

INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR



Cu

UDC 669.3

ISSN 0351-0212

Broj 2 Volumen 47 2022

# 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](mailto: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](mailto: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](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.**

**Uredivački odbor**

Dr Mile Bugarin, *naučni savetnik*  
*Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor*  
Prof. dr Tatjana Volkov Husović, *red. prof.*  
*Tehnološko-metalurški fakultet Beograd*  
Dr Silvana Dimitrijević, *viši naučni saradnik*  
*Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor*  
Prof. dr Bojan Jokić, *vanr.profesor*  
*Fakultet primenjenih umetnosti u Beogradu*  
Dr Ana Kostov, *naučni savetnik*  
*Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor*  
Prof. dr Sergey Krasikov  
*Institut za metalurgiju Uralskog odeljenja*  
*Ruske akademije nauka, Rusija*  
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 Milaneč 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*  
*Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju 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 informatics, as well as related fields of science. Since 1968, published twice a year.

**Editor-in-Chief**

Ph.D. Milenko Ljubojev, *Principal Research Fellow, full member of ECS*  
Mining and Metallurgy Institute Bor  
E-mail: [milenko.ljubojev@irmbor.co.rs](mailto: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](mailto:ana.kostov@irmbor.co.rs)  
Phone: +38130/454-108

**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  
*Faculty of Technology and Metallurgy Belgrade*  
Ph.D. Sylvana Dimitrijević,  
*Senior Research Associate*  
*Mining and Metallurgy Institute Bor*  
Prof.Ph.D. Bojan Jokić  
*Faculty of Applied Arts in Belgrade*  
Ph.D. Ana Kostov, *Principal Research Fellow*  
*Mining and Metallurgy Institute Bor*  
Prof.Ph.D. Sergey Krasikov  
*Institute of Metallurgy of Ural Branch*  
*of the Russian Academy of Sciences, Russia*  
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  
*Engineering Chamber 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*  
*Institute of Chemistry, 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*

---

## BAKAR 47 (2022) 2 COPPER

UDK:543.2:546.57/.59(045)=163.41

Primljen: 27.08.2022.

DOI: 10.5937/bakar2202001D

Prerađen: 26.09.2022.

NAUČNI RAD

Prihvaćen: 17.10.2022.

Oblast: Hemija

### SMANJIVANJE Matriks EFEKTA U ANALIZI ZLATA I SREBRA ICP-MS TEHNIKOM

### REDUCTION OF THE MATRIX EFFECTS IN THE GOLD AND SILVER ANALYSIS USING THE ICP-MS TECHNIQUE

Miloš Đukić<sup>1,2</sup>, Stefan Đordjevski<sup>1</sup>, Renata Kovačević<sup>1</sup>, Dragana Adamović<sup>1</sup>,  
Mirjana Šteharnik<sup>1</sup>, Sanela Vasiljević<sup>1,3</sup>, Brankica Jakša<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni Bulevar 35, 19210 Bor

<sup>2</sup>Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Nišu, Višegradska 33, 18000 Niš

<sup>3</sup>Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beogradu, Vojske Jugoslavije 12,  
19210 Bor

e-mail: milosdjukic@irmbor.co.rs

#### Izvod

Indukovano spregnuta plazma sa masenom spektrometrijom (ICP-MS) u poslednjih nekoliko decenija predstavlja nezamenljivu tehniku u analizi geoloških uzoraka. Ovom tehnikom može se odrediti veliki broj elemenata u tragovima, kao što su plemeniti metali i elementi retkih zemalja. Međutim, tehnika je ograničena spektralnim i nespektralnim smetnjama, koje mogu da utiču na rezultate analize. Cilj rada bio je da se nespektralne smetnje umanjuju metodom razblaženja uzorka (1000 - 10000). Uzorak koji sadrži zlatnosne minerale je podvrgnut digestiji u carskoj vodi, a određivanje je vršeno na NexION 1000 PerkinElmer ICP-MS instrumentu. Rezultati su pokazali da su razlike u koncentracijama zlata i srebra u standardnom i He modu neznatne pri razblaženju od 10000, što govori o tome da je efekat matriksa umanjen primenom većeg razblaženja. Rezultati XRD analize pokazuju da su u ispitanim uzorcima veoma zastupljeni sulfidni minerali pirit ( $FeS_2$ ) i kovelin ( $CuS$ ), pa se digestijom ovih uzoraka carskom vodom dobijaju rastvori koji sadrže gvožđe i bakar kao najzastupljenije komponente matriksa.

**Ključne reči:** ICP-MS, XRD, zlato, srebro, matriks efekat

#### Abstract

Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) has been an indispensable technique in the analysis of geological samples in the last few decades. This technique can determine a large number of trace elements, such as the precious metals and rare earth elements. However, the technique is limited by the spectral and non-spectral interferences, which can affect the results of analysis. The aim of this study was to reduce the non-spectral interferences by the method of sample dilution (1000 - 10000). A sample containing gold-bearing minerals was subjected to a digestion in aqua regia, and determination was performed on a NexION 1000 PerkinElmer ICP-MS instrument. The results showed that the differences in gold and silver concentrations in the standard and He modes were insignificant at a dilution of 10000 indicating that the matrix effect was reduced applying a higher dilution. The

*results of XRD analysis have showed that the sulphide minerals pyrite ( $FeS_2$ ) and covellite ( $CuS$ ) were very abundant in the tested samples, so the digestion of these samples with aqua regia has yielded the solutions containing iron and copper as the most abundant components of the matrix.*

**Keywords:** ICP-MS, XRD, gold, silver, matrix effect

## 1. UVOD

Zlato i srebro spadaju u retke i rasejane metale, kojima je zemljina kora vrlo siromašna. Zlata ima oko dvadeset puta manje nego srebra, a više hiljada puta nego bakra. Pripadnici su iste Ib podgrupe periodnog sistema. Široko su rasprostranjeni u slobodnom (elementarnom) stanju, ali i u obliku sulfida, selenida, telurida i arsenida. Poznato su 22 minerala zlata, od kojih je 13 tipa intermetalnih jedinjenja i čvrstih rastvora (elektrum (Ag-Au), aurokuprid ( $AuCl_3$  i  $AuCl_2$ ) i rodit (Au-Pt-Ir-Pd)), a devet tipova su teluridi (silvanit ( $Au,Ag)Te_4$ , krenerit ( $Au,Ag)Te_2$ )). Zlato se javlja sa sulfidnim mineralima, koji su kristalizali u međuprostorima silikatnih minerala, u neposrednoj piritnoj okolini. Srebro se može naći u oko četrdeset minerala, gde osim samorodnih metalova i telurida spadaju selenidi i arsenidi, a zatim i sulfidni mineral argentit ( $Ag_2S$ ). Srebro se klasifikuje kao svojevrsni geohemijски indikator zlata, jer se često nalaze u istim geohemijskim asocijacijama [1,2].

Masena spektrometrija sa indukovano kuplovanom plazmom (ICP-MS) je tehnika koja je našla široku primenu u analizi metala, metaloida, retkih zemalja, zatim u geochemiji i analizi arheoloških materijala (npr. drevna keramika) [3]. Pruža precizno i tačno određivanje više elemenata u tragovima, kao i njihovog izotopskog sastava iz različitih uzoraka (stena, ruda, zemljišta i dr.) u veoma kratkom vremenskom periodu i ima široku linearu dinamičku oblast (devet reda veličine) što predstavlja prednost [4-6].

Ovu tehniku pored skupe instrumentacije i pripreme uzoraka, ograničavaju spektralne i nespektralne smetnje, od kojih neke u velikoj meri utiču na kvalitet dobijenih rezultata, a takođe i na sposobnost postizanja granica detekcije. Najizraženije su kod složenih uzoraka (geoloških i ekoloških) što predstavlja veliki problem pri njihovoј analizi.

Glavna razlika spektralnih i nespektralnih smetnji je ta, što je analitički signal kod spektralne smetnje pojačan drugim elementom ili poliatomskom vrstom iste mase. Poliatomske smetnje potiču od gasa plazme (obično Ar), matrice uzorka, atmosferskog gasa ili upotrebljenog rastvarača (vode ili organskih rastvarača), a kod nespektralnih dolazi do smanjenja ili povećanja signala analita [6,7].

Poznata spektralna smetnja pri određivanju zlata ( $^{197}Au^+$ ) u geološkim uzorcima potiče od oksida  $^{181}Ta^{16}O^+$  i  $^{180}Hf^{16}O^+H^+$ , a kod srebra ( $^{107}Ag^+$ ) od  $^{91}Zr^{16}O^+$ ,  $^{89}Y^{18}O^+$  i  $^{90}Zr^{16}OH^+$  [8-10].

Nespektralne smetnje (efekti matriksa) zavise pre svega od prirode i koncentracije matriksa i mogu pozitivno ili negativno da uticu na rezultat. Uklanjanje ovih smetnji predstavlja izazov u odnosu na spektralne smetnje. Nastataju u sistemu unošenja uzorka, unutar plazme, transporta jona do detektora, na konusu skimer kona i ostalo. Takva smetnja može se efikasno eliminisati razblažnjem, tj. korekcijom matriksa. Međutim, može doći do kontaminacije uzorka, narušavanja granice detekcije, a nedostatak je i vreme koje je potrebno zbog dodatnog razblaženja [11-12]. Nespektralne interference mogu se selektivno ukloniti primenom ekstrakcije kroz čvrstu fazu (SPE), koja je uspešna u odvajanju plemenitih metala, a ujedno se snižavaju i detekcioni limiti [13]. U prvoj objavljenoj studiji, od strane Tan i Hrlick-a (1987) [14] matriks efekat je ispitana delovanjem snage plazme, dubine uzorkovanja, kao i protokom gasa u nebulajzeru. Gross i saradnici [15] navode hemijsko odvajanje ili prekoncentrisanje analita, dok Karandashev i saradnici (2014) [16] menjaju potencijal na jonskim sočivima, u cilju smanjivanja matriks efekta.

Cilj ovog rada bio je ispitati smanjivanje efekat matriksa, geoloških uzoraka koji sadrže zlatonosne minerali, metodom razblaživanja od 1000 do 10000 puta. Za potvrdu prisustva zlatonosnih minerala u uzorcima, urađena je XRD analiza.

## 2. EKSPERIMENTALNI DEO

### 2.1. Priprema uzorka

Hemikalije koje se koriste u pripremi uzoraka su: hlorovodonična kiselina,  $\omega = 36\%$ , (Zorka Šabac, Srbija), azotna kiselina,  $\omega = 65\%$  (Zorka Šabac, Srbija), ultračista voda ( $\chi = 0,055 \mu\text{S cm}^{-1}$ ), oreas 61f, sertifikovani referentni materijal (CRM, Australija), monoelementarni rastvor zlata  $c = 1 \text{ mg mL}^{-1}$  (Carlo Erba, Francuska), monoelementarni rastvor srebra,  $c = 1000 \text{ mg L}^{-1}$  (Fluka, Švajcarska), monoelementarni rastvor renijuma,  $c = 1 \text{ mg mL}^{-1}$  (Acros Organics, Belgija) i monoelementarni rastvor rodijuma,  $c = 1000 \text{ }\mu\text{g mL}^{-1}$  (AccuStandard, USA).

Priprema uzorka je rađeno prema proceduri Tao i saradnika (2017) [8] uz malu modifikaciju. Uzorci su najpre grubo usitnjeni, a potom samleveni pri čemu je dobijen homogenizovan uzorak. Odmereno je tačno 0,5000 g uzorka u duplikatu. Rastvaranje je vršeno u 15 mL carske vode i podvrgnuto toplotnoj digestiji u trajanju od 15 minuta. Nakon potpunog rastvaranja i uklanjanja azotnih para, uzorak je ohlađen do sobne temperature i razblažen ultračistom vodom do 50 mL, pri čemu je dobijeno razblaženje od 100 puta. Pripremljen uzorak je ostavljen 2 sata kako bi se nerastvorene čestice natalože i dobio bistar rastvor spremam za analizu.

Uporedno sa uzorcima rastvoren je i CRM Oreas 61f, zbog provere tačnosti metode.

## 2.2. Priprema standardnih rastvora

Za pripremu kalibracionih standardnih rastvora, korišćeni su monoelementarni standardni rastvori zlata i srebra. Priprema standardnih rastvora za ispitivanje odabralih analita vršena je razblaženjem monoelementarnih rastvora, tako da su koncentracije standarda za izradu kalibracionih prava bile u opsegu očekivanih koncentracija ispitivanih elemenata. U svakom pripremljenom standardnom rastvoru, dodati su rodijum i renijum kao interni standardi tako da njihove koncentracije budu  $10 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ .

Korelacioni koeficijenti za oba analizirana analita u dva moda, iznosila su 0,9999 za svaki.

Limiti detekcije (LoD) izračunati su kao tri puta standardna devijacija deset uzastopnih merenja slepe probe, za svaki analit ponaosob u dva moda, i iznose ( $\text{mg kg}^{-1}$ ): Au=0,03 i Ag=0,01.

Merenja su vršena na masenom spektrometru sa indukovano kuplovanom plazmom Perkin Elmer NexION 1000 sa kvadrupolnim analizatorom i opremljenim autosamplerom Perkin Elmer S25. Pre početka snimanja, izvršena je optimizacija instrumenta (tuning) upotrebom rastvora (tuning solution) koji sadrži Be, Ce, Fe, In, Li, Mg, Pb i U koncentracije  $1 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ . Radni uslovi ICP-MS dati su u tabeli 1. Kontrola svih funkcija instrumenta vršena je pomoću softvera Syngistix v.3.2.

**Tabela 1.** Radni uslovi ICP-MS Perkin Elmer NexION 1000 i autosamplera Perkin Elmer S25

Parametar/komponenta instrumenta	Vrednost/tip
NexION 1000	
Snaga RF generatora	1600 W
Protok gasa plazme	$15 \text{ Lmin}^{-1}$
Protok pomoćnog gasa	$1,2 \text{ Lmin}^{-1}$
Protok gasa u nebulajzeru	$1,0 \text{ Lmin}^{-1}$
Detektor	Dual
Raspršivačka komora	Glass cyclonic
Nebulajzer	MicroFlow PFA
Autosampler Perkin Elmer S25	
Sample loop	1,0 mL
Broj replikata	3
Očitavanje/replikat	1
Brzina peristaltičke pumpe za analizu/ispiranje	30 rpm
Vreme ispiranja	10s

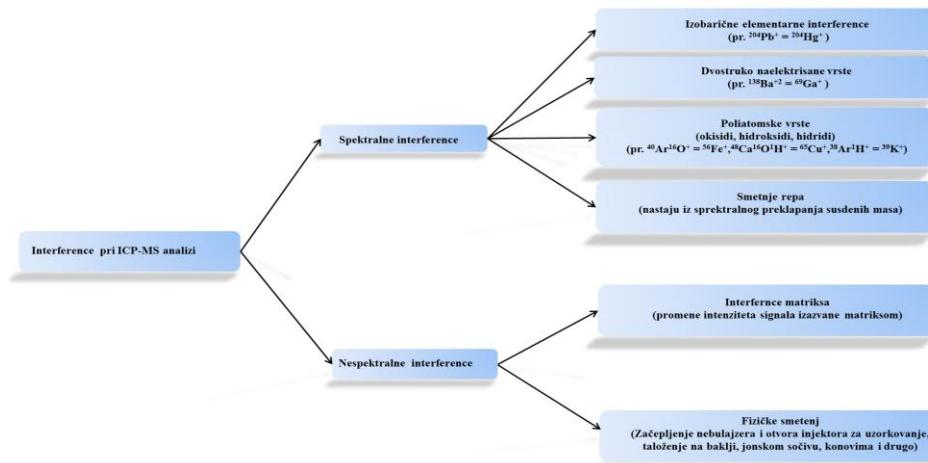
Ispitivani uzorci podvrgnuti su XRD analizi koja je vršena na instrumentu „RigakuMiniFlex 600“, sa „D/teXUltra 250“ detektorom visoke brzine i rendgenskom cevi sa bakarnom anodom. Uslovi snimanja prikazani su tabeli 2. Identifikacija minerala je vršena u softveru PDXL 2 Version 2.4.2.0., a dobijeni difraktogrami su uporedivani sa podacima iz baze podataka COD. Granica detekcije XRD analize je oko 1%.

**Tabela 2.** Parametri instrumenta „RigakuMiniFlex 600“

Parametar	Vrednost
Opseg uglova	3-90°
Korak	0,02°
Brzina snimanja	10 °/min
Napon rendgenske cevi	40 kV
Jačina struje	15 mA

Od početnih uzoraka, napravljena su razblaženja: 1000, 2000, 5000 i 10000. Kao interni standard korišćen je renijum i rodijum u koncentraciji od  $10 \mu\text{g L}^{-1}$ .

Prilikom analize uzoraka, javljaju se smetnje i njih možemo podeliti na: spektralne i nespektralne, kako je to prikazano na slici 1 [17].



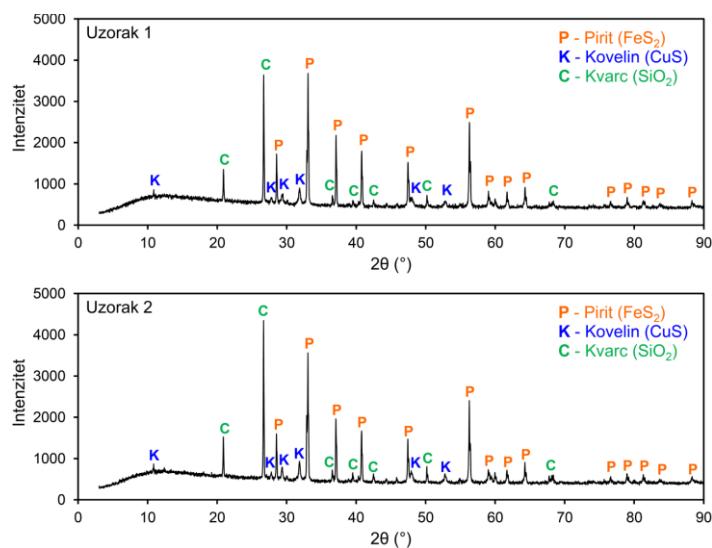
**Sl. 1.** Interference u ICP-MS tehnici (adaptirano iz [17])

Pre početka snimanja uzoraka, urađeno je ispiranje sistema smešom koja se sastojala od koncentrovanih 0,3 mL HCl i 0,1 mL HNO<sub>3</sub> u 10 mL ultračiste vode. Rezultati efekta ispiranja, o zaostalim analitima u sistemu dati su u tabeli 3 i na slici 2.

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

#### 3.1. Rezultati mineraloške karakterizacije uzorka

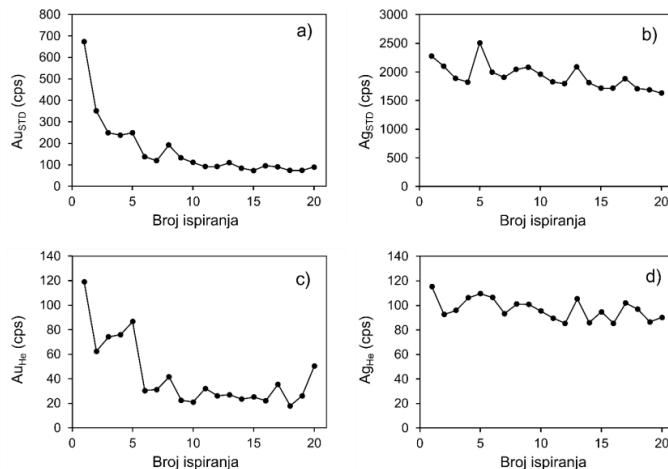
Rezultati XRD analize uzorka 1 i 2 prikazani su na difraktogramima na slici 2. U oba uzorka identifikovani su minerali pirit ( $\text{FeS}_2$ ), kovelin ( $\text{CuS}$ ) i kvarc ( $\text{SiO}_2$ ). Na osnovu inteziteta pikova na dobijenim difraktogramima utvrđeno je da su pirit i kvarc više zastupljeni u uzorcima, dok je kovelin manje zastupljen. Pošto se plemeniti metali javljaju sa sulfidnim mineralima [1-2], prisustvo sulfidnih minerala kovelina i pirita u uzorcima može ukazivati na prisustvo plemenitih metala, zlata i srebra. Rastvaranjem ovih uzoraka u carskoj vodi dobijeni su rastvori sa visokim koncentracijama gvožđa i bakra koje mogu izazvati efekte matriksa pri određivanju prisutnog zlata i srebra.



Sl. 2. Difraktogrami uzoraka 1 i 2

#### 3.2. Rezultati ispiranja sistema za unos uzoraKA

Na slici 3 prikazani su grafici promene inteziteta zlata i srebra u standardnom i He modu u zavisnosti od broja ispiranja rastvorom koji sadrži 1% azotne kiseline i 3% hlorovodončne kiseline. Zlato i srebro ispoljavaju efekat pamćenja (engl. memory effect), koji predstavlja zadržavanje ovih elemenata u sistemu za unos uzorka, pri čemu njihovi intenziteti sporije opadaju tokom ispiranja [18]. Na slici 3 se vidi da intenzitet zlata postepeno opada i dostiže relativno stabilnu baznu liniju tek nakon 10 ispiranja, dok je bazna linija za srebro relativno stabilna i nakon prvog ispiranja.



**Sl. 3.** Promena intenziteta prilikom ispiranja: a) zlata u standardnom modu, b) srebra u standardnom modu, c) zlata u helijumskom modu i d) srebra u helijumskom modu

### 3.3. Rezultati ispitivanja efekta matriksa

Za proveru tačnosti metode korišćen je CRM oreas 61f [19], čije su vrednosti za zlato i srebro pri rastvaranju carskom vodom 4,53 i 3,61 mg kg<sup>-1</sup>, respektivno. Tačnost metode je proverena pomoću recovery testa (tabela 3). Dobijeni rezultati bili su u opsegu 83,7 – 100,7% za zlato i 101,4 – 107,8% za srebro. Najpreciznija tačnost metode bile je kod razblaženja za 10000, i kretala se u intervalu 99,1-100,7% za Au, i 101,4 – 102,5% za Ag, potvrđujući visoku tačnost. Najveća odstupanja bila su kod razblaženja od 1000 za Au, 88,5 - 83,7% i za Ag 104,2-107,8%.

**Tabela 3.** Provera tačnosti metode primenom sertifikovanog referentnog materijala

Razblaženje	Određena vrednost, mg kg <sup>-1</sup> / Procenat prinosa, %			
	Au (STD)	Au (KED)	Ag (KED)	Ag (KED)
10000	4,57/99,1	4,57/100,7	3,70/102,5	3,66/101,4
5000	4,48/98,9	4,32/95,4	3,83/106,1	3,78/104,7
2000	4,35/96,0	4,32/104,9	3,83/106,1	3,78/104,7
1000	4,01/88,5	3,79/83,7	3,76/104,2	3,89/107,8

Rezultati u tabeli 4 pokazuju da su promene u koncentracijama srebra u zavisnosti od razblaženja manje izražene u helijumskom modu, dok su ove promene dosta veće u standardnom modu, što je odraz efekta matriksa. Kako bi se efekat matriksa kvantifikovao, izračunate su apsolutne razlike u koncentracijama zlata i srebra u standardnom i helijumskom modu za uzorke 1 i 2 (tabela 4). Najveće razlike u koncentracijama između dva moda primećene su

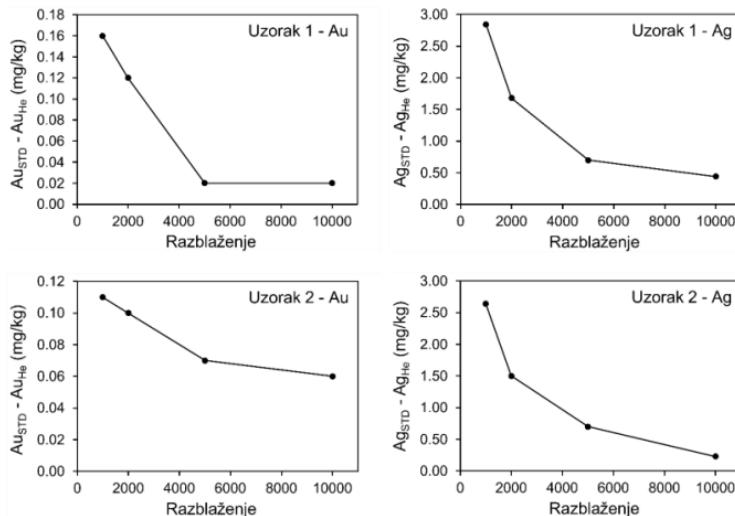
kod srebra pri razblaženju od 1000 i iznose  $2,84 \text{ mg kg}^{-1}$  i  $2,64 \text{ mg kg}^{-1}$ , dok ove razlike pri razblaženju od 2000 iznose  $1,68 \text{ mg kg}^{-1}$  i  $1,50 \text{ mg kg}^{-1}$ . Manje razlike se zapažaju kod zlata pri razblaženjima od 1000 i 2000 koje iznose od  $0,10 \text{ mg kg}^{-1}$  do  $0,16 \text{ mg kg}^{-1}$ . Pri razblaženju od 10000 razlike kod zlata između dva moda iznose  $0,02 \text{ mg kg}^{-1}$  i  $0,06 \text{ mg kg}^{-1}$ , a kod srebra  $0,44 \text{ mg kg}^{-1}$  i  $0,23 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Grafički zavisnosti razlike koncentracija zlata i srebra u standardnom i helijumskom modu od razblaženja uzorka 1 i 2 prikazani su na slici 4.

Prema prezentovanim podacima može se zaključiti da razlike u koncentracijama, a samim tim i efekat matriksa pokazuje tendenciju opadanja sa povećanjem razblaženja uzorka.

**Tabela 4.** Koncentracije zlata i srebra u uzorcima 1 i 2 pri ispitavin razblaženjima

Oznaka uzorka	Razblaženje	$^{197}\text{Au}^+$ , $\text{mg kg}^{-1} \pm \text{SD}$		$^{107}\text{Ag}^+$ , $\text{mg kg}^{-1} \pm \text{SD}$		Apsolutna razlika koncentracije između dva moda, $\text{mg kg}^{-1}$	
		Std mod	He mod	Std mod	He mod	$^{197}\text{Au}^+$	$^{107}\text{Ag}^+$
Uzorak 1	10000	$6,10 \pm 0,043$	$6,12 \pm 0,031$	$11,14 \pm 0,100$	$11,58 \pm 0,139$	0,02	0,44
Uzorak 2		$6,34 \pm 0,051$	$6,40 \pm 0,045$	$11,05 \pm 0,122$	$11,28 \pm 0,327$	0,06	0,23
Uzorak 1	5000	$6,03 \pm 0,066$	$6,01 \pm 0,048$	$10,91 \pm 0,033$	$11,61 \pm 0,104$	0,02	0,70
Uzorak 2		$6,31 \pm 0,088$	$6,24 \pm 0,056$	$11,08 \pm 0,022$	$11,78 \pm 0,094$	0,07	0,70
Uzorak 1	2000	$5,86 \pm 0,041$	$5,74 \pm 0,109$	$10,14 \pm 0,091$	$11,82 \pm 0,177$	0,12	1,68
Uzorak 2		$6,02 \pm 0,054$	$5,93 \pm 0,049$	$10,07 \pm 0,121$	$11,57 \pm 0,035$	0,10	1,50
Uzorak 1	1000	$5,68 \pm 0,028$	$5,52 \pm 0,028$	$8,94 \pm 0,018$	$11,78 \pm 0,094$	0,16	2,84
Uzorak 2		$5,79 \pm 0,075$	$5,69 \pm 0,034$	$8,96 \pm 0,054$	$11,59 \pm 0,278$	0,11	2,64



**Sl. 4.** Zavisnost razlike koncentracija zlata i srebra u standardnom i helijumskom modu od razblaženja uzorka

## ZAKLJUČAK

U ovom radu ispitano je smanjivanje matriks efekta u uzorcima koji sadrže zlatonosne minerale metodom razblaženja. Rezultati su pokazali da je efekat matriksa znatno smanjen pri razblaženju od 10000, obzirom da nema značajnih razlika u koncentracijama zlata i srebra u standardnom i helijumskom modu pri ovom razblaženju.

Na osnovu zastupljenosti minerala dobijene XRD analizom utvrđeno je da matriks uzorka 1 i 2 sadrži gvožđe i bakar kao glavne komponente.

Ako bi se u budućim studijama, vezanim za ispitivanje matriks efekta u kojima dominiraju bakar i gvožđe, metodom razblaženja od 10000; pokazalo da nema odstupanja u rezultatima, ovakav pristup analizi bi našao primenu u svakodnevnom radu. Samim tim bi se očuvao sistem ICP-MS od zaprljanja teškim metalima i dobijale prihvatljive vrednosti detekcionih limita.

## ZAHVALNOST

*Autori se zahvaljuju Ministarsvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije za finansijsku podršku naznačenu br. 451-03-68/2022-14/200052.*

## LITERATURA

- [1] R. Nikolić, Geohemijska analiza zlatonosnih minerala sa Goča, Beograd, 1999.
- [2] R. Nikolić, Hemija prelaznih metala, Niš, 2002.
- [3] A. Onjia, Analitičke tehnike za određivanje i praćenje hemijskih supstanci od uticaja na koroziju, Integritet i vek konstrukcije, 7 (2) (2007) 79-82.
- [4] E. Marengo, M. Aceto, E. Robotti, M. C. Liparota, M. Bobba, G. Pantò, Archaeometric characterisation of ancient pottery belonging to the archaeological site of Novalesa Abbey (Piedmont, Italy) by ICP-MS and spectroscopic techniques coupled to multivariate statistical tools, *Analytica chimica acta*, 537 (1-2) (2005) 359-375.
- [5] A. Tsolakidou, V. Kilikoglou, Comparative analysis of ancient ceramics by neutron activation analysis, inductively coupled plasma-optical-emission spectrometry, inductively coupled plasma-mass spectrometry, and X-ray fluorescence, *Analytical and bioanalytical chemistry*, 374 (3) (2002) 566-572.
- [6] C.S. Oubiña, P.H. Hermelo, P.B. Barrera, A.M. Pineiro, Exploiting dynamic reaction cell technology for removal of spectral interferences in the assessment of Ag, Cu, Ti, and Zn by inductively coupled plasma mass spectrometry, *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 187 (2022), 106330.

- [7] E.H. Evans, J.J. Giglio, Interferences in inductively coupled plasma mass spectrometry. A review, *Journal of Analytical atomic spectrometry*, 8(1) (1993) 1-18.
- [8] D. Tao, W. Guo, W. Xie, L. Jin, Q. Guo, S. Hu, Rapid and accurate determination of gold in geological materials by an improved ICP-MS method, *Microchemical Journal*, 135 (2017) 221-225.
- [9] X. Tang, B. Li, J. Lu, H. Liu, Y. Zhao, Gold determination in soil by ICP-MS: comparison of sample pretreatment methods, *Journal of Analytical Science and Technology*, 11 (1) (2020) 1-8.
- [10] N. Sugiyama, Y. Shikamori, Removal of spectral interferences on noble metal elements using MS/MS reaction cell mode of a triple quadrupole ICP-MS, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 30 (12) (2015) 2481-2487.
- [11] C. Agatemon, D. Beauchemin, Matrix effects in inductively coupled plasma mass spectrometry: A review, *Analytica Chimica Acta*, 706 (1) (2011) 66-83.
- [12] C. Agatemon, D. Beauchemin, Towards the reduction of matrix effects in inductively coupled plasma mass spectrometry without compromising detection limits: The use of argon-nitrogen mixed-gas plasma, *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 66 (1) (2011) 1-11.
- [13] E. Mladenova, I. Karadjova, D.L. Tsalev, Solid-phase extraction in the determination of gold, palladium, and platinum, *Journal of separation science*, 35 (10-11) (2012) 1249-1265.
- [14] S.H. Tan, G. Horlick, Matrix-effect observations in inductively coupled plasma mass specrometry, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 2(8) (1987) 745-763.
- [15] C.T. Gross, S. M. McIntyre, R.S. Houk, Reduction of matrix effects in inductively coupled plasma mass spectrometry by flow injection with an unshielded torch, *Analytical chemistry* 81(12) (2009) 4898-4905.
- [16] V.K. Karandashev, A.Y. Leykin, K.V. Zhernokleeva, Reduction of matrix effects in ICP-MS by optimizing settings of ion optics, *Journal of Analytical Chemistry* 69 (1) (2014) 22-30.
- [17] V. Balaram, Strategies to overcome interferences in elemental and isotopic geochemical analysis by quadrupole inductively coupled plasma mass spectrometry: A critical evaluation of the recent developments, *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 35(10) (2021) e9065.
- [18] W. Chen, P. Weeb, I.D. Brindle, Elimination of the memory effects of gold, mercury and silver in inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 15 (2000), 409-413.
- [19] <https://www.oreas.com/downloads/?fileId=1125>

## **BAKAR 47 (2022) 2 COPPER**

---

UDK:622:669:546.815/.47(045)=163.41

Primljen: 12.09.2022.

DOI: 10.5937/bakar2202011T

Prerađen: 24.10.2022.

NAUČNI RAD

Prihvaćen: 31.10.2022.

Oblast: Rudarstvo, metalurgija

### **RAZVOJ RUDARSTVA I METALURGIJE OLOVA I CINKA U RUDNIKU „TREPČA” – STARI TRG**

### **DEVELOPMENT OF THE LEAD AND ZINC MINING AND METALLURGY IN THE "TREPČA" MINE – STARI TRG**

Slobodan Trajković<sup>1,2</sup>, Branislav Nikolić<sup>2</sup>, Željko Kamberović<sup>3</sup>, Sanja Bajić<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Rudarski institut, Batajnički put 2, 11080 Beograd - Zemun

<sup>2</sup>Inženjerska akademija Srbije, Kneza Miloša 9/I, 11000 Beograd

<sup>3</sup>Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu,

Karnegijeva 4, 11120 Beograd

e-mail: slobodantra@mts.rs

#### **Izvod**

*Posle seobe Srba 1690. i 1735. godine, dolazi do prestanka eksploatacije rudnika na prostoru sadašnje Srbije i nakon zastoja od blizu 200 godina, aktivirana je rudarsko-metalurška delatnost u Srbiji u drugom kvartalu 20. veka.*

*Prve koncesije otkupili su Englezzi 1926. godine, zatim se aktiviraju rudnici u Starom Trgu (1927.), Kišnici (1927.), Ajvaliji (1930.), Novom Brdu (1933.), a u Zvečanu počinje da radi Flotacija (1930.) i Topionica sa Rafinerijom olova (1939.).*

*U Kosovskoj Mitrovici počinje sa radom hemijska industrija 1961. godine, Metalurgija cinka i Fabrika olovnih akumulatora 1967. godine, a svi proizvodni pogoni više puta su proširivani i modernizovani. Najintenzivniji proizvodno-investicioni period Kombinata „Trepča“ bio je od 1965-1985. godine kada je „Trepča“ bila poznati proizvođač olova, cinka, srebra, zlata, kadmijuma, bismuta i proizvoda od ovih metala. Posle 1990. godine dolazi do opadanja proizvodnje iz više razloga, a međunarodna vojska 1999. godine obustavila je proizvodnju u „Trepči“. U proteklih dvadeset godina još uvek nije u potpunosti obnovljena proizvodnja niti je regulisan status Kombinata „Trepča“.*

***Ključne reči:** rudnik, flotacija, olovo, cink, metalurgija, industrija*

#### **Abstract**

*After the migration of Serbs in 1690 and 1735, the exploitation of mines in the area of present-day Serbia ceased, and after a standstill of nearly 200 years, the mining and metallurgical activities in Serbia were activated in the second quarter of the 20<sup>th</sup> century.*

*The first concessions were bought by England in 1926, then the mines in Stari Trg (1927), Kišnica (1927), Ajvalija (1930), Novo Brdo (1933) were activated, and the Flotation (1930) and Smelter with Lead Refinery began to operate (1939) in Zvečan.*

*In Kosovska Mitrovica, the chemical industry began operating in 1961, the Zinc Metallurgy and Lead Battery Factory in 1967, and all production facilities were expanded and modernized several times. The most intensive production and investment period of the "Trepča" Combine was in the period 1965-1985, when "Trepča" was a well-known producer of lead, zinc, silver, gold, cadmium, bismuth*

*and products made of these metals. After 1990, the production declined for several reasons and, in 1999, the international army stopped production in "Trepča". In the past twenty years, the production has not been completely renewed nor the status of the "Trepča" Combine has not been regulated.*

**Keywords:** mine, flotation, lead, zinc, metallurgy, industry

## 1. UVOD

Rudnik „Trepča“ u Starom Trgu, kao i kopaonički rudnici, radili su još u predhrišćansko doba, a snaga stare Vizantije i Nemanjićeve Srbije umnogome je bila zasnovana na visoko razvijenom rудarstvu i metalurgiji u ovim krajevima. Dolaskom Turaka, a naročito posle seobe Srba 1690. godine, ova delatnost u tadašnjoj Srbiji postepeno zamire i obnavlja se tek posle više od dvesta godina, odnosno obnavlja se posle Prvog svetskog rata, u novoj državi [1].

Posle završetka Prvog svetskog rata, Engleska je pokazala interesovanje za ovaj rudarski region. Početkom 1919. godine, u Kraljevinu Srbija, Hrvata i Slovenaca bila je upućena jedna britanska misija sa zadatkom da proceni štetu od ratnih razaranja i da predloži mere za obnovu uništene privrede [2].

U britanskoj misiji je bio i Aleksandar Grej, iz Odelenja za naučna i industrijska istraživanja geološkog katastra Velike Britanije. Posle obavljenih istraživanja tokom leta 1919. godine, podneo je opširan izveštaj pod nazivom: „Geologija i mineralna bogastva države Srbija, Hrvata i Slovenaca“ [2].

U tom izveštaju je ocenjeno stanje svih rudnika koji su u Srbiji bili aktivni do izbijanja Prvog svetskog rata, kao i onih koje su delimično eksplorisale Austro-Ugarska i Nemačka. U izveštaju su obuhvaćeni rudnici: Rudnik, Avala, Belo Brdo, Vojetin, Gabela, Trepča, kao i širi region Kopaonika u kome postoje sulfidi olova i cinka.

Za ovaj rudarski region zainteresovala se firma Selection Trust Company iz Londona, koja je stupila u pregovore sa Nikolom Pašićem o kupovini njegove koncesije. Za ocenu prave vrednosti koncesije, Pašić je angažovao stručnjake na čelu sa zagrebačkim profesorom Tućanom. Godine 1925. ekipa stručnjaka je izvršila istraživanje terena i zaključila da je: „*Trepča*“ grandiozno nalazište srebrinosnih, zlatnosnih, olovnih, cinkovih i bakarnih ruda i da nikakva suma koja se uloži u njihovu eksploraciju nije prevelika [1,2].

Postoje brojni zapisi o eksploraciji Ibarskih rudnika u rimske doba, a pretpostavlja se da je ove eksploracije bilo i pre Rimljana. U Sočanici, naselju između Zvečana i Leposavića, nalazilo se sedište rimskog rudarskog nadzora: - PROCURUM METLLUROM MUBICIPI D.D. [3].

Od 13. do 17. veka u zapisima Kopaonik je nazivan i kao: COPONI, COPAONU, ARGENTARU, MONTAGNA DEL ARGENTO, ĐUMIŠ DOG (Srebrana planina), i dr.

Najbogatije rudište u Ibarskoj zoni jeste rudnik „Trepča“, koji se u Dubrovačkim Zapisima spominje 7. aprila 1313. godine, a i sledećih oko 400 godina o njemu ima mnogo važnih zapisa [3].

Obnova naselja Stari Trg oko rudnika Trepča praktično nastaje posle 1925. godine, uporedo sa obnovom i razvojom ovog rudnika.

Kompanija „Selection Trust“ je početkom 1926. godine uputila jednu ekipu stručnjaka da dodatno istraži područje Starog Trga. Istražnim radovima rukovodio je inženjer Zboril, koji je već u julu iste godine utvrdio postojanje bogatog olovno-cinkovog rudnog tela na horizontu 830 m. Nakon toga, kompanija „Selection Trust“ otkupljuje koncesiju „Trepča“ od Radomira Pašića (sina Nikole Pašića). Koncesija je zahvatala površinu od 529.642.561 m<sup>2</sup>. Za preuzimanje ove koncesije „Selection Trust“ je decembra 1927. godine osnovao posebnu kompaniju, kao svoj ogrank – „Trepča Mines Limited“, sa sedištem u Londonu.

Novoosnovana kompanija je pristupila sistematskim istražnim radovima i već 1928. godine bile su utvrđene rezerve rude od 500.000 t, da bi već 1930. godine ova količina rude bila povećana na 1.750.000 tona.

Kompanija „Trepča Mines“ došla je u posed i drugih koncesija koje su bile grupisane na tromeđi tadašnjih banovina: zetske, moravske i vardarske. Obezbeđeno je ukupno 17 rudarskih koncesija i to: Kopaonik - 118.302.512 m<sup>2</sup>; Kopaonik - 298.368.062 m<sup>2</sup>; Kopaonik - 136.335.000 m<sup>2</sup>; Kopaonik - 227.299.860 m<sup>2</sup>; Kopaonik - 324.070.312 m<sup>2</sup>; Trepča - 529.642.561 m<sup>2</sup>; Rogozna - 602.583.400 m<sup>2</sup>; Slatina - 117.375.000 m<sup>2</sup>; Belasica 1 - 600.539.062 m<sup>2</sup>; Belasica 2 - 326.566.406 m<sup>2</sup>; Zletovo - 433.565.000 m<sup>2</sup>; Kratovo - 386.240.000 m<sup>2</sup>; Sase - 488.035.000 m<sup>2</sup>; Novo Brdo - 342.133.000 m<sup>2</sup>; Janjevo - 260.229.200 m<sup>2</sup>; Glama - 411.590.000 m<sup>2</sup>; Prilužje - 64.833.250 m<sup>2</sup>.

U tabeli 1. prikazane su utvrđene rezerve rude sa sadržajem olova i cinka za koncesiju „Trepča“ – Stari Trg i „Kopaonik“ [4].

**Tabela 1. Utvrđene rezerve rude za „Trepču“ – Stari Trg i „Kopaonik“**

Period	Količina rude, [t]	Sadržaj metala	
		P <sub>b</sub> [%]	Z <sub>n</sub> [%]
<b>„Trepča“</b>			
1. X 1929.	1.750.000	11,50	10,50
1. X 1931.	2.100.000	10,50	7,80
1. X 1932.	2.500.000	9,00	8,50
1. X 1934.	2.500.000	8,70	8,50
1. X 1935.	3.007.000	8,70	8,00
1. X 1936.	3.300.000	9,40	6,40
1. X 1937.	3.900.000	9,50	5,20
1. X 1938.	4.976.000	8,70	3,80
1. X 1939.	4.848.000	8,60	3,80
<b>„Kopaonik“</b>			
01. XII 1935.	906.000	9,45	6,17
01. V 1938.	750.000	9,26	6,54

Utvrđene rezerve olova i cinka bile su ne samo velike po količini i sa velikim sadržajem metala, već su bile koncentrisane na malom prostoru, pa je njihova eksploatacija bila veoma rentabilna. Osim toga, ovaj rudarski region imao je i povoljan geografski položaj, s obzirom na potrošače njegovih koncentrata.

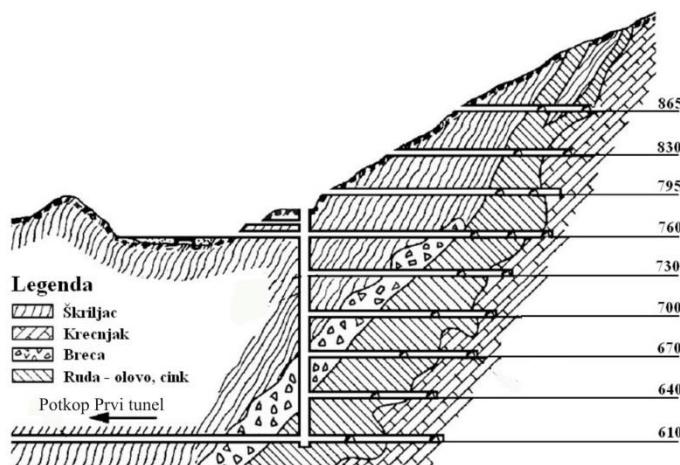
## 2. RAZVOJ RUDARSTVA U PERIODU 1925. – 1945. GODINE

Polazeći od utvrđenih rezervi, kompanija „Trepča Mines“ pristupila je otvaranju rudnika i izgradnji postrojenja za eksploataciju i preradu rude. U Starom Trgu otvoren je rudnik, urađene su prostorije: izvozno i ventilaciono okno, otvorena su četiri horizonta i urađen potkop za izvoz rude.

Daljim istražnim radovima utvrđeno je da se ležište produžava prema dubini, što je zahtevalo da se na najnižoj koti 610 m izradi potkop dužine 2.660 m, sa dimenzijama: širina 3,35 m i visina 2,67 m. Potkop je rađen bušačko-minerskim radovima, sa 26–28 bušotina, dužine 3,0 m. Potkop je završen krajem 1931. godine.

Zahvaljujući konfiguraciji terena, gornji delovi ležišta otvoreni su potkopima i to na kotama 865, 795 i 760 m koji su u prvim godinama korišćeni i za potrebe eksploatacije (slika 1.).

Izradom Trepčanskog potkopa (iz mesta Prvi tunel) na koti 610 m olakšano je odvodnjavanje jame, prevoz materijala i radnika. Radi bolje ventilacije i drugih potreba, izradom jednog okna povezan je Trepčanski potkop sa horizontom na koti 760 m. Dalja istražna dubinska bušenja vršena su iz potkopa na koti 610 m, pri čemu je konstatovano da se rudno telo prostire još najmanje 300 m ispod potkopa na koti 610 m. Otvaranje nižih delova ležišta vršeno je niskopima pod uglom od  $40^{\circ}$  pri čemu su otvorena još tri horizonta, na kotama 545, 485 i 435 m.



Sl. 1. Vertikalni presek kroz rudno telo pri otvaranju gornjih delova ležišta

Proizvodnja rude u rudniku „Trepča“ – Stari Trg, po poslovnim godinama, u periodu 1930.–1941. prikazana je u tabeli 2. [4].

**Tabela 2.** Proizvodnja rude u rudniku „Trepča“ – Stari Trg u periodu 1930. - 1941.

Godina	Ruda, [t]	Sadržaj				
		Olovo, [t]	Cink, [t]	Srebro, [kg]	Bakar, [t]	Bizmut, [kg]
1930/31	273.920	34.005	20.911	40.250	548	9,79
1931/32	397.963	38.482	35.152	45.180	796	17,11
1932/33	535.869	47.722	46.402	49.951	1.071	23,04
1933/34	589.081	52.115	50.453	54.204	1.178	25,33
1934/35	597.188	54.115	51.491	54.221	1.194	25,68
1935/36	588.594	52.534	45.529	56.681	1.177	25,12
1936/37	638.729	58.250	38.853	65.343	1.277	46,43
1937/38	655.892	59.525	39.149	69.649	1.311	54,12
1938/39	616.073	53.789	30.275	68.738	1.232	72,08
1939/40	698.760	60.352	25.686	85.603	1.407	115,46
01.10.1940.- 20.04.1941.	315.432	-	-	-	-	-
Ukupno:	6.267.501	510.889	383.901	589.820	11.191	414,16

Za transport rude iz bunkera na rudniku Trepča, urađena je žičara u dužini od 6.350 m, koja je prevozila rudu do flotacije u Zvečanu. Žičara je imala visinsku razliku od 232 m, sa 67 korpi nosivosti od 802 kg rude. Obezbeđenje električne energije neophodne za rad flotacije, omogućeno je izgradnjom termo-elektrane u Zvečanu koja je kao gorivo koristila lignit iz Obilića.

Aprila 1941. godine Nemci su preuzeли kompaniju, „Selection Trust Comp.“, pa i „Trepču“, i poverili direktno rukovođenje preduzeću „Mansfeld A.G.“ iz Ajslebena. I pored veoma povoljnih radnih uslova, za rad u „Trepči“, Nemcima je nedostajala kvalifikovana radna snaga i repromaterijal. Takođe, bile su i česte sabotaže od strane ustanika. Sve je to uticalo na ostvarenje planirane proizvodnje.

U periodu rata od 1941. - 1944. godine u rudniku „Trepča“ je proizvedeno rude:

- od 20. aprila do 31. decembra 1941 ..... 306.692 tona
- od 01. januara do 31. decembra 1942 ..... 350.439 tona
- od 01. januara do 31. decembra 1943 ..... 398.046 tona
- od 01. januara do 30. septembra 1944 ..... 272.365 tona.

Nakon oslobođenja, rudnik „Trepča“ postaje državno vlasništvo i u planovima nove Jugoslavije zauzima jedno od vodećih mesta u proizvodnji i preradi olova, cinka, srebra i drugih metala.

### 3. RUDARSTVO U PERIODU 1945. – 1999. GODINE

Rudnik „Trepča“ nalazi se na oko 9 km severoistočno od Kosovske Mitrovice u mestu Stari Trg. Trepčanski rudni reon bio je poznat i aktivan još u vreme srednjovekovne srpske države, kao i kasnije kada su ovim prostorom vladali Turci. U periodu austrougarsko – turskog rata (1683. – 1689. godine) rudnik je uništen, tako da je svaka ozbiljna rudarska aktivnost prestala. Posle balkanskih ratova, koncesiju na rudnik Trepču dobio je Nikola Pašić. Do početka Prvog svetskog rata i za vreme rata na ovim koncesijama ništa ozbiljno nije rađeno.

#### 3.1. Geološki prikaz

Ležište „Trepča“ sa širom okolinom pripada vardarskoj zoni sa pravcem pružanja sever-severozapad i jug-jugoistok. Ležište pripada hidrotermalno - metasomatskom tipu ležišta. Hidroermalni minerali zastupljeni su: sulfidima, karbonatima i oksidima. Od sulfida najvažniji su: galenit, sfalerit, pirhotin, pirit, arsenopirit, plomozit, argentit, i dr. Kao pratioci javljaju se: kvarc, kalcit, dolomit, rodochroxit, i dr. Ekonomski najvažniji minerali su: galenit, koji je pored olova, glavni nosilac srebra i bizmuta, zatim sfalerit, kao mineral cinka, koji sadrži oko 0,2% kadmijuma.

U horizontalnom preseku ležište ima oblik potkovice, gde se razlikuju: centralno rudno telo i rudna tela vezana za južno i severno krilo. Centralno rudno telo vezano je za kontakt krečnjak – breča i njegova površina se kreće od 2.000–10.000 m<sup>2</sup>, dok su rudna tela na južnom i severnom krilu vezana za kontakt krečnjak – škriljac i njihova površina je ispod 2.000 m<sup>2</sup>. Pad centralnog rudnog tela je 40-45°, dok rudnog tela na jugu iznosi 60-70°, a na severu 30-40°.

#### 3.2. Objekti otvaranja

U zavisnosti od konfiguracije terena, stepena istraženosti ležišta, kao i drugih faktora, rudnik „Trepča“ u Starom Trgu otvaran je u više faza. Viši delovi ležišta „Trepča“ (iznad kote 760 m) otvoreni su potkopima na kotama 865, 830, 795 i 760 m. Daljim istraživanjima utvrđeno je da se ležište produžava prema dubini, što je zahtevalo da se na najnižoj koti 610 m izradi potkop (iz mesta Prvi Tunel). Radi bolje ventilacije i drugih potreba iz potkopa Prvi Tunel, na kоти 610 m urađeno je okno do kote 790 m.

Dalja istražna dubinska bušenja vršena su iz potkopa na kоти 610 m, pri čemu je konstatovano da se rudno telo prostire još najmanje 300 m u dubini. Otvaranje nižih delova ležišta vršeno je izradom četiri niskopima koji su rađeni pod nagibom od 45°. Ovim niskopima otvoreni su horizonti od I do VII, na

kotama: 545, 485, 435, 375, 315 i 255 m. Vremenom ovi niskopi su postali ne adekvatni zbog blizine nekih rudnih tela, lomljenog transporta, i dr. Iz tih razloga 1948. godine pristupilo se izradi novog izvoznog okna na koti 772 m. Pored novog okna urađeno je i slepo okno od V horizonta do XI horizonta. Slepok služi za produbljivanje novog izvoznog okna kao i otvaranje nižih horizonata.

- *Potkop Prvi Tunel* – urađen je na koti + 610 m i predstavlja horizontalnu vezu jame sa površinom. Ukupna dužina potkopa iznosi 2.660 m. Podgrađen je delimično sa betonskom podgradom kao i sa čeličnom lučnom podgradom. Slobodna površina poprečnog preseka iznosi 5,5 m<sup>2</sup>. Služi za odvodnjavanje jame, ulaz sveže vetrane struje, dopremu materijala, a od 1985. godine za transport rude iz jame do flotacije u Prvom Tunelu.

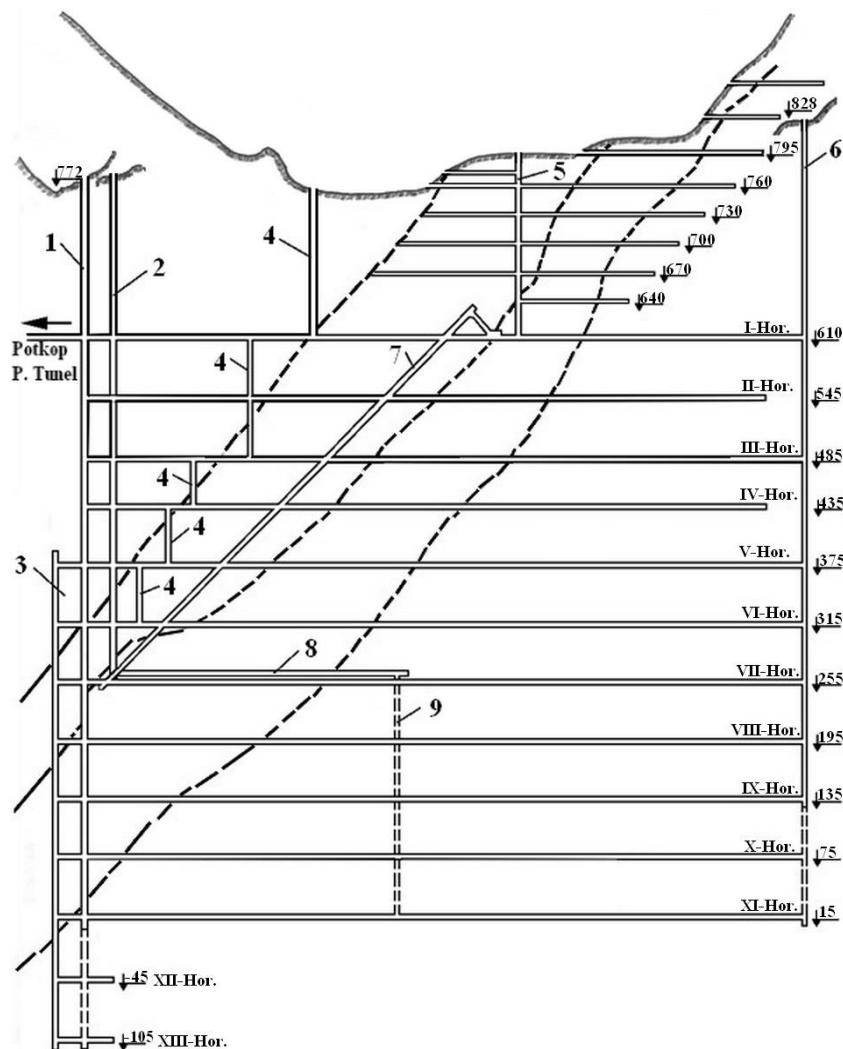
- *Staro okno* – urađeno je od kote +790 m do kote +610 m ukupne dubine 180,0 m. Okno je imalo jedno odelenje pravougaonog preseka, dimenzija 4,6 x 2,3 m podgrađeno drvenom podgradom. Izgradnjom ostalih objekata jame, ovo okno se koristi za ventilaciju i kao drugi izlaz.

- *Niskopi* – pošto je Staro okno svojim donjim delom došlo u podinski krečnjak, to se radi otvaranja nižih horizonata pristupilo izradi tri niskopa, koji su polazili sa kote + 610 m. Niskop I je služio za izvoz rude do I-og horizonta na koti +610 m, niskop II za silazak smene u jamu i dopremu materijala, dok je niskop III služio za otvaranje nižih horizonata i odvodnjavanje. Niskop IV polazio je sa V-og horizonta (kota +375 m) i služio je za provetrvanje i odvoz jalovine u periodu otvaranja nižih horizonata.

- *Novo izvozno okno* – urađeno je od kote +772 m na površini, do kote +15 m na XI horizonta, ukupne dubine 757,0 m. Okno je kružnog profila prečnika 5,5 m sa podgradom od betona. Okno ima tri odelenja: odelenje sa dva dvoetažna koša; odelenje sa dva skipa i prolazno odelenje. Pored ovih odelenja u oknu postoji i prostor za cevovod i kablove. Osnovna funkcija novog izvoznog okna je: transport radnika u jamu, izvoz rude, ulaz sveže vazdušne struje i snabdevanje jame materijalom. Izvoz rude iz bunkera sa IX-horizonta do površine vršio se uz pomoć dva skipa od kojih jedan zahvata 5,5 t rude. Od 1985. godine izvoz je skraćen i ide do I-horizonta, odnosno do potkopa Prvi tunel odakle se ruda transportuje do novoizgrađene flotacije u Prvom Tunelu.

Do VII horizonta okno je rađeno metodom odozgo na dole i uz pomoć niskopa. Dalje produbljenje okna vršeno je uz pomoć slepog okna. Slepok urađeno je od V do XIII horizonta. Izrada izvoznog okna uz pomoć slepog okna (za dubinu od 120 m - dva horizonta) vršena je tako što se prvo po sredini okna (odozdo na gore) uradi iskop (sipka) prečnika 2,0 m, a zatim vrši proširenje odozgo na dole do punog iskopnog profila. Produbljenje izvoznog okna od IX do XI horizonta rađeno je tokom 1977. – 1978. godine.

Na slici 2 prikazan je vertikalni presek jame rudnika olova i cinka „Trepča“ – Stari Trg.



**Sl. 2. Vertikalni presek rudnika olova i cinka „Trepča“ – Stari Trg:** 1 - glavno izvozno okno, 2 - novo ventilaciono okno, 3 - slepo okno, 4 - staro ventilaciono okno, 5 - staro izvozno okno, 6 - servisno okno, 7 - niskopi 1, 2, 3 i 4, 8- ventilacioni hodnik, 9 - novopropjektovano ventilaciono okno

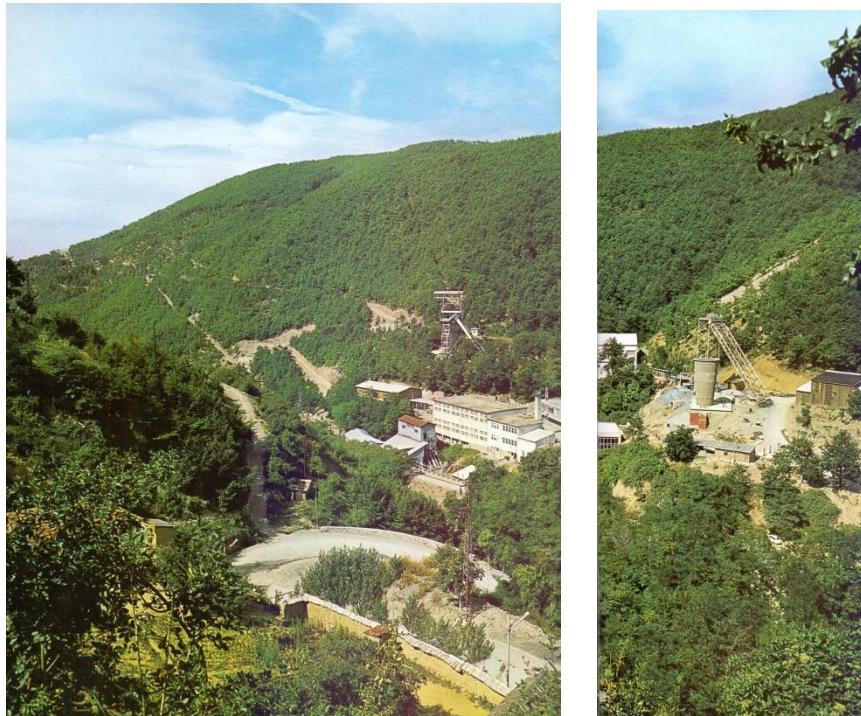
- Slepo okno – urađeno je od kote +375 m, V- horizont do kote -105 m na XIII- horizontu. Okno je kružnog preseka, prečnika 3,0 m i podgrađeno je betonskom podgradom. Okno ima odelenje sa košem, odelenje sa protivtegom i

prolazno odelenje. Na V- horizontu slepo okno ima prostoriju za izvoznu mašinu, kao i slobodnu visinu i dubinu u dužini od 15–20 m.

- Severno servis okno – urađeno je od kote +831,4 m, do kote 135,0 m na IX horizontu. Okno je kružnog preseka, prečnika 5,0 m i podgrađeno je betonskom podgradom debljine 40,0 cm. Okno je opremljeno dvoetažnim košem, protivtegом i odelenjem za prolaz radnika. Okno služi za: ulaz sveže vazdušne struje, redovni ulazak i izlaz za zaposlene u severnom delu jame, za spuštanje i izvlačenje materijala iz jame [5].

Na bazi istražnih bušotina okno prolazi: od površine, kota 831,4 do kote 505,0 kroz škriljac. Od kote 505,0 do kote 475,0 okno prolazi kroz krečnjak, kada ponovo nailazi na kontakt sa škriljcem i doseže do kote 285,0 m. Od kote 285,0 pa do kote 135,0 okno je urađeno kroz kompaktni krečnjak starotrške serije.

Na slici 3 dat je fotografски snimak rudnika „Trepča“ – Stari Trg.



Sl. 3. Rudnik olova i cinka „Trepča“ – Stari Trg

- Ventilaciono okno – prema koncepciji razvoja rudnika, okno je rađeno kao lomljeno i sastoji iz tri dela, i to: gornjeg dela okna, donjeg dela okna i ventilaciono-veznih hodnika.

I. Gornji deo okna – ima kote: na površini  $z_1 = 774,79$  m; na VII-hor.  $z_2 = 259,70$  m. Gornji deo okna povezan je sa jamskim prostrijama preko priključnih veza koje su izrađene na: I-hor. kota 601,63 m i na IV-hor. kota 432,50 m. [5].

II. Donji deo okna - lociran je na nivou VII-hor. sa kotom:  $z_1 = + 271,85$  m, i na XIII-hor. sa kotom  $z_2 = -105,0$  m. Donji deo povezan je sa jamskim prostrorijama preko priključnih veza: na VII-hor. na koti + 252,93 m, X-hor. na koti + 75,0 m i na XIII-hor. na koti. – 105,0 m.

III. Ventilaciono vezni hodnici – povezuju gornji i donji deo okna na nivou VII-hor. Hodnici su jedan iznad drugog na rastojanju od 5,0 m, sa dužinom od  $2 \times 328,3 = 656,6$  m.

Ovakva koncepcija ventilacionog okna realizovana je samo do IX horizonta.

Na bazi uzoraka iz istražnih bušotina kao i radova na iskopu, vidi se da okno od površine K +774,79 do K +605,0 m prolazi kroz meke škriljce i filite. Dalje od K +605,0 do K +545,0 m okno takođe prolazili kroz filite i škriljce. Između III i IV horizonta okno prolazi kroz tektonsku zonu koja se manifestuje u vidu breče, sa prosečnim koeficijentom čvrstoće po Protodakonovu od 3,8. Pravac pružanja ove zone je SZ-JI sa pravcem pada ka severoistoku, pod uglom od preko  $70^\circ$ . Od K+428,0 javljaju se vrlo meki škriljci čija debljina iznosi 113,0 m. Poslednji sloj koga čine slab krečnjak i škriljac (sa koeficijentom čvrstoće 5-7), ima moćnost 60,0 m.

Ventilaciono okno namenjeno je isključivo izbacivanju istrošene vazdušne struje iz jame. Dimenzionisano je za količinu vazduha od  $250 \text{ m}^3/\text{s}$ . Okno je kružnog preseka, prečnika 6,0 m, podgrađeno betonskom podgradom.

### 3.3. Metoda otkopavanja

U rudniku „Trepča“ primenjuju se sledeće metode otkopavanja:

- Otkopavanje kvadratnim slogovima u horizontalnim etažama sa zasipavanjem i ostavljanjem sigurnosnih stubova,
- Krovno otkopavanje u horizontalnim etažama sa zasipavanjem i ostavljanje sigurnosnih stubova, i
- Podetažna metoda sa zarušavanjem krovine.

Prva metoda primenjivana je uglavnom na višim horizontima (od I – IV horizonta), druga na nižim horizontima, dok je treća bila u eksperimentalnom procesu i nije prihvaćena. Krovno otkopavanje u horizontalnim etažama sa zasipavanjem i ostavljanjem sigurnosnih stubova široko je prihvaćeno, pogotovo od kada se ne primenjuje izrada sigurnosne betonske ploče u fazi podsecanja ležišta. Svi otkopi od VII horizonta pa niže rade se bez sigurnosne betonske ploče.

Broj aktivnih otkopa po godinama bio je različit, što je zavisilo od: primenjene mehanizacije, nedostatka rezervnih delova, nedostatka i strukture otkopnih površina, sadržaja metala, subjektivne slabosti i havarije, raskorak između otkopavanja i zasipavanja, i dr.

Pregled proizvodnje rude u periodu 1945. - 1998. godine, sa sadržajem metala u rudi za rudnik „Trepča“ - Stari Trg dat je u tabeli 3. [3,6].

**Tabela 3.** Pregled proizvodnje u rudniku „Trepča“ – Stari Trg u periodu 1945. - 1998.

Red. br.	Godina	Količina rude (t)	Sadržaj metala u rudi		Red. br.	Godina	Količina rude (t)	Sadržaj metala u rudi	
			Olovo (%)	Zink (%)				Olovo (%)	Zink (%)
1.	1945	119.457	7,9	9,0	28.	1972	599.236	5,3	3,8
2.	1946	430.377	6,8	9,4	29.	1973	609.256	5,1	3,5
3.	1947	486.635	6,9	5,0	30.	1974	631.111	4,8	3,1
4.	1948	533.573	7,2	5,5	31.	1975	636.937	4,7	3,2
5.	1949	694.266	6,6	4,9	32.	1976	658.437	4,4	3,3
6.	1950	665.201	6,5	4,7	33.	1977	671.758	4,3	3,2
7.	1951	625.785	7,3	4,3	34.	1978	601.805	4,5	3,9
8.	1952	574.831	6,9	4,3	35.	1979	674.801	4,5	2,8
9.	1953	537.566	6,8	4,2	36.	1980	688.418	3,8	2,7
10.	1954	510.539	6,9	3,0	37.	1981	695.047	3,8	2,3
11.	1955	558.598	6,8	3,7	38.	1982	628.237	3,6	2,3
12.	1956	576.233	7,6	4,2	39.	1983	664.366	3,4	2,3
13.	1957	561.727	7,0	4,0	40.	1984	702.718	2,97	1,92
14.	1958	573.152	6,9	4,0	41.	1985	686.770	3,05	1,86
15.	1959	593.397	7,0	4,1	42.	1986	647.078	2,75	1,77
16.	1960	602.162	6,7	3,6	43.	1987	636.935	3,24	2,19
17.	1961	605.594	6,5	3,9	44.	1988	571.618	3,18	1,89
18.	1962	623.934	6,5	3,8	45.	1989	368.573	3,27	2,09
19.	1963	621.817	6,4	4,1	46.	1990	204.570	3,44	1,92
20.	1964	629.503	6,3	3,8	47.	1991	206.489	3,55	2,27
21.	1965	571.766	6,1	4,1	48.	1992	134.946	3,09	2,11
22.	1966	545.727	5,7	3,9	49.	1993	48.612	2,69	2,10
23.	1967	596.103	5,6	3,6	50.	1994	32.475	2,28	2,57
24.	1968	584.670	5,6	4,0	51.	1995	125.761	2,66	2,77
25.	1969	607.162	5,4	3,8	52.	1996	181.009	2,95	3,77
26.	1970	610.403	5,3	3,9	53.	1997	257.888	2,71	3,27
27.	1971	602.564	5,3	3,9	54.	1998	311.315	3,10	3,07

## 4. FLOTACIJSKA POSTROJENJA

U okviru RMHK „Trepča“, organizaciono je bilo da u okviru jednog rudnika ili grupe rudnika postoje odgovarajuća flotacijska postrojenja. Takva jedna organizacija (period iz 1974. godine i kasnije), činila je sledeće proizvodne i prerađivačke celine: OOUR Rudnik i flotacija „Trepča“ – Stari Trg; OOUR Rudnici i flotacija „Kišnica“ i „Novo Brdo“ – Priština; OOUR Rudnici i flotacija „Kopaonik“ – Leposavić; OOUR Rudnik i flotacija „Lece“ – Medveđa; OOUR Rudnik „Rudnik“ – Gornji Milanovac i OOUR Rudnik i flotacija „Blagodat“ – Vranje, OOUR „Veliki Majdan“ - Brasina kod Loznice.

Zvečan je gradsko naselje, sada ima status opštine, nalazi se na oko 2 km od Severne Mitrovice, a u srednjem veku je bio – grad tvrđava na ulazu u Ibarsku klisuru. U podnožju tvrđave nalazi se industrijski krug Kombinata „Trepča“ u kojem se nalazi Direkcija kombinata, Flotacija, Topionica i rafinerija olova i mnogi drugi prateći objekti.

Zvečan se prvi put spominje u 11. veku, a u 12. veku je već imao karakter gradskog naselja. U vreme Nemanjića bio je veoma značajno utvrđenje koje je često menjalo vlasnike (Stefan Dušan, Čelnik Musa, Knez Vojinović, Nikola Altomanović, Vuk Branković), krajem 14. veka osvajaju ga Turci.

Posle 1926. godine počinje obnova „Trepče“ i širenje naselja Zvečan, a prema popisu iz 1999. godine opština Zvečan imala je 9.229 stanovnika, od kojih je bilo 74% Srba, dok su ostali bili Albanci, Muslimani, i dr.

### 4.1. Flotacijsko postrojenje u Zvečanu

Flotacijsko postrojenje u Zvečanu nalazi se u industrijskom krugu Kombinata „Trepča“ - Zvečan. Probna proizvodnja koncentrata u flotaciji u Zvečanu otpočela je 17.08.1930. godine sa kapacitetom od 500 t/dan. Preradivala je rudu iz rudnika „Trepča“ – Stari Trg, koja je dopremana žičarom dugom 6.350 m.

Kapacitet flotacije u Zvečanu je stalno rastao, tako da je 80-tih godina 20. veka iznosio 3.500 t/dan.

Kako su otvarani drugi rudnici (Belo Brdo, Novo Brdo, Ajavalija, Kišnica, Crnac, i dr.), ruda je dopremana i prerađivana u flotaciji u Zvečanu. Tako je do 1984. godine u Zvečanskoj flotaciji prerađeno oko 24.000.000 t rude, sa prosečnim sadržajem Pb+Zn od 11,9 %.

U pogonu flotacije u Zvečanu primenjene se sledeće metode koncentracije:

- selektivno flotiranje minerala olova, cinka i pirit, i
- mokra magnetska separacija pirhotina.

Postrojenje za magnetsku koncentraciju pirhotina izgrađeno je 1963. godine sa kapacitetom od 1.500 t/dan.

Flotiranje minerala olova se obavlja po „Scheridan-Grizvold“ metodi u bazičnoj sredini pri vrednostima pH = 8,5-8,8. Proces flotiranja vrši se u mehaničkim flotacijskim mašinama „Denver-Fahrenwald“ sa 16 celija, sa zapreminom jedne celije od 1,08 m<sup>3</sup>.

Poslednjih godina koncentrat olova koji se dobijao u zvečanskoj flotaciji sadržao je 70-75 % Pb, a pre 1945. godine sadržao je 75-80 % Pb, jer je vremenom procenat metala u rudi opadao.

Flotiranje minerala cinka obavlja se u bazičnoj sredini, pri vrednosti pulpe pH= 10-11. Proces flotiranja obavlja se u mehaničkim flotacijskim mašinama tipa „Denver-Fahrenwald“ sa 16 celija.

Izgradnjom flotacije u Prvom Tunelu 1985. godine, prestala je sa radom flotacija u Zvečanu. Prostor gde je bila locirana Zvečanska flotacija očišćen je i pripremljen za širenje metalurških i drugih kapaciteta. Žičara za dopremu rude Stari Trg - Zvečan demontirana je tokom 1996. godine. [6,7].

Flotacijska jalovina deponovana je na dve lokacije pored reke Ibra i to:

- Jalovište „Gornje Polje“, nalazi se između Topionice i Kosovske Mitrovice na desnoj obali reke Ibar. Bilo je aktivno u periodu 1932. do 1962. godine sa površinom od 50 hektara i količinom od  $12 \times 10^6$  t jalovine.
- Jalovište „Žitkovac“, nalazi se na levoj obali reke Ibar na oko 1,5 km od flotacije Zvečan. Bilo je aktivno od 1962. do 1974. godine, sa površinom od 26 hektara i količinom od  $8,5 \times 10^6$  tona jalovine.

Ove jalovine sadrže: 14-25 % Fe; 8-12 % S; 18-30 % SiO<sub>2</sub>; 0,3-0,4 % Pb, oko 0,3 % Zn i dr.

Pored ova dva napred pomenuta jalovišta, postoji i treće jalovište „Žarkov potok“. Ovo jalovište formirano je 1975. godine za potrebe odlaganja jalovine iz flotacije u Zvečanu i novoizgrađene flotacije u Prvom Tunelu (1985. godine). Jalovište je locirano na oko 1,0 km od jalovišta „Gornje Polje“. Za prijem jalovine na lokaciji „Žarkov potok“, napravljena je brana visine 87 m, tako da je stvoren prostor za prijem 8.200.000 m<sup>3</sup> jalovine. Jedan deo jalovine koristi se za potrebe zasipavanja (hidrozasipavanje) otkopa u jami „Trepča“ – Stari Trg [6,7,].

Transport jalovine od flotacije u Prvom Tunelu do lokacije „Žarkov potok“ vrši se sa dva (radni i rezervni) cevovoda prečnika 125,0 mm, koji su postavljeni u tunel dužine 1.676,0 m. Tunel ima svetlu širinu 2,16 m i visinu od 2,2 m, sa visinom poluprečnika svoda R<sub>1</sub>= 1,495 m i R<sub>2</sub>= 0,566 m. Po celoj dužini tunela postavljen je kolosek širine 600 mm od šina 22,12 kg/m' i padom od 2,5 %.

Revitalizacijom i uređenjem tla, prostori ovih jalovišta mogu se urbanizovati i koristiti za mnoge objekte lakše konstrukcije: sportski tereni, garaže, skladišta, radionice, i dr.

## 5. METALURGIJA OLOVA I SREBRA U PERIODU 1938. – 1977. GODINE

Sa dva dekreta, jugoslovenska vlada je 30.06.1938. godine odobrila Englezima izgradnju Topionice i Rafinerije olova u Zvečanu, a Englezi su prihvatili uslove Vlade 15.07.1938. godine i pristupili izgradnji. Prva koritasta peć počela je sa radom 21.12.1939. godine, a zaključno sa februarom 1941. godine proizvedeno je 17.003 t rafinisanog olova.

Nakon preuzimanja „Trepče“ od Engleza i okupacije 1941. godine, Nemci takođe nastavljaju izgradnju i proširenje metalurških kapaciteta u toku rata i to: podižu još dva kotla kapaciteta 280 t, dve kupelacione peći, malu šahtnu peć preseka  $0,9 \text{ m}^2$  podignute 1942. godine, što je osetno povećalo kapacitet.

U ovih prvih pet (predratnih i ratnih) godina u metalurgiji olova „Trepče“ u Zvečanu, proizvedeno je 76.200 t rafinisanog olova i 22.700 kg anodnog srebra. U sledeće dve godine (1945. i 1946. godine) proizvedeno je još 31.145 t rafinisanog olova i 10.730 kg anodnog srebra.

U ovo vreme ruda iz Starog Trga sadržala je 8 – 10 % Pb, 1931. godine čak 12,6 % Pb [4], pa su i koncentrati olova dobijeni u flotaciji u Zvečanu sadržali oko 80 % olova i prerađivani u metalurgiji olova u Zvečanu, direktnim topljenjem u koritastim pećima. Pored koncentrata, prašina i krečnjaka, šarža koritastih peći sadržala je i oko 15% sitnog koksa.

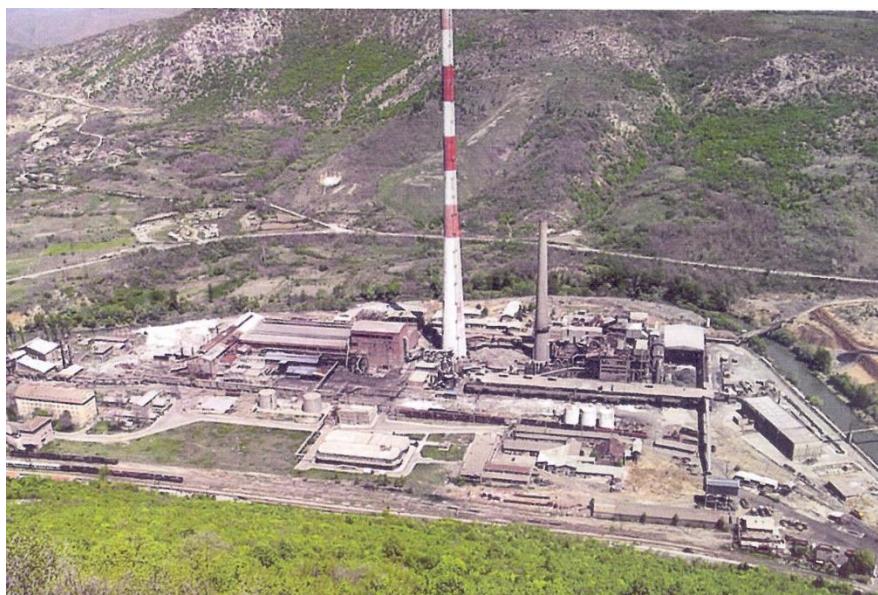
S obzirom da su u mineralima olova, pa i u koncentratima olova, srebro, zlato, bizmut, bakar, antimon, prateći korisni metali, to se sa razvojom metalurgije olova podrazumeva i povećanje proizvodnje ne samo olova, nego i prisutnih pratećih metala.

Prvih posleratnih godina, s obzirom da je oporavak i razvoj domaćih rudnika evidentan, pristupilo se daljem proširenju metalurških kapaciteta u „Trepči“ – Zvečan.

Tri nove koritaste peći puštene su u rad 1949. godine, a još tri 1950. godine, tako da je ukupno bilo 12 koritastih peći. I mehanički (vrećasti) filtri povećani su sa četiri na devet komora [8,9].

Smanjenje sadržaja olova u rudi, pa i u koncentratima, prouzrokovalo je otežan rad na i onako napornoj proizvodnji olova na koritastim pećima. To je iziskivalo preradu na šahtnim pećima, pa je već 1950. godine puštena u rad pržionica aktivne površine  $1,5 \times 15,0 = 22,5 \text{ m}^2$  i šahtna peć pravouglog tipa (kasnije nazvana „C“) preseka u zoni duvnica  $1,3 \times 1,4 = 5,8 \text{ m}^2$ . Takođe je podignuta još jedna šahtna peć preseka  $0,9 \text{ m}^2$ , uz već postojeću. Zatvoreno skladište sirovina produženo je sa 90 m na 180 m, broj bunkera za šaržiranje povećan je na 16, a podignut je i elektrofilter za gasove prženja kapaciteta  $20 \text{ Nm}^3/\text{s}$ .

Na slici 4. dat je fotografski snimak industrijskog kruga „Trepče“ u Zvečanu posle 1990. godine



**Sl. 4. Industrijski krug „Trepče“ u Zvečanu posle 1990. godine**

U rafineriji su 1949. godine urađena još tri kotla kapaciteta 280 t, a nakon proširenja hale 1950. godine još četiri, tako da je ukupno 12, u praksi nazvani „tristarotonskih“ kotlova i sada su u eksploraciji. Radi rafinisanja bizmuta, ugrađen je 1950. godine po jedan kotao od 30, 15 i 5 t, a radi rafinisanja srebra 1951. godine izgrađena je peć za destilaciju cinka „Celje“ i još jedna kupelaciona peć. Ova destilaciona peć je oko 1960. godine zamenjena sa šest retortnih Faber du Four-ovih peći koje još rade.

Elektroliza srebra po Mobius postupku podignuta je 1954. godine, a puštena je u rad 1955. godine čime je znatno unapređena proizvodnja srebra i zlata.

Od 1947. do 1953. godine izrađeno je osam gas-generatora tip „Zenica“ (na lignit), pa se prešlo na zagrevanje kotlova generatorskim gasom, umesto dotadašnjeg loženja ugljem. Sadašnja rafinacija olova koristi ove gas-generatore, kao i elektrolizu srebra završenu 1955. godine, a prva plamena peć za preradu bakarnih šlikera počela je sa radom 1947. godine. Dve cisterne za hlор radi rafinisanja bizmuta montirane su 1955./1956. godine. Radom hlornih cisterni, umesto buradi sa hlорom znatno je olakšano hlорiranje Pb-Bi legure i proizvoda bizmuta.

Izgradnjom ovih postrojenja godišnji kapacitet porastao je na:

- 92.000 t sirovog olova i 78.000 t rafinisanog olova, a
- Topionica i rafinerija olova imale su oko 1.000 radnika.

Ovaj kapacitet Rafinerije uglavnom je ostvaren sve do velike rekonstrukcije 1967. godine, a pored rafinisanog olova dobijali su se i sledeći komercijalni proizvodi: razne olovne legure, elektrolitički rafinisano srebro, rafinisano zlato i bizmut, bakarno-olovni kamen i špajza.

U periodu 1965. - 1967. godine, Topionica olova je rekonstruisana, modernizovana i znatno su povećani kapaciteti, od čega je najbitnije sledeće:

- uklonjene su dve male šahtne peći (od po  $0,9 \text{ m}^2$ ) i koritaste peći,
- pored peći „C“ ( $5,8 \text{ m}^2$ ), podignute su dve nove šahtne peći tipa „Port Piri“, proizvodnosti po 260 t sirovog olova za 24 h,
- izgrađena je nova aglomeraciona mašina aktivne površine  $2,5 \times 32 = 80 \text{ m}^2$ ,
- novi elektrofiltrti za gasove prženja bogate sa  $\text{SO}_2$  i još pet komorno-vrećastih filtera,
- izgrađen je pogon za proizvodnju sumporne kiseline iz bogatih gasova prženja,  $60.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$  sa 5 %  $\text{SO}_2$ .

Ovim povećanjem kapaciteta, povećan je godišnji projektovani kapacitet Topionice na 170.000 t sirovog olova, ali ovaj projektovani kapacitet šahtnih peći dokazan je tek krajem 1974. godine.

Ovo je trostruko povećanje kapaciteta i rekonstrukcija izvršena uz istovremenu visoku proizvodnju sirovog olova: oko 7.000 t mesečno, a u 1969. godini čak 97.707 t.

Ekipa „Trepče“ koja je preuzela da vodi proizvodnju kao i stručnjaci firme Lurgi nisu uspeli da dostignu projektovani kapacitet šahtnih peći, niti da puste u kontinualnu proizvodnju pogon sumporne kiseline, nego se gasovi prženja ispuštaju u atmosferu, što je zbog prisutnog sumpordioksiда ekološki nedopustivo.

Projektovani kapacitet novih šahtnih peći (jedna peć 260 t/sirovog olova/24 h) postignut je, i u praksi dalje ostvarivan, