

## Kontrolni sistem postrojenja za elektrolitičku rafinaciju

*Pri rekonstrukciji postrojenja za elektrolitičku rafinaciju u Institutu za rudarstvo i metalurgiju Bor, uveden je i novi kontrolni sistem zasnovan na mikrokontroleru i personalnom računaru. Ovim sistemom omogućen je pravovremeni prenos informacija o stanju svih važnih parametara procesa do tehnologa. Nadzor rada ovog postrojenja može se vršiti i sa udaljenih lokacija posredstvom lokalne računarske mreže ili putem Interneta. Kontrolni sistem omogućuje automatsko praćenje i beleženje napona na svakoj ćeliji, temperature elektrolita, indikaciju rada i automatsko uključenje i isključenje grejača, kao i alarmiranje u slučaju prekoračenja ili podkoračenja zadatih graničnih uslova rada. Primenom kontrolnog sistema postignut je pouzdaniji rad i bolji uvid u tok procesa elektrolitičke rafinacije.*

**Ključne reči:** elektrolitička rafinacija, kontrolni sistem, računarska mreža, temperatura, nadzor

### UVOD

Reciklaža bakra je proces koji se odavno primenjuje. Još u srednjem veku bilo je uobičajno da se posle ratova bronzani topovi istope, a u ratnim vremenima čak i crkvena zvona su korišćena za proizvodnju topova. Danas se takođe velika pažnja poklanja reciklaži bakra i legura bakra. Poznate rezerve metala koje se mogu eksploatisati raspoloživim komercijalnim tehnologijama nedovoljne su da zadovolje izrazito uzlazni trend potražnje za metalima. Ovo posebno važi za neke od najvažnijih obojenih metala, kao što su bakar, cink i olovo [1]. Recikliranje metala iz otpadnih materijala predstavlja ne samo ekonomski opravdanu potrebu, već i nezaobilaznu nužnost da bi se afirmisao deklarirani Princip održivog razvoja [2].

Razvoj tehnologija u svetu doveo je do povećanja količina sekundarnih sirovina koje sadrže visok procenat metala kao polazne sirovine za proizvodnju metala. Primenom savremenih tehnologija moguće je smanjiti količinu otpadnih materijala, smanjiti troškove tretiranja otpadnih voda i gasova, kao i potrošnju energije [3, 4]. Veliki broj istraživanja i tehnologija našao je praktičnu primenu u procesima reciklaže. Prerada sekundarnih sirovina u odnosu na proizvodnju metala iz primarnih sirovina ima niz prednosti [5]. U Institutu za rudarstvo i metalurgiju Bor, naročito u poslednjih nekoliko godina razvijene su metode za reciklažu plemenitih, retkih i pratećih metala iz sekundarnih sirovina različitog porekla.

---

Adresa autora: Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni bulevar 35, Bor, Srbija

Primljeno za publikovanje: 21. 12. 2012.

Prihvaćeno za publikovanje: 15. 03. 2013.

