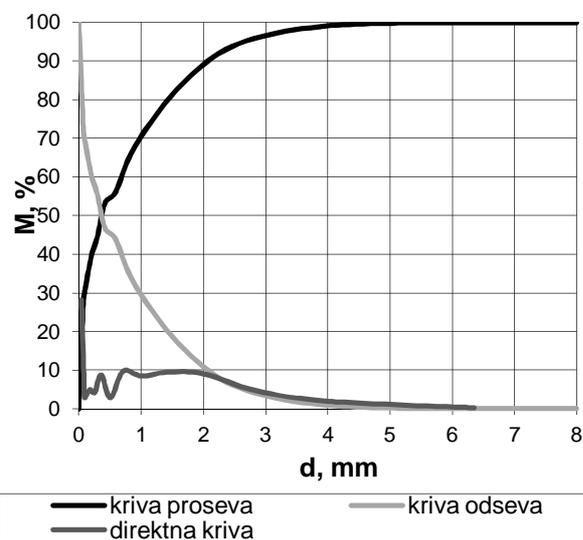
Prema tome, da bi se omogućio dovoljan stepen oslobodjenosti mineralnih zrna nosilaca bakra, a samim tim i efikasan proces flotacije, neophodno je primeniti dalekosežno usitnjavanje. S druge strane, treba voditi računa o tome da se ruda previše ne usitni, jer bi se u tom slučaju pogoršali uslovi flotiranja, uz nepotrebno povećanje utroška energije [4,5].

Cilj istraživanja koje je tema ovog rada bio je da se ustanovi kako finoća mlevenja utiče na efikasnost procesa flotacijske koncentracije bakra iz rude ležišta Veliki Krivelj. Osim toga, utvrđena je međusobna zavisnost iskorišćenja bakra u koncentratu i kvaliteta koncentrata pri različitim finoćama mlevenja.

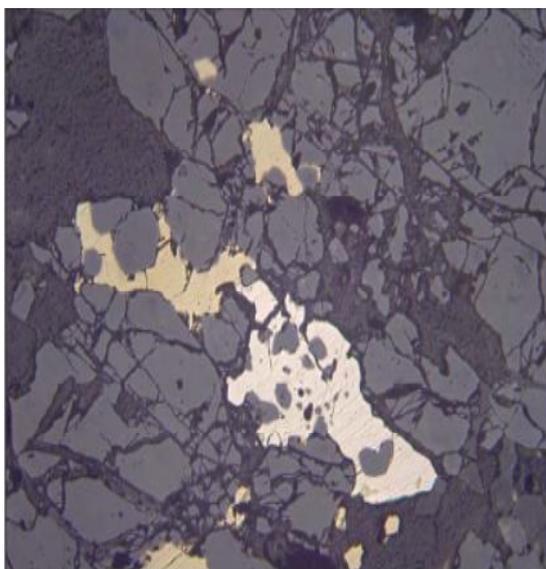
SIROVINE

Sirovina koja je korišćena u ovim ispitivanjima je predstavljala dekadni uzorak, odnosno kompozit koji je sastavljen od uzoraka uzimanih tokom deset dana u pogonu flotacije Veliki Krivelj. Uzorci su uzeti na izlazu mlina sa šipkama. Granulometrijski sastav sirovine prikazan je na slici 1.

Na osnovu mineraloških ispitivanja utvrđeno je da uzorak sadrži sledeće glavne minerale: pirit, halkopirit, halkozin, granat, kvarc, kalcit, kovelin, magnetit, pirotin i sfalerit. Na slici 2 dat je mikroskopski prikaz prorastanja pirita i halkopirita sa granatom iz ispitivanog uzorka.



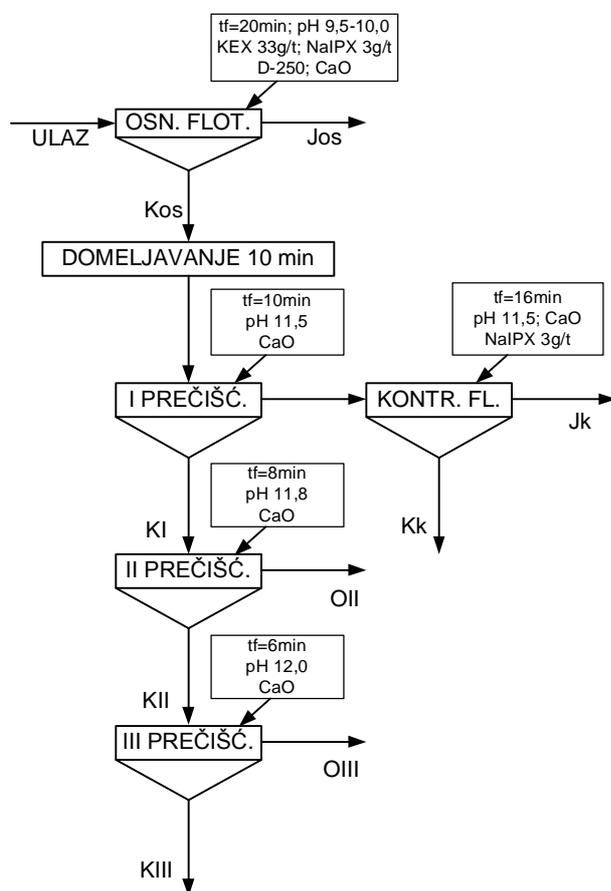
SI. 1. Grafički prikaz granulometrijskog sastava uzorka (izlaz iz mlina sa šipkama)



SI. 2. Nepravilni agregati pirita i halkopirita prorastaju sa mineralom jalovine granatom (odbijena svetlost, II N, širina snimka 0,5 mm)

EKSPERIMENTALNI POSTUPAK

Na kompozitnom uzorku urađeni su opiti meljivosti u laboratorijskom mlinu sa kuglama. Pri tome su određena vremena mlevenja koja su bila potrebna da se sirovina usitni na krupnoću 58%, 60% i 65% klase $-0,074$ mm. U skladu sa odgovarajućom finoćom mlevenja izvršena su tri eksperimenta flotacijske koncentracije prema šemi prikazanoj na slici 3. Kao kolektori korišćeni su kalijum etil ksantat i natrijum izopropil ksantat, koji su inače u upotrebi u pogonu flotacije Veliki Krivelj. Kao regulator sredine korišćen je kreč, a kao penušač D-250.



Sl. 3. Tehnološka šema izvođenja eksperimenata

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati eksperimentalnih ispitivanja prikazani su u tabelama 1, 2 i 3.

Tabela 1. Bilans proizvoda flotacijske koncentracije pri finoći mlevenja 58% –74 μ m

Proizvod	M, %	Sadržaj, %		Iskorišćenje, %	
		Cu	S	I _{Cu}	I _S
U [§]	100,00	0,26	2,18	100,00	100,00
Jos	91,82	0,058	0,3	20,14	12,64
Kos	8,18	2,58	23,29	79,86	87,36
OI	3,55	0,33	15,08	4,44	24,59
Kk	0,56	1,45	32,16	3,06	8,24
Jk	3,00	0,122	11,90	1,38	16,36
KI	4,62	4,31	29,60	75,42	62,77
OII	1,69	0,37	28,40	2,36	22,01
KII	2,93	6,59	30,30	73,06	40,76
OIII	1,08	0,69	25,00	2,82	12,35
KIII	1,86	10,01	33,37	70,24	28,41

[§]U - ulaz, Jos - jalovina osnovnog flotiranja, Kos - osnovni koncentrat, Kk - kontrolni koncentrat, Jk - jalovina kontrolnog flotiranja, OI, OII, OIII - otoci prvog, drugog i trećeg prečišćavanja, KI, KII i KIII - koncentracije prvog, drugog i trećeg prečišćavanja

Tabela 2. Bilans proizvoda flotacijske koncentracije pri finoći mlevenja 60% –74 μ m

Proizvod	M, %	Sadržaj, %		Iskorišćenje, %	
		Cu	S	I _{Cu}	I _S
U	100,00	0,30	2,41	100,00	100,00
Jos	92,93	0,049	0,46	15,16	17,77
Kos	7,07	3,60	27,96	84,84	82,23
OI	4,49	0,53	24,12	7,94	45,03
Kk	0,59	2,44	34,77	4,83	8,59
Jk	3,90	0,24	22,50	3,11	36,44
KI	2,58	8,94	34,64	76,89	37,19
OII	1,13	0,87	37,19	3,27	17,45
KII	1,45	15,20	32,65	73,62	19,75
OIII	0,39	1,52	32,36	1,97	5,24
KIII	1,07	20,20	32,76	71,65	14,51

Tabela 3. Bilans proizvodnje flotacijske koncentracije pri finoći mlevenja 65% –74 μ m

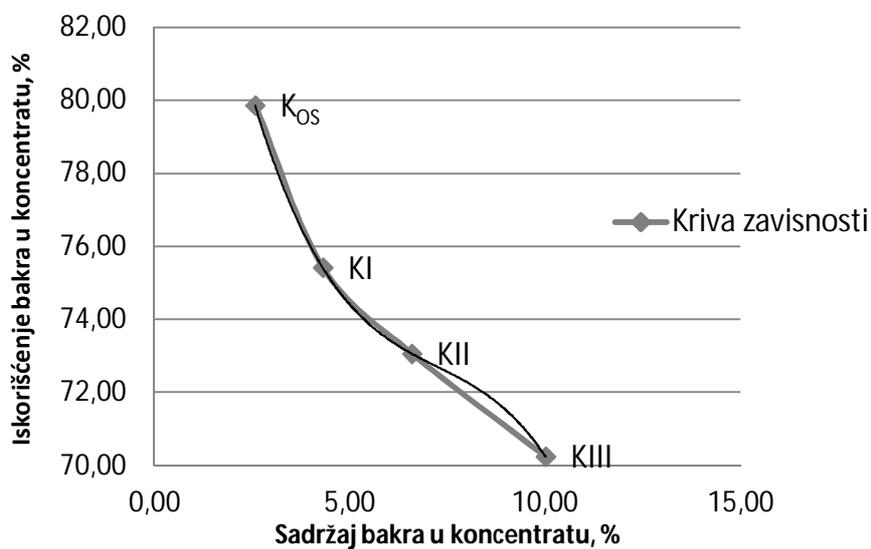
Proizvod	M, %	Sadržaj, %		Iskorišćenje, %	
		Cu	S	I _{Cu}	I _S
U	100,00	0,26	2,20	100,00	100,00
Jos	89,54	0,037	0,10	12,57	4,06
Kos	10,46	2,20	20,21	87,43	95,94
OI	3,63	0,26	12,47	3,63	20,57
Kk	0,48	1,29	26,00	2,36	5,70
Jk	3,15	0,106	10,40	1,27	14,87
KI	6,82	3,24	24,34	83,79	75,37
OII	3,24	0,51	20,70	6,25	30,45
KII	3,58	5,70	27,63	77,54	44,92
OIII	1,46	0,74	21,50	4,13	14,28
KIII	2,12	9,13	31,86	73,41	30,63

Na osnovu prikazanih rezultata (tabele 1, 2 i 3) može se uočiti da sa povećanjem finoće mlevenja sirovine dolazi do povećanja iskorišćenja bakra kako u osnovnom, tako i u definitivnom koncentratu. Ovo povećanje iskorišćenja zapaža se već pri porastu finoće mlevenja za 2% (sa 58% na 60% – 0,074 mm), i iznosi 4,98% u osnovnom i 1,41% u definitivnom koncentratu bakra. Sa daljim rastom finoće mlevenja na 65% –0,074 mm iskorišćenje bakra se uvećava na 87,43% u osnovnom koncentratu, dok u definitivnom koncentratu iznosi 73,41%.

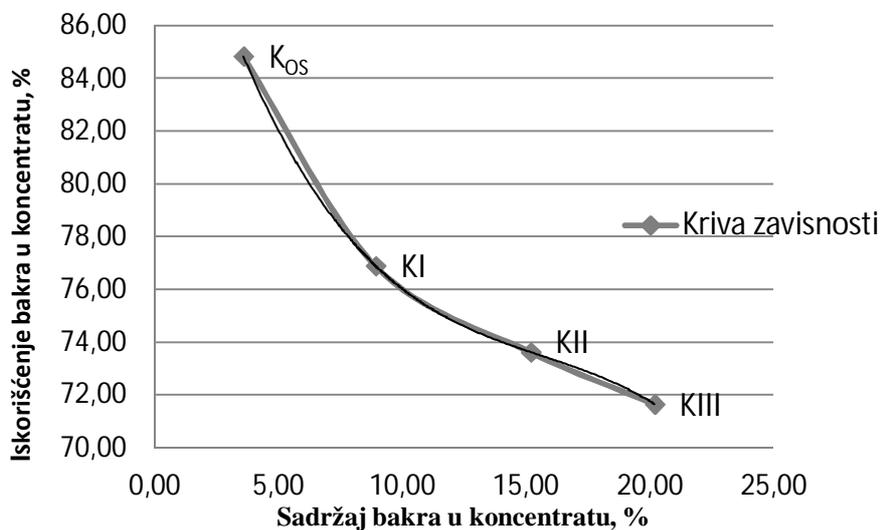
Ovi podaci ukazuju na to da stepen oslobođenosti minerala halkopirita ima uticaja na vrednosti iskorišćenja bakra, pogotovo kada je reč o osnovnom koncentratu. Ipak, povećanje iskorišćenja bakra u definitivnom koncentratu nije veliko, svega nešto više od 3%.

Najbolji kvalitet definitivnog koncentrata ostvaren je pri finoći mlevenja od 60% –0,074 mm i iznosi 20,20% Cu.

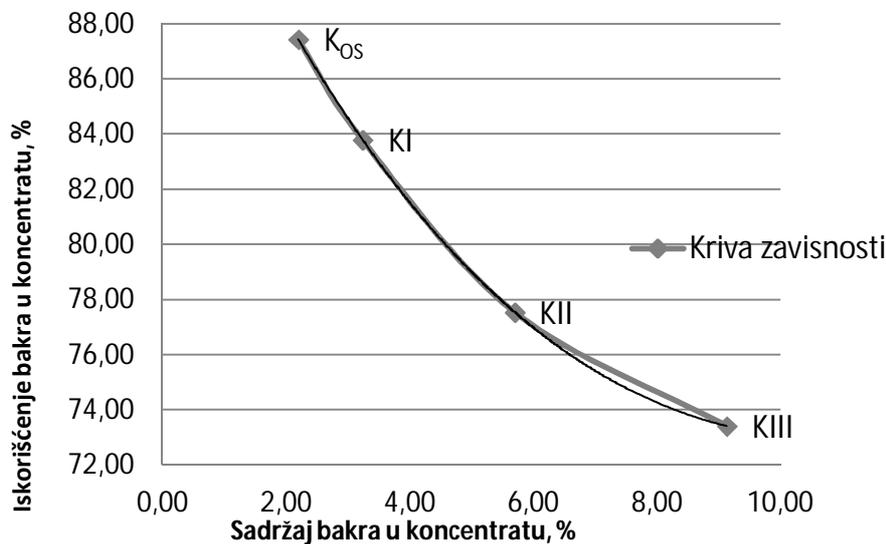
Slike 4, 5 i 6 prikazuju međusobnu zavisnost sadržaja bakra i iskorišćenja u koncentratu bakra.



