

KVALITET VAZDUHA U GRADU BORU U 2023. GODINI

AIR QUALITY IN THE CITY OF BOR IN 2023

Tatjana Apostolovski-Trujić^{1a}, Bojan Radović^{1b}, Renata Kovačević^{1c},
Nevena Ristić^{1d}, Tamara Urošević^{1e}, Viša Tasić^{1f}, Vladan Kamenović^{1g}

¹Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Alberta Ajnštajna 1, 19210 Bor

^{1a}E-mail: tanja.trujic@irmbor.co.rs, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9369-160X>

^{1b}E-mail: bojan.radovic@irmbor.co.rs, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4884-1418>

^{1c}E-mail: renata.kovacevic@irmbor.co.rs, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4108-0855>

^{1d}E-mail: nevena.ristic@irmbor.co.rs, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1408-237X>

^{1e}E-mail: tamara.urosevic@irmbor.co.rs, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9838-3702>

^{1f}E-mail: visa.tasic@irmbor.co.rs, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6710-6529>

^{1g}E-mail: vladan.kamenovic@irmbor.co.rs, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9476-5378>

Izvod

U ovom radu je analiziran kvalitet vazduha u gradu Boru tokom 2023. godine. U periodu od 01.05.2022. do 01.04.2023. godine, topionica bakra u Boru nije bila u radu zbog rekonstrukcije i povećanja kapaciteta. Rezultati analize pokazuju da u 2023. godini nije bilo prekoračenja dnevne granične vrednosti za koncentracije SO₂, PM₁₀ i čađi ni na jednom mernom mestu. U periodu tokom rekonstrukcije, za merno mesto Jugopetrol, korelacije (Pearson) između PM₁₀ i hemijskih elemenata Cd i As bile su umerene (0.6 > r > 0.4), dok su u periodu pre i nakon rekonstrukcije bile jake (0.8 > r > 0.6) i vrlo jake (r > 0.8). Rezultati prikazani u radu jasno ukazuju na to da je i pored rekonstrukcije topionice bakra, problem emisije visokih koncentracija kancerogenih elemenata u PM₁₀ iz topionice bakra i dalje prisutan. Potrebno je hitno primeniti dodatne mere da se ove emisije svedu na zakonom predviđene vrednosti.

Ključne reči: kvalitet vazduha, monitoring, sumpor dioksid, arsen, kadmijum, topionica

Abstract

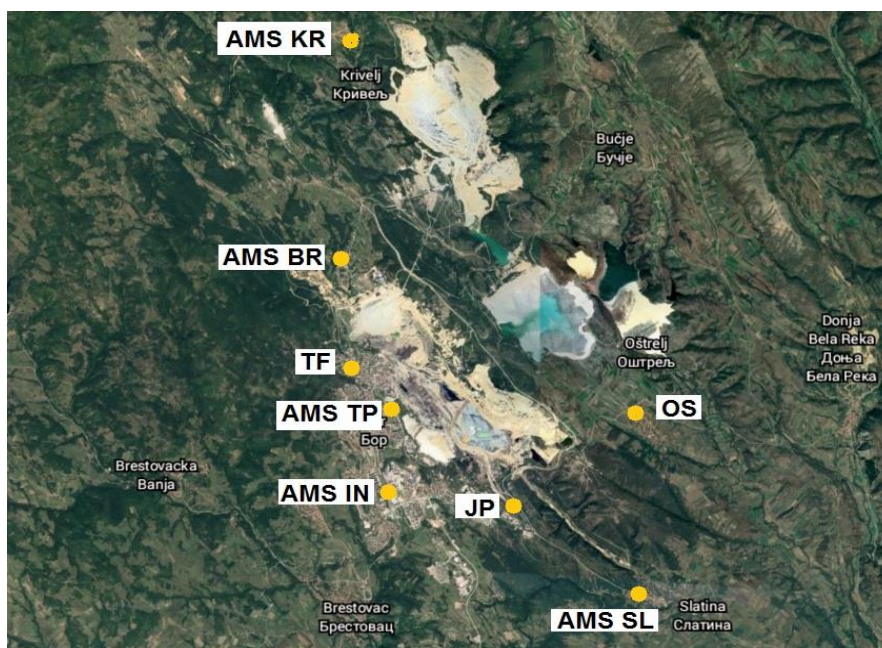
The air quality in the city of Bor in 2023 is analysed in this paper. In the period from May 1, 2022 until April 1, 2023 the copper smelter in Bor was not working due to reconstruction and capacity increase. The analyses show that in 2023, no exceeding of the daily limit value for SO₂, PM₁₀, and soot concentrations was detected at any measuring point. During the reconstruction of the copper smelter, correlation coefficients (Pearson) at measurement point "Jugopetrol" between PM₁₀ and the chemical elements Cd and As were moderate (0.6 > r > 0.4), while in the period before and after the reconstruction of the smelter, they were strong (0.8 > r > 0.6), and very strong (r > 0.8). The results presented in the paper indicate that despite the reconstruction of the copper smelter, the problem of emission of high concentrations of carcinogenic elements in PM₁₀ from the copper smelter is still present. It is necessary to urgently implement additional measures to reduce these emissions to the values provided by law.

