

INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR



Cu

UDC 669.3
ISSN 0351-0212

Broj 2 Volumen 41 2016

BAKAR COPPER



BAKAR je časopis baziran na bogatoj tradiciji stručnog i naučnog rada ne samo iz oblasti dobijanja i prerade bakra, već i iz oblasti obojene i crne metalurgije, tehnologije, nanotehnologije, hemije, pripreme mineralnih sirovina, zaštite životne sredine, energetske efikasnosti, i primenjene informatike i povezanih srodnih oblasti.

Izlazi dva puta godišnje još od 1968. godine.

Glavni i odgovorni urednik

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

Zamenik glavnog i odgovornog urednika

Dr Biserka Trumić, *naučni savetnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
E-mail: biserka.trumic@irmbor.co.rs
Tel. 030/454-272

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: 30 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

Izдавач

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 Mile Bugarin, *naučni savetnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Prof. dr Milan Antonijević, *red. prof.*
Tehnički fakultet Bor
Prof. dr Tatjana Volkov Husović, *vanr. prof.*
Tehnološko-metaluški fakultet Beograd
Doc. dr Milica Gvozdenović, *docent*
Tehnološko-metaluški fakultet Beograd
Doc. dr Mile Dimitrijević, *docent*
Tehnički fakultet Bor
Dr Silvana Dimitrijević, *naučni saradnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

Prof. dr Dragana Živković, *red. prof.*
Tehnički fakultet Bor

Dr Ana Kostov, *naučni savetnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Dr Lidija Mančić, *viši naučni saradnik*
Institut tehničkih nauka SANU
Prof. dr Desimir Marković, *red. prof.*
Tehnički fakultet Bor
Dr Aleksandra Milosavljević, *naučni saradnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Prof. dr Duško Minić, *red. prof.*
Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica
Dr Milanče Mitovski
RTB - Bor Grupa

Dr Miroslav Sokić, *viši naučni saradnik*
Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina Beograd

Dr Jasmina Stevanović, *naučni savetnik*
Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju Beograd

Dr Srećko Stopić
RWTH Aachen, IME Aachen, Nemačka

Dr Nadežda Talijan, *naučni savetnik*
Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju Beograd

Dr Viša Tasić, *viši naučni saradnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

Prof. dr Vasyl Tomashyk, *red. prof.*
Ukrajinska nacionalna akademija nauka,
Institut za poluprovodničku fiziku Kijev

Dr Dejan Trifunović, *naučni saradnik*
Tehnološko-metaluški fakultet Beograd

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

Editor-in-Chief

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

Co-Editor

Ph.D. Biserka Trumic, *Principal Research Fellow*
Mining and Metallurgy Institute Bor
E-mail: biserka.trumic@irmbor.co.rs
Phone: +38130/454-272

Editor

Vesna Marjanović, *B.Eng.*

English Translation

Nevenka Vukašinović

Technical Editor

Suzana Cvetković

Preprinting

Vesna Simić

Printed in

Mining and Metallurgy Institute Bor

Circulation: 30 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. Mile Bugarin, *Principal Research Fellow*
Mining and Metallurgy Institute Bor

Prof.Ph.D. Milan Antonijević,
Technical Faculty 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

Ph.D. Silvana Dimitrijević, *Research Associate*
Mining and Metallurgy Institute Bor

Prof.Ph.D. Dragana Živković
Technical Faculty Bor

Ph.D. Ana Kostov, *Principal Research Fellow*
Mining and Metallurgy Institute Bor

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 Minic
Faculty of Technical Sciences Kosovska Mitrovica

Ph.D. Milanče Mitovski

RTB – Bor Group
Ph.D. Miroslav Sokić, *Senior Research Associate*
Institute for Technology of Nuclear and Other Raw Materials Beograd

Ph.D. Jasmina Stevanović, *Principal Research Fellow*
Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy Belgrade

Ph.D. Srećko Stopić

RWTH Aachen, IME Aachen, Germany

Ph.D. Nadežda Talijan, *Principal Research Fellow*
Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy Belgrade

Ph.D. Viša Tasić, *Senior Research Associate*
Mining and Metallurgy Institute Bor

Prof.Ph.D. Vasyl Tomashyk,
Institute for Semiconductor Physics of National of Sciences of Ukraine Kyiv

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

BAKAR 41 (2016) 2 COPPER

UDK: 622.343/.349:520.6.05(045)=163.41

STRUČNI RAD

Oblast: Rudarstvo

PRIMENA LANDSAT SATELITSKIH SNIMAKA ZA PRAĆENJE PROMENA NA POVRŠINI ZEMLJE U OBLASTI BORSKIH RUDNIKA BAKRA

APPLICATION OF LANDSAT SATELLITE IMAGERY FOR MONITORING OF LAND COVER CHANGE IN BOR COPPER MINING AREA

Stefan Đordjevski, Vladan Marinković, Ljubiša Obradović,
Zoran Stevanović

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni Bulevar 35,
19210 Bor, Srbija, e-mail: stefan.djordjevski@irmbor.co.rs

Izvod

U ovom radu prikazano je praćenje promena na površini zemlje koje su nastale kao posledica rudarskih aktivnosti u Boru. Promene su praćene primenom Landsat satelitskih snimaka u vremenskom periodu od 30 godina, od 1986. do 2016. godine. Obrada satelitskih snimaka vršena je pomoću softvera ENVI i ArcMap. U radu su diskutovani širenje površinskih kopova i jalovišta, spektralne karakteristike jalovine i vegetacije, rezultati NDVI proračuna i rezultati supervizirane klasifikacije satelitskih snimaka.

Ključne reči: Landsat, NDVI, Bor, rudnik, jalovište

Abstract

In this paper, the monitoring of land cover change in Bor mining area is presented. The monitoring was conducted within 30 year period, from 1986 to 2016, using Landsat satellite imagery. The processing of satellite imagery was carried out using ENVI and ArcMap software. We discussed the expansion of open pits and tailings, spectral characteristics of tailings and vegetation, results of NDVI calculation and results of supervised classification of satellite images.

Keywords: Landsat, NDVI, Bor, mine, tailings

UVOD

Satelitski snimci omogućavaju identifikaciju materijala na površini zemlje i proučavanje njihovih prostornih osobina. U daljinskoj detekciji, energija koja doazi sa površine zemlje meri se primenom senzora postavljenog na vazdušnu ili svemirsku letelicu. Dobijeni podaci upotrebljavaju se za izradu slike predela ispod senzora. Najbitnija osobina satelitskih snimaka je talasna dužina, ili opseg talasnih dužina koji se koristi u procesu merenja. Sa gledišta obrade i analize,

značajne osobine satelitskih snimaka su: broj i pozicija spektralnih grupa ili kanala, prostorna rezolucija okarakterisana veličinom piksela, i radiometrijska rezolucija [1].

Landsat sateliti kontinuirano snimaju površinu zemlje od 1972. godine, obezbeđujući podatke koji služe kao vredan izvor za proučavanje upotrebe zemljišta i promena na površini zemlje. Podaci se primenjuju u šumarstvu, poljoprivredi, geologiji, regionalnom planiranju, i obrazovanju [2]. Jedan od najbitnijih zahteva za bilo kakav program praćenja promena na površini zemlje je postojanje kontinuirane arhive satelitskih snimaka. Kontinuirana arhiva olakšava retrospektivne analize, detekciju promena, kalibraciju modela i predviđanje budućih stanja [3]. Ažuriranje podataka o stanju na površini zemlje je ograničeno frekvencijom pojavljivanja satelita iznad određene oblasti. Landsat sateliti imaju ciklus pojavljivanja od 16 dana. Ipak, samo je površina Sjedinjenih Američkih Država ažurirana pri svakom prolasku satelita. Ovaj nedostatak pokrivenosti utiče na mogućnost da se utvrde godišnje promene na površini zemlje u mnogim regionima. Pored ograničenih frekvencija posete satelita, sezonske promene i oblačnost takođe umanjuju mogućnost godišnjih ažuriranja [4].

Rudnici proizvode velike količine otpada jer je ruda samo mali deo zapremine ukupnog iskopanog materijala. U rudarskoj industriji, proizvodnja Cu, Pb i Zn uzrokuje najveću degradaciju životne sredine. Rudnici bakra podrazumevaju nastajanje prostranih površinskih kopova, deponija raskrivke i flotacijske jalovine, pri čemu se zauzima znatna površina zemlje [5]. Zbog toga, praćenje ekspanzije rudničkih objekata u prostoru i vremenu je od izuzetnog značaja za životnu sredinu i prostorno planiranje [6].

Cilj ovog rada je praćenje promena na površini zemlje koje su nastale kao posledica rudarskih aktivnosti u Boru primenom multispektralnih Landsat 5, 7 i 8 satelitskih snimaka. Značaj praćenja promena na površini zemlje u oblasti borskih rudnika bakra je veliki zbog prisustva dva aktivna površinska kopa sa njihovim deponijama raskrivke (Veliki Krivelj i Cerovo) i dva aktivna flotacijska jalovišta (Veliki Krivelj i RTH). Ekspanzije ovih rudničkih objekata u prostoru praćene su u vremenskom periodu od 30 godina, od 1986. do 2016. godine.

MATERIJAL I METODE

Landsat satelitski snimci korišćeni u ovom radu preuzeti su iz USGS arhive dostupne na sajtu <http://earthexplorer.usgs.gov>. Za ovo istraživanje preuzeti su satelitski snimci iz 2016, 2011, 2006, 1999, 1994, 1986. godine. Pretraga podataka je vršena odabrom odgovarajućih kriterijuma pretrage (koordinate odabranog mesta i vreme snimanja) i vrste podataka (Landsat arhiva). Pretraga je u izvesnoj meri bila ograničena dostupnošću podataka u arhivi i pri-

sustvom oblaka koji prekrivaju površinu zemlje. Zbog ovih ograničenja, nije bilo moguće obraditi svaku godinu u posmatranom periodu.

Obrada preuzetih satelitskih snimaka vršena je pomoću softvera ENVI, verzija 5.2 i ArcMap, verzija 10.3. Pomoću softvera ENVI, učitani su satelitski snimci i izabrani spektralni kanali za vizualizaciju satelitskih snimaka. Izračunat je NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) za Landsat 8 satelitski snimak dobijen 09.07.2016. Pomoću ovog softvera dobijeni su spektralni profili jalovine i vegetacije na po pet različitih lokacija u okolini borskih rudnika. Izvršena je supervizirana klasifikacija satelitskih snimaka dobijenih 09.07.2016. i 21.06.1986. primenom algoritma maksimalne verovatnoće (Maximum Likelihood). Pomoću softvera ArcMap, klasifikovani satelitski snimci u raster formatu su prevedeni u vektorski format, i izmerena je površina poligona koji odgovaraju površinskom kopu Veliki Krivelj i površinskom kopu Cerovo zajedno sa njihovim deponijama raskrivke. Такode је измерена površina koju zauzimaju oba polja flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj.

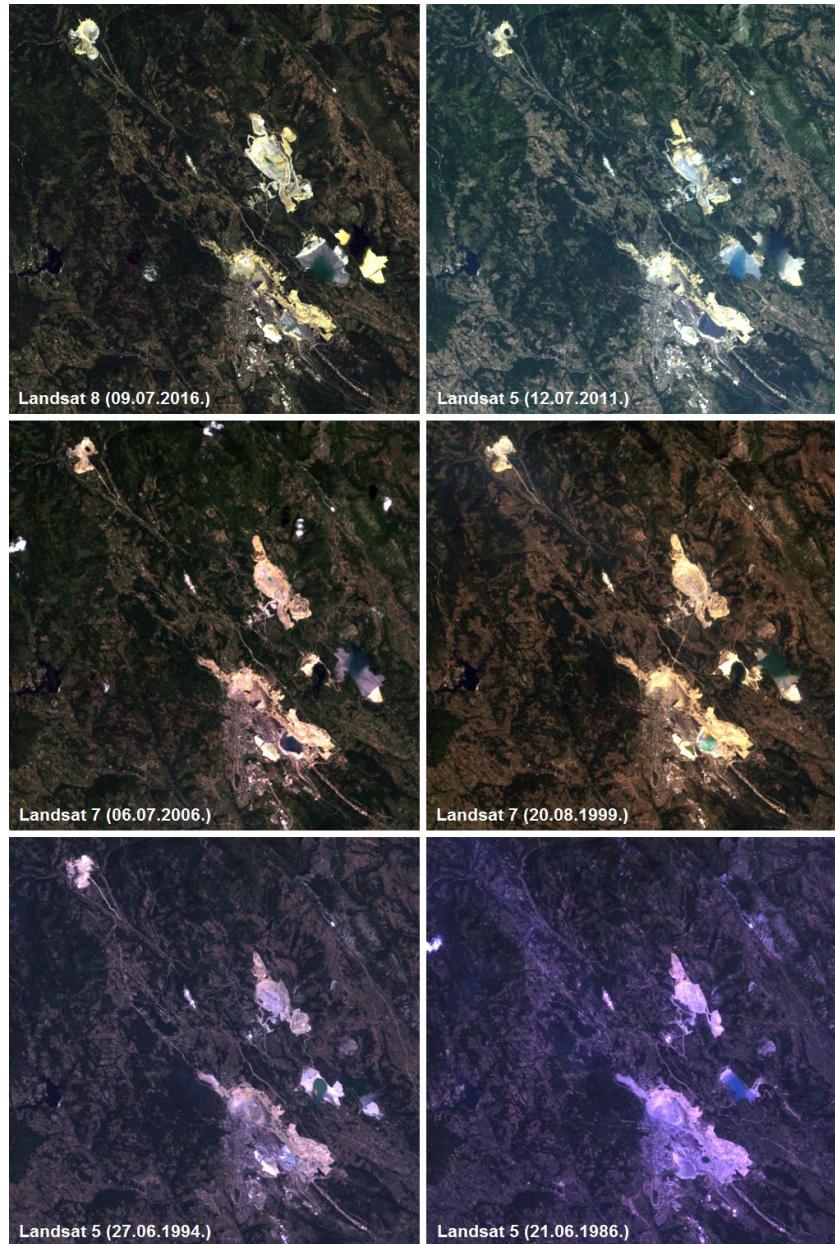
REZULTATI I DISKUSIJA

Na slici 1 prikazani su satelitski snimci borskih rudnika bakra iz 2016, 2011, 2006, 1999, 1994, 1986. godine, snimljeni pomoću satelita Landsat 5, 7 i 8. Za vizualizaciju satelitskih snimaka izabrani su spektralni kanali iz vidljive oblasti koji odgovaraju RGB sistemu (Red, Green, Blue). Na ovaj način satelitski snimci su prikazani onako kako bi ljudsko oko videovalo ovaj predeo u stvarnosti. Na slici 2A prikazan je Landsat 8 satelitski snimak iz 2016. godine prikazan u falš-boji, tako da vizualizuje infracrvenu spektralnu oblast. Kratkotalasni infracrveni kanal opsegata talasnih dužina 2,11–2,29 μm (Band 7) prikazan je crvenom bojom, kratkotalasni infracrveni kanal opsegata talasnih dužina 1,57–1,65 μm (Band 6) prikazan je zelenom bojom, a bliska infracrvena oblast, 0,85–0,88 μm (Band 5) prikazana je plavom bojom. Obzirom da ljudsko oko ne može da detektuje infracrveno zračenje, na ovaj način smo u mogućnosti da vidimo kako predeo izgleda u infracrvenoj oblasti talasnih dužina.

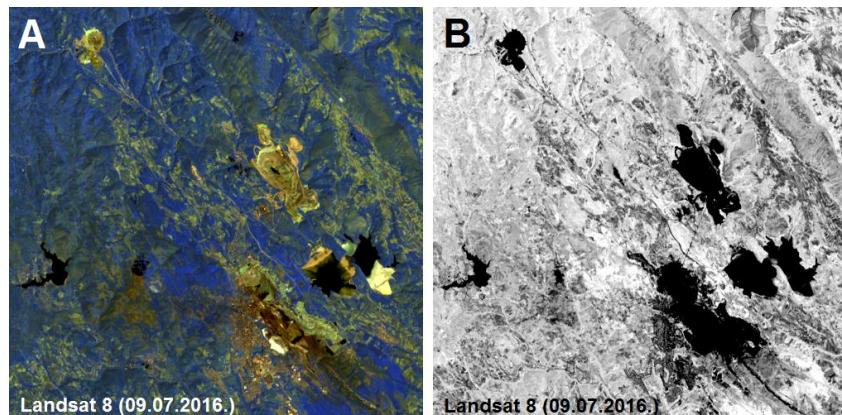
Na slici 2B prikazana je slika predela borskih rudnika bakra nakon izračunavanja NDVI koristeći Landsat 8 satelitski snimak iz 2016. godine. NDVI se računa po formuli:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

gde je: NIR – intenzitet reflektovanog zračenja u bliskoj infracrvenoj oblasti; RED – intenzitet reflektovanog zračenja u crvenoj oblasti vidljivog spektra [7].

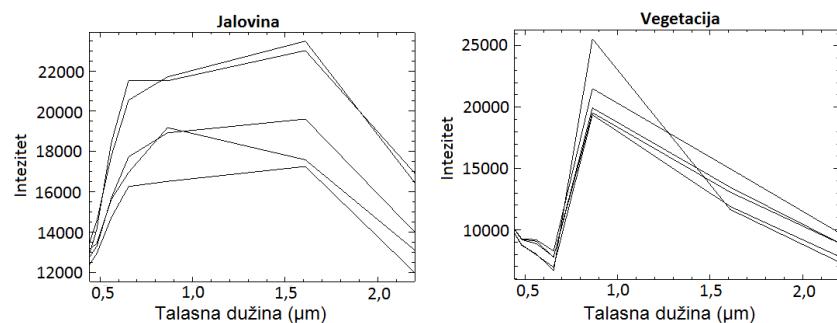


Sl. 1. *Landsat satelitski snimci borskih rudnika bakra u periodu 1986–2016.*



Sl. 2. A – Landsat 8 satelitski snimak prikazan u falš-boji, vizualizuje spektralne karakteristike infracrvene oblasti; B – NDVI dobijen analizom Landsat 8 satelitskog snimka

Na slici 3 prikazani su spektralni profili jalovine i vegetacije na po pet različitih lokacija u okolini borskih rudnika, dobijenih sa Landsat 8 satelitskog snimka snimljenog 2016. godine. Vidi se da vegetacija jako slabo reflektuje crvenu boju (RED, $0,65 \mu\text{m}$), dok u isto vreme intenzivno reflektuje zračenje iz bliske infracrvene oblasti (NIR, $0,85 \mu\text{m}$). Za razliku od vegetacije, jalovina ima gotovo identičan intezitet refleksije za ova dva spektralna kanala. Izračunavanjem NDVI, dobijaju se vrednosti u opsegu od -1 do +1. Pozitivnije vrednosti odgovaraju zdravoj vegetaciji, dok negativne vrednosti označavaju odsustvo vegetacije. Na taj način je na slici 2B napravljen gradijent između zdrave vegetacije prikazane svetlijim nijansama (šume, livade, neuzorane njive) i odsustva vegetacije prikazane tamnjijim nijansama (jalovišta, urbane površine, uzorane njive, vodne površine). NDVI ima veliku primenu u šumarstvu, poljoprivredi, vodoprivredi i planiranju rekultivacije degradiranih površina [8-10].



Sl. 3. Spektralni profili jalovine i vegetacije na po pet različitih lokacija u okolini borskih rudnika, dobijenih sa Landsat 8 satelitskog snimka iz 2016. godine

Površinski kop Veliki Krivelj otvoren je 1979. godine, a flotacija Veliki Krivelj počela je sa radom 1982. godine, i tada je započeto deponovanje flotacijske jalovine u dolinu Kriveljske reke, gde je formirano prostrano flotacijsko jalovište podeljeno u dva polja [11]. Rudnik Cerovo otvoren je 1990. godine, i eksplorisan do 2002. godine, pa ponovo otvoren 2012. godine. Promene na površini zemlje koje su nastale otvaranjem i širenjem ovih površinskih kopova, njihovih deponija raskrivke i flotacijskih jalovišta mogu se pratiti na slici 1, u periodu od 1986. do 2016. godine.

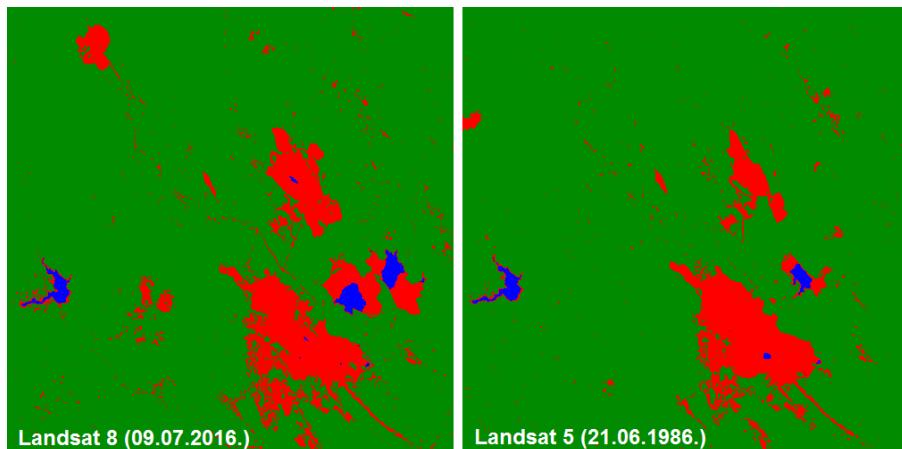
Flotacijska jalovina iz flotacije u Boru je deponovana na staro flotacijsko jalovište do 1987. godine, kada je otpočelo odlaganje jalovine u prostor površinskog kopa rudnog tela "H" (RTH) [11]. Na satelitskom snimku iz 1986. godine (slika 1) uočljiv je površinski kop RTH sa rudničkim jezerom na dnu kopa. Na satelitskim snimcima iz kasnijih perioda, umesto površinskog kopa RTH prisutno je flotacijsko jalovište RTH.

Na južnom delu starog borskog flotacijskog jalovišta je 1991. godine nanešen sloj zemljišta debljine u proseku 40 cm. Na jednom delu je zasejana trava, a na drugom delu su zasadene sadnice drveća koje se dobro primilo [12]. Na satelitskom snimku iz 1986. godine (slika 1) vidi se da je južni deo jalovišta bez vegetacije, dok je na snimku iz 1994. godine i na kasnijim snimcima ovaj deo jalovišta prekriven vegetacijom (vegetacija je prikazana dosta tamnijim nijansom u odnosu na minerale jalovine koji intenzivno odbijaju vidljivu svetlost).

Na slici 4 prikazana je supervizirana klasifikacija Landsat satelitskih snimaka borskih rudnika bakra iz 2016 i 1986. godine. Zelena boja označava vegetaciju, palva vodu, a crvena veštačke površine (jalovišta, urbane površine, itd.). Površine koje su zauzimali pojedini rudnički objekti 2016. i 1986. godine, prikazani su u tabeli 1. Za posmatrani period od 30 godina, površina površinskog kopa Veliki Krivelj sa deponijama raskrivke uvećala se za 224 ha (2 puta), a površina flotacijskog jalovišta Veliki Krivelj uvećala se za 325 ha (4 puta). Površinski kop Cerovo nije postojao 1986. godine, tako da njegova ukupna površina zajedno sa deponijama raskrivke 2016. godine iznosi 112 ha.

Tabela 1. Površine pojedinih rudničkih objekata 2016. i 1986. godine

	2016. (ha)	1986. (ha)
Površinski kop Veliki Krivelj sa deponijama raskrivke	452	228
Flotacijsko jalovište Veliki Krivelj	424	99
Površinski kop Cerovo sa deponijama raskrivke	112	0



Sl. 4. Supervizirana klasifikacija Landsat satelitskih snimaka borskih rudnika bakra iz 2016. i 1986. godine.
Zelena boja označava vegetaciju, plava vodu, a crvena veštačke površine

ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazane su promene na površini zemlje koje su nastale kao posledica rudarskih aktivnosti u Boru. Tokom posmatranog perioda od 30 godina, u oblasti borskih rudnika bakra došlo je do velikih promena u korišćenju zemljišta. Provrsine koje su bile pod šumama ili poljoprivrednim zemljишtem zauzeli su prostirani površinski kopovi, deponije kopovske raskrivke i flotacijska jalovišta. Pomoću Landsat satelitskih snimaka ispraćeno je otvaranje i širenje novih površinskih kopova i zatvaranje starih, kao i otvaranje i širenje flotacijskih jalovišta. Izmerene su površine rudničkih objekata koji su imali najveću ekspanziju u posmatranom periodu. Značaj kontinuiteta Landsat satelitskih snimaka je veliki zbog mogućnosti praćenja promena na površini zemlje u dužem vremenskom periodu, što je naročito važno u rudarskim oblastima kao što je Bor, gde se pejzaž konstantno menja dejstvom rudarskih aktivnosti.

ZAHVALNOST

Ovaj rad je realizovan u okviru projekta pod nazivom „Research on the Integration System of Spatial Environment Analyses and Advanced Metal Recovery to Ensure Sustainable Resource Development“, iz grupe SATREPS projekata koji većim delom finansiraju Japanska agencija za međunarodnu saradnju (JICA) i Japanska agencija za nauku i tehnologiju (JST).

LITERATURA

- [1] J. A. Richards, X. Jia, *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
- [2] Landsat – Earth Observation Satellites, U.S. Geological Survey, Fact Sheet 2015–3081, ver. 1.1, August 2016.
- [3] M. A. Wulder, J. C. White, S. N. Goward, J. G. Masek, J. R. Irons, M. Herold, W.B. Cohen, T. R. Loveland, C. E. Woodcock, *Remote Sensing of Environment*, 112 (2008) 955–969.
- [4] M.C. Hansen, T.R. Loveland, *Remote Sensing of Environment*, 122 (2012) 66–74.
- [5] S. Dudka, D. C. Adriano, *Journal of Environmental Quality*, 26 (1997) 590–602.
- [6] L. Schroeter, C. Gläßer, *International Journal of Coal Geology* 86 (2011) 27–39.
- [7] N. Badreldin, R. Goossens, *Arabian Journal of Geosciences*, 7 (2014) 1671–1681.
- [8] D. Jovanović, M. Govedarica, F. Sabo, Ž. Bugarinović, O. Novović, T. Beker, M. Lauter, *Geographica Pannonica*, 19 (4) (2015) 162–173.
- [9] A. Erener, *International Journal of Coal Geology*, 86 (2011) 20–26.
- [10] D. Randelović, M. Ilić, *Zbornik Radova IV Simpozijuma "Reciklažne tehnologije i održivi razvoj"*, Kladovo, 3-6. novembar 2009.
- [11] G. Bogdanović, M. Trumić, M. Trumić, D.V. Antić, *Reciklaža i održivi razvoj*, 4 (2011) 37–43.
- [12] J. A. Lilić, *Uticaj rekultivacije na karakteristike tehnosola rudnika bakra Bor*, doktorska disertacija, Beograd, 2015.