Sl. 4. Kriva zavisnosti sadržaja i iskorišćenja bakra pri finoći mlevenja 58%–74µm



Sl. 5. Kriva zavisnosti sadržaja i iskorišćenja bakra pri finoći mlevenja 60%–74µm



Sl. 6. Kriva zavisnosti sadržaja i iskorišćenja bakra pri finoći mlevenja 65%–74 μ m

Korelacija između sadržaja i iskorišćenja bakra u koncentratu ostvarenih u ovim ispitivanjima može se matematički dosta dobro predstaviti polinomnim funkcijama trećeg stepena. Jednačine koje opisuju ovu međusobnu zavisnost su sledeće:

- pri finoći mlevenja 58% –0,074 mm:

$$y = -0,0464x^3 + 1,0077x^2 - 7,822x + 94,13;$$

- pri finoći mlevenja 60% –0,074 mm:

$$y = -0,0043x^3 + 0,2035x^2 - 3,4986x + 95,00;$$

- i pri finoći mlevenja 65% –0,074 mm:

$$y = -0,0068x^3 + 0,3499x^2 - 5,2507x + 97,36;$$

gde je:

y – iskorišćenje bakra u koncentratu

x – sadržaj bakra u koncentratu.

ZAKLJUČAK

Glavni minerali nosioci bakra u ležištu "Veliki Krivelj" su: halkopirit, a nešto ređe halkozin i kovelin. Da bi se omogućio dovoljan stepen oslobođenosti mineralnih zrna nosilaca bakra a samim tim i efikasan proces flotacije neophodno je primeniti dalekosežno usitnjavanje.

Prema prikazanim rezultatima može se konstatovati da se u ovom slučaju najbolja iskorišćenja bakra u koncentratu dobijaju pri finoći mlevenja od 65% –0,074 mm. Najveći sadržaj bakra u definitinom koncentratu ostvaren je pri finoći mlevenja 60% –0,074 mm. Korelacija između iskorišćenja i sadržaja bakra u koncentratu može se predstaviti u vidu polinomnih funkcija trećeg stepena.

Ispitivanja se mogu nastaviti u pravcu iznalaženja optimalne finoće mlevenja, odnosno u pravcu proširenja opsega finoća mlevenja.

ZAHVALNOST

Ovaj rad je proistekao kao rezultat Projekta TR 33007 "Implementacija savremenih tehničko-tehnoloških i ekoloških rešenja u postojećim proizvodnim sistemima Rudnika bakra Bor i Rudnika bakra Majdanpek" i Projekta TR 33023 "Razvoj tehnologija flotacijske koncentracije minerala bakra i plemenitih metala radi postizanja boljih tehnoloških rezultata", koje finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, na čemu im se autori ovom prilikom srdačno zahvaljuju.

LITERATURA

- [1] M. Bugarin, M. Maksimović, V. Ljubojev: Rezerve bakra i zlata u istražno-eksploatacionom polju RTB-a Bor (Copper and Gold Reserves in the Exploratory-mining Field of RTB Bor), Rudarski radovi 3/2012 (2012), str. 1-16
- [2] M. Bugarin, V. Marinković, V. Gardić, G. Slavković: Istorijat istraživanja i geološka građa borskih ležišta bakra (History of Investigation and Geological Structure of the Bor Copper Deposits), Rudarski radovi 1/2011 (2011), str. 103-114
- [3] Tehnička dokumentacija Rudarsko-topioničarskog basena Bor

- [4] S. Milošević: Flotacijska koncentracija – Teorijske osnove flotiranja, Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beogradu, Bor, 1992, p. 211
- [5] S. Magdalinović, D. Urošević, S. Petković: Uticaj finoće mlevenja na iskorišćenje bakra u osnovnom koncentratu (The Effect of Grinding Fineness on Copper Recovery in Basic Concentrate), Rudarski radovi 1/2010 (2010), str. 1-12

UDK: 546.682:628.477(045)=861

PREGLEDNI RAD

Oblast: Reciklaža metala

DOBIJANJE INDIJUMA IZ OTPADNIH LCD MONITORA

RECOVERY OF INDIUM FROM WASTE LCD MONITORS

Suzana Dragulović¹, Dragana Božić¹, Milan Gorgievski²,
Ljiljana Mladenović¹, Saša Ivanović¹, Zdenka Stanojević Šimšić¹

¹Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

²Tehnički fakultet Bor

Izvod

U ovom radu prikazani su rezultati dobijanja indijuma iz sekundarnih sirovina - LCD monitora. Nekoliko metoda je patentirano za reciklažu indijuma iz sekundarnih sirovina, prvenstveno iz indijum kalaj oksida iz LCD-a. Selektivna ekstrakcija rastvora je uobičajeno korišćen metod za dobijanje indijuma, naročito u rafinerijama cinka, odakle se indijum inače dobija iz sulfatnih rastvora. Takođe su prikazani rezultati reciklaže indijuma iz ITO kombinacijom alkalnog rastvaranja, solventne ekstrakcije i elektrolitičke rafinacije, kao i uticaj pH na rastvorljivost In i Sn.

Ključne reči: indijum, sekundarne sirovine, LCD monitori, selektivna ekstrakcija

Abstract

This paper presents the results of obtaining indium from recyclable materials - LCD monitors. Several methods were patented for recycling indium from secondary raw materials, primarily from indium tin oxide from LCD. Selective extraction of the solution is typically used method for obtaining the indium, especially from zinc refineries, where it normally gets from the indium sulphate solution. It also presents the results of recycling indium from ITO combining alkali dissolution, solvent extraction and electrolytic refining, as well as the effect of pH on the solubility of In and Sn.

Keywords: indium, secondary raw materials, LCD monitors, selective extraction

UVOD

Indijum je redak metal, srebrno-sive boje i dosta je dragocen. Zastupljen je u zemljinoj kori u količini od 0,049 ppm, pa se uglavnom dobija kao sporedan proizvod metalurških procesa dobijanja rude ili preradom sekundarnih sirovina.

¹ E-mail: dragana.bozic@irnbor.co.rs

Indijum je našao primenu u mnogim industrijama, međutim zbog svoje retkosti i visokih troškova proizvodnje njegova upotreba je dosta ograničena. Najveći deo proizvedenog indijuma se ne koristi u elementarnom stanju nego se prerađuje u razna jedinjenja. Samo u 2000. godini 65% od celokupne svetske proizvodnje indijuma je potrošeno za proizvodnju indijum-cinkoksida. Koristi se za zaštitu različitih galvanskih elemenata, proizvodnju ležajeva u automobilskoj i avio-industriji ali se zbog visoke cene indijuma kao zamena sve više koriste drugi metali. Zbog pravilne polarizacije svetlosti indijum se koristi i za pravljenje kvalitetnih ogledala.

Najveći proizvođač indijuma je Kina, zatim Južna Koreja, Japan, Kanada, Belgija, Francuska i Peru. Kina takođe ima ubedljivo najveće rezerve indijuma. Globalna proizvodnja indijuma bila je 640 t u 2010. godini, dok se svetska potrošnja indijuma procenjuje na preko 1800 t, od čega približno 60% otpada na Japan.

Za dobijanje indijum kalaj oksida za ekrane sa ravnom pločom koristi se 82% svetske proizvodnje indijuma. Indijum se još koristi za dobijanje indijum-fosfida koji se koristi kao poluprovodnik u industriji. Ekspanzija u proizvodnji televizora sa ravnom pločom ekrana doprinela je naglom skoku cene ovog metala, koja je bila samo \$ 65 po kilogramu u 2002. godini, do njenog rekordnog iznosa od \$ 1000 po kilogramu u 2005. godini.

1. RECIKLAŽA INDIJUMA

U današnje vreme količina otpadnih LCD ekrana za kompjutere i televizore ubrzano raste zahvaljujući njihovoj popularnosti u svakodnevnom životu, pa razvijanje metoda reciklaže indijuma iz ovih otpada svakodnevno dobija sve više na važnosti. Od 2007. godine više indijuma je proizvedeno iz sekundarnih sirovina nego iz primarnih sirovina. Najznačajnija sekundarna sirovina za dobijanje indijuma je otpad dobijen iz raspršujućeg procesa uklanjanja indijum-kalaj oksida iz LCD panela, u kojima je samo 30% indijum-kalaj oksida uklonjeno iz staklene površine. Iz raspršenog otpada indijum se može dobiti rastvaranjem u HCl-u i zatim luženjem sa rastvorom NaOH. Nekoliko metoda je patentirano za reciklažu indijuma iz sekundarnih sirovina, prvenstveno iz indijum-kalaj oksida iz LCD-a. Metode u radovima autora [1,2] su bazirane na luženju i taloženju. Kao i u drugim metodama taloženja, i ove metode su limitirane ravnotežnom rastvorljivošću hidroksida. Naravno, nužno se javlja potreba za razvijanjem efikasnijih metoda reciklaže indijuma iz otpada LCD-a.

Korišćenje i prestanak trajanja (End-of-Life - EoL) LCD proizvoda i njihov tretman su izazov za sve proizvođače, korisnike i ljude koji se bave reciklažom

ove snažno rastuće tehnologije. Da bi se smanjio potencijalni uticaj na okolinu kada električni proizvodi dođu do svog EoL, Evropska unija uvela je niz direktiva. Najznačajnija je direktiva za otpad električne i elektronske opreme, čiji su glavni ciljevi:

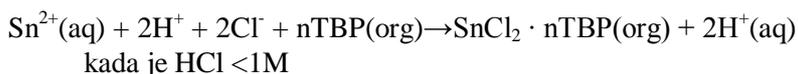
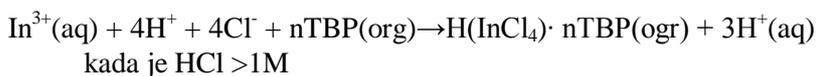
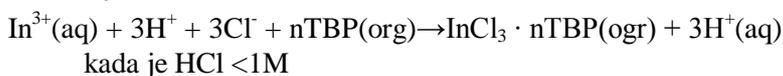
- Smanjenje otpada nastalog iz EoL električne i elektronske opreme
- Poboljšanje i maksimiziranje recikliranja, ponovnu upotrebu i druge vrste reciklaže otpada iz otpada EoL električne i elektronske opreme
- Minimiziranje uticaja na životnu sredinu od uticaja njihove prerade i odlaganja

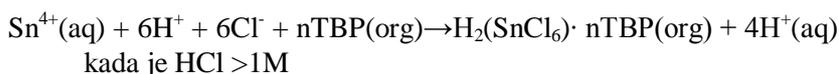
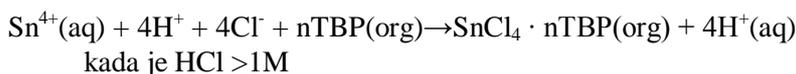
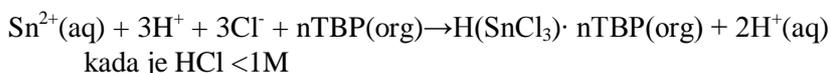
Predviđen rast proizvodnje LCD-a će svakako povećati tražnju količine sirovina koje se koriste za njihovu proizvodnju. Uspešan sistem rasklapanja koji poboljšava reciklažu i ponovnu upotrebu materijala iz otpada LCD ekrana bi osigurao da se sirovine sačuvaju. Optimalni scenario za postupanje sa EoL proizvodima je ponovna upotreba proizvoda i rastavljanje sa optimalnom ponovnom upotrebom delova i komponenti.

2. SELEKTIVNA EKSTRAKCIJA INDIJUMA IZ RASTVORA

Selektivna ekstrakcija rastvora je uobičajeno korišćen metod za dobijanje indijuma, naročito u rafinerijama cinka, odakle se indijum inače dobija iz sulfatnih rastvora. Istraživanje selektivne ekstrakcije indijuma iz rastvora počelo je u ranim 60-tim godinama prošloga veka [3]. Najraniji članci i patenti o korišćenju selektivne ekstrakcije iz rastvora u hidrometalurškom dobijanju indijuma su objavljeni u ranim 1980-tim godinama [4,5]. Nekoliko tipova ekstrakcije je korišćeno za dobijanje indijuma uključujući: karboksilne kiseline, derivate fosfornih kiselina, helatna jedinjenja kao hydroxyoximes i azoli, i selektivne ekstraktante iz rastvora kao tributil fosfati (TBP), trioctylphosphine oksidi (TOPO) i metil izobutil keton (MIBK).

Još u ranijim istraživanjima izučavan je problem selektivnog razdvajanja In i Sn solventnom ekstrakcijom. Predložene su sledeće reakcije za ekstrakciju indijuma i kalaja u rastvoru HCl. Predložene su sledeće reakcije za ekstrakciju indijuma i kalaja u rastvoru HCl koristeći TBP:





gde je $n=2$ ili 3 .

U radu [6] ispitivana je rastvorljivost LCD otpadnih ploča u različitim kiselinama i solventna ekstrakcija sa TER (2-etiheksil) hidrogen fosfatom (D2EHFA).

Ispitivani uzrak je rastvaran u koncentrovanoj sumpornoj kiselini, koncentrovanoj azotnoj kiselini, koncentrovanoj hlorovodoničnoj kiselini, kao i smeši koncentrovane hlorovodonične kiseline i hidrogen peroksida (4:1, v/v), vodenoj sredini, sumpornoj kiselini (1:1, v/v), hlorovodoničnoj azotnoj - kiselina kiselina-destilovana voda (1:0.1:1, v / v / v), na temperaturi od 160°C u trajanju od 30 minuta.

Luženje u sumpornoj kiselini (1/1, v/v) je rađeno sa različitim odnosima T/Č 3/4 i 1/1 grejanjem na 160°C u trajanju od 60 min. Indijum bi mogao da se potpuno rastvori u oba slučaja odnosa T/Č. Međutim, kada se poveća količina čvrstog uzorka u odnosu T/Č 3:4 bilo bi otežano filtriranje. Iz tog razloga izabran je optimalan odnos T/Č 1:1.

U radu je ispitivan efekat raznih odnosa O/A, na stepen ekstrakcije indijuma. Rezultati su pokazali da se efikasnost ekstrakcije indijuma smanjio sa smanjenjem odnosa O/A.

Kada je odnos O/A u opsegu 1:3 ~ 1:6, efikasnost ekstrakcije indijuma je relativno visoka, posebno kada je odnos O/A bio 1:3, tada je stepen ekstrakcije bio $> 99\%$.

Ispitivan je i uticaj koncentracije agensa za reekstrakciju HCl na efikasnost reekstrakcije indijuma iz organske faze.

Došlo se do rezultata da je efikasnost reekstrakcije indijuma $> 97\%$ kada je koncentracija HCl 2M i više. Međutim, visoka koncentracije agensa za reekstrakciju, mogla bi uzrokovati i reekstrakciju nečistoća iz agensa, tako da je izabrana najprikkladnija koncentracija agensa za reekstrakciju koja iznosi 4 mol/l.

Iz rada autora Jiuli i dr. [6] zaključeno je da se indijum može najbolje rastvoriti u sumpornoj kiselini (odnos 1:1; v/v) u optimalnom odnosu čvrte i tečne faze 1:1, zbog toga što se drugi metali veoma malo rastvaraju pri ovim uslovima.

Indijum može da se selektivno ekstrahuje iz rastvora H_2SO_4 sa 30% D2EHPA, kada je odnos O/A 1:5 u vremenu od 5 min, i kompletno reekstrahuje sa 4M HCl iz D2EHPA kada je odnos A/O 1:5. Konačna ostvarena efikasnost ekstrakcije In bi bila 97%.

