

INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR

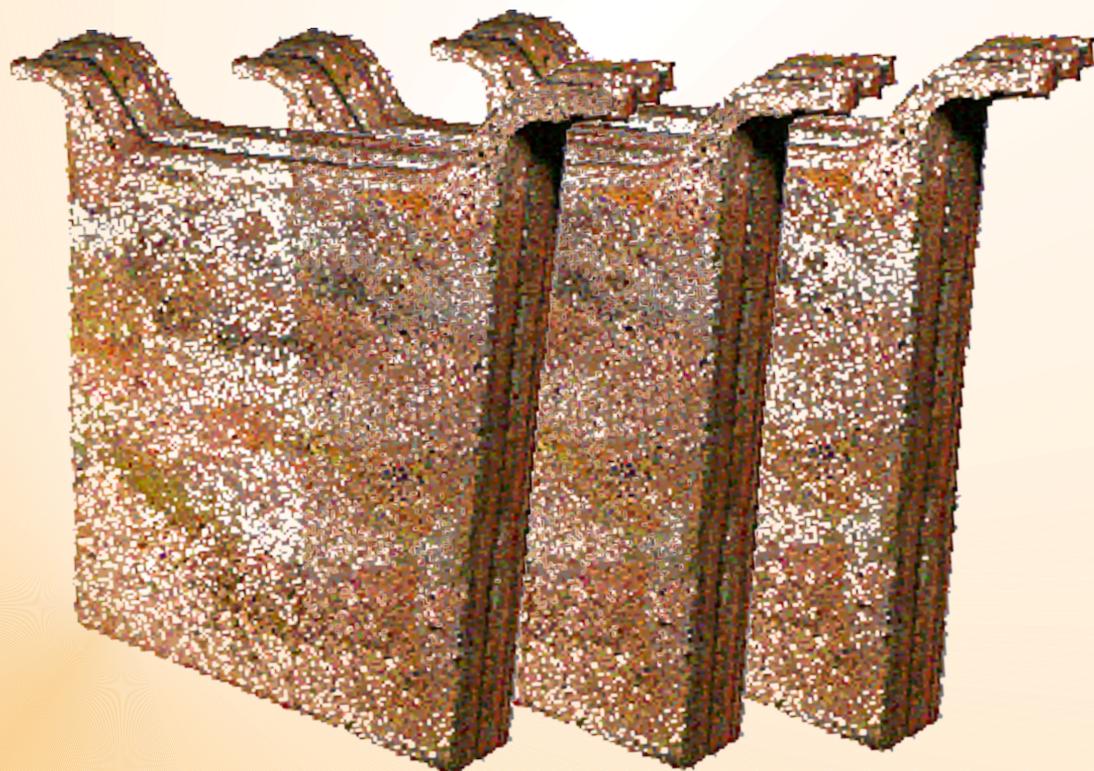


Cu

UDC 669.3
ISSN 0351-0212

Broj 2 Volumen 46 2021

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

Urednik

Vesna Marjanović, *dipl.inž.*

Prevodilac

Nevenka Vukašinović, *prof.*

Tehnički urednik

Suzana Cvetković, *teh.*

Priprema za štampu

Vesna Simić, *teh.*

Štampa

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

Tiraž: 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.

Izdavač

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
19210 Bor, Zeleni bulevar 35
E-mail: institut@irmbor.co.rs
Tel. 030/454-101

Sva prava zadržana.

Uređivački 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, *red. prof.*
Tehnološko-metalurški fakultet Beograd
Doc. dr Bojan Jokić, *docent*
Fakultet primenjenih umetnosti u Beogradu
Dr Silvana Dimitrijević, *viši naučni saradnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Dr Ana Kostov, *naučni savetnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Dr Lidija Mančić, *naučni savetnik*
Institut tehničkih nauka SANU
Dr Dragan Milanović, *naučni savetnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Dr Aleksandra Milosavljević, *viši naučni saradnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Prof. dr Duško Minić, *red. prof.*
Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica
Dr Milanče Mitovski
Redovni član IAS
Dr Miroslav Sokić, *naučni savetnik*
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, *naučni savetnik*
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor
Dr Dejan Trifunović, *naučni saradnik*
Tehnološko-metalurški fakultet Beograd

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

Editor-in-Chief

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

Co-Editor

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

Editor

Vesna Marjanović, *B.Eng.*

English Translation

Nevenka Vukašinić

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.

Published by

Mining and Metallurgy Institute Bor
19210 Bor, Zeleni bulevar 35
E-mail: institut@irmbor.co.rs
Phone: +38130/454-101

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. Bojan Jokić, *Faculty of Applied Arts in Belgrade*
Ph.D. Silvana Dimitrijević, *Senior Research Associate Mining and Metallurgy Institute Bor*
Ph.D. Ana Kostov, *Principal Research Fellow Mining and Metallurgy Institute Bor*
Ph.D. Lidija Mančić, *Principal Research Fellow Institute of Technical Science of SASA*
Ph.D. Dragan Milanović, *Senior Research Associate Mining and Metallurgy Institute Bor*
Ph.D. Aleksandra Milosavljević, *Senior Research Associate Mining and Metallurgy Institute Bor*
Prof.Ph.D. Duško Minić, *Faculty of Technical Sciences Kosovska Mitrovica*
Ph.D. Milanče Mitovski, *Full member of ECS*
Ph.D. Miroslav Sokić, *Principal Research Fellow 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, *Principal Research Fellow Mining and Metallurgy Institute Bor*
Ph.D. Dejan Trifunović, *Research Associate Faculty of Technology and Metallurgy Belgrade*

UDK: 661.183.2:634.3:504.06(045)=163.41

Primljen: 22.11.2021.

NAUČNI RAD

Prerađen: 29.11.2021.

Oblast: Materijali i hemijske tehnologije

Prihvaćen: 30.11.2021.

**UPOTREBA AKTIVNOG UGLJA NASTALOG OD
OTPADNA CITRUSNOG VOĆA, KAO ALTERNATIVNA
METODA U ZAŠTITI ŽIVOTNE SREDINE**

**THE USE OF ACTIVATED CARBON FROM CITRUS FRUIT WASTE AS
AN ALTERNATIVE METHOD IN THE ENVIRONMENTAL
PROTECTION**

Vesna Krstić^{1,2}, Marina Udilanović³, Tamara Urošević¹, Danijela Simonović¹,
Snežana Milić², Andrija Ćirić³, Branka Pešovski¹

¹Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni bulevar 35, 19210 Bor, Srbija
E-mail: vesna.krstic@irmbor.co.rs

²Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, VJ 12, 19210 Bor, Srbija

³Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet, Institut za hemiju,
Radoja Domanovića 12, 34000 Kragujevac, Srbija

Izvod

Rudarske kompanije su među najvećim zagađivačima životne sredine, što dovodi do velikih problema u današnje vreme. Preko atmosferskih padavina, zagađenje iz vazduha i zemljišta, gde se skladišti otpad iz rudarske industrije, dospeva i u vodotokove. Iz tog razloga, u ovom radu pažnja će biti usmerena na upotrebu otpada od citrusnog voća u procesu prečišćavanja voda. Pored klasičnih tehnika za prečišćavanje otpadnih voda, upotreba otpada od citrusnog voća kao bio-sorbenta i njegova modifikacija u aktivni ugalj, jedna je od alternativa za sorpciju zagađivača iz voda. U radu je analizirana mogućnost modifikacije otpada od citrusnog voća u aktivni ugalj, kao materijal sa poboljšanim sorpcionim kapacitetom. Rezultati literaturnog pregleda su pokazali da se aktivni ugalj dobijen od otpada citrusnog voća, pokazao kao dobar sorbent za uklanjanje zagađivača iz voda. Ispitana je i upotreba ugljenika na bazi otpada citrusnog voća kao elektrodnog materijala koji se odlikuje niskim troškovima proizvodnje i visokom stabilnošću pri različitim radnim uslovima.

Ključne reči: Bio-sorpcija, otpad od citrusnog voća, aktivni ugalj, nanomaterijali, tretman voda

Abstract

The mining companies are one of the biggest polluters of the environment, which leads to a big problem of today. Through atmospheric precipitation, the air pollution and soil, where waste from the mining industry is stored, they also reach the watercourses. Due to this reason, in this paper, an attention will be focused on the use of citrus fruit waste, as an alternative in the water treatment process. In addition to the classic techniques for wastewater treatment, the use of citrus fruit waste as a bio-sorbent and its modification into activated carbon is one of the alternatives for sorption the pollutants from water. This work will analyse the possibility of modifying citrus

fruit waste into activated carbon, as a material with improved sorption capacity. The results of literature review have showed that the activated carbon, obtained from citrus fruit waste, proved to be a good sorbent for solving a problem of water protection from pollutants. The use of carbon, based on citrus fruit waste as an electrode material, characterized by the low production costs and high stability under different operating conditions, was also studied.

Keywords: biosorption, citrus fruit waste, activated carbon, nanomaterials, water treatment

1. UVOD

Očuvanje životne sredine i energije, predstavljaju glavne izazove današnjeg vremena. Iz tog razloga je neophodan razvoj novih, netoksičnih i jeftinih multi-funkcionalnih nano materijala koji se mogu koristiti u različite svrhe radi zadovoljenja sve većih zahteva ljudske populacije [1]. Zbog svojih specifičnih svojstava ugljenik je materijal koji je pronašao primenu u tretmanu otpadnih voda i očuvanju energije.

Danas se može očekivati velika potražnja za aktivnim ugljem prilikom zagađenja atmosfere i otpadnih voda. Aktivni ugljevi sa svojstvima poput molekularnog sita, sintetišu se sa ciljem obezbeđivanja selektivnosti sorpcije molekula specifične veličine, čime aktivni ugalj sve više istiskuje zeolite, koji se često koriste u tu svrhu [2].

Ugljenični otpad dobijen iz biomase ili iz drugih čvrstih materijala bogatih ugljenikom, može se koristiti kao sirovina za proizvodnju aktivnog ulja i ugljeničnih nano struktura, koji se dalje koriste za sintezu različitih nano kompozita primenljivih u tretmanu voda [3,4]. Međutim, konvencionalne metode za dobijanje ugljeničnih nano struktura iz uglejničnog otpada su skupe i energetski zahtevne. Iz tog razloga je poželjan razvoj novih i jeftinijih metoda za pripremu ugljeničnih nano struktura odgovarajućih i kontrolisanih svojstava.

Velika količina organskog otpada dolazi iz prehrambene industrije. Kore od citrusnog voća su agroindustrijski otpad koji nastaje tokom prerade voća tokom proizvodnje sokova. Gutierrez i saradnici [2] su naglasili da velika količine citrusnog otpada predstavlja rizik po životnu sredinu, tako da je njegova direktna upotreba ili transformacija u ugljenične materijale poželjna i može se efikasno iskoristiti u tretmanu voda. Citrusni otpad je organska materija koja se sastoji od nekoliko oblika celuloze, lignina i pektina. Ovi molekuli su bogati ugljenikom, pa se citrusni otpad uspešno može prevesti u aktivni ugalj [5,6].

Aktivni ugalj dobijen od otpada citrusnog voća može imati vrlo veliku specifičnu površinu i veliki sorpcioni kapacitet u poređenju sa drugim adsorbensima koji se koriste u tretmanu voda i vazduha. Dobijanje aktivnog uglja od otpada citrusnog voća je dobra i održiva alternativa u procesu prečišćavanja voda i dobra zamena za dobijanje aktivnog uglja iz lignitnih materijala koji potiču iz neobnovljivih izvora energije.

2. KARAKTERISTIKE KORE CITRUSNOG VOĆA

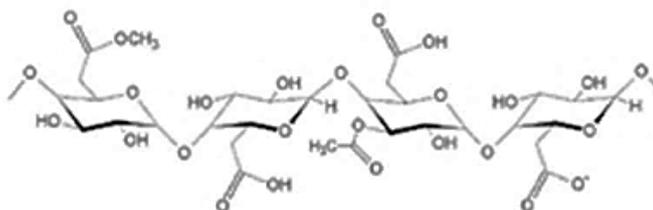
Otpad od citrusnog voća, pomorandži, mandarina, grejpfruta, limuna, pomela, itd., koji uglavnom proizvodi industrija sokova preradom ovog voća, može da dovede do ekoloških problema zbog velike akumulacije otpada i fizičko-hemijskih karakteristika kore od citrusnog voća, koji zbog svoje kiselosti mogu da zagade zemljište, vazduh i vode [2]. Otpadni materijal citrusnog voća čine kore, seme i kapilarne membrane, koji imaju visok nivo organske materije i vrlo nisku pH vrednost. Ovakave fiziko-hemijske osobine ukazuju na citrusni otpad kao potencijalni загаđivač životne sredine. Istraživanja su pokazala da je sastav kore od citrusnog voća potencijalan resurs [7] koji se može modifikovati u aktivni uglj i koristiti u zaštiti životne sredine [8].

Hemijski sastav na primeru kore od pomorandže, tabela 1, čini citrusni otpad pogodnim ekološkim materijalom, upotrebljivim za različite ekološke i industrijske procese [9]. U kori citrusnog voća se nalaze rastvorljivi šećeri koji se sastoje uglavnom od fruktoze, glukoze i saharoze. Od organskih kiselina prisutnih u citrusnoj kori mogu se naći limunska, oksalna, i jantarna kiselina. Pektin u pomorandži se nalazi u vlaknima koji su deo ljuske. Pektini mogu biti rastvorljivi i nerastvorljivi u obliku protopektina [2].

Tabela 1. *Fiziko-hemijske karakteristike kore pomorandže [2,9]*

Parametri	Količina
Rastvorljive čvrste materije (%)	7,10 ± 1,2
pH	3,93 ± 0,003
Formaldehid (%)	34,00 ± 2,4
Vlaga (%)	60,5
Pepeo (%)	3,29 ± 0,19
Masti (%)	0,2
Proteini (%)	1,5
Lignin (%)	3,20 ± 0,4
Esencijalna ulja (%)	1,45 ± 0,16

Pektin je razgranat polisaharid koga sadrže ćelijski zidovi biljaka. Različite vrste biljaka proizvode pektin različitih funkcionalnih svojstava, koji su zaduženi za stvaranje gelova. Pektin pored ostalog, daje čvrstu strukturu biljnim tkivima. Pektin se sastoji od lanca jedinica galakturonske kiseline koji su povezani α -1,4 glikozidnim vezama. Na slici 1 je prikaza hemijska formula dela lanca pektina [10].



Sl. 1. Strukturna formula dela lanca penktina [10]

Lanci galakturonskih kiselina delimično su esterifikovani kao metil-estri. Molekuli pektina mogu imati molekulsku težinu veću od 200 000 g/mol. Najznačajnija komponenta galakturonske kiseline su estri. Druge funkcionalne grupe, poput acetil grupe, mogu biti značajne u specifičnim vrstama pektina. Step en esterifikacije i step en amidacije predstavljaju proces esterifikovanih i amidisanih galakturonskih jedinica u odnosu na ukupan broj jedinica galakturonske kiseline.

2.1. Sorpciona svojstva otpada od citrusnog voća

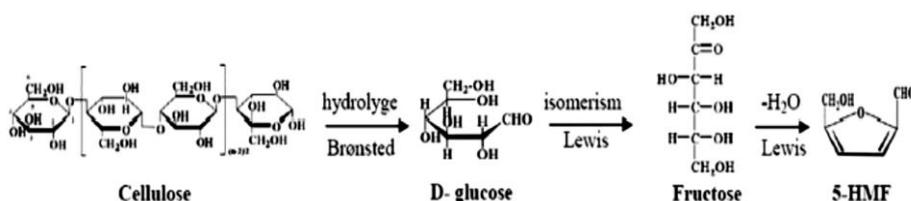
Količina ugljenika u korama citrusnog voća je jedan od pokazatelja da ovaj otpadni materijal ima potencijala da se koristi za dobijanje aktivnog uglja. Miran i saradnici [11] su prikazali fiziko-hemijske karakteristike otpada od kore pomorandže, koji je dat u tabeli 2. Da bi se dobili rezultati elementarne analize, analize proteina, pektina i celuloze, uzorak kore pomorandže je najpre sušen 24 h na 50 °C, usitnjen do određene granulacije i homogenizovan. Sadržaj vlage i pepela nam daju potpuniju sliku o karakteristikama suve materije analiziranog uzorka. Vlaga i pepeo se određuju u okviru tehničke analize, što omogućava preračunavanje ostalih komponenti (% zastupljenosti C, H, N i O) na suhu materiju. Samo na osnovu rezultata dobijenih na suhu materiju, moguće je poređenje dobijenih rezultata sa rezultatima drugih istraživača. Rezultati elementarne analize u tabeli 2 [11], pokazuju da otpad od citrusnog voća ima visok sadržaj ugljenika, koja uglavnom potiče iz celuloze i pektina.

Tabela 2. Elementarna analiza kore pomorandže [11]

Elementarna analiza	Količina (%)
C	40,3 ± 0,02
H	5,8 ± 0,08
N	1,1 ± 0,20
S	0,1 ± 0,03

Radi boljeg razumevanja mehanizma sorpcije otpada od citrusnog voća, razmatrani su Brønsted-ovi i Lewis-ovi aktivni centri na primeru molekula

celuloze, kao izvora ugljenika. Generalno, Brønsted-ovi centri su važan faktor u sorpcionim svojstvima materijala [12,13], koji mogu da pomognu u razumevanju strukture i mehanizma sorpcije molekula celuloze, kao sastavnog dela otpada kore citrusnog voća. Hidroliza celuloze preko Brønstedovih kiselih centara odvija se raskidanjem β -1,4-glukozidnih veza, pri čemu dolazi do stvaranja molekula glukoze, što je prikazano na slici 2 [14].



Sl. 2. Mehanizam transformacije celuloze u prisustvu centara Brønsted-ove i Lewis-ove kiseline [14]

Na slici 2 [14] prikazani su Brønsted-ovi i Lewis-ovi kiseli centri zajedno sa hidroksilnim jonima prisutnim u vodenom rastvoru na 190 °C, pri čemu se celuloza lako transformiše u rastvorljive oligosaharide. Fang i saradnici [14] su pokazali kako Lewis-ovi centri mogu da koordiniraju hidroksilne grupe na položaju 2, što dovodi do lakog cepanja protoniranih veza. Na ovaj način se odigrava ubrzana transformacija rastvorljivih oligosaharida, što dovodi do pomeranja depolimerizacije celuloze. Jačina i ravnoteža Brønsted-Lewis-ovih kiselih centara, mogu uticati na poboljšanje adsorpcije sorbenta dobijenog od otpada citrusnog voća i na selektivnu transformaciju molekula celuloze.

3. REZULTATI

3.1. Prevođenje otpada od citrusnog voća u aktivni ugalj i njegova primena

U tabeli 3 [15] prikazani su sakupljeni literaturni podaci koji se odnose na uslove pripreme i hemijske aktivacije i karbonizacije otpadaka od kora pomorandže. U tabeli 3 [15] su, takođe, prikazane specifične površine (S_{BET}) aktivnog uglja dobijenog od otpadaka kore pomorandže kao i stepen adsorpcije (q_e) za različite zagađivače organskog i neorganskog porekla.