Keywords: air quality, monitoring, sulfur dioxide, arsenic, cadmium, smelter

1. UVOD

Zagađenje vazduha podrazumeva prisustvo hemikalija, čestica ili bioloških materijala koji nanose štetu ili uzrokuju nelagodnost kod čoveka i drugih živih bića, odnosno ugrožavaju prirodnu sredinu u atmosferi [1]. Do zagađenja vazduha dolazi kada se gasovi i mikroskopske čestice prašine (PM_{10} i $PM_{2.5}$) i čađi oslobađaju u atmosferu, što izaziva promenu prirodnog odnosa i koncentracije osnovnih komponenti vazduha. Ponekad ove čestice dospevaju u atmosferu prirodnim putem, na primer oslobađanjem usled prirodnih požara. Ipak, mnogo češće je slučaj da one dospeju u atmosferu kao posledica čovekovih aktivnosti.

U periodu do 2016. godine, u topionici bakra u Boru korišćena je zastarela tehnologija topljenja koncentrata bakra što je za posledicu imalo zagađenje životne sredine. Povećane koncentracije sumpor dioksida, iznad propisanih graničnih vrednosti za satne i dnevne koncentracije, detektovane su vrlo često na svim mernim mestima za kontrolu kvaliteta vazduha u Boru (merna mesta su prikazana na slici 1).



Sl. 1. Lokacije mernih mesta za monitoring koncentracija sumpor dioksida, čađi i suspendovanih čestica PM_{10} na teritoriji grada Bora (1. Gradski park - TP, 2. Institut - IN, 3. Brezonik - BR, 4. Krivelj - KR, 5. Slatina - SL, 6. Jugopetrol - JP, 7. Tehnički fakultet - TF, 8. Oštrelj - OS)

U periodu od 2016. godine pa do danas, u topionici bakra u Boru koristi se *flash smelting* tehnologija topljenja koncentrata bakra [2], pri čemu su svi otpadni gasovi iz *flash* peći prerađuju u fabrici sumporne kiseline. Kao posledica emisija otpadnih gasova iz topionice bakra koje nisu obuhvaćene sistemima za prečišćavanje, u periodu 2016. - 2021. godine, prisutno je zagađenje životne sredine usled povećanja obima proizvodnje u topionici bakra i rudnicima bakra u okolini Bora. Od avgusta 2021. godine počelo je sa radom postrojenje za odsumporavanje otpadnih gasova u topionici, tako da je većina otpadnih gasova iz procesa topljenja bakra prerađivana u ovom postrojenju pre emitovanja u atmosferu. U periodu 01.05.2022. do 30.04.2023. godine, topionica bakra u Boru nije radila zbog rekonstrukcije i proširenja kapaciteta [3,4]. Očekivanja su da nakon rekonstrukcije svi otpadni gasovi iz pogona u topionici bakra budu adekvatno tretirani pre ispuštanja u atmosferu. U ovom radu je analiziran kvalitet vazduha u gradu Boru u toku 2023. godine (u toku rekonstrukcije i nakon rekonstrukcije topionice bakra) u odnosu na period pre rekonstrukcije topionice (2021.) kada je topionica radila u kontinuitetu.

