

INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR

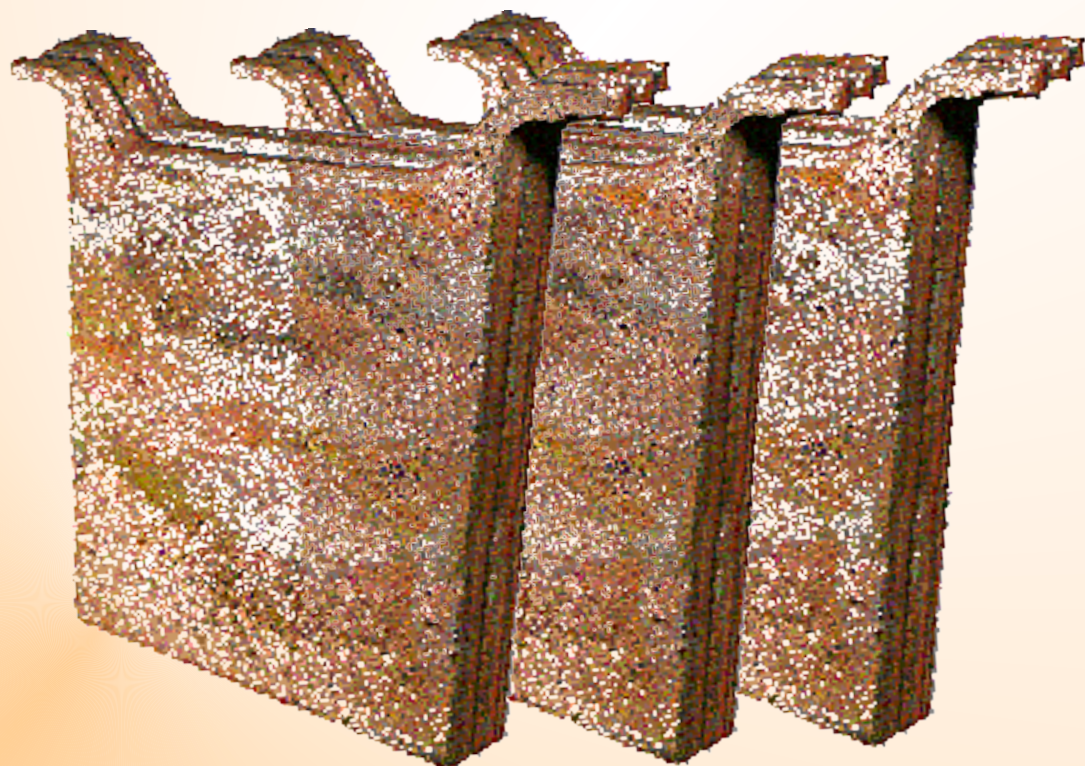


Cu

UDC 669.3  
ISSN 0351-0212

Broj 1 Volumen 48 2023

# 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 Ana Kostov, *naučni savetnik, redovni član  
Inženjerske akademije Srbije*

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

E-mail: [ana.kostov@irmbor.co.rs](mailto:ana.kostov@irmbor.co.rs)

Tel. 030/454-108

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

Dr Dragan Milanović, *naučni savetnik*

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

E-mail: [dragan.milanovic@irmbor.co.rs](mailto:dragan.milanovic@irmbor.co.rs)

Tel. 030/454-212

#### **Urednik**

Vesna Marjanović, *dipl.inž.*

#### **Prevodilac**

Nevenka Vukašinić, *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](http://www.irmbor.co.rs)

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

Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i

inovacija 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](mailto: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 Tatjana Volkov Husović, *red. prof.*

*UB, Tehnološko-metalurški fakultet Beograd*

Dr Silvana Dimitrijević, *viši naučni saradnik*

*Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor*

Prof. dr Bojan Jokić, *vanr.profesor*

*UB, Fakultet primenjenih umetnosti u Beogradu*

Prof. dr Sergey Krasikov

*Institut za metalurgiju Uralskog odeljenja*

*Ruske akademije nauka, Rusija*

Dr Milenko Ljubojev, *naučni savetnik*

*Inženjerska akademija Srbije*

Dr Lidija Mančić, *naučni savetnik*

*Institut tehničkih nauka SANU*

Dr Aleksandra Milosavljević, *viši naučni saradnik*

*Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor*

Prof. dr Duško Minić, *red. prof.*

*UP, Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica*

Dr Milanče Mitovski

*Inženjerska akademija Srbije*

Prof. dr Cornelia Muntean

*Politehnički univerzitet u Temišvaru, Rumunija*

Dr Miroslav Sokić, *naučni savetnik*

*Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih*

*mineralnih sirovina Beograd*

Dr Jasmina Stevanović, *naučni savetnik*

*UB, Institut za hemiju, tehnologiju i*

*metalurgiju Beograd*

Prof. dr Mirko Stijepović, *vanr. profesor*

*UB, Tehnološko-metalurški fakultet Beograd*

Dr Srećko Stopić

*RWTH Aachen, IME Aachen, Nemačka*

Dr Rustam Sharipov

*Kazahstanski britanski tehnički univerzitet*

*Almati, Republika Kazahstan*

Dr Nadežda Talijan, *naučni savetnik*

*Akademija inženjerskih nauka Srbije*

Dr Viša Tasić, *naučni savetnik*

*Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor*

---

---

**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 informaticc, as well as related fields of science. Since 1968, published twice a year.