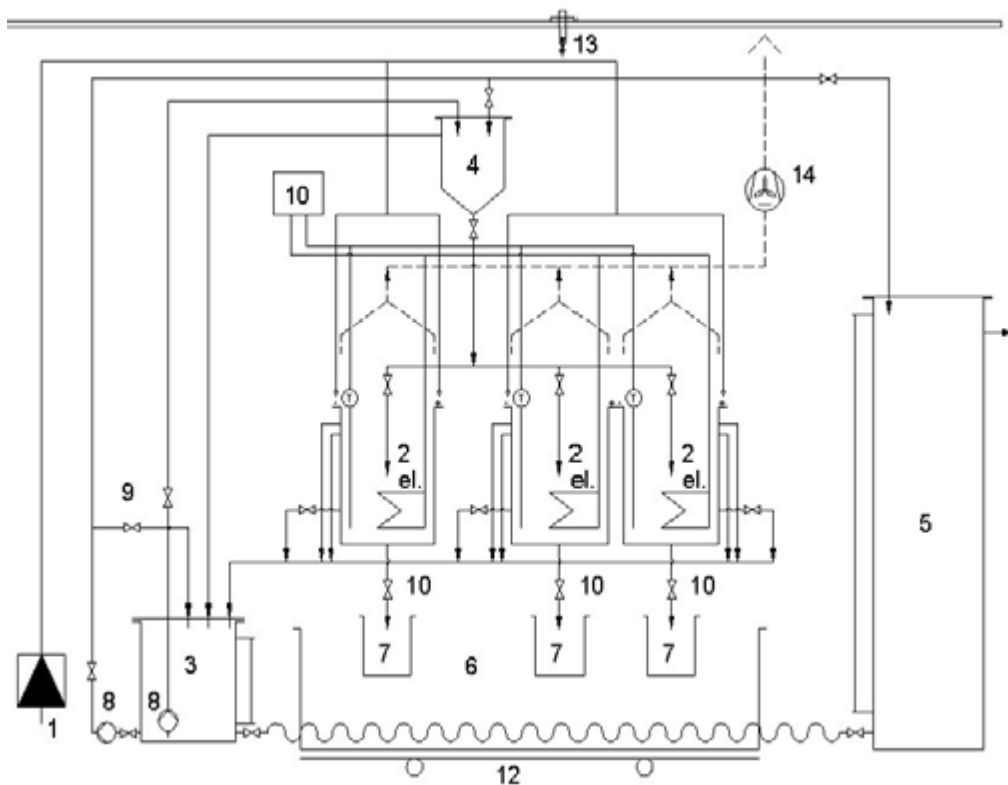
U tom periodu rekonstruisano je i poluindustrijsko postrojenje koje se koristi za elektrolitičku rafinaciju bakarnih anoda. Bakarne anode dobijene su kupelacijom bakra iz sekundarnim sirovina kao što su: elektronski škart, automobilski katalizatori, katalizatori iz hemijske industrije, opeke iz industrije staklenih vlakana i filter masa [5, 6].

Pri rekonstrukciji postrojenja za elektrolitičku rafinaciju bakarnih anoda instaliran je i novi kontrolni sistem zasnovan na mikrokontroleru i personalnom računaru, kako bi se obezbedio pouzdan rad i bolji uvid u tok procesa i sa udaljenih lokacija. U nastavku rada biće opisani delovi ovog kontrolnog sistema kao i način njegovog korišćenja.

### POLUINDUSTRIJSKO POSTROJENJE ZA ELEKTROLITIČKU RAFINACIJU BAKARNIH ANODA

Osnovni delovi poluindustrijskog postrojenja za elektrolitičku rafinaciju bakarnih anoda prikazani na tehnološkoj šemi (slika 1) su: 1. strujni izvor, 2. elektrolitička ćelija, 3. komercijalni rezervoar, 4. napojni rezervoar, 5. skladišni rezervoar za elektrolit, 6. prihvatni rezervoar za elektrolit, 7. posude za prihvat anodnog mulja, 8. pumpa za transport elektrolita, 9. elektrolitni razvod, 10. sistem za merenje i regulaciju temperature elektrolita, 11. muljni razvod, 12. uređaj za podni transport, 13. kran, 14. ventilator. Postrojenje se sastoji iz dve linije pri čemu je razlika samo u tome što Linija II sadrži jednu elektrolitičku ćeliju više u odnosu na Liniju I.

Izgled Linije I prikazan je na slici 2 (tri elektrolitičke ćelije, ventilacioni sistem i likalni komandni orman).