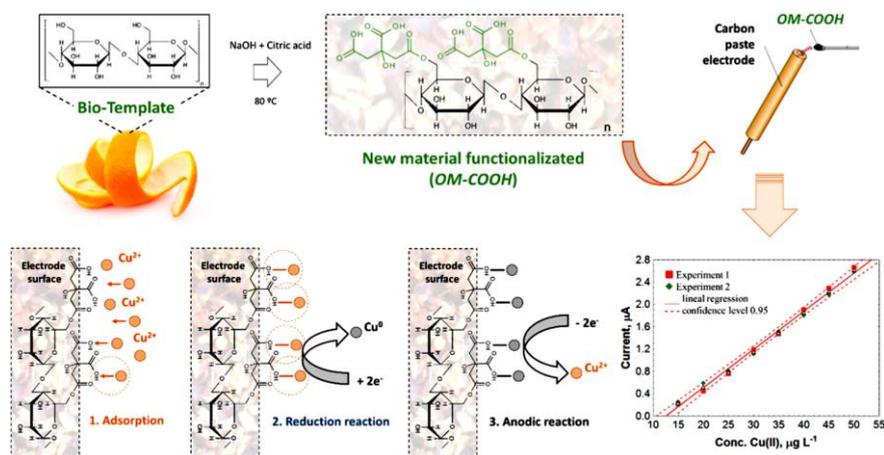
Tabela 3. Pregled svojstava, uslova i procesa karbonizacije kore pomorandže [15]

Predtretman			Hemijska aktivacija			Karbonizacija				Osobine	Zagađivač	
T (°C)	Vreme (h)	Vel. čest. (mm)	Agens	Konc. (%)	Vreme (h)	T (°C)	Atmosfera	T (°C)	Vreme (h)	S _{BET} (m ² g ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	
-	-	-	H ₃ PO ₄	85%	-	-	Vazduh	400	0,5	-	149,4	Metilensko plavo
								400	1,5		149,8	
								800	0,5		149,9	
70	2	-	H ₃ PO ₄	-	-	-	Vazduh	800	1,5		149,7	
105	96	0,5	H ₂ SO ₄	-	-	-	Vazduh	400	0,5	470,5	409,4	Metilensko plavo
105	96	0,5	H ₂ SO ₄	98%	6	-	Vazduh	150	12	-	-	Direktno plavo-86
105	5	-	H ₂ SO ₄	98%	10	-	Vazduh	120	24	-	-	Direktno plavo N-106
-	72	-	H ₃ PO ₄	98%	2	-	Vazduh	180	2	-	-	Direktno žuto 12
-	-	2	H ₃ PO ₄	85%	24	120	Vazduh	500	1	-	-	Sok trske
				32%	2	100	N ₂	450	2	943	-	Azot
				36%						1032		
				40%						1111		
				48%						1203		
120	24	-	KOH	60%	-	-	Ar	550	4	897	40	Cd
											42	Cr
											69	Co
60	-	0,5-1	H ₃ PO ₄	50%	2	110		475	0,5	1090	320	Metilensko plavo
											522	Rodamin B
-	-	2	H ₃ PO ₄	40%	24	80	N ₂	450	3	451	-	Fenol
-	24	0,2	HCl	-	-	-	N ₂	500	2	754	-	Fe
110	1	-	HCl	1N	12	-	-	300	1	-	983	I
80	24	-	KOH	1M	-	-	N ₂	800	2,5	1892	680,2	Metil oranž

Iako sve biljke sadrže pektin, njegov sastav i kvalitet varira u zavisnosti od biljke od koje se estrahuje, načina njegovog dobijanja i uslova životne sredine. Pektini se široko koriste u prehrambenoj industriji kao agensi za želiranje. U zavisnosti od porekla i procesa ekstrakcije, karboksilne grupe se delimično esterifikuju metanolom, dok su u određenim pektinima hidroksilne grupe delimično acetilirane. Kora pomorandže je vrlo dobar izvor pektina. Zbog različitih svojstava, pektini mogu biti sa a) visokim metoksil pektinom (HM), a to znači sa više od 50% karboksilnih grupa esterifikovanih metilnim radikalima, i b) sa niskom metoksil pektinom (LM), a to znači sa manje od 50% esterifikovanih grupa.

3.2. Elektrohemijske osobine aktivnih ugljeničnih materijala

Upotreba ugljenika na bazi otpada od citrusnog voća kao elektrodnog materijala, rezultat je relativno niskih troškova proizvodnje i hemijske stabilnosti u različitim rastvorima i širokom opsegu temperatura. Romero-Canoa i saradnici [16] su koristili adekvatne metode za dobijanje elektrodnog materijala sa velikom specifičnom površinom i kontrolisanom raspodelom pora koja određuje granicu dodira elektroda–elektrolit, na kojoj se odigravaju elektrohemijske reakcije. Praškasti ugljenični materijali su intenzivno proučavani kao visoko efikasni katalizatori, elektrodni materijali za elektrohemijske kondenzatore, elektrokatalizatori za gorive ćelije, kao i materijali za skladištenje vodonika [17,18].



Sl. 3. Modifikovana ugljenična pasta elektroda pripremljena od otpadaka kore grejpfruta [16]

Korišćenje elektroda od karbonske paste modifikovanim otpadom od kore grejpfruta, koji su funkcionalizovani sa karboksilnim grupama, pružaju odličan elektrohemijski odgovor za detekciju bakarnih jona koji su prisutni u vodenim rastvorima. Šematski prikaz i mehanizam adsorpcije, reakcije redukcije i anodne oksidacije na površini elektrode dat je na slici 3 [16]. Pripremljena elektroda pruža nov i ekonomičan materijal za detekciju Cu^{2+} jona sa ograničenjem detekcije od 2,5 mg/l. Elektroda koju su predložili Romero-Cano i saradnici [16], ima niz prednosti: korišćenje otpadnog citrusnog materijala za proizvodnju elektrode, jednostavna je za rukovanje, visoke je osetljivosti, daje dobru ponovljivost u radu i niske je cene.

Elektrodne karakteristike, kao i područje primene su uglavnom određene teksturom i površinskim grupama, koje zavise od uslova sinteze ugljeničnog materijala [17]. Skladištenje naelektrisanja u vidu dvojnog električnog sloja

kod elektrohemijskog kondenzatora, podrazumeva elektrostatičku adsorpciju jona elektrolita na suprotno naelektrisanjoj elektrodi, bez prenosa naelektrisanja kroz granicu elektroda/elektrolit. Doprinos površinskog skladištenja naelektrisanja u ukupnoj količini skladištenog naelektrisanja na nekom ugljeničnom materijalu, zavisi od strukture pora i površinskih grupa na tom materijalu, ali i od prirode elektrolita [18]. Radi dobijanja adekvatnih karakteristika, istraživanja su fokusirana uglavnom na razvoj ugljeničnih materijala sa velikom specifičnom površinom. Iako se teži da se sintetišu materijali sa što razvijenijom specifičnom površinom, da bi se dobila što veća količina skladištenog naelektrisanja, dokazano je da to nije uvek pravilo. Grupa autora je pokazala da se specifični kapacitet na površini elektroda povećava sa povećanjem površine [19]. Međutim, postoje literaturni podaci koji pokazuju da se specifični kapacitet povećava kada su specifične površine manje. U zavisnosti od tipa ugljenika oba gledišta mogu biti prihvaćena [20]. To znači da pored specifične površine, postoje i drugi parametri koji mogu da odrede performanse ugljeničnog kondenzatora, kao što su električna provodljivost, prisustvo površinskih heteroatoma i veličina pora.

Poznato je da se dimenziono stabilne elektrode (DSE) uspešno koriste u procesu prečišćavanja otpadnih voda [21,22]. Iz tog razloga, bilo bi poželjno istražiti pri kojim uslovima bi elektrode od aktivnog uglja na bazi otpada od citrusnog voća mogle da se prilagode i primene u tretmanu otpadnih voda.

I ostale tehnike i metode upotrebe elektroda i elektrize, mogu da pomognu boljem razumevanju posmatranog elektrodnog procesa [23,24].

4. ZAKLJUČAK

Sorpcija korišćenjem otpada od citrusnog voća je jedna od alternativa za dobijanje kvalitetnog aktivnog uglja od jeftinog agroindustrijskog otpada. Ugljenični materijali su među najstarijim korišćenim materijalima i dobro su se pokazali u prečišćavanju voda i vazduha od zagađivača. I pored toga što su ugljenični materijali skuplji od ostalih sorbenata, pokazali su se vrlo efikasnim adsorbentima za prečišćavanje voda, zbog svoje izuzetne čvrstine i porozne teksture koja im daje veliku specifičnu površinu. Teorijska predviđanja bazirana na primeni kvantne hemije i mogućih teorijskih proračuna za upotrebu otpadaka od citrusnog voća i njegova modifikacija u aktivni ugalj, kao potencijalni sorbent za prečišćavanje otpadnih voda, bila bi efikasan alat za ispitivanje citrusnog materijala kao potencijalnog adsorbensa. Ulaganje napora i povezivanje znanja i iskustva istraživača u teorijskim i eksperimentalnim istraživanjima, dovelo bi do brzih, efikasnijih i jeftinijih rešenja u procesu prečišćavanja voda od zagađivača. Udruženim snagama, takođe bi se došlo i do boljeg razumevanja adsorpcionog mehanizma, kao bitnog faktora u rešavanju problema prečišćavanja voda i vazduha.

ZAHVALNOST

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije za finansijsku podršku naznačenu br. 451-03-9/2021-14/200052 i br. 451-03-9/2021-14/200131.

LITERATURA

- [1] B. Pešovski, D. Simonović, V. Krstić, Različite vrste nanomaterijala za tretman otpadnih voda, *Bakar* 43(2) (2018) 65-80.
- [2] R.I. Gutierrez, A.K. Tovar, L.A. Godínez, Chapter 11: Sustainable Sorbent Materials Obtained from Orange Peel as an Alternative for Water Treatment, Ed. *Wastewater and Water Quality*, (2018) 202-2018.
- [3] A. Acharya, P.K. Pal, Agriculture nanotechnology: Translating research outcome to field applications by influencing environmental sustainability, *Nano Impact*, 19 (2020) 100232.
- [4] M. Danish, T. Ahmad, A review on utilization of wood biomass as a sustainable precursor for activated carbon production and application, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 87 (2018) 1-21.
- [5] S. Arun, K. Uday Venkat Kiran, S. Mithin Kumar, M. Karnan, M. Sathish, S. Mayavan, Effect of orange peel derived activated carbon as a negative additive for lead-acid battery under high rate discharge condition, *Journal of Energy Storage*, 34 (2021) 102225.
- [6] S. Wong, N. Ngadi, I.M. Inuwa, O. Hassan, Recent advances in applications of activated carbon from biowaste for wastewater treatment: a short review, *Journal of Cleaner Production*, 175 (2018) 361-375.
- [7] T. Urošević, Z. Sovrlić, M. Milivojević, S. Đordievski, M. Jovanović, J. Petrović, I. Svrkota, Uticaj mase biosorbenata - kora citrusnog voća na sorpciju teških metala, *Bakar*, 41(2) (2016) 19-27.
- [8] L. Wan, D. Chen, J. Liu, Y. Zhang, J. Chen, C. Du, M. Xie, Facile preparation of porous carbons derived from orange peel via basic copper carbonate activation for supercapacitors, *Journal of Alloys and Compounds*, 823 (2020) 153747.
- [9] A. Espachs-Barroso, R.C. Soliva-Fortuny, O. Martín-Belloso, A natural clouding agent from orange peels obtained using polygalacturonase and cellulase, *Food Chemistry*, 92(1) (2005) 55-56.
- [10] L. Henrique Reichembach, C. L. de Oliveira Petkowicz, Pectins from alternative sources and uses beyond sweets and jellies: An overview, *Food Hydrocolloids*, 118 (2021) 106824.
- [11] W. Miran, M. Nawaz, J. Jang, D. Sung Lee, Conversion of orange peel, waste biomass to bioelectricity using a mediator-less microbial fuel cell, *Science of the Total Environment*, 547 (2016) 197-205.

-
- [12] V. Krstić, Chapter 14: Role of zeolite adsorbent in water treatment, *Handbook of Nanomaterials for Wastewater Treatment, Fundamentals and Scale Up Issues Micro and Nano Technologies* (2021) 417-481.
- [13] X. Zhang, X. Zhang, N. Sun, S. Wang, X. Wang, Z. Jiang, High production of levulinic acid from cellulosic feedstocks being catalyzed by temperature-responsive transition metal substituted heteropolyacids, *Renewable Energy*, 141 (2019) 802-813.
- [14] J. Fang, W. Zheng, K. Liu, H. Li, C. Li, Molecular design and experimental study on the synergistic catalysis of cellulose into 5-hydroxymethylfurfural with Bronsted–Lewis acidic ionic liquids, *Chemical Engineering Journal*, 385 (2020) 123796.
- [15] A.K. Tovar, L.A. Godínez, F. Espejel, R.-M. Ramírez-Zamora, I. Robles, Optimization of the integral valorization process for orange peel waste using a design of experiments approach: Production of high-quality pectin and activated carbon, *Waste Management*, 85 (2019) 202-213.
- [16] L.A. Romero-Canoa, A. I. Zarate-Guzman, F. Carrasco-Marin, L.V. Gonzalez-Gutierrez, Electrochemical detection of copper in water using carbon paste electrodes prepared from bio-template (grapefruit peels) functionalized with carboxyl groups, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 837 (2019) 22-29.
- [17] C. Portet, G. Yushin, Y. Gogotsi, Electrochemical performance of carbon onions, nanodiamonds, carbon black and multiwalled nanotubes in electrical double layer capacitors, *Carbon*, 45 (13) (2007) 2511.
- [18] D. Wang, Z. Geng, B. Li, C. Zhang, High performance electrode materials for electric double-layer capacitors based on biomass-derived activated carbons, *Electrochimica Acta*, 173 (10) (2015) 377.
- [19] E. Raymundo-Piñero, K. Kierzek, J. Machnikowski, F. Béguin, Relationship between the nanoporous texture of activated carbons and their capacitance properties in different electrolytes, *Carbon*, 44 (12) (2006) 2498.
- [20] D. Hulicova, M. Seredych, G.Q. Lu, T.J. Bandoz, Combined effect of nitrogen and oxygen containing functional groups of microporous activated carbon on its electrochemical performance in supercapacitors, *Advanced Functional Materials*, 19 (3) (2009) 438.
- [21] V. Krstić, B. Pešovski, Reviews the research on some dimensionally stable anodes (DSA) based on titanium, *Hydrometallurgy*, 185 (2019) 71–75.
- [22] B. Pešovski, S. Milić, M. Radovanović, D. Simonović, Aktivirane dimenziono stabilne anode u procesima elektrolize, *Bakar*, 40 (2) (2015) 1-10.
- [23] D. Simonović, B. Pešovski, V. Krstić, Electrochemical synthesis of ferrate (VI) for the wastewater treatment, *Mining and Metallurgy Engineering Bor* 3-4 (2018) 49-54.
- [24] Danijela Simonović, Sanja Petrović, Vesna Conić, Kalijum ferat (K_2FeO_4) – zeleni oksidans dobijanje i osobine. *Bakar* 40 (2) (2015) 11-20.

UDK: 662.71:546.3(045)=163.41

Primljen: 22.11.2021.

NAUČNI RAD

Prerađen: 29.11.2021.

Oblast: Materijali i hemijske tehnologije

Prihvaćen: 30.11.2021.

**ELEMENTARNI SASTAV I ANALIZA
MIKRO METALA U ĆUMURU**

**ELEMENTAL COMPOSITION AND ANALYSIS OF
MICRO METALS IN CHARCOAL SAMPLES**

Marina Udilanović¹, Vesna Krstić^{2,3}, Andrija Ćirić¹, Zorka Stanić¹

¹Faculty of Science, Department of Chemistry, University of Kragujevac,
Radoja Domanovića 12, 34000 Kragujevac, Serbia,
E-mail: marinainka95@gmail.com

²Mining and Metallurgy Institute Bor, Zeleni Bulevar 35, 19210 Bor, Serbia

³University of Belgrade, Technical Faculty Bor, VJ 12, 19210 Bor, Serbia

Izvod

Ćumur se tradicionalno proizvodi od različitih vrsta drveta, pa je sve veća potreba za kontrolom kvaliteta proizvedenog ćumura (aktivnog uglja). Za procenu kvaliteta ćumura kao goriva (potencijalni materijal sa raznovrsnom primenom), izvršeno je određivanje elementarnog sastava (sadržaj C, H, N, S u procentima), kao i mikro analiza devet uzoraka ćumura. Ćumur sadrži različite koncentracije elemenata u tragovima. Nakon kisele digestije, određivanje mikro elemenata (As, Cd, Cu, Cd, Pb, Mn, Ni, Mn, Mo, Sb, Sn, B, Be, Ba i Zn) u ispitivanim uzorcima je izvršeno primenom ICP-MS instrumentalne tehnike. Dobijeni rezultati su pokazali da devet ispitivanih uzoraka ćumura, sadrži mikro elemente u tragovima, u prihvatljivom opsegu koncentracija, sa ukupnim opsegom od 0,9 mg/kg (Sb) do 59,45 mg/kg (Mn).

Ključne reči: ćumur, mikro elementi, elementarna analiza, ICP analiza, zaštita životne sredine

Abstract

Since charcoal is traditionally produced from different types of wood, there is a growing need to control the quality of produced charcoal (activated carbon). To assess the quality of charcoal as a fuel, the elemental composition (content C, H, N, S) was determined, as well as the micro-analysis of nine charcoal samples. Charcoal contains different concentrations of trace elements. After acid digestion, determination of micro elements (As, Cd, Cu, Cd, Pb, Mn, Ni, Mn, Mo, Sb, Sn, B, Be, Ba and Zn) in the tested samples was performed using the ICP-MS instrumental techniques. The obtained results showed that the nine tested samples of charcoal contained the micro elements in the acceptable range of concentrations, with a total range from 0.9 mg/kg (Sb) up to 59.45 mg/kg (Mn).

Keywords: charcoal, trace elements, elemental analysis, ICP analysis, environmental protection

1. UVOD

Drvo i proizvodi od njega se i dalje koriste u urbanim i ruralnim sredinama, kao primarno gorivo za grejanje, pripremu hrane, građevinski i sorbentni materijal [1,2]. Proces karbonizacije drveta (piroliza) dovodi do koncentrovanja ugljenika, oslobađanja isparljivih organskih jedinjenja i gubitka vlage tokom zagrevanja, uz povećanje kalorijske vrednosti [3,4]. Piroliza drveta, praktikovana vekovima, može se opisati kao spor proces sa direktnim termičkim razlaganjem organskog matriksa u veoma ograničenoj količini kiseonika, na temperaturi od 300 – 500°C, sa osnovnom svrhom da se dobije čvrsto gorivo, dobro poznat kao drveni ugalj tj. ćumur [5]. Prema podacima Organizacije Ujedinjenih nacija za hranu i poljoprivredu (FAO), u 2017. godini u svetu je proizvedeno 51,2 miliona tona ćumura [6]. Iz FAO baze podataka, u Republici Srbiji je u 2018. godini proizvedeno 26000 tona ćumura [7].

Mikro elementi se mogu kategorisati u tri klase – neisparljive, isparljive (isparavanje tokom sagorevanja) i visoko isparljive. U korelaciji sa ovom klasifikacijom, neki mikro elementi (Mn, Ti, Ni, V, Cr, Cu, Co, Zn, Pb, Cd i As) mogu se ipak naći u proizvodima sagorevanja ćumura, dok se drugi mogu potpuno osloboditi u gasnoj fazi (živa, hlor i brom) [8-10]. Dobro je poznato da drveće ima različitu sposobnost akumulacije i translociranje metala od korena do lišća [11]. Dakle, elementi u tragovima, u manjoj ili većoj koncentraciji, vlaga, pepeo, ugljenik, vodonik, azot, sumpor, različiti isparljivi elementi čine drvo i ćumur složenim organskim materijalima [12]. Neki elementi u ćumuru se mogu klasifikovati u tri grupe, na osnovu njihovog opsega koncentracija: glavni elementi (procenat C, H, O, N, S – iznad 1000 ppm), makro elementi (Si, Al, Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Ti – između 100 i 1000 ppm) i halogeni (F, Cl, Br, I – 100-1000 ppm), i mikro – ispod 100 ppm [13]. Danas se radi na razvijanju novih tehnika ili na unapređivanju postojećih, kako bi se obezbedila niska cena i zelena tehnologija radi rešavanja različitih problema u zaštiti živote sredine [14-16].

Poslednjih godina, praćenje i određivanje nivoa mikro elemenata je u sve većem fokusu, zbog zaštite životne sredine, kontrole kvaliteta i uticaj istih na zdravlje ljudi. U ovom radu, u cilju utvrđivanja kvaliteta ćumura, i njegova potencijalna upotreba kao aktivnog uglja, prikazana je elementarna analiza i analiza prisutnih mikro elemenata, primenom ICP tehnike, za devet uzoraka ćumura, proizvedenih od različitih vrsta drveta.

2. MATERIJALI I METODE

2.1. Uzorkovanje i priprema uzoraka

U ovom istraživačkom radu uzorkovano je 9 različitih čumura sa teritorije Sela Podgorac, opština Boljevac. U cilju proizvodnje čumura, drvena masa je postavljena u peć (ćumurana) na 20 dana (neophodno vreme za nepotpuno sagorevanje-pirolizu drveta). Piroliza i gasifikacija se obično dešavaju unutar samog drveta ili blizu njegove površine, u odsustvu kiseonika i dešava se na temperaturama između 350°C i 500°C [17]. Čumur se zatim spontano hladio nekoliko dana unutar peći. Nakon ovog perioda, izvršeno je uzorkovanje. Svi uzorci su upakovani u plastične PET kese, a masa reprezentativnog početnog uzorka bila je 1 kg. Uzorci su obeleženi na sledeći način: C1 (Crna topola - *Populus nigra*), C2 (Evropska bukva - *Fagus silvatica L.*), C3 (Cer - *Quercus cerris L.*), C4 (Divlja trešnja - *Prunus avium L.*), C5 (Jasen - *Fraxinus excelsior L.*), C6 (Vrba - *Salix alba L.*), C7 (Divlja šljiva - *Prunus cerasifera*), C8 (Javor - *Acer platanoides L.*) i C9 (Divlja jabuka - *Malus silvestris*). Nakon uzorkovanja, uzorci čumura su osušeni, samleveni i prosejani.