**Editor-in-Chief**

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

**Co-Editor**

Ph.D. Dragan Milanović, *Principal Research Fellow*  
Mining and Metallurgy Institute Bor  
E-mail: [dragan.milanovic@irmbor.co.rs](mailto:dragan.milanovic@irmbor.co.rs)  
Phone: +38130/454-212

**Editor**

Vesna Marjanović, *B.Eng.*

**English Translation**

Nevenka Vukašinović

**Technical Editor**

Suzana Cvetković

**Preprinting**

Vesna Simić

**Printed in**

Mining and Metallurgy Institute Bor

**Circulation:** 30 copies

**Web site**

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

**COPPER is financially supported by**

The Ministry of Science, Technological  
Development and Innovation 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](mailto: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. Tatjana Volkov Husović  
*UB, Faculty of Technology and Metallurgy*  
*Belgrade*  
Ph.D. Silvana Dimitrijević,  
*Senior Research Associate*  
*Mining and Metallurgy Institute Bor*  
Prof. Ph.D. Bojan Jokić  
*UB, Faculty of Applied Arts in Belgrade*  
Prof. Ph.D. Sergey Krasikov  
*Institute of Metallurgy of Ural Branch*  
*of the Russian Academy of Sciences, Russia*  
Ph.D. Milenko Ljubojev, *Principal Research Fellow*  
*Engineering Academy of Serbia*  
Ph.D. Lidija Mančić, *Principal Research Fellow*  
*Institute of Technical Science of SASA*  
Ph.D. Aleksandra Milosavljević,  
*Senior Research Associate*  
*Mining and Metallurgy Institute Bor*  
Prof. Ph.D. Duško Minić  
*UP, Faculty of Technical Sciences*  
*Kosovska Mitrovica*  
Ph.D. Milanče Mitovski  
*Engineering Academy of Serbia*  
Prof. Ph.D. Cornelia Muntean  
*Polytechnic University of Timisoara, Romania*  
Ph.D. Miroslav Sokić, *Principal Research Fellow*  
*Institute for Technology of Nuclear and*  
*Other Raw Materials Belgrade*  
Ph.D. Jasmina Stevanović, *Principal Research Fellow*  
*UB, Institute of Chemistry, Technology and*  
*Metallurgy Belgrade*  
Prof. Ph.D. Mirko Stijepović  
*UB, Faculty of Technology and Metallurgy*  
*Belgrade*  
Ph.D. Srećko Stopić  
*RWTH Aachen, IME Aachen, Germany*  
Ph.D. Rustam Sharipov  
*Kazakh British Technical University Almaty,*  
*Republic of Kazakhstan*  
Ph.D. Nadežda Talijan, *Principal Research Fellow*  
*Academy of Engineering Sciences of Serbia*  
Ph.D. Viša Tasić, *Principal Research Fellow*  
*Mining and Metallurgy Institute Bor*

UDK: 661.92:628.539:669.04(045)=163.41

DOI: 10.5937/bakar2301053T

NAUČNI RAD

Oblast: Zaštita životne sredine

Primljen: 23.01.2023.

Prerađen: 13.04.2023.

Prihvaćen: 18.04.2023.

**MERENJE KVALITETA VAZDUHA U AGLOMERACIJI BOR  
U 2022. GODINI U PERIODU REKONSTRUKCIJE  
TOPIONICE BAKRA U BORU**

**MEASUREMENT OF THE AIR QUALITY IN THE AGGLOMERATION  
OF BOR IN 2022 DURING THE COPPER SMELTER  
RECONSTRUCTION IN BOR**

Viša Tasić<sup>1a</sup>, Tatjana Apostolovski-Trujić<sup>1b</sup>, Bojan Radović<sup>1c</sup>,  
Renata Kovačević<sup>1d</sup>, Nevena Ristić<sup>1e</sup>, Tamara Urošević<sup>1f</sup>, Vladan Kamenović<sup>1g</sup>

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

E-mail: visa.tasic@irmbor.co.rs

**Orcid:**

<sup>1a</sup><https://orcid.org/0000-0001-6710-6529>, <sup>1b</sup><https://orcid.org/0000-0002-9369-160X>,

<sup>1c</sup><https://orcid.org/0000-0003-4884-1418>, <sup>1d</sup><https://orcid.org/0000-0003-4108-0855>,

<sup>1e</sup><https://orcid.org/0000-0003-1408-237X>, <sup>1f</sup><https://orcid.org/0000-0002-9838-3702>,

<sup>1g</sup><https://orcid.org/0000-0001-9476-5378>

**Izvod**

*U ovom radu prikazani su rezultati merenja kvaliteta vazduha u aglomeraciji Bor u periodu jun-december 2022. godine u vreme kada topionica bakra u Boru nije radila zbog radova na rekonstrukciji i povećanju kapaciteta za preradu koncentrata bakra.*