2. REZULTATI MERENJA I DISKUSIJA

U tabeli 1 prikazane su srednje godišnje vrednosti koncentracija SO₂ u Boru, u 2021. i 2023. godini [5]. Radi poređenja, posmatran je period tokom 2021. godine (period pre rekonstrukcije) kada je topionica radila u kontinuitetu i period tokom 2023. godine (u toku rekonstrukcije i nakon rekonstrukcije topionice bakra). Na osnovu podataka iz tabele 1, na većini mernih mesta, srednje godišnje koncentracije SO₂ u 2023. godini značajno su niže u odnosu na vrednosti koncentracija SO₂ u 2021. godini. U toku 2023. godine nisu zabeležena prekoračenja srednje dnevne granične vrednosti za koncentraciju SO₂ ni na jednom mernom mestu, dok su u toku 2021. godine prekoračenja dnevne granične vrednosti zabeležena na svim mernim mestima, osim na mernom mestu SL i KR [5].

Tabela 1. Srednje godišnje koncentracije sumpor dioksida (µg/m³) u Boru u 2021. i 2023. godini (Tehnički fakultet - TF, Gradski park - TP, Institut - IN, Jugopetrol - JP, Brezonik - BR, Slatina - SL, Krivelj - KR)

	SO ₂ _TF	SO ₂ _TP	SO ₂ _IN	SO ₂ _JP	SO ₂ _BR	SO ₂ _SL	SO ₂ _KR
2021	53.0	44.0	28.0	166.0	34.0	16.7	11.8
2023	8.8	11.6	8.1	17.9	12.1	11.1	12.4
Godišnja granična vrednost	50						

U periodu 2021.-2023. godine, koncentracija čađi određivana je na mernim mestima TP i IN. U 2023. godini, na ovim mernim mestima, srednje godišnje koncentracije čađi iznosile su $6.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $6.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respektivno. U posmatranom periodu (2021-2023) nisu zabeležena prekoračenja dnevne granične vrednosti za koncentraciju čađi ni na jednom mernom mestu [5].

U tabeli 2 prikazane su srednje godišnje vrednosti koncentracija PM_{10} u Boru, po mernim mestima, u 2021. i 2023. godini. Tokom 2023. godine nisu zabeležena prekoračenja godišnje granične vrednosti za koncentracije PM_{10} ni na jednom mernom mestu. Međutim, zabeležena su prekoračenja granične vrednosti za srednju dnevnu koncentraciju PM_{10} na mernim mestima: JP (52 dana), BR (48 dana) i OS (31 dan) [5]. U 2021. godini, prekoračenja granične vrednosti za srednju dnevnu koncentraciju PM_{10} zabeležena su na mernim mestima: BR (100 dana), JP (95 dana) i OS (64 dana) [5]. Iz rezultata datih u tabeli 2 uočava se neznatno smanjenje srednjih godišnjih vrednosti koncentracija PM_{10} na svim mernim mestima, osim na mernom mestu KR. Smanjenje u broju dana sa prekoračenjima granične vrednosti za srednju dnevnu koncentraciju PM_{10} u 2023. godini u odnosu na 2021. godinu evidentno je na svim mernim mestima, osim na mernom mestu KR [5].