2.2. Elementarna analiza, dobijanje pepela i kiselinska digestija

Za određivanje ukupnog sadržaja ugljenika, vodonika i azota u uzorcima čumura korišćen je analizator elemenata ugljenika/vodonika/azota CHN628 (Leco, SAD). Sadržaj sumpora je određen korišćenjem EMIA-920V2 analizatora ugljenika/sumpora (proizvodnje Horiba, Japan). U cilju analize čumura na mikro elemente, 9 uzoraka čumura je metodom spaljivanja prevedeno u pepeo prema ASTM D6357 – 11 proceduri. Sa ciljem da se napravi dovoljna i reprezentativna količina pepela za određivanje sadržaja mikro elemenata u uzorcima čumura, 50,0 g svakog uzorka čumura je izmereno i pretvoreno u pepeo. Priprema uzoraka za ICP-MS (model Agilent 7700, Agilent Technologies) analizu uključivala je kiselu digestiju uzoraka pepela. Rekalkulacija dobijenih rezultata za sadržaj mikro elemenata u dobijenom pepelu na početnu masu čumura, je urađena prema formulama u ASTM D6357 – 11 standardnoj metodi.

2.3. Evaluacija metode

Evaluacija metode je urađena određivanjem granice detekcije (LOD) i granice kvantifikacije (LOQ). Dobijene vrednosti za LOD, LOQ i koeficijente korelacije (R) analiziranih elemenata primenom ICP-MS tehnike date su u tabeli 1.

Tabela 1. Dobijene vrednosti za LOD, LOQ i koeficijent korelacije R

Element	LOD ($\mu\text{g/kg}$)	LOQ ($\mu\text{g/kg}$)	R
As	0.12	1.21	1.0000
Pb	0.09	0.89	0.9996
Cr	0.07	0.70	0.9999
Co	0.01	0.09	1.0000
Mn	0.62	6.23	1.0000
Mo	0.07	0.74	0.9999
Ni	0.40	3.96	1.0000
Zn	0.57	5.73	1.0000
Cu	0.62	6.19	0.9995
Sb	0.01	0.04	0.9995
B	1.76	17.60	0.9998
Sn	0.05	0.49	0.9997
Cd	0.02	0.22	0.9999
Ba	0.28	2.75	0.9999
Be	0.03	0.32	1.0000

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Sadržaji procenta C, H, N i S u analiziranim uzorcima ćumura, dati su u tabeli 2. Vidljivo je da je najveća vrednost sadržaja ispitivanih elemenata dobijena za uzorak C3 (za sadržaj % C); C8 (sadržaj % H); C1 (sadržaj % N); i C4 (sadržaj % S).

Tabela 2. Elementarna analiza uzoraka ćumura

Uzorak	C (%)	H (%)	N (%)	S (%)
C1	74.48	3.67	0.83	0.08
C2	82.96	2.91	0.44	0.05
C3	85.70	2.59	0.49	0.07
C4	67.20	4.82	0.40	0.10
C5	82.18	3.50	0.38	0.03
C6	77.97	4.10	0.26	0.05
C7	78.62	3.66	0.43	0.05
C8	76.73	4.13	0.31	0.05
C9	82.04	2.88	0.33	0.04

Koncentracije mikro elemenata u uzorcima pepela dobijenog spaljivanjem (suva mineralizacija) rekalkulisane su prema ASTM D6357 – 11 standardnoj metodi. Uzorci su analizirani u pet ponavljanja. Takođe, sa uzorcima je analiziran i slepi uzorak za kontrolu kvaliteta. Prosečne vrednosti koncentracija mikro elemenata u uzorcima pepela se smanjuju sledećim redosledom: Mn > Ba > Zn > B > Cu > Cr > Ni > Pb > As > Co > Cd > Sn > Mo > Sb > Be. Bakisgan i saradnici [18] određivali su mikro elemente u pepelu iz turskog biougla, a imali su sledeći red koncentracije: Fe > Mn > Zn > Cu > Ni > Cr > Pb > Co, što je veoma slično našem redu koncentracije. Sakib i Backstrom [19] su istraživali raspodelu mikro elemenata u 13 pepela iz mešanog drvenog uglja. Red koncentracije koji su dobili je Cu > Zn > Pb > Cr > Ni > Sb > As. Rekalkulisane koncentracije mikro elemenata u uzorcima pepela na početnu masu čumura data je sledećim redosledom: C7 > C8 > C2 > C6 > C5 > C3 > C9 > C1 > C4 i prikazana u tabeli 3.

Tabela 3. Izračunata koncentracija mikro elemenata (mg/kg) u uzorcima čumura, primenjenom procedurom ASTM D6357 – 11, koristeći podatke o ukupnom sadržaju vlage, sadržaju pepela i koncentraciji analiziranih mikro elemenata u uzorcima dobijenog pepela

Uzorak	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Element									
As	0.0147	0.0413	0.0170	0.0495	0.0147	0.1008	0.0135	0.0967	0.0050
Pb	0.0363	0.0991	0.0118	0.1037	0.1131	0.0811	0.0455	1.08	0.0194
Cr	0.2231	0.5383	0.1697	0.1376	0.1343	0.2960	0.1236	0.5669	0.1272
Co	0.0134	0.0672	0.0211	0.0231	0.0077	0.1071	0.0061	0.0409	0.0023
Mn	1.45	54.55	17.62	2.37	1.07	59.45	0.5121	15.31	0.2201
Mo	0.0077	0.0024	0.0048	0.0085	0.0272	0.0281	0.0180	0.0211	0.0111
Ni	0.0422	0.5233	0.1079	0.1818	0.0507	0.0872	0.0500	0.3400	0.0192
Zn	1.15	2.77	1.15	4.50	1.69	8.92	0.3729	3.81	0.1733
Cu	0.4308	1.66	0.2826	1.51	1.05	2.25	0.8706	3.51	0.2218
Sb	0.0022	0.0064	0.0009	0.0061	0.0030	0.0035	0.0026	0.0636	0.0009
B	0.7215	1.42	0.2548	6.27	0.6288	3.35	1.24	3.83	0.2411
Sn	0.0068	0.0212	0.0080	0.0291	0.0163	0.0222	0.0108	0.0364	0.0082
Cd	0.0034	0.0347	0.0151	0.0891	0.0018	0.0803	0.0014	0.0443	0.0252
Ba	0.8754	28.11	1.57	2.79	2.40	4.04	0.9782	9.28	0.7780
Be	0.0003	0.0038	0.0002	0.0006	0.0005	0.0002	0.0001	0.0016	0.0001

Teški metali iz različitih čvrstih goriva na bazi ugljenika mogu se eliminisati termičkim razlaganjem, putem njihove isparljivosti. Pošto dobijeni pepeo sadrži značajnu količinu mikro elemenata, veoma je važno znati mobilnost i karakteris-

tike ispiranja nekih elemenata u pepelu, u slučaju ako bi se takav pepeo koristio za dobijanje cementa i betona, koristio kao đubrivo ili bi se deponovao na podlogu, zemljište ili dr.

Jelonek i saradnici [20] analizirali su podatke prema standardu kvaliteta EN 1860-2:2005 (E) i predložili da sadržaj nečistoća bude manji od 1%.

4. ZAKLJUČAK

Uzorci ćumura sadrže u proseku 78,65% ugljenika i 0,43% azota, što ukazuje da će se većina ugljenika pretvoriti u ugljen-dioksid i azot-oksidi, koji će se kao takvi emitovati u okolni vazduh. Uzorci pepela dobijeni sagorevanjem uzorka ćumura na 500°C sadrže najveće koncentracije As, Pb, Zn, Mn, Cu, Ba, Cr i Cd, što znači na ćumur kao materijal koji se najvećim delom sastoji od ugljenika, dobro vezuje i jako male koncentracije nekih metala/metaloida, pri čemu ipak ne dolazi do njihovog značajnog gubitka tokom sagorevanja ćumura. Ipak, bitno je dobro okarakterisati nastali pepeo, radi njegove dalje upotrebe. Ako pretpostavimo da su mikro elementi analizirani u 9 uzorka ćumura mineralne nečistoće, onda je zbir ukupnih nečistoća u svih devet uzorka ćumura ispod 1% (0,0029%) kao što je naznačeno u literaturnim podacima. Na osnovu ovog rezultata može se pretpostaviti da su analizirani ćumuri visokog nivoa čistoće i kao takvi bezbedni da dalje korišćenje u različitim oblastima zaštite životne sredine.

ZAHVALNOST

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije za finansijsku podršku: ugovori broj: 451-03-68/2020-14/200122; 451-03-9/2021-14/200122 i 451-03-9/2021-14/200052.

LITERATURA

- [1] M. Balat, K. Bozbas, Wood as an Energy Source: Potential Trends, Usage of Wood, and Energy Politics, *Energ. Source. Part A*, 28 (2006) 837–844.
- [2] R.M. Karthik, L. Philip, Sorption of pharmaceutical compounds and nutrients by various porous low-cost adsorbents, *J. Environ. Chem. Eng.*, 9 (2021) 104916.
- [3] Y. Liu, Y. Shen, Three-dimensional modelling of charcoal combustion in an industrial scale blast furnace, *Fuel*, 258 (2019) 116088.

-
- [4] J.D. Bustos-Vanegas, M. Arêdes Martinsa, A. Gomes Freitas, J. Mellmann, Experimental characterization of self-heating behavior of charcoal from eucalyptus wood, *Fuel*, 244 (2019) 412–418.
- [5] S. Maiti, S. Dey, S. Purakayastha, B. Ghosh, Physical and thermochemical characterization of rice husk char as a potential biomass energy source, *Bioresour. Technol.*, 97 (2006) 2065–2070.
- [6] Food and Agricultural Organization. Forestry Production and Trade; FAO: Rome, Italy, 2019; Vol. 2019.
- [7] <http://www.fao.org/faostat/en/#search/wood%20charcoal> (date of access: 17.01.2021.).
- [8] J. Tejada, J. Wiedenmann, B. Gall, B. Kaiser, O. Greißl, S. Unterberger, A. Kappler, H. Thorwarth, Trace element behavior in wood-fueled heat and power stations in terms of an urban mining perspective, *Fuel*, 267 (2020) 116887.
- [9] R. Meij, Trace element behavior in coal-fired power plants, *Fuel Process. Technol.*, 39 (1994) 199–217.
- [10] C. Feng, M. Zhang, H. Wu, Trace elements in various individual and mixed biofuels: abundance and release in particulate matter during combustion, *Energy Fuels*, 32 (2018) 5978–5989.
- [11] I.D. Pulford, C. Watson, Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees - A review, *Environ. Int.*, 29 (2003) 529–540.
- [12] E. Kabir, K-H. Kim, J-W. Ahn, One-Feel Hong, Jong Ryeul Sohn, Barbecue charcoal combustion as a potential source of aromatic volatile organic compounds and carbonyls, *J. Hazard. Mater.*, 174 (2010) 492–499.
- [13] F. Vejahati, Z. Xu, R. Gupta, Trace elements in coal: Associations with coal and minerals and their behavior during coal utilization – A review, *Fuel*, 89 (2010), 904–911.
- [14] T. Urošević, Z. Sovrlić, M. Milivojević, S. Đorđievski, M. Jovanović, J. Petrović, I. Svrkota. Influence of mass biosorbents - citrus fruits peels on sorption of heavy metals, *Bakar/Copper*, 41(2) (2016) 19-27.
- [15] B. Pešovski, D. Simonović, V. Krstić, Different types of nanomaterials for the wastewater Treatment, *Bakar/Copper*, 43(2) (2018) 65-80.
- [16] D. Simonović, B. Pešovski, V. Krstić, Electrochemical synthesis of ferrate (VI) for the wastewater treatment, *Mining and Metallurgy Engineering Bor*, 3-4 (2018) 49-54.
- [17] Simple Technologies for Charcoal Making, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO, 1983, ISBN 92-5-101328-1, Rome, Italy.

- [18] C. Bakisgan, A.G. Dumanli, Y. Yürüm, Trace elements in Turkish biomass fuels: Ashes of wheat straw, olive bagasse and hazelnut shell, *Fuel*, 88 (2009) 1842–1851.
- [19] N. Saqib, M. Bäckström, Chemical association and mobility of trace elements in 13 different fuel incineration bottom ashes, *Fuel*, 172 (2016), 105-117.
- [20] Z. Jelonek, A. Drobniak, M. Mastalerz, I. Jelonek, Environmental implications of the quality of charcoal briquettes and lump charcoal used for grilling, *Sci. Tot. Environ.*, 747 (2020) 141267.

UDK: (045)=163.41

Primljen: 13.12.2021.

NAUČNI RAD

Prerađen: 20.12.2021.

Oblast: Zaštita životne sredine

Prihvaćen: 23.12.2021.

**ANALIZA REZULTATA MERENJA ČESTICA PM₁₀ NA
TERITORIJI GRADA BORA ZA PERIOD 2020.-2021.**

**ANALYSIS OF THE RESULTS OF MEASUREMENT OF
PM₁₀ ON THE TERRITORY OF THE CITY OF
BOR FOR THE PERIOD 2020-2021**

Nevena Ristić, Aleksandar Simonovski, Viša Tasić,
Tatjana Apostolovski-Trujić

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Bor,
E-mail: nevena.ristic@irmbor.co.rs

Izvod

Zbog činjenice da su rudnici sa površinskim otkopavanjem rude bakra u neposrednoj blizini grada Bora, kao i da se topionica bakra nalazi na samo par stotina metara od starog centra grada, kvalitet vazduha je najvažniji ekološki problem u gradu i okolnim naseljima. U toku 2020. i 2021. godine prema Programu lokalnog monitoringa kvaliteta vazduha vršena su merenja koncentracija suspendovanih čestica PM₁₀ na četiri mesta u gradu i prigradskim naseljima i analiziran je sadržaj Pb, Cd, Ni i As u uzorcima PM₁₀ na dnevnom nivou. U ovom radu odvojeno su analizirani rezultati merenja za period grejne i negrejne sezone. Ustanovljeno je da su na svim posmatranim mernim mestima (MM) osim na mernom mestu Jugopetrol koncentracije čestica PM₁₀ u periodu grejne sezone više u odnosu na period negrejne sezone. Na svim MM osim na MM Krivelj broj dana sa prekoračenjima dnevne granične vrednosti za koncentracije PM₁₀ bio je veći od maksimalno dozvoljenog broja od 35 dana godišnje. Na svim MM prekoračena je godišnja granična vredost za koncentraciju As u PM₁₀. Dobijeni rezultati ukazuju na to da problem zagađenja vazduha sadržajem As u PM₁₀ i dalje postoji i da hitno treba preduzeti mere za njegovo rešavanje u cilju zaštite zdravlja ljudi.

Ključne reči: merenje, suspendovane čestice, kvalitet vazduha, topionica bakra, arsen

Abstract

Due to the fact that the mines with surface mining of copper ore are in the immediate vicinity of the town of Bor, and that the copper smelter is only a few hundred meters from the old city center, air quality is the most important environmental problem in the town and surrounding settlements. During 2020 and 2021, according to the Local Air Quality Monitoring Program, concentrations of suspended PM₁₀ particles were measured at four places in the city and suburbs and the content of Pb, Cd, Ni, and As in PM₁₀ samples on a daily basis was analyzed. In this paper, the measurement results for the heating and non - heating seasons are analyzed. It was found that at all observed measuring points (MP) except at the MP Jugopetrol, the concentrations of PM₁₀ particles in the heating season were higher than in the non-heating season. On all MPs except MP Krivelj, the number of days exceeding the daily limit value for PM₁₀ concentrations was higher than the maximum

allowed number of 35 days per year. The annual limit value for the concentration of As in PM₁₀ was exceeded on all MPs. The obtained results indicate that the problem of air pollution with As content in PM₁₀ still exists and that urgent measures should be taken to solve it in order to protect human health.

Keywords: *measurement, suspended particles, air quality, copper smelter, arsenic*

1. UVOD

Proizvodnja bakra u Boru počela je 1903. godine jamskom eksploatacijom rude, a površinska eksploatacija počinje od 1912. godine otvaranjem površinskog kopa Bor, gde se ruda bakra eksploatisala sve do 1986. godine. Kasnije su otvorena još dva površinska kopa u blizini, Veliki Krivelj 1979. godine i Cerovo 1990. godine.

Količina suspendovanih čestica koja se emituje iz metalurških pogona topionice bakra i sa površinskih kopova i rudničkih i flotacijskih jalovišta zavisi od mnogo faktora, kao što su: izbor tehnološkog postupka prerade rude bakra, sastav ulazne sirovine, temperatura i vreme trajanja procesa, vrsta rudarskih radova, tip i količina angažovane rudarske opreme, meteorološki parametri i slično. Pri svim tehnološkim postupcima koji se primenjuju pri preradi rude bakra oslobađaju se toksične i kancerogene materije kao što su As, Pb, Zn, Bi i Sb [1].

Prosečan sadržaj arsena u koncentratu bakra koji se prerađivao u staroj topionici u Boru (do 2015. godine) iznosio je između 0.05 i 0.15%. Pre samog procesa topljenja, uglavnom se meša više vrsta koncentrata i topitelja (kvarc i krečnjak) tako da finalni sadržaj arsena u nastaloj šarži ne bude veći od 0.5%. Imajući u vidu da je u staru borsku topionicu dnevno na preradu dopremano od 1500 do 1800 t koncentrata, ovaj sadržaj arsena je i te kako značajan [2].

Vlada Srbije uložila je značajna sredstva u izgradnju nove topionice bakra i fabriku sumporne kiseline u Boru, koja je počela sa radom 2016. godine. Nova topionica bakra koristi flash-smelting tehnologiju [3], pa su od tada i emisije otpadnih gasova iz metalurških pogona drugačijeg intenziteta i sastava. Modernizacijom topionice trebalo bi da se drastično smanje emisije SO₂, PM i drugih zagađujućih materija koje čine tokove otpadnog gasa iz topionice.

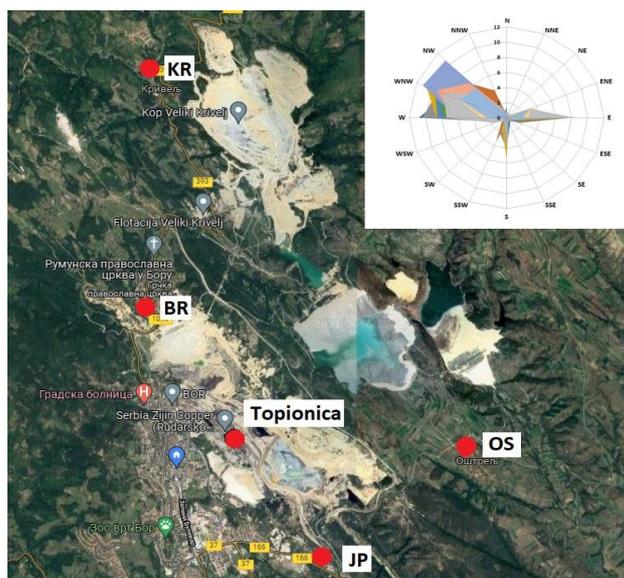
Cilj ovog rada je da se utvrdi postoje li sezonske promene koncentracija PM₁₀ i sadržaja Pb, Cd, Ni i As u PM₁₀ i koliko su značajne razlike kada se odvojeno posmatraju rezultati u sezoni grejanja i negrejnjoj sezoni.

2. MERNA MESTA I METOD MERENJA

U toku 2020. i 2021. godine prema Programu lokalnog monitoringa kvaliteta vazduha grada Bora vršena su merenja koncentracija suspendovanih čestica PM₁₀ na četiri merna mesta (MM) na teritoriji grada (Krivelj, Brezonik, Jugopetrol i Oštrelj). Iz 24h uzoraka PM₁₀ sa navedenih MM određivan je i

sadržaj Pb, Cd, Ni i As. Položaj ovih MM u odnosu na topionicu bakra u Boru prikazan je na slici 1. U ovom radu su analizirani rezultati merenja (slika 1) u periodu od 15. oktobra 2020. godine do 15. oktobra 2021. godine.