Slika 1 - Tehnoška šema poluindustrijskog postrojenja za elektrolitičku rafinaciju bakarnih anoda nestandardnog hemijskog sastava - Linija I



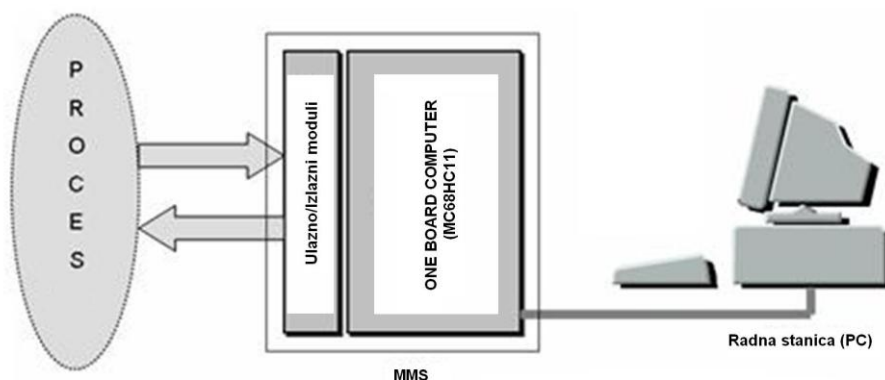
Slika 2 - Novo poluindustrijsko postrojenje za elektrolitičku rafinaciju bakarnih anoda nestandardnog hemijskog sastava - Linija I

Pre puštanja u rad vrši se provera ispravnosti svih elemenata (pumpa za recirkulaciju, ventili, ćelije i dr.). Nakon toga proverava se ispravnost grejača i termostata, kao i svih elemenata na tehnološkoj liniji

na radnoj temperaturi. Nakon ovih provera (nakon hladne i tople probe) sistem se puni elektrolitom i uključuju grejači za zagrevanje i održavanje temperature elektrolita u granicama od 55-60 °C. Po dostizanju radne temperature elektrolita, u ćelije se ulažu anode i polazne katode. Elektrode se raspoređuju na odgovarajuća međuosna rastojanja i nakon toga ćelije priključuju na strujni snabdevač a jačina struje podešava tako da se gustina struje održava u granicama od 120-160 A/m<sup>2</sup>. Proces rafinacije traje oko 20 dana (2 katodna perioda). Tokom ovog perioda potrebno je kontinuirano pratiti promene napona na ćelijama, temperature elektrolita u svakoj ćeliji, kao i rad grejača (uključen/isključen).

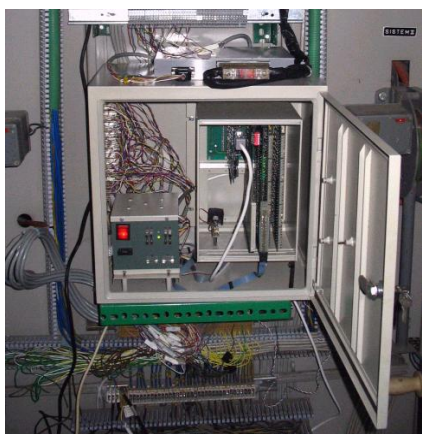
#### HARDVER KONTROLNOG SISTEMA

Da bi se obezbedilo praćenje svih parametara procesa elektrolitičke rafinacije i sa udaljene lokacije, realizovan je računarski sistem koji se sastoji od radne stanice (standardni PC računar) i mikroprocesorske merne stanice (MMS) kao što je prikazano na slici 3. U funkcionalnom pogledu ova celina predstavlja prvi hijerarhijski nivo kontrolnog sistema.



Slika 3 - Osnovna konfiguracija kontrolnog sistema

MMS je rezultat sopstvenog razvoja industrijskih mernih uređaja odeljenja Industrijske informatike, Instituta za rudarstvo i metalurgiju Bor. To je industrijski računar baziran na mikrokontroleru Motorola M68HC11 [7]. Izgled ovog uređaja prikazan je na slici 4.



a)



b)

Slika 4 - MMS: a) unutrašnji izgled, b) spoljašnji izgled

MMS je mikroprocesorski uređaj za akviziciju podataka sa izvesnim stepenom autonomnog rada. Bazirana je na mikrokontroleru i njegove osnovne tehničke karakteristike su:

- Mikrokontroler 68HC11E
- Interni 8-bitni A/D konvertor (trajanje konverzije manje je od 40  $\mu$ s),
- diferencijalnih analognih ulaza koji mogu biti strujni, ili naponski (standardni ili nestandardni),
- 256 + 256 signala stanja (ulazi + izlazi) sa zajedničkom tačkim,
- 64 + 64 nezavisnih digitalnih (ulazi + izlazi) signala,
- RS232 komunikacijski priključak sa mogućnošću rada preko modema,
- 48 (56) KB prostora za podatke (RAM),
- 16 (8) KB prostora za program (EPROM),
- Lokalna funkcijska tastatura,
- LCD displej.

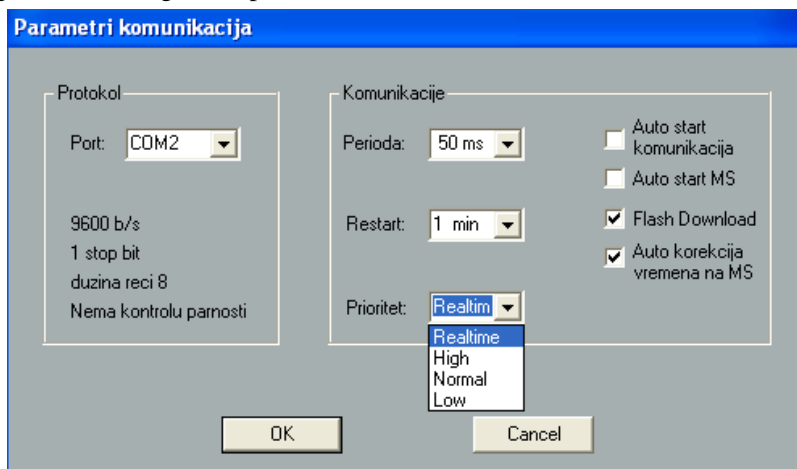
Zadavanjem komandi MMS vrši se interakcija s procesom. Raspoloživa memorija MMS (RAM) omogućava samostalni rad (bez PC radne stanice) i naknadno prosleđivanje podataka merenja (oko 2000 poruka). Kao što se sa slike 4.a) može videti svi ulazni signali sa mernih pretvarača (analogni signali) kao i ulazni i izlazni signali stanja (digitalni signali) povezani su na interfejs u samom MMS kabinetu. To su standardni strujni (4-20 mA) ili naponski signali (0-24V DC). PC radna stanica je najčešće u stalnoj vezi sa MMS tako da zajedno predstavljaju jedinstvenu celinu (entitet). Informacije koje prikupi MMS prenose se i obrađuju na radnoj stanici, a ujedno ona služi i za memorisanje rezultata i njihovu prezentaciju i izradu izveštaja. Svim parametrima procesa može se pristupiti i sa udaljenih lokacija, ako se radna stanica konfiguriše kao server i poveže u lokalnu računarsku mrežu. U tom slučaju udaljeni računari su klijenti, a radna stanica je server. U funkcionalnom smislu daljinski pristup predstavlja drugi nivo infrastrukture kontrolnog sistema.