*Na osnovu analize postojećih mernih mesta i koncentracija zagađujućih materija koje se mere u lokalnoj i državnoj mreži monitoringa kvaliteta vazduha na teritoriji aglomeracije Bor, kao i mogućeg uticaja novih rudarskih i metalurških objekata u kompaniji Serbia Zijin Copper Bor, izabrane su lokacije na kojima su vršena merenja nivoa zagađujućih materija, a koje nisu u sastavu državne ili lokalne mreže monitoringa kvaliteta vazduha.*

*Rezultati dodatnih merenja kvaliteta vazduha pokazuju da nije bilo prekoračenja satnih i dnevnih graničnih vrednosti za gasovite polutante, kao ni prekoračenja granične vrednosti za srednje dnevnu koncentraciju olova u suspendovanim česticama frakcije  $PM_{10}$  kao i ciljanih srednjih godišnjih vrednosti za koncentracije kadmijuma i nikla u  $PM_{10}$ . Koncentracija arsena u  $PM_{10}$  na mernom mestu PU Bor bila je iznad ciljne srednje godišnje vrednosti u trajanju od 3 dana. Maksimalna izmerena srednja dnevna vrednost koncentracije arsena u  $PM_{10}$  na ovom mernom mestu iznosila je  $11.3 \text{ ng/m}^3$ .*

*Na osnovu kompletnog uvida u rezultate merenja kvaliteta vazduha u aglomeraciji Bor u toku 2022. godine može se zaključiti da, u periodu kada topionica bakra radi, dominantan udeo u nivoima  $SO_2$ , CO, kao i koncentracijama arsena, kadmijuma i olova u  $PM_{10}$  potiče od emisija gasovitih polutanata iz topionice bakra.*

*Utvrđeno je da na mernom mestu IRM Bor, na nivo azotnih oksida u vazduhu dominantan uticaj imaju emisije azotnih oksida poreklom iz saobraćaja. Takođe, rezultati merenja ukazuju na to da rad topionice u 2022. godini nije u većoj meri doprineo povećanju koncentracija suspendovanih čestica  $PM_{10}$ , i da u periodu rada topionice bakra u 2022. godini, nisu prerađivani koncentraciji bakra sa povećanim sadržajem nikla.*

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

### Abstract

*This paper presents the results of the air quality measurements in the agglomeration of Bor in the period June-December 2022, in which the Copper Smelter in Bor was not working due to the works on reconstruction and increasing the capacity for copper concentrate processing.*

*Based on an analysis of the existing measuring points and concentrations of pollutants, measured in the local and national air quality monitoring network in the territory of the Bor agglomeration, as well as the possible impact of the new mining and metallurgical facilities in the company Serbia Zijin Copper Bor, the additional locations, where the measurements were performed, were selected.*

*The air quality measurement results show that there was no exceedance of the hourly and daily limit values for gaseous pollutants, nor were there an exceedance of the limit value for the mean daily concentration of lead in the suspended particles of the  $PM_{10}$  fraction, as well as the target values for the concentrations of cadmium and nickel in  $PM_{10}$ . The arsenic concentration in  $PM_{10}$  at the measuring point of PU Bor was above the target annual value for 3 days. The maximum measured mean daily value of arsenic concentration in  $PM_{10}$  at this measuring point was  $11.3 \text{ ng/m}^3$ .*

*Based on a complete insight into the results of air quality measurements in the Bor agglomeration in 2022, it can be concluded that the dominant share of concentration of  $SO_2$ , CO, as well as the concentration of arsenic, cadmium, and lead in  $PM_{10}$ , originates from the gaseous pollutant emissions from the Copper Smelter Bor in the period when it operates.*

*It was established that at the measuring point MMI Bor, the nitrogen oxide emissions from traffic mostly affect the level of nitrogen oxides in the air. Also, the measurement results indicate that the operation of the Smelter in 2022 did not significantly contribute to the concentration increase of suspended  $PM_{10}$  particles in the agglomeration of Bor, and that during the period of operation of the Copper Smelter in 2022, no copper concentrates with increased nickel content were processed.*

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

## 1. UVOD

Aglomeracija Bor (teritorija grada Bora) je više od jednog veka poznata po otkopavanju i preradi rude bakra i plemenitih metala. Aerozagađenje u Boru pretežno nastaje usled emisija gasovitih polutanata iz procesa prerade koncentrata bakra u topionici bakra u Boru [1]. Usled rudarskih radova na površinskim kopovima u okolini grada topografija terena je značajno promenjena. Usled formiranja visokih rudarskih odlagališta došlo je do smanjenja prirodnog provetravanja, promene pravca vetra, i povećanja perioda tišine (brzina vetra manja od  $1 \text{ m/s}$ ), što je dovelo do porasta aerozagađenja u urbanoj sredini grada Bora.

Na teritoriji aglomeracije Bor vrši se sistematski monitoring kvaliteta vazduha (monitoring koncentracija sumpordioksida, suspendovanih čestica i toksičnih elemenata u suspendovanim česticama) još od 1976. godine.

Automatski monitoring kvaliteta vazduha u Boru počinje 2004. godine postavljanjem automatskih analizatora sumpordioksida na mernim mestima Park i Jugopetrol, a kasnije i na drugim mernim mestima: Brezonik (2007), Institut (2009), Krivelj (2015) i Slatina (2016). U tabeli 1. prikazani su osnovni podaci o automatskim mernim stanicama za monitoring kvaliteta vazduha u aglomeraciji Bor koje su bile operativne u 2022. godini.