BAKAR 41 (2016) 2 COPPER

UDK: 543.068.08:546.59/.57(045)=163.41

STRUČNI RAD

Oblast: Hemija

OPTIMIZACIJA METODE (XRFA) ODREĐIVANJA ZLATA I SREBRA U UZORCIMA MEĐUPROIZVODA U PROCESU DOBIJANJA ČISTOG ZLATA

OPTIMIZATION METHOD (XRF) DETERMINING GOLD AND SILVER IN INTERMEDIATE SAMPLES IN THE PRODUCTION OF PURE GOLD

Marija Milivojević, Zorica Sovrlić, Tamara Urošević, Jelena Petrović,
Milan Jovanović, Stefan Đordjevski, Ivan Svrkota

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni bulevar 35

Izvod

U skladu sa napredovanjem i stalnim unapređenjem poslovanja javljaju se i potrebe za poboljšanjem i inoviranjem starih klasičnih metoda (kupelacija, gravimetrija, atomska apsorpciona spektrofotometrija) novim metodama. Metoda XRFA je brza, ne destruktivna, tačna i pouzdana metoda i kao takva sve češće se koristi u brzim rutinskim analizama. U ovom radu je razvijena nova metoda analiziranja plemenitih elemenata, zlata i srebra iz međuproizvoda dobijanja čistog zlata, poređenjem dobijenih rezultata sa klasičnim metodama koje su korišćene do sada. Rezultati su pokazali da se XRFA metoda može sa velikom pouzdanošću i tačnošću primeniti za analizu srebra i zlata.

Ključne reči: zlato, srebro, XRFA

Abstract

In accordance with the progress and continuous improvement of operations, there are also needs for improvement and innovation of the old classic method (cupellation, gravimetry, atomic absorption spectrophotometry) new methods. XRF method is quick, not destructive, accurate and reliable method and as such increasingly being used in fast routine analysis. In this paper we developed a new method of analyzing precious elements, gold and silver from the intermediate products to obtain pure gold, comparing the results obtained with conventional methods used up to now. The results showed that the XRF method can be useful for the analysis of silver and gold with great reliability and accuracy.

Keywords: gold, silver, XRF

UVOD

Plemeniti metali su našli široku primenu zbog svojih dragocenih fizičkih i hemijskih karakteristika i danas se sve više posvećuje pažnja razvitku novih metoda za njihovo dobijanje i dokazivanje. U prirodi se srebro javlja kao samorodno ili u jedinjenjima, od kojih su najčešći sulfidi, sulfoarseniti,

sulfoantimoniti. Najveće količine srebra se danas dobijaju iz sulfidnih ruda bakra, olova i cinka. Metalno srebro je bele boje. Tvrde je od zlata a mekše od bakra. Topi se na temperaturi od $960,5^{\circ}\text{C}$. Od svih metala najbolji je provodnik struje i toplote.[1]

Zlato se u prirodi javlja u slobodnom stanju i dosta je rasprostranjeno. Još su Egipćani znali postupke dobijanja i prečišćavanja zlata. Međutim, retka su ekonomski značajna ležišta. Isto tako, u prirodi se javlja mali broj minerala zlata. To je posledica njegove osobine da teško reaguje sa kiseonikom sumporom i drugim elementima, pa ne stvara okside, sulfide ili druga jedinjenja. Uglavnom se javlja kao samorodno, a od jedinjenja najčešći su teluridi. Odličan je provodnik topline i elektriciteta. Ne rastvara se u kiselinama, sem u carskoj vodi. Temperatura topljenja iznosi $1062,6^{\circ}\text{C}$. [2]

U ovom radu razvijena je XRFA metoda za određivanje srebra i zlata. XRF metoda ne-destruktivno daje precizne kvantitativne podatke o elementarnom sastavu različitih materijala u kratkom vremenskom periodu. Materije se mogu analizirati direktno sa malo ili bez pripreme uzorka. Svi elementi sa atomskim brojevima većim od 11 se mogu detektovati. [3]

XRF podrazumeva merenje intenziteta X-zraka emitovanih iz uzorka koji su u funkciji energije ili talasne dužine. [4]

Postoje dva različita tipa zračenja: nejonizujuće i ionizujuće.

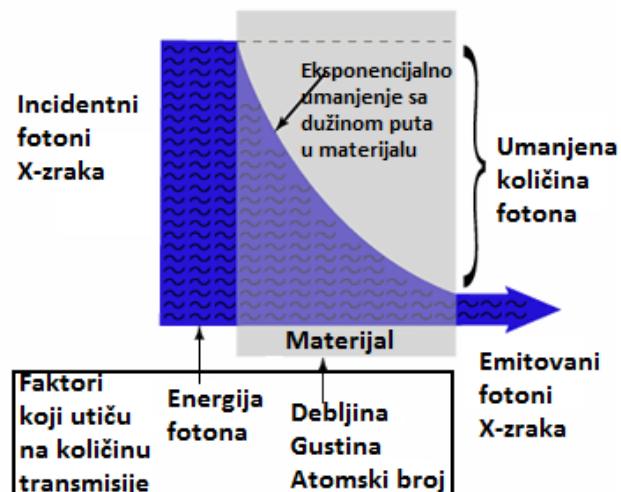
Jonizacija:

- Disocijacija molekula u konstitutivne nanelektrisane atome (jone),
- Proces uklanjanja elektrona iz neutralnih atoma.

Nejonizujuće zračenje nema energiju potrebnu da ionizuje atome (na primer, ~ 4 do 25 eV za uklanjanje elektrona sa neutralnih atoma). Nejonizujuće zračenje obuhvata radio-talase, mikrotalase, svetlo, itd. Četiri vrste jonizujućeg zračenja su:

- Alfa čestice,
- Beta čestice,
- Neutron čestice i
- Gama zraci i X-zraci (XRF analizatori).

Kada su X-zraci usmereni u objekat, neki od fotona interaguju sa česticama materije i njihova energija može biti apsorbovana ili razbacana. Drugi fotoni putuju kompletno kroz objekat bez interakcije sa bilo kojom od čestica materijala. Broj fotona koji se prenose kroz materijal zavisi od debljine, gustine i atomskog broja materijala, i energije pojedinačnih fotona. Čak i kada imaju istu energiju, fotoni putuju sa različitim rastojanjima unutar materijala prosto na osnovu verovatnoće njihovog susreta sa jednom ili više čestica materije kao i tipa susreta koji se javljaju.[5]



Sl. 1. Eksponencijalno slabljenje energije fotona sa dužinom puta u materijalu

XRF se može koristiti za različite tipove uzorka kao što su sediment, stene, rude, koncentrati, zemlja i mnoge druge. U ovom slučaju rađena je analiza u uzorcima koji je međuproizvod u procesu dobijanja zlata.

Po hemijskom sastavu ovaj tip uzorka sadrži srebro (15-30 %), zlato (0,50-2,00 %), bakar (0,50-5 %), telur (1-5 %), olovo (5-15 %), selen (30-50 %) i platina, paladijum, nikl u znatno nižim koncentracijama.

EKSPERIMENTALNI DEO

Priprema uzorka

U zavisnosti od tehnike ispitivanja postoji i različita priprema. Kvalitet pripreme uzorka u X-ray fluorescentnoj analizi je barem jednako važan kao kvalitet merenja. Idealan uzorak je pripremljen ukoliko je:

- reprezent materijala;
- homogen;
- dovoljne debljine da ispun zahteve beskonačno debelih uzorka;
- bez površinskih nepravilnosti;
- sastoji se od dovoljno malih čestica tako da se talasne dužine mogu meriti.

Preduzeta odgovornost da se odredi najbolji način pripreme uzorka za dati materijal, kao i pažljiva privrženost toj metodi, često će odrediti kvalitet dobijenih rezultata. [5]

Puder i brikete

Praškasti uzorci se mogu koristiti kao puder, ili mogu biti pripremljeni iz zdrobljenih rasutih materijala koji je previše nehomogen za direktnu analizu. Tipični rasuti uzorci koji su pre analize zdrobljeni su rude, minerali, vatrostalni materijali, i liofizirana biološka tkiva. Praškovi mogu biti kao takvi predstavljeni spektrometru, ili presovani u pelete ili brikete. Takođe, oni mogu biti spojeni tehnikom fuzionisanja fluksom kao što je litijum tetraborat. Ovakvi fuzionisani proizvodi se mogu ponovo samleti i presovati ili izliti kao disk. Za precizna kvantitativna određivanja, nepresovani praškovi su retko prihvatljivi, naročito kada se detektuju niskoenergetski X-zraci. Presovani uzorci su mnogo pouzdaniji.

Briketi ili presovani praškovi, daju bolju preciznost od praškastih uzoraka i relativno jednostavno i ekonomično se mogu pripremiti. U mnogim slučajevima sve što je potrebno je hidraulična presa i pogodan kalup. U najjednostavnijem slučaju, prečnik kalupa treba da bude isti kao nosač uzorka, tako da se otpresovani uzorci direktno mogu staviti u držać uzorka. U slučajevima materijala koji ne mogu biti povezani kako bi formirali stabilne brikete, moraju se koristiti vezujući agensi-veziva. Širok, spektar vezujućih agenasa se koristi, kao što su: celuloza u prahu, deterdžent prah, skrob, stearinska kiselina, borna kiselina, litijum karbonat, polivinil alkohol i komercijalna veziva. [5]

Borna kiselina se često koristi kao podloga pri presovanju uzoraka. Podloga apsorbuje stres i šok u procesu presovanja, i daje glatku i sjajnu površinu otpresovanim uzorcima (briketima). [6]

Za XRFA tehniku praskasti uzorci se tabletiraju (slika 2).



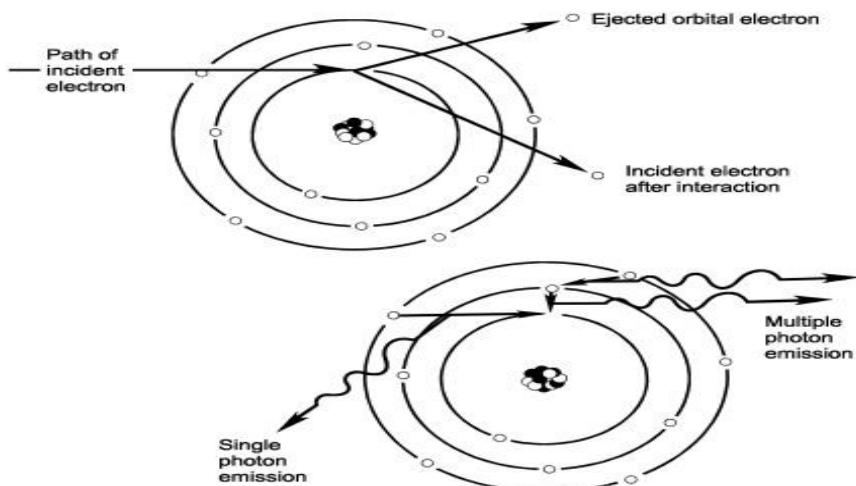
Sl. 2. Izgled presovanih uzoraka-peleta

Uzorak odbakrenog mulja koji se analizira F-AAS tehnikom potrebno je kiselinski rastvoriti i prevesti ga u jonski oblik. Rastvaranje se vrši carskom vodom (smeša koncentrovane HCl i koncentrovane HNO₃ 3:1), a nakon toga se rastvor kompletira u normalni sud do određene zapremine. [7]

Kupelacija je tehnika koja zahteva najkopleksniju i najdužu pripremu uzorka. Obično postupak od početka-priprema šarže, preko topljenja i samog postupka kupelacije na 1000°C traje oko 5-6h. [8]

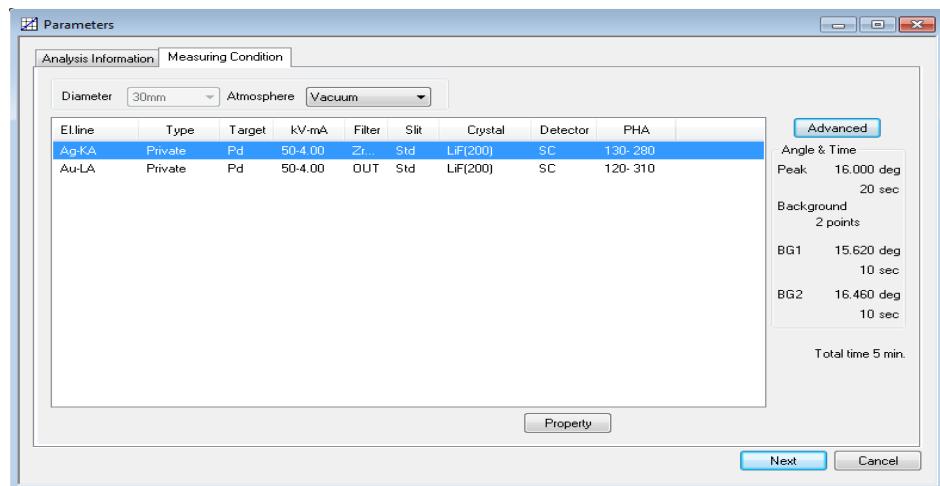
Rengensko flurescentna analiza

Kada snop X-zraka, nastao u primarnom izvoru (rengenska cev), može u uzorku biti apsorbovan ili raspršen. Proces u kojem se zračenje apsorbuje i prenosi na unutrašnje elektrone naziva se fotoelektrični efekat (slika 3). Ako je energija primarnog snopa dovoljno velika elektroni će biti izbačeni iz unutrašnjih orbitala te će nastati pomeranje. Pri povratku atoma iz pobudjenog u osnovno stanje elektroni iz viših orbitala vraćaju se na niže i pri tome emituju X zračenje talasne dužine koja odgovara razlici energija pobođenog i osnovnog nivoa.



Sl. 3. Emitovanje karakterističnih X-zraka

Budući da svaki element ima set energetskih nivoa, svaki element daje X zrake jedinstvenog seta energije. Proces emitovanja karakterističnih X zraka zove se XRF (X-ray fluorescence). [9] Najeintenzivnije tj. najosetljivije linije koje su korišćene za detekciju zlata i srebra kao i uslovi snimanja samog aparata dati su na slici 4.

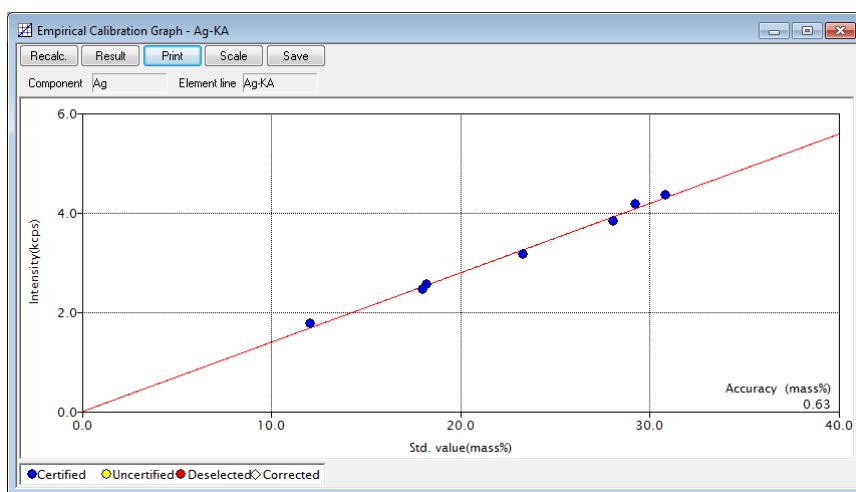


Sl. 4. Prikaz uslova snimanja Ag i Au na XRF-u

REZULTATI I DISKUSIJA

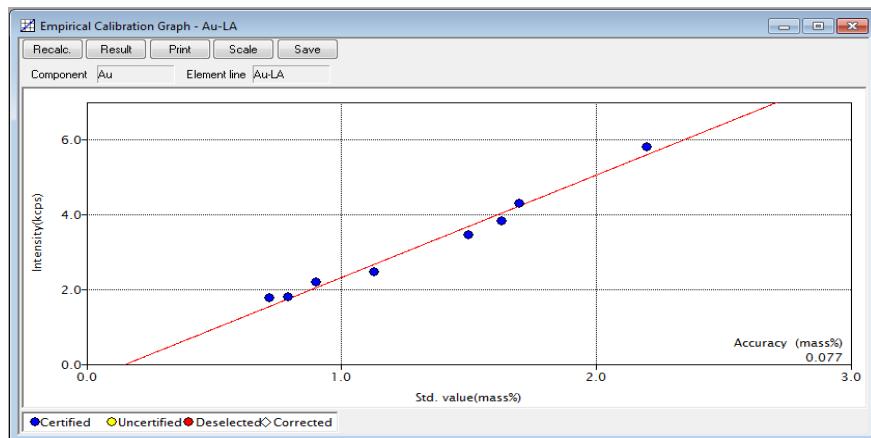
Kako je cilj ovog rada razvijanje metode koja je brza, pouzdana, ne destruktivna, rađene su paralelno analize na XRF-u RIGAKU SUPERMINI 200 i F-AAS-u Perkin Elmer model 403.

Opseg vrednosti srebra u uzorcima koji su korišćeni za kalibraciju je od 12.09% do 30.87%, a greška krive je 0.63, kao što je prikazano na slici 5.



Sl. 5. Izgled kalibracione krive za Ag

Opseg vrednosti zlata u uzorcima koji su korišćeni za kalibraciju je od 0.72% do 2.20%, a greška krive je 0.077, kao što je prikazano na slici 6.



Sl. 6. Izgled kalibracione krive za Au

U tabeli 1. i 2. prikazani su dobijeni rezultati XRF-A i F-AAS analize uzoraka koji su snimani u određenom vremenskom periodu praćenjem procesa proizvodnje.

Tabela 1. Vrednosti analiziranih uzoraka dobijene za srebro u % analizom na XRF-u i F-AAS

Oznaka uzorka	\bar{X}_1 (% Ag XRFA)	\bar{X}_2 (% Ag FA)	$\bar{X}_1 - \bar{X}_2$
I	28.10	28.27	-0.17
II	25.14	24.80	0.34
III	20.88	20.33	0.55
IV	21.16	21.20	-0.04
V	20.09	20.45	-0.36
VI	20.21	19.60	0.61
VII	17.74	17.75	-0.01
VIII	19.68	20.23	-0.55
IX	21.94	21.30	0.64
X	25.87	25.68	0.19
XI	20.02	19.66	0.36
XII	21.31	20.66	0.65
XIII	20.79	21.04	-0.25
XIV	16.33	16.21	0.12
XV	17.3	17.34	-0.04
XVI	21.96	21.66	0.30
XVII	17.01	17.69	-0.68
XVIII	15.1	14.86	0.24

Statističkom obradom podataka dobijena vrednost za F-test je 1.02. Kritična vrednost za F test iznosi 2,27. Pošto je izračunata vrednost parametra F manja od kritične, nulta hipoteza se zadržava, tj. razlika koja se javlja između standardnih devijacija može se smatrati kao posledica slučajne greške.

Statističkom obradom podataka dobijene su vrednosti za t test 0,91. Kritična vrednost za t test iznosi 1,69. Pošto je izračunata vrednost parametra t manja od kritične nulta hipoteza se zadržava, tj. između izračunate srednje vrednosti \bar{X}_1 (% Ag XRFA) i \bar{X}_2 (% Ag FA) nema statistički značajne razlike odnosno metoda daje tačne vrednosti.

Tabela 2. Vrednosti dobijene za zlato u % analizom na XRF-u i F-AAS

Oznaka uzorka	\bar{X}_1 (% Au XRFA)	\bar{X}_2 (% Au F-AAS)	$\bar{X}_1 - \bar{X}_2$
I	2.16	2.23	-0.07
II	1.85	1.86	-0.01
III	1.54	1.56	-0.02
IV	1.92	1.9	0.02
V	1.32	1.4	-0.08
VI	1.35	1.33	0.02
VII	1.35	1.39	-0.04
VIII	1.31	1.29	0.02
IX	1.39	1.46	-0.07
X	1.49	1.48	0.01
XI	1.46	1.4	0.06
XII	1.4	1.34	0.06
XIII	1.63	1.56	0.07
XIV	1.3	1.28	0.02
XV	1.05	1.01	0.04
XVI	1.15	1.08	0.07
XVII	0.83	0.82	0.01
XVIII	0.94	0.89	0.05
XIX	1	0.96	0.04
XX	1.02	1.04	-0.02
XXI	1.43	1.41	0.02
XXII	1.65	1.63	0.02
XXIII	1.82	1.77	0.05

Statističkom obradom podataka dobijena vrednost za F-test je 1.07. Kritična vrednost za F test iznosi 2.05. Pošto je izračunata vrednost parametra F manja od kritične nulta hipoteza se zadržava, tj. razlika koja se javlja između standardnih devijacija može se smatrati kao posledica slučajne greške.

Statističkom obradom podataka dobijene su vrednosti za t test 0,12. Kritična vrednost za t test iznosi 2,01. Pošto je izračunata vrednost parametra t manja od kritične nulta hipoteza se zadržava, tj. između izračunate srednje vrednosti \bar{X}_1 (% Au XRFA) i \bar{X}_2 (% Au FA) nema statistički značajne razlike odnosno metoda daje tačne vrednosti.

ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata XRFA metoda se pokazala jednakо tačna kao i metode koje su se do sada koristile za analizu. Prednosti XRFA metode su:

1. kratko vreme trajanja analize,
2. jednim snimanjem može se odrediti više elemenata,
3. jednostavna priprema uzorka koja ne zahteva kiselinsko rastvaranje,
4. mogu se analizirati različiti tipovi i vrste uzoraka.

Zbog svega toga XRFA metoda se smatra jednom od najbržih i najisplatljivijih metoda koje se u današnje vreme sve češće koristi za svakodnevne analize.

ZAHVALNICA

Autori su zahvalni Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na finansijskoj podršci za projekte TR34005 „Razvoj naprednih materijala i tehnologija za multifunkcionalnu primenu zasnovanih na ekološkom znanju“ i TR37001 „Uticaj rudarskog otpada iz RTB-a Bor na zagodenje vodotokova sa predlogom mera i postupaka za smanjenje štetnog dejstva na životnu sredinu“.

LITERATURA

- [1] Z. Petrović, T. Urošević, N. Petrović, R. Kovačević, J. Petrović, V. Krstić, M. Milivojević, Rastvaranje geoloških uzoraka u Vulkanu, automatizovanom instrumentu za rastvaranje za dalju analizu srebra instrumentalnim metodama, Bakar, 39 (2), 2014.
- [2] S. Janjić, P. Ristić, Mineralogija, Beograd, 1989.
- [3] E. P. Bertin - Principles and Practice of X-ray Spectrometric Analysis, 2nd edn, Plenum, Press, New York, 1975.
- [4] M. Bounakhla and Tahri M. - X-Ray Fluorescence Analytical Techniques , CNESTEN (Centre National de l'Energie, des Sciences et des Techniques Nucléaires), Rabat, Morocco

- [5] B. Tanaskovski, Karakterisanje hemijskog sastava sedimenta bokokotorskog zaliva korišćenjem energetski disperzivne rendgenske fluorescentne spektrometrije (ed-xrf), doktorska disertacija, Beograd, 2016.
- [6] E. Mikkelsen, Problems by using pressed powder pellets for XRF analysis of ferrosilicon alloys, *Advances In X-Ray Analysis*, 44, 2001.
- [7] Perkin Elmer, *Analitical Methods for Atomic Absorption Spectrophometry*, 1994.
- [8] P. Bugarski, *Priručnik iz analitičke hemije bakra i njegovih pratileaca-praktikum*, Bor, 1977.
- [9] M. Milivojević, J. Petrović, Lj. Todorović, T. Urošević, Z. Petrović, V. Krstić, S. Đordievski, Određivanje sadržaja antimona u legurama bakra pomoću tehnika: OES, XRFA i ICP-AES, Bakar, 39 (2), 2014.

BAKAR 41 (2016) 2 COPPER

UDK: 541.183:546.56/.74/.48:634.33(045)=163.41

ORIGINALNI NAUČNI RAD

Oblast: Hemija

UTICAJ MASE BIOSORBENATA - KORA CITRUSNOG VOĆA NA SORPCIJU TEŠKIH METALA

INFLUENCE OF MASS BIOSORBENTS - CITRUS FRUITS PEELS ON SORPTION OF HEAVY METALS

Tamara Urošević, Zorica Sovrlić, Marija Milivojević, Stefan Đordjevski,
Milan Jovanović, Jelena Petrović, Ivan Svrkota

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni bulevar 35

Izvod

Teški metali zbog svoje toksičnosti predstavljaju veliki problem u očuvanju životne sredine i zdravlja ljudi. Za njihovu sorpciju su ranije korištene razne vrste sorbenata. U ovom radu su predstavljene kore citrusnog voća (mandarine, pomorandže, limuna i grejpfruta), prvenstveno zbog njihove dostupnosti i jeftinog načina pripreme sorbenta. Sadržaj teških metala određen je atomskom apsorpcionom spekrofotometrijom.

Ključne reči: citrusno voće, AAS, bakar, cink, olovo, nikl, kadmijum

Abstract

Because of their toxicity, heavy metals represent a major problem in the preservation of the environment and health of people. For their sorption different types of sorbents previously were used. This paper presents the peel of citrus fruits (mandarins, oranges, lemons and grapefruits), primarily due to their availability and low-cost method of preparation of sorbent. The heavy metal content is determined by atomic absorption spectrophotometry.