### NAČIN RADA I SOFTVER KONTROLNOG SISTEMA

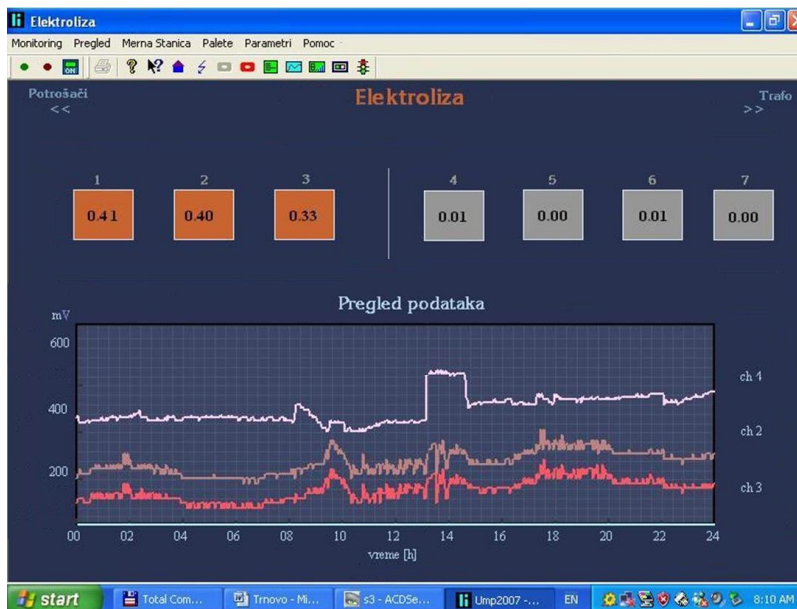
Uobičajeno je da se sa radne stanice zadaju komande MMS, dok se direktno zadavanje komandi MMS (lokalni rad) ređe koristi. MMS obrađuje zahtev sa radne stanice i prosleđuje odgovarajuće signale izvršnim elementima (kontaktori za uključenje/ isključenje grejača, signal za uključenje alarmnog zvona, i sl.). Komunikacije između radne stanice i MMS odvijaju se po master/slave principu [8, 9, 10]. Radna stanica šalje zahtev MMS za informacije, a MMS odgovara na zahtev.

Razvijeni su adekvatni kontrolni programi na MMS i PC radnoj stanici. Program tipa SCADA

(Supervisory Control And Data Acquisition), napisan u Microsoft Visual C++ programskom paketu, instaliran je na PC radnoj stanici [11]. Njegove osnovne funkcionalne celine odnose se na komunikaciju sa MMS, obradu podataka, prezentaciju rezultata, realizaciju algoritma upravljanja procesom, arhiviranje podataka i pripremu za off-line obrade. Pojedini parametri rada MMS mogu se zadavati sa PC radne stanice iz SCADA programa, kao što je učestanost merenja, sinhronizacija vremena MMS sa PC radnom stanicom, broj ulaza i izlaza, način merenja i slično. Primer dijaloga prozora za zadavanje parametar komunikacija prikazan je na slici 5.



Slika 5 - Dijalog prozor za zadavanje parametara serijske veze MMS – PC radna stanica



Slika 6 - Primer izgleda jednog sinoptičkog ekrana u programu za nadzor na PC radnoj stanici

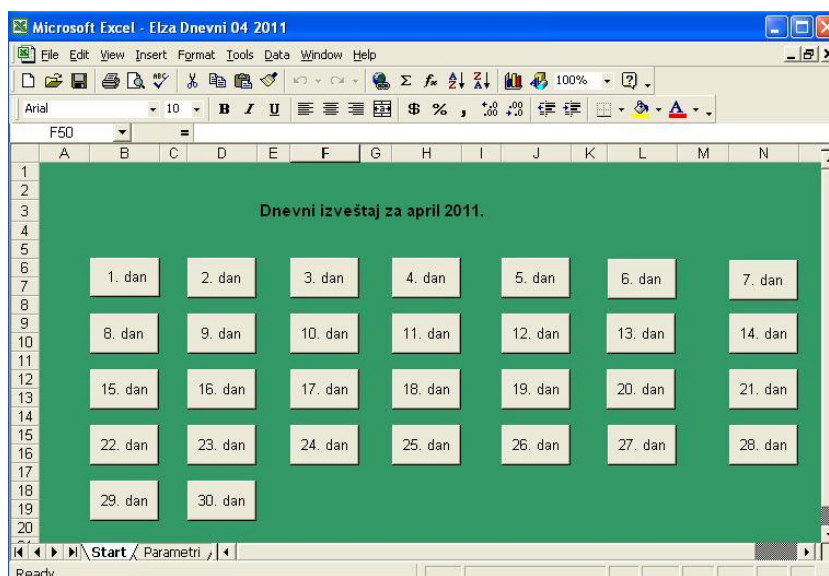
Prikaz rezultata merenja vrši se na ekranu PC radne stanice u grafičkom ili tabelarnom obliku. Na slici 6 prikazan je primer izgleda jednog sinoptičkog

ekrana. Ukoliko neki od parametara prekorači zadate granične uslove rada aktivira se alarm. Alarmi mogu biti vizualni i zvučni, a svaka informacija o nastanku