3. RECIKLAŽA INDIJUMA IZ ITO KOMBINACIJOM ALKALNOG RASTVARANJA, SOLVENTNE EKSTRAKCIJE I ELEKTROLITIČKE RAFINACIJE

Indijum čistoće 99,99% reciklažom iz ITO moguće je dobiti i kombinacijom alkalnog rastvaranja, solventne ekstrakcije i elektrolitičke rafinacije.

U radu [7] rađeno je rastvaranje uzorka koji je sadržao 2% In i komponente Mo, Al, Cr, Mg, Na kao i druge nečistoće u 12M NaOH na temperaturi od 100°C u vremenu od 30 minuta. Alkalnim rastvaranjem uklonjene su nečistoće Mo, Al, Cr i Mg. Dobijena čvrsta faza koja je sadržala In i zaostale nečistoće je rastvorena u 0,3M HCl a zatim vršena solventna ekstrakcija indijuma ekstragensom PC88A (2-ethylhexyl phosphonic acid mono-2-ethylhexyl ether). Čistoća dobijenog indijuma je bila 99,5%. Daljom elektrolitičkom rafinacijom indijuma koji je izliven kao anoda i katodom od čistog indijuma, pri gustini struje od 20 mA/cm², u vremenu od 12 sati na sobnoj temperaturi, dobijen je indijum čistoće 99,99%.

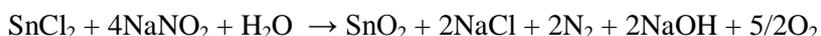
4. UTICAJ pH NA RATVORLJIVOST In I Sn

Jedna od metoda separacije indijuma i kalaja je na osnovu različitih kinetika taloženja u zavisnosti od pH rastvora [8].

U radu [8] je praćeno taloženje In i Sn pri različitim pH vrednostima rastvora i u prisustvu oksidacionog agensa koj bi trebao da ubrza proces taloženja. Kao oksidansi korišćeni su: H_2O_2 , $K_2S_2O_8$, $KClO_4$, $NaNO_2$ i I_2/KI .

Zapaženo je da se In taloži kada je pH rastvora 4,5 čak i u prisustvu oksidanasa H_2O_2 i $NaNO_2$, dok se Sn najbolje taloži u opsegu od pH 3-8 s tim što se u prisustvu H_2O_2 i $NaNO_2$ završava taloženje već na pH 3,5.

Taloženje kalaja iz hloridnog rastvora u prisustvu oksidansa $NaNO_2$ može se prikazati sledećom jednačinom:



U radu [8] je pokazano da je moguće dobiti indijum čistoće 99,99% hemijskim taloženjem ako se podesi pH na 3 uz dodatak oksidacionog agensa H_2O_2 ili $NaNO_2$. Da bi se povećala efikasnost reciklaže indijuma vrši se solventna ekstrakcija rastvora da bi se uklonio zaostali Sn. Kao ekstragens je korišćen tri oktil fosfor oksid (TOPO) rastvoren u toluenu. Posle solventne ekstrakcije dobijen je indijum čistoće 99,999%.

5. ZAKLJUČAK

Rezultati pokazuju da je reciklažom LCD monitora moguće dobiti indijum visoke čistoće. Selektivna ekstrakcija iz rastvora je efikasan metod koncentrisanja indijuma i razdvajanja od kalaja i zbog toga je primenjiva za reciklažu indijuma iz ITO. Indijum čistoće 99,99% reciklažom ITO moguće je dobiti i kombinacijom alkalnog rastvaranja, solvetne ekstrakcije i elektrolitičke rafinacije.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je proistekao iz projekta br. TR34024 pod nazivom "Razvoj tehnologija za reciklažu plemenitih, retkih i pratećih metala iz čvrstog otpada Srbije do visokokvalitetnih proizvoda" koji je finansiran od strane Ministarstva za prosvetu i nauku Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Lee, C., Peng, Y., Tsai, S., 2007. A Method for the Recovery of Indium-Tin-Oxides Coating from Scrap Glass Substrate. TW286953.
- [2] Chen, Z., Chen, J., Zhou, Y., Yao, J., Wang, X., 2003. Recycling of Indium from Indium-Tin-Oxide Wastes. CN1420184.
- [3] Paiva, A., 2001. Recovery of indium from aqueous solutions by solvent extraction. Sep.Sci. Technol. 36, 1395-1419.
- [4] Ke, J., Qiu, R., Chen, C., 1984. Recovery of metal values from copper smelter flue dust. Hydrometallurgy 12, 217-224.
- [5] Fossi, P., Sambarino, E., 1983. Process for the Recovery of Indium, U.S. Patent 4372922.
- [6] Jiuli Ruan, Yuwen Guo, Qi Qiao; Recovery of indium from scrap TFT-LCDs by solvent extraction; The 7th International Conference on Waste Management and Technology; Procedia Environmental Sciences 16 (2012) 545 – 551.
- [7] Hee Nam Kang , Jin-Young Lee , Jong-Young Kim; Recovery of indium from etching waste by solvent extraction and electrolytic refining; Hydrometallurgy 110 (2011) 120-12.
- [8] Kenneth N. Han, Siddartha Kondoju, Kiwoon Park and Ho-min Kang; Recovery of Indium from Indium/Tin Oxides Scrap by Chemical Precipitation; Geosystem Eng., 5(4), 93-98, (December 2002)

UDK: 621.51.622.765(045)=861

STRUČNI RAD

Oblast: Proizvodno mašinstvo

**KOMPRESORSKA STANICA ZA TEHNOLOŠKI I INSTRUMENTALNI
VAZDUH ZA FLOTACIONE MAŠINE U RUDNIKU "LECE"**
**COMPRESSOR STATION FOR TECHNOLOGICAL AND
INSTRUMENTAL AIR FOR FLOTATION MACHINES IN
"LECE" MINE**

Branislav Rajković¹, Zoran Ilić¹, Jelena Stanković¹

¹Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

Izvod

U ovom radu je opisana novoprojektovana kompresorska stanica za tehnološki i instrumentalni vazduh za potrebe rada flotacionih mašina u pogonu Flotacije rudnika "Lece". Tehničke karakteristike duvaljki i kompresora, kao i prateće opreme date su tabelarno, a dispozicija opreme u kompresorskoj stanici data je grafički. Posebno je obrađeno rešenje ventilacije kompresorske stanice sa određivanjem potrebne količine vazduha za kompresorsku stanicu i proračunom ventilatora.

Ključne reči: kompresorska stanica, tehnološki i instrumentalni vazduh, flotacione mašine, ventilacija

Abstract

In this paperwork it was described newly designed compressor station for technological and instrumental air required for the operation of flotation machines at Flotation facility of mine "Lece". Technical characteristics of the blowers and the compressors, as well as the accessories are given by tables, and the layout of the equipment is given by graphic. Especially it was treated the solution of compressor station ventilation with required air quantity determination and fan calculation.

Keywords: compressor station, technological and instrumental air, flotation machines, ventilation

UVOD

Na zahtev investitora u rudniku "Lece" je 2012. godine izvedena rekonstrukcija pogona Flotacije u svrhu povećanja kapaciteta prerade rude olova i cinka sa 230.000 t/god na 300.000 t/god. U postojećoj kompresorskoj stanici postojale su jedna radna i jedna rezervna duvaljka za vazduh tipa 9SL, kapaciteta 9000 m³/h, natpritiska 0,2 at i snage 100 KS koje su obezbeđivale tehnološki vazduha niskog pritiska za rad flotacionih mašina. Ove duvaljke nisu

¹ E-mail: branislav.rajkovic@irmbor.co.rs

bile kompatibilne sa tehničkim karakteristikama novih flotacionih mašina tako da je projektom rekonstrukcije [1] predviđena ugradnja radne i rezervne duvaljke odgovarajućih tehničkih karakteristika za potrebe snabdevanja flotacionih mašina vazduhom niskog pritiska (tehnološki vazduh). Za potrebe rada automatskih sistema flotacionih mašina bilo je neophodno predvideti dve linije (radnu i rezervnu) koje obuhvataju kompresorske agregate sa pratećom opremom za snabdevanje flotacionih mašina komprimovanim vazduhom srednjeg pritiska (instrumentalni vazduh). S obzirom da u postojećoj kompresorskoj stanici nije bilo raspoloživog prostora za smeštaj ove opreme predviđeno je da se novoprojektovana kompresorska stanica smesti u prizemlje objekta Stare flotacije pored objekta Flotacije.

2. TEHNIČKI OPIS KOMPRESORSKE STANICE

Za proizvodnju instrumentalnog vazduha srednjeg pritiska u kompresorskoj stanici je predviđena sledeća oprema:

1. Vijčani kompresor SK 25/8 bar kom. 2
2. Rezervoar za vazduh $V=0,9 \text{ m}^3$; $p=11 \text{ bar}$ kom. 2
3. Automatski ispuštač kondenzata tip ECO-DRAIN 31 kom. 2
4. Apsorpcioni sušač vazduha tip DC 27 kom. 2
5. Automatski ispuštač kondenzata tip ECO-DRAIN 30 kom. 2
6. Ventil konstantnog pritiska G $\frac{3}{4}$ " kom. 2
7. Odvajач ulja i vode tip Aquamat CF 6 kom. 2

Kompresorska stanica se sastoji od dve nezavisne linije za proizvodnju komprimovanog vazduha srednjeg pritiska od kojih je jedna radna, a druga rezervna.

Projektom je predviđeno da se u okviru kompresorske stanice u obe linije ugradi kompresorski agregat sa stabilnim vijčanim vazduhom hlađenim kompresorom tehničkih karakteristika datih u tabeli 1.

Tabela 1. Tehničke karakteristike kompresorskog agregata

Kompresorski agregat	
Proizvođač	KAESER
Tip	SK 25
Snaga	15 kW
Maksimalni radni pritisak	8 bar
Radni pritisak	7,5 bar
Kapacitet FAD (1 bar; 20°C)	2,5 m ³ /min
Nivo buke	67 db
Priključak za komprimovani vazduh	G 1
Dimenzije (dužina x širina x visina)	750x895x1260 mm
Masa agregata	320 kg

Takođe je iza kompresora, u obe linije, predviđen vertikalni rezervoar za komprimovani vazduh sa svom potrebnom armaturom tj. sigurnosnim ventilom, manometrom, revizionim otvorom i priključcima za ulaz i izlaz vazduha kao i priključkom za ispuštanje kondenzata sa tehničkim karakteristikama datim u tabeli 2.

Tabela 2. Tehničke karakteristike rezervoara za vazduh

Rezervoar za vazduh	
Proizvođač	KAESER
Tip	vertikalni
Zapremina	900 l
Maksimalni dozvoljeni radni pritisak	11 bar
Visina	2170 mm
Prečnik	Ø 800 mm
Priključci za komprimovani vazduh	G 1 ½"
Masa	238 kg

Komprimovani vazduh se od kompresora vodi do rezervoara komprimovanog vazduha čeličnom cevi Ø33,7x2,6 mm, a zatim do apsorpcionog sušača vazduha takođe čeličnom cevi Ø33,7x2,6 mm. Rezervoar je opremljen svom potrebnom armaturom kao i automatskim odvajačem kondenzata ECO DRAIN 30 proizvođača KAESER. Drugi automatski odvajač kondenzata ECO DRAIN 31 služi za izdvajanje kondenzata iz kompresora.

Apsorpcioni sušač vazduha omogućava sušenje vazduha do temperature tačke rose od -70°C sa priključcima za ulaz i izlaz komprimovanog vazduha sa tehničkim karakteristikama datim u tabeli 3.

Tabela 3. Tehničke karakteristike apsorpcionog sušača vazduha

Apsorpcioni sušač vazduha	
Proizvođač	KAESER
Tip	DC 27
Priključci za elektro mrežu	230 V; 50 Hz; 1 Ph
Priključci za komprimovani vazduh	G 3/4"
Dimenzije (visina x dužina x širina)	1970x750x750 mm
Masa	260 kg

Kondenzat koji se sakupi u rezervoaru za vazduh i kompresorskom agregatu odvodi se gumenim crevima Ø17,5x4 mm do posude za kondenzat AQUAMAT CF 6 proizvođača KAESER. Predviđanjem ove posude ispunjeni su ekološki zahtevi u pogledu ispuštanja zauljenih otpadnih voda u kanalizacionu mrežu.

Za regulaciju pritiska vazduha na izlazu iz kompresorske stanice predviđen je ventil konstantnog pritiska-regulator pritiska.

Za ventilaciju kompresorske stanice predviđena je ulazna žaluzina odgovarajućih dimenzija koja je ugrađena u prozor kompresorske stanice, preko koje se uvodi vazduh potreban za rad kompresora i duvaljki kao i za hlađenje agregata, dok je odsisavanje vazduha predviđeno preko aksijalnog zidnog ventilatora koji sprovodi vazduh od kompresora do izlazne žaluzine koja se nalazi na suprotnoj strani prostorije kompresorske stanice. Ventilator je sa tehničkim karakteristikama dat u tabeli 4.

Tabela 4. Tehničke karakteristike aksijalnog ventilatora

Aksijalni ventilator	
Proizvođač	Avit Novi Sad
Tip	QC 504
Snaga	0,55 kW
Nivo buke	68 dB
Dimenzije (visina x dužina x širina)	650x650x365 mm
Masa	20 kg

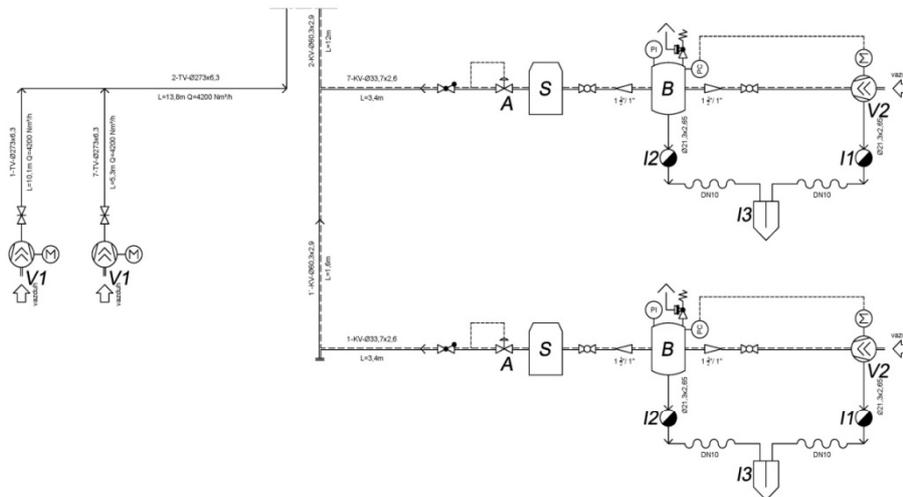
Za proizvodnju tehnološkog vazduha niskog pritiska u kompresorskoj stanici su predviđene dve duvaljke za vazduh od kojih je jedna radna, a druga rezervna. One su takođe smeštene u prostoriji kompresorske stanice i imaju tehničke karakteristike date u tabeli 5.

Tabela 5. Tehničke karakteristike duvaljki za tehnološki vazduh

Duvaljka za tehnološki vazduh	
Proizvođač	ESKO d.o.o
Tip	K 120 R
Snaga	90 kW
Kapacitet	50,0-75,0 m ³ /min
Radni natpritisak	500 mbar
Broj obrtaja elektromotora	1037-1485 rpm
Snaga na vratilu duvaljke	51,7-78,8 kW
Broj obrtaja duvaljke	1410-2020 rpm
Nivo buke bez haube za apsorpciju buke	89-95 dB
Priključak za vazduh	DN 250
Masa agregata bez haube za apsorpciju buke	2220 kg
Masa agregata sa haubom za apsorpciju buke	3220 kg
Dimenzije (visina x dužina x širina)	2690x3000x2000 mm

Na priključcima za vazduh duvaljki predviđeni su aksijalni kompenzatori kojima se ostvaruje elastična veza sa cevovodom DN 250 i zasuni za uključenje i isključenje pojedinačnih agregata.