**Tabela 1.** Automatske merne stanice za monitoring kvaliteta vazduha u aglomeraciji Bor

Red. br.	Ime /Organizacija	Geografske koordinate (latitude/N/E)	Tip	Parametri koji se mere	
				Zagađujuće materije	Meteorološki parametri
1.	Bor - Park / SEPA	44°04'33'' N 22°05'58'' E	U/I	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , SO <sub>2</sub>	t, RH, p, wd, ws
2.	Bor - Institut / SEPA	44°03'35'' N 22°06'05'' E	U/I	SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, O <sub>3</sub> ,	t, RH, p, wd, ws
3.	Bor - Brezonik / SEPA	44°05'52'' N 22°05'30'' E	U/I	SO <sub>2</sub>	-
4.	Bor - Krivelj / ZiJin	44°08'16'' N 22°05'35'' E	R/I	SO <sub>2</sub>	t, RH, p, wd, ws
5.	Bor - Slatina / ZiJin	44°02'24'' N 22°09'46'' E	R/I	SO <sub>2</sub>	-

\*U/I - Urbana/Industrijska, R/I - Ruralna/Industrijska

Kako bi se izvršila što preciznija procena uticaja rada topionice bakra Bor na kvalitet vazduha i zdravlje ljudi period rekonstrukcije topionice bakra iskorišćen je za dodatna merenja kvaliteta vazduha na lokacijama koje nisu u sastavu državne ili lokalne mreže monitoringa kvaliteta vazduha, a koje su od značaja za lokalnu zajednicu.

## 2. OPIS MERNIH MESTA I METODE MERENJA

Na osnovu analize postojećih mernih mesta i koncentracija zagađujućih materija koje se mere u lokalnoj i državnoj mreži monitoringa kvaliteta vazduha na teritoriji grada Bora, kao i mogućeg uticaja novih rudarskih i metalurških objekata u kompaniji Serbia ZiJin Copper Bor, proistekao je i izbor dodatnih lokacija na kojim bi se vršila merenja nivoa zagađujućih materija u periodu kada topionica bakra u Boru ne radi. U tabelama 2 i 3 prikazani su podaci o najznačajnijim tačkastim i površinskim izvorima emisija zagađujućih materija u aglomeraciji Bor.

**Tabela 2.** Najznačajniji tačkasti izvori emisije zagađujućih materija u aglomeraciji Bor

R. br.	Emiteri (tačkasti izvori emisije)	Skrraćena oznaka	Geografske koordinate	Nadmorska visina	Udaljenost od topionice bakra
				m	m
1	Topionica	E1	44°04'39" N 22°06'34" E	361	0
2	Toplana Bor	E2	44°04'22" N 22°06'43" E	378	566
3	Postrojenje za odsumporavanje		44°04'38" N 22°06'39" E	360	120
4	Energana		44°04'26" N 22°06'41" E	377	440
5	Fabrika sumporne kiseline		44°04'41" N 22°06'36" E	356	75
6	Postrojenje za sušenje koncentrata		44°04'38" N 22°06'23" E	374	288
7	Kotlarnica Banjsko polje	E3	44°03'44" N 22°03'20" E	365	4634

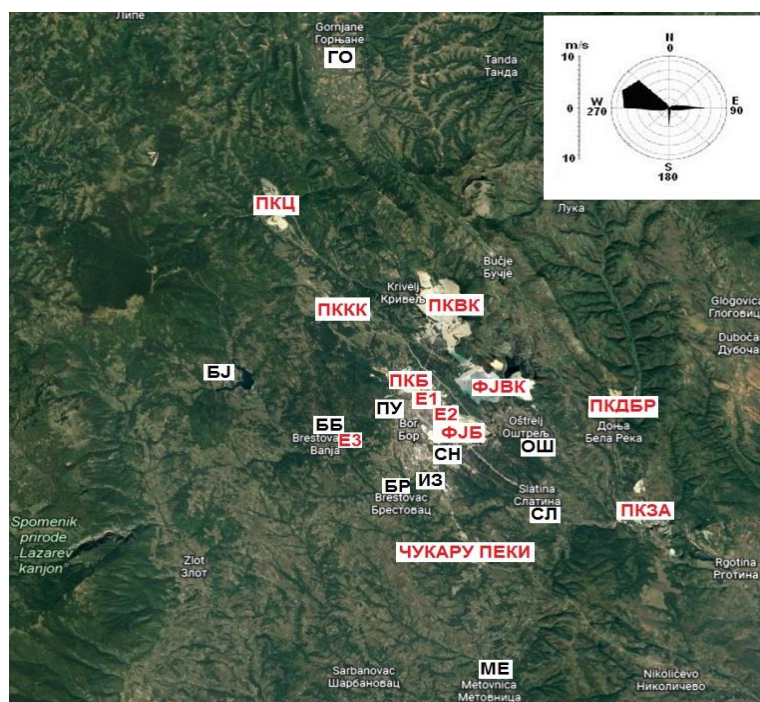
**Tabela 3.** Najznačajniji površinski izvori emisije zagađujućih materija u aglomeraciji Bor