Keywords: citrus fruits, AAS, copper, zinc., lead, nickel, cadmium

UVOD

Sorpција у најширем смислу подразумева промену концентрације неке од компонената на граничној површини фаза heterogenog система [1]. Принцип сорпције се заснива на контакту раствора или гаса са неком čvrstom површином при чему долази до separacije компонената sorbenta на површини или унутар sorbenta. Природа међућестиčnih interakcija у čvrstom telu uslovjava постојање енергетског поља на njеговој површини; зато површина preferira privlačenje и vezivanje одређених компонената, а сорпција је limitirana величином dodirne површине, бројем и димензијама пора [2, 3, 4]. Biosorbenti имају способност да селективно концентришу цилjni sorbat (molekule, atome, jone ili čestice) на својој површини [5]. Postojanje ovog феномена је забележено код mnogih biljnih

materijala. Neke od bitnih karakteristika koje data biomasa treba da ima da bi se upotrebila kao biosorbent su: 1) Biosorbent mora da bude dovoljno porozan za određenu vrstu jona metala kao sorbata i da ima visoku i brzu sorpciju, čak i nakon ponovljenih ciklusa regeneracije. 2) Postizanje odgovarajuće granulacije biomase je bitan korak za uspešnu primenu nekog biosorpcionog procesa. 3) Dostupnost je glavni faktor koji treba uzeti u obzir pri odabiru biomase. Remedijacija životne sredine nameće da biomasa mora da dolazi iz prirode ili da je otpadni materijal. 4) Isplativost je jedan od glavnih faktora koje treba razmatrati za primenu datog biosorbenta. U istraživanjima biosorpcije se koriste lako dostupne vrste biomasa, kao i rede vrste koje pokazuju dobre sorpcione karakteristike. Na osnovu literaturnih podataka može se zaključiti da među lako dostupnim tipovima biomasa postoje snažni biosorbenti, kao što su izvesni prirodni materijali, kojih ima u izobilju: delovi biljaka, naročito oni koji sadrže celulozu: npr. kora drveta, ljska pirinča, ljska pšenice, kora kokosa, banane, pomorandže, lišće čaja, klip kukuruza, kora lešnika, oraha, itd. [6, 7, 8, 9], morske alge, mikroorganizmi (bakterije, gljive, kvasci), aktivni mulj i dr. U ovom radu mi smo koristili kore citrusnog voća, mandarine, pomorandže, limuna i grejpfruta kao biosorbente za sorpciju teških metala, bakra, zinka, olova, nikla i kadmijuma.

Pojam teški metali obuhvata metale sa specifičnom gustinom većom od 5 g/cm^3 . Neki teški metali su u vidu elemenata u tragu neophodni - esencijalni za mnogobrojne funkcije u ljudskom organizmu, a njihov manjak dovodi do pojave ozbiljnih simptoma bolesti i nedostataka u metabolizmu. Povećana koncentracija u organizmu je nepoželjna i opasna. Najčešće je pitanje toksičnosti zapravo samo pitanje količine, a ovaj raspon veoma varira kod svakog pojedinog elementa. Akumulacija ovih elemenata u masnim ćelijama, kostima, žlezdama s unutrašnjim lučenjem, mozgu, dlakama ili u centralnom nervnom sistemu, uobičajeno rezultira štetnim zdravstvenim posledicama, a neretko teškim bolestima.

Studije o uticaju teških metala na čoveka nam ukazuju da oni direktno utiču na mentalne i neurološke funkcije, na produkciju i korišćenje neurotransmitera, na menjanje brojnih metaboličkih funkcija. Sistemi gde uzrokuju oštećenja ili disfunkciju su: krv i krvotvorni organi, endokrini, kardiovaskularni, respiratori, gastrointestinalni, urogenitalni, centralni i periferni nervni sistem, koža i podkožno tkivo.

Inhalacijom čestica teških metala ugrožene su sve funkcije u organizmu, čak iako je koncentracija ovih metala daleko ispod dozvoljene doze. Oni takođe uzrokuju alergijske reakcije, genetske mutacije, takmiče se sa "dobrim" metalima tako što se vezuju za određena biohemijske mesta i ponašaju kao antibiotici uništavajući i opasne i korisne bakterije.

Mnoga oštećenja koja su nastala kao posledica dejstva teških metala su ustvari posledica povećanja broja slobodnih radikala. Slobodni radikali su energetski nestabilni molekuli, molekuli sa nesparenim elektronom koji "kradu" elektrone drugih molekula kako bi uspostavili balans. Nastaju kada ćeljski molekuli reaguju sa kiseonikom (oksidacija). Nagomilavanjem teških metala dolazi upravo do povećane produkcije slobodnih radikala. Nekontrolisani slobodni radikali mogu da uzrokuju oštećenja organizma i sve degenerativne bolesti. Antioksidanti kao što su vitamin A, C i E smanjuju aktivnost slobodnih radikala. Takođe, slobodni radikali utiču na povećanje kiselosti krvi. Da bi organizam regulisao pH krvi koristi za to kalcijum iz kostiju.

Sadržaj različitih metala u ljudskom telu zavisi i od sastava hrane koju konzumiramo dok je, sa druge strane, neorganski sastav hrane u direktnoj zavisnosti od uticaja životne sredine (voda, vazduh i zemljiste).

Teški metali mogu u vidu finih čestica prašine dospeti u atmosferu, odakle se talože u vodama i tlu. U vodama se brzo razređuju i talože kao teško rastvorljivi karbonati, sulfati ili sulfidi na dnu vodenih površina. Kada se apsorpcijski kapacitet sedimenata iscrpi, raste koncentracija metalnih jona u vodi. Jedan od načina uklanjanja teških metala je sorpcija uz različite vrste sorbenata [10].

EKSPERIMENTALNI DEO

Kore citrusnog voća (mandarine, pomorandže, limuna i grejpfruta) smo ispirali bidestilovanom vodom, osušili na vazduhu i samleli u blenderu. Merili smo različite mase pripremljenih biosorbenata (0,1 g, 0,2 g, 0,3 g, 0,4 g i 0,5 g). Biosorbente smo merili u poliuretanske boćice od 50 ml i dodali po 50 ml radnog rastvora bakra. Eksperiment smo na isti način uradili i sa cinkom, sa olovom, sa niklom i sa kadmijumom. Za pravljenje radnih rastvora od 5 mg/l bakra i 5 mg/l cinka, koristili smo standardne rastvore od 1000 mg/l Cu i 1000 mg/l Zn, proizvođača FLUKA. Takođe, za pravljenje radnih rastvora od 10 mg/l Pb, 5 mg/l Ni i 5 mg/l Cd, koristili smo rastvore od 1000 mg/l Pb, Ni i Cd, proizvođača FLUKA. Svaki biosorbent, za svaku od navedenih masa, smo uradili u tiplikatu. Svi uzorci su mućkani na mućkalici tri sata. Nakon završenog mućkanja, uzorke smo profiltrirali u nove poliuretanske boćice i konzervirali sa 100 µl koncentrovane azotne kiseline (HNO_3). Tako pripremljene uzorke smo snimali na atomskom apsorpcionom spektrofotometru PERKIN ELMER 2380, sa plamenom. Talasnu dužinu od 324,8 nm smo koristili za određivanje sadržaja bakra, za određivanje sadržaja cinka talasnu dužinu od 213,9 nm, za određivanje sadržaja olova talasnu dužinu od 283,0 nm, za određivanje sadržaja nikla talasnu dužinu od 232,0 nm i za određivanje sadržaja kadmijuma talasnu dužinu od 228,8 nm.

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultate smo predstavili tabelarno i grafički. Prikazali smo srednje vrednosti rezultata za svaku masu po elementu za svaki biosorbent.

Tabela 1. Kora mandarine kao biosorbent za sorpciju bakra, cinka, olova, nikla i kadmijuma

Masa biosorbenta	0.1g	0.2g	0.3g	0.4g	0.5g
Adsorbovana koncentracija bakra (mg/l)	4.28	3.94	3.84	3.63	3.60
Adsorbovana koncentracija cinka (mg/l)	1.50	2.65	3.40	3.60	4.08
Adsorbovana koncentracija olova (mg/l)	6.08	8.73	9.24	9.62	9.62
Adsorbovana koncentracija nikla (mg/l)	1.23	2.24	2.65	3.06	3.58
Adsorbovana koncentracija kadmijuma (mg/l)	1.97	3.21	3.79	4.15	4.24

Tabela 2. Kora pomorandže kao biosorbent za sorpciju bakra, cinka olova, nikla i kadmijuma

Masa biosorbenta	0.1g	0.2g	0.3g	0.4g	0.5g
Adsorbovana koncentracija bakra (mg/l)	4.12	3.93	3.81	3.68	3.60
Adsorbovana koncentracija cinka (mg/l)	0.55	2.00	2.85	3.44	3.64
Adsorbovana koncentracija olova (mg/l)	6.45	8.42	9.47	9.61	9.61
Adsorbovana koncentracija nikla (mg/l)	1.28	1.68	2.38	2.6	3.21
Adsorbovana koncentracija kadmijuma (mg/l)	1.80	2.75	3.52	3.94	4.16

Tabela 3. Kora limuna kao biosorbent za sorpciju bakra, cinka, olova, nikla i kadmijuma

Masa biosorbenta	0.1g	0.2g	0.3g	0.4g	0.5g
Adsorbovana koncentracija bakra (mg/l)	3.56	3.60	3.63	3.64	4.10
Adsorbovana koncentracija cinka (mg/l)	1.44	2.45	3.05	3.50	3.84
Adsorbovana koncentracija olova (mg/l)	6.71	9.06	9.29	9.53	9.62
Adsorbovana koncentracija nikla (mg/l)	0.93	1.92	2.16	2.45	2.47
Adsorbovana koncentracija kadmijuma (mg/l)	2.00	3.05	3.54	3.77	3.97

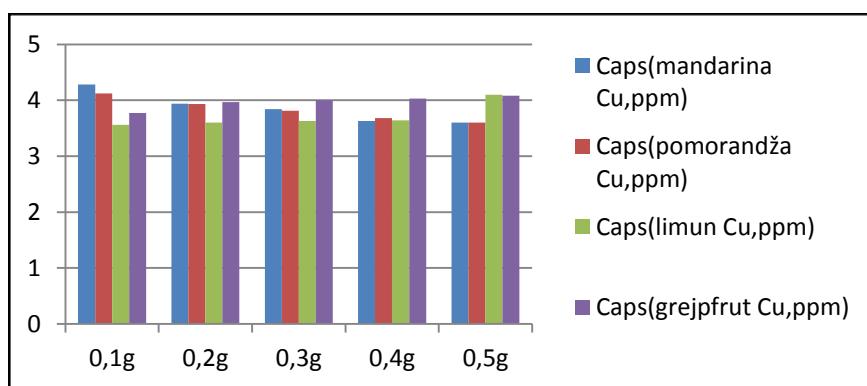
Tabela 4. Kora grejpfruta kao biosorbent za sorpciju bakra, cinka, olova, nikla i kadmijuma

Masa biosorbenta	0.1g	0.2g	0.3g	0.4g	0.5g
Adsorbovana koncentracija bakra (mg/l)	3.77	3.97	4.00	4.03	4.08
Adsorbovana koncentracija cinka (mg/l)	1.62	3.00	3.38	3.65	4.81
Adsorbovana koncentracija olova (mg/l)	8.65	9.52	9.52	9.52	9.62
Adsorbovana koncentracija nikla (mg/l)	1.67	2.14	2.62	2.74	2.52
Adsorbovana koncentracija kadmijuma (mg/l)	2.38	3.42	3.8	4.00	4.17

Tabela 5. Objedinjeni prikaz svih biosorbenata za sorpciju bakra

Masa biosorbenta	0.1 g	0.2 g	0.3 g	0.4 g	0.5 g
Caps (mandarina, Cu, ppm)	4.28	3.94	3.84	3.63	3.60
Caps (pomorandža, Cu, ppm)	4.12	3.93	3.81	3.68	3.60
Caps (limun, Cu, ppm)	3.56	3.60	3.63	3.64	4.10
Caps (grejpfrut, Cu, ppm)	3.77	3.97	4.00	4.03	4.08

Caps - adsorbovana količina bakra



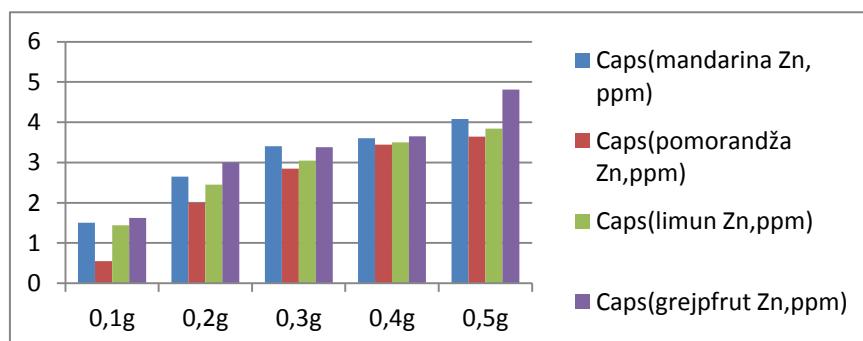
Sl. 1. Grafički prikaz svih biosorbenata za sorpciju bakra

Iz prikazanog dijagrama primetili smo da sa porastom mase biosorbenata raste sorpcija bakra kod grejpfruta i limuna, a da je obrnut slučaj kod mandarine i pomorandže.

Tabela 6. Objedinjeni prikaz svih biosorbenata za sorpciju cinka

Masa biosorbenta	0.1 g	0.2 g	0.3 g	0.4 g	0.5 g
Caps(mandarina, Zn, ppm)	1.50	2.65	3.40	3.60	4.08
Caps(pomorandža, Zn, ppm)	0.55	2.00	2.85	3.44	3.64
Caps(limun, Zn, ppm)	1.44	2.45	3.05	3.50	3.84
Caps(grejpfrut, Zn, ppm)	1.62	3.00	3.38	3.65	4.81

Caps - adsorbovana količina cinka

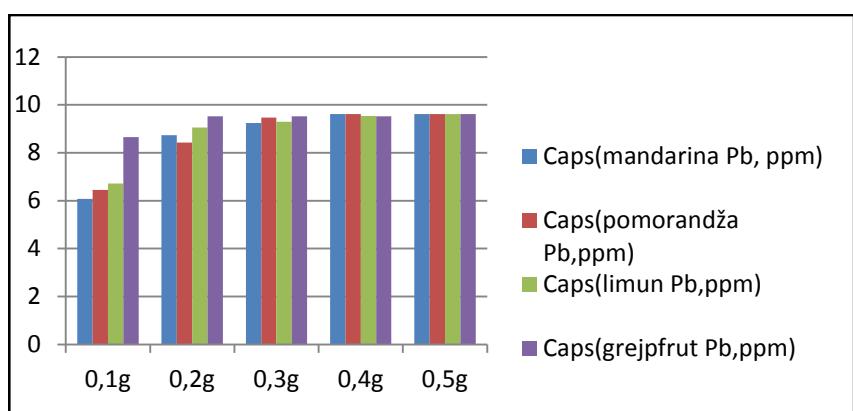
**Sl. 2.** Grafički prikaz svih biosorbenata za sorpciju cinka

Iz prikazanog dijagrama primetili smo da se sorpcija povećava sa porastom mase biosorbenata i da se najviše cinka vezuje za koru grejpfruta, nešto manje za koru mandarine, pa slede limun i pomorandža.

Tabela 7. Objedinjeni prikaz svih biosorbenata za sorpciju olova

Masa biosorbenta	0.1 g	0.2 g	0.3 g	0.4 g	0.5 g
Caps (mandarina, Pb, ppm)	6.08	8.73	9.24	9.62	9.62
Caps (pomorandža, Pb, ppm)	6.45	8.42	9.47	9.61	9.61
Caps (limun, Pb, ppm)	6.71	9.06	9.29	9.53	9.62
Caps (grejpfrut, Pb, ppm)	8.65	9.52	9.52	9.52	9.62

Caps - adsorbovana količina olova

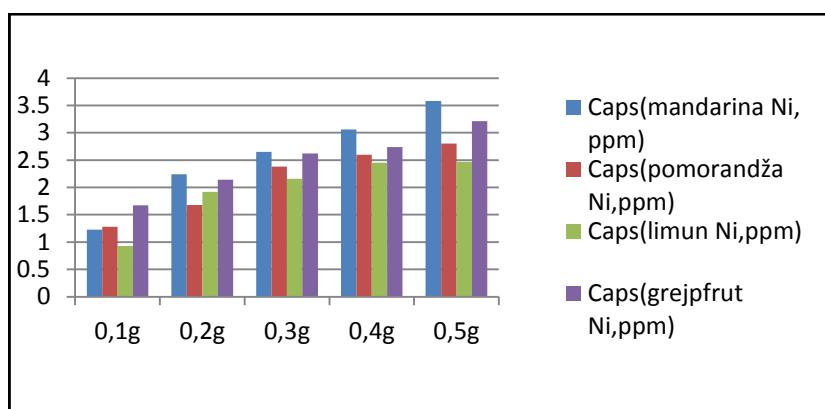
**Sl. 3.** Grafički prikaz svih biosorbenata za sorpciju olova

Iz prikazanog dijagrama zapažamo da je sorpcija olova podjednako dobra za sve biosorbente i da su već sa masom od 0.2 g postignuti zadovoljavajući rezultati. Prvi eksperimenti su rađeni sa 5 mg/l olova. Kako su ispitivani biosorbenti sorbovali svu količinu olova, odlučili smo se za koncentraciju od 10 mg/l olova. Iz prikazanih rezultata se vidi da su kore citrusnog voća najbolje sorbovale oovo od ispitivanih metala.

Tabela 8. Objedinjeni prikaz svih biosorbenata za sorpciju nikla

Masa biosorbenta	0.1 g	0.2 g	0.3 g	0.4 g	0.5 g
Caps (mandarina, Ni, ppm)	1.23	2.24	2.65	3.06	3.58
Caps (pomorandža, Ni, ppm)	1.28	1.68	2.38	2.60	2.80
Caps (limun, Ni, ppm)	0.93	1.92	2.16	2.45	2.47
Caps (grejpfrut, Ni, ppm)	1.67	2.14	2.62	2.74	3.21

Caps - adsorbovana količina nikla

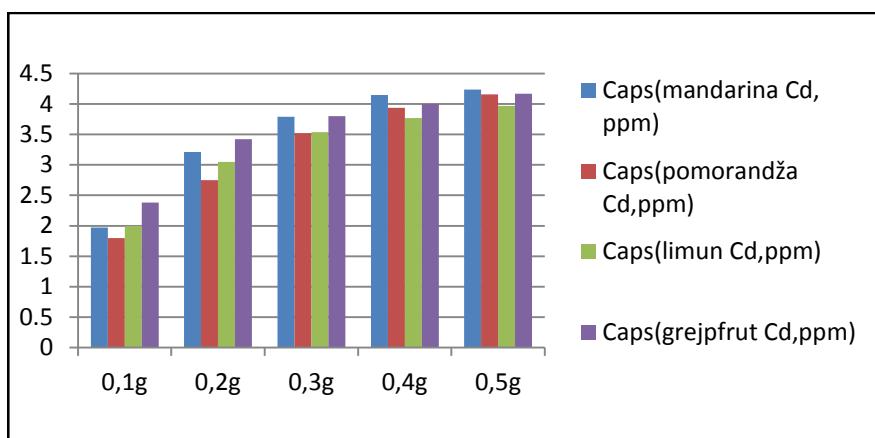
**Sl. 4.** Grafički prikaz svih biosorbenata za sorpciju nikla

Iz prikazanog dijagrama se jasno može uočiti da se sa povećanjem mase sorbenata, povećava i sorpciona moć biosorbenata. Što se tiče pojedinačnih biosorbenata, mandarina, grejp i pomorandža pokazuju bolju sorpcionu moć u odnosu na limun.

Tabela 9. Objedinjeni prikaz svih biosorbenata za sorpciju kadmijuma

Masa biosorbenta	0.1 g	0.2 g	0.3 g	0.4 g	0.5 g
Caps (mandarina, Cd, ppm)	1.97	3.21	3.79	4.15	4.24
Caps (pomorandža, Cd, ppm)	1.80	2.75	3.52	3.94	4.16
Caps (limun, Cd, ppm)	2.00	3.05	3.54	3.77	3.97
Caps (grejpfrut, Cd, ppm)	2.38	3.42	3.80	4.00	4.17

Caps - adsorbovana količina kadmijuma



Sl. 5. Grafički prikaz svih biosorbenata za sorpciju kadmijuma

Iz prikazanog dijagrama uočavamo da se i kod sorpcije kadmijuma za ispitivane biosorbente sa porastom mase povećava i sorpciona moć ispitivanih biosorbenata.

Jasno se uočava da su po sorpciji kadmijuma grejp i mandarina vrlo slični, (nešto bolje sorbuju u odnosu na pomorandžu i limun), za veće mase, a za manje mase su svi sorbenti slični po sorpciji.

ZAKLJUČAK

Na osnovu prikazanih rezultata zaključili smo da za sorpciju bakra može da se primeni bilo koji od korišćenih biosorbentata. Sorpcija bakra kod mandarine i pomorandže se smanjuje sa porastom mase biosorbenta, a kod limuna i grejpfruta raste sa porastom mase.

Za sorpciju cinka, kora grejpfruta je iz prikazanih rezultata najbolji biosorbent, zatim slede mandarina, limun i na kraju pomorandža. Veća sorpcija se postiže sa povećanjem mase biosorbenta.

Kada se razmatra sorpcija olova, iz prikazanih rezultata se jasno uočava da se može koristiti bilo koji biosorbent i da masa nema velikog uticaja na sorpcionu moć biosorbenata.

Što se sorpcije nikla tiče za ispitivane biosorbente, mandarina, grejp i pomorandža pokazuju bolju sorpcionu moć u odnosu na limun i takođe se sa porastom mase povećava sorpciona moć biosorbenata kao i kod cinka i kadmijuma.

Prikazani rezultati, kada govorimo o sorpciji kadmijuma, nam govore da su biosorbenti, grejp i mandarina, nešto bolji u odnosu na biosorbente pomořandžu i limun za veće mase, a da za manje mase svi biosorbenti imaju sličnu sorpcionu moć.

ZAHVALNICA

Autori su zahvalni Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na finansijskoj podršci za projekte TR34005 „Razvoj naprednih materijala i tehnologija za multifunkcionalnu primenu zasnovanih na ekološkom znanju“ i TR37001 „Uticaj rudarskog otpada iz RTB-a Bor na zagadenje vodotokova sa predlogom mera i postupaka za smanjenje štetnog dejstva na životnu sredinu“.

LITERATURA

- [1] Đorđević Đ. S., Dražić J. V.: Fizička hemija, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd. 1987.
- [2] Ahluwalia S. S., Goyal D.: Removal of Heavy Metals from Waste Tea Leaves from Aqueous Solution, Engineering in Life Sciences, 2005, 5, 158–162.
- [3] Krishnani K. K., Xiaoguang M. X., Christodoulatos C., Boddu V. M.: Biosorption Mechanism of Nine Different Heavy Metals onto Biomatrix from Rice Husk, Journal of Hazardous Materials 153, 2008, 1222–1234.
- [4] Goyal P., Sharma P., Srivastava S., Srivastava M.M.: Saraca Indica Leaf Powder for Decontamination, 2008.
- [5] Kuyucak N., Volesky B.: Biosorbents Forrecovery of Metals from Industrial Solutions, Biotechnology Letters, 1988, 10(2), 137-142.
- [6] Annadurai G., Juang R. S., Lee D. L.: Adsorption of Heavy Metals from Water Using Banana and Orange Peels, Water Science and Technology, 2002, 47, 185–190.
- [7] Bailey S. E., Olin T. J., Bricka R. M., Adrian D. D., A Review of Potentially Low-cost Sorbents for Heavy Metals, Water Research, 1999, 33, 2469–2479.

- [8] Mohan D., Singh K.P.: Single - and Multi-component Adsorption of Cadmium and Zinc Using Activated Carbon Derived from Bagasse-an Agricultural Waste, *Water Research*, 2002, 36, 2304–2318.
- [9] Montanher S. F., Oliveira E. A., Rollemburg M. C.: Removal of Metal Ions from Aqueous Solutions by Sorption Onto Rice Bran, *Journal of Hazardous Materials*, 2005, B117, 207-211.
- [10] Saša S. Ranđelović, Bioakumulacija metala u odabranim vrstama voća i lekovitih biljaka, doktorska disertacija, Univerzitet u Nišu, Prirodno matematički fakultet, departman za hemiju

BAKAR 41 (2016) 2 COPPER

UDK: 658.567:661.857(045)=163.41

STRUČNI RAD

Oblast: Metalurgija

PROIZVODNJA SREBRO – KARBONATA ZA POZNATOG KUPCA IZ SREBRA DOBIJENOG RAFINACIJOM RAZLIČITIH SEKUNDARNIH SIROVINA

PRODUCTION OF SILVER - CARBONATE FOR KNOWN CUSTOMER FROM SILVER OBTAINED BY REFINING THE DIFFERENT SECONDARY RAW MATERIALS

Suzana Dragulović, Dragana Božić, Silvana Dimitrijević, Vesna Conić,
Zdenka Stanojević-Šimšić, Danijela Simonović, Dana Stanković

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

Izvod

Srebro, koje je upotrebljeno za proizvodnju srebro – karbonata za poznatog kupca, dobijeno je rafinacijom iz različitih sekundarnih sirovina (srebrni limovi, srebrni kontakti, posrebrena bakarna žica,...). Srebro komercijalnog kvaliteta (99,95%) dobijeno je hemijskim postupcima rafinacije, pri čemu se, osim rastvaranja (koje nije moglo da se izvrši na drugi način) vodilo računa da se ostale faze postupka odvijaju uz izdvajanje minimalne količine štetnih gasova i minimalnih količina štetnih materija u otpadnim vodama. U IRM su razrađeni navedeni hemijski postupci rafinacije srebra iz sekundarnih sirovina i iz istog proizveden srebro – karbonat i prodat poznatom kupcu.

***Ključne reči:** sekundarne sirovine sa sadržajem srebra, hemijski postupci rafinacije srebra, srebro - karbonat*

Abstract

Silver, which is used for silver - carbonate production for known customer was obtained by refining from various secondary raw materials (silver plates, silver contacts, silver-plated copper wire, ...). The commercial quality silver (99.95%) was obtained by the chemical refining processes, whereby, in addition to dissolution (which could not be effected otherwise), the account was taken to the other phases of the process carried out with the minimum amount of extraction the harmful gases and minimal amount of harmful substances in waste water. The MMI has developed the above mentioned chemical processes of silver refining from the secondary raw materials and that was sold to known customer.

***Keywords:** secondary raw material containing silver, chemical processes of silver refining, silver - carbonate*

1. UVOD

Veliki značaj srebra, u ekonomskom i tehnološkom pogledu, izaziva zainteresovanost za njegovu proizvodnju, bez obzira na resurse na kojima se ta

proizvodnja bazira. Obzirom na raznolikost ovih resursa, kako po nastanku (prirodne, sekundarne) tako i po sastavu odnosno karakteru, postoji veći broj tehničko - tehnoloških mogućnosti za njihovu preradu.

Srebro je veoma važan metal koji se koristi u širokom spektru aplikacija kao što su: fotografski materijal, kovanice, nakit, električni i elektronski proizvodi, katalizatori, u stomatologiji, itd. [1]. U cilju povećanja životnog ciklusa sirovina veoma je važno pronaći odgovarajuću tehnologiju za dobijanje srebra iz sekundarnih sirovina.