Tabela 2. Srednje godišnje koncentracije PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) u Boru u 2021. i 2023. godini (Gradski park - TP, Institut - IN, Jugopetrol - JP, Krivelj - KR, Brezonik - BR, Oštrelj - OS, Godišnja granična vrednost - LV)

	PM_{10_TP}	PM_{10_IN}	PM_{10_JP}	PM_{10_KR}	PM_{10_BR}	PM_{10_OS}
2021	30.3	37.7	39.4	27.4	39.9	36.2
2023	23.4	33.8	35.1	28.5	34.2	28.8
LV	40					

U tabeli 3 prikazane su srednje godišnje koncentracije olova u PM_{10} u Boru, po mernim mestima, u 2021. i 2023. godini. Tokom 2023. godine nisu zabeležena prekoračenja godišnje granične vrednosti za koncentracije olova u PM_{10} ni na jednom mernom mestu. U 2023. godini zabeležena su prekoračenja granične vrednosti za srednju dnevnu koncentraciju olova u PM_{10} na mernom mestu JP (2 dana). U 2021. godini, prekoračenja granične vrednosti za srednju dnevnu koncentraciju olova u PM_{10} zabeležena su na mernim mestima: JP (34 dana) i IN (2 dana) [5]. Iz rezultata datih u tabeli 3 uočava se znatno smanjenje srednjih godišnjih vrednosti koncentracija olova u PM_{10} na svim mernim mestima u 2023. godini u odnosu na 2021. godinu. Ovakvo smanjenje koncentracija olova u PM_{10} u direktnoj je vezi sa smanjenim obimom prerade koncentrata bakra u topionici koji sadrže olovo.

Tabela 3. Srednje godišnje koncentracije Pb (ng/m^3) u PM_{10} u Boru u 2021. i 2023. godini (Gradski park - TP, Institut - IN, Jugopetrol - JP, Krivelj - KR, Brezonik - BR, Oštrelj - OS, Godišnja granična vrednost - LV)

	Pb_TP	Pb_IN	Pb_JP	Pb_KR	Pb_BR	Pb_OS
2021	169	208	332	18	81	47
2023	45	53	112	5	20	9
LV	500					

U tabeli 4 prikazane su srednje godišnje koncentracije arsena u PM_{10} u Boru, po mernim mestima, u 2021. i 2023. godini. Iz rezultata datih u tabeli 4 uočava se smanjenje srednjih godišnjih vrednosti koncentracija arsena u PM_{10} na svim mernim mestima u 2023. godini u odnosu na 2021. godinu. I pored toga, tokom 2023. godine zabeležena su prekoračenja godišnje ciljne vrednosti za koncentraciju arsena u PM_{10} na svim mernim mestima, osim na mernim mestima KR i OS. U periodu nakon rekonstrukcije topionice bakra, 01.04 - 31.12.2023. godine, na mernom mestu JP zabeleženo je 26 dana sa koncentracijama As u PM_{10} preko 20 puta višim od ciljne godišnje vrednosti ($6 \text{ ng}/\text{m}^3$).

Tabela 4. Srednje godišnje koncentracije As (ng/m^3) u PM_{10} u Boru u 2021. i 2023. godini (Gradski park - TP, Institut - IN, Jugopetrol - JP, Krivelj - KR, Brezonik - BR, Oštrelj - OS, Godišnja ciljna vrednost - CV)

	As_TP	As_IN	As_JP	As_KR	As_BR	As_OS
2021	74.7	40.6	123.0	7.1	33.1	17.7
2023	15.4	12.2	39.8	1.7	6.6	3.1
CV	6					