MM KR nalazi se u naselju Krivelj, na oko 6 km severno od topionice bakra. Položaj ovog MM je niz vetar u odnosu na topionicu bakra kada duvaju vetrovi iz pravaca jug. U blizini ovog mernog mesta je površinski kop Veliki Krivelj. MM BR nalazi se u centru naselja Brezonik, na oko 2.5 km severozapadno od topionice bakra. Položaj ovog MM je niz vetar u odnosu na topionicu bakra kada duvaju vetrovi iz pravaca jug-jugoistok. U blizini ovog mernog mesta je stari površinski kop Bor u kojem se odlaže rudnička jalovina sa površinskog kopa Veliki Krivelj. MM JP nalazi se na oko 3 km jugoistočno od topionice bakra. Položaj ovog MM je niz vetar u odnosu na topionicu bakra kada duvaju vetrovi iz pravaca sever-severozapad. U blizini ovog mernog mesta (1 km severoistočno) je gradska deponija. MM OS se nalazi u centru sela Oštrelj oko 4 km na istok od topionice bakra. Ovo MM je locirano niz vetar u odnosu na topionicu bakra kada duvaju vetrovi iz pravaca zapad.



Sl. 1. Položaj mernih mesta u odnosu na topionicu bakra u Boru
(KR - Krivelj, BR - Brezonik, JP - Jugopetrol, OS - Oštrelj)

Uzorkovanje suspendovanih čestica frakcije PM₁₀ [4-7] vršeno je referentnim uzorkivačima Sven/Leckel LVS3 [8] i LIFETEC [9]. Pre i posle uzorkovanja merena je masa filtera saglasno proceduri propisanoj standardom

SRPS EN12341:2015 [10]. Na osnovu razlike masa eksponiranih i neeksponiranih filtera i poznatog protoka vazduha kroz uzorkivač sračunate su masene koncentracije suspendovanih čestica frakcije PM_{10} .

Koncentracije As, Pb, Cd, i Ni su određene primenom Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry - ICP MS (Agilent model 7700). Granice detekcije za As, Pb, Cd, i Ni koji su određeni ICP MS metodom su 0.1, 0.5, 0.02, i 0.7 ng/m^3 , respektivno. U cilju kontrole kvaliteta i verifikacije primenjenih procedura za mikrotalasno rastvaranje i analizu elemenata u tragovima, korišćen je sertifikovani referentni materijal Urban Particulate Matter Certified Reference Material 1648a (National Institute of Standard and Technology, MD, USA). Rezultati analize sertifikovanog referentnog materijala bili su u opsegu od 80 do 110% referentnih koncentracija za sve merene elemente.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Prosečne dnevne koncentracije suspendovanih čestica PM_{10} u toku negrejne sezone (april-septembar) i grejene sezone (oktobar-mart) prikazane su u tabeli 1. Prikaz koncentracija suspendovanih čestica PM_{10} tokom negrejne sezone prikazane su na slici 2, a tokom grejne sezone na slici 3.

Na osnovu podataka iz tabele 1 može se zaključiti da su koncentracije suspendovanih čestica PM_{10} na svim MM osim na MM JP bile više u toku grejne sezone u odnosu na one izmerene u negrejnoj sezoni. Sva MM osim MM JP su u neposrednoj blizini objekata za stanovanje tako da su lokalni izvori zagrevanja ovih objekata jednim delom doprineli povećanju koncentracija suspendovanih čestica PM_{10} u toku grejne sezone.

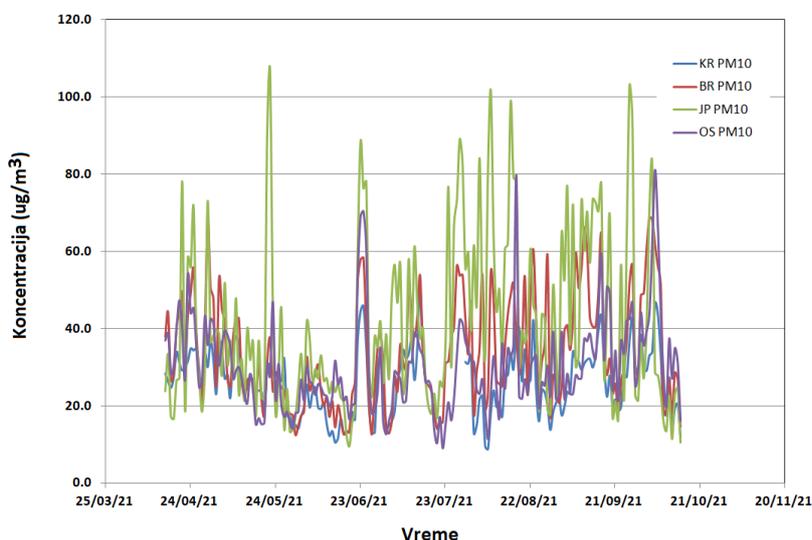
Tabela 1. Koncentracije PM_{10} ($\mu g/m^3$) izmerene u negrejnoj i grejnoj sezoni (GV- granična vrednost, NGS - negrejna sezona, GS - Grejna sezona)

Negrejna (NGS)	KR PM_{10}	BR PM_{10}	JP PM_{10}	OS PM_{10}
Srednja vrednost	26.2	34.2	41.6	30.4
Dnevna GV	50.0	50.0	50.0	50.0
Broj dana iznad GV	1	32	55	11
Grejna (GS)	KR PM_{10}	BR PM_{10}	JP PM_{10}	OS PM_{10}
Srednja vrednost	28.3	44.4	34.3	41.1
Dnevna GV	50.0	50.0	50.0	50.0
Broj dana iznad GV	10	58	34	49
Odnos PM_{10} NGS/GS	0.93	0.77	1.21	0.74

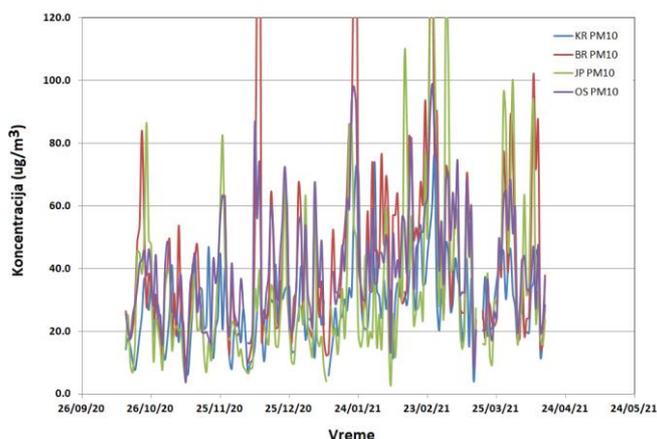
Takođe, MM JP je na dominantnom pravcu N (severnih) i NW (severozapadnih) vetrova koji nose zagađujuće materije iz metalurških postrojenja topionice bakra. Vetrovi iz pravaca N (sever), NNW (sever-severozapad) i NW (severozapad) su sa najvećom čestinom tokom zimskog perioda, pa je i to značajan razlog za povećanje koncentracija suspendovanih čestica PM₁₀ na MM JP tokom grejne sezone. Na svim MM osim na MM KR postoji statistički značajna razlika između srednjih vrednosti koncentracija PM₁₀ izmerenih tokom grejne i negrejne sezone ($p < 0.01$, $n=180$).

Slična konstatacija važi i kada se posmatra broj dana u kojima je dolazilo do prekoračenja GV propisane za srednje dnevne koncentracije suspendovanih čestica PM₁₀ (50 µg/m³). U toku grejne sezone na svim MM osim na MM JP broj dana sa prekoračenjem GV je veći u odnosu na broj dana sa prekoračenjem GV u negrejnoj sezoni.

Kada se sabere broj dana sa prekoračenjem GV u grejnoj i negrejnoj sezoni najveći broj prekoračenja GV zabeležen je na MM BR čak 90 dana od 365 (25%), zatim na MM JP 89 dana, na MM OS 60 i na MM KR 11 dana. Samo je na MM KR broj dana sa prekoračenjem dnevne GV bio ispod dozvoljenog broja od 35 dana godišnje [11]. Na svim MM je srednje godišnja koncentracija suspendovanih čestica PM₁₀ u posmatranom periodu bila ispod GV za srednje godišnje koncentracije (40 µg/m³) [11].



Sl. 2. Prikaz koncentracija suspendovanih čestica PM₁₀ tokom negrejne sezone



Sl. 3. Prikaz koncentracija suspendovanih čestica PM_{10} tokom grejne sezone

Prosečne dnevne koncentracije Pb u PM_{10} u toku negrejne sezone i grejne sezone prikazane su u tabeli 2. Na osnovu podataka iz table 2 može se zaključiti da su koncentracije Pb u PM_{10} na svim MM bile neznatno više u toku grejne sezone u odnosu na one izmerene u negrejnoj sezoni. Pošto su glavni izvori emisije Pb tačkasti i površinski izvori u topionici bakra, usled prerade koncentrata bakra sa značajnim sadržajem Pb dolazi do epizodnog zagađenja vazduha sa Pb u PM_{10} u danima kada se takvi koncentracije preraduju u topionici. Kao posledica toga na MM JP broj dana sa prekoračnjem dnevne koncentracije Pb u PM_{10} iznosi 19 u negrejnoj i 21 dan u grejnoj sezoni. Na ostalim MM nije bilo prekoračenja dnevnih GV za Pb u PM_{10} osim na MM BR i to 1 dan u grejnoj sezoni. Na svim MM osim na MM KR ne postoji statistički značajna razlika između srednjih vrednosti koncentracija Pb u PM_{10} izmerenih tokom grejne i negrejne sezone ($p > 0.05$, $n = 180$).

Tabela 2. Koncentracije Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) izmerene u negrejnoj i grejnoj sezoni (GV- granična vrednost, NGS - negrejna sezona, GS - Grejna sezona)

Negrejna (NGS)	KR Pb	BR Pb	JP Pb	OS Pb
Srednja vrednost	0.013	0.075	0.366	0.048
Dnevna GV	1.000	1.000	1.000	1.000
Broj dana iznad GV	0	0	19	0
Grejna (GS)	KR Pb	BR Pb	JP Pb	OS Pb
Srednja vrednost	0.023	0.086	0.387	0.048
Dnevna GV	1.000	1.000	1.000	1.000
Broj dana iznad GV	0	1	21	0
Odnos Pb NGS/GS	0.58	0.87	0.95	0.99

Tabela 3. Koncentracije Cd (ng/m^3) izmerene u negrejnoj i grejnoj sezoni
(GV- granična vrednost, NGS - negrejna sezona, GS - Grejna sezona)

Negrejna (NGS)	KR Cd	BR Cd	JP Cd	OS Cd
Srednja vrednost	0.3	1.7	7.4	1.1
Godišnja GV	5.0	5.0	5.0	5.0
Grejna (GS)	KR Cd	BR Cd	JP Cd	OS Cd
Srednja vrednost	0.6	2.1	6.0	1.1
Godišnja GV	5.0	5.0	5.0	5.0
Odnos NGS/GS	0.53	0.81	1.24	1.00

Prosečne dnevne koncentracije Cd u PM_{10} u toku negrejne sezone i grejne sezone prikazane su u tabeli 3. Na osnovu podataka iz tabele 3 može se zaključiti da su koncentracije Cd u PM_{10} na MM JP bile više u toku negrejne sezone u odnosu na one izmerene u grejnoj sezoni. Pošto su glavni izvori emisije Cd tačkasti i površinski izvori u topionici bakra, usled prerade koncentrata bakra sa značajnim sadržajem Cd dolazi do epizodnog zagađenja vazduha Cd u PM_{10} u danima kada se takvi koncentracije prerađuju u topionici. Kao posledica toga na MM JP, koje je na dominantnom pravcu vetra sa najvećom čestinom koji nose zagađenje iz topionice bakra, prekoračena je godišnja GV za koncentraciju Cd u PM_{10} , tokom celog perioda posmatranja. Na ostalim MM nije bilo prekoračenja godišnje GV za koncentraciju Cd u PM_{10} . Na svim MM osim na MM KR ne postoji statistički značajna razlika između srednjih vrednosti koncentracija Cd u PM_{10} izmerenih tokom grejne i negrejne sezone ($p > 0.05$, $n=180$).

Tabela 4. Koncentracije Ni (ng/m^3) izmerene u negrejnoj i grejnoj sezoni
(GV- granična vrednost, NGS - negrejna sezona, GS - Grejna sezona)

Negrejna (NGS)	KR Ni	BR Ni	JP Ni	OS Ni
Srednja vrednost	6.60	12.45	15.41	10.30
Godišnja GV	20	20	20	20
Grejna (GS)	KR Ni	BR Ni	JP Ni	OS Ni
Srednja vrednost	4.44	6.07	13.79	5.69
Godišnja GV	20	20	20	20
Odnos NGS/GS	1.49	2.05	1.12	1.81

Prosečne dnevne koncentracije Ni u PM_{10} u toku negrejne sezone i grejene sezone prikazane su u tabeli 4. Na osnovu podataka iz tabele 4 može se zaključiti da su koncentracije Ni u PM_{10} na svim MM bile više u toku negrejne sezone u odnosu na one izmerene u grejnoj sezoni. Kako Ni u PM_{10} česticama potiče uglavnom iz zemljine kore, a ne od antropogenih aktivnosti, više koncentracije Ni u negrejnoj sezoni posledica su stabilnijeg vremena sa nižom prosečnom brzinom vetra. Nije bilo prekoračenja godišnje GV za koncentraciju Ni u PM_{10} ni na jednom od posmatranih MM. Na svim MM osim na MM JP postoji statistički značajna razlika između srednjih vrednosti koncentracija Ni u PM_{10} izmerenih tokom grejne i negrejne sezone ($p < 0.01$, $n=180$).

Tabela 5. Koncentracije As (ng/m^3) izmerene u negrejnoj i grejnoj sezoni (GV- granična vrednost, NGS - negrejna sezona, GS - Grejna sezona)

Negrejna (NGS)	KR As	BR As	JP As	OS As
Srednja vrednost	3.9	27.9	144.6	17.7
Godišnja GV	6	6	6	6
Grejna (GS)	KR As	BR As	JP As	OS As
Srednja vrednost	7.6	37.4	130.3	18.2
Godišnja GV	6	6	6	6
Odnos NGS/GS	0.51	0.75	1.11	0.97

Prosečne dnevne koncentracije As u PM_{10} u toku negrejne sezone i grejene sezone prikazane su u tabeli 5. Na osnovu podataka iz tabele 5 može se zaključiti da su koncentracije As u PM_{10} na svim MM bile više u toku grejne sezone u odnosu na one izmerene u negrejnoj sezoni izuzev na MM JP. Pošto su glavni izvori emisije As tačkasti i površinski izvori u topionici bakra, usled prerade koncentrata bakra sa značajnim sadržajem As dolazi do epizodnog zagađenja vazduha As u PM_{10} u danima kada se takvi koncentri preraduju u topionici. Kao posledica toga na MM JP, koje je na dominantnom pravcu vetra sa najvećom čestinom koji nose zagađenje iz topionice bakra, srednja godišnja koncentracija As u PM_{10} bila je 20 puta više od godišnje GV. Na svim MM prekoračena je godišnja GV za koncentraciju As u PM_{10} . Na svim MM osim na MM KR ne postoji statistički značajna razlika između srednjih vrednosti koncentracija As u PM_{10} izmerenih tokom grejne i negrejne sezone ($p > 0.05$, $n=180$).

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazani su rezultati ispitivanja koncentracija suspendovanih čestica frakcije PM₁₀ u toku 2020. i 2021. godine koja su vršena prema Programu lokalnog monitoringa kvaliteta vazduha grada Bora na četiri MM na teritoriji grada Bora. Na svim MM je srednje godišnja koncentracija čestica PM₁₀ bila ispod GV za srednje godišnje koncentracije. Na svim MM izuzev MM KR broj dana sa prekoračenjem dnevne GV za koncentracije PM₁₀ bio je ispod dozvoljenog broja od 35 dana godišnje. Na svim MM osim na MM KR postoji statistički značajna razlika između srednjih vrednosti koncentracija PM₁₀ izmerenih tokom grejne i negrejne sezone ($p < 0.01$, $n = 180$). Pošto su prosečne brzine vetra tokom grejne i negrejne sezone bile približno jednake, povećanje koncentracija PM₁₀ u toku grejne sezone posledica je lokalnih izvora za grejanje objekata za stanovanje u blizini MM, izuzev na MM JP na kome su zbog veće čestine vetra iz pravaca NW i NNW zabeležene niže koncentracije PM₁₀ u periodu grejene sezone. Na svim MM prekoračena je godišnja GV za koncentraciju As u PM₁₀ što je posledica prerade koncentrata bakra sa povećanim sadržajem As u topionici bakra. Dobijeni rezultati ukazuju na to da problem zagađenja vazduha sadržajem As u PM₁₀ koji je na MM JP i preko 20 puta viši od godišnje granične vrednosti i dalje postoji i da hitno treba preduzeti mere za njegovo rešavanje u cilju zaštite zdravlja ljudi.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je finansijski podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, Ugovor o realizaciji i finansiranju naučnoistraživačkog rada u 2021. godini za Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, br. 451-03-9/2021-14/200052.

LITERATURA

- [1] D. Jovanović, Prospekcija i analiza eko stanja grada Bora i okoline sa posebnim osvrtom na aerozagađenje, Magistarska teza, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2001.
- [2] J. Marinković, Prilog teorijskom i eksperimentalnom proučavanju ponašanja arsenovih jedinjenja u procesu prženja koncentrata bakra, Magistarska teza, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, 1992.

-
- [3] I. V. Kojo, H. Storch, Copper Production with Outokumpu Flash Smelting: An Update, Sohn International Symposium Advanced Processing of Metals and Materials Volume 8 - International Symposium on Sulfide Smelting 2006; Edited by F. Kongoli and R.G. Reddy TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), 2006.
- [4] V. Tasić, R. Kovačević, M. Jovašević Stojanović, T. Apostolovski Trujić, M. Šteharik, S. Stanković, Analiza suspendovanih čestica (PM10) u gimnaziji „Bora Stanković“ u Boru, Bakar, Vol.40, 1 (2015) 63-74.
- [5] V. Tasić, M. Cocić, B. Radović, A. Božilov, T. Apostolovski-Trujić, Procena uticaja spoljašnjeg zagađenja suspendovanim česticama na kvalitet unutrašnjeg vazduha na Tehničkom fakultetu u Boru, Bakar, Vol. 45, 2 (2020) 19-28.
- [6] V. Tasić, T. Apostolovski-Trujić, R. Kovačević, M. Jovašević-Stojanović, Measuring the concentration of suspended particles (PM10) in the indoor environment using the automatic monitors, Mining and Metallurgy Engineering Bor, 4 (2015) 123-128.
- [7] V. Marjanović, A. Ivanović, V. Cvetković Stamenković, Soot participation in total air pollution in the municipality of Bor with statistical data processing, Mining and Metallurgy Engineering Bor, 3 (2014) 61-72.
- [8] <https://www.environmental-expert.com/products/leckel-model-lvs3-mvs6-small-filter-device-634768> (pristupljeno 05.11.2021.)
- [9] <https://www.glotechwll.com/AJR114DOWN/download-file/LIFETEK-PMS.pdf> (pristupljeno 05.11.2021.)
- [10] SRPS EN 12341:2015 Vazduh ambijenta - Standardna gravimetrijska metoda merenja za određivanje PM10 ili PM2.5 masene koncentracije suspendovanih čestica
https://iss.rs/sr_Cyrl/publication/show/iss:pub:50728 (pristupljeno 05.11.2021.)
- [11] Uredba o uslovima za monitoring i zahtevima kvaliteta vazduha („Sl.glasnik RS“, br. 11/2010, 75/2010 i 63/2013).

UDK: 621.34:681.324(045)=163.41

Primljen: 21.07.2021.

NAUČNI RAD

Prerađen: 07.10.2021.

Oblast: Energetika

Prihvaćen: 15.11.2021.