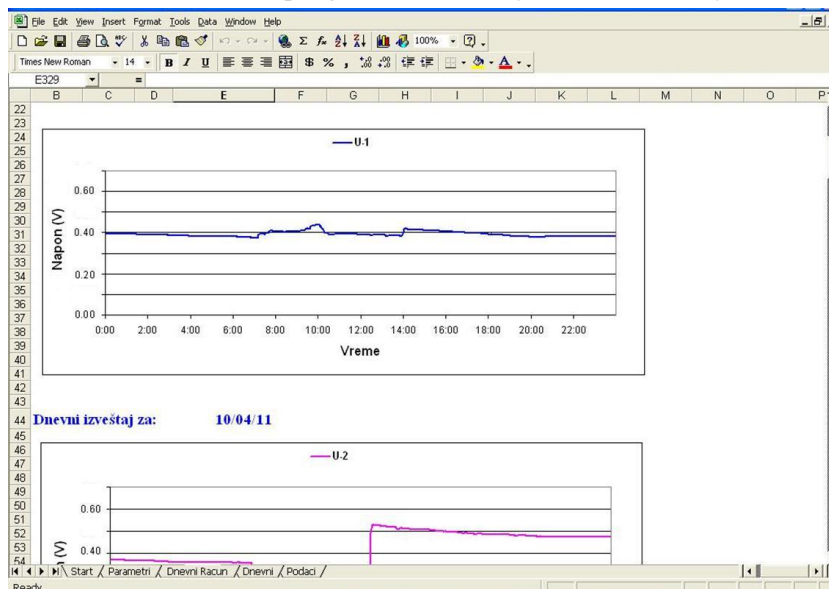
alarmnog stanja evidentira se u log datoteci sa tačnim vremenom i nazivom signala koji je izvan zadatog radnog opsega. Privilegovani korisnici imaju pravo da menjaju granice alarmnih stanja parametara. Na pojavu alarma operater je dužan da potvrdi da je alarm uočen.

Rezultati merenja smeštaju se u bazu podataka iz koje se dalje formiraju dnevni ili mesečni izveštaji o radu. Podaci iz ove baze lako se mogu proslediti (u formi tekstualnih datoteka) u neki program za tabelarne proračune (na primer u Microsoft Excel).

Programi za tabelarne proračune, kakav je Excel, pružaju dodatne mogućosti za analizu rezultata merenja, kao i za podešavanje štampe izveštaja. Iz tog razloga kreiranje dnevnih i mesečnih izveštaja vrši se u Excelu pomoću odgovarajućih automatskih procedura (makroa). Za svaki dan u mesecu kreirana je automatska procedura za formiranje dnevnog izveštaja kao što je prikazano na slici 7. Deo dnevnog izveštaja prikazan je na slici 8. Prema istom principu vrši se i automatsko formiranje mesečnih izveštaja o radu.



Slika 7 - Uvodni ekran programa za kreiranje dnevnih izveštaja o radu



Slika 8 - Deo dnevnog izveštaja o radu

Korisnici sistema, bilo da se radi o lokalnom radu ili pristupu podacima sa udaljenih lokacija, dobijaju tražene informacije sa zadovoljavajućim vremenom

odziva. Tokom primene sistema uočena su poboljšanja tehnološke discipline, a samim tim i bolja produktivnost. Skoro celokupan hardver (osim aktivne

mrežne opreme i PC računara) i softver nadzornih sistema rezultat je sopstvenog razvoja.