Istrošeni X-ray fotografiski filmovi predstavljaju danas značajan resurs za dobijanje srebra. Smatra se da se oko 25% svetske količine srebra dobija reciklažom, dok se ostala količina srebra dobija preradom istrošenih fotografiskih filmova [2,3].

Srebro karbonat je žuti kristalni prah, osetljiv na dejstvo svetlosti. Upotrebjava se u analitičkoj hemiji kao reagens [4].

2. EKSPERIMENTALNI DEO

U radu su prikazana dva tehnološka postupka:

1. Rafinacija srebra iz različitih sekundarnih sirovina izmenjenim hemijskim postupcima taloženja i redukcije srebra.
2. Dobijanje srebro – karbonata p.a. kvaliteta iz srebra dobijenog rafinacijom iz sekundarnih sirovina

Prvi tehnološki postupak – rafinacija srebra iz različitih sekundarnih sirovina je izmenjen u odnosu na ranije predloženi tehnološki postupak prerade. Naime, prerada sekundarnih sirovina sa sadržajem srebra sa ciljem da se dobije srebro komercijalnog kvaliteta izvršeno je u više faza:

- Rastvaranje sekundarnih sirovina u razblaženoj azotnoj kiselini (1:1 do 1:2), pri čemu se, pored srebra, rastvor i najveći deo prisutnih metala (Cu, Ni, Zn, Pb,...).
- Taloženje prisutnog olova iz rastvora u obliku olovo – sulfata (na osnovu hemijske analize nitratnog rastvora na sadržaj Pb^{2+} vrši se proračun potrebne količine SO_4^{2-} jona za taloženje $PbSO_4$). Taloženje olovo – sulfata se vrši stehiometrijski potrebnom količinom sumporne kiseline, nakon čega se stvoreni talog $PbSO_4$ odvoji filtriranjem.
- Taloženje srebro hlorida iz dobijenog odfiltriranog rastvora nitrata većine prisutnih metala u sekundarnoj sirovini sa rastvorom natrijum – hlorida.
- Filtriranje i ispiranje taloga srebro – hlorida do negativne reakcije na bakar i nikl (proba sa NH_4OH)

- Prevođenje opranog taloga AgCl u Ag_2O sa rastvorom natrijum – hidroksida
- Redukcija srebra iz srebro – oksida sa dekstrozom (koje su neotrovne, a zamjenjuju kancerogeni hidrazin – hidrat).
- Filtriranje i ispiranje izredukovanih srebrnih oksida do $\text{pH} = 7$.

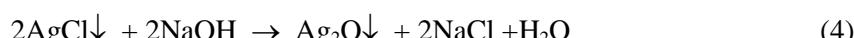
Drugi tehnološki postupak je dobijanje srebro – karbonata p.a. kvaliteta, koji se odvija u više faza:

- Rastvaranje rafinisanog srebra u razblaženoj azotnoj kiselini
- Taloženje srebro – karbonata iz rastvora srebro – nitrata sa natrijum – karbonatom, filtriranje i ispiranje dobijenog taloga, sušenje i merenje u odsustvu svetlosti.

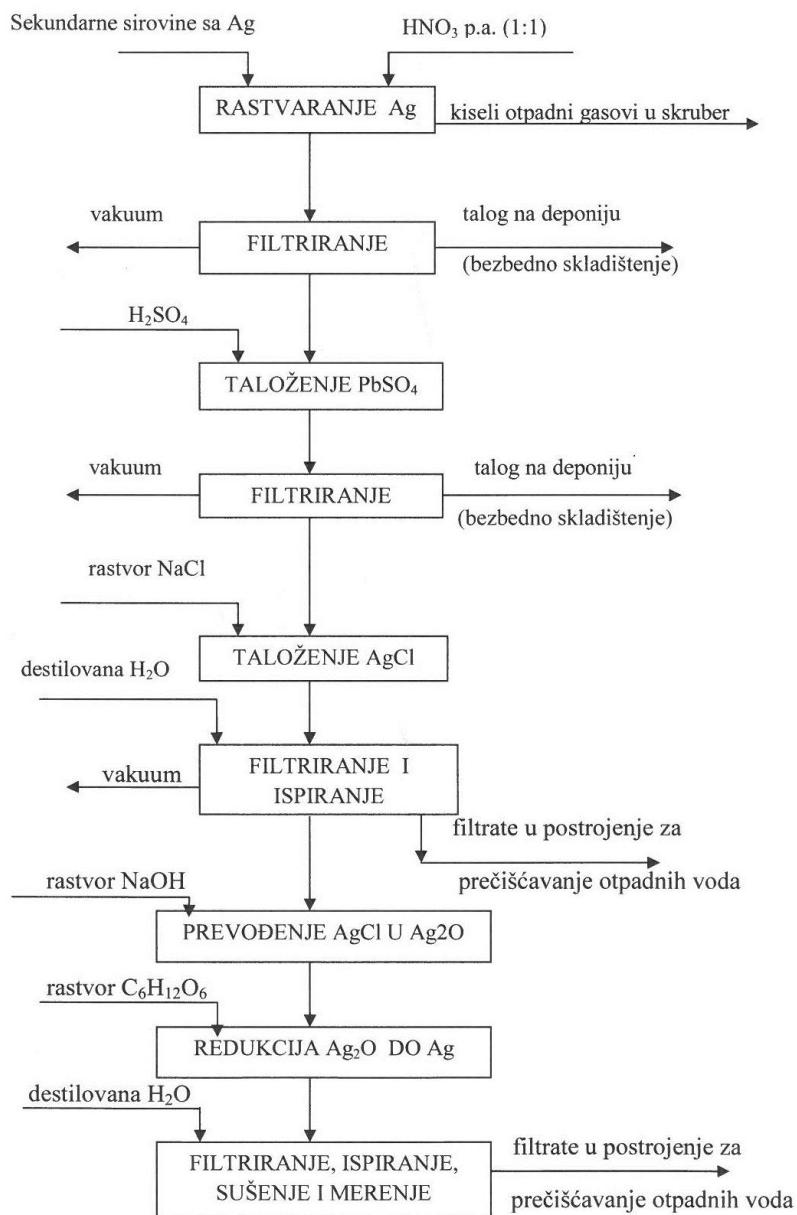
3. REZULTATI I DISKUSIJA

Sve faze procesa regeneracije srebra iz sekundarnih sirovina i diskusija dobijenih rezultata prikazani su u radu [5], tako da će u ovom radu biti prikazani samo rezultati eksperimentalnih istraživanja dobijanja srebro karbonata iz regenerisanog srebra.

Prva faza procesa dobijanja srebro karbonata jeste rastvaranje regenerisanog srebra u razblaženoj azotnoj kiselini (1:1) p.a. kvaliteta, prema sledećoj reakciji (1):

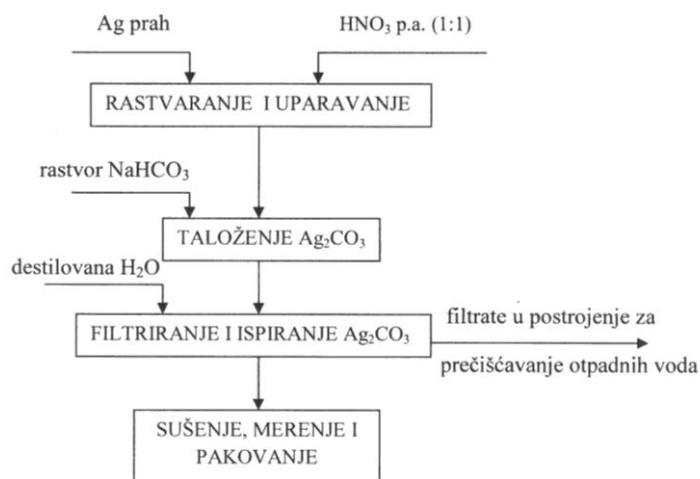


Na slici 1 prikazana je tehnološka šema procesa rafinacije srebra hemijskim postupcima.



Sl. 1. Tehnološka šema procesa rafinacije Ag iz sekundarnih sirovina hemijskim postupcima

Na slici 2 prikazana je tehnološka šema procesa dobijanja srebro – karbonata iz srebra koje je dobijeno rafinacijom iz sekundarnih sirovina.



Sl. 2. Tehnološka šema procesa dobijanja srebro – karbonata

U tabeli 1 prikazan je kvalitet srebro karbonata koji je dobijen prema napred opisanoj tehnologiji.

Tabela 1. Kvalitet srebro karbonata

Osobine	Kvalitet
Izgled	kristalni prah, žute ili svetlo žute boje
Sadržaj Ag ₂ CO ₃	99,8 %
Sadržaj Cl	max 0,005 %
Sadržaj NO ₃	max 0,1 %
Sadržaj SO ₄	max 0,005%

U tabeli 2 prikazan je normativ sirovina i elektroenergije za proizvodnju srebro karbonata

Tabela 2. Normativ sirovina i elektroenergije za proizvodnju srebro karbonata

Sirovina	Jed. mere	Jed. mere/kg
Ag	kg	0,791
HNO ₃ p.a.	dm ³	3
NaHCO ₃ p.a.	kg	0,62
Destilovana voda	dm ³	24,0
Elektroenergija	kWh	14,0

4. ZAKLJUČAK

1. Rafinacija srebra iz sekundarnih sirovina vršena je kombinacijom hemijskih postupaka, pri kojima se u otpadne gasove izdvajaju minimalne količine otpadnih gasova (osim u I fazi – hemijskom rastvaranju sekundarne sirovine), pri čemu je dobijeno:
 - srebro kvaliteta min 99,95% Ag
 - srebro – karbonat p.a. kvaliteta – min 99,8% Ag_2CO_3
2. Proces rafinacije srebra prema opisanom postupku kraće traje (npr. Elektrolička rafinacija anodnog bakra koji sadrži srebro traje 20-24 dana) i pogodan je za rafinaciju manjih količina sekundarnih sirovina sa višim sadržajem srebra (oko 50%)
3. Nedostatak hemijskog postupka rafinacije sekundarnih sirovina sa sadržajem srebra je što se svi prateći metali, koji su se rastvorili zajedno sa srebrom iz sekundarnih sirovina, ispuštaju u otpadne vode
4. Opisanim postupkom dobijeno je 2 kg srebro – karbonata koje je prodato poznatom kupcu.

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 prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] O. N. Starovoytov, N. S. Kim, K. N. Han, Dissolution behavior of silver in ammoniacal solutions using bromine, iodine and hydrogen-peroxide as oxidants, *Hydrometallurgy* 86 (2007) 114–119.
- [2] N. Nakiboglu, D. Toscali, A novel silver recovery method from waste photographic films with NaOH stripping, *Turkish Journal of Chemistry* 27 (2003) 127-133.
- [3] P. A. Ramirez, V. E. Reyes, Silver recovery from radiographic films using an electrochemical reactor, *International Journal of Electrochemical Science* 6 (2011) 6151-6164.
- [4] Glavni tehnološki projekat - Preseljenje i proširenje fabrike za proizvodnju soli metala

BAKAR 41 (2016) 2 COPPER

UDK: 669.3:66.013(045)=163.41

ORIGINALNI NAUČNI RAD

Oblast: Materijali

ELEKTROHEMIJSKO PONAŠANJE BAKRA U PRISUSTVU MACERATA RUZMARINA

ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF COPPER IN THE PRESENCE EXTRACT OF ROSEMARY

Mirjana M. Rajčić Vujasinović¹, Vesna J. Grekulović¹, Zoran M. Stević¹,
Darko M. Dragulović¹, Silvana B. Dimitrijević²

¹Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beogradu, Vojske Jugoslavije 12,
19210 Bor, Srbija, mrajcic@tf.bor.ac.rs

²Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni bulevar 35, 19210, Srbija

Izvod

Bakar, kao i drugi metali, u toku primene podleže procesima korozije. Ti procesi su posebno intenzivirani i odigravaju se po specifičnim mehanizmima u prisustvu jona halogenida, od kojih su hloridni joni najznačajniji. Savremeni trend u istraživanjima je da se za inhibiranje korozionih procesa koriste takozvani "zeleni" inhibitori dobijeni procesima ekstrakcije iz različitih delova biljaka koje sadrže tanine i druge organske komponente koje mogu da uspore procese na metalima u određenoj sredini. U ovom radu prikazan je uticaj prisustva macerata ruzmarina u različitim koncentracijama na potencijal otvorenog kola bakra u rastvoru natrijum hlorida kao i na njegovo ponašanje pri anodnoj polarizaciji, što je u neposrednoj vezi sa korozionim ponašanjem ovog metala.

Ključne reči: bakar, elektrohemijsko ponašanje, zeleni inhibitori, ruzmarin

Abstract

During the usage copper, like the majority of other metals, is submerged to processes of corrosion. Those processes are being intensified and perform following specific mechanisms in presence of chalogenides, chloride ions being the most important of them. Contemporary trend in investigations is to employ so-called 'green' inhibitors obtained by extraction from different parts of plants which contain tannins and other organic components which can slow down corrosion processes in some environment. In this paper the influence of the presence of an extract from rosemary leaves in different concentrations on the open circuit potential of copper in a solution of sodium chloride as well as on its behaviour during the anodic polarisation, is presented.

Keywords: copper, electrochemical behaviour, 'green' inhibitors, rosemary

1. UVOD

Svojstva predmeta od metala se sa vremenom menjaju pod uticajem sredine u kojoj se nalaze. Ova pojava se naziva korozijom metala. Procesi koji dovode do tih promena su u preko 95 % slučajeva elektrohemijske prirode.

Zbog toga su elektrohemijeske tehnike merenja pogodne za izučavanje korozionih procesa na metalima, što je od velikog značaja sa aspekta njihovog usporavanja. Supstance koje dovode do usporavanja procesa korozije svojim prisustvom u korozionoj sredini, nazivaju se inhibitorima korozije. U naučnoj i stručnoj literaturi postoje podaci o ispitivanjima velikog broja organskih i neorganskih supstanci koje bi mogle uspešno da se upotrebe u tu svrhu [1-5]. Najefikasnije od njih, međutim, istovremeno su toksične i negativno se odražavaju na životnu sredinu. Iz tog razloga istraživači su svoje napore usmerili ka iznalaženju efikasnih takozvanih "zelenih" inhibitora korozije izspitujući u tu svrhu ekstrakte – macerate različitih delova mnogih biljnih vrsta [6-11].

U ovom radu će biti prikazani rezultati ispitivanja uticaja dodatka macerata dobijenog iz lista ruzmarina na koroziono ponašanje bakra u 0,5 M NaCl.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

2.1. Hemikalije

Supstance korišćene za pripremu radnih rastvora su NaCl p.a čistoće proizvođača d.d. "Zorka Pharma" Šabac i samleven i pripremljen ruzmarin (*Rosmarinus officinalis L.*) proizvođača d.o.o. "Adonis" iz Sokobanje i destilovana voda. Uvek je pripreman svež rastvor. Dobijanje biljnog ekstrakta odvija se na sledeći način: na 500 ml destilovane vode zagrejane do 60 °C dodaje se 25 g mlevenog lista ruzmarina; proces dobijanja ekstrakata traje 3 časa uz mešanje na magnetnoj mešalici (broj obrtaja je 600 obrtaja u minuti). Nakon 3 časa, dobijeni rastvor se filtrira i vakuumski i dobijeni macerat se čuva u frižideru. Radni rastvori su pripremani tako da se održava konstantna koncentracija natrijum hlorida, dok se sadržaj macerata menja od 10 do 100 ml/l.

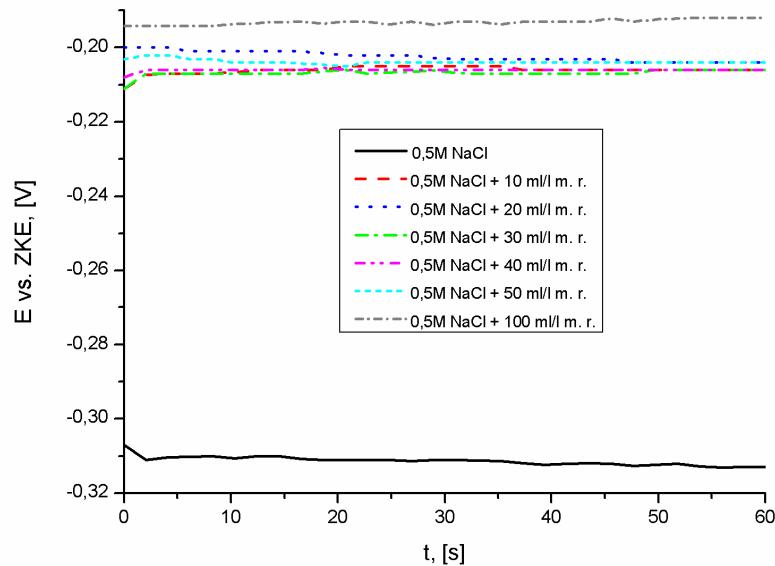
2.2. Metode merenja

Ispitivanja elektrohemiskog ponašanja bakra u 0,5 mol/dm³ NaCl bez i uz dodatak macerata ruzmarina vršena su merenjem potencijala otvorenog kola u odnosu na zasićenu kalomsku elektrodu (ZKE) u trajanju od 60 sekundi, i snimanjem anodnih polarizacionih krivih u opsegu potencijala od -0,4 V vs. ZKE do 1 V vs. ZKE brzinom promene potencijala od 20 mV/s.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Potencijal otvorenog kola

Rezultati merenja potencijala otvorenog kola za bakar u 0,5 mol/dm³ NaCl bez i uz dodatak macerata ruzmarina prikazani su na slici 1.

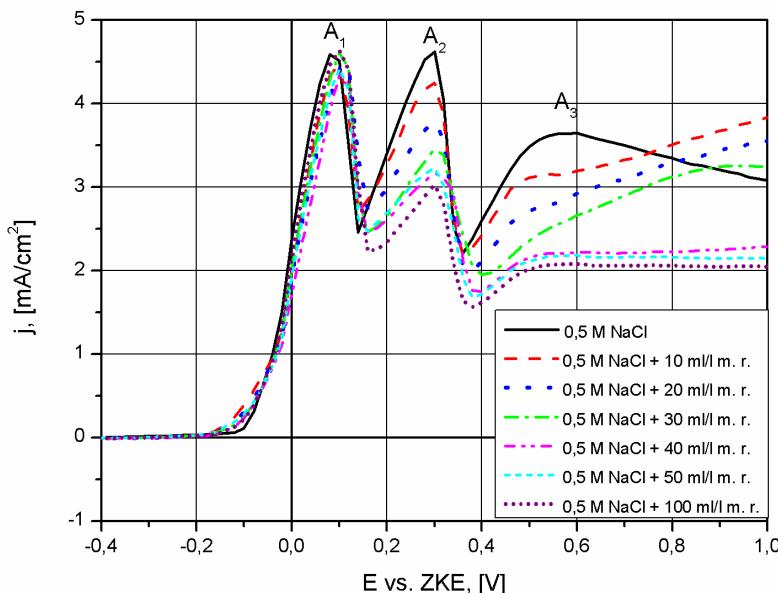


Sl. 1. Rezultati merenja potencijala otvorenog kola za čist bakar u $0,5 \text{ mol}/\text{dm}^3 \text{NaCl}$ sa i bez dodatka macerata ruzmarina u trajanju od 60 s (m. r. - macerat ruzmarina)

Sa slike 1 se vidi da je potencijal otvorenog kola za čist bakar za oko 100-120 mV pozitivniji u prisustvu macerata ruzmarina u koncentracijama od 10 do 50 ml/l nego u rastvoru $0,5 \text{ mol}/\text{dm}^3 \text{NaCl}$ bez dodatka macerata ruzmarina. Sa dodatkom 100 ml/l macerata ruzmarina potencijal je pomeren u pozitivnom smjeru za oko 170 mV u odnosu na čist rastvor NaCl. Opseg potencijala otvorenog kola uz dodatak macerata ruzmarina je od -0,2 V vs. ZKE do -0,19 V vs. ZKE.

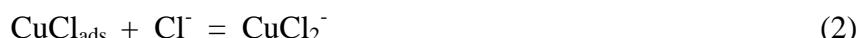
3.2. Potenciodinamička metoda

Na slici 2 su prikazane anodne polarizacione krive snimljene za čist bakar pri brzini promene potencijala od 20 mV/s u rastvoru $0,5 \text{ mol}/\text{dm}^3 \text{NaCl}$ bez i u prisustvu macerata ruzmarina različitih koncentracija.



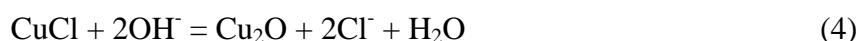
**SI. 2. Anodne polarizacione krive za čist bakar pri brzini promene potencijala od 20 mV/s u 0,5 mol/dm³ NaCl sa i bez dodatka macerata ruzmarina
(m. r. - macerat ruzmarina)**

Na polarizacionoj krivoj snimljenoj za bakar u 0,5 mol/dm³ NaCl pojavljuju se tri strujna pika A₁, A₂ i A₃. U skladu sa pregledanom literaturom [12-15] može se zaključiti da strujni pikovi A₁ i A₂ odgovaraju formiranju hlorida bakra po sledećem mehanizmu:



Tokom anodne polarizacije uvek postoji ravnoteža između CuCl i CuCl₂⁻.

Strujni pik A₃ odgovara formiranju oksida bakra Cu₂O, što se prema Purbeovom dijagramu može očekivati u rastvoru hlorida [16]:



Upoređujući polarizacione krive za čist bakar dobijene u prisustvu macerata ruzmarina sa polarizacionom krivom bez prisustva macerata može se videti da su vrednosti gustina struje strujnih pokova pri svim koncentracijama macerata niže u odnosu na vrednost gustine struje strujnih pokova bez prisustva

macerata ruzmarina. To znači da macerat ruzmarina ima inhibitorsko dejstvo na procese oksidacije bakra, i to izraženije u oblasti potencijala u kojoj se pojavljuju strujni pikovi A_2 i A_3 .

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu merenja potencijala otvorenog kola za čist bakar u $0,5 \text{ mol/dm}^3$ NaCl bez i uz dodatak macerata ruzmarina može se zaključiti da već samo prisustvo ovog macerata vidljivo pomera potencijal otvorenog kola ka pozitivnijim vrednostima. Na polarizacionoj krivoj snimljenoj za čist bakar u $0,5 \text{ mol/dm}^3$ NaCl se pojavljuju strujni talasi na potencijalima $0,1 \text{ V}$ vs. ZKE, $0,4 \text{ V}$ vs. ZKE i $0,5 \text{ V}$ vs. ZKE koji se na osnovu poređenja sa literaturnim podacima pripisuju formiranju hlorida bakra i oksida Cu_2O . U prisustvu macerata ruzmarina strujni pikovi na polarizacionim krivama za bakar se pojavljuju na pozitivnijim potencijalima i pri nižim vrednostima gustine struje nego na polarizacionoj krivoj snimljenoj bez dodatka macerata, na osnovu čega se može zaključiti da ovaj macerat ima inhibitorski uticaj na procese koji odgovaraju tim pikovima.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je proistekao iz projekata OI 172060: "Nov pristup dizajniranju materijala za konverziju i skladištenje energije", koji je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Nathan C. C. (Ed.), Corrosion Inhibitors, NACE, Houston, (1973).
- [2] Aliofkhazarei M. (Ed.), Developments in Corrosion Protection (ch.16.), 2014., 366-379 (ISBN 978-953-51-1223-5).
- [3] Avramović Z., Antonijević M., Petrović Đ., Inhibitori korozije mesinga u rastvorima hloridnih jona, Zaštita materijala, 46 (2005) 3-10.
- [4] Bergman J. L., Corrosion Inhibitors, MacMilan, New York, (1963)
- [5] Paravinasam S., Corrosion Inhibitors in: R.Winston Revie (Ed): Uhling's Corrosion Handbook, John Wiley & Sons, (2000).
- [6] Bozorgt M., Farahani T.S., Neshati J., Myrtus Communis as green inhibitor of Copper corrosion in Sulfuric Acid, Materials Engineering Department, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran 2014.

- [7] El-Haddad Mahmoud N., Chitosan as a Green Inhibitor for Copper Corrosion in Acidic Medium, Chemistry Faculty of Science, Mansoura University, Mansoura, Egypt 2012.
- [8] Fouad A. S., El-Haddad M. N., Abdallah Y. M., Septazole: Antibacterial drug as a Green corrosion inhibitor for Copper in hydrochloric Acid Solution, Department of chemistry, Faculty of Science, Mansoura university, Mansoura, Egypt 2013.
- [9] Palou R. M., Homelt O. O., Likhanova N. V., Environmentally Friendly Corrosion Inhibitors, Developments in Corrosion Protection, Edited by M. Aliofkhazraei, InTech, (2014) 431-463. ISBN 978-953-51-1223-5
- [10] Petković D., Mogućnost primene zelenih inhibitora za zaštitu čelika, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Tehnološki fakultet Zvornik, Tehnologijada 2012.
- [11] Sham A. M., Rahim A. A., Hamid S. A., Yahya S., Green Inhibitors for Copper Corrosion by Mangrove tannin, School of Chemical Sciences, University Sains Malaysia, Penang, Malaysia 2013.
- [12] Kosec T., Milosev I., Pihlar B., Benzotriazole as an Inhibitor of Brass Corrosion in Chloride Solution, *Appl. Surf. Sci.*, 253 (2007) 8863–8873.
- [13] Mamas S., Kiyak T., Kabasakaloglu M., Koc A., The Effect of Benzotriazole on Brass Corrosion, *Mater. Chem. Phys.*, 93 (2005) 41–47.
- [14] Grekulović V., Rajčić –Vujsinović M., Electrochemical Behavior of AgCu Alloy in Alkaline Medium in the Presence of Chloride Ions, *Corrosion*, 68, 2 (2011) 025003-1 - 025003-8.
- [15] Otmačić H., Stupnišek-Lisac E., Copper Corrosion Inhibitors in Near Neutral Media, *Electrochim. Acta*, 48 (2003) 985-991.
- [16] Pourbaix M., *Atlas d'équilibres Electrochimiques*, Gauthier-Villars et Cie, Paris 1963.