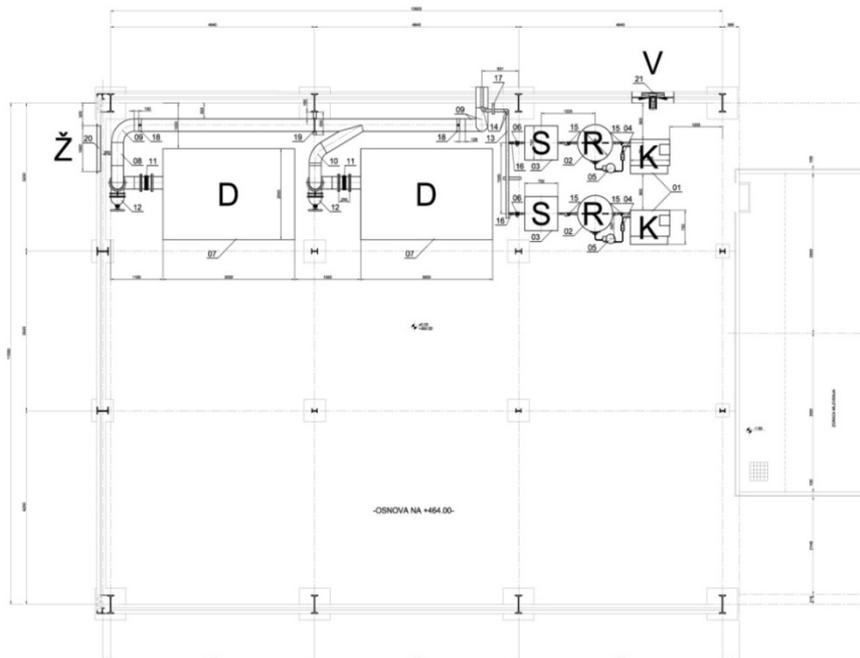
Tehnološka šema kompresorske stanice data je na slici 1, a dispozicija opreme u kompresorskoj stanici data je na slici 2.



LEGENDA:

- V2 KOMPRESORSKI AGREGAT ZA INSTRUMENTALNI VAZDUH SK 25; P=15 kW; Q=2500 l/min; p=8 bar; proizvođač KAESER; kom. 2
- B REZERVOAR ZA KOMPRIMOVANI VAZDUH V=900 l; p=11 bar; proizvođača KAESER; kom. 2
- S APSORPCIONI SUŠAČ VAZDUHA DC 27; proizvođača KAESER; kom. 2
- I1 ODVAJAČ KONDENZATA ECO DRAIN 31; proizvođača KAESER; kom. 2
- I2 ODVAJAČ KONDENZATA ECO DRAIN 30; proizvođača KAESER; kom. 2
- A VENTIL KONSTANTNOG PRITISKA DN20-REGULATOR PRITISKA; proizvođača KAESER; kom. 2
- I3 POSUDA ZA KONDENZAT AQUAMAT CF 6; proizvođača KAESER; kom. 2
- V1 DUVALJKA ZA TEHNOLOŠKI VAZDUH K 120 R; P=90 kW; Q=50,0-75,0 m³/min; Δp=500 mbar; proizvođač ESKO doo; kom. 2

Sl. 1. Tehnološka šema kompresorske stanice



Legenda:

D-duvaljka K120 R; P=90 kW; $\Delta p=500$ mbar; proizvođač ESKO doo
 K-kompresor SK25; P=15 kW; $\Delta p=15$ bar; Q=2,5 m³/min; proizvođač KAESER
 R-rezervoar V=0,9 m³; p=11 bar; proizvođač KAESER
 S-apsorpcioni sušač DC27; proizvođač KAESER
 V-aksijalni ventilator QC 504; P=0,55 kW; proizvođač Avit Novi Sad
 Ž-ulazna žaluzina JZR-6 1000x1000; proizvođač Hidria

Sl. 2. Dispozicija opreme u kompresorskoj stanici

3. PRORAČUN VENTILACIJE KOMPRESORSKE STANICE

Proračun ventilacije kompresorske stanice ima za cilj izbor ventilatora odgovarajućih tehničkih karakteristika i dat je prema [2].

Potrebna količina vazduha za hlađenje kompresora određuje se prema [3]:

$$q_{hl} = 4900[m^3/h] = 1,361[m^3/s]$$

Potrebna količina vazduha za rad kompresora je:

$$q_r = 150[m^3/h] = 0,04167[m^3/s]$$

Potrebna količina vazduha za rad duvaljke:

$$q_s = 4500[m^3/h] = 1,25[m^3/s]$$

Ukupna količina vazduha je:

$$q = q_{hl} + q_r + q_s = 2,653[m^3/s]$$

Površina ulaznih žaluzina određuje se prema izrazu:

$$A = \frac{q}{w \cdot k_s} = 0,9475[m^2] \approx 1[m^2]$$

gde su:

$w = 3,5[m/s]$ - brzina strujanja vazduha

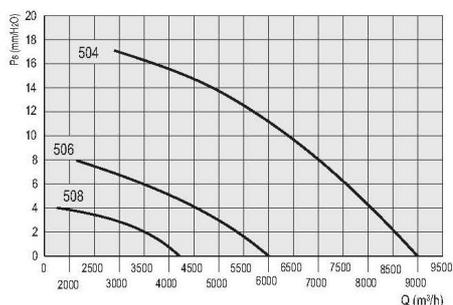
$k_s = 0,8$ - koeficijent svetlog otvora

Usvaja se ulazna žaluzina sa oznakom JZR-6 1000x1000 mm, proizvođača Hidria.

Za odvođenje zagrejanog vazduha od kompresora predviđen je aksijalni ventilator QC 504 koji pri zadatom protoku od $4900[m^3/h]$ ostvaruje priraštaj totalnog pritiska veći od $p_{min} = 100[Pa]$ kao što se vidi sa radnog dijagrama ventilatora datog na slici 3.

QC 50

Tip Type	Model Model	U	P	Pm [kW]	In max [A]	IP/CL	Mat. [Gr]	Lp dB [A]
QC	504	T	4	0,55	1,6	55/F	80	68
QC-ATEX	504	T	4	0,55	1,75	55/F	80	68
QC	506	T	6	0,18	0,82	55/F	71	58
QC-ATEX	506	T	6	0,18	0,69	55/F	71	58
QC	508	T	8	0,12	0,75	55/F	71	51
QC-ATEX	508	T	8	0,09	0,56	55/F	71	51



Sl. 3. Radni dijagram ventilatora QC 504

4. DISKUSIJA

Prilikom projektovanja kompresorskih stanica projektant se suočava sa čitavim nizom zahteva. Tehnički zahtevi za obezbeđivanjem odgovarajuće količine vazduha, odgovarajućeg pritiska i odgovarajućeg kvaliteta u pogledu čistoće i vlažnosti su zahtevi koji diktiraju i tehničke karakteristike i vrstu usvojene opreme i zavise od potrebe potrošača vazduha, a u ovom slučaju to su flotacione mašine. Sama dispozicija opreme uslovljena je potrebnim prostorom za smeštaj opreme kao i prostorom za montažu i demontažu i nesmetano opsluživanje opreme.

Takođe, potrebno je voditi računa o zahtevima iz oblasti bezbednosti i zdravlja na radu kao što su razne opasnosti koje nastaju u tehnološkom procesu usled nepovoljno rešene lokacije pojedinih delova instalacije, nekontrolisanog izlivanja radnog fluida iz opreme koje mogu ugroziti život i zdravlje ljudi, kao i poremetiti ekološku ravnotežu mikrookoline i najzad opasnosti od požara i eksplozije. Proizvođač opreme garantuje da su preduzete mere da buka i vibracije opreme budu u dozvoljenim granicama.

Efikasno provetravanje kompresorske stanice je uslov za nesmetan i pouzdan rad instalacije. Iz proračuna se vidi da najveći deo ukupne potrebne količine vazduha potiče od potrebe za hlađenjem kompresora dok manji deo otpada na vazduh koji se koristi za potrošnju. Razlog za ovo leži u činjenici da se pri izentropskom sabijanju vazduha intenzivno povećava njegova temperatura što znači da je neophodno hladiti kompresor u toku rada. U ovom primeru se spoljni vazduh usisava kroz žaluzine na spoljnjem zidu prostorije, a odsisava se aksijalnim zidnim ventilatorom sa suprotne strane prostorije pri čemu je omogućeno opstrujavanje opreme vazduhom u potrebnoj količini. Odvođenje vazduha za provetravanje od kompresora je beskanalno čime se smanjuje pad pritiska odnosno manji je potrebni napor ventilatora.

5. ZAKLJUČAK

Rešavanje hlađenja kompresora predstavlja uvek prisutan problem koji se javlja pri radu kompresorskih stanica. Osim rešenja hlađenja prinudnom cirkulacijom vazduha pomoću aksijalnog ventilatora datog u ovom radu moguća su rešenja kompresorskih stanica sa prirodnom cirkulacijom vazduha, pri čemu je moguće kako beskanalno tako i kanalno razvođenje vazduha. Metodologija proračuna potrebne količine vazduha za hlađenje prikazana u ovom radu ima univerzalni karakter odnosno primenjiva je za sve vazduhom hlađene kompresore.

LITERATURA

- [1] Tehnički mašinski projekat kompresorske stanice i duvaljki sa razvodom vazduha za flotacione mašine, Projektni biro MEGA, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, 2012.
- [2] M. Bogner, O. Popović, Kompresorska postrojenja; ETA Beograd, 2008, str. 176-179.
- [3] Katalozi proizvođača kompresora KAESER

UDK: 621.221:622.35(045)=861

STRUČNI RAD

Oblast: Proizvodno mašinstvo

**TEHNO - EKONOMSKA ANALIZA MOGUĆIH VARIJANTNIH
REŠENJA VODOSNABDEVANJA POGONA ZA PRERADU KREČNOG
KAMENA ZAGRAĐE U ZAGRAĐU KOD BORA**

**TECHNO - ECONOMIC ANALYSIS OF POSSIBLE ALTERNATIVE
SOLUTIONS WATER TREATMENT PLANT FOR THE PRODUCTION
OF LIMESTONE ZAGRAĐE IN ZAGRAĐE NEAR BORA**

Zoran Ilić¹, Branislav Rajković¹, Goran Angelov¹,
Radomir Mijović¹, Jelena Stanković¹

¹Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

Izvod

U ovom radu su, analizirane različite, predložene, moguće varijante sistema za vodosnabdevanje pogona za preradu krečnog kamena Zagrađe u Zagrađu kod Bora, sa aspekta tehno-ekonomske isplativosti.

Kriterijumi za usvajanje konačne varijante pored sigurnosti i pouzdanosti u snabdevanju dovoljnih količina vode za svako izvoriste potrebno je odrediti da li zadovoljava kriterijume kvaliteta, kvantiteta, cene i sanitarne zaštite.

Ključne reči: vodozahvat, vodosnabdevanje, tehno-ekonomska analiza

Abstract

In this paper, compares different, proposed, possible variations of the water supply facilities for processing limestone Zagrađe in Zagrađe near Bor, in aspect of techno economic viability.

The criteria for the adoption of the final versions in addition to the safety and reliability of supply sufficient quantities of water for each source is necessary to determine whether it meets the criteria of quality, quantity, price, and sanitary protection.

Keywords: water intake, water, techno-economical analysis

UVOD

Za potrebe procesa proizvodnje komadnog i hidratisanog kreča u fabrici kreča „Zagrađe“ u Zagrađu neophodna je izrada novog objekta vodozahvata i

¹ E-mail: zoran.ilic@irmbor.co.rs

postrojenja za prečišćavanje otpadnih industrijskih voda uz moguću primenu istih.

Svrha ovog rada je da sagleda moguća varijantna rešenja vodosnabdevanja fabrike kreča u Zagrađu i da da procenu koštanja svake varijante pojedinačno. Kako nema dovoljno polaznih elemenata za preciznije određivanje cene koštanja svake varijante, izvršice se gruba procena vrednosti radova, što će biti dovoljan parametar za upoređivanje predloženih varijanti i utvrđivanje najpovoljnijeg, konačnog rešenja.

Kasnije, kada se bude usvojila konačna varijanta vodozahvata od strane investitora, odrediće se realna vrednost investicije kroz Tehničke projekate.

TEHNIČKI OPIS POSTOJEĆEG SISTEMA VODOSNABDEVANJA

Fabrika kreča u Zagrađu, za potrebe procesa proizvodnje komadnog i hidratisanog kreča, koristila je svežu podzemnu vodu iz priobalja Bele reke. Postojeći izgrađeni objekat otvorenog bazena i pumpne stanice, fabrika nije u mogućnosti da već duži period legalizuje tj. da reši imovinsko – pravne odnose sa vlasnikom parcele na kojoj su izgrađeni ovi objekti.

Iz tog razloga, fabrika je rešila da iznađe novo rešenje vodosnabdevanja. Postignut je dogovor, tj. rešeni su imovinsko – pravni odnosi sa drugim, susednim vlasnikom. Za potrebe izgradnje objekata za vodosnabdevanje fabrike kreča bi se iskoristile parcele kp.br. 10 210 i 10 211, KO Zagrađe, u priobalju Bele reke. Parcele nisu komunalno opremljene.

Treba pomenuti da u sklopu sadašnjeg sistema vodosnabdevanja svežom vodom preko postojeće nelegalne pumpne stanice za podzemnu vodu, fabrika kreča ima već izgrađene potisne i povratne cevovode i prijemni rezervoar zapremine $V = 60 \text{ (m}^3\text{)}$ Ovi objekti će se maksimalno uklapati u predloženim varijantnim rešenjima.

Moguća varijantna rešenja

Varijanta 1 - snabdevanje vodom direktno iz Bele reke

Varijanta 2 - snabdevanje vodom iz priobalja Bele reke

Varijanta 3 - snabdevanje jezerskom vodom iz Bora

Treća varijanta, koja je proistekla iz razmišljanja da se zahvaćena voda ne mora prečišćavati, jeste zahvatanje čiste jezerske vode iz prijemnih rezervoara u krugu RTB Bor. Sama trasa cevovoda, po ovoj varijanti, dozvoljava mogućnost vodosnabdevanja fabrike u Zagrađu i pijaćom vodom iz Bora ili Slatine, kroz proširenje osnovne mreže i priključkom na najbliži izvor pijaće vode.

Za prva tri varijantna rešenja, zahvaćena i povratna voda se mora prečistiti. Za treću varijantu prečišćava se samo povratna voda. Projektovani sistem prečišćavanja biće istovetan za sve tri varijante, tako da će pri izboru najpovoljnijeg rešenja najviše učestvovati cena vodozahvata.