R.br.	Emiteri (površinski izvori emisije)	Skrraćena oznaka	Nadmorska visina	Udaljenost od topionice bakra
			m	m
1	Površinski kop Bor	ПКБ	128-267	1600-2400
2	Površinski kop Veliki Krivelj	ПКБК	151-495	3900-7400
3	Površinski kop Kriveljski kamen	ПККК	529-614	5800-6600
4	Površinski kop Cerovo	ПКЦ	423-515	11400-13900
5	Površinski kop Donja Bela Reka	ПКДБР	350-400	7600-8000
6	Površinski kop Zagrađe	ПКЗА	230-400	9100-10000
7	Flotacijsko jalovište Bor	ФЈБ	360-365	400-1300
8	Flotacijsko jalovište Veliki Krivelj	ФЈБК	300-400	1900-4500

Odabrane dodatne lokacije za merenje kvaliteta vazduha u periodu kada topionica bakra Bor nije u radu prikazane su u tabeli 4 i na slici 1.

**Tabela 4.** Geografski položaj mernih mesta na kojima je vršen monitoring kvaliteta vazduha u periodu kada topionica bakra Bor nije radila u 2022. godini

R. br.	Merno mesto	Skraćena oznaka MM	Geografske koordinate	Nadmorska visina	Udaljenost od topionice bakra
				m	m
1	Borsko jezero	БЈ	44°05'32" N 22°00'25" E	460	8680
2	Brestivačka banja	ББ	44°03'45" N 22°03'38" E	389	4269
3	Metovnica	МЕ	43°57'24" N 22°08'19" E	210	13600
4	Brestovac	БР	44°02'20" N 22°05'34" E	279	4483
5	Oštrej	ОШ	44°04'28" N 22°09'27" E	332	3867
6	Ind.zona (7. km)	ИЗ	44°02'40" N 22°07'05" E	412	3741
7	Slatinsko naselje	СН	44°03'33" N 22°06'31" E	379	2057
8	PU Bor	ПУ	44°04'41" N 22°05'51" E	383	961
9	Slatina	СЛ	44°02'18" N 22°10'24" E	226	6738
10	Gornjane	ГО	44°14'35" N 22°03'42" E	449	18780



**Sl. 1.** Položaj dodatnih mernih mesta u odnosu na najznačajnije izvore emisije zagađujućih materija u aglomeraciji Bor

Na svakom mernom mestu opisanom u tabeli 4 vršeno je uzorkovanje suspendovanih čestica referentnim semplerom Sven/Leckel LVS3 [2] sa glavom za uzorkovanje frakcije  $PM_{10}$ . Uzorkovanje je vršeno u trajanju od 10 dana (24-časovni uzorci su prikupljeni od 14 h do 14 h narednog dana). Kao medijum za prikupljanje uzoraka  $PM_{10}$  korišćeni su kvarcni filteri Whatman QM-A prečnika 47 mm. Uzorkovanje i određivanje masene koncentracije suspendovanih čestica  $PM_{10}$  vršeno je u skladu sa standardom SRPS EN12341:2015 [3]. Nakon određivanja mase eksponiranih filtera vršena je njihova dalja priprema za hemijske analize u skladu sa procedurom SRPS EN14902:2008 [4]. Sadržaj hemijskih elemenata u uzorcima je određen primenom ICP MS (Agilent model 7700). Limiti detekcije ovog uređaja za As, Pb, Cd, i Ni bili su 0.1, 0.5, 0.02, i 0.7  $ng/m^3$ , respektivno. Kontrola primenjenih postupaka izvršena je korišćenjem standarda Urban Particulate Matter Standard Reference Material 1648a [5].

Pored toga, u istom vremenskom periodu, simultano sa gravimetrijskim merenjima suspendovanih čestica  $PM_{10}$  na svakom mernom mestu iz tabele 4 vršena su kontinuirana merenja masenih koncentracija gasovitih polutanata  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $NO_2$ ,  $NO$ ,  $CO$  i  $O_3$  pomoću automatskih gasnih analizatora ( $SO_2$  Analizator - MODEL T100, EN 14212, TUV-Report: 936/21205926/B, 2007,  $NO_2$  Analizator MODEL T200, USEPA: Reference Method Number RFNA 1194-099 CE: EN61326,  $CO$  Analizator MODEL T300E, EU: EN14626 TÜV Rheinland,  $O_3$  Analizator MODEL T400, US EPA EQQA-0992-087 EU: EN14625 TÜV Rheinland) [6]. Navedeni analizatori ugrađeni su u mobilnu mernu stanicu kao što je prikazano na slici 2.



**Sl. 2.** Mobilna merna stanica sa automatskim analizatorima za merenje gasovitih polutanata

### 3. REZULTATI MERENJA I DISKUSIJA

U tabeli 5 prikazane su srednje vrednosti srednje dnevni koncentracija gasovitih polutanata PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, NO, kao i srednje vrednosti dnevni osmočasovni maksimuma koncentracija CO i O<sub>3</sub> u toku kampanje merenja. Za vreme kampanje merenja nisu detektovana prekoračenja dnevni granični vrednosti gasovitih polutanata ni na jednom mernom mestu.