BAKAR 41 (2016) 2 COPPER

UDK: 681.12:681.2.089(045)=163.41

ORIGINALNI NAUČNI RAD

Oblast: Mašinstvo

SISTEM ZA BAŽDARENJE INDUSTRIJSKIH VODOMERA - MODELIRANJE I ANALIZA STABILNOSTI

SYSTEM FOR CALIBRATION OF INDUSTRIAL WATER METERS - MODELING AND ANALYSIS OF STABILITY

Stanko Stankov

Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, A. Medvedeva 14, Niš, Srbija,
e-mail: stanko.stankov@elfak.ni.ac.rs

Izvod

U radu se razmatra modeliranje i stabilnost sistema automatskog upravljanja postrojenja za baždarenje industrijskih vodomera. Upravljački sistem je zasnovan na programabilnom logičkom kontroleru i SCADA konfiguraciji. Za ispunjavanje visokih zahteva koji se odnose na performanse sistema automatskog upravljanja primenjena je kaskadna struktura. Kod kaskadnog upravljanja se pored primarne regulisane veličine (u ovom slučaju to je protok - $Q(t)$), reguliše i pomoćna izlazna veličina (pomeraj x vretena regulacionog elektromotornog ventila). Polazeći od strukturne šeme, sistem je sveden na elementarnu formu i metodom Popova je dokazana apsolutna stabilnost.

Ključne reči: baždarenje, industrijski vodomer, modeliranje, upravljanje, stabilnost sistema

Abstract

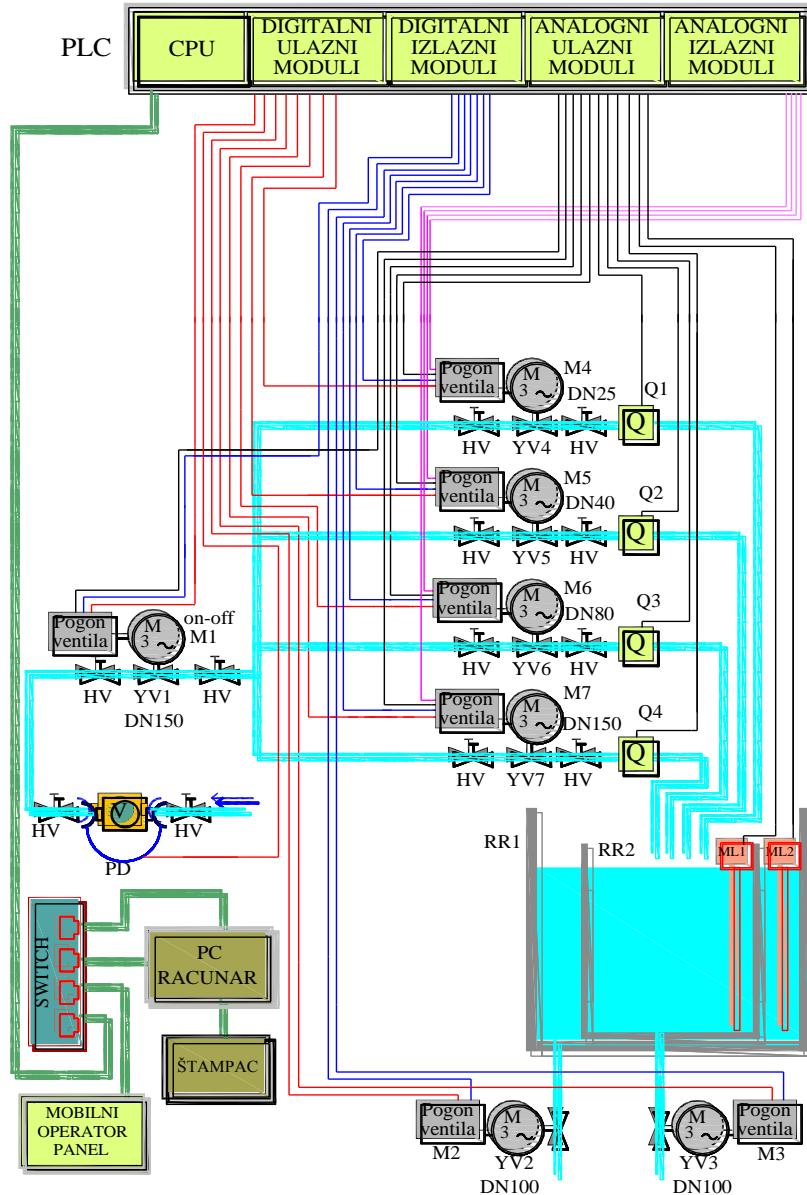
The paper discusses modeling and stability of control systems for calibrating the industrial water meters. The control system is based on a programmable logic controller and SCADA configuration. Cascaded structure is applied to fulfill high demands which refer to the performance of automatic control. In cascade control, besides the primary controlled variable (in this case the flow - $Q(t)$), an auxiliary output variable is regulated too (displacement x spindle of control electric valve). Starting from the structural scheme, the system is reduced to the elemental form and absolute stability has been proven by the Popov criteria.

Keywords: calibration, industrial water meter, modeling, control, system stability

1. UVOD

U [1] je detaljno opisan sistem za baždarenje industrijskih vodomera, čija je blok šema prikazana na slici 1. Tokom modeliranja procesa baždarenja izvršena je linearizacija sastavnih elemenata: frekvencijskih regulatora i elektromotornih pogona, dok su regulacioni ventili razmatrani kao nelinearni elementi opisani polinomom. Parametri regulatora su određeni metodom podešavanja spektra polova. Najpre je podešena unutrašnja regulaciona kontura,

pri čemu je skraćivanjem pola odredena diferencijalna vremenska konstanta PD regulatora, a njegovo pojačanje dobijeno je simulacijom u softverskom paketu **SIMULINKU**.

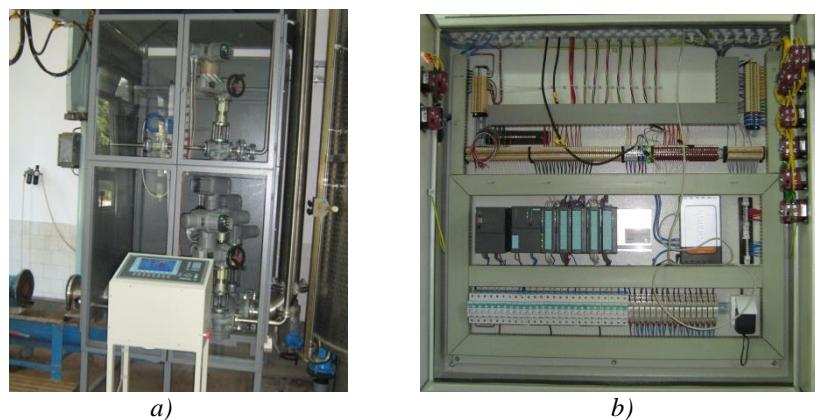


Sl. 1. Blok šema sistema za baždarenje industrijskih vodomera

PID regulator je podešen na osnovu projektnih zahteva u pogledu stepena relativnog prigušenja prelaznog procesa i dominantne vremenske konstante. Izvršena je simulacija rada sistema s podešenim parametrima regulatora i na osnovu rezultata simulacije dodatno su podešeni parametri regulatora realnog sistema. Podešeni regulatori za sve radne tačke su softverski implementirani u *PLC*-u, koji vodi proces baždarenja. [1, 2]. Zbog promena parametara sistema primenjena je *Gain scheduling* regulacija s određenim brojem radnih tačaka. Parametri regulatora (proporcionalno dejstvo K_p , integralna vremenska konstanta T_i , diferencijalna vremenska konstanta T_d) unapred su određeni i menjaju se u zavisnosti od vrednosti referentnog signala. Primljeno rešenje omogućava potpuno automatizovan i pouzdan rad postrojenja za baždarenje uz zahtevanu tačnost i preciznost.

Realizovano postrojenje za baždarenje industrijskih vodomera, (fotografija postrojenja prikazana na *slici 2a.*, na *slici 2b.* je data fotografija upravljačkog ormara), u konstruktivnom pogledu sadrži [1, 2]:

- dva merna suda (otvoreni rezervoari *RR1* zapremine 5m^3 i *RR2* zapremine $2,5\text{ m}^3$, pri čemu se *RR2* nalazi unutar rezervoara *RR1*,
- dve elektronske merne letve *ML1* i *ML2*, kojima se mere nivoi vode u sudovima *RR1* i *RR2*
- četiri grane s regulacionim mehaničkim ventilima *YV4*, *YV5*, *YV6*, *YV7*, koji su sa elektromotornim pogonima,



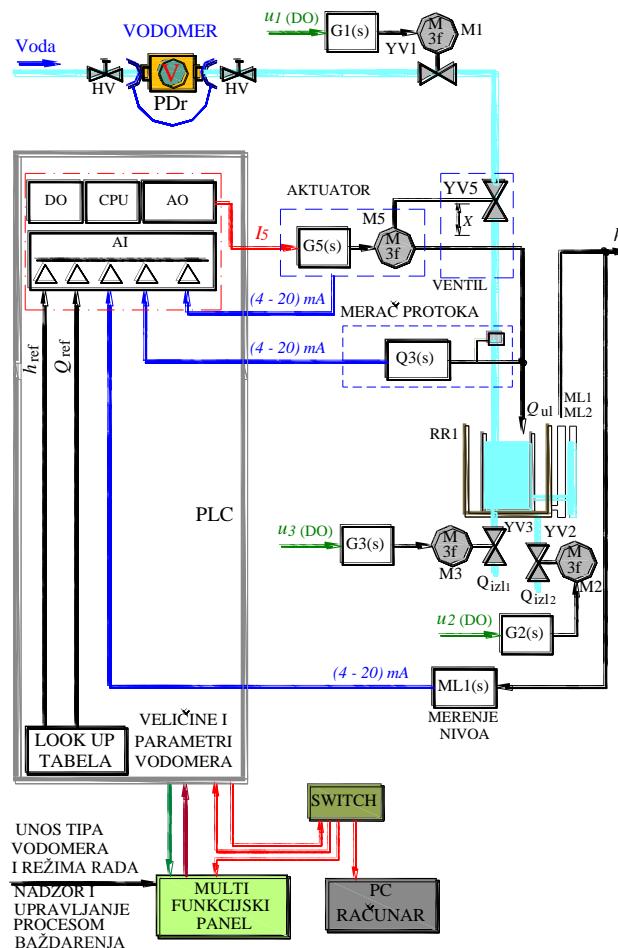
Sl. 2. Fotografija postrojenja za baždarenje a) i komandnog ormara b)

- četiri elektromagnetna merača protoka *Q1*, *Q2*, *Q3*, *Q4* određenih nominalnih prečnika *DN25*, *DN40*, *DN80* i *DN150* respektivno,
- tri ON-OFF elektromotorna ventila: *YV1* ventil na ulazu (postavljen iza vodomera V koji se baždari), *YV2* ventil za ispuštanje vode iz *RR1* i *YV3* namenjen za ispuštanje vode iz *RR2*,

- dve staklene nivokazne cevi na kojima se može vizuelno izvršiti identifikacija nivoa vode u mernim rezervoarima,
- upravljački *PLC* sistem instaliran u ormaru,
- pokretni upravljački pult s multifunkcijskim panelom i
- *PC* radna stanica.

2. KONFIGURACIJA SISTEMA BAŽDARENJA

Sistem za baždarenje se sastoji od 4 merne grane. Postrojenje je koncipirano tako da se samo s četiri grane, čiji su nominalni prečnici *DN25*, *DN40*, *DN80* i *DN150*, može vršiti baždarenje svih industrijskih vodomera, koji su u dijapazonu *DN20*÷*DN150*. Kontura merne grane *DN40* je prikazana na slici 3.



Sl. 3. Blok šema merne grane *DN40* sistema za baždarenje industrijskih vodomera

Najčešće su u kombinaciji dve grane kod baždarenja vodomera s većim DN ($DN \geq 80$), pri čemu se vrši merenje maksimalnog i nominalnog protoka na većoj grani, a minimalni i prelazni protok se mere na manjoj grani. Upravljačka logika bira najpovoljniju kombinaciju grana za određeni tip vodomera [1, 2]. Modeliranje i analiza dinamike i stabilnosti su izvršeni za granu koja je namenjena za baždarenje vodomera nominalnog prečnika $DN40$. U sastavu konture su sledeći elementi:

- vodomjer,
- elektromotorni *ON-OFF* ventil $YV1$ sa "AUMA" pogonom (na ulazu),
- elektromotorni regulacioni ventil $YV5$ sa "AUMA" pogonom,
- merač protoka $Q2$ "OPTIFLUX",
- merni rezervoar RR ,
- merač nivoa vode $ML1$ i
- elektromotorni *ON-OFF* ventil $YV3$ sa "AUMA" pogonom (na izlazu rezervoara).

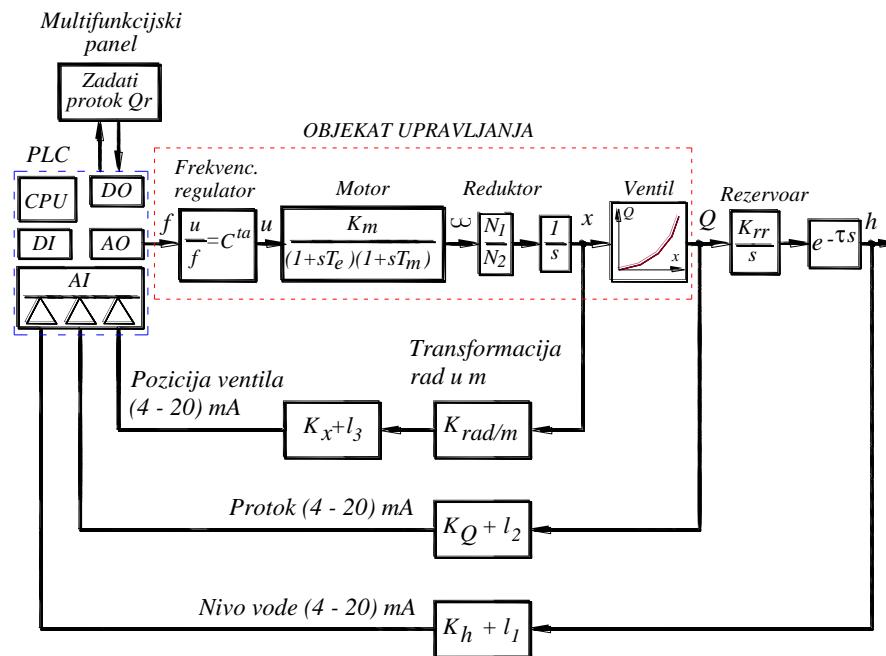
Nakon postavljanja vodomera **V** koji se baždari, startuje se upravljačko-nadzorni sistem i proces baždarenja se odvija automatski u nekoliko koraka:

- Upravljačka logika registruje prisustvo vodomera (dva mikroprekidača na pneumatskom držaču (PDr). Mikroprekidači su vezani na digitalnim ulazima PLC -a).
- Preko multifunkcijskog panela se unose parametri vodomera i zadaje se protok Q_r (minimalni Q_{min} , prelazni Q_t , nominalni Q_n ili maksimalni protok Q_{max}).
- Iz *LOOK-UP* tabele se čitaju potrebni podaci (za širok spektar vodomera uneti su karakteristični podaci, neophodni za proceduru baždarenja).
- Uključuje se *ON-OFF* elektromotorni ventil $DN150$ ($YV1$) na ulazu sistema.
- Uključuje se regulacioni elektromotorni ventil aktuelne grane (u ovom slučaju $YV5-DN40$), pomoću koga se održava konstantan protok vode kroz baždareni vodomjer.
- Elektromagnetni merač protoka $DN40$ ($Q2$) šalje preko analognog ulaza kontroleru strujni signal ($4\div20mA$) proporcionalan vrednosti protoka. Ovaj signal se upoređuje sa zadatim protokom Q_r , pri čemu se formira signal greške e_1 koji se vodi na prvi *regulator* (PID).
- Pozicija vretena regulacionog ventila (strujni signal ($4\div20mA$) proporcionalan poziciji) se, takođe, vodi na jedan analogni ulaz PLC -a. Ovaj signal se upoređuje sa izlazom *regulatora 1* funkcije prenosa $W_{r1}(s)$, pri čemu se formira drugi signal greške e_2 koji pobuđuje kaskadno vezani *regulator 2* (PD), čija je funkcija prenosa $W_{r2}(s)$ (slika 7.).

- Voda koja protiče kroz vodomjer se uliva u rezervoar RR, u kome se meri nivo (elektronska merna letva ML). ML daje na svom izlazu strujni signal ($4\div20$)mA, proporcionalan nivou. Na osnovu ovog signala upravljačka jedinica izračunava zapreminu protekle vode. Posle proticanja propisane zapremine vode (za vodomjer DN40 i maksimalni protok potrebno je da protekne zapremina $V = 500 \text{ dm}^3 = 0.5 \text{ m}^3$, u trajanju $t = 120 \text{ s}$ – tabela 1) isključuje se ON-OFF ventil $YV1$, kao i regulacioni ventil $YV5$. Na osnovu rezultata baždarenja upravljačka jedinica donosi zaključak o ispravnosti vodomera i omogućava operateru da štampa generisani izveštaj [2].

3. ANALIZA PROCESA BAŽDARENJA I UPRAVLJAČKOG SISTEMA

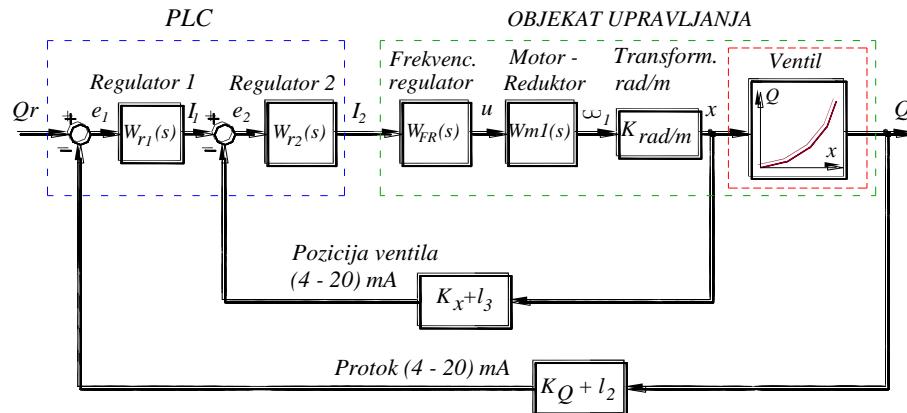
Zadatak upravljanja je održavanje konstantnog protoka kroz vodomjer koji je predmet baždarenja. Strukturalna šema sistema za baždarenje za mernu granu s regulacionim ventilom DN40 prikazana je na slici 4.



Sl. 4. Strukturalna šema sistema za baždarenje (merna grana s regulacionim ventilom DN40)

Za ispunjavanje visokih zahteva u odnosu na performanse sistema automatskog upravljanja primenjena je kaskadna struktura. Ideja kaskadnog upravljanja ogleda se u tome da se pored primarne regulisane veličine (u ovom slučaju to je protok $Q(t)$), reguliše i pomoćna izlazna veličina (pomeraj x vretena regulacionog elektromotornog ventila).

Na *slici 5.* je data modifikovana blok šema s kaskadnom strukturu, koja ima dve povratne sprege. Povratna sprega koja se zatvara preko merača nivoa vode k_h u rezervoaru RR je izostavljena, jer ona ne utiče na dinamiku regulisanog procesa.



Sl. 5. Modifikovana strukturalna šema sistema za baždarenje

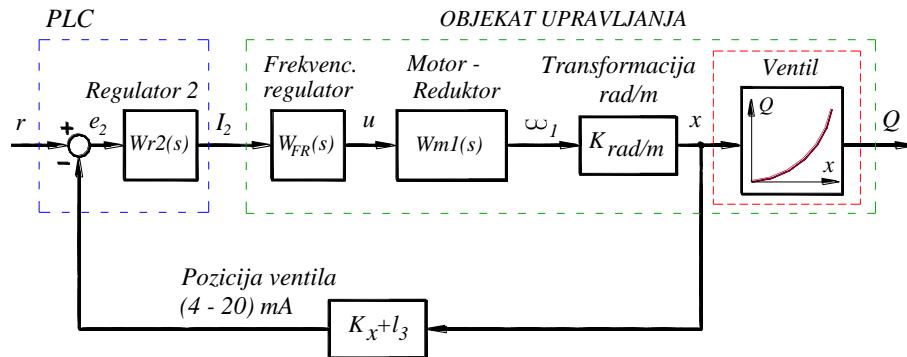
U primarnoj (spoljašnjoj) petlji nalazi se regulator s funkcijom prenosa $W_{r1}(s)$, a u pomoćnoj (unutrašnjoj) petlji regulator, čija je funkcija prenosa $W_{r2}(s)$. U strukturnoj šemi, funkciji prenosa motora je pridodat integrator s obzirom da je izlaz motora ugaoni pomeraj vretena regulacionog ventila. U funkciji prenosa je uračunat i prenosni odnos $N = \frac{N_1}{N_2}$ reduktora. Upravljačka logika bira najpovoljniju kombinaciju grana za određeni tip vodomera [1, 2].

$$W_{mI}(s) = \frac{K_m}{sN(1+sT_e)(1+sT_m)}. \quad (1)$$

Zamenom vrednosti dobija se:

$$W_{mI}(s) = \frac{0.7375}{352 * (1 + 0.00162s)(1 + 159s)s}. \quad (2)$$

Za unutrašnju konturu sistema (slika 6.), koja sadrži integralni član, projektovan je *PD* regulator, čija je funkcija prenosa u *s* domenu:



Sl. 6. Strukturalna šema unutrašnje regulacione konture

$$W_{r2}(s) = K_{r2}(1 + T_{d2}s). \quad (3)$$

Zavisnost hoda x vretena regulacionog ventila od referentnog signala $r = I_1[A]$ (izlaz regulatora W_{r1}) dat je jednačinom:

$$X(s) = \frac{K_{r2}(1 + T_{d2}s)K_{FR}K_mK_{rad/m}}{Ns(1 + sT_e)(1 + sT_m)} R(s) - \frac{K_{r2}(1 + T_{d2}s)K_{FR}K_mK_{rad/m}K_x}{sN(1 + sT_e)(1 + sT_m)} X(s) \quad (4)$$

Funkcija spregnutog prenosa unutrašnje konture je:

$$W_2(s) = \frac{X(s)}{R(s)} = \frac{K_{r2}(1 + T_{d2}s) \frac{K_{FR}K_mK_{rad/m}}{Ns(1 + sT_e)(1 + sT_m)}}{1 + \frac{K_{r2}(1 + T_{d2}s)K_{FR}K_mK_{rad/m}K_x}{sN(1 + sT_e)(1 + sT_m)}}. \quad (5)$$

U modifikovanoj funkciji prenosa motora $W_{mI}(s)$ (7.26) zanemaruje se električna vremenska konstanta $T_e = 0.00162s$, koja je znatno manja od mehaničke vremenske konstante $T_m = 0.159s$. Diferencijalna vremenska konstanta $T_{d2} = 0.159s$ *PD* regulatora, izabrana je tako da se skrati pol $p = -\frac{1}{T_m}$ u funkciji prenosa $W_{mI}(s)$, pa funkcija spregnutog prenosa postaje:

$$W_2(s) = \frac{K_{r2} K_{FR} K_m K_{rad/m}}{Ns + K_{r2} K_{FR} K_m K_{rad/m} K_x}, \quad (6)$$

odnosno

$$W_2(s) = \frac{\frac{1}{K_x}}{1 + \frac{N}{K_{r2} K_{FR} K_m K_{rad/m} K_x} s} = \frac{K}{1 + Ts}. \quad (7)$$

Podešavanje pojačanja *PD* regulatora je izvršeno na modelu unutrašnje konture regulacije, u Simulinku, gde je dobijena vrednost $K_{r2} = 2$, (za ulazni signal $0.02A$, koji odgovara maksimalnom protoku) [1, 2].

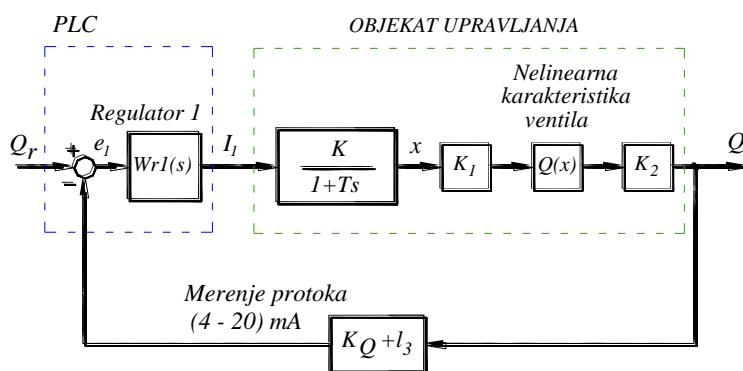
Zamenom vrednosti u (7.31), dobija se:

$$K = \frac{1}{K_x} = 1.25, \quad T = \frac{N}{K_{r2} K_{FR} K_m K_{rad/m} K_x} = 17.86s.$$

Funkcija spregnutog prenosa $W_2(s)$ unutrašnje konture sada je:

$$W_2(s) = \frac{1.25}{1 + 17.86s}, \quad (8)$$

a blok šema sistema za baždarenje vodomera sada ima formu prikazanu na *slici 7*. Na osnovu funkcije prenosa $W_2(s)$ (8) objekta upravljanja, može se zaključiti da je dovoljno projektovati regulator *PI* tipa, čija bi integralna vremenska konstanta skratila pol u funkciji prenosa $W_2(s)$. Bolji rezultati (prvenstveno brži odziv sistema) dobija se primenom *PID-a*.



Sl. 7. Strukturalna blok šema sistema za baždarenje

Funkcija prenosa *PID* regulatora je:

$$W_{rI}(s) = K_{rI} \left[1 + \frac{1}{T_{iI}s} + \frac{T_{dI}s}{1+T_I s} \right], \quad (9)$$

pri čemu je $T_I \ll T_{dI}$ ($T_I = 0.01T_{dI}$).