PROGNOZIRANI PREDRAČUNI ZA SVE VARIJANTE

Tabela 1. Predračun troškova varijante 1

PREDRAČUN TROŠKOVA VARIJANTE 1					
Red. broj	Opis stavke	Jed. mere	Količina	Jedinična cena	Ukupna cena
1.	Istražni radovi				
1.1	Geomehanika			2.500.000,00	2.500.000,00
2.	Pregrada na reci				
2.1	Izrada zagata (10% od brane)			560.000,00	560.000,00
2.2	Betonska niska brana	m	40	140.000,00	5.600.000,00
2.3	Slapište	m	40	15.000,00	600.000,00
2.4	AB taložnik (peskolov)	m	10	80.000,00	800.000,00
2.5	Hidromašinska oprema (10% od brane)			560.000,00	560.000,00
3.	Sabirna komora	kom	1	1.000.000,00	1.000.000,00
4.	Postrojenje za prečišćavanje				
4.1	Mašinska oprema i instalacije			22.524.475,00	22.524.475,00
4.2	Građevinski radovi			11.730.000,00	11.730.000,00
4.3	Elektro oprema i instalacija			1.700.000,00	1.700.000,00
5.	Cevovodi				
5.1	Potisni čelični cevovod, Ø80 mm	m	180,00	3.500,00	630.000,00
5.2	Povratni vod, Ø110 mm	m	300,00	3.500,00	1.050.000,00
5.3	Gravitac. Cevovod Ø300 - 400 mm	m	100,00	4.000,00	400.000,00
6.	Spoljno uređenje parcele				
6.1	Zaštitna ograda	m	125,00	5.000,00	625.000,00
6.2	Saobraćajnica i plato			100.000,00	100.000,00
6.3	Srednjenap. napojni vod za TS			500.000,00	500.000,00
6.4	Niskonap. napojni vod za PP			600.000,00	600.000,00
6.5	Rasveta, opšta namena			200.000,00	200.000,00
6.6	Energetski transformator, oprema			2.500.000,00	2.500.000,00
UKUPNO RSD:					54.179.475,00

Tabela 2. Predračun troškova varijante 2

PREDRAČUN TROŠKOVA VARIJANTE 2					
Red · broj	Opis stavke	Jedin. mere	Koli- čina	Jedinična cena	Ukupna cena
1.	Istražni radovi				
1.1	Izrada hidrogeološke studije	kom	1	1.500.000,00	1.500.000,00
1.2	Geomehanika			2.500.000,00	2.500.000,00
2.	Kopani bunar	kom	1	1.000.000,00	1.000.000,00
3.	Postrojenje prečišćavanje za				
3.1	Mašinska oprema i instalacije			22.524.475,00	22.524.475,00
3.2	Građevinski radovi			11.730.000,00	11.730.000,00
3.3	Elektro oprema i instalacija			1.700.000,00	1.700.000,00
4.	Cevovodi				
4.1	Potisni čelični cevovod, Ø80 mm	m	180,00	3.500,00	630.000,00
4.2	Povratni vod, Ø110 mm	m	300,00	3.500,00	1.050.000,00
5.	Spoljno uređenje parcele				
5.1	Zaštitna ograda	m	125,00	5.000,00	625.000,00
5.2	Saobraćajnica i plato			100.000,00	100.000,00
5.3	Srednjenap. napojni vod za TS			500.000,00	500.000,00
5.4	Niskonap. napojni vod za PP			600.000,00	600.000,00
5.5	Rasveta, opšta namena			200.000,00	200.000,00
5.6	Energetski transformator, oprema			2.500.000,00	2.500.000,00
UKUPNO:					47.159.475,00

Tabela 3. Predračun troškova varijante 3

PREDRAČUN TROŠKOVA VARIJANTE 3					
Red. broj	Opis stavke	Jedin. mere	Količina	Jedinična cena	Ukupna cena
1.	Istražni radovi				
1.2	Geomehanika			2.500.000,00	2.500.000,00
2.	Cevovodi				
2.1	Dovodni gravit. cevovod Ø90 mm	m	11300,00	3.000,00	33.900.000,00
2.2	Potisni čelični cevovod, Ø80 mm	m	180,00	3.500,00	630.000,00
2.3	Povratni vod, Ø110 mm	m	300,00	3.500,00	1.050.000,00
3.	Prekidna komora, V=3 m³	kom	2,00	1.200.000,00	2.400.000,00
4.	Postrojenje za prečišćavanje				
4.1	Mašinska oprema i instalacije			22.524.475,00	22.524.475,00
4.2	Građevinski radovi			11.730.000,00	11.730.000,00
4.3	Elektro oprema i instalacija			1.700.000,00	1.700.000,00
5.	Spoljno uređenje parcele				
5.1	Zaštitna ograda	m	125,00	5.000,00	625.000,00
5.2	Saobraćajnica i plato			100.000,00	100.000,00
5.3	Srednjenap. napojni vod za TS			500.000,00	500.000,00
5.4	Niskonap. napojni vod za PP			600.000,00	600.000,00
5.5	Rasveta, opšta namena			200.000,00	200.000,00
5.6	Energetski transformator, oprema			2.500.000,00	2.500.000,00
UKUPNO:					80.959.475,00

DISKUSIJA PREDRAČUNA

Kriterijumi za usvajanje konačne varijante

Skoro sva industrija kod nas se snabdeva iz mesnih vodovoda. Ovakvo vodosnabdevanje se odlikuje u izvesnom stepenu ili nedostatkom dovoljnih količina vode ili neodgovarajućim kvalitetom, zato što se snabdevanje vrši iz podzemnih ili površinskih voda.

Hidrogeološki i hidrološki uslovi su takvi da, ili nema na lokalnom izvoristu dovoljne količine vode, ili voda nema odgovarajući kvalitet, a popravka kvaliteta vode tehnološkim postupcima, ili je nemoguća na zadovoljavajući način, ili je izuzetno skupa.

Ovakvo stanje se ne menja brzo. Zbog toga treba uvesti izvesne kriterijume radi ocene predloženih varijantnih rešenja, koji moraju biti u saglasnosti sa zadanim ciljevima.

Za svako izorište potrebno je odrediti da li zadovoljava kriterijume kvaliteta, kvantiteta, cene i sanitarne zaštite.

- Kvalitet: Treba težiti da je kvalitet na što boljem nivou. Za bolji kvalitet vode biće potreban manji stepen prečišćavanja (jeftiniji proces).
- Kvantitet: Izorište mora da je u stanju da zadovolji potrebe u pogledu količine vode. Mogu se koristiti više izvora. Količina voda može varirati u velikom pogledu u toku godine.
- Cena: Za svako moguće izorište treba tehno – ekonomskom analizom proceniti koštanje prečišćavanja vode, obezbeđenost, skladištenje i distribuciju vode.
- Sanitarna zaštita: Pri odabiru voditi računa o osetljivosti izorišta na zagađenje. Izbegavaju se izorišta koja se lako zagađuju. Potrebno je definisati zone sanitarne zaštite. Treba uzeti u obzir i postojeće objekte i infrastrukturu i njihov uticaj na izorišta.

Bazni postulati

Bazni postulati planiranja su:

- Koristiti lokalna izorišta i unapređivati ih na ekološki valjan način.
- Mora se naći rešenje koje omogućava elastično fazni razvoj sistema, bez preinvestiranja koji bi opteretio sistem.
- Moraju se ostvariti zahtevi obezbeđenosti izorišta u pogledu kapaciteta reda 97%.
- Sistem mora da bude mehanički i hidraulički pouzdan.
- Sistem mora da zadovolji uslove pogodnosti za održavanje (investicionog i redovnog), kao i u slučaju ispada iz pogona.
- Sistem mora biti u saglasnosti sa integralnim korišćenjem i zaštitom voda i sa svim korisnicima prostora.
- Sistem mora biti usaglašen sa Vodnim uslovima.

Kriterijumi opšteg karaktera

- Maksimizacija odnosa dobit/ koštanje.
- Najveća akumulacija kapitala.
- Maksimizacija stope efektivnosti (povraćaj kapitala) – najveća kamatna stopa koju može da izdrži objekat.
- Minimizacija stalnih i pogonskih troškova uz zahtevanu efektivnost.
- Utrošeni resursi – upućuje na racionalizaciju upotrebe resursa u uslovima njihove oskudnosti.

Posebni kriterijum za snabdevanje vodom industrije

- Minimizacija jedinične cene vode iz alternativnih sistema.
- Maksimizacija dobiti (čist prihod) u odnosu na upotrebljeni resurs – vodu.

Pri planiranju vodovodnih sistema treba se držati baznih postulata da bi se dobile ispravne i uporedive varijante. Izabrani kriterijumi moraju biti u skladu sa ciljevima koji se moraju postići.

Primena ekonomskih kriterijuma je uglavnom dominantna. Pored ovih najčešće se primenjuju kriterijumi iz oblasti efektivnosti – sigurnost i obezbeđenost isporuke vode.

Formirana varijantna rešenja se upoređuju po izabranim kriterijumima i vrši se njihovo rangiranje i odabir optimalne varijante za dalje projektovanje i izgradnju.

ZAKLJUČAK

Na osnovu izvršenih komparacija tehničkih rešenja razmatranih varijanti 1, 2 i 3, predlaže se **varijanta 2** kao najpovoljnija, iz sledećih razloga:

1. Varijanta 2 je jeftinija od ostalih dveju varijanti, tako da su i investicioni troškovi manji.
2. Procena je da će vodozahvat u varijanti 2 dati potreban visok stepen obezbeđenosti, jer je dnevna dopunska potreba sistema za vodom mala, zbog korišćenja sistema sa recirkulacijom iste.
3. Vodozahvat u varijanti 2 ne stvara negativne efekte na tokove podzemne i površinske vode – reke, što je slučaj u varijanti 1.

LITERATURA

- [1] Konceptijsko rešenje snabdevanja svežom tehničkom vodom i prečišćavanje otpadnih industrijskih voda za „Fabriku kreča Zagrađe“ u Zagrađu, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Bor, 2013.
- [2] Tehnički mašinski projekat snabdevanja svežom tehničkom vodom rudnika bakra Cerovo, Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Bor, 2008.
- [3] Lj. Čomić, J. Ranković, A. Ostojić, S. Đurčić, Kvalitet vodo-snabdevanja grada Kragujevca – Alternativni izvori vodosnabdevanja, Festival kvaliteta – Nacionalna konferencija o kvalitetu života, Kragujevac, 2007.

UDK: 681.3.06:51(045)=861

STRUČNI RAD

Oblast: *Primenjena informatika*

**REALIZACIJA SIMPLEKS METODE KORIŠĆENJEM
PROGRAMSKOG PAKETA EXCEL**

**IMPLEMENTATION OF SIMPLEX METHOD BY
THE USED EXCEL SOFTWARE PACKAGE**

Milan Radivojević¹, Slavica Miletić², Dušan Radivojević²

¹Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

²Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor

Izvod

Prikazana je realizacija simpleks metode korišćenjem programskog paketa Excel. Simpleks metoda je opšta metoda za rešavanje bilo kog zadatka linearnog programiranja i spada u kategoriju numeričkih metoda. Osnovu opredelenja da se realizacija simpleks metode automatizuje korišćenjem Excel okruženja, bazira na činjenici da se danas na svaki personalni računar može instalirati, ili se već nalazi, Microsoft Office što omogućava širokom krugu zainteresovanih da bez problema koriste programsko rešenje kojim se veoma efikasno, pouzdano i brzo dolazi do optimalnog rešenja zadataka linearnog programiranja.

Ključne reči: *linearno programiranje, simpleks metoda, optimizacija, proces, operaciona istraživanja.*

Abstract

Realization of the Simplex method is shown by the used of Excel software package. The Simplex method is a general method for solving any task of the linear programming and it falls into the category of numerical methods. The base of automated implementation of the Simplex method by the use of Excel environment is based on fact that Microsoft office is installed or can be installed in every personal computer that enables a wide usage of this software, which gives very efficient, reliable and fast optimal solutions of linear programming tasks.

Keywords: *linear programming, simplex method, optimization, process, operational research.*

¹ E-mail: mdradivojevic@gmail.com, slavica.miletic@irmbor.co.rs, dulehm@yahoo.com

UVOD

Automatizacija realizacije simpleks metode u rešavanju problema linearnog programiranja, koji u većini slučajeva proizilaze iz potreba optimizacije različitih procesa u oblasti proizvodnje, transporta, što efikasnijeg iskorišćenja raspoloživih resursa i drugo, na ovaj način otvara sasvim nov pristup celokupnoj ovoj problematici. Naime, ljudi koji rade na problemima optimizacije sada mogu daleko više da se usredsrede na sam problem, a ne na to kako će ga rešavati, odnosno mogu znatno veću pažnju da posvete definisanju i oblikovanju funkcije cilja i određivanju odgovarajućih uslova ograničenja, što svakako nije jednostavan posao, jer zahteva izuzetno dobro poznavanje složenosti strukture i odvijanja procesa koji je potrebno optimizovati. Ako se taj deo posla uradi kvalitetno i kao rezultat toga dobije adekvatan matematički model, onda rešavanje problema upotrebom ovog programskog modula je jednostavno, brzo i efikasno. Matematički model sadrži dve celine: *funkciju cilja* - linearna kombinacija nepoznatih, strukturnih veličina $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ i *uslove ograničenja* koji se zadaju u obliku odgovarajućih nejednačina ili jednačina. Rešiti problem linearnog programiranja podrazumeva određivanje onih vrednosti strukturnih promenljivih koje zadovoljavaju uslove ograničenja i istovremeno obezbeđuju da funkcija cilja ima minimalnu ili maksimalnu vrednost. Takvo dobijeno rešenje naziva se *optimalni plan ili optimalno rešenje*. Svako rešenje koje zadovoljava uslove ograničenja naziva se *dopustivo rešenje* ili dopustivi plan.

Simpleks metoda omogućuje tri osnovne stvari i to:

- a. određivanje bar jednog dopustivog plana,
- b. proveru da li je određeni dopustivi plan optimalan ili nije i
- c. ako odgovarajući dopustivi plan nije optimalan, određivanje novog plana koji je bliži optimalnom.

Dakle, simpleks metoda se sastoji iz tri celine i to: **određivanje** jednog dopustivog plana (najčešće je to plan koji se dobija, na početku rada kada se definišu početne bazne i nebazne promenljive, stavljajući da su sve nebazne promenljive jednake nuli i, pri tome, određivanjem vrednosti početnih baznih promenljivih); **provera (testiranje)** da li je to i optimalan plan i **ako taj plan nije optimalan, određivanje novog** koji je bliži optimalnom. Nakon određivanja novog dopustivog plana, pristupa se njegovom testiranju, pa ako nije optimalan, procedura se ponavlja sve dok se ne dođe do konačnog rešenja - određivanja optimalnog plana.

1. PRIMENA SIMPLEKS METODE U REŠAVANJU ZADATAKA LINEARNOG PROGRAMIRANJA

Simpleks metoda **zahteva** da se svi uslovi ograničenja najpre pretvore u jednačine. Radi toga se koriste dopunske (označićemo ih sa z_1, z_2, \dots, z_k) i veštačke promenljive (označićemo ih sa v_1, v_2, \dots, v_s). Ako je nejednačina u uslovima ograničenja sa znakom " \leq ", onda se odgovarajuća dopunska promenljiva dodaje (sabira) levoj strani ograničenja. Ako je nejednačina sa znakom " \geq ", onda se odgovarajuća dopunska promenljiva oduzima od leve strane ograničenja. Pri tome su *svi koeficijenti* koji u funkciji cilja odgovaraju dopunskim promenljivama jednaki nuli. Za sve dopunske promenljive važe uslovi nenegativnosti.