U tabeli 5 prikazane su srednje godišnje koncentracije kadmijuma u PM_{10} u Boru, po mernim mestima, u 2021. i 2023. godini. Iz rezultata datih u tabeli 5 uočava se povećanje srednjih godišnjih vrednosti koncentracija kadmijuma u PM_{10} na gotovo svim mernim mestima u 2023. godini u odnosu na 2021. godinu (osim na mernim mestima KR i OS). Tokom 2023. godine zabeleženo je prekoračenje godišnje ciljne vrednosti za koncentraciju kadmijuma u PM_{10} na mernom mestu JP. U periodu nakon rekonstrukcije topionice bakra, 01.04.2024. - 31.12.2023. godine, na mernom mestu JP zabeleženo je 13 dana sa koncentracijama Cd u PM_{10} preko 10 puta višim od ciljne godišnje vrednosti ($5 \text{ ng}/\text{m}^3$).

Tabela 5. Srednje godišnje koncentracije Cd (ng/m^3) u PM_{10} u Boru u 2021. i 2023. godini (Gradski park - TP, Institut - IN, Jugopetrol - JP, Krivelj - KR, Brezonik - BR, Oštrelj - OS, Godišnja ciljna vrednost - CV)

	Cd_TP	Cd_IN	Cd_JP	Cd_KR	Cd_BR	Cd_OS
2021	3.1	2.0	5.6	0.5	1.8	1.1
2023	3.6	2.7	9.5	0.5	1.9	0.7
CV	5					

U tabeli 6 prikazane su srednje godišnje koncentracije nikla u PM_{10} u Boru, po mernim mestima, u 2021. i 2023. godini. Iz rezultata datih u tabeli 6 uočava se smanjenje srednjih godišnjih vrednosti koncentracija nikla u PM_{10} na svim mernim mestima u 2023. godini u odnosu na 2021. godinu. Tokom 2023. godine nije zabeleženo prekoračenje godišnje ciljne vrednosti za koncentraciju nikla u PM_{10} ni na jednom mernom mestu. Ovakvo smanjenje koncentracija nikla u PM_{10} u direktnoj je vezi sa smanjenim obimom prerade koncentrata bakra u topionici koji sadrže Ni.

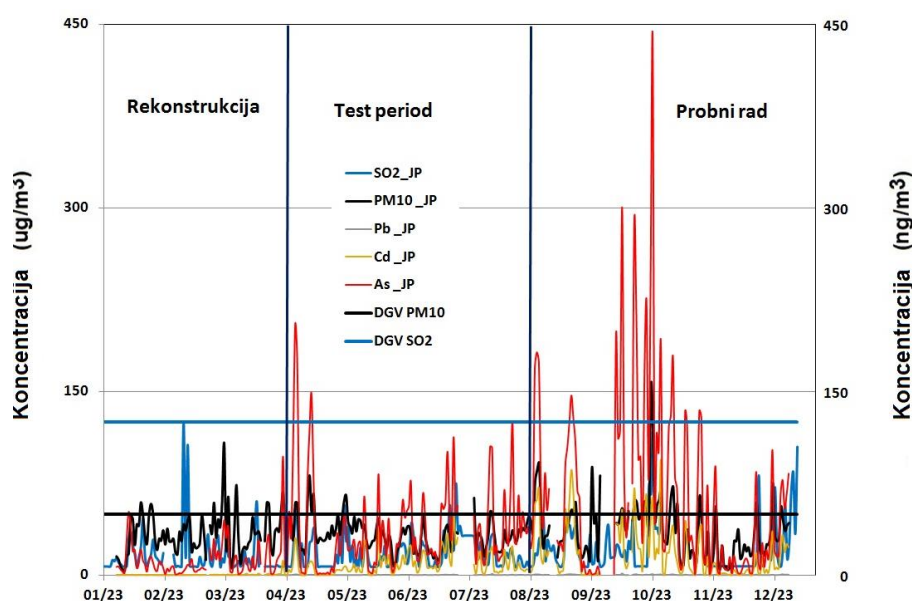
Tabela 6. Srednje godišnje koncentracije Ni (ng/m^3) u PM_{10} u Boru u 2021. i 2023. godini (Gradski park - TP, Institut - IN, Jugopetrol - JP, Krivelj - KR, Brezonik - BR, Oštrelj - OS, Godišnja ciljna vrednost - CV)