U tabeli 6 prikazane su srednje vrednosti srednje dnevni koncentracija arsena, kadmijuma, olova i nikla detektovanih u suspendovanim česticama frakcije PM<sub>10</sub> na posmatranim mernim mestima.

**Tabela 5.** Rezultati automatskog monitoringa kvaliteta vazduha (srednje dnevne koncentracije PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, NO, i maksimumi dnevni srednjih osmočasovni vrednosti CO i O<sub>3</sub>)

Merno mesto	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>2</sub>	NO	CO	O <sub>3</sub>
	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
MM Borsko jezero	12.8	9.3	8.0	4.6	3.0	0.24	66.1
MM Brestovačka banja	19.4	7.3	6.5	3.6	1.8	0.25	72.6
MM Metovnica	26.3	21.0	7.9	4.1	2.4	0.23	94.7
MM Brestovac	19.1	4.4	10.0	6.7	2.4	0.21	93.0
MM Oštrej	20.9	6.1	9.9	6.4	2.3	0.16	91.8
MM Industrijska zona (7. km)	44.2	8.0	19.6	12.8	4.4	0.66	57.6
MM Slatinsko naselje	25.7	8.0	16.5	12.9	2.5	0.24	87.1
MM PU Bor	35.9	15.9	25.7	11.0	9.7	0.62	68.0
MM Slatina	23.3	21.4	14.2	8.7	3.5	0.40	88.0
MM Gornjane	34.8	5.3	12.2	8.0	2.9	0.52	67.6

**Tabela 6.** Rezultati analize sastava suspendovanih čestica frakcije PM<sub>10</sub> (statistika srednje dnevni koncentracija posmatranih hemijskih elemenata); ND - ispod granice detekcije

Merno mesto	As	Cd	Pb	Ni
	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
MM Borsko jezero	0.3	ND	0.5	1.9
MM Brestovačka banja	0.5	ND	1.7	1.3
MM Metovnica	1.2	ND	3.9	2.9
MM Brestovac	2.8	0.2	8.5	2.0
MM Oštrej	0.7	ND	2.6	2.4
MM Industrijska zona (7. km)	4.2	0.4	19.6	4.2
MM Slatinsko naselje	3.5	0.1	47.6	3.9
MM PU Bor	6.1	0.2	10.9	0.9
MM Slatina	3.6	0.1	5.1	2.6
MM Gornjane	0.5	ND	3.5	0.8

U toku kampanje merenja nisu detektovana prekoračenja granične vrednosti za srednje dnevnu koncentraciju olova u  $PM_{10}$ , niti prekoračenja ciljnih godišnjih vrednosti za koncentracije kadmijuma i nikla u  $PM_{10}$ . Na mernom mestu PU Bor koncentracije arsena u  $PM_{10}$  bile su iznad ciljne godišnje vrednosti u toku tri dana od 10 dana merenja. Maksimalna izmerena srednja dnevna vrednost koncentracije arsena u  $PM_{10}$  iznosila je  $11.3 \text{ ng/m}^3$ . Dominantan izvor zagađenja arsenom na ovom mernom mestu su emisije suspendovanih čestica  $PM_{10}$  iz površinskih izvora u krugu topionice bakra Bor (prašina koja se podiže i raznosi pod uticajem vetra i saobraćaja).

Izvršeno je poređenje rezultata dodatnih merenja kvaliteta vazduha sa rezultatima redovnog monitoringa kvaliteta vazduha iz državne i lokalne mreže monitoringa za periode januar-maj 2022. godine i jun-decembar 2022. godine. Srednje vrednosti rezultata merenja u aglomeraciji Bor u nevedenim periodima prikazane su u tabelama 7 i 8.

**Tabela 7.** Prosečne vrednosti srednje dnevne koncentracije  $SO_2$ ,  $PM_{10}$ , i koncentracija arsena, kadmijuma, olova i nikla u  $PM_{10}$  u posmatranim vremenskim periodima u 2022. godini; RM - redovni monitoring (merna mesta u okviru državne i lokalne mreže monitoringa u aglomeraciji Bor); DM - dopunski monitoring (deset dodatnih lokacija opisanih u tabeli 4)

Period merenja	$SO_2$	$PM_{10}$	As	Cd	Pb	Ni
	$\mu\text{g/m}^3$	$\mu\text{g/m}^3$	$\text{ng/m}^3$	$\text{ng/m}^3$	$\text{ng/m}^3$	$\text{ng/m}^3$
RM: januar - maj 2022. god.	61.4	37.3	26.0	3.2	93.5	4.9
RM: jun - decembar 2022. god.	12.6	32.3	4.9	0.2	12.7	5.1
DM: jun - decembar 2022. god.	10.7	26.2	2.3	0.2	10.4	2.3

Rezultati merenja prikazani u tabeli 7 jasno pokazuju da su, u periodu rada topionice bakra (januar-maj 2022. godina), prosečne koncentracije  $SO_2$ , kao i koncentracije arsena, kadmijuma i olova u  $PM_{10}$  značajno više u odnosu na koncentracije ovih polutanata koje su izmerene u periodu kada topionica bakra nije radila (jun-decembar 2022. godina). Ovakvi rezultati pokazuju da se dominantni izvori emisije navedenih polutanata nalaze u topionici bakra. Suprotno tome, prosečne koncentracije suspendovanih čestica  $PM_{10}$ , kao i koncentracije nikla u  $PM_{10}$  približno su jednake u oba posmatrana perioda. Ovakvi rezultati pokazuju da rad topionice ne utiče u većoj meri na povećanje koncentracija suspendovanih čestica  $PM_{10}$  u aglomeraciji Bor, i na povećanje koncentracije nikla u  $PM_{10}$ . Stoga se može zaključiti da se u topionici bakra, u periodu njenog rada tokom 2022. godine, nisu prerađivali koncentri bakra sa povećanim sadržajem nikla.