**PROJEKTOVANJE PREFABRIKOVANIH SPOJEVA ZA
POVEZIVANJE ELEKTRIČNIH KOMPONENTI NA SABIRNICE I
FORMIRANJE 3D MODELA RAZVODNIH ORMANA**

**DESIGN OF PREFABRICATED CONNECTIONS FOR CONNECTING
THE ELECTRICAL COMPONENTS TO BUSBARS AND FORMATION
OF 3D MODELS OF DISTRIBUTION CABINETS**

Lazar Kojić¹, Vladimir Karanović², Bojan Janković³, Jovan Trifunović⁴

¹Elektroistok – Projektni biro d.o.o., Beograd,
e-mail: lazar.kojic@eipb.rs

²Legrand Electric d.o.o., Beograd,
e-mail: vladimir.karanovic@legrandelectric.com

³Legrand Slovensko s.r.o., Bratislava,
e-mail: bojan.jankovic@legrandelectric.com

⁴Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet, Beograd,
e-mail: jovan.trifunovic@etf.rs

Izvod

Narastajući trend u svetskoj projektantskoj praksi je da se postrojenja i oprema prikazuju pomoću 3D modela, čime se stiče bolji utisak o stvarnim gabaritima postrojenja i prostornom razmeštaju opreme. Cilj ovog rada je da na konkretnom primeru predstavi način formiranja 3D modela razvodnog ormara upotrebom naprednih softverskih alata. U cilju kompletiranja 3D modela razvodnog ormara, kao i unapređenja mogućnosti postojećih alata za 3D modelovanje, u radu je korak po korak prikazan način projektovanja prefabrikovanog spoja za povezivanje električnih komponenti na sabirnice. Ovaj rad može pomoći iskusnim projektantima da lakše usvoje nove tehnike projektovanja i prikazivanja razvodnih ormara upotrebom naprednih softverskih alata. Osim toga, on može biti od koristi projektantima koji se po prvi put susreću sa projektovanjem razvodnih ormara, jer je u radu detaljno predstavljen i redosled koraka projektovanja prefabrikovanih spojeva konkretnog industrijskog postrojenja 0,4 kV, 4 kA u saglasnosti sa standardom IEC 61439.

Ključne reči: razvodni orman, 3D model, projektovanje prefabrikovanog spoja, Legrand electric, IEC 61439

Abstract

A growing trend in the worldwide design practice is to present the plants and equipment through 3D models, what results into better impression on the actual dimensions of the plant and spatial arrangement of the equipment. The aim of this work is to present, through a particular example, the process of creating a 3D model of distribution cabinet using the advanced software

tools. In order to complete the 3D model of a distribution cabinet, as well as to improve the abilities of the existing 3D modelling tools, the design process of a prefabricated connection for connecting the electrical components to busbars is shown step by step in this work. This work can be helpful to the experienced designers to more easily adopt the new techniques for design and presentation the distribution cabinets using the advanced software tools. Besides, it can be useful for designers which are for the first time facing the distribution cabinets design process, because the order of steps for design a prefabricated connection for particular industrial plant 0.4 kV, 4 kA, in accordance with the standard IEC 61439, is shown in detail in this work.

Keywords: *distribution cabinet, 3D model, designing prefabricated joint, Legrand electric, IEC 61439*

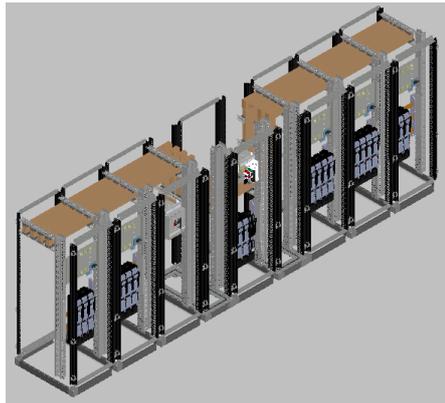
1. UVOD

U poslednje vreme sve češći su zahtevi da se pri projektovanju elektroenergetskih postrojenja formiraju 3D modeli postrojenja i opreme unutar njega. Formiranjem 3D modela elektroenergetskog postrojenja stiže se bolji utisak o njegovim gabaritima i prostornom razmeštaju opreme, a dobija se i mogućnost da se projekat na jednostavan način predstavi licima koja nisu usko specijalizovana za predmetnu oblast. Ipak, najveća korist je u tome što se mogu preduprediti eventualni problemi prilikom instaliranja i povezivanja opreme. U ovom radu prikazano je formiranje 3D modela razvodnog ormara konkretnog industrijskog postrojenja opisanog u radu L. Kojića i koautora [1]. Korak po korak je prikazan način projektovanja prefabrikovanih spojeva za povezivanje električnih komponenti u razvodnom ormaru na sabirnice, u saglasnosti sa standardom IEC 61439 [2,3], kao i formiranje 3D modela prefabrikovanog spoja u AutoCAD-u.

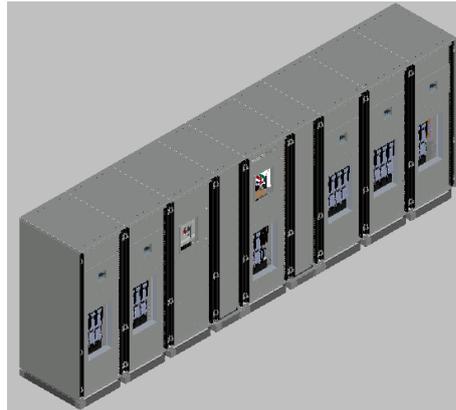
2. FORMIRANJE 3D MODELA RAZVODNIH ORMARA

Radi boljeg uvida u izgled razvodnog ormara, kao i sticanja utiska o njegovim gabaritima i prostornom razmeštaju opreme unutar njega, potrebno je formirati 3D model razvodnog ormara u AutoCAD-u. Kompanija Legrand electric poseduje specijalizovan softverski alat za projektovanje razvodnih ormara XL Pro³ 6300 [4], ali on nema mogućnost eksportovanja 3D modela razvodnog ormara u AutoCAD fajl. Inženjeri kompanije Legrand electric Srbija u saradnji sa Elektrotehničkim fakultetom Univerziteta u Beogradu razvili su radnu verziju pomoćnog softverskog alata za formiranje 3D modela razvodnog ormara, koji na osnovu projekta urađenog u softverskom alatu XL Pro³ 6300 formira 3D model takvog razvodnog ormara u AutoCAD-u. Pomenuti softverski alat na osnovu prosleđenog XL Pro³ dokumenta (koji sadrži 2D crteže karakterističnih preseka projektovanog razvodnog ormara (neki od njih su za predmetni primer prikazani u [1]), proračune i podatke o izabranim komponentama) očitava komponente koje su upotrebljene u realizovanom projektu razvodnog ormara i iz svoje baze podataka povlači 3D modele tih

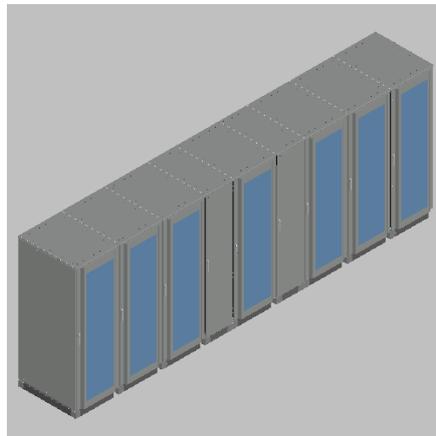
komponenti i raspoređuje ih na odgovarajući način. Na slikama 1, 2 i 3 prikazani su 3D modeli predmetnog razvodnog ormara u različitim fazama montaže, koji su dobijeni opisanim postupkom.



Sl. 1. 3D model razvodnog ormara bez vrata i zaštitnih ploča



Sl. 2. 3D model razvodnog ormara sa zaštitnim pločama



Sl. 3. 3D model razvodnog ormara sa vratima i zaštitnim pločama

Da bi 3D model razvodnog ormara bio kompletan potrebno je formirati 3D modele prefabrikovanih spojeva kojima se električne komponente unutar razvodnog ormara povezuju na sabirnice. Softverski alat XL Pro³ 6300 nema mogućnost odabira i/ili projektovanja tog elementa, a tu mogućnost još uvek nema ni pomenuta radna verzija pomoćnog softverskog alata za formiranje 3D modela razvodnog ormara. U nastavku rada prikazan je proces projektovanja prefabrikovanih spojeva i formiranje 3D modela u AutoCAD-u. Namera je da se

na osnovu tog procesa pomenuta radna verzija pomoćnog softverskog alata za formiranje 3D modela razvodnih ormara u budućnosti unapredi mogućnošću automatskog projektovanja pomenutih prefabrikovanih spojeva i formiranja njihovih 3D modela.

3. PROJEKTOVANJE PREFABRIKOVANOG SPOJA

Kako bi se električne komponente u razvodnom ormanu povezale sa sabirnicama neophodno je isprojektovati prefabrikovane provodne spojeve za njihovo povezivanje. Projektovanje prefabrikovanih spojeva vrši se na osnovu potrebnog maksimalno trajno dozvoljenog strujnog opterećenja spoja i razmeštaja opreme unutar ormara, a sve u skladu sa važećim IEC standardima [2, 3].

Pri projektovanju prefabrikovanog spoja neophodno je odrediti tri osnovna ulazna podatka:

- 1) potrebnu površinu poprečnog preseka prefabrikovanog spoja, koja se određuje na osnovu potrebnog maksimalno trajno dozvoljenog strujnog opterećenja spoja;
- 2) način povezivanja na sabirnice i na prekidač, odnosno potreban broj i vrstu šrafova;
- 3) način savijanja bakarnih šina.

3.1. Određivanje površine poprečnog preseka prefabrikovanog spoja

Za određivanje potrebnog broja i preseka bakarnih šina za formiranje prefabrikovanog spoja mogu se koristiti preporuke iz priručnika [5] koje u sebi sadrže ispunjenje relevantnih IEC standarda [2,3]. U Tabeli 1 prikazan je potreban broj i presek bakarnih šina u zavisnosti od potrebnog strujnog opterećenja i vrste ormara u kojem se nalazi prefabrikovani spoj. Ukoliko se u Tabeli 1 ne nalazi standardno rešenje za neki posmatrani slučaj, prefabrikovani spoj treba projektovati tako da dozvoljena gustina struje paketa šina treba da bude u opsegu 1-3 A/mm² [5].

U posmatranom projektu razvodnog ormara potrebno je projektovati prefabrikovani spoj koji spaja glavni prekidač postrojenja sa glavnim sabirnicama.

Na osnovu poznate informacije o nazivnoj snazi transformatora u postrojenju ($S_n = 2500$ kVA, $I_n = 3436,6$ A) [1] odabran je prekidač sa integrisanom zaštitnom funkcijom prve veće nazivne struje – 4000 A. Na osnovu toga projektuje se prefabrikovani spoj čije je maksimalno trajno dozvoljeno strujno opterećenje takođe 4000 A.

Prema Tabeli 1 za izradu prefabrikovanog spoja, čije je strujno opterećenje 4000 A, treba upotrebiti 3 bakarne šine dimenzija 120 × 10 mm. Međutim,

ograničavajući faktor za širinu šine je širina priključka na prekidaču (slika 4) koja u ovom slučaju iznosi 100 mm. U ovakvom slučaju mora se primeniti nestandardno rešenje upotrebom 4 šine dimenzija 100×10 mm, čime se ostvaruje ukupna površina poprečnog preseka od 4000 mm^2 . Za maksimalno trajno dozvoljeno strujno opterećenje od 4000 A ima se gustina struje od 1 A/mm^2 , čime je zadovoljen uslov da se ta vrednost nalazi u opsegu $1\text{--}3 \text{ A/mm}^2$.

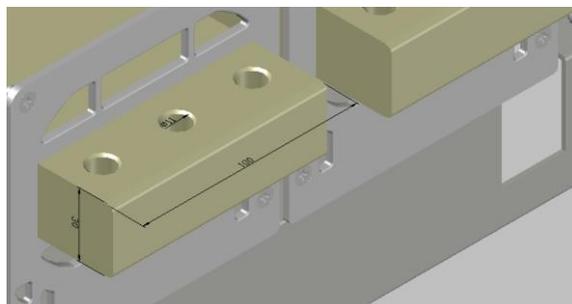
Na osnovu prethodno navedenog razmatranja, zaključuje se da za izradu prefabrikovanog spoja jedne faze treba upotrebiti 4 bakarne šine dimenzija poprečnog preseka 100×10 mm.

Tabela 1. Maksimalno trajno dozvoljena strujna opterećenja grupisanih bakarnih šina [5]

I_e [A], IP \leq 30	I_{the} [A], IP $>$ 30	Broj	Dimenzije [mm]	I^2t [A^2s]	I_{cw1s} [A]
950	850	1	50×10	$4,56 \times 10^9$	67500
1680	1470	2	50×10	$1,82 \times 10^{10}$	135000
2300	2030	3	50×10	$4,10 \times 10^{10}$	202500
1150	1020	1	60×10	$6,56 \times 10^9$	81000
2030	1750	2	60×10	$2,62 \times 10^{10}$	162000
2800	2400	3	60×10	$5,90 \times 10^{10}$	243000
1460	1270	1	80×10	$1,17 \times 10^{10}$	108000
2500	2150	2	80×10	$4,67 \times 10^{10}$	216000
3450	2900	3	80×10	$1,05 \times 10^{11}$	324000
1750	1500	1	100×10	$1,82 \times 10^{10}$	135000
3050	2550	2	100×10	$7,29 \times 10^{10}$	270000
4150	3500	3	100×10	$1,64 \times 10^{11}$	405000
2000	1750	1	120×10	$2,62 \times 10^{10}$	162000
3600	2920	2	120×10	$1,05 \times 10^{11}$	324000
4800	4000	3	120×10	$2,63 \times 10^{11}$	486000

Gde su prema IEC standardu:

- I_e - Nazivna radna struja koja se uzima u obzir u kućištima sa prirodnom ventilacijom ili u ormanima sa indeksom zaštite IP \leq 30 (ambijentalna temperatura $< 25^\circ\text{C}$);
- I_{the} - Termička struja u kućištu koje odgovara najtežim uslovima ugradnje (zatvorena kućišta koja ne dozvoljavaju prirodnu ventilaciju vazduha, indeks zaštite IP $>$ 30 (ambijentalna temperatura $< 50^\circ\text{C}$));
- I^2t - Dozvoljeni toplotni impuls;
- I_{cw1s} - Dozvoljena jednosekundna struja.



Sl. 4. Izgled priključka prekidača

3.2. Način povezivanja prefabrikovanog spoja

Način povezivanja prefabrikovanog spoja na glavne sabirnice i na prekidač može se odabrati koristeći priručnik za montažu ormara [6].

Način povezivanja prefabrikovanog spoja i prekidača određen je samim izgledom priključka na prekidaču datog na slici 4. Dimenzije priključka su 30×100 mm na kojem se nalaze 3 rupe prečnika 11 mm.

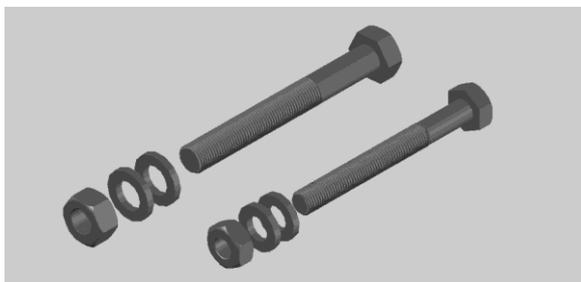
Tabela 2. Preporučene vrednosti za karakteristike šrafova i preporučeni zatezni momenti [6]

Debljina šine	I [A]		Širina šine [mm]	Min. br. šrafova	Šraf Φ [mm]	Klasa kvaliteta	Moment zatezanja [Nm]
	1 šina	2 i više šina					
5 mm	1,5	-	< 25	1	M8	8-8	15/20
	< 400	-	< 32	1	M10	6-8	30/35
				2	M6	8-8	10/15
	< 630	-	< 50	1	M12	6-8	50/65
				2	M10	6-8	30/35
				2	M8	8-8	15/20
	800	1250	< 80	4	M8	8-8	15/20
				4	M10	6-8	30/35
1000	1650	< 100	4	M10	8-8	40/50	
			2	M12	6-8	50/60	
1600	2000	< 125	3	M12	6-8	50/60	
10 mm	-	2500	< 80	3	M12	8-8	70/85
	-	3200	< 100	4	M12	8-8	70/85
	-	4000	< 125	6	M12	8-8	70/85

Na osnovu dimenzija priključka prekidača (3 rupe prečnika 11 mm) i debljine šina prefabrikovanog spoja (4×10 mm) za povezivanje prekidača i prefabrikovanog spoja koriste se 3 šrafa M10, dužine 88 mm, sa po dve podloške i jednom maticom.

Povezivanje glavnih sabirnica, koje se sastoje od 4 šine dimenzija 120×10 mm na međusobnom rastojanju od 10 mm [1] i prefabrikovanog spoja, prema Tabeli 2 treba izvršiti upotrebom 6 šrafova M12, dužine 98 mm, sa po dve podloške i jednom maticom.

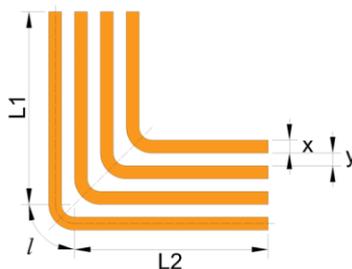
U AutoCAD-u su napravljeni 3D modeli šrafova sa maticama i podloškama prokazani na slici 5.



Sl. 5. Kompleti za povezivanje M12 i M10

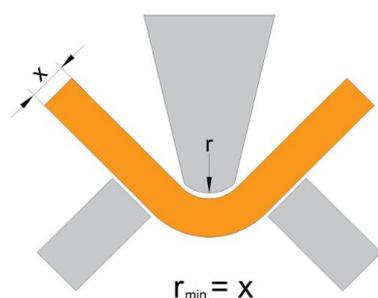
3.3. Načini savijanja i raspored šina

Da bi šine u paketu bile raspoređene na odgovarajući način, neophodno je ispoštovati određene zahteve koji se tiču rastojanja između šina i dozvoljenih poluprečnika krivine savijene šine. Predlog za raspored šina u paketu dat je na slici 6. Raspored šina u paketu treba da bude takav da se šine debljine x nalaze na međusobnom rastojanju y , gde je $x \leq y$ [5]. Ukupna dužina šine pre savijanja je zbir pravih delova šine ($L_1 + L_2$) i luka l .

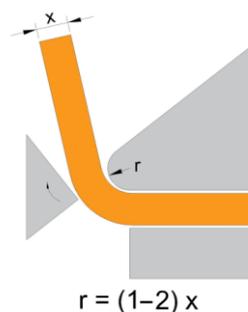


Sl. 6. Predlog rasporeda šina u paketu

Na slikama 7 i 8 prikazana su dva alata kojima se vrši savijanje bakarnih šina. U zavisnosti od potrebnog poluprečnika krivine bira se odgovarajući alat. Za prvi alat minimalan poluprečnik krivine (r_{min}) je x , a za drugi alat poluprečnik krivine (r) se kreće u opsegu $(1-2) x$ (x – debljina šine) [5].



Sl. 7. Alati za savijanje $r = x$



Sl. 8. Alati za savijanje $r = (1-2) x$

Poštovanjem zahteva za određenim rastojanjima između šina ispunjava se zahtev za boljim hlađenjem paketa šina, a zahtev za dozvoljenim poluprečnicima krivina sprečava oštećenje materijala na mestu savijanja šine.

Poznavanjem poluprečnika krivina i debljine šine može se lako proračunati dužina luka l koristeći formule 1 i 2.

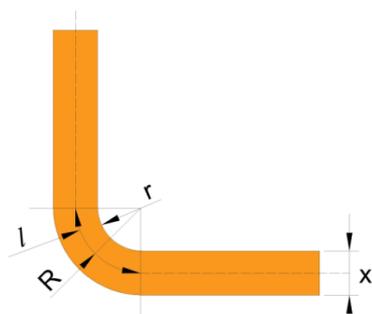
$$\text{za } \alpha = 90^\circ \quad l = \frac{\pi}{4} \cdot (2 \cdot r + x) \quad (1)$$

$$\text{za } \alpha > 90^\circ \quad l = \frac{\pi \cdot (180 - \alpha)}{360} \cdot (2 \cdot r + x) \quad (2)$$

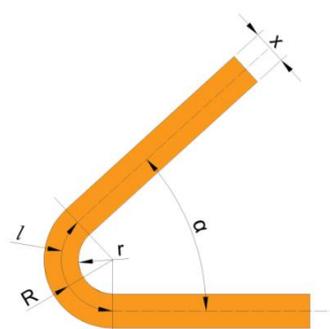
gde je:

- α - ugao savijanja šine [$^\circ$];
- r - poluprečnik krivine [mm];
- x - debljina šine [mm].