Funkcija spregnutog prenosa $W_s(s)$ sistema za baždarenje nalazi se iz (*slika 13*):

$$Q(s) = \left[1 + \frac{1}{T_{iI}s} + \frac{T_{dI}s}{1+T_I s} \right] \frac{K_{rI}KK_IK_pK_2}{(1+Ts)} Q_r(s) - \left[\frac{1+T_{iI}s}{T_{iI}s} + \frac{T_{dI}s}{1+T_I s} \right] \frac{K_{rI}KK_IK_pK_2K_Q}{(1+Ts)} Q(s) \quad (10)$$

$$W_s(s) = \frac{Q(s)}{Q_r(s)} = \frac{K_{rI} \left[1 + \frac{1}{T_{iI}s} + \frac{T_{dI}s}{1+T_I s} \right] \frac{KK_IK_pK_2}{(1+Ts)}}{1 + K_QK_{rI} \left[1 + \frac{1}{T_{iI}s} + \frac{T_{dI}s}{1+T_I s} \right] \frac{KK_IK_pK_2}{(1+Ts)}} \quad (11)$$

Funkcija povratnog prenosa sistema je:

$$W_p = K_QK_{rI} \left[1 + \frac{1}{T_{iI}s} + \frac{T_{dI}s}{1+T_I s} \right] \frac{KK_IK_pK_2}{(1+Ts)} \quad (12)$$

a karakteristična jednačina:

$$1 + K_QK_{rI} \left[1 + \frac{1}{T_{iI}s} + \frac{T_{dI}s}{1+T_I s} \right] \frac{KK_IK_pK_2}{(1+Ts)} = 0 \quad (13)$$

odnosno

$$s^3 + \frac{T + 0.01T_{dI} + K_{rI}K_eT_{dI}}{T_{dI}T_{iI}T} T_{iI}s^2 + \frac{T_{iI} + K_{rI}K_e(T_{iI} + 0.01T_{dI})}{T_{dI}T_{iI}T} s + \frac{K_{rI}K_e}{T_{dI}T_{iI}T} = 0 \quad (14)$$

gde su: $Q(x) = K_p$, $K_I = 70$, $K_2 = \frac{1}{3600}$, $K_e = K_QKK_IK_pK_2$.

Željena karakteristična jednačina sistema sa zatvorenom povratnom spregom ima oblik:

$$(s + \sigma)(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2) = 0, \quad (15)$$

odnosno

$$s^3 + (\sigma + 2\zeta\omega_n)s^2 + (\omega_n^2 + 2\zeta\omega_n\sigma)s + \omega_n^2\sigma = 0 \quad (16)$$

pri čemu su: ζ stepen relativnog prigušenja prelaznog procesa, ω_n neprigušena prirodna učestanost, a σ realni koren karakteristične jednačine, koji je daleko od imaginarne ose s -ravni.

Za zadate tehničke uslove: stepen relativnog prigušenja prelaznog procesa $\zeta = 1$ (kritično aperiodičan prelazni proces) i dominantnu vremensku konstantu

$$T_d = 20s, \text{ nalazi se neprigušena prirodna učestanost } \omega_n \leq \frac{1}{\zeta T_d} = 0.05 \frac{\text{rad}}{\text{s}} [1-3].$$

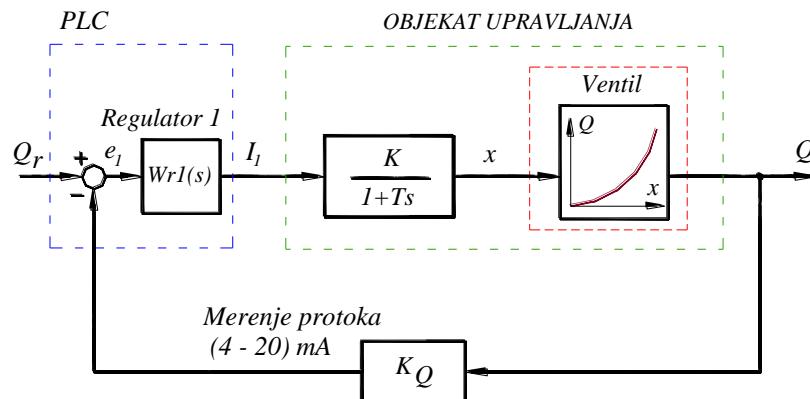
Da bi sistem bio stabilan posle zatvaranja povratne sprege, potrebno je obezbititi da je $\sigma > 0$, uz uslov:

$$\sigma = \alpha\zeta\omega_n \quad (17)$$

gde je: $\alpha = 6 \div 10$. Izračunavanjem se dobija: pojačanje $K_{rI} = 1$, integralna vremenska konstanta $T_{iI} = 16.66s$ i diferencijalna vremenska konstanta $T_{dI} = 0.38s$ [1, 2].

4. ISPITIVANJE STABILNOSTI

Posmatra se merna grana DN40 i strukturalna šema sistema prikazana na slici 8.



Sl. 8. Strukturalna šema sistema za baždarenje

Vrednosti parametara regulatora za radnu tačku maksimalnog protoka su [1, 2]:

- regulator $W_{r1}(s)$ (PID): $K_{r1} = 1.1$, $T_{i1} = 18s$, $T_{d1} = 0.38s$,
- regulator $W_{r2}(s)$ (PD): $K_{r2} = 2$, $T_{d2} = 0.35s$,
- ostali parametri sistema: $K_Q = 2.88$, $K = 1.25$, $T = 17.86s$.

Funkcija prenosa od Q do x (funkcija prenosa linearnega dela sistema) nalazi se iz:

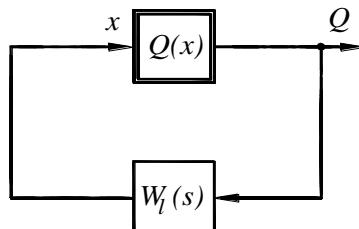
$$X(s) = W_{r1}(s) \frac{K}{1+Ts} Q_r(s) - K_Q W_{r1}(s) \frac{K}{1+Ts} Q(s). \quad (18)$$

Za $Q_r = 0$ jednačina (18) postaje:

$$X(s) = -K_Q W_{r1}(s) \frac{K}{1+Ts} Q(s) = W_l(s) Q(s). \quad (19)$$

$W_l(s)$ je funkcija prenosa linearnega dela sistema.

Na sliki 9 je data elementarna strukturalna šema regulacione konture s nelinearnim elementom [3].



Sl. 9. Elementarna strukturalna šema regulacione konture s nelinearnim elementom

Funkcija prenosa linearnega dela sistema je:

$$\frac{X(s)}{Q(s)} = W_l(s) = K_Q K_{r1} \frac{T_{i1}s(1 + 0.01T_{d1}s) + 1 + 0.01T_{d1}s + T_{d1}sT_{i1}s}{T_{i1}s(1 + 0.01T_{d1}s)} \frac{K}{1+Ts} \quad (20)$$

Zamenom konkretnih vrednosti, funkcija linearnega dela sistema postaje:

$$W_l(s) = \frac{0.22(6.9s^2 + 18s + 1)}{0.0678s^3 + 17.86s^2 + s}. \quad (21)$$

Imajući u vidu da je linearni deo sistema na aperiodičnoj granici stabilnosti razmatra se poseban slučaj metode *Popova*. Uvodimo negativne povratne sprege da bi se linearni sistem stabilizovao (slika 10) [2]. U tom slučaju transformisani linearni deo sistema ima funkciju prenosa:

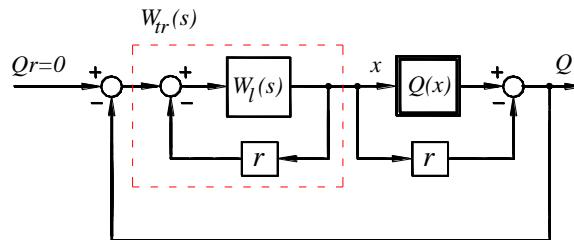
$$W_{tr}(s) = \frac{W_l(s)}{1+rW_l(s)}, \quad (22)$$

Karakteristična jednačina sistema je:

$$1+rW_l(s)=0, \quad (23)$$

a funkcija povratnog prenosa

$$W_p(s) = rW_l(s), \quad (24)$$



Sl. 10. Nelinearan sistem s nestabilnim linearnim delom

odnosno

$$W_p(s) = r \frac{0.22(6.9s^2 + 18s + 1)}{0.0678s^3 + 17.86s^2 + s}. \quad (25)$$

Kako je linearni deo sistema (po *Nikvist* - ovom kriterijumu) stabilan za svako $r > 0$, parametar r biramo tako da odgovara nagibu tangente nelinearne karakteristike regulacionog ventila u $x=0$. Izvod aproksimirane nelinearne karakteristike (5) ventila je:

$$\frac{dQ(x)}{dx} = 382.5x^4 - 244.5x^3 + 138.6x^2 - 8.6x + 12.8, \quad (26)$$

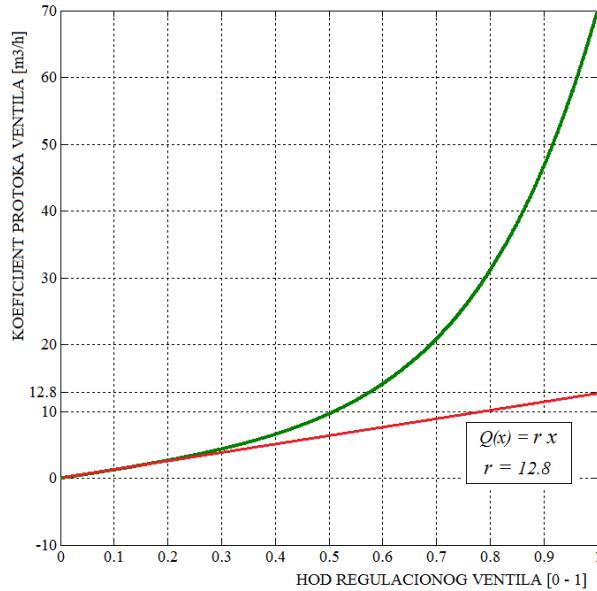
pa je:

$$\left. \frac{dQ(x)}{dx} \right|_{x=0} = 12.8 = r. \quad (27)$$

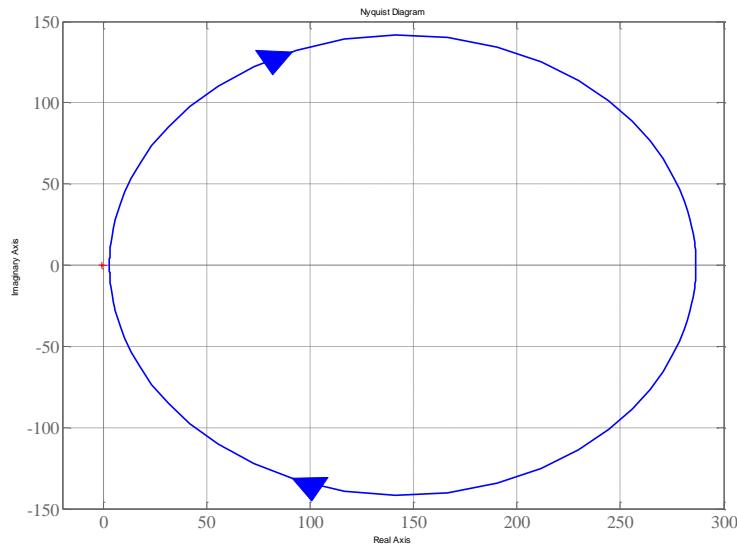
Aproksimacija nelinearne karakteristike ventila *DN40* polinomom petog reda, koji je dobijen pomoću *M-fajla* u *Matlab-u*.

```
x=[0.0001 0.01 1.8 2.7 4.5 6.5 9.5 21 31 70];
y=[0 0.005 0.15 0.2 0.3 0.4 0.5 0.7 0.8 1];
p=polyfit(y,x,5)%aproksimacija polinomom petog reda
%p=polyfit(log10(x),y,1) %aproksimacija funkcijom
yp=0:0.001:1;
xp=polyval(p,yp);
plot(y,x,yp,xp);
```

Nelinearna karakteristika ventila je ograničena pravom $Q(x) = rx$, s donje strane, odnosno nalazi se u opsegu $[r, k] = [12.8, 70]$, što je prikazano, takođe, na slici 11. Zaista, za $r=12.8$ pokazuje se da je linearni deo sistema stabilan po *Nikvistu*, što se može videti na slici 12).



Sl. 11. Nelinearna karakteristika regulacionog ventila ograničena pravom $Q=rx$



Sl. 12. Nikvistov dijagram za funkciju povratnog prenosa $W_p(s)$,
(parametar $r=12.8$) s donje strane

Zamenom vrednosti dobija se funkcija prenosa transformisanog sistema:

$$W_{tr}(s) = \frac{1.518s^2 + 3.96s + 0.22}{0.0678s^3 + 37.29s^2 + 51.69s + 2.816}. \quad (28)$$

Frekvencijska funkcija prenosa je:

$$W_{tr}(j\omega) = \frac{0.22 - 1.518\omega^2 + 3.96j\omega}{2.816 - 37.29\omega^2 + 51.69j\omega - 0.0678j\omega^3}, \quad (29)$$

$$W_{tr}(j\omega) = \frac{0.22 - 1.518\omega^2 + 3.96j\omega}{2.816 - 37.29\omega^2 + 51.69j\omega - 0.0678j\omega^3}, \quad (30)$$

$$W_{tr}(j\omega) = \frac{3.96j\omega - 1.518\omega^2 + 0.22}{2.816 - 37.29\omega^2 + 51.69j\omega - 0.0678j\omega^3} \frac{2.816 - 37.29\omega^2 - 51.69j\omega + 0.0678j\omega^3}{2.816 - 37.29\omega^2 - 51.69j\omega + 0.0678j\omega^3} \quad (31)$$

$$W_{tr}(j\omega) = \frac{55.4\omega^4 + 192.2\omega^2 + 0.62 - j(69\omega^3 + 0.22\omega)}{(2.816 - 37.29\omega^2)^2 - (51.69\omega - 0.0678\omega^3)^2} \quad (32)$$

Modifikovana frekvencijska funkcija prenosa sistema je:

$$W_{tr}^m(j\omega) = U_m(\omega) + jV_m(\omega) \quad (33)$$

gde su:

$$U_m(\omega) = U(\omega) = \frac{55.4\omega^4 + 192.2\omega^2 + 0.62}{(2.816 - 37.29\omega^2)^2 + (51.69\omega - 0.0678\omega^3)^2} \quad (34)$$

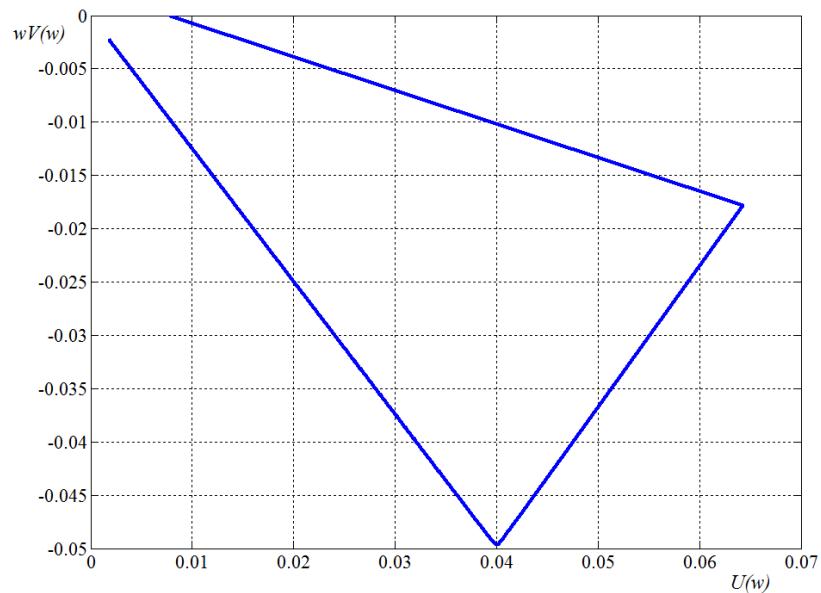
$$V_m(\omega) = \omega V(\omega) = \omega \frac{-69\omega^3 - 0.22\omega}{(2.816 - 37.29\omega^2)^2 + (51.69\omega - 0.0678\omega^3)^2} \quad (35)$$

Program u *Matlabu*, koji služi za crtanje krive Popova:

```
clear all; i=0; k=0;
for w=0:2500
    i=i+1;
    U(i)=(12695*w^6+11385*w^4+680*w^2+1.2)/((0.00000051*w^4-
486*w^2+3.92)^2+(112-403*w^2)*w^2);
    V(i)=w*(-
0.000016*w^7+35*w^5+14.5*w^2+0.4*w)/((0.00000051*w^4-
486*w^2+3.92)^2+(112-403*w^2)*w^2);
    omega(i)=w;
end
plot(U,V);
```

Na slici 13 je prikazana kriva Popova.

Prema kriterijumu *Popova* sistem za baždarenje vodomera je apsolutno stabilan.



Sl. 13. Kriva *Popova*

5. ZAKLJUČAK

U radu je razmatrana stabilnost sistema za baždarenje industrijskih vodomera na osnovu određenog matematičkog modela. U sistemu su uzete u obzir nelinearne karakteristike elektromotornih ventila koji služe za regulaciju protoka vode kroz baždarene vodomere. Sistem je sveden na linearni i nelinearni deo, a njegova apsolutna stabilnost je dokazana metodom *Popova*.

LITERATURA

- [1] S. Stankov, D. Mitić, Z. Jovanović, Projekat upravljanja baždarnicom za industrijske vodomere pomoću PLC i SCADA sistema, Elektronski fakultet u Nišu, 2009., Investitor: JKP "NAISSUS" Niš
- [2] S. Stankov, D. Mitić, Z. Jovanović, Upravljanje baždarnicom za industrijske vodomere pomoću PLC i SCADA sistema, Zbornik

radova Desete međunarodne konferencije Vodovodni i kanalizacioni sistemi, Jahorina, 2010, Pale, Bosna i Hercegovina, maj 20÷22, 2010, Zbornik radova (str. 125÷134), ISBN: 978–86–82931–34–8, 2010.

- [3] Č. Milosavljević, Teorija automatskog upravljanja 2, Linearni i nelinearni kontinualni sistemi automatskog upravljanja, Univerzitet u istočnom Sarajevu, Elektrotehnički fakultet, 2007.

BAKAR 41 (2016) 2 COPPER

UDK: 621.315.6:771.317.9(045)=163.41

ORIGINALNI NAUČNI RAD

Oblast: Elektrotehnika

ISPITIVANJE ELEKTRIČNIH UREDJAJA I INSTALACIJA U DOMAĆINSTVU PRIMENOM TERMOVIZIJSKE KAMERE

TESTING THE ELECTRICAL HOUSEHOLD EQUIPMENT AND INSTALLATIONS USING THE THERMAL IMAGING CAMERA

Olivera Tasić¹, Viša Tasić²

¹Mašinsko-elekrotehnička škola Bor, Zeleni bulevar 24, 19210 Bor

²Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni bulevar 35, 19210 Bor

Izvod

Ovaj rad je nastao sa ciljem da se putem jednostavnih, karakterističnih primera, prikaže mogućnost primene termovizije za ispitivanja toplotnog stanja električnih uređaja i instalacija u domaćinstvu. Termovizija je savremena metoda koja omogućuje merenje infracrvenog zračenja nekog predmeta i kao takva svakako zaslužuje određeni prostor u nastavnim sadržajima koji se bave merenjima u elektrotehnici. Najvažnija primena termovizije je u preventivnom održavanju uređaja i opreme. Njene prednosti u odnosu na druge dijagnostičke metode su, pre svega, tačnost merenja temperature posmatranog objekta, i to što je beskontaktna metoda merenja, tako da ne remeti rad ispitivanog uređaja ili instalacije. Termovizijska merenja objekata prikazanih u radu vršena su kamerom FLIR E40, pomoći koje su generisani i termogrami - slike temperaturne raspodele na površini posmatranih objekata. Svrha preventivnih termovizijskih pregleda je upoređivanje termograma posmatranog uređaja sa termogramom ispravnog uređaja. Ukoliko se proverom uoče neprihvatljive razlike između ovih termograma preduzimaju se odgovarajuće mere preventivog održavanja.

Ključne reči: termovizija, termogram, temperatura, infracrveno zračenje, održavanje

Abstract

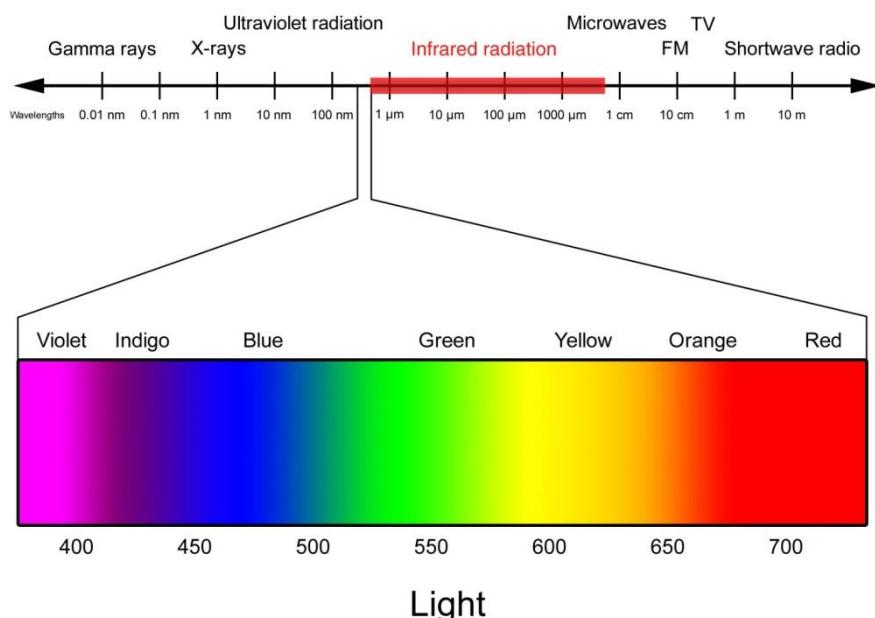
This work was made with the aim of using simple and typical examples to demonstrate the potential applications of thermal imaging to test the electrical equipment and installations in the household. Thermography is a modern method that enables measurement the emission of infrared rays of an object and as such deserves a particular space in courses dealing with the measurements in electrical engineering. The most important application of thermal imaging is in the preventive maintenance of tools and equipment. Its advantages over the other diagnostic methods are primarily temperature measurement accuracy and that, as a contactless method of measurement, does not disturb the operation of test device or installation. Thermal measurements of objects, presented in this paper, were carried out with the Flir E40 thermal imaging camera. The camera generates thermograms - pictures of temperature distribution on the surface of observed object. The purpose of preventive thermal imaging examination is to compare the current thermogram with correct device. If the irregularities are observed in thermogram, the appropriate measures of preventive maintenance should be taken.

Keywords: thermal imaging, thermogram, temperature, infrared radiation, maintenance

1. UVOD

1.1. Šta je termovizija?

Svi objekti emituju infracrveno zračenje. Termovizija predstavlja snimanje infracrvenog zračenja posmatranog objekata. Infracrveno zračenje ili infracrvena svetlost je elektromagnetno zračenje sa talasnim dužinama većim od talasne dužine vidljive crvene svetlosti, a manjim od talasne dužine radiotalasa [1]. To je raspon talasnih dužina od približno 750 nm do 3 mm, kao što je prikazano na slici 1. Merenje intenziteta infracrvenog zračenja našlo je primenu u različitim oblastima industrije i medicine. Termovizijske kamere (infracrvene kamere), u stanju su da registruju minimalne razlike u temperaturi na površini posmatranog objekta i da ih pretvore u termalnu sliku objekta, na kojoj se mogu uočiti i najsitniji detalji [2].



Sl. 1. Spektar elektromagnetskog zračenja

Prve termovizijske kamere razvijene su u Švedskoj 1958. godine od strane kompanije koja se zvala AGA, danas poznate kao FLIR Systems. Kamera sa nehladijenim detektorom - mikrobolometrom napravljena je 1997. Ovakav detektor nema pokretne delove i manje je podložan mehaničkim oštećenjima [2].

1.2. Primena termovizije u dijagnostici ispravnosti električnih aparata i instalacija

Neispravne električne instalacije u domaćinstvu mogu da prouzrokuju veliku materijalnu štetu. Najčešći razlozi za neispravnost električnih instalacija su neispravna ili neadekvatna zaštita provodnika što može da izazove pregrevanje provodnika i da se stvore uslovi za požar. Kvarove na instalacijama mogu da izazovu i neispravni priključci, utičnice ili utikači. Na takvim, neispravnim, spojevima javlja se povećani prelazni otpor između provodnika, što opet dovodi do pregrevanja spojeva i stvaranja uslova za požar.

Većina električnih uređaja koje koristimo u domaćinstvima (šporeti, veš mašine, zamrzivači, frižideri, bojleri, grejalice, klima uređaji, računari, TV prijemnici) pri normalnom radu odaju određenu količinu toplice. Kada se pojavi problem u radu ovih uređaja najčešće dolazi i do promene temperaturnog fluksa uređaja. Uporedjivanjem termograma ispravnog uređaja sa termogramom ispitivanog uređaja moguće je ustanoviti uzrok i stepen neispravnosti i na taj način sprečiti potpuni otkaz uređaja pravovremenim preuzimanjem preventivnih mera održavanja.

U ovom radu biće prikazani neki karakteristični primeri primene termovizije u preventivnom održavanju električne instalacije i uređaja koji se koriste u našim domaćinstvima.

2. MATERIJAL I METOD RADA

Termovizijska ispitivanja objekata prikazanih u radu vršena su u unutrašnjem prostoru na sobnoj temperaturi pomoću termovizijske kamere FLIR E40 prikazane na slici 2 [3]. Ova kamera je namenjena za svakodnevno preventivno održavanje industrijskih objekata. Njene osnovne tehničke karakteristike su: masa kamere E40 825 g, mogućnost istovremenog prikaza (IR) termograma i slike u formi "Picture in Picture", IR detektor 160 x 120 (19 200 tačaka), temperaturna osetljivost detektora $<0.07^{\circ}\text{C}$, ugao posmatranja $25^{\circ} \times 19^{\circ}$, ugrađena digitalna kamera 3.1M piksela, LCD touch displej 320×240 tačaka, opseg merenja temperature od -20°C do $+650^{\circ}\text{C}$, tačnost merenja temperature $\pm 2^{\circ}\text{C}$, ručno podešiv fokus, laserski marker, 2 x digitalno uvećanje, i video izlaz (MPEG4). Treba napomenuti da je cena ove temovizijske kamere oko 4000 evra, mada se na tržištu mogu pronaći i termovizijske kamere skromnijih karakteristika (istog proizvođača) čija je cena oko 1000 evra [3]. O primeni termovizije u različitim granama industrije postoje brojni radovi u dostupnoj literaturi [4-7]. Primeni termovizije u dijagnostici ispravnosti aparata za domaćinstvo posvećivano je manje pažnje. Možda je glavni uzrok tome bila, do skora, visoka cena termovizijskih kamera. Ovaj rad ima za cilj da prikaže primenu termovizije u dijagnostici aparata koje svakodnevno koristimo u domaćinstvu.