	Ni_TP	Ni_IN	Ni_JP	Ni_KR	Ni_BR	Ni_OS
2021	13.4	9.9	14.9	5.2	11.4	7.5
2023	<2	2.2	2.4	<2	<2	<2
CV	20					

Na slici 2 prikazane su srednje dnevne koncentracije zagađujućih materija na mernom mestu JP izmerene tokom 2023. godine. Merno mesto JP je na pravcu dominantnog vetra koji iz pravca topionice bakra donosi zagađenje na ovo merno mesto. Prema rezultatima merenja koji su prikazani na slici 2, evidentno je da se i nakon rekonstrukcije topionice bakra, na ovom mernom mestu detektuju ekstremno visoke koncentracije kancerogenih elemenata u PM_{10} , poreklom iz topionice bakra.

U periodu rekonstrukcije topionice bakra nisu detektovane visoke koncentracije As i Cd u PM_{10} na mernom mestu JP. Prema tome, nameće se zaključak da su tokom 2023. godine, detektovane visoke koncentracije As i Cd u PM_{10} na mernom mestu JP, poreklom iz topionice bakra, odnosno da su rezultat prerade koncentrata bakra sa povećanim sadržajem As i Cd. To znači da su procentualne vrednosti ovih kancerogenih elemenata u koncentratu bakra u

pojednim vremenskim periodima bile više u odnosu na vrednosti koje su predviđene u studiji o proceni uticaja na životnu sredinu projekta: Povećanje kapaciteta topionice bakra u okviru kompleksa „Serbia Zijin Copper” DOO [3]. Iz tog razloga je potrebno primeniti dodatne mere da se sastav koncentrata koji se prerađuju u topionici bakra u Boru redovno kontroliše i uskladi sa propisanim vrednostima u pomenutoj studiji [3] kako bi se sadržaj kancerogenih elemenata u suspendovanim česticama frakcije PM₁₀ doveo na zakonom predviđene vrednosti, na svim mernim mestima u Boru.



Sl. 2. Srednje dnevne koncentracije zagađujućih materija na mernom mestu Jugopetrol - JP izmerene u toku 2023. godine (DGV - dnevna granična vrednost)

Rezultati korelacione analize za merno mesto JP, u periodu 2022. - 2023. godine, prikazani u tabeli 7, pokazuju da su u periodu rekonstrukcije topionice bakra korelacije (Pearson coefficient of correlation, r) između PM₁₀ i elemenata Cd, As bile umerene i pozitivne ($0.6 > r > 0.4$), dok su u periodu pre i nakon rekonstrukcije topionice bile jake i pozitivne ($0.8 > r > 0.6$) i vrlo jake i pozitivne ($r > 0.8$). U periodu rekonstrukcije, korelacija Pb sa PM₁₀, As i Cd bila je vrlo slaba ($r < 0.2$). Ovakvi rezultati korelacione analize na mernom mestu JP, u periodu rada topionice bakra, jasno ukazuju da je izvor zagađenja suspendovanim česticama PM₁₀ i hemijskim elementima As, Cd i Pb u PM₁₀, zajednički, te da to aerozagađenje potiče iz topionice bakra u Boru.

Tabela 7. Koeficijenti korelacije (Pearson) između koncentracija PM_{10} i hemijskih elemenata detektovanih u PM_{10} na mernom mestu JP u periodima pre rekonstrukcije topionice bakra (01.01.2022.-01.05.2022.), u toku rekonstrukcije topionice bakra (01.05.2022.-01.04.2023.) i nakon rekonstrukcije topionice bakra (01.04.2023.- 31.12.2023.)