Na slikama 9 i 10 prikazane su bakarne šine za slučaj savijanja od 90° i savijanja za ugao veći 90° [5].



Sl. 9. Proračun dužine luka l za $\alpha = 90^\circ$



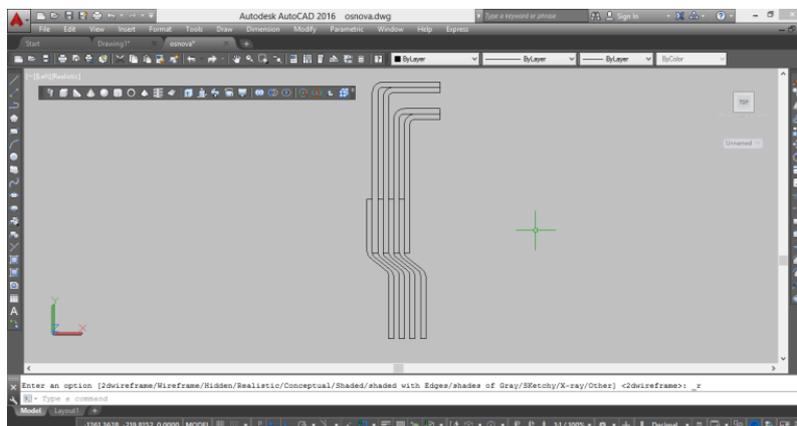
Sl. 10. Proračun dužine luka l za $\alpha > 90^\circ$

Izračunavanjem dužine luka i poznavanjem dužina pravih delova šine (L_1 i L_2) može se odrediti potrebna dužina šine pre savijanja (L_1+L_2+l).

Pri projektovanju predmetnog prefabrikovanog spoja ispoštovani su uslovi minimalnih rastojanja između bakarnih šina tako što su šine debljine 10 mm postavljene na međusobnom rastojanju od 10 mm ($x = y$). Poluprečnici krivina savijenih šina su takođe 10 mm ($r = x$). Konačan oblik prefabrikovanog spoja određen je prostornim rasporedom komponente i sabirnica u razvodnom ormanu. Njegov izgled u posmatranom slučaju prikazan je u sledećem poglavlju, u kojem je objašnjen sledeći korak projektovanja – formiranje 3D modela prefabrikovanog spoja.

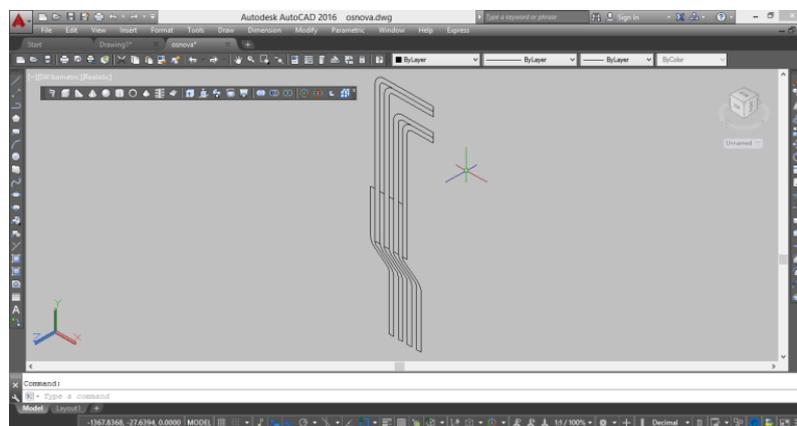
3.4. Formiranje 3D modela prefabrikovanog spoja u programskom paketu AutoCAD

Prvi korak pri formiranju 3D modela prefabrikovanog spoja u programskom paketu AutoCAD je da se u XY ravni nacrtaju uzdužni presek prefabrikovanog spoja jedne faze čije su dimenzije dobijene procedurom opisanom u poglavljima 3.1–3.3 (slika 11).



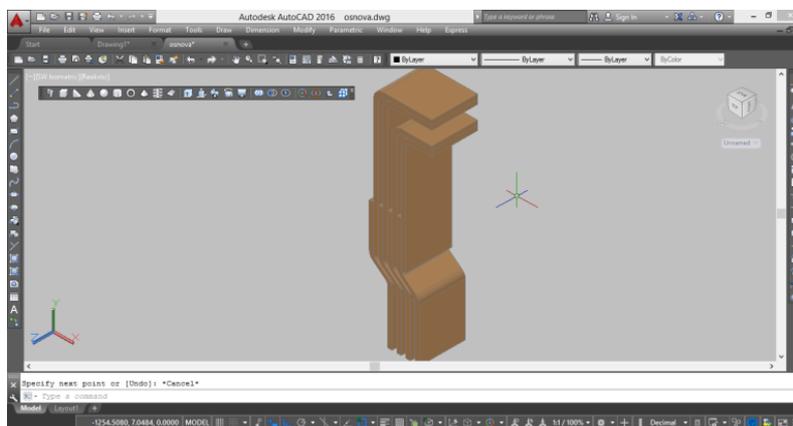
Sl. 11. Prvi korak formiranja 3D modela

Kada je nacrtan uzdužni presek prefabrikovanog spoja u 2D, potrebno je XY ravan zarotirati za proizvoljan ugao (slika 12) i na njega primeniti komandu EXTRUDE.



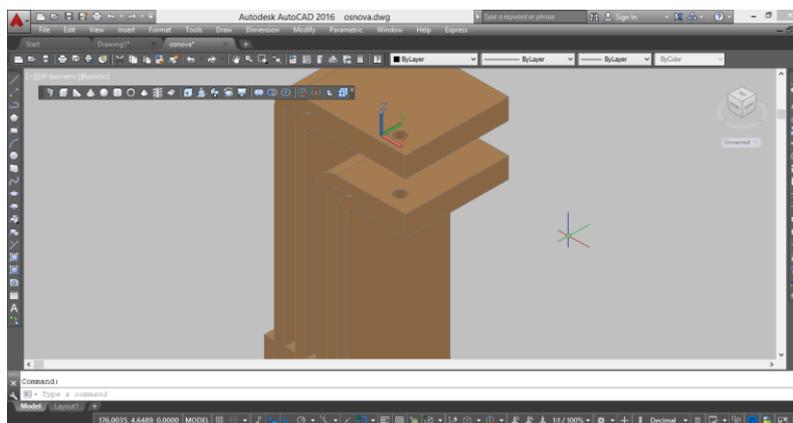
Sl. 12. Zarotiran uzdužni presek

Komandom EXTRUDE 2D crtežu se „dodaje“ treća dimenzija, odnosno primenom ove komande vrši se izduživanje crteža po Z osi (slika 13).



Sl. 13. 3D model prefabrikovanog spoja

Da bi model prefabrikovanog spoja bio kompletan neophodno je „probušiti“ rupe na odgovarajućim mestima gde je predviđeno da budu postavljeni šrafovi. „Bušenje“ rupa vrši se komandama CYLINDER i SUBTRACT. Komandom CYLINDER potrebno je nacrtati valjak odgovarajućeg prečnika na mestu na kojem treba „izbušiti“ rupu. Valjak treba da bude iste ili veće dužine od debljine objekta koji treba da bude „probušen“. Primenom komande SUBTRACT vrši se „bušenje“ željenog objekta (slika 14).

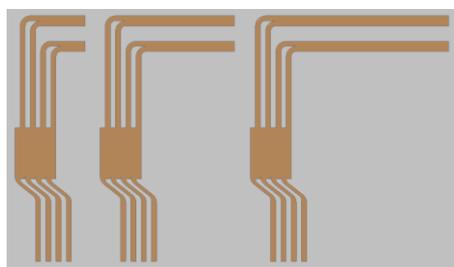


Sl. 14. Izbušena rupa na prefabrikovanom spoju

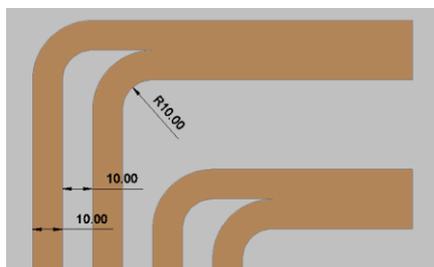
Na ovaj način formiran je model prefabrikovanog spoja jedne faze. Na prethodno opisan način formirani su modeli prefabrikovanih spojeva za sve tri faze.

Da bi se lakše uočio raspored šina u paketu i da bi se pokazalo da su svi prethodno pobrojani zahtevi za rasporedom šina u paketu ispoštovani, na slici 15 prikazan je 2D model prefabrikovanog spoja u XY ravni.

Na slici 16 prikazan je detalj na kome se lako može uočiti da se šine debljine 10 mm nalaze na međusobnom rastojanju od 10 mm, čime je ispunjen zahtev za optimalnim rasporedom šina u paketu. Horizontalni deo u kojem su dve šine spojene uslovljen je izgledom priključka prekidača (slika 4). Takođe se može uočiti da je poluprečnik krivine savijene šine 10 mm, što je debljina same šine pa je ispunjen zahtev za dozvoljenim poluprečnikom krivine savijene šine.



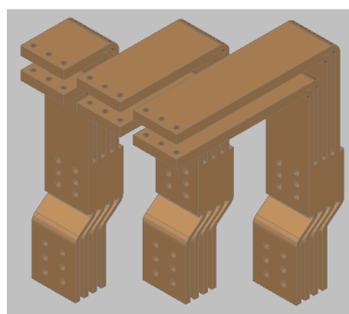
Sl. 15. 2D prikaz prefabrikovanog spoja



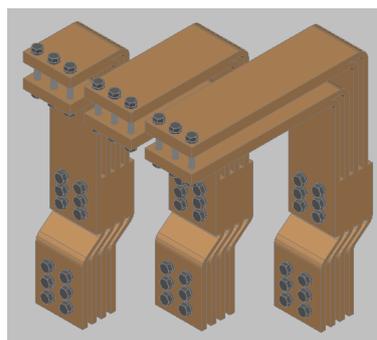
Sl. 16. Detalj rasporeda šina

Nakon formiranja 3D modela prefabrikovanog spoja, kao i formiranja 3D modela šrafova upotrebom sličnog postupka, u AutoCAD-u je formiran 3D model prefabrikovanog spoja za predmetni razvodni orman prikazan na slikama 17 i 18. Formirani 3D model prefabrikovanog spoja pridružen je bazi podataka pomoćnog softverskog alata za 3D modelovanje razvodnih ormara.

Formiranjem 3D modela prefabrikovanog spoja kompletiran je 3D model razvodnog ormara prikazan na slikama 1, 2 i 3.

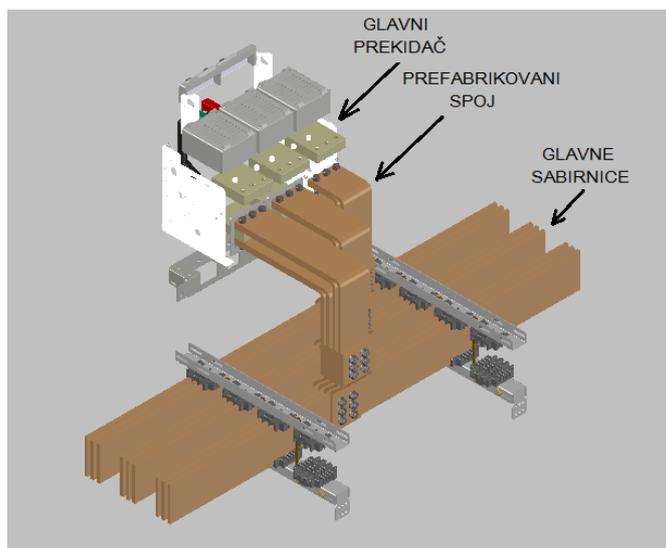


Sl. 17. 3D model prefabrikovanog spoja



Sl. 18. Prefabrikovani spoj sa šrafovim

Detalj glavnog prekidača povezanog prefabrikovanim spojem na glavne sabirnice prikazan je na slici 19.



Sl. 19. Detalj priključenja glavnog prekidača na glavne sabirnice

4. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je bio da prikaže savremen način projektovanja razvodnih ormara i formiranje 3D modela uz upotrebu naprednih softverskih alata napravljenih za tu namenu. Formiranje 3D modela razvodnog ormara predstavljeno je na konkretnom primeru razvodnog ormara industrijskog postrojenja, korišćenjem softverskih alata XL Pro³ 6300, radne verzije pomoćnog softverskog alata za 3D modelovanje (koju razvijaju inženjeri kompanije Legrand electric Srbija u saradnji sa Elektrotehničkim fakultetom Univerziteta u Beogradu) i AutoCAD-a. U cilju poboljšanja performansi procesa projektovanja pomoću softverskog alata XL Pro³ 6300, kao i otklanjanja nedostataka tog procesa, prikazan je način projektovanja i formiranja 3D modela prefabrikovanih spojeva za povezivanje električnih komponenti razvodnog ormara na sabirnice.

U daljem razvoju pomenutog pomoćnog softverskog alata za 3D modelovanje potrebno je napraviti što veću bazu 3D modela prefabrikovanih spojeva kako bi se ostvarila mogućnost njihovog automatskog odabira i integracije u 3D model razvodnog ormara.

Doprinos ovog rada svetskoj projektantskoj praksi biće vidljiv kada bude bio završen razvoj pomenutog pomoćnog softverskog alata za 3D modelovanje kompanije Legrand electric, uzimajući u obzir da ova kompanija posluje u više od 180 zemalja sveta.

ZAHVALNOST

Predstavljeni rezultati su delimično dobijeni istraživanjima koja su sprovedena u okviru projekta TR 36018 finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] L. Kojić, V. Karanović, B. Janković, J. Trifunović, Projektovanje niskonaponskih elektroenergetskih razvodnih ormana upotrebom softverskog alata XL Pro3 6300, Bakar, Vol.45, 1 (2020) 63-78.
- [2] IEC 61439-1:2011 Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 1: „General rules“
- [3] IEC 61439-2:2011 Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 2: „Power switchgear and controlgear assemblies“
- [4] Legrand electric „User manual XL Pro3“, Limoges, France, 2016.
- [5] Legrand electric „Power Guide - Book 12 – Busbars and distribution“, Limoges, France, 2009.
- [6] Legrand electric workshop specifications „Construction and certification of assemblies in accordance with IEC 61439 – 1 & 2“, Limoges, France, 2015.

UDK: 621.391:681.324(045)=163.41

Primljen: 07.10.2021.

NAUČNO-STRUČNI RAD

Prerađen: 22.11.2021.

Oblast: Energetika

Prihvaćen: 23.11.2021.

**RAZVOJ UPRAVLJAČKO NADZORNIH SISTEMA
- IZAZOVI I TENDENCIJE**

**THE DEVELOPMENT OF SUPERVISORY CONTROL SYSTEMS -
CHALLENGES AND TENDENCIES**

Stanko P. Stankov

Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Katedra za automatiku

Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija,

e-mail: stanko.stankov@elfak.ni.ac.rs

Izvod

Programabilni logički kontroleri (PLC) su u poslednje tri decenije najčešće primenjivani uređaji u rešavanju zadataka vezanih za automatizaciju industrijskih postrojenja i upravljanje procesima. Oni su osnovni elementi SCADA sistema. Memorijski kapacitet i računarske mogućnosti kontrolera omogućavaju primenu veoma složenih algoritama i upravljanje vrlo kompleksnim procesima. Savremene strukture upravljanja, zasnovane na PLC i SCADA sistemima, imaju povećanu sigurnost i programsku fleksibilnost, daju mogućnost promene osnovnih parametara ili koncepcije celog upravljačkog sistema, brzo prilagođavanje novonastalim stanjima i implementaciju novih saznanja do kojih se dolazi tokom praćenja rada, zahvaljujući činjenici da se sve te promene vrše softverski. Uporedo s razvojem upravljačko-nadzornih sistema nametnula se i potreba za zaštitom podataka koji se prihvataju, obrađuju i prenose. Prikazani su aktuelni problemi i trendovi u ovoj oblasti i zaštitne mere koje se preduzimaju za prevazilaženje problema.

Ključne reči: upravljanje, nadzor, podaci, SCADA, zaštitni zid

Abstract

In the last three decades, the programmable logic controllers (PLCs) have been the most commonly used devices in solving tasks related to the automation of industrial plants and process control. They are the basic elements of the SCADA system. The memory capacity and computing capabilities of a controller enable t application of very complex algorithms and management of very complex processes. Modern control structures, based on the PLC and SCADA systems, have increased security and software flexibility; they provide the ability to change the basic parameters or concepts of the entire control system, quickly adapt to the new conditions and implement a new knowledge gained during monitoring, due to the fact that all these changes are performed by the software. Along with development the management and supervisory systems, there was a need to protect the data that is accepted, processed and transmitted. Current problems and trends in this area and protective measures taken to overcome the problems are presented.

Keywords: control, supervision, data, SCADA, firewall

1. UVOD

Prošlo je više od pola veka kako se pojavio prvi procesni računar - programabilni logički kontroler. Danas ovi uređaji imaju dominantnu ulogu u upravljanju tehnološkim procesima i tehničkim sistemima. Oni su nezaobilazni elementi u savremenim sistemima automatske regulacije, bilo da se radi o jednostavnijim procesima i zahtevima kada se koriste kontroleri skromnijih mogućnosti, bilo da su u pitanju kompleksni tehnološki procesi sa strogim zahtevima, pri čemu se primenjuju kontroleri visokih performansi pomoću kojih se mogu rešavati izuzetno složeni problem, uz implementaciju odgovarajućih zakona upravljanja. Ovi uređaji su proizvodi eminentnih svetskih korporacija, a odlike su im izuzetna pouzdanost, funkcionalnost, fleksibilnost, kompaktnost, velika brzina, robustnost u pogledu napona napajanja, uslova ambijenta i manipulacije, zaštita od smetnji u vrlo nepovoljnim uslovima industrijskog okruženja, razvijeni protokoli komunikacije otporni na smetnje koje se javljaju u radu teških i industrijskih pogona, brz razvoj aplikacija, dijagnoza kvarova i grešaka.

Kod visoko rizičnih postrojenja primena redundantnih (dupleks) sistema eliminiše opasnost od otkaza upravljačke logike [1]. Upravljački sistemi realizovani s PLC-om su skladni i malih dimenzija što omogućava jednostavnu montažu i premeštanje sistema u slučaju potrebe. Ovakav sistem ima pogodnosti i u softverskom pogledu imajući u vidu činjenicu da se lako može proširiti saglasno potrebama korisnika i da je orijentisan prema korisniku (user friendly), s naglašenom osobinom intuitivnosti, što u potpunosti zadovoljava savremene zahteve: brza izmena upravljačke funkcije bez promene hardvera upravljačkog sistema, relativno jednostavnim izmenama izvršnog programa ili njegovom potpunom zamenom [2].

Potpuna vizuelizacija procesa bila je oduvek težnja i projektanata upravljačkog sistema i neposrednog korisnika. Klasični upravljački sistemi pružali su operateru podatke o procesu (objektu upravljanja) preko signalnih sijalica ili dioda koje su označavale određene radne režime i nivoe, ili pak neke kritične vrednosti tehnoloških veličina i parametara. Tu su još razni alfanumerički indikatori kao i digitalni i analogni pokazivači.

SCADA (Supervisory control and data acquisition) sistemi kao interfejs mašina-čovek, naprećac su osvojili i projektante aplikacija i korisnike izuzetnim mogućnostima vizuelnog predstavljanja objekata upravljanja i animiranja procesa, sa efektima koji doprinose lakšem praćenju, boljem sagledavanju i razumevanju tehnoloških procesa. Ovaj računarski sistem za upravljanje i nadzor objedinjuje mehanizme za akviziciju podataka sa sistemima za prenos podataka i grafičkim softverom, kako bi se iz jednog centra vršilo nadgledanje i upravljanje određenim procesom u realnom vremenu.

Razvoj upravljačko-nadzornog sistema je relativno složen zadatak, pogotovo ako se radi o kompleksnom postrojenju gde se javlja veliki broj raznih merno-akvizicionih i upravljačkih uređaja koje treba povezati u funkcionalnu celinu. SCADA sistem je kombinacija hardverskih komponenti i programskih rešenja koja omogućava lokalno ili daljinsko upravljanje parametrima i procesnim veličinama tehnoloških procesa u raznim industrijskim granama. SCADA je u direktnoj komunikaciji sa elementima automatizacije u polju (senzori, granični prekidači, termostati, kontakti manometri, presostati, klapne, motori, pumpe, elektropneumatski elementi, itd.) [1-3].