Veštačke promenljive se uvode samo u jednačinama (dodaju se levoj strani) koje su nastale iz nejednačina sa znakom " \geq " i sa znakom " $=$ ". Veštačke promenljive uvode se samo kao pomoćno sredstvo u simpleks metodi sa ciljem da se obezbedi dopustivo bazično rešenje. Svako veštačkoj promenljivoj se, u funkciji cilja, pripisuje dovoljno veliki koeficijent M (ako se kao vrednost funkcije cilja određuje *minimum*), odnosno $-M$ (kada se za vrednost funkcije cilja određuje *maksimum*). Koeficijent M je *pozitivan broj dovoljno velike vrednosti* koja će obezbediti da sve veštačke promenljive u optimalnom mogućem rešenju imaju vrednost nula, odnosno da sve **izadju** iz baze (u konkretnim zadacima za vrednost M može se uzeti 100, 200, 1000 itd). **Dobijena rešenja određenog zadatka linearnog programiranja su neupotrebljiva dokle god su veštačke promenljive u bazi.**

Detaljnije informacije o transformaciji uslova ograničenja i funkcije cilja, kao i o tome kako se simpleks metoda koristi u rešavanju zadataka linearnog programiranja, mogu se dobiti ako se na početnom ekranu pritisne dugme **Više o linearnom programiranju**.

Kada smo završili transformaciju uslova ograničenja, odnosno njihovo pretvaranje u odgovarajuće jednačine, pristupa se formiranju početne simpleks tabele, posredstvom koje - uz interaktivan rad ili na neposredan način - dolazimo do optimalnog rešenja zadatog problema linearnog programiranja. Kao ilustraciju načina formiranja početne simpleks tabele, navešćemo sledeći primer:

Primenom *simplex* metode rešiti dati problem linearnog programiranja:

$$x_1 + 1,25x_2 + x_3 \leq 1050$$

$$x_1 + x_2 + 0,5x_3 \leq 750$$

$$x_1 + 1,5x_2 + 2x_3 \leq 1200$$

$$f(x_1, x_2, x_3) = 10x_1 + 12x_2 + 10x_3, \quad f \rightarrow \max$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0$$

Da bi se oslobodili decimalnih bojeva u uslovima ograničenja, pomnožimo prvu nejednačinu sa 4, a drugu i treću sa 2. Nakon toga dobijamo uslove ograničenja oblika:

$$4x_1 + 5x_2 + 4x_3 \leq 4200$$

$$2x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 1500$$

$$2x_1 + 3x_2 + 4x_3 \leq 2400$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0$$

$$f(x_1, x_2, x_3) = 10x_1 + 12x_2 + 10x_3, \quad f \rightarrow \max$$

U ovom zadatku broj ograničenja je $m = 3$, broj strukturalnih promenljivih takođe tri i za funkciju cilja f traži se maksimalna vrednost. Obzirom da su sva ograničenja tipa " \leq ", da bi nejednačine transformisali u jednačine, uvodimo dopunske promenljive $z_1 \geq 0$, $z_2 \geq 0$ i $z_3 \geq 0$. Svaka od dopunskih promenljivih dodaje se odgovarajućoj levoj strani uslova ograničenja i time dobijaju jednačine oblika:

$$4x_1 + 5x_2 + 4x_3 + z_1 = 4200$$

$$2x_1 + 2x_2 + x_3 + z_2 = 1500$$

$$2x_1 + 3x_2 + 4x_3 + z_3 = 2400$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, z_1 \geq 0, z_2 \geq 0 \text{ i } z_3 \geq 0$$

$$f(x_1, x_2, x_3) = 10x_1 + 12x_2 + 10x_3, \quad f \rightarrow \max$$

ili, rešavajući ih po dopunskim promenljivim:

$$z_1 = 4200 - 4x_1 - 5x_2 - 4x_3 = 4200 - (4x_1 + 5x_2 + 4x_3)$$

$$z_2 = 1500 - 2x_1 - 2x_2 - x_3 = 1500 - (2x_1 + 2x_2 + x_3)$$

$$z_3 = 2400 - 2x_1 - 3x_2 - 4x_3 = 2400 - (2x_1 + 3x_2 + 4x_3)$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, z_1 \geq 0, z_2 \geq 0 \text{ i } z_3 \geq 0$$

$$f(x_1, x_2, x_3) = 10x_1 + 12x_2 + 10x_3 + 0(z_1 + z_2 + z_3) = 0 - (-10x_1 - 12x_2 - 10x_3)$$

Na osnovu ovog modela može se formirati početna *simpleks* tabela, **ST-0**. Početnu bazu sačinjavaju dopunske promenljive z_1 , z_2 , i z_3 . Vrednosti promenljivih u početnoj bazi dobijaju se kada se u gornjem sistemu jednačina zameni $x_1=x_2=x_3=0$ pa se pokazuje da su to vrednosti sa desnih strana jednakosti ($z_1=4200$; $z_2=1500$; $z_3=2400$). Vrednosti $x_1=x_2=x_3=0$ čine početno dopustivo rešenje. Trenutna vrednost funkcije cilja je $f = 0$ i dobija se zamenom vrednosti strukturnih promenljivih ($x_1=x_2=x_3=0$) u odgovarajući izraz za funkciju cija. Izgled početne simpleks tabele prikazan je na slici 1.

ST-0	β	x_1	x_2	x_3	z_1	z_2	z_3
z_1	4200	4	5	3	1	0	0
z_2	1500	2	2	3	0	1	0
z_3	2400	2	3	4	0	0	1
f	0	-10	-12	-10	0	0	0

Sl. 1. Početna simpleks tabela

Početno dopustivo rešenje, kao što smo već istakli, je $x = \{x_1, x_2, x_3\} = \{0, 0, 0\}$ i ovo rešenje zadovoljava uslove ograničenja. Postavlja se pitanje da li je ovo i optimalno rešenje i da li je $f = 0$ maksimum funkcije cilja? Očigledno da nije, jer su koeficijenti u zadnjem redu tabele, ispod promenljivih x_1, x_2, x_3, z_1, z_2 i z_3 redom -10, -12, -10, 0, 0 i 0, pa obzirom da nisu svi veći ili jednaki nuli, to vrednost funkcije cilja $f = 0$ nije njena maksimalna vrednost. S toga se rad nastavlja dalje. Iterativnim radom sa tabelom, korak po korak, dolazi se do optimalnog rešenja.

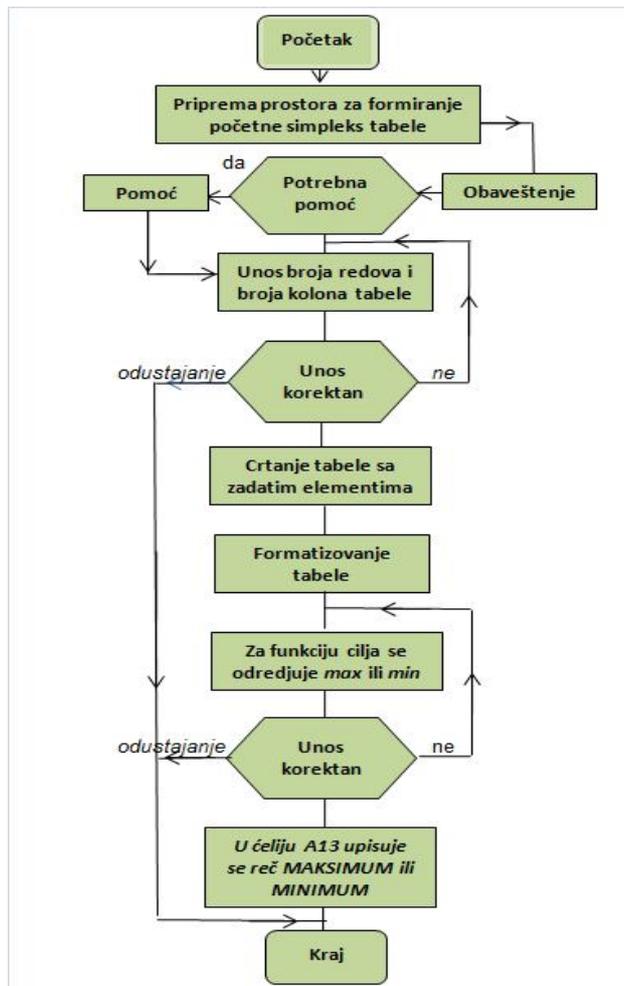
Rad na određivanju optimalnog rešenja, od momenta formiranja početne simpleks tabele pa do dobijanja konačnog rezultata, ovim programskim rešenjem, je potpuno automatizovan. Ono što je bitno da se još jednom istakne, je činjenica da je potreban uslov za uspešan dalji rad, *formiranje početne simpleks tabele*. A da bi se ona formirala neophodno je precizno i valjano definisati matematički

model odgovarajućeg procesa čija će se optimizacija realizovati linearnim programiranjem. To, između ostalog, podrazumeva da se u konkretnom zadatku linearnog programiranja izvrši: pretvaranje svih uslova ograničenja u jednačine, određivanje početnih baznih promenljivih, eksplicitno izražavanje početnih baznih promenljivih preko ostalih promenljivih, smena veštačkih promenljivih u funkciju cilja i izražavanje funkcije cilja u obliku pogodnom za očitavanje odgovarajućih koeficijenata (koji su uz promenljive u njoj) koji se unose u početnu simpleks tabelu.

2. ALGORITAM I POSTUPAK REALIZACIJE SIMPLEKS METODE

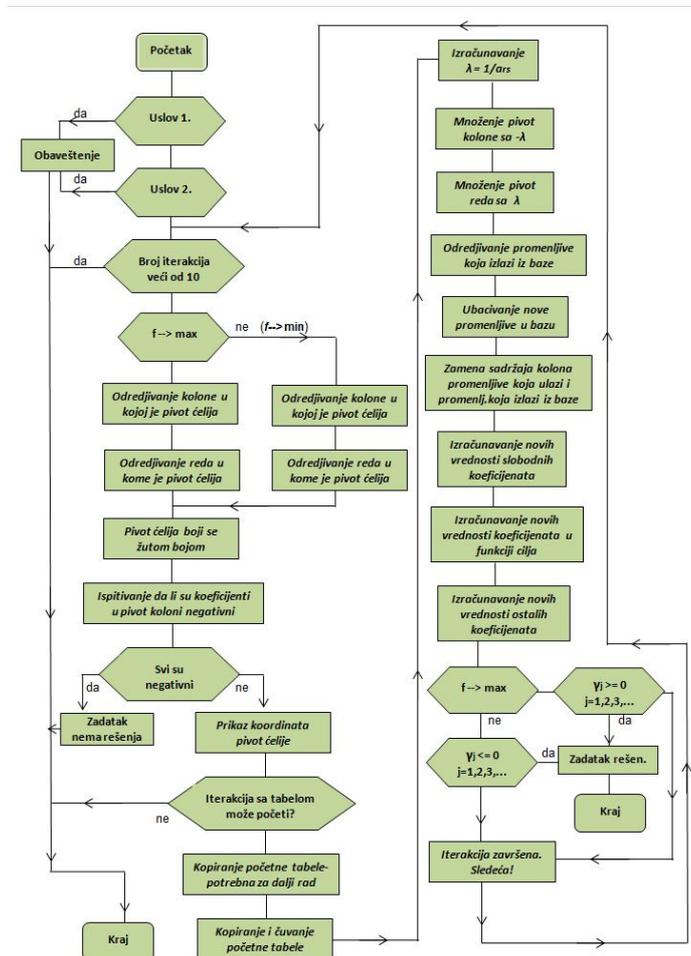
Algoritam realizacije simpleks metode sastoji iz dva dela: algoritma formiranja početne simpleks tabele i algoritma određivanja optimalnog rešenja zadatog problema linearnog programiranja. Algoritam formiranja početne simpleks tabele (slika 2) predstavlja skup svih postupaka koje je potrebno izvršiti da bi se, nakon matematičkog formulisanja konkretnog problema linearnog programiranja - definisanja funkcije cilja i odgovarajućih uslova ograničenja, formirala početna simpleks tabela.

Rešavanje problema linearnog programiranja (LP), ovim modulom, može se realizovati na dva načina: interakcijom sa simpleks tabelom i neposredno, odmah nakon formiranja početne simpleks tabele. Algoritmi za oba načina dobijanja rešenja su slični. Razlika je samo u tome što se kod neposredne metode, tokom rada, ne dobijaju nikakva obaveštenja ili upozorenja, već se samo na kraju korisnik obaveštava da je zadatak rešen ili da nema rešenja. S toga se ovde daje samo prikaz algoritma za rešavanje problema LP metodom iteracije sa simpleks tabelom. Ovaj algoritam prikazan je na slici 3. Unutar dva simbola za grananje programa, zbog dužine sadržaja uslova grananja, napisano je **Uslov 1.** i **Uslov 2.** Prvi uslov glasi: " Svi koeficijenti (u zadnjem redu početne simpleks tabele) $\gamma_j, j = 1,2,3 \dots$ su veći ili jednaki nuli i za funkciju cilja se određuje maksimum." Slično ovom, Uslov 2. glasi: " Svi koeficijenti (u zadnjem redu početne simpleks tabele) $\gamma_j, j = 1,2,3 \dots$ su manji ili jednaki nuli i za funkciju cilja se određuje minimum".



Sl. 2. Algoritam formiranja početne simpleks tabele

Svakako da, ukoliko imamo ovakav slučaj, da su ispunjeni bilo Uslov 1. ili Uslov 2., to onda znači da nam je rešenje "dala" početna simpleks tabela, pa nemamo potrebe ni za kakvim daljnim iteracijama. Program nas o tome obaveštava i "ide" na kraj. Takvi slučajevi se najčešće pojavljuju kao posledica neadekvatog određivanja uslova ograničenja, a ređe kao realno rešenje datog problema. Zbog toga se, u takvim slučajevima treba ponovo vratiti na preispitivanje uslova ograničenja.



SI. 3. Algoritam određivanja optimalnog rešenja

Aplikacija (program) se pokreće dvostrukim klikom levim tasterom miša na odgovarajuću ikonu smeštenu na desktopu računara. Pri tome se dobija početni ekran (slika 4.). Na njemu su smeštena šest komandna dugmeta preko kojih realizujemo simpleks metodu koju koristimo u iznalaženju rešenja određenog, konkretnog problema linearnog programiranja.

Pritiskom na dugme *Formiranje početne simpleks tabele* započinje formiranje nulte (početne) simpleks tabele. Nakon unosa broja redova (maksimalno 200) i broja kolona tabele (maksimalno 200) i odgovora na pitanje da li se za funkciju cilja određuje maksimum ili minimum, program crta odgovarajuću tabelu (slika 5 - kao primer nacrtana je tabela sa šest redova i deset

kolona, a za funkciju cilja određuje se minimum.). Sada nam preostaje samo da popunimo tabelu odgovarajućim vrednostima koeficijenata dobijenih na osnovu matematičke formulacije problema LP napisanog u obliku pogodnim za primenu simpleks metode.