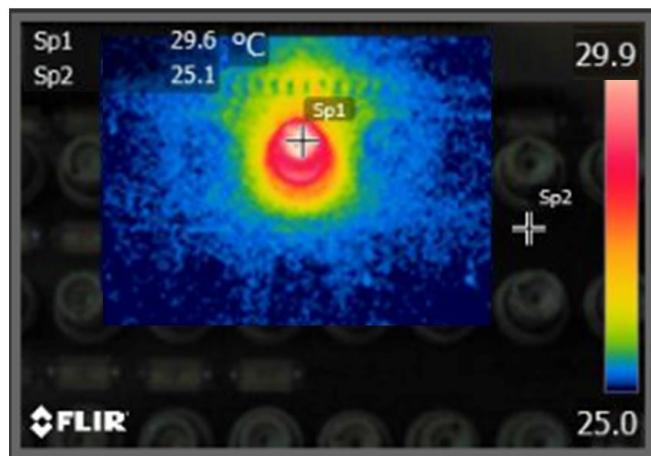


Sl. 2. Termovizjnska kamera FLIR E40 [3]

3. REZULTATI ISPITIVANJA I DISKUSIJA

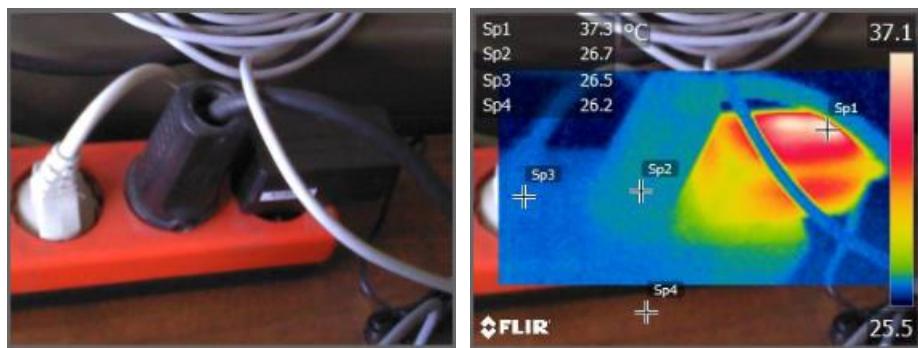
3.1. Provera temperaturnog fluksa električnih instalacija

U svakom domaćinstvu postoje razvodni ormani sa zaštitnim elementima - osiguračima kojima se štite delovi električne instalacije od preopterećenja. Termovizijskim pregledom mogu se ustanoviti razlike u temperaturi zaštitnih elemenata kao što je prikazano na slici 3.



Sl. 3. Termogram razvodnog ormana sa osiguračima

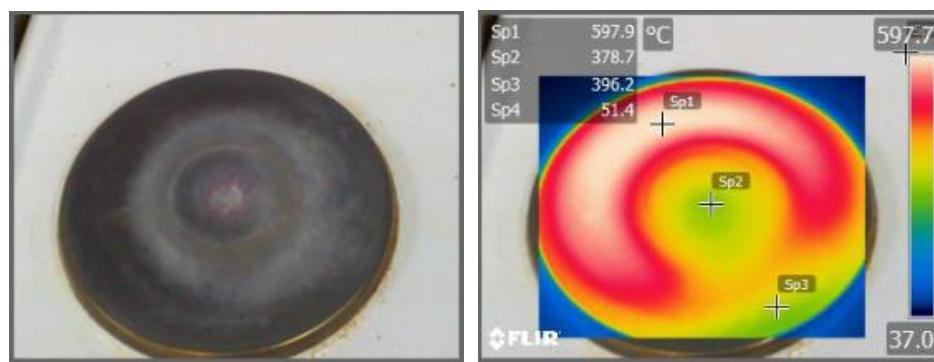
Zaštitni elementi sa povišenim temperaturama se dalje mogu proveriti da bi se ustanovio i otklonio uzrok njihovog zagrevanja. Na sličan način, termovizijskim pregledom utikača i utičnica mogu se ustanoviti mesta sa povećanim prelaznim otporom na spojevima provodnika. Na slici 4. prikazan je termogram produžnog kabla sa priključenim utičnicama tri uređaja. Termogram pokazuje da se ovi priključci ne greju u odnosu na temperaturu okolnog prostora. Neznatno je povećana temperatura na kućištu ispravljača ADSL modema koji je priključen na poslednjoj utičnici desno.



Sl. 4. Termogram produžnog kabla

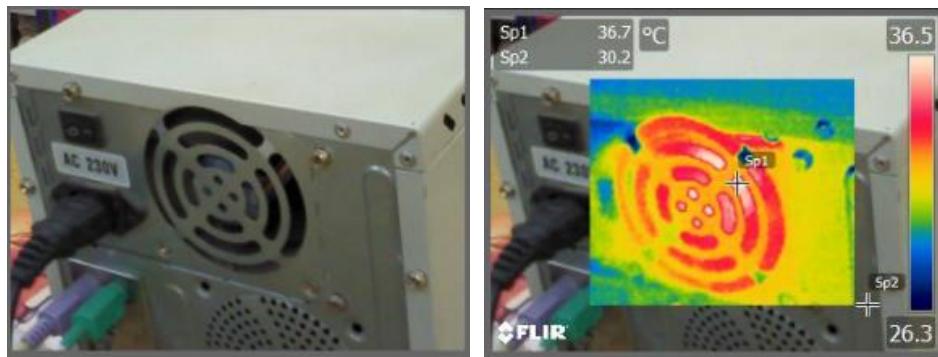
3.2. Provera temperaturnog fluksa električnih uređaja u domaćinstvu

Termogrami električnih uređaja mogu da budu od velike korisnosti za njihovo preventivno održavanje. Na slici 5. prikazan je termogram grejnog tela (ringla) električnog šporeta koji jasno pokazuje da je zagrevanje ove grejne ploče neravnomerno. Razlika u temperaturi je takva da je potrebno zameniti ovo grejno telo.

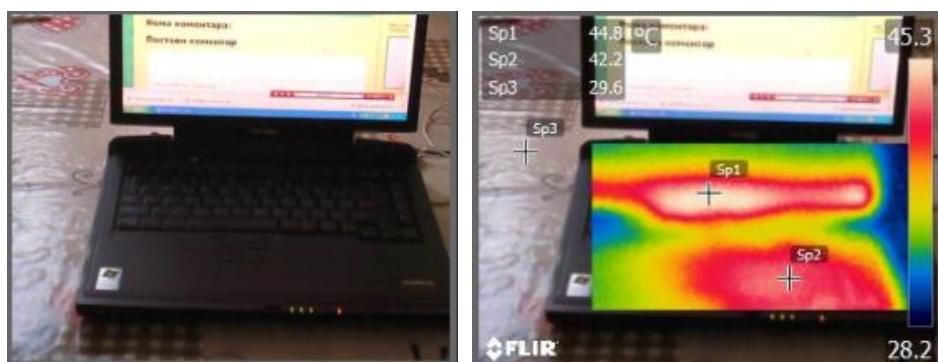


Sl. 5. Termogram grejnog ploče električnog šporeta u radu

Na slici 6. prikazan je termogram napajanja PC računara, na slici 7. termogram matične ploče laptop računara, na slici 8. termogram bojlera, a na slici 9. termogram kompresora frižidera. Svi ovi termogrami prikazuju temperaturne flukseve ispravnih uređaja u radu. Na osnovu ovakvih termograma, kao referenčnih, moguće je pratiti odstupanje temperaturnog fluksa i na osnovu uočenih promena doneti zaključke o stanju uređaja u toku njihove eksploracije. Navedeni primeri govore o tome da termovizija može biti od velike koristi i serviserima u dijagnostici ispravnosti rada: rashladnih uređaja, bele tehnike, računara i drugih aparata široke potrošnje koje poseduje skoro svako domaćinstvo.



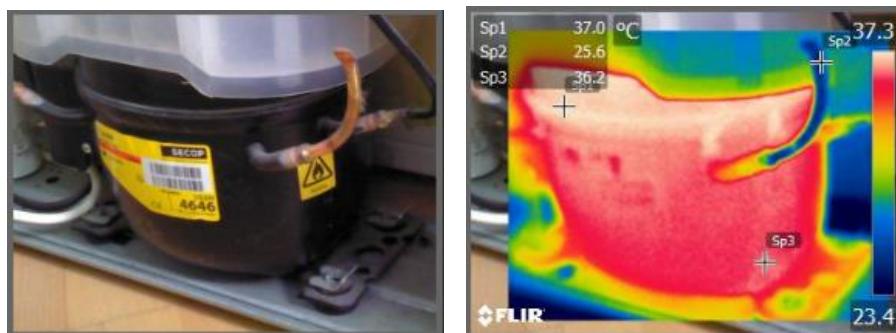
Sl. 6. Termogram ispravne napojne jedinice PC računara u radu



Sl. 7. Termogram ispravnog laptop računara u radu



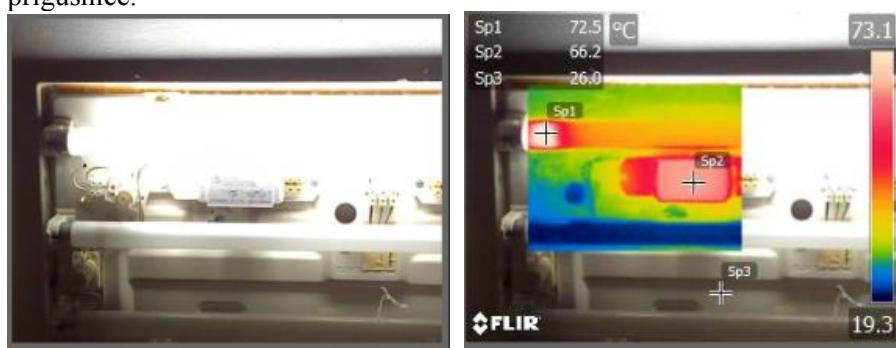
Sl. 8. Termogram ispravnog bojlera u radu



Sl. 9. Termogram ispravnog kompresora frižidera u radu

3.3. Provera temperaturnog fluksa prigušnica za neonsko osvetljenje

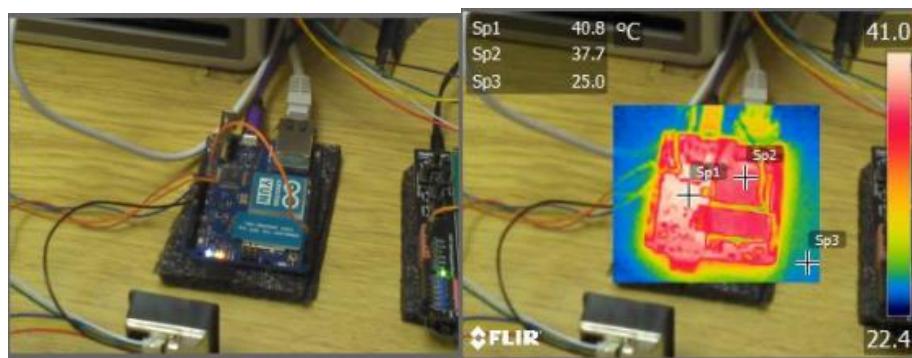
Neispravne prigušnice za neonsko osvetljenje, pored buke koju mogu da proizvode, usled pregrevanja/pregorevanja mogu izazvati kvarove električne instalacije. Na slici 10. prikazan je termogram jedne ispravne neonske cevi i prigušnice.



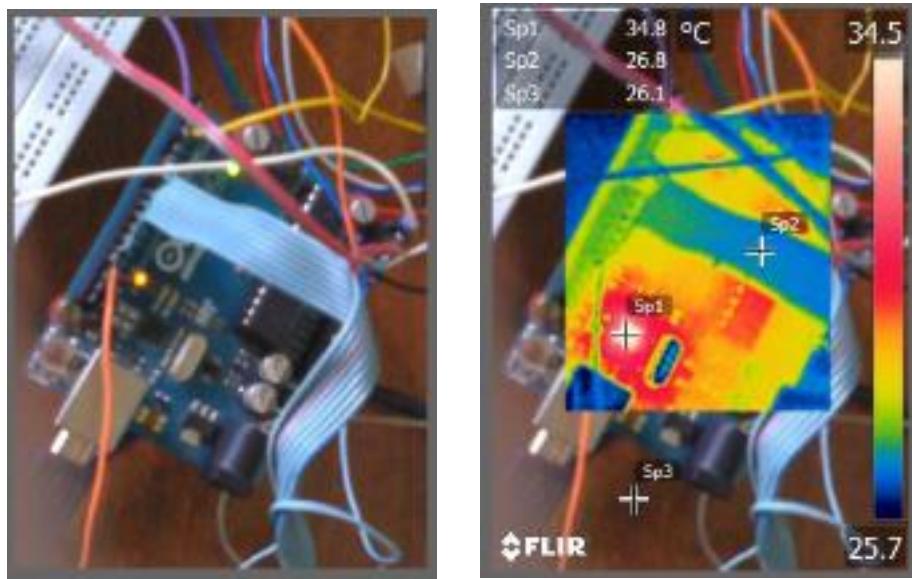
Sl. 10. Termogram ispravne neonske cevi i prigušnice u radu

3.4. Provera temperaturnog fluksa elektronskih modula

Termovizija se može koristiti i za dijagnostiku ispravnosti elektronskih uređaja i modula, za pronalaženje vrućih tačaka i/ili hladnih spojeva. Na slika 11. i 12. prikazani su termograma elektronskih sklopova na kojima se mogu uočiti oblasti sa temperaturom koja je viša u odnosu na ostatak modula - takozvane vruće tačke.



Sl. 11. Termogram elektronskog mogula u radu



Sl. 12. Termogram elektronskog mogula u radu

4. ZAKLJUČAK

Primeni termovizije u dijagnostici ispravnosti aparata za domaćinstvo posvećivano je manje pažnje u dostupnoj literaturi u odnosu na njenu primenu u industriji. Možda je glavni razlog tome bila visoka cena termovizijskih kamera. Sada, kada je cena termovizijske kamere skromnijih mogućnosti oko 1000 evra stvara se prostor primene ovih kamera i na servisiranje aparata za domaćinstvo. Termovizija je savremena metoda koja omogućuje merenje infracrvenog zračenja nekog predmeta i kao takva svakako zaslužuje određeni prostor i u nastavnim sadržajima iz oblasti merenja u elektrotehnici. Ovaj rad ima za cilj da prikaže primenu termovizije u dijagnostici uređaja koje svakodnevno koristimo. Prednosti termovizije u odnosu na druge dijagnostičke metode su, tačnost merenja temperaturnog fluksa objekata i to što je beskontaktna metoda merenja pa iz tog razloga ne remeti rad ispitivanog uređaja ili instalacije.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je proistekao iz projekta br. TR33037: "Razvoj i primena distribuiranog sistema nadzora i upravljanja potrošnjom električne energije kod velikih potrošača," koji je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Liew, S. C.. "Electromagnetic Waves". Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing.
<http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/em.htm> (pristupljeno 28.10.2016)
- [2] <http://www.terminalnekamere.rs/osnovi-termovizije-termografija> (pristupljeno 28.10.2016)
- [3] <http://www.flir.com/home/> (pristupljeno 28.10.2016)
- [4] Adamović Ž., Ilić B., Savić B., Jevtić M.: Termografija pouzdana dijagnostička metoda, Monografija, Izdavač: Pan Book, ISBN 978-86-88781-00-8, Novi Sad, str. 1-221, 2011.
- [5] Stojanović Ž., Topličević M., Ristić S.: Primena termografije u dijagnostici toplotnih stanja mašinskih sistema, Tehnička dijagnostika, vol. 10, br. 4, str. 19-26, 2011.

- [6] Tasić V., Pavlov-Kagadejev M., Miljković V., Jovanović D., Stamenković Lj.: Application of Thermal Imaging for Preventive Maintenance in the Electrolytic Refining Plant, Proceedings of the 48th International October Conference on Mining and Metallurgy, 28.09.-01.10.2016, Hotel Albo, Bor, Serbia, pp. 112-115.
- [7] Miljković V., Pavlov-Kagadejev M., Radivojević A., Tasić V., Miljković V., Analysis of Thermal Losses on Electrolytic Bath Joints in Electrolytic Refinery, Proceedings of the 48th International October Conference on Mining and Metallurgy, 28.09.-01.10.2016, Hotel Albo, Bor, Serbia pp. 108-111.

BAKAR 41 (2016) 2 COPPER

UDK: 351.817(045)=163.41

STRUČNI RAD

Oblast: Elektronika - telekomunikacija

KVALITET SERVISA LOKALNIH BEŽIČNIH MREŽA QUALITY OF SERVICE OF THE LOCAL WIRELESS NETWORKS

Milan Radivojević

Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor

Izvod

Danas se, pored intenzivnog razvoja i implementacije novih servisa u oblasti bežičnih komunikacija, posebna pažnja sve više posvećuje njihovom kvalitetu (Quality of Service-QoS). Bežična komunikacija, u osnovi, podrazumeva da se radi o komunikaciji između pojedinih delova (elemenata ili čvorova) nekog sistema koji se obično naziva mreža. Ako se komunikacija između delova sistema ostvaruje bez upotrebe fizičkih vodova (žice, kablovi i drugo), onda se takav sistem naziva bežična, ili wireless mreža. Komunikacija u osnovi podrazumeva prenos informacija i podataka između čvorova jednog sistema i/ili između čvorova koji pripadaju različitim sistemima. Pri tome nam je osnovni cilj da preneta informacija, koja je stigla na odredište, bude identična izvornoj. Međutim u praksi to nikad nije slučaj. Postoji veliki broj faktora koji, na putu od izvora do odredišta, utiču na prenos informacija i podataka i koji su neposredan uzrok njihovih oštećenja, izobličenja, gubitaka i drugo. Rešavanje određenih problema i implementacija takvih rešenja koja omogućavaju da primljene informacije budu što sličnije po obliku i sadržini izvormim, su osnovni sadržaji i ciljevi QoS-a.

Ključne reči: Telekomunikacije, bežična mreža, kvalitet servisa, podaci, QoS, jitter

Abstract

Today, in addition to intensive development and implementation of the new services in the field of wireless communications, a special attention is increasingly paid to their quality (Quality of Service-QoS). Wireless communication, basically, means that it is a communication between the individual components (elements or nodes) of some system which is commonly called the network. If communication between the parts of system is realized without the use of physical wires (wires, cables, etc.), then such a system is called a wireless network. Communication basically involves the transmission of information and data between the nodes of a system and/or between the nodes belonging to different systems. In doing so, the main goal is that the transferred information, which arrived to their destination, to be identical to the original one. However, in practice, this is never the case. There are number of factors that, on the way from source to destination, affect the transmission of information and data and that are the immediate cause of their damage, distortion, loss and others. Solving the specific problems and implementation of such solutions enabling the received information to be as similar as possible in a form and content of the original, are the basic contents and aims of QoS.

Keywords: telecommunications, wireless network, quality of service, data, QoS, jitter

UVOD

Bežične komunikacije su, bez sumnje, jedan od većih ostvarenih uspeha tokom zadnje tri decenije. Postignuti rezultati na polju bežičnih komunikacija su izuzetno važni za dalja naučna istraživanja u ovoj oblasti, kao i za sadašnju i buduću delatnost ljudi koja se danas, prosto rečeno, ne može zamisliti bez korišćenja usluga, odnosno servisa koje omogućavaju bežične mreže. Zbog toga se danas, pored razvoja i implementacije novih servisa u oblasti bežičnih komunikacija, posebna pažnja posvećuje njihovom kvalitetu (*Quality of Service-QoS*). Inače, kada je reč o bežičnim komunikacijama, pod tim pojmom podrazumeva se komunikacija između pojedinih delova (elemenata ili čvorova) nekog sistema koji se obično naziva mreža. Ako se komunikacija između delova sistema ostvaruje bez upotrebe fizičkih vodova (žice, kablovi i drugo), onda se takav sistem naziva bežična, ili *wireless* mreža.

Budući da komunikacija u osnovi predstavlja prenos informacija i podataka od izvora do odredišta (između čvorova mreže), jasno je da nam je pri tome osnovni cilj da preneta informacija, koja je stigla na odredište, bude identična izvornoj. Međutim u praksi to nikad nije slučaj. Postoji veliki broj faktora koji, na putu od izvora do odredišta, utiču na prenos informacija i podataka i koji su neposredan uzrok njihovih oštećenja, izobličenja, gubitaka i drugo. Rešavanje određenih problema i implementacija takvih rešenja koja omogućavaju da primljene informacije budu što sličnije po obliku i sadržini izvornim, su osnovni sadržaji i ciljevi QoS-a. Kvalitet servisa je posebno značajan kada se radi bežičnim komunikacijama, jer se one u znatnoj meri razlikuju od mreža u kojima se prenos vrši optičkim ili žičanim putem.

1. LOKALNA BEŽIČNA MREŽA

Lokalna bežična mreža ili Wi-Fi, (*Wireless-Fidelity* ili *WLAN-Wireless Local Area Network*) je bežična mreža gde se podaci imedu dva ili više računara prenose pomoću radio frekvencija (RF) i odgovarajućih antena. Nastala kao rezultat rada na prevazilaženju problema kabliranja u lokalnim računarskim mrežama. To je tehnologija bazirana na IEEE 802.11 standardu koji je objavljen 1997. godine. Standard je utvrdio mogućnost rada lokalnih bežičnih mreža u dva režima i to: sa baznim stanicama i bez baznih stanica (*ad hoc* režim rada). Radiokomunikacija kod WLAN-ova se obavlja u tzv. ISM (*Industrial, Scientific & Medical*) opsegu frekvencija koji je svuda u svetu prihvaćen kao opseg za čije korišćenje nije potrebna licenca (*nelicencirani spektar*). Domet mreže je do 150 m unutar objekta, i do 300m na otvorenom. ISM čine tri opsega frekvencija: 902 - 928 MHz, 2.400 – 2.4835 GHz i 5.728 – 5.750 GHz. Od njih se, u ovom trenutku, najčešće koristi opseg 2.4 - 2.48 GHz.

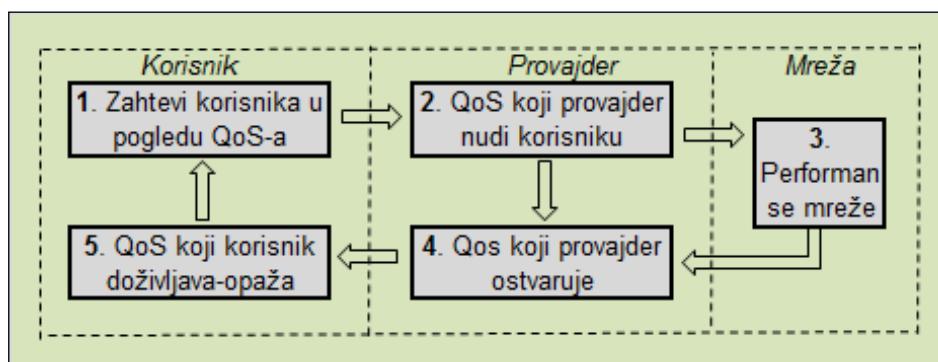
Wi-Fi tehnologija obezbeđuje realizaciju većeg broja servisa (usluga) od kojih je najznačajniji servis koji omogučava *pristup Wi-Fi uređaja internetu*. Uslov je da ti uređaji budu u domenu bežične mreže. Kada se uređaj poveže na internet, onda je vlasniku tog uređaja omogućeno korišćenje velikog broja usluga (od file transvera, e-mail, pretraživanja web stranica i drugo) koje pruža internet. Na taj način navedeni servisi postaju dostupni korisnicima koji se nalaze u privatnim kućama, poslovnim zgradama, gradskim parkovima ili na nekim drugim mestima na kojima postoje pristupne tačke. Organizacije poput aerodroma, hotela i restorana često obezbeđuju „vruće“ (pristupne) tačke kako bi privukle što veći broj korisnika. Pristupne tačke, odnosno Wi-Fi uređaji koji su u njima ugrađeni najčešće su smešteni u zgradama, ili posebnim antenama (gradski parkovi) i obezbeđuju internet pristup i međusobnu komunikaciju svih uređaja povezanih (bilo kablovski bilo bežično) sa pristupnom tačkom.

2. KVALITET SERVISA

Kvalitet servisa (QoS) je jedan od ključnih i nezaobilaznih faktora razvoja telekomunikacione industrije. Da bi zadržala trend brzog razvoja i jedne od naj-profitabilnije grane privrede, telekomunikaciona industrija se sve više bazira na prilagođavanju zahtevima korisnika usluga, odnosno odgovarajućih servisa. Kako se broj servisa u oblasti bežičnog prenosa podataka vremenom stalno povećava a zahtevi korisnika postaju sve suptilniji, neminovno se nameće potreba da je za ubrzani razvoj komunikacionih tehnologija veoma važno uvođenje koncepta kvaliteta usluga. Za ove potrebe do danas su razvijeni razni mehanizmi koji utvrđuju i obezbeđuju određene *parametre kvaliteta servisa* i koji se mogu primenjivati u različitim tehnologijama. Mehanizmi za realizaciju QoS-a zavise od korišćene tehnologije u odgovarajućoj bežičnoj mreži i servisa (aplikacije, usluge) koje mreža obezbeđuje, pa je za izbor mehanizama implementacije QoS-a neophodno poznavati njihove karakteristike. Ali pre nego što detaljnije budemo razmotrili ovu problematiku, neophodno je da odgovorimo na pitanje: šta se podrazumeva pod pojmom *kvalitet servisa*? Postoje više različitih odgovora, odnosno definicija. Mnogi kažu da je kvalitet servisa skup karakteristika proizvoda ili servisa koji će zadovoljiti navedene ili specificirane potrebe. Međunarodna unija za telekomunikacije (ITU- *International Telecommunication Union*), u prepuruci E.800 (odobrena 2009.godine) definiše *kvalitet servisa kao združeni efekat performansi servisa koje određuju stepen zadovoljstva korisnika toga servisa*. Ova definicija ponovljena je u prepuruci I.350, koja se odnosi na digitalne telekomunikacione mreže integrisanih servisa. Pored kvaliteta servisa, koji je korisnički orijentisan, u ovim preporukama se govori i o performansama mreže, koje predstavljaju sposobnost mreže ili njenog dela da obezbedi funkcije povezane sa komuniciranjem među korisnicima¹¹¹. Očigledno je da ovakva definicija kvaliteta servisa nije operativna „tehnička“ definicija, u

kojoj bi se govorilo o objektivnim kategorijama, jasno određenim i jednoznačno merljivim parametrima kojima se izražava kvalitet servisa. Umesto toga, figure pojam „stepen zadovoljstva korisnika“ kao izrazito subjektivna kategorija, što još više, budući da različiti korisnici na različite načine, odnosno sa različitim stepenom doživljavaju kvalitet određene usluge, doprinosi neodređenosti same definicije kvaliteta usluge. Druge definicije kvalitet neposredno povezuju sa karakteristikama određenog proizvoda, što znači da se može govoriti o kvalitetu ako se ove karakteristike mogu izmeriti. Postoji čak i veoma jednostavna definicija: kvalitet servisa je usklađenost sa zahtevima korisnika usluga. Mnogi proizvođači opreme iskoristili su ovu šarolikost u definiciji kvaliteta servisa da bi istakli „svoje“ definicije. U raznim dokumentima manje ili više propagandnog karaktera, koji implicitno imaju za cilj ubedivanje stručne javnosti da se samo uz opremu tog i njednog drugog proizvođača mogu implementirati funkcionalnosti kvaliteta servisa, mogu se pronaći tvrdnje da kvalitet servisa predstavlja sposobnost mreže da obezbedi bolji servis za zadato saobraćajno opterećenje, ili da je kvalitet servisa sposobnost elementa mreže da pruži određeni nivo garancija u pogledu konzistentnog prenosa podataka.