Od SCADA softvera se istovremeno zahteva, s jedne strane, da omogući jednostavno specificiranje funkcionalnih celina sistema i pojedinih elemenata u okviru njih kao i optimalan operatorski interfejs, a s druge strane, da obezbedi intuitivno grafičko okruženje, animiranje procesa, real-time i hronološko praćenje relevantnih veličina, generisanje alarma, akviziciju i skladištenje podataka, analizu tih podataka, formiranje smenskih, dnevnih i periodičnih izveštaja. Realizacijom nadzora i upravljanja procesom obezbeđuje se [3,4]: vizuelizacija statusa pogona i merenja bitnih veličina i parametara u postrojenju; prijem, obrada i prikaz procesnih merenja; trend prikaz procesnih merenja; hronologija događaja i analiza; praćenje i obrada signala upozorenja i alarma; generisanje i prezentovanje izveštaja; dodatne funkcije po zahtevu korisnika.

2. KONCIPIRANJE I REALIZACIJA UPRAVLJAČKO - NADZORNOG SISTEMA

Razvoj i implementacija upravljačkog sistema za konkretan proces odvija se u nekoliko koraka: koncipiranje idejnog rešenja upravljačkog sistema prema specifičnostima procesa; planiranje hardverske konfiguracije (izbor opreme prema idejnom rešenju upravljačkog sistema) i izrada projekta; ugradnja uređaja i opreme u razvodne ormare; kreiranje upravljačkog softvera (program za PLC na osnovu koga se upravlja procesom); kreiranje nadzornog softvera (vizuelizacija upravljanog procesa, animacija i programska podrška za operatere); puštanje upravljačko-nadzornog sistema u rad; izrada uputstava za rad, namenjenih službi održavanja i operaterima [1,2].

Kriterijumi za izbor upravljačkog sistema su sledeći:

- Kompleksnost procesa kojim se upravlja. U vezi s tim se vrši planiranje konfiguracije: snaga procesora, kapacitet memorije, broj diskretnih ulaza i izlaza, broj analognih ulaza i izlaza, kao i izlaza s širinskom impulsnom modulacijom, broj tajmera, brojača, internih bitova, sata realnog vremena.

- Brzina obrade podataka (vreme trajanja ciklusa i dužina programa).

- Modularnost i mogućnost proširenja arhitekture, mogućnost povezivanja u mrežu i daljinsko upravljanje.

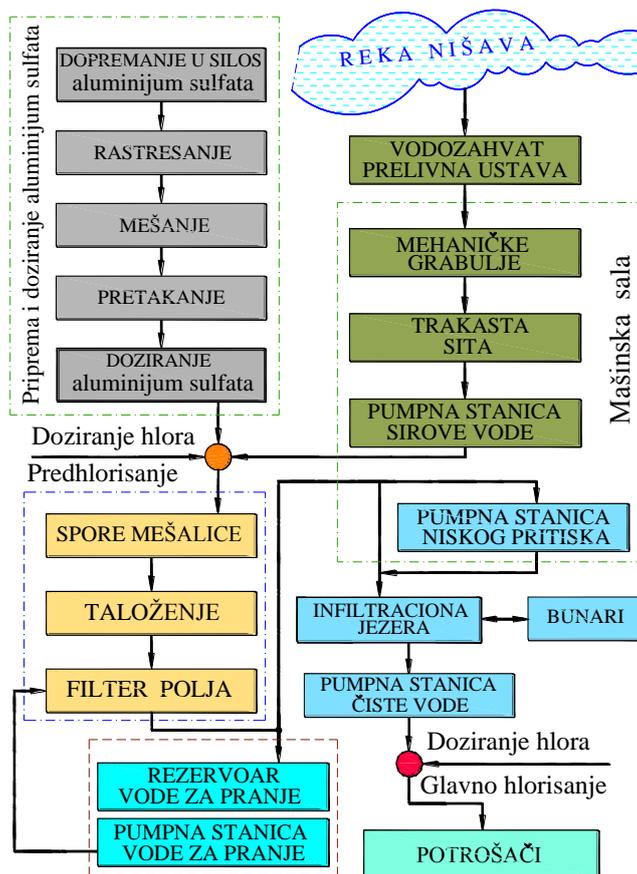
- Pouzdanost u uslovima industrijskog okruženja, obrada prekida po određenoj proceduri u realnom vremenu, zaštita od smetnji, zaštita od nekompetentnih akcija operatera, zaštita ulaza i izlaza, vizuelizacija stanja ulaza i izlaza, arhiviranje podataka, organizacija „watch dog“-a za praćenje vremena ciklusa i određenih operacija.

- Složenost obrade podataka, repertoar naredbi i funkcionalnih blokova, aritmetika s pokretnim zarezom, obrada analognih veličina – filtriranje, linearizacija i aproksimacija, PID regulatori, fazi logika, nelinearne funkcije, i dr.

- Jednostavno puštanje u rad i održavanje sistema.

- Cena konfiguracije, raspoloživost, vreme potrebno za implementaciju i obuku.

Ilustracije radi dat je primer upravljačko - nadzornog sistema fabrike vode „Mediana 2“ u Nišu. Blok šema vodovodnog sistema „Mediana 2“ je prikazana na slici 1 [2].



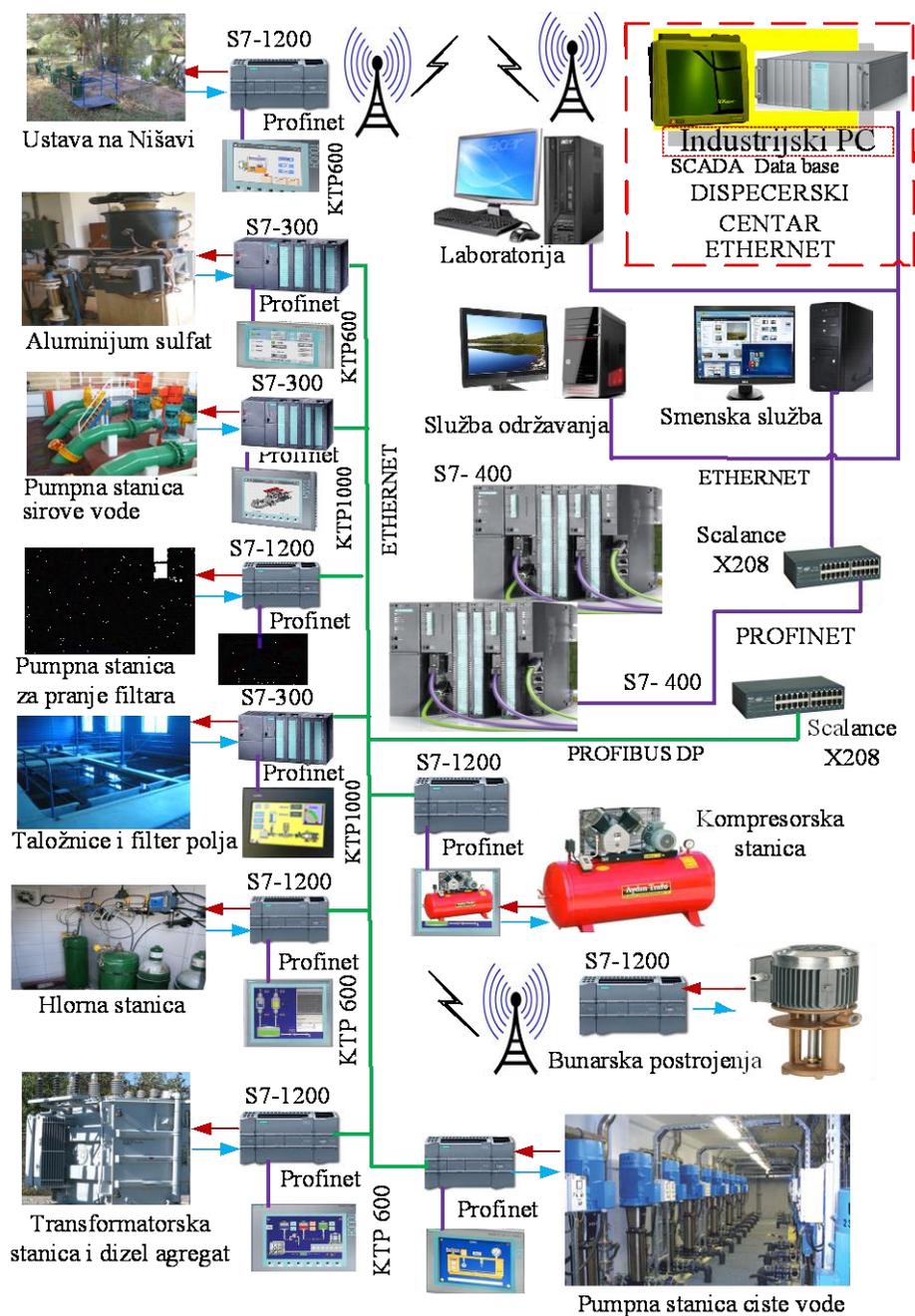
Sl. 1. Blok šema vodovodnog sistema „Mediana 2“

Vodovodni sistem grada Niša sastoji se iz karsnih izvorišta (Studena, Krupac, Divljana, Mokra i Ljuberađa) i izvorišta podzemnih voda, koje se nalazi u istočnom delu grada, na levoj obali reke Nišave (lokalitet „Mediana“). Ovo izvorište radi punim kapacitetom uz sistem za veštačko prihranjivanje i snabdeva grad sa 400 do 550 l/s pijaće vode. Eksploatacija izvorišta je od značaja tokom leta i jeseni, kada je smanjena izdašnost pomenutih karsnih izvorišta. Sistem je kompleksan i sastoji se od mnogobrojnih objekata. Osim devet infiltracionih basena (jezera) s bunarima raspoređenim oko jezera, veštačko prihranjivanje izvorišta se vrši i sa vodozahvata na reci Nišavi [2]. U osnovi upravljanja vodovodnim sistemom „Mediana 2“ je centralni nadzorno-upravljački sistem instaliran u dispečerskom centru (DC). Blok šema upravljanja fabrikom prikazana je na slici 2.

Sistem automatskog upravljanja fabrikom vode „Mediana 2“ zasnovan je na programibilnim logičkim kontrolerima i operatorskim panelima, koji su interfejsi između operatera i postrojenja. Sistem upravljanja je povezan i sa SCADA računarom u DC. Normalni režim rada fabrike je automatski. Za posebne namene pojedine tehničke celine se mogu prebaciti na ručni mod upravljanja, koji je pogodan za ispitivanje opreme pri remontima i održavanju.

Arhitektura sistema je zasnovana na master-slave konfiguraciji koju čine PLC kontroleri: master PLC je Simatic S7-400 (redundantni par); S7-300 (postrojenje za pripremu i doziranje Al sulfata, pumpna stanica (PS) sirove vode, taložnice i filter polja, PS za pranje filterskog postrojenja, PS čiste vode); S7 1200 (transformatorska stanica, dizel agregat, ustava, sistem za mehaničko prečišćavanje vode - mehaničke grabulje i sita; kompresorska stanica, hlorna stanica).

Svaki lokalni kontroler je povezan sa KTP operatorskim panelom protokolom komunikacije PROFINET. Povezivanje master kontrolera sa slave kontrolerima i serverima je izvršeno preko ETHERNET mreže. U DC je instaliran server real-time baze podataka koji distribuira podatke radnim stanicama - klijentima (DC, služba održavanja, hemijska laboratorija, menadžment) [1,2]. SCADA se organizuje u vidu menija i podmenija, pri čemu se prikazuje funkcionalnost sistema uz određene animacije (npr. rad pumpi, elektromotornih ventila, elektropneumatskih ventila), daje se prikaz promene neke veličine u realnom vremenu u vidu trend grafa ili u digitalnom obliku (vrednosti nivoa, protoka, mutnoće, rezidualnog hlora itd.), dostizanje graničnih vrednosti se pojavljuje kao alarmna poruka uz zvučnu i svetlosnu signalizaciju.



Sl. 2. Blok šema upravljanja i nadzora vodovodnog sistema „Mediana 2“

Glavni zadaci postavljeni pred SCADA sistem su: prikupljanje real-time digitalnih i analognih podataka sa svih objekata povezanih u sistem (veliki broj tagova); arhiviranje relevantnih informacija dobijenih na osnovu prikupljenih podataka u relacionoj bazu podataka; prezentacija real-time i arhiviranih podataka putem sinoptičkih ekrana, trendova, grafikona i tabela; real-time upravljanje i monitoring vodozahvata, mehaničkog prečišćavanja vode, hemijske pripreme, bunarskih postrojenja, pumpnih stanica. Master redundantni tandem sistem PLC-ova S7-400 u sprezi sa SCADA računarom u DC diktira komunikaciju sa svim udaljenim stanicama, šalje upite, komande i prihvata i arhivira sve poruke koje pristižu od udaljenih objekata upravljanja [1,2].

3. MERE ZA BEZBEDAN RAD PLC KONFIGURACIJE

Visoke temperature, vlažnost, elektromagnetna zračenja, prašina, vibracije i dr. kao i uticaj agresivnih hemijskih faktora zahtevaju određene mere zaštite PLC-a (npr. prinudna ventilacija, ugradnja regulisanog grejača u ormar, filtera u otvorima za ventilaciju ormara, itd.). Glavni izvori smetnji u pogonima su pojava termoelektromotorne sile, pojava statičkog elektriciteta, blizina transformatorskih stanica, aparata za zavarivanje, i sl. Smetnje se eliminišu ugradnjom razdvojnih transformatora za napon napajanja i upotrebom optokaplera kod jednosmernih signala. Pouzdanost rada PLC-a se obezbeđuje korišćenjem specijalnog „watch dog“ tajmera, koji meri vreme trajanja svakog ciklusa.

Na početku ciklusa vrši se testiranje centralne procesorske jedinice (CPU). Kod neregularnosti pri izvršavanju programa tajmer izaziva prekid. Verodostojnost podataka se obezbeđuje upotrebom zaštitnih kodova i proverom bita parnosti (neparnosti). Prati se stalno i vrednost napona napajanja, a približavanje definisanoj granici izaziva prioritetni prekid u cilju zaštite podataka. Kod većine PLC-a dozvoljena je automatski inicijalizacija ili nastavak rada od tačke prekida, nakon uspostavljanja korektnog napona napajanja. Poznato je da 80% kvara kod PLC sistema nastaje usled nepravilnosti koje su vezane za ulaze i izlaze. Iz tih razloga se preduzimaju određene aktivnosti: merenje ulaznih signala veći broj puta, poređenje komandnog signala sa odzivom, itd. [2-5].

4. POUZDANOST I BEZBEDNOST SCADA SISTEMA

U početku razvoja upravljačko-nadzornih sistema njihova bezbednost je uglavnom bila uslovljena fizičkim napadima. Naime, smatralo se da je dovoljna zaštita SCADA sistema izolovanost upravljačkog pulta kome su mogli da pristupe samo autorizovana lica. Postojao je praktično vrlo nizak stepen opasnosti od napada, budući da je mali broj korisnika imao neophodna tehnička znanja o sistemu, a pri tome su putevi prenosa podataka bili izolovani. Međutim, intenzivan i dinamičan razvoj hardvera i softvera tokom 70-ih godina

prošlog veka, koji su do tada bili samostalne celine, i pojava savremenih sistema koji su u sprezi sa standardnim personalnim računarima i operativnim sistemima, TCP/IP protokolima komunikacije, koristeći pri tome Internet kao prenosni medijum, došlo je do pojava koje su izazvale probleme vezane za bezbednost i pouzdanost u prenosu podataka. Primenom TCP/IP i web tehnologija omogućeni su hakerima alternativni putevi do upravljačko-nadzornih sistema [1,3,5,9]. Jedan od razloga ranjivosti ovih sistema je njihovo povezivanje s korporativnom mrežom. Velike kompanije poput petrohemijskih i gasnih, vodovodnih sistema, elektroenergetskih sistema i sl. obuhvataju velika prostranstva na kojima one posluju (često se radi o hiljadama kvadratnih kilometara kopnenih i morskih površina). Povezivanje objekata kojima se upravlja u tim oblastima je veliki izazov. Bitni podaci se prikupljaju i prenose sa udaljenih lokacija gde je fizička zaštita mala, a održavanje izuzetno skupo. S jedne strane, javlja se potreba za sigurnim i pouzdanim prenosom podataka, a s druge strane, usled ogromnih prostranstava koje treba pokriti, kompanije često koriste mreže posrednika za prenos važnih procesnih podataka.

Ukoliko se ne koriste najsavremeniji mehanizmi za enkripciju i identifikaciju podataka sam prenos podataka je nepouzdan i nesiguran [1,3,9]. Posledica ovih tendencija je povećanje broja lica koja poseduju određena znanja. Ova znanja im omogućavaju upade u upravljačke sisteme koji su podložni napadima. Slabe tačke IT operativnih sistema su istovremeno karakteristične i za SCADA sisteme. Međutim, revitalizacija IT softvera je jednostavnija u odnosu na održavanje i obnavljanje SCADA softvera koji treba da funkcioniše besprekorno i bez prekida. Lako dostupne informacije o tehničkoj infrastrukturi i upravljačko-nadzornim sistemima olakšavaju pristup potencijalnim hakerima. Često se razna tehničko-projektna dokumentacija, standardi i propisi za osetljive infrastrukture i tehničko-tehnološke sisteme mogu naći na internetu, čime se bitno narušava bezbednost pomenutih sistema.

Jedan od problema SCADA sistema nastaje usled korišćenja antivirusnih programa za otkrivanje upada (Intrusion Detection Software-IDS). Veliki broj stručnjaka iz ove oblasti smatra da zaštitni zidovi i antivirusni programi ne pružaju zadovoljavajuću zaštitu. Bežične komunikacije koje su sve više u upotrebi takođe su potencijalna opasnost po bezbednost SCADA sistema [1,3,5,6]. Uređaji koji koriste više mrežnih interfejsa za međusobno povezivanje, pri čemu se radi o različitim mrežama i protokolima mogu da na neki način dozvole neautorizovane pristupe i prebacivanje podataka iz jedne mreže u drugu. Određeni procesni računari (PLC-ovi) instalirani kao sistemi daljinskog upravljanja mogu da prepoznaju potencijalne tačke nesigurnosti u prenosnom lancu. Međutim, matematičke mogućnosti i memorijski kapacitet ovih procesora su najčešće nedovoljni za poboljšanje bezbednosti.

Osim toga, posle montaže ovih računara oni se ne menjaju desetak i više godina, čime se ranjivost upravljačko-nadzornog sistema povećava iz godine u

godinu. Problem u SCADA sistemu može da izazove neki nezadovoljni operater, koji je na neki način motivisan da poremeti funkcionalnost SCADA sistema ili čak ošteti hardverski deo. Nije isključena ni verovatnoća da sam operater usled nepažnje načini greške koje će dovesti do oštećenja SCADA. Virusi predstavljaju poseban problem za funkcionalnost upravljačko-nadzornog sistema. Od računarskih virusa najpoznatiji su: crvi (worm) koji uništavaju ili kompromituju podatke, malware virusi koji su dizajnirani i programirani za određene akcije, pa čak i Ad-ware virusi koji su samo „dosadni“ - stalno prikazuju reklame. Praktično sve vrste računarskih virusa su sposobne i za krađu podataka korisnika, lozinki, dokumenata sa hard diskova, memorijskih kartica, pa čak i on-line skladišta podataka (cloud storage). Mnoge aplikacije i programi imaju „bagove“ u svom kodu, što omogućava krađu podataka ili oštećenje računara i uređaja čak i bez bilo kakvih virusa ili malwera. Sami operativni sistemi imaju veliki broj bagova, koji su javno poznati i hakeri ih koriste dok ih proizvođač softvera ne „zakrpi“ odgovarajućom nadgradnjom svog softvera.

Virus Stuxnet je otkriven 2012. godine i usko je povezan sa zlonamernim softverima Duqu i Flame. Duqu traži informacije (npr. šifre za pristup upravljačko-nadzornom sistemu) koje koristi za upad u industrijske mreže i protokole komunikacije. Flame je funkcionisao nekoliko godina pre nego što je bio otkriven, a sposoban je za upad u Bluetooth komunikacije. Za Duqu i Flame su interesantni i Auto CAD fajlovi. Postoji veliki broj publikacija o crvima Stuxnet, Duqu i Flame koji su dobro proučeni. Poznat je i virus Gauss otkriven 2012. godine koji šalje hakerima šifre bankarskih računa raznih korisnika. Takođe, prebacuje cookie fajlove o podrobnostima zaraženog sistema, a napada i USB memorije. U određenim situacijama ovaj virus uništava samog sebe zajedno sa ukradenim podacima.