Sl. 4. Početni ekran

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ST-0	β								
2										
3										
4										
5										
6	f									

Sl. 5. U dobijenu tabelu unose se vrednosti odgovarajućih koeficijenata

Da bi smo popunili dobijenu tabelu i nastavili dalji rad, iskoristićemo sledeći primer: Za funkciju cilja $f = 40x_1 + 30x_2 + 15x_3$ odrediti minimalnu vrednost pri sledećim uslovima ograničenja:

$$5x_1 + 3x_2 + 2x_3 \geq 40$$

$$x_1 \leq 3$$

$$x_2 \leq 4$$

$$x_3 \leq 8$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0$$

Svođenjem opšteg oblika ovog zadatka na standardni, dobija se oblik koji zahteva simpleks metoda:

$$5x_1 + 3x_2 + 2x_3 - z_1 + v_1 = 40, \quad v_1 = 40 - (5x_1 + 3x_2 + 2x_3 - z_1)$$

$$x_1 + z_2 = 3 \quad z_2 = 3 - (x_1 + 0x_2 + 0x_3 + 0z_1)$$

$$x_2 + z_3 = 4 \quad z_3 = 4 - (0x_1 + x_2 + 0x_3 + 0z_1) \quad (1)$$

$$x_3 + z_4 = 8 \quad z_4 = 8 - (0x_1 + 0x_2 + x_3 + 0z_1)$$

$$f = 40x_1 + 30x_2 + 15x_3 + Mv_1 = 40M - [(5M - 40)x_1 + (3M - 30)x_2 + (2M - 15)x_3 - Mz_1]$$

Veličine v_1 , z_2 , z_3 , i z_4 su početne bazne promenljive. Stavljajući, primera radi, da je $M = 100$, dobijamo:

$$f = 4000 - (460x_1 + 270x_2 + 185x_3 - 100z_1) \quad (2)$$

Unosom vrednosti koeficijenata iz relacija (1) i (2) u tabelu prikazanu na slici 5 dobija se početna simpleks tabela (slika 6.).

Formiranje početne simpleks tabele										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Broj red. =	6									
Broj kol. =	10									
ITERAKTIVNO										
Koordinate PIVOT polja:										
Red =										
Kolona =										
Za f-ju cilja određuje se:										
MINIMUM										
REŠENJE										
Početna tabela										
Više o linearnom programiranju										
Završetak rada										
1	ST-0	b	x1	x2	x3	z1	z2	z3	z4	v1
2	v1	40	5	3	2	-1	0	0	0	1
3	z2	3	1	0	0	0	1	0	0	0
4	z3	4	0	1	0	0	0	1	0	0
5	z4	8	0	0	1	0	0	0	1	0
6	f	4000	460	270	185	-100	0	0	0	0

Sl. 6. Početna simpleks tabela

Formiranjem početne simpleks tabele završen je najveći deo poslova koje je neophodno realizovati pri korišćenju ovog programskog rešenja.

Pritiskom na dugme *ITERAKTIVNO* započinje interaktivni rad sa tabelom. Kroz nekoliko iteracija (programom je predviđeno maksimalno deset što zadovoljava potrebe velikog broja zadataka LP), korak po korak, dolazimo do optimalnog rešenja zadatog problema linearnog programiranja. Ako problem nema rešenja, program nas o tome takođe obaveštava.

Sa druge strane, ako pritisnemo dugme *REŠENJE*, dobićemo odmah rešenje zadatog problema bez uvida u odgovarajuće međukorake koji se realizuju dok se do njega ne dođe. Na slici 7. prikazana je zadnja simpleks tabela za primer koji smo naveli (dobijena posle četiri iteracije) na osnovu koje očitavamo optimalno rešenje zadatog problema. Iz ove tabele se vidi da su, posle programski obavljenih transformacija, svi koeficijenti uz promenljive u funkciji cilja (zadnji red tabele) jednaki ili manji od nule,

Formiranje početne simpleks tabele										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Broj red. =	6									
Broj kol. =	10									
ITERAKTIVNO										
Koordinate PIVOT polja:										
Red =	5									
Kolona =	8									
Za f-ju cilja određuje se: MINIMUM										
REŠENJE										
Početna tabela										
Više o linearnom programiranju										
Završetak rada										
1	ST-4	b	x1	x2	x3	z1	z2	z3	z4	v1
2	x3	8	0	0	1	0	0	0	1	0
3	x1	3	1	0	0	0	1	0	0	0
4	x2	3	0	1	0	-0,333333	-1,666667	0	-0,666667	0,333333
5	z3	1	0	0	0	0,333333	1,666667	1	0,666667	-0,333333
6	f	330	0	0	0	-10	-10	0	-5	-90

Sl. 7. Simpleks tabela iz koje očitavamo optimalna rešenja

pa, budući da se određuje minimum funkcije, možemo iz dobijene tabele pročitati optimalno rešenje. Rešenje čitamo iz prve i druge kolone tabele: $x^o_1 = 3, x^o_2 = 3, x^o_3 = 8$ i $f = f_{min} = 330$.

Ako postoji potreba da se rešavanje zadatog problema iz određenih razloga ponovi, možemo pritiskom na dugme *Početna tabela*, ponovo vratiti na ekran početnu simpleks tabelu.

Pritiskom na dugme Više o linearnom programiranju možemo više saznati o problematici linearnog programiranja i simpleks metodi. Sa ovog ekrana, na početni ekran "dolazimo" pritiskom na dugme Početni ekran.

Aktiviranjem komandnog dugmeta Završetak rada, zatvaramo aplikaciju čime je rad sa ovim programskim rešenjem završen.

ZAKLJUČAK

Simpleks metoda je opšta metoda za rešavanje bilo kog zadatka linearnog programiranja i spada u kategoriju numeričkih metoda. Zadatak ili problem linearnog programiranja sadrži dve celine: *funkciju cilja* - linearna kombinacija nepoznatih, strukturnih veličina $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ i *uslove ograničenja* koji se zadaju u obliku odgovarajućih nejednačina ili jednačina.

Rešiti problem linearnog programiranja podrazumeva određivanje onih vrednosti strukturnih promenljivih koje zadovoljavaju uslove ograničenja i istovremeno obezbeđuju da funkcija cilja ima minimalnu ili maksimalnu vrednost. Takvo dobijeno rešenje naziva se *optimalno rešenje*. Svako rešenje koje zadovoljava uslove ograničenja naziva se *dopustivo rešenje*. Optimalno rešenje je jedno od dupustivih rešenja.

U ovom radu akcenat je stavljen na automatizaciju realizacije simpleks metode upotrebom Excel programskog paketa. Matematičke dokaze pojedinih formulacija nismo dali, jer bi to znatno povećalo obim samog rada a za korisnike programskog modula ne bi bilo od posebnog značaja. Osnove linearnog programiranja i simpleks metode, potkrepljene odgovarajućim dokazima, mogu se naći u velikom broju stručnih časopisa, udžbenicima, na internetu i dr.

LITERATURA

- [1] J. Petrić, Operaciona istraživanja I, Deseto izdanje, Nauka Beograd, 1997.
- [2] T. Perić, Dualni problem linearnog programiranja i analiza osetljivosti, Internet, 2012.
- [3] T. Perić, Simpleks metoda za rešavanje modela linearnog programiranja, Internet, 2012.
- [4] Z. B. Ovcin, Dualnost i simpleks metoda, Fakultet tehničkih nauka, Upustva za rešavanje zadataka linearnog programiranja, Novi Sad, 2013.

UDK: 336.741.1:66.085.3(045)=861

STRUČNI RAD

Oblast: Popularistička hemija

**UPOREDNE XRF ANALIZE KASNOANTIČKOG NOVCA SA
TERITORIJE DANAŠNJE VOJVODINE**

**XRF COMPARATIVE ANALYSIS OF LATE ROMAN MONEY
FROM THE PROVINCE PANNONIA**

Snežana Kalamković¹, Tibor Halaši², Katarina Gerić³

¹OŠ „Prva vojvođanska brigada”, Seljačkih buna 51a, Novi Sad

²Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju,
biohemiju i zaštitu životne sredine, Metodika nastave hemije,
Istorija hemije, Trg Dositeja Obradovića 3, Novi Sad

³Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića, Novi Sad

Izvod

Predmet istraživanja ovog rada su metalni novčići, čija se tehnologija proizvodnje, sa manjim izmenama, održala do danas. Hemijski sastav novčića je ispitivan pomoću XRF metode. Na osnovu rezultata hemijskih analiza rimskih novčića iz perioda II, III i IV veka, tj. perioda kasne antike sa teritorije današnje Vojvodine, može se zaključiti da je novac od legure bakra najčešće bio u upotrebi i da se najčešće može naći na arheološkim lokalitetima. Procenat bakra je, uglavnom preko 80%, dok količina olova, kalaja i cinka varira.

Ključne reči: XRF analiza, kasnoantički novac, Vojvodina, bronza

Abstract

The subject of this paper is metal coins, whose production technology, with minor changes, was held today. Chemical composition of coins has been investigated by XRF method. Based on the results of chemical analysis of Roman coins dating from the II, III and IV century, the period of late antiquity, the territory of present day Vojvodina (Province Pannonia), it can be concluded that the money from a copper alloy commonly used and is most often found on archaeological sites. The percentage of copper is usually over 80%, while the levels of lead, tin and zinc varies.

Keywords: XRF analysis, late roman money, Province Pannonia, bronze

¹ E-mail: kalamkovic@gmail.com

UVOD

Kultura Jugoistočne Evrope, od I - IV veka nove ere, je utemeljila jednu, sasvim novu Evropu, u kojoj su primenjena umetnost, prirodne i tehničke nauke preuzele primat. Razvile su se vojna inženjerija, metalurgija, tehnologija proizvodnje građevinskog materijala i keramičke robe. Predmet istraživanja ovog rada su metalni novčići, čija se tehnologija proizvodnje, sa manjim izmenama, održala do danas.

TEORIJSKE OSNOVE

Narodi koji su naseljavali teritoriju današnje Srbije, u doba antike, su bili blisko povezani sa narodima iz okruženja, s druge strane Dunava i sa njima su vršili kako robne tako i novčane transakcije. Sve je bilo moguće, jer je u upotrebi bio sličan novac, neka vrsta univerzalne monete u rimskim provincijama, ali ne i u samom Rimu. Pravo kovanja novaca, prostijih kovanica, u Rimskoj republici pripadalo je Senatu (na reversu novca se nalazi skraćena S-C (*Senatus Consulto-odluka senata*)) i bilo je više formalne prirode, jer su carevi davali inicijativu za izradu tog novca. Početkom 27. pre n. e., August Oktavius je podelio pravo kovanja novca sa Senatom. Senatu je pripalo pravo kovanja bakarnog i bronzanog novca, a Oktavius je imao povlasticu kovanja zlatnog i srebrnog novca. Svaka kovnica novca u Rimskom carstvu imala je svoju unutrašnju organizaciju. Kovanjem novca, u doba antike, u rimskom carstvu, rukovodio je carski činovnik (*Rationalis*). U vreme vladavine cara Trajana procesom kovanja novca rukovodio je rimski vitez (*Equites*). *Rationalis* je bio podređen upravniku *Procurator monetae* (*Prokurator*, državni tužilac ili pravnik, oslobođeni rob gospodara), predstavniku kovnice. Brojno osoblje (*Familia monetalis*): *Optio* (tehničko vođstvo), *Officinatores* (administrativni poslovi), *Nummularii* (stručni radnici u radionicama), *Suppostores* (slagari, livene pločice su stavljali u štanc), *Signatores* (rezbari, gravirali su likove u štanc), *Scalptores* (crtači likova), *Probatores* (ispitivači finoće kvaliteta), *Exactores* (ispitivači ispravnosti težine novca) je bilo zaduženo za pojedine radnje pri izradi pločica, kovanja novca i kontrolu kvaliteta i težine gotovog novca. *Dis-pensatorima* (raspodeljivač) je imao zadatak da novac isporuči državnoj blagajni, koja ga je tek tada stavljala u opticaj [1].

Kasnoantički novčići sa teritorije Vojvodine, su iz lične kolekcije vanrednog prof. dr Tibora Halašija. Njihova detekcija je izvršena XRF metodom, kojom se detektuju predmeti od bakra i njegovih legura i plemenitih metala (Pt, Pd, Au, Rh, Ir). Rendgenski zraci predstavljaju vrstu zračenja koju emituju čvrsta tela kada su izložena katodnim zracima dovoljno velike brzine. Njihova talasna dužina je skoro 10⁴

puta manja od talasne dužine vidljive svetlosti. Nastalo zračenje se sastoji od usporenog i karakterističnog zračenja. Usporeno zračenje predstavlja jednu kontinualni traku polarizovanih zraka nezavisnih od vrste materijala. Karakteristično zračenje je predstavlja specifičan i nepolarizovan linijski spektar atoma iz supstancije. Po Mozliju (*Henry Gwyn Jeffreys Moseley*, 1887 – 1915.) rendgenski spektar atoma se sastoji od sistema linija K-, L-, M- serije. Detektovanje elemenata se vrši na osnovu spektralnog položaja serija, pri čemu se K- i L- serije sastoje od α i β linija. Frekvencija rendgenskih linija zavisi od rednog broja elementa u Tablici PSE. Posmatraju se energetske spektri [2].

XRF analiza je tehnika koja se može primeniti i u arheološke svrhe, jer je nedestruktivna metoda, primenljiva i za kvalitativne i za kvantitativne analize. Spada u grupu komparativnih ili relevantnih analitičkih metoda, pri čemu se dobijeni rezultati snimanja upoređuju sa rezultatima sertifikovanih referentnih materijala, sličnog sastava kao i analizirani uzorak [3].

REZULTATI I DISKUSIJA

Uzorak A1 (slika 1)

Prečnik: 21.8 mm

Debljina: 0.9 mm

Masa: 2.72 g



Sl. 1. Makroskopski izgled novčića sa oznakom A1

Uzorak novčića sa oznakom A1 (slika 1) potiče iz perioda vladavine cara Aurelijana (270 - 275.). Na aversu novčića je profil cara Aurelijana (*Imperator Caesar Lucius Domitius Aurelianus Augustus*, 214, 215 - 275.).



Sl. 2. XRF analiza novčića sa oznakom A1

Tabela 1. XRF analiza novčića sa oznakom A1

Elementi	Uzorak 1
% Ag	3,81
% Sn	5,13
% Pb	4,29
% Au	0,02
% Zn	0,095
% Cu	85,45
% Ni	0,026
% Fe	0,061

Rezultat XRF analize (slika 2 i tabela 1) novčića sa oznakom A1 je potvrdio hipotezu da je u pitanju novčić od bronz. Interesantna je količina srebra.

Uzorak A2 (slika 3)

Prečnik: 15.1 mm

Debljina: 0.6 mm

Masa: 1.48 g

**Sl. 3.** Makroskopski izgled novčića sa oznakom A2

Uzorak novčića sa oznakom A2 (slika 3) potiče iz perioda vladavine cara Aurelijana. Na aversu novčića je profil cara Aurelijana.

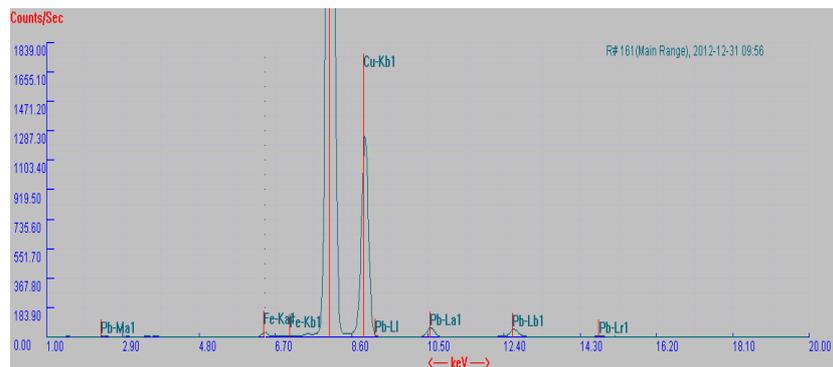
**Sl. 4.** XRF analiza novčića sa oznakom A2

Tabela 2. XRF analiza novčića sa oznakom A2

Elementi	Uzorak 1
% Pb	2,15
% Au	0,017
% Zn	0,026
% Cu	95,72
% Ni	0,121
% Fe	0,256
% Cr	0.044

Rezultat XRF analize (slika 4 i tabela 2) novčića sa oznakom A2 je potvrdio hipotezu da je osnovna komponenta ovog novčića bakar, čak 95,72%, a da je olovo zastupljeno sa 2,15%.