Ne ulazeći u to koja je od ovih definicija najprihvatljivija, mi ćemo ovde istaći da kada se govor o kvalitetu servisa (QoS), mora se imati u vidu da se kvalitet može posmatrati sa aspekta *korisnika* i aspekta *provajdera*, odnosno subjekta koji obezbeđuje servise. Njihovi uzajamni odnosi i veza sa performansama mreže šematski su prikazani na slici 1. Naime, sa aspekta korisnika kvalitet servisa definisan je *atributima* (karakteristikama) koji se smatraju neophodnim u njihovom korišćenju, dok je sa strane provajdera kvalitet definisan *parametrima* koji omogućavaju realizaciju poslova od izvora do odredišta, pri čemu realizacija mora odražavati zahteve korisnika usluga.



Sl. 1. Aspekti kvaliteta servisa i njihov odnos sa performansama mreže

1. *Zahtevi korisnika u pogledu kvaliteta servisa označavaju nivo kvaliteta koji se traži od određenog servisa.* Po pravilu se iskazuju običnim, netehničkim rečnikom, koji ne zavisi od načina na koji se servis nudi ili unutrašnje strukture mreže, već samo od rezultujućeg kvaliteta s kraja na kraj.

2. *Kvalitet servisa koji provajder nudi korisniku* predstavlja izjavu o nivou kvaliteta koji provajder očekuje da će ponuditi korisniku servisa. Nivo kvaliteta se iskazuje kroz vrednosti parametara kvaliteta servisa, pri čemu svaki servis ima svoj skup parametara.

3. *Performanse mreže* proizvođač usklađuje sa zahtevima provajdera.

4. *Kvalitet servisa koji provajder ostvaruje* predstavlja izjavu o nivou kvaliteta koji provajder zaista postiže i isporučuje korisniku servisa. Iskazuje se kroz vrednosti parametara koji su posmatrani u slučaju kvaliteta koji se nudi, pa je tako moguće uporediti očekivani i ostvareni kvalitet servisa. Odnos očekivanog i ostvarenog kvaliteta između ostalog zavisi i od performanse mreže.

5. *Kvalitet servisa koji korisnik doživljava* predstavlja izjavu o nivou kvaliteta koji korisnik veruje da doživljava. Ne izražava se tehničkim rečnikom, već stepenima (subjektivnog) zadovoljstva, na primer kroz popunjavanje upitnika. U idealnom slučaju, trebalo bi da postoji jednoznačna korespondencija ostvarenog i dožiljavanog (percipiranog) kvaliteta.

Ostvarivanje ciljeva kvaliteta servisa u bežičnim mrežama je u velikoj meri ograničeno resursima mreže, međusobnim uticajima čvorova, raznim kašnjenjima u prenosu podataka, pokretljivošću uređaja i različitim topologijama mreža. Ipak, nama je i u takvim uslovima neophodno da se, pri korišćenju bežičnih mreža, ostvaruju što bolje i kvalitetnije usluge. S toga se može reći da je QoS skup mehanizama koji omogućavaju bežičnim mrežama ostvarivanje boljih servisa u okviru izabranog mrežnog saobraćaja preko različitih osnovnih tehnologija. Skupovi mehanizama po pravilu su uboličeni u obliku posebnih algoritama i protokola i čine osnovu procesa upravljanja bežičnim mrežama. Kao skup posebnih mehanizama QoS omogućava poboljšane i predvidljivije mrežne servise pružanjem sledećih usluga:

- Rezervisana propusnost (brzinu prenosa – *bandwidth*),
- Poboljšanje u pogledu osobine gubitka paketa (smanjenje gubitaka),
- Upravljanje i izbegavanje zagušenja,
- Oblikovanje saobraćaja i
- Prioritiziranja saobraćaja

Imajući u vidu činjenicu da prosečan korisnik telekomunikacionih servisa nije tehnički obrazovan i da nije upućen i/ili ne želi da bude upućen u detalje vezane za isporučivanje servisa, postavlja se pitanje na koji se način njegovi uopšteni zahtevi u pogledu kvaliteta mogu preslikati u konkretne *tehničke parametre kvaliteta* koji provajder nudi (*sistemski kvalitet*). Odgovor na ovo pitanje pruža preporuka G.1010 organizacije ITU, u kojoj se identifikuju ključni

faktori koji utiču na kvalitet servisa koji korisnik zahteva. To su: *gubljenje paketa (infomacija ili podataka), vreme kašnjenja paketa (podataka) od izvora do odredišta i varijacije kašnjenja (jitter)*. Obezbeđivanjem odgovarajućih vrednosti ovih karakteristika (parametara) posredstvom posebnih mehanizama čija sadržina zavisi od vrste bežičnih mreža, njihove topologije, prirode aplikacije koja se trenutno realizuje u mreži i ostalih resursa mreže, obezbeđuje se pružanje navedenih usluga koje može omogućiti QoS. Skupovi mehanizama po pravilu su uobičajeni u obliku posebnih algoritama i protokola i čine osnovu procesa upravljanja bežičnim mrežama. Brzina prenosa podataka nije eksplicitno naznačena kao jedna od osnovnih karakteristika za definisanje QoS jer je ona posredno uvedena preko vremena kašnjenja. Naime, neodgovarajuća brzina prenosa doveća bi do povećanja vremena kašnjenja paketa jer bi pri tome paketi više vremena provodili u redovima čekanja (baferima) mrežnih uređaja.

2.1. Gubljenje paketa

Gubitak paketa definiše se kao procenat gubitaka paketa koji ne stignu na odredište. Gubitak paketa nastaje usled grešaka u mreži, oštećenih paketa ili najčešće zbog zagušenja mreže. U dobro optimizovanim mrežama neki paketi se namerno uključuju od strane mrežnih uređaja da ne bi došlo do zagušenja. Za mnoge bežične mreže zasnovane na TCP/IP sabraćajnim tokovima, kao što su servisi vezani za udaljeno štampanje ili udaljeni pristup datotekama, nije potrebno insistirati na malom procentu gubitaka paketa, jer će TCP/IP mehanizam procesom retransmisije obezbediti stizanje (kad-tad) paketa do odredišta. Kod UDP saobraćaja koji se koristi za real time aplikacije retransmisija nije ostvarljiva pa se gubitak teže toleriše. Kao orijentaciono pravilo, mreža sa visokom raspoloživošću potrebno je da ima manje od jednog procenta gubitaka paketa.

2.2. Vreme kašnjenja paketa

Kašnjenje se definiše kao vreme koje je potrebno da paket doputuje od izvorišta do odredišta. Postoje dve kategorije kašnjenja:

- fiksno kašnjenje-uključuje vremenske intervale potrebne za serijalizaciju, kodovanje i dekodovanje i propagaciona kašnjenja i
- promenljivo kašnjenje-najčešće je posledica zagušenja i uključuje pre svega vreme koje paketi provode u mrežnim baferima dok čekaju na pristup prenosnom medijumu.

Najveće probleme kašnjenje pravi u dvosmernim govornim komunikacijama gde ono prouzrukuje istovremeni govor oba učesnika. Pravilno projektovane mreže bi trebalo da imaju kašnjenje manje od 150ms za žične zemaljske komunikacije i 250-300ms za satelitske komunikacije.

2.3. Varijacije kašnjenja

Varijacije kašnjenja ili jitter, u tehničkim uslovima, su razlike u vremenima kašnjenja odgovarajućih paketa u procesu njihovog prenosa. Uzroci jitter-a su elektromagnetske smetnje, crosstalk (pojava koja je uzrokovana postojanjem nepoželjne induktivnosti, provodnosti ili kapacitivnosti između dva kola, ili kanala, koji mogu izazvati promenu oblika signala pri negovom prolasku iz jednog u drugo kolo) i drugi. Jitter može izazvati da ekran monitora treperi, zatim utiče na rad procesora u personalnom računaru, uvodi krckanje ili druge neželjene efekte u audio signale, kao i gubitak poslatih podataka između mrežnih uređaja. Iznos dozvoljenih podrhtavanja umnogome zavisi od aplikacije. Kod govornih aplikacija jitter ne sme da bude veći od 30ms, a kod video aplikacija visok jitter može dovesti do gubitka kvaliteta slike i video signala.

Bez obzira što smo na više mesta istakli, naglasićemo još jednom da različite aplikacije i tipovi saobraćaja imaju različite QoS zahteve u pogledu količine gubitaka paketa, vremena kašnjenja i jittera koji se mogu tolerisati. Prepoznavanje ovih razlika je ključni element u projektovanju i konfigurisanju mreže koja isporučuje odgovarajući QoS.

2.4. Arhitektura kvaliteta servisa i mehanizmi za realizaciju QoS-a

Obezbeđivanje odgovarajućeg nivoa kvaliteta servisa je proces implementacije skupa mehanizama (u određenim delovima mreže, terminalima, ruterima i drugim segmentima) koji su razumljivi mrežnim elementima i koji omogućavaju ostvarivanje zahtevanih vrednosti osnovnih parametara QoS-a. Kako su i gde ovi mehanizmi raspoređeni, šta je njihova konkretna uloga i čitav niz drugih elemenata relevantnih za njihovu implementaciju opisani su u literaturi kao različiti tipovi arhitekture kvaliteta servisa. Međutim, većina opisanih arhitektura, kada je reč u njihovoj implementaciji, još uvek u je okvirima laboratorijskih modela. Da bi se prevazišla ova različitost u shvatanjima i definisanju arhitekture kvaliteta servisa, ITU organizacija formirala je posebnu radnu grupu sa zadatkom da predloži koncept arhitekture kvaliteta servisa u paketskim mrežama, sa naglaskom na mrežama na bazi internet-protokola. Rezultati rada ove grupe prezentirani su u preporuci ITU-T Y.1921 (odobrena 2004. godine). Saglasno ovoj preporuci, skup mehanizama, koji obezbeđuju odgovarajuće vrednosti osnovnih parametara QoS-a, mogu se grupisati u tri celine i to:

- *kontrolna ravan*, celina sadrži mehanizme koji se odnose na putanje saobraćaja korisničkih podataka, odnosno upravljanje putevima prenosa podataka,

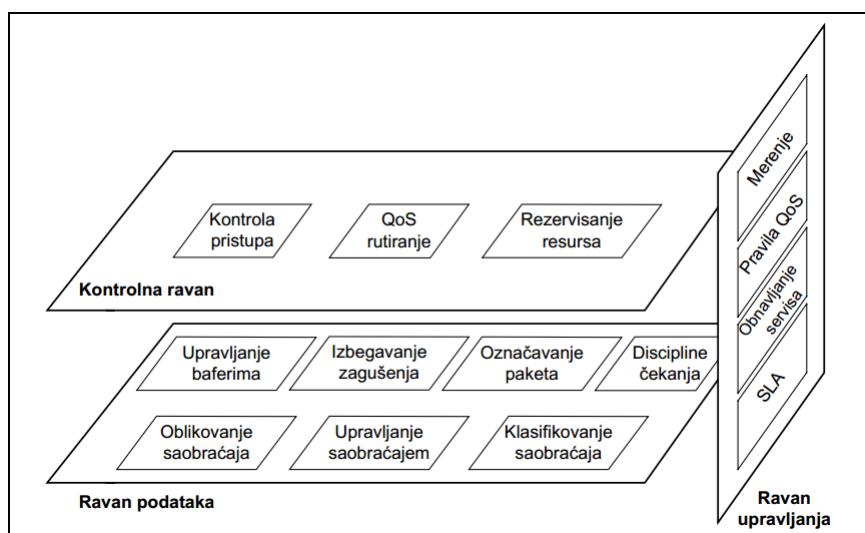
- *ravan podataka*, celina sadrži mehanizme koji se neposredno primenjuju na saobraćaj korisničkih podataka i

- *ravan upravljanja*, celina sadrži mehanizme koji se odnose na postupanje, administriranje i upravljanje aspektima saobraćaja korisničkih podataka, kao što su merenje, primena pravila održavanja kvaliteta servisa, obnavljanje servisa u slučaju ispada i postizanje dogovora o nivou servisa (*SLA-Service Level Agreement*). Na slici 2. šematski je prikazana arhitektura kvaliteta servisa.

2.4.1. Kontrolna ravan

Kontrolna ravan je skup mehanizama koji su odgovorni za konfigurisanje mrežnih čvorova, odnosno definisanje procedura koje se koriste u čvorovima sa ciljem da se izvrši odgovarajuća obrada paketa u skladu sa zahtevanim nivoom usluge. U mehanizme kontrolne ravni (vidi sliku 2) spadaju: *kontrola pristupa*, *rezervisanje resursa* i *QoS rutiranje*.

Kontrola pristupa je skup mehanizama koji određuju koji će se saobraćaj pustiti u mrežu. Ovde se pod pojmom saobraćaj podrazumeva tok podataka koje određena aplikacija, koja je trenutno prisutna u mreži, treba da prenese do odredišta. Odluka o saobraćaju koji će se pustiti u mrežu zavisi od postignutog dogovora o nivou servisa (SLA) i od dostupnosti adekvatnih resursa mreže, pri čemu se vodi računa da novopristigli saobraćaj svojim zahtevima za resursima ne ugrozi već postojeći koji se odvija u mreži. Mehanizmi kontrole pristupa mogu se implementirati na dva načina: *parametarski* ili *tvrdi QoS* (mehanizmi se implementiraju i funkcionišu na osnovu unapred izabralih najnepovoljnijih vrednosti osnovnih parametara QoS-a) i *implementacija i delovanje zasnovana na trenutno izmerenim vrednostima osnovnih parametara QoS-a* ili *meki QoS*.



Sl. 2. Šematski prikaz arhitekture kvaliteta servisa^[4]

QoS rutiranje je celina mehanizama koji vrše izbor puta kojim će se zadovoljiti korisnički zahtevi za kvalitetom usluge. Mehanizmi QoS rutiranja određuju samo verovatnoću da izabrani put zadovoljava postavljene zahteve za kvalitetom usluge, ali ne garantuje da će se QoS i ostvariti. Garancije određenog nivoa vrednosti osnovnih parametara QoS-a moguće je ostvariti samo uz zajednički rada mehanizama QoS rutiranja i mehanizama rezervacije resursa.

Rezervisanje resursa je skup mehanizama neophodnih za garantovanje određenog QoS-a. Povezani su sa mehanizmima kontrole pristupa i uzajamno se dopunjuje čime se obezbeđuje i osigurava odgovarajući QoS.

2.4.2. Ravan podataka

Ravan podataka sadrži mehanizme koji se neposredno primenjuju na saobraćaj korisničkih podataka. To su *upravljanje baferima, izbegavanje zagušenja, označavanje paketa, discipline čekanja, oblikovanje saobraćaja, upravljanje saobraćajem i klasifikovanje saobraćaja*.

Upravljanje baferima je skup mehanizama koji upravljaju redovima paketa koji čekaju na transmisiju i donose odluke o baferisanju (čuvanju) ili odbacivanju paketa. Važan zadatak ovih mehanizama je da izbegavanje pojave zagušenja u mreži gde jedan tok podataka jedne konekcije zauzima ceo bafer onemogućujući dalji protok podaka drugih konekcija. Rešenja zagušenja po pravilu se svodi na izbor i odbacivanje paketa. Zajednički kriterijum za odbacivanje paketa je dostizanje punog kapaciteta bafera (bafer napunjen do kraja), odnosno kada se red čekanja napuni, paketi se odbacuju. Pri tome izbor paketa koji će se odbaciti može biti: *droptail* (odbacuju se novopristigli paketi), *front drop* (čuvaju se novopristigli paketi na račun onih koji najduže čekaju u red) i *random drop* (čuvaju se novopristigli paketi, uz odbacivanje slučajno izabranih paketa iz reda čekanja).

Izbegavanje zagušenja je celina mehanizama čiji je zadatak da brzinu slanja podataka predajnika prilagodi trenutno dostupnim resursima mreže. Naime, do zagušenja u komunikacionim mrežama najčešće dolazi zbog ograničenih resursa (kapacitet kanala) i brzine prijema paketa podataka u prijemniku i obično nastaje kada je količina ponuđenog saobraćaja veća od kapaciteta mreže. U zavisnosti od vremena trajanja, zagušenja mogu biti permanentna, periodična, privremena i trenutna.

Označavanje paketa su mehanizmi koji se koriste za označavanje, markiranje paketa. Označavanje paketa vrši se promenom nekog polja u njegovom zaglavljtu. Paketi se po pravilu markiraju u nekom čvoru na ivici mreže. Svrha markiranja paketa je različita, primera radi, markiraju se paketi koji, u

slučaju zagušenja, mogu biti odbačeni. Označavanje paketa obično se dinamički usklađuje sa stanjem u mreži. Pri tome može se koristiti RSVP protokol (protokol transportnog nivoa OSI referentnog nivoa koji rezerviše potrebne mrežne resurse za realizaciju internet servisa).

Discipline čekanja su mehanizmi koji kontrolisu izbor paketa koji se isporučuju u izlazne linkove. Dolazeći paketi zadržavaju se u redovima čekanja a potom se raspoređuju radi daljeg isporučivanja. Postoje više načina raspoređivanja i isporučivanja paketa: *First In First Out queuing (FIFO)*, *Fair Queuing (FQ)*, *Priority Queuing (PQ)*, *Weighted Fair Queuing (WFQ)* i drugi.

Oblikovanje saobraćaja su mehanizmi koji vrše kontrolu brzine i količine saobraćaja (podataka) koji ulaze u mrežu. Mehanizmi baferuju pakete sa nižim prioritetom dok se ne postignu povoljni uslovi za slanje svih paketa. Oblikovanje saobraćaja obično se vrši između pošiljaoca podataka i čvorova na ivici mreže. Postoje dve glavne metode oblikovanja saobraćaja: *leaky bucket* (cureći levak) i *token bucket* (žetonski levak).

Upravljanje saobraćajem su mehanizmi koji određuju da li saobraćaj između dva čvora na određenom toku odgovara dogovorenom nivou usluge (SLA). Paketi koji ne pripadaju dogovorenom nivu usluge se odbacuju.

Klasifikovanje saobraćaja je skup mehanizama (obično na ivici mreže) koji, na osnovu sadržaja određenog polja u zaglavljiju paketa, određuju kom toku i kom nivou servisa (SLA) pripada paket.

2.4.3. Ravan upravljanja

Ravan upravljanja sadrži mehanizme koji se odnose na postupanje, administriranje i upravljanje aspektima saobraćaja korisničkih podataka, kao što su *merenje, primena pravila održavanja kvaliteta servisa, obnavljanje servisa u slučaju ispada i postizanje dogovora o nivou servisa (Service Level Agreement, SLA)*.

Merenje saobraćaja su mehanizmi koji vrše monitoring karakteristika saobraćaja i poređenje dobijenih rezultata merenja sa vrednostima koje su dogovorene u okviru SLA i u zavisnosti od dogovorenog nivoa mogu pokrenuti neophodne akcije (odbacivanje paketa ili oblikovanje saobraćaja) prema paketskom toku.

Pravila QoS-a je skup mehanizama za upravljanje i kontrolisanje pristupa mrežnim resursima na osnovu implementiranih pravila. Ova pravila ugrađuju i implementiraju provajderi usluga u mehanizme kontrolne i ravni podataka.

Obnavljanje servisa je celina mehanizama koji omogućavaju reakciju mreže u uslovima kvara.

Postizanje dogovora o nivou servisa (Service Level Agreement, SLA) je skup mehanizama koji predstavljaju sporazum između korisnika i provajdera o nivou usluge - skup parametara i njihove vrednosti koji zajedno definišu uslugu koju provajder nudi.

2.5. Implementacija mehanizama za osiguranje QoS-a

Osiguranje QoS-a predstavlja proces kojim se razvijaju i implementiraju mehanizmi QoS-a u mrežu, rutere i terminale pri čemu se mehanizmi, u obliku odgovarajućih hardverskih i/ili softverskih rešenja, čine razumljivim mrežnim elementima i mreži kao celini. Do danas je razvijen veći broj tehnika, odnosno modela osiguranja QoS-a u bežičnim mrežama. Mi ćemo ovde navesti one modele koje je razvila IETF (*Internet Engineering Task Force*), organizacija koja se bavi razvojem i definisanjem internet standarda. To su: *Best-effort*, *Integrated services* (IntServ) i *Differentiated services* (DiffServ). Sadržaji ovih tehnika detaljnije su opisani u literaturi [2].

3. ZAKLJUČAK

Kvalitet servisa je jedan od ključnih i nezaobilaznih faktora razvoja telekomunikacione industrije. Da bi zadržala trend brzog razvoja i jedne od najprofitabilnije grane privrede, telekomunikaciona industria se sve više bazira na prilagođavanju zahtevima korisnika usluga, odnosno odgovarajućih servisa. Sa druge strane, svedoci smo da se broj servisa u oblasti bežičnog prenosa podataka vremenom stalno povećava, da se povećava broj korisnika i da njihovi zahtevi, iz dana u dan, postaju sve suptilniji.

Ove činjenice, kao i druge okolnosti kao što su primera radi, permanentan razvoj i uvođenje novih tehnologija u oblasti bežičnih mreža, neminovno nameću potrebu da je za ubrzani razvoj komunikacionih tehnologija veoma važno uvođenje koncepta kvaliteta usluga.

LITERATURA

- [1] M. Bjelica, Z. Petrović, Nova shvatanja kvaliteta servisa u telekomunikacionim mrežama, Elektrotehnički fakultet, Beograd
- [2] Z. Jovanović, P. Vuletić, S. Gajin, Kvalitet servisa - Quality of Service – QoS, ETF, Katedra za računarsku tehniku i informatiku, Beograd

- [3] K. Nahrstedt, Quality of Service in Wireless Networks Over Unlicensed Spectrum, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2012.
- [4] <http://documents.tips/documents>, Mehanizmi realizacije QoS u različitim tehnologijama, Univerzitet u Sarajevu, Fakultet za saobraćaj i komunikacije

SADRŽAJ
CONTENS

Stefan Đordievski, Vladan Marinković, Ljubiša Obradović, Zoran Stevanović	
PRIMENA LANDSAT SATELITSKIH SNIMAKA ZA PRAĆENJE PROMENA NA POVRŠINI ZEMLJE U OBLASTI BORSKIH RUDNIKA BAKRA	
APPLICATION OF LANDSAT SATELLITE IMAGERY FOR MONITORING OF LAND COVER CHANGE IN BOR COPPER MINING AREA	1
Marija Milivojević, Zorica Sovrlić, Tamara Urošević, Jelena Petrović, Milan Jovanović, Stefan Đordievski, Ivan Svrkota	
OPTIMIZACIJA METODE (XRF) ODREĐIVANJA ZLATA I SREBRA U UZORCIMA MEĐUPROIZVODA U PROCESU DOBIVANJA ČISTOG ZLATA	
OPTIMIZATION METHOD (XRF) DETERMINING GOLD AND SILVER IN INTERMEDIATE SAMPLES IN THE PRODUCTION OF PURE GOLD	9
Tamara Urošević, Zorica Sovrlić, Marija Milivojević, Stefan Đordievski, Milan Jovanović, Jelena Petrović, Ivan Svrkota	
UTICAJ MASE BIOSORBENATA - KORA CITRUSNOG VOĆA NA SORPCIJU TEŠKIH METALA	
INFLUENCE OF MASS BIOSORBENTS - CITRUS FRUITS PEELS ON SORPTION OF HEAVY METALS	19
Suzana Dragulović, Dragana Božić, Silvana Dimitrijević, Vesna Conić, Zdenka Stanojević-Šimšić, Danijela Simonović, Dana Stanković	
PROIZVODNJA SREBRO – KARBONATA ZA POZNATOG KUPCA IZ SREBRA DOBIJENOG RAFINACIJOM RAZLIČITIH SEKUNDARNIH SIROVINA	
PRODUCTION OF SILVER - CARBONATE FOR KNOWN CUSTOMER FROM SILVER OBTAINED BY REFINING THE DIFFERENT SECONDARY RAW MATERIALS	29
Mirjana M. Rajčić Vujasinović, Vesna J. Grekulović, Zoran M. Stević, Darko M. Dragulović, Silvana B. Dimitrijević	
ELEKTROHEMIJSKO PONAŠANJE BAKRA U PRISUSTVU MACERATA RUZMARINA	
ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF COPPER IN THE PRESENCE EXTRACT OF ROSEMARY	35
Stanko Stankov	
SISTEM ZA BAŽDARENJE INDUSTRIJSKIH VODOMERA - MODELIRANJE I ANALIZA STABILNOSTI	
SYSTEM FOR CALIBRATION OF INDUSTRIAL WATER METERS - MODELING AND ANALYSIS OF STABILITY	41

Olivera Tasić, Viša Tasić

**ISPITIVANJE ELEKTRIČNIH UREDJAJA I INSTALACIJA U
DOMAĆINSTVU PRIMENOM TERMOVIZIJSKE KAMERE**

TESTING THE ELECTRICAL HOUSEHOLD EQUIPMENT AND
INSTALLATIONS USING THE THERMAL IMAGING CAMERA59

Milan Radivojević

KVALITET SERVISA LOKALNIH BEŽIČNIH MREŽA

QUALITY OF SERVICE OF THE LOCAL WIRELESS NETWORKS69

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 objavljinju. Rad priložen za objavljinje treba da bude pripunjlen prema dole navedenom uputstvu da bi bio uključen u proceduru recenziranja. Neodgovarajuće pripunjeni rukopisi biće vraćeni autoru na doradu.

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

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

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

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

Izvod i ključne reči treba da budu date i na engleski jezik.

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

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

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

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

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

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

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

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

Navodenje 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 ; biserka.trumic@irmbor.co.rs

Telefon: 030/454-260; 030/454-272

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; biserka.trumic@irmbor.co.rs
 Telephone: +381 30/454-260; +381 30/454-272

We are thankful for all authors on cooperation.