Rezultati dopunskog monitoringa u periodu kada topionica nije radila tokom 2022. godine, prikazani u tabeli 7, pokazuju da su prosečne koncentracije posmatranih polutanata na dodatnim lokacijama istog reda veličine kao i na mernim mestima na kojima se vrši redovni monitoring kvaliteta vazduha.

**Tabela 8.** *Prosečne srednje dnevne koncentracije NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, NO, i CO u posmatranom vremenskim periodima u 2022. godini, RM - redovni monitoring (AMS Bor Institut IRM), DM - dopunski monitoring (deset dodatnih lokacija koje su date u tabeli 4)*

Period merenja	NO <sub>x</sub>	NO <sub>2</sub>	NO	CO
	mg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>
RM: januar - maj 2022	48.3	24.4	13.6	0.6
RM: jun - decembar 2022	47.1	23.7	13.3	0.3
DM: jun - decembar 2022	13.1	7.9	3.5	0.3

Rezultati merenja prikazani u tabeli 8 jasno pokazuju da su, u periodu rada topionice bakra (januar-maj 2022. godina), prosečne koncentracije NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, i NO na automatskoj mernoj stanici Bor Institut IRM [7] bile približno jednake koncentracijama navedenih polutanata u periodu kada topionica bakra nije radila (jun-decembar 2022. godina). Iz navedenog proizilazi zaključak da dominantan izvor emisije NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, i NO na ovom mernom mestu nisu emisije azotnih oksida iz topionice bakra, već saobraćaj, pošto se ovo merno mesto nalazi neposredno pored jedne od najprometnijih ulica u gradu. U prilog ovoj konstantaciji govore i rezultati merenja azotnih oksida na dodatnim mernim mestima u periodu kada topionica bakra u Boru nije radila. Koncentracije azotnih oksida na dodatnim mernim mestima u proseku su tri puta niže od onih na mernom mestu Bor Institut IRM. Osnovni razlog za ovakve rezultate je položaj dodatnih mernih mesta, koja se uglavnom ne nalaze pored prometnih puteva, pa je i uticaj saobraćaja na dodatnim mernim mestima znatno manji nego na mernom mestu Bor Institut IRM. Prosečne koncentracije CO na mernom mestu Bor Institut IRM bile su duplo niže u periodu kada topionica bakra nije radila u odnosu na period kada je topionica bakra bila u radu, što ukazuje na to da emisije CO iz topionice bakra znatno utiču na povećanje koncentracija CO na ovom mernom mestu.

#### 4. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazani su rezultati dodatnih merenja kvaliteta vazduha u aglomeraciji Bor u periodu jun-decembar 2022. godine, u vreme kada topionica bakra u Boru nije radila.

Rezultati dodatnih merenja kvaliteta vazduha pokazuju da u posmatranom periodu nije bilo prekoračenja satnih i dnevnih graničnih vrednosti za gasovite polutante, kao ni prekoračenja granične vrednosti za srednje dnevnu koncentraciju olova u suspendovanim česticama frakcije PM<sub>10</sub>. Takođe, nisu detektovana prekoračenja ciljanih vrednosti za godišnje koncentracije kadmijuma i nikla u PM<sub>10</sub>. Koncentracija arsena u PM<sub>10</sub> na mernom mestu PU Bor bila je iznad ciljane godišnje vrednosti u trajanju od 3 od 10 dana merenja. Maksimalna izmerena

srednja dnevna vrednost koncentracije arsena u  $PM_{10}$  na ovom mernom mestu iznosila je  $11.3 \text{ ng/m}^3$ .

Na osnovu kompletnog uvida u rezultate merenja kvaliteta vazduha u aglomeraciji Bor u toku 2022. godine može se zaključiti da, u periodu kada je topionica bakra bila u radu, dominantan udeo u nivoima  $SO_2$ , CO, kao i koncentracijama arsena, kadmijuma i olova u  $PM_{10}$  potiče od emisija gasovitih polutanata iz topionice bakra.

Analizom rezultata merenja utvrđeno je da na mernom mestu Bor Institut IRM na nivo azotnih oksida dominantan uticaj imaju emisije azotnih oksida poreklom od saobraćaja. Takođe, rezultati merenja kvaliteta vazduha ukazuju na to da rad topionice bakra u 2022. godini nije u većoj meri doprineo povećanju koncentracija suspendovanih čestica  $PM_{10}$  u aglomeraciji Bor. U periodu rada topionice bakra u 2022. godini, nisu prerađivani koncentri bakra sa povećanim sadržajem nikla, tako da su izmerene koncentracije nikla u  $PM_{10}$  u 2022. godini bile na nivou prirodnog fona.