Korelacioni koeficijenti u periodu pre rekonstrukcije topionice				
	PM10	As	Cd	Pb
PM10	1			
As	0.609	1		
Cd	0.615	0.804	1	
Pb	0.637	0.754	0.887	1
Korelacioni koeficijenti u periodu rekonstrukcije topionice				
	PM10	As	Cd	Pb
PM10	1			
As	0.518	1		
Cd	0.503	0.511	1	
Pb	0.124	0.403	0.171	1
Korelacioni koeficijenti u periodu nakon rekonstrukcije topionice				
	PM10	As	Cd	Pb
PM10	1			
As	0.718	1		
Cd	0.591	0.847	1	
Pb	0.612	0.843	0.842	1

3. ZAKLJUČAK

U ovom radu je analiziran kvalitet vazduha u gradu Boru tokom perioda 2021. - 2023. godine. Rezultati analize pokazuju da u 2023. godini nije bilo prekoračenja godišnje granične vrednosti za koncentracije SO_2 , PM_{10} i čađi ni na jednom mernom mestu.

Rezultati prikazani u radu jasno ukazuju na to da je, i pored rekonstrukcije topionice bakra, problem emisije visokih koncentracija kancerogenih elemenata u PM_{10} iz topionice bakra i dalje prisutan, pošto je Pearson coefficient of correlation, r , između PM_{10} i elemenata Cd, As:

- u periodu rekonstrukcije topionice bakra bio umeren i pozitivan $0.6 > r > 0.4$,
- u periodu pre i nakon rekonstrukcije topionice bio je jak i pozitivan $0.8 > r > 0.6$, i vrlo jak i pozitivan $r > 0.8$.

Preporuka je da se pokrene postupak redovne kontrole sastava koncentrata bakra koji se prerađuju u topionici bakra u Boru i izvrši usklađivanje sa propisanim vrednostima za procentualni sastav kancerogenih elemenata u koncentratu bakra. Ove vrednosti su jasno definisane u Studiji o proceni uticaja na životnu sredinu projekta: „Povećanje kapaciteta topionice bakra u okviru kompleksa „Serbia Zijin Copper” DOO“.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je finansijski podržan od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, Ugovor o realizaciji i finansiranju naučnoistraživačkog rada u 2024. godini za Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, br. 451-03-66/2024-03/ 200052.

Ovaj rad je finansijski podržan od strane programa Horizon Europe Research and Innovation program, u okviru ugovora o grantu br.101060170 - WeBaSOOP, "Research Reinforcing in the Western Balkans' in Offline and Online Monitoring and Source Identification of Atmospheric Particles."

LITERATURA

- [1] D. Knežević, D. Nišić, A. Cvjetić, D. Randelović, Monitoring u životnoj sredini - Odabrana poglavlja, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Urednik: Aleksandar Ganić, 2015, ISBN: 978-86-7352-288-3
- [2] Ilkka V Kojo, Hannes 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 Kongoli F. and Reddy R.G. TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), 2006.
- [3] Studija o proceni uticaja na životnu sredinu projekta: Povećanje kapaciteta topionice bakra u okviru kompleksa „Serbia Zijin Copper” DOO, Tehnološko-metalurški fakultet Beograd, jul 2021., i dopuna iz aprila 2022.
- [4] V.Tasić, T. Apostolovski-Trujić, B. Radović, R. Kovačević, N. Ristić, T. Urošević, V. Kamenović, Merenje kvaliteta vazduha u aglomeraciji Bor u 2022. godini u periodu rekonstrukcije topionice bakra u Boru, Bakar, Vol.48, 1 (2023) 53-62.

- [5] Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor (IRM Bor), Laboratorija za hemijska ispitivanja, Odeljenje za zaštitu životne sredine i klimatske promene, Bor, Srbija: Godišnji i mesečni izveštaji o kvalitetu ambijentalnog vazduha u Boru za period 2021-2023. (Arhiva IRM Bor)