Uzorak C1 (slika 5.)

Prečnik: 18.0 mm

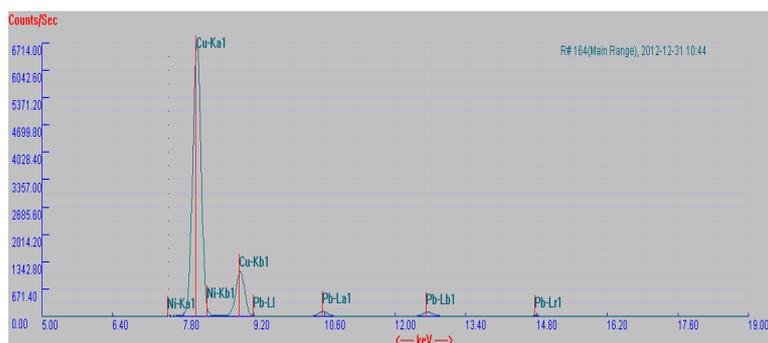
Debljina: 1.0 mm

Masa: 3.00 g



Sl. 5. Makroskopski izgled novčića sa oznakom C1

Uzorak novčića sa oznakom C1 (slika 5) potiče iz perioda vladavine Konstantina Velikog (306 - 337.). Na aversu novčića je profil Konstantina Velikog (*Flavius Valerius Aurelius Constantinus*, 280 - 337.).



Sl. 6. XRF analiza novčića sa oznakom C1

Tabela 3. XRF analiza novčića sa oznakom C1

Elementi	Uzorak 1
% Sn	2,49
% Ag	3,56
% Pb	4,27
% Au	0,047
% Zn	0,061
% Cu	89,18
% Fe	0,093

Rezultat XRF analize (Slika 6. i Tabela 3.) novčića sa oznakom C1 upućuje da novčić osim bakra 89,18%, olova 4,27% i kalaja 2,49%, sadrži i određenu količinu srebra 3,56%.

Uzorak C2 (slika 7)

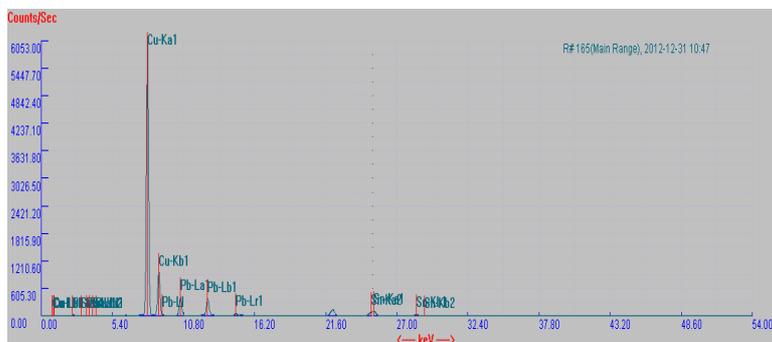
Prečnik: 20.3 mm

Debljina: 1.8 mm

Masa: 4.74 g

**Sl. 7.** Makroskopski izgled novčića sa oznakom C2

Uzorak novčića sa oznakom C2 (slika 7) potiče iz perioda vladavine jednog od sinova Konstantina Velikog. Nemoguće je sa sigurnošću tvrditi o kom sinu je reč, verovatno je iz perioda vladavine Konstancija II (*Flavius Iulius Constantius, Constantius II*, [317.](#) - [361.](#)), jer je novčić prilično oštećen. Može se samo konstatovati da novčić pripada Konstantinovoj dinastiji i da potiče iz prve polovine IV veka (oko 361.). Na aversu novčića je, najverovatnije, profil Konstancija II.



Sl. 8. XRF analiza novčića sa oznakom C 2

Tabela 4. XRF analiza C2

Elementi	Uzorak 1
% Sn	2,04
% Pb	13,38
% Cu	82,63
% Fe	0,158
% Al	1,27

Rezultat XRF analize (slika 8 i tabela 4) novčića sa oznakom C2 upućuje da novčić osim bakra 82,163%, olova 13,38% i kalaja 2,04%, sadrži i određenu količinu aluminijuma 3,56%.

Uzorak C3 (slika 9)

Prečnik: 33.0 mm

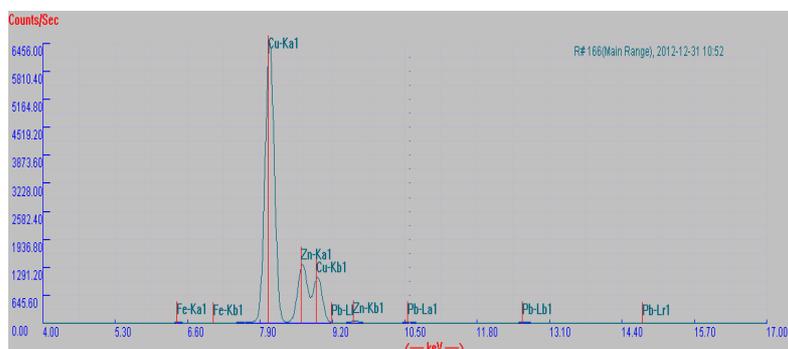
Debljina: 2.1 mm

Masa: 20.36 g



Sl. 9. Makroskopski izgled novčića sa oznakom C3

Uzorak novčića sa oznakom C3 (slika 9) potiče iz perioda vladavine Hadrijana (117 - 138.). Na aversu novčića je, najverovatnije, profil Hadrijana (*Publius Aelius Traianus Hadrianus Augustus*, 76 - 138.), koji je prepoznatljiv po bradi.



Sl. 10. XRF analiza novčića sa oznakom C3

Tabela 5. XRF analiza novčića sa oznakom C 3

Elementi	Uzorak 1
% Sn	2,75
% Pb	1,09
% Zn	12,76
% Cu	82,95

Rezultat XRF analize (slika 10 i tabela 5) novčića sa oznakom C3 je potvrdio hipotezu da je osnovna komponenta ovog novčića bakar, čak 82,95%, dok količina od 12,76% cinka upućuje da je novčić od legure bakra - mesinga (*orihalcum*).

Uzorak C5 (slika 11)

Prečnik: 15.0 mm

Debljina: 0.2 mm

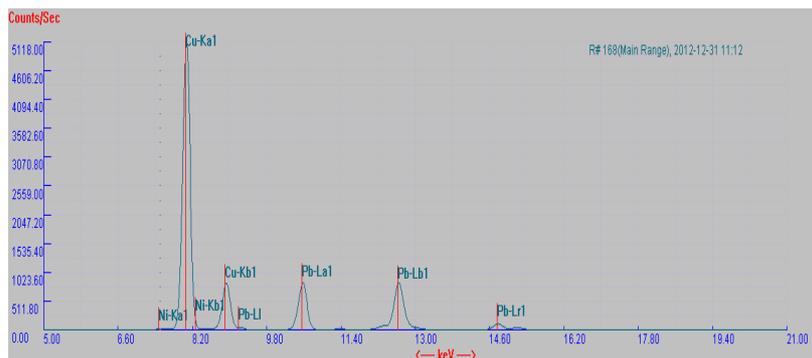
Masa: 0.94 g



Sl. 11. Makroskopski izgled novčića sa oznakom C 5

Uzorak novčića sa oznakom C5 (slika 11) potiče iz perioda vladavine jednog od sinova Konstantina Velikog. Nemoguće je sa sigurnošću tvrditi o kom sinu je reč, verovatno je iz perioda vladavine Konstancija II (*Flavius Iulius*

Constantius, Constantius II, [317](#) - [361.](#)), jer je novčić prilično oštećen. Može se samo konstatovati da novčić pripada Konstantinovoј dinastiji i da potiče iz prve polovine IV veka (oko 361.). Na aversu novčića je, najverovatnije, profil Konstancija II.



Sl. 12. XRF analiza novčića sa oznakom C5

Tabela 6. XRF analiza novčića sa oznakom C5

Elementi	Uzorak 1
% Sn	1,90
% Pb	24,486
% Cu	70,83
% Fe	0,027
% Al	1,99

Rezultat XRF analize (slika 12 i tabela 6) novčića sa oznakom C5 je potvrdio hipotezu da je osnovna komponenta ovog novčića bakar, 70,83%, ali nije zanemarljiva i količina olova 24,486%.

ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata hemijskih analiza rimskih novčića iz perioda II, III i IV veka, tj. perioda kasne antike sa teritorije današnje Srbije, može se zaključiti da je novac od legure bakra najčešće bio u upotrebi i da se najčešće može naći na arheološkim lokalitetima. Procenat bakra je, uglavnom preko 80%, dok količina olova, kalaja i cinka varira. Interesantan i čudan je podatak da pojedini novčići sadrže i aluminijum, zbog činjenice da je aluminijum izolovao i otkrio, tek u XIX veku, 1827. nemački hemičar Veler (*Friedrich Wöhler*, 1800 - 1882.).

Neverovatna je i priča koju je zabeležio Plinije Stariji (*Gaius Plinius Secundus Maior*, 23 - 79.), pre gotovo dve hiljade godina: „Rimskom imperatoru Tiberiju (*Tiberius Claudius Nero*, 85 - 33. pre n. e.) neki majstor doneo je na poklon čašu izrađenu od blistavog i neobično lakog metala. Majstor je objasnio da je taj metal dobio iz gline. Tiberije se uplašio da će novi metal smanjiti cene zlata i srebra, pa je naredio da se majstor ubije, a njegova radionica razruši. Da li su stari majstori znali za neki drugi način dobijanja aluminijuma, bez upotrebe električne energije koja tada, koliko se zna, nije postojala, ostaje tajna.” [4].

LITERATURA:

- [1] C. Drecol, Die Liturgien im römischen Kaiserreich des 3. und 4. Jahrhundert n. Chr. Untersuchung über Zugang, Inhalt und wirtschaftliche Bedeutung der öffentlichen Zwangsdienste in Ägypten und anderen Provinzen, Steiner, Stuttgart, 1997, ISBN 3-515-07151-2.
- [2] G. L. Clark, H. V. Anderson, X-Ray Study of the Zonal Structure of Silica Brick from the Roof of a Basic Open-Hearth Furnace, *Industrial and Engineering Chemistry*, 21 (8), (1929), 781-785.
- [3] C. Cardell, I. Guerra, J. Romero-Pastor, G. Cultrone, A. Rodriguez-Navarro, Innovative Analytical Methodology Combining Micro-X-Ray Diffraction, Scanning Electron Microscopy-Based Mineral Maps, and Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectroscopy to Characterize Archeological Artifacts, *Analytical Chemistry*, 81 (2), (2009), 604-611.
- [4] I. Radovanović, Sjaj iz dubina, *Planeta*, magazin za nauku, kulturu, istraživanja i otkrića, broj 15, (2005), urednik Gaon A., "BELMEDIA" d.o.o., Beograd.

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@irmbor.co.rs; ana.kostov@irmbor.co.rs
Telefon: 030/454-254; 030/454-108

Svim autorima se zahvaljujemo na saradnji.

INSTRUCTIONS FOR THE AUTHORS

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

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

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

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

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

Abstract and Keywords should be also given in English language.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

We are thankful for all authors on cooperation.

SADRŽAJ
CONTENS

S. Srdić, M. Nedeljković

**PREDIKTIVNI REGULATOR STRUJE ZA TIRISTORSKE ISPRAVLJAČE U
POSTROJENJIMA ZA ELEKTROLITIČKU RAFINACIJU BAKRA I
ELEKTROVINING**

PREDICTIVE CURRENT CONTROLLER FOR THYRISTOR RECTIFIERS IN
COPPER ELECTROREFINING AND ELECTROWINNING INDUSTRY 1

L. Gomidželović, D. Živković, A. Kostov, E. Požega

**TERMODINAMIČKA ANALIZA Au-Ga-Sb SISTEMA POMOĆU
RKM MODELA**

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF Au-Ga-Sb SYSTEM BY
RKM MODEL 15

D. Brodić, D. Jovanović, T. Ognjanović

RANJIVOST WEB APLIKACIJA

WEB APPLICATION VULNERABILITIES 23

D. Urošević, V. Gardić, M. Maksimović, I. Jovanović

**TEHNOLOGIJA PRERADE GLINA SA LOKALITETA DUŠANOVAC
KOD NEGOTINA**

TECHNOLOGY FOR PROCESSING CLAY FROM DUŠANOVAC SITE
NEAR NEGOTIN 35

I. Jovanović, D. Todorović, I. Miljanović, D. Urošević, S. Magdalinović, S. Krstić

**KORELACIJA IZMEĐU SADRŽAJA I ISKORIŠĆENJA BAKRA U
FLOTACIJSKOM KONCENTRATU IZ POGONA "VELIKI KRIVELJ"
U FUNKCIJI FINOĆE MLEVENJA**

CORRELATION BETWEEN GRADE AND RECOVERY OF COPPER
CONCENTRATE FROM "VELIKI KRIVELJ" FLOTATION PLANT IN THE
FUNCTION OF GRINDING FINENESS 45

S. Dragulović, D. Božić, M. Gorgievski, Lj. Mladenović, S. Ivanović,
Z. Stanojević Šimšić

DOBIJANJE INDIJUMA IZ OTPADNIH LCD MONITORA

RECOVERY OF INDIUM FROM WASTE LCD MONITORS 55

B. Rajković, Z. Ilić, J. Stanković

**KOMPRESORSKA STANICA ZA TEHNOLOŠKI I INSTRUMENTALNI
VAZDUH ZA FLOTACIONE MAŠINE U RUDNIKU "LECE"**

COMPRESSOR STATION FOR TECHNOLOGICAL AND INSTRUMENTAL
AIR FOR FLOTATION MACHINES IN "LECE" MINE 61

Z. Ilić, B. Rajković, G. Angelov, R. Mijović, J Stanković	
TEHNO - EKONOMSKA ANALIZA MOGUĆIH VARIJANTNIH REŠENJA VODOSNABDEVANJA POGONA ZA PRERADU KREČNOG KAMENA ZAGRAĐE U ZAGRAĐU KOD BORA	
TECHNO - ECONOMIC ANALYSIS OF POSSIBLE ALTERNATIVE SOLUTIONS WATER TREATMENT PLANT FOR THE PRODUCTION OF LIMESTONE ZAGRAĐE IN ZAGRAĐE NEAR BORA	69
M. Radivojević, S. Miletić, D. Radivojević	
REALIZACIJA SIMPLEKS METODE KORIŠĆENJEM PROGRAMSKOG PAKETA EXCEL	
IMPLEMENTATION OF SIMPLEX METHOD BY THE USED EXCEL SOFTWARE PACKAGE	77
S. Kalamković, T. Halaši, K. Gerić	
UPOREDNE XRF ANALIZE KASNOANTIČKOG NOVCA SA TERITORIJE DANAŠNJE VOJVODINE	
XRF COMPARATIVE ANALYSIS OF LATE ROMAN MONEY FROM THE PROVINCE PANNONIA	89