## ZAHVALNICA

*Ovaj rad je finansijski podržan od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, Ugovor o realizaciji i finansiranju naučnoistraživačkog rada u 2023. godini za Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, br. 451-03-47/2023-01/200052.*

## LITERATURA

- [1] N. Ristić, A. Simonovski, V. Tasić, T. Apostolovski-Trujić, T., Analiza rezultata merenja čestica  $PM_{10}$  na teritoriji grada Bora za period 2020-2021. godine, Bakar, Vol.46, 2 (2021) 19-28.
- [2] <https://www.et.co.uk/assets/resources/datasheets/lvs3mvs6e.pdf> (pristupljeno 03.03.2023.)
- [3] SRPS EN 12341:2015 Vazduh ambijenta - Standardna gravimetrijska metoda merenja za određivanje  $PM_{10}$  ili  $PM_{2.5}$  masene koncentracije suspendovanih čestica, [https://iss.rs/sr\\_Cyrl/publication/show/iss:pub:50728](https://iss.rs/sr_Cyrl/publication/show/iss:pub:50728) (pristupljeno 03.03.2023.)
- [4] SRPS EN 14902:2008 Kvalitet vazduha ambijenta - Standardna metoda za određivanje Pb, Cd, As i Ni u frakciji  $PM_{10}$  suspendovanih čestica; [https://iss.rs/sr\\_Cyrl/project/show/iss:proj:18667](https://iss.rs/sr_Cyrl/project/show/iss:proj:18667) (pristupljeno 03.03.2023.)
- [5] Standard Reference Material 1648a - Urban Particulate Matter [https://www-s.nist.gov/srmors/view\\_detail.cfm?srm=1648A](https://www-s.nist.gov/srmors/view_detail.cfm?srm=1648A) (pristupljeno 03.03.2023.)
- [6] <https://www.teledyne-api.com/products> (pristupljeno 03.03.2023.)
- [7] <http://www.amskv.sepa.gov.rs/pregledpodataka.php?stanica=26> (pristupljeno 03.03.2023.)

## 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](mailto:nti@irnbor.co.rs) ; [ana.kostov@irnbor.co.rs](mailto: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**

---

Dušan Tašić, Ivan Jovanović, Katarina Milivojević, Dragan Ignjatović <b>IZRADA GEOTEHNIČKOG I HIDROGEOLOŠKOG MODELA SEKTORA BR. 6 FLOTACIJSKOG JALoviŠTA „VALJA FUNDATA“ U MAJDANPEKU</b> DEVELOPMENT OF A GEOTECHNICAL AND HYDROGEOLOGICAL MODEL ON THE SECTOR 6 OF THE "VALJA FU DATA" FLOTATION TAILING DUMP IN MAJDANPEK .....	
Ivan Jovanović, Dragan Ignjatović, Katarina Milivojević <b>ODREĐIVANJE PARAMETARA SMIČUĆE ČVRSTOĆE NA TRIAKSIJALNIM UREĐAJIMA</b> DETERMINATION OF THE SHEAR STRENGTH PARAMETERS ON TRIAxIAL DEVICES .....	11
Krsta Brčić <b>UNAPREĐENJE ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE U OKOLINI RUDNIKA AUTOMATIZACIJOM MONITORINGA KVALITETA TEKUĆE VODE</b> IMPROVEMENT OF THE ENVIRONMENTAL PROTECTION IN THE MINE AREA BY THE MONITORING AUTOMATIZATION OF THE FLOWING WATER QUALITY .....	23
Viša Tasić, Vladan Kamenović, Bojan Radović, Nikola Mišić, Ivan Zlatković <b>MERENJE KVALITETA VAZDUHA I TERMALNOG KOMFORA U KANCELARIJAMA PRIMENOM LOW-COST SENZORA I MONITORA</b> AIR QUALITY AND THERMAL COMFORT MEASUREMENTS IN THE OFFICES USING THE LOW-COST SENSORS AND MONITORS .....	43
Viša Tasić, Tatjana Apostolovski-Trujić, Bojan Radović, Renata Kovačević, Nevena Ristić, Tamara Urošević, Vladan Kamenović <b>MERENJE KVALITETA VAZDUHA U AGLOMERACIJI BOR U 2022. GODINI U PERIODU REKONSTRUKCIJE TOPIONICE BAKRA U BORU</b> MEASUREMENT OF THE AIR QUALITY IN THE AGGLOMERATION OF BOR IN 2022 DURING THE COPPER SMELTER RECONSTRUCTION IN BOR .....	53
Nenad Marković, Slobodan Bjelić, Filip Marković <b>ANALIZA ASINHRONIH ELEKTROMOTORNIH POGONA ZA INDUSTRIJSKE MAŠINE SA CIKLIČNIM (INTERMITIRANIM) UDARNIM OPTEREĆENJEM</b> ANALYSIS OF THE ASYNCHRONOUS ELECTRICAL DRIVES FOR THE INDUSTRIAL MACHINES WITH A CYCLIC (INTERMITTENT) ELECTRICAL SHOCK LOAD .....	63

---