Ne tako davna pojava Triton-a stvorila je velike probleme upravljačko-nadzornim sistemima. Triton je vrlo opasan i on nije tipičan računarski virus. Od strane američkih agencija NSA (US National Security Agency) i CISA (US Critical Infrastructure Security Agency) softver Triton je nazvan Tritonex. Ovaj softver može neopaženo da se nalazi u računarima godinama. Triton posebno napada SCADA sisteme. Poznata je situacija iz 2017. godine kada su stali računarski sistemi koji su upravljali jednom od rafinerija u Saudijskoj Arabiji, pri čemu su trajno oštećeni merači protoka nafte i onesposobljeno upravljanje procesima u rafineriji. Izbačeni su iz rada i sigurnosni ventili. Ovo se do tada nikada nije dešavalo i izazvalo je veliku zabrinutost u petro-hemijskoj industriji, ali i obaveštajnim agencijama. U prvi mah niko nije pretpostavljao da se radi o organizovanom napadu, korišćenjem novog virusa. Virus se infiltrirao u računarima koji su koristili „Triconex“ tehnologiju za slična postrojenja. Firma Symantec koja se bavi problemima bezbednosti SCADA sistema nazvala je ovaj softver „Triton“ (prema bogu okeana koji je mogao neprimetno da se kreće

svim morima). Sumnja se da su neke hakerske grupe poput TEMP, Isotope i Trickbot došle do samog koda Triton-a, prilagodili ga i koriste ga pod imenom „TsNIKhM“. Ove godine je hakovana računarska mreža aerodroma u San Francisku, pri čemu su oboreni njihovi web sajtovi preko kojih su se zakazivali letovi i plaćale karte [7,8].

Veliki rizik po bezbednost upravljačko-nadzornog sistema predstavlja veza SCADA sistem - korporativna mreža. Ova veza mora da bude pažljivo projektovana i izvedena. Poželjno je da ima što manji broj veza između mreža (ako je moguće samo jedna veza) kada se koriste zaštitni zidovi. Ti zidovi štite mrežne uređaje pri čemu stalno prate i kontrolišu pakete podataka. Zaštita se sastoji u nadgledanju i kontrolisanju da li primljeni paketi podataka odgovaraju prethodno izabranoj strategiji filtriranja. Postoji nekoliko tipova zaštitnih zidova: za filtriranje paketa (packet filtering firewalls), koji proveravaju stanja veza (Stateful Inspection), proksi zaštitni zidovi (application-proxy gateway firewalls), i drugi [1,5,6].

Zaštitni zidovi su skupovi softverskih mehanizama koji omogućavaju realizaciju tehnika sigurnosti i bezbednosti. Oni blokiraju sve saobraćaje podataka (izuzev onih sa posebnim dozvolama) između nezaštićene korporativne mreže LAN (Local Area Network) i zaštićenih ICS (Internet Connection Sharing) mreža. Zahvaljujući zaštitnim zidovima mogu se postaviti ograničenja korisnicima u smislu da se mogu povezivati preko mreže samo sa određenim uređajima, što smanjuje mogućnost namernog ili slučajnog neovlašćenog pristupa upravljačkom uređaju. Kombinovani i hibridni SCADA/MES (Manufacturing Execution Systems) sistemi koji su namenjeni za automatizaciju preduzeća predstavljaju korak napred u razvoju procesne proizvodnje. U novije vreme sve više se primenjuju sistemi bazirani na oblačnoj infrastrukturi sa analitičkim instrumentima koji su vrlo bitni u eri Internet of Things (IoT) tehnologije. U industrijskim platformama analiza podataka je od presudnog značaja za ostvarivanje standarda inteligentne proizvodnje. [4-6].

SCADA sistemi kao integralni deo jednog industrijskog kompleksa doprinose njegovoj operativnoj efikasnosti, inteligentnom upravljanju procesnom tehnikom i usavršenom komunikacijom između opreme u polju i upravljačkih sistema u eri Industry 4.0 i IoT tehnologija. Hijerarhijska struktura SCADA sistema ima četiri nivoa sa jasno određenim funkcijama: oprema u polju; programabilne kontrolere (ili Remote Terminal Units - RTUs); komunikacione mreže i SCADA softver. PLC i RTU su računarski uređaji (mikro računari) koji prikupljaju podatke sa mnoštva objekata npr. procesna oprema, HMI (Human Machine Interface), senzori i krajnji uređaji i usmeravaju te podatke ka računarima na kojima je instaliran SCADA softver. Pomoću ove softverske platforme se vrši distribucija i vizuelizacija neophodnih podataka, što je od velike pomoći operaterima na procesu.

SCADA prihvata podatke sa udaljenih elemenata automatizacije u polju (elektromagnetni i elektromotorni ventili, elektropneumatski uređaji, pumpe, elektromotorni pogoni, razni senzori procesnih veličina, i sl.). SCADA obezbeđuje i lokalno upravljanje procesima, tako što uključuje/isključuje u odgovarajućim vremenskim intervalima elemente u polju, dopunjujući strategiju daljinskog upravljanja, akvizicije podataka i registrovanja različitih događaja (npr. dostizanje kritičnih vrednosti procesnih veličina). Savremene SCADA platforme poseduju grafičke interfejse, mogućnosti za podešavanje alarmnih stanja i slanje izveštaja korisnicima, kompleksne mogućnosti za skladištenje, obradu i analizu podataka u realnom vremenu. Prve SCADA platforme se pojavljuju u vreme mainframe računara, kada još uvek ne postoje mrežne arhitekture, sistemi za upravljanje i nadzor funkcionišu samostalno. Tokom 80-ih i 90-ih godina prošlog veka SCADA tehnologija nastavlja razvoj zahvaljujući kompaktnim računarskim sistemima, prvobitnim LAN mrežama, HMI softveru zasnovanom na PC računarima. Krajem 90-ih godina 20. veka i u prvoj deceniji 21. veka, SCADA sistemi prave ozbiljan zaokret usvajanjem otvorene systemske arhitekture i univerzalnih protokola komunikacije. Ova generacija SCADA sistema koristi pogodnosti ovih protokola poput Etherneta, čime je omogućeno povezivanje s daleko većim broja elemenata automatizacije u polju.

I dok SCADA sistemi doživljavaju buran razvoj, značajan deo industrijskih preduzeća nastavlja da istražuje probleme vezane za pristup industrijskim podacima na nivou preduzeća. Tehnološki bum koji je nastao krajem 90-ih godina prošlog veka i početkom ovog veka ubrzao je razvoj PC računara i IT sistema. Upravo s tim SQL (Structured Query Language) baze podataka su postale standard u IT arhitekturi, ali nisu bili prihvaćeni od strane kreatora SCADA rešenja. Ovo je dovelo do razlaza između upravljačkih tehnologija, IT sistema i SCADA platformi, što je predodredilo sudbinu SCADA rešenja – da ostanu na jednom nivou u relativno dugom vremenskom periodu [1,9-11].

5. SAVREMENI SCADA SISTEMI – KARAKTERISTIKE

Savremeni SCADA sistemi omogućavaju pristup relevantnim podacima koji su potrebni

za rad procesne opreme u realnom vremenu. Istovremeno daju mogućnost za brz razvoj aplikacija, pri čemu nije neophodno dubinsko poznavanje sfere softverskog projektovanja. Primena savremenih IT standarda i tehnologija poput SQL i web zasnovanih aplikacija u SCADA softveru optimizuje se efikasnost, bezbednost, produktivnost i pouzdanost SCADA sistema. Softverske platforme koje koriste SQL baze podataka omogućavaju korisnicima niz prednosti i pogodnosti u odnosu na konvencionalne SCADA sisteme uključujući jednostavnu integraciju u postojeće MES (Manufacturing Execution System) i ERP (Enterprise Resource Planning) sisteme za realizaciju proizvodnje. U prethodno

opisanim etapama razvoja SCADA sistema implementirana su savremena znanja u tom trenutku. Za prve sisteme karakteristična je primena mikroracunara, u drugoj fazi razvoja primenjene su distribuirane upravljačke tehnike, u trećoj fazi dolazi do eksponencijalnog razvoja globalne mreže i internet aplikacija. Četvrta faza u razvoju SCADA sistema, koja je danas aktuelna, pod uticajem je IoT, IIoT (industrijskog Internet of Things), Industry 4.0 i smart industrije. To su glavne tehnološke tendencije karakteristične za razvoj četvrte industrijske revolucije i njen prelaz sa digitalizovane proizvodne platforme na sajber - fizičke sisteme.

Dok je u trećoj industrijskoj revoluciji akcenat bio na automatizaciji, pri čemu su CNC, SCADA, ERP i MES sistemi bile glavne tehnološke inovacije, za Industry 4.0 su karakteristične inovativne proizvodne koncepcije zasnovane na povezanim, integrisanim, modularnim, oblačnim i smart tehnologijama. Oblačno računarstvo je u osnovi tehnološke evolucije najnovijih SCADA sistema. Nastanak kombinovanih i hibridnih SCADA/MES sistema koji su namenjeni automatizaciji na nivou preduzeća jedan je od najznačajnijih napredaka u razvoju savremenih proizvodnih procesa, s posebnim akcentom na upravljanje podacima. U savremenoj industriji sve je veći obim podataka što iziskuje dalji razvoj i usavršavanje SCADA sistema. SCADA/MES hibridni sistemi nastaviće da igraju važnu ulogu u operativnom upravljanju u realnom vremenu u smart fabrikama budućnosti putem akvizicije, skladištenja i upravljanja podacima, uz podršku najnovijih dostignuća u IT sektoru i automatskom upravljanju.

Tradicionalne oblačne arhitekture postepeno će evoluirati zahvaljujući edge computing - metodi za optimizaciju oblačnih računarskih sistema preko obrade podataka na kraju mreže, u blizini izvora informacija. Ovo će imati za posledicu manju količinu podataka koji se skladište u oblačnom serveru, smanjenje latentnosti mreže, što će dovesti do smanjenja vremena reakcije upravljačko-nadzornih sistema u kritičnim aplikacijama. Prihvatanje edge computing strategije omogućiće masovnije korišćenje inovativnih komunikacionih standarda poput LTE (Long-Term Evolution) i LoRA (Long Range Radio Module), koji omogućavaju trenutni pristup podacima iz bilo koje tačke sveta [4-6].

Jedan od pokretača evolucije savremenih SCADA sistema je rastuća potreba za uzajamnu saradnju informacionih i operativnih tehnologija. Spajanje i integracija SCADA i MES platformi kao jedno hibridno rešenje u prvi plan ističe neophodnost definisanja i stroge podele odgovornosti između procesnih i informacionih tehnologija. Hibridizacija će odrediti novo razumevanje koncepcije sistema koji rade u realnom vremenu i skoro u realnom vremenu (near-real-time).

Suštinska prednost sistema koji se oslanjaju na oblačnu infrastrukturu sastoji se u mogućnosti korišćenja mehanizama pomoću kojih se vrši analiza podataka, što je ključno za IoT tehnologije i smart proizvodnju [9]. Osnovne

analitičke funkcije mogu biti implementirane u senzore, a smart funkcionalnost u krajnje elemente automatizacije, čime bi se omogućila selekcija podataka o kritičnim vrednostima procesnih veličina i parametara, od mnoštva podataka koji dolaze u SCADA sistem.

Algoritmi za mašinsko učenje i platforme za analizu velike količine podataka (big data) mogu da se primene direktno u oblačnoj infrastrukturi, pri čemu se sistem „uči“ da donosi automatski rešenja bez intervencije čoveka, na osnovu odgovarajućih modela i velike baze podataka. Ova funkcionalnost po+većava nivo automatizacije procesa uz mogućnost prediktivnog održavanja [10,11].

Značajna prednost savremenih SCADA platformi ogleda se u smanjenju troškova i povećanju bezbednosti resursa. Smanjenje troškova koji su vezani za zakup i održavanje hardvera utiče na budžetsko planiranje i realizaciju SCADA sistema na osnovu oblačne infrastrukture, koja omogućava sveobuhvatnu analizu i prediktivno održavanje, što smanjuje rizik od iznenadne pojave neispravnosti operativnog sistema i opreme. Havarije vezane za fizičke uređaje i hardversku infrastrukturu često dovode do bespovratnog gubitka značajnih podataka. Skladištenje ovih podataka u oblačnim serverima obezbeđuje zaštitu tih podataka, a pristup njima je omogućen u svakom trenutku i sa svih mesta nakon odgovarajuće identifikacije korisnika [12,13].

6. ZAKLJUČAK

U radu se razmatra razvojni put SCADA sistema i sagledavaju se savremene tendencije daljeg razvoja SCADA u svetlu Industry 4.0. SCADA kao upravljačko-nadzorni sistem obezbeđuje kompleksan monitoring, akviziciju, obradu podataka i upravljanje u realnom vremenu. SCADA sistemi se primenjuju u svim sferama tehnike i tehnologije zato što su u mogućnosti da ponude rešenja za prevazilaženje relativno jednostavnih problema i zahteva do gigantski složenih sistema pomoću kojih se upravlja opremom i uređajima instaliranim na stotinama ili hiljadama kvadratnih kilometara.

Bezbednost ovih sistema je od izuzetnog značaja u važnim strateškim privrednim i objektima poput elektroenergetskog sistema, petrohemijske industrije, vodovodnih sistema, gasovoda, naftovoda, proizvodnih pogona, komunikacione i transportne infrastrukture. Permanentni rast i povećanje broja SCADA sistema kojima se upravljaju pomenuti objekti i procesi doprinosi pojavi raznih ekscenčnih situacija u radu upravljanih sistema. Mnogobrojni zaštitni zidovi uključuju tehnike za odvratanje (Intrusion Prevention Systems - IPS), koji mogu da otkrivaju hakerske napade na SCADA sisteme.

Ipak, zaštitni zidovi ne mogu sami po sebi da obezbede sistem od svih vrsta napada. Potrebna je višeslojna strategija koja sadrži bar dva sigurnosna mehanizma koji se uzajamno pokrivaju.

LITERATURA

- [1] S. Stankov, Sistem nadzora i upravljanja postrojenjem za prečišćavanje vode, *Vodoprivreda*, Vol. 50, No. 4-6 (2018) 319-332.
- [2] S. Stankov, Glavni projekat rekonstrukcije elektroenergetskog napajanja i automatskog upravljanja Fabrikom vode „Mediana 2“ u Nišu, Niš, 2013.
- [3] S. Stankov, D. Mitić, Z. Jovanović, Upravljanje baždarnicom za industrijske vodomere pomoću PLC i SCADA sistema, Zbornik radova Deseće međunarodne konferencije Vodovodni i kanalizacioni sistemi, Jahorina, maj 2010, Pale, Bosna i Hercegovina, str. 125-134.
- [4] H. Berger, *Automating with STEP 7 in STL and SCL Programmable controllers SIMATIC S7 - 300/400*, 6th Revised and Enlarged Edition, Enralgen, 2012.
- [5] R. Di Pietro, V. L. Mancini, *Intrusion Detection Systems*, Advances in Information Security, Springer, 2008.
- [6] S. Stankov, Control of Pumping Stations in Water Supply Systems, *Voda i sanitarna tehnika*, Vol. XLI, No. 3-4 (2011) 47-54.
- [7] <https://www.hackers-arise.com/post/scada-hacking-the-triton-malware-threat-to-scada-ics-infrastructure>
- [8] <https://www.hackers-arise.com/scada-hacking>
- [9] S. Stankov, Automation and Industry 4.0, X International conference Industrial Engineering and Environmental Protection (IIZS 2020), Proceedings, Zrenjanin, pp. 70-77.
- [10] S. Stankov, Upravljačko-nadzorni sistem pogona za proizvodnju biodizela, *Hemijska industrija*, Vol. 72, No. 6 (2018) 315-328.
- [11] S. Stankov, D. Antić, M. Petronijević, S. Arsić, Control and Monitoring System of the Mineral Wool Packaging, *Annals of Faculty Engineering Hunedoara– International Journal of Engineering*, Volume XV, Fascicule 2, (2017) 43-46.
- [12] T. W. Shinder, *Best Damn Firewall Book Period*, 2nd Edition, Publisher: Syngress, 2012.
- [13] S. Stankov, D. Mitić, Z. Ičić, Supervisory and Control of HVAC Systems, *Facta Universitatis*, Series: Automatic Control and Robotics, Vol.9, No 1 (2010) 151-160.

UPUTSTVO AUTORIMA

Časopis BAKAR izlazi dva puta godišnje i objavljuje naučne, stručne i pregledne radove. Za objavljivanje u časopisu prihvataju se isključivo originalni radovi koji nisu prethodno objavljivani i nisu istovremeno podneti za objavljivanje negde drugde. Radovi se anonimno recenziraju od strane recenzenta posle čega uredništvo donosi odluku o objavljivanju. Rad priložen za objavljivanje treba da bude pripremljen prema dole navedenom uputstvu da bi bio uključen u proceduru recenziranja. Neodgovarajuće pripremljeni rukopisi biće vraćeni autoru na doradu.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Navođenje neobjavljenih radova nije poželjno, a ukoliko je neophodno treba navesti što potpunije podatke o izvoru.

Zahvalnost se daje po potrebi, na kraju rada, a treba da sadrži ime institucije koja je finansirala rezultate koji se daju u radu, sa nazivom i brojem projekta; ili ukoliko rad potiče iz magistarske teze ili doktorske disertacije, treba dati naziv teze/disertacije, mesto, godinu i fakultet na kojem je odbranjena. Veličina fonta 10, italic.

Radovi se šalju prevashodno elektronskom poštom ili u drugom elektronskom obliku.

Adresa uredništva je:

Časopis BAKAR

Institut za rudarstvo i metalurgiju

Zeleni bulevar 35, 19210 Bor

E-mail: nti@irnbor.co.rs ; ana.kostov@irnbor.co.rs

Telefon: 030/454-260; 030/454-108

Svim autorima se zahvaljujemo na saradnji.

INSTRUCTIONS FOR THE AUTHORS

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

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

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

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

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

Abstract and Keywords should be also given in English language.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Editorial Address: Journal COPPER
Mining and Metallurgy Institute Bor
35 Zeleni bulevar, 19210 Bor
E-mail: nti@irmbor.co.rs; ana.kostov@irmbor.co.rs
Telephone: +381 30/454-260; +381 30/454-108

We are thankful for all authors on cooperation.

SADRŽAJ
CONTENS

Vesna Krstić, Marina Udilanović, Tamara Urošević, Danijela Simonović,
Snežana Milić, Andrija Čirić, Branka Pešovski

**UPOTREBA AKTIVNOG UGLJA NASTALOG OD OTPADA
CITRUSNOG VOĆA, KAO ALTERNATIVNA METODA
U ZAŠTITI ŽIVOTNE SREDINE**

THE USE OF ACTIVATED CARBON FROM CITRUS FRUIT WASTE AS
AN ALTERNATIVE METHOD IN THE ENVIRONMENTAL PROTECTION 1

Marina Udilanović, Vesna Krstić, Andrija Čirić, Zorka Stanić

**ELEMENTARNI SASTAV I ANALIZA
MIKRO METALA U ČUMURU**

ELEMENTAL COMPOSITION AND ANALYSIS OF
MICRO METALS IN CHARCOAL SAMPLES 11

Nevena Ristić, Aleksandar Simonovski, Viša Tasić,
Tatjana Apostolovski-Trujić

**ANALIZA REZULTATA MERENJA ČESTICA PM10 NA
TERITORIJI GRADA BORA ZA PERIOD 2020.-2021.**

ANALYSIS OF THE RESULTS OF MEASUREMENT OF
PM10 ON THE TERRITORY OF THE CITY OF
BOR FOR THE PERIOD 2020-2021 19

Lazar Kojić, Vladimir Karanović, Bojan Janković, Jovan Trifunović

**PROJEKTOVANJE PREFABRIKOVANIH SPOJEVA ZA
POVEZIVANJE ELEKTRIČNIH KOMPONENTI NA SABIRNICE I
FORMIRANJE 3D MODELA RAZVODNIH ORMANA**

DESIGN OF PREFABRICATED CONNECTIONS FOR CONNECTING
THE ELECTRICAL COMPONENTS TO BUSBARS AND FORMATION OF
3D MODELS OF DISTRIBUTION CABINETS 29

Stanko P. Stankov

**RAZVOJ UPRAVLJAČKO NADZORNIH SISTEMA
- IZAZOVI I TENDENCIJE**

THE DEVELOPMENT OF SUPERVISORY CONTROL
SYSTEMS - CHALLENGES AND TENDENCIES 43