#### ZAKLJUČAK

Nadzorni sistem poluindustrijskog postrojenja za elektrolitičku rafinaciju bakarnih anoda u primeni je već nekoliko godina. Pokazao se kao pouzdan i veoma efikasan. Naročito je od koristi osobina da se sa udaljene lokacije mogu pratiti svi parametri procesa rafinacije. Rezultati njegovog rada upotrebljivi su kako u toku odvijanja procesa, tako i za naknadne analize i generisanje izveštaja.

#### Zahvalnica

*Rad je urađen u okviru projekata br. TR 34024: "Razvoj tehnologija za reciklažu plemenitih, retkih i pratećih metala iz čvrstog otpada Srbije do visokvalitetnih proizvoda" i TR 33037: "Razvoj i primena distribuiranog sistema nadzora i upravljanja potrošnjom električne energije kod velikih potrošača", koje finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.*

#### LITERATURA

- [1] N. Magdalinović, Recikliranje otpadnog materijala i sekundarnih sirovina u funkciji zaštite životne sredine, Beograd, str. 77-90., 1995.
- [2] A. Vassart, Putting the batteries back, Waste Management World XI-XII, 2003
- [3] B. Nikolić, D. Vučurović, S. Ostojić, Obojena metalurgija Jugoslavije na kraju 20. veka, monografija, B. Nikolić, D. Stanojević, Poglavlje o cinku, Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, Beograd, str. 43-59., 2002.
- [4] W.W.Kelloog, J.Metals, 28 (12) pp. 29-32., 1976.
- [5] S.Dimitrijević, V. Trujić, S. Dragulović, R. Marković, Ž. Kamberović, M. Korać, N. Vuković, Reciklaža srebra i bakra iz posrebrene bakarne žice, Bakar 31 (1), str. 70-78., 2007.
- [6] Projektovanje postrojenja za elektrohemijska istraživanja i mini proizvodnju u oblasti proizvodnje bakra, Bakar 33 (1), 2008.
- [7] M68HC11 Microcontrollers, Reference Manual, Freescale Semiconductors Inc., 2002.
- [8] V. Tasic, D. Milivojevic, M. Pavlov, V. Despotovic, "An Industrial LAN Applied in Copper Mining and Refining Complex in Bor", ETRAN 2007, Conference Proceedings CD, Herceg Novi, Montenegro, 2007.
- [9] D. Milivojevic, V. Tasic, "Some Software Elements of the Microprocessor Measuring Station", Acta Electrotechnica et Informatica, vol.7, no.2, pp.64-68., Slovak Republic, 2007.
- [10] D. Milivojevic, V. Tasic, "MMS in Real Industrial Network", Information Technology and Control, vol.36, no.3, pp.318-322., Kaunas, Lithuania, 2007
- [11] D. Karabasevic, D. Milivojevic, V. Tasic, "Universal measuring program", YUINFO 2004, Conference Proceedings CD, Kopaonik, Serbia, 2004.

#### ABSTRACT

##### CONTROL SYSTEM FOR THE ELECTROLYTIC REFINING PLANT

*As a part of reconstruction of the equipment for electrolytic refining in Mining and Metallurgy Institute Bor, a new control system was introduced. The system is based on microcontroller and PC. This system provides automatic control and timely transfer of informations about the status of all important process parameters to process operators. Supervision of the process can be performed locally, or from a remote location through a local area network or over the Internet. The control system provides automatic monitoring and recording of cell voltages, electrolyte temperatures, and automatic control of the heaters. In case of exceeding the given boundary conditions system generates alarm messages. Now, after application of the control sistem, the reliability of electrolytic refining process is improved and insight into the status of process parameters is better.*

**Key words:** electrolytic refining, control system, network, temperature, monitoring

Professional papers

Received for Publication: 21.12.2012.

Accepted for Publication: 15.03.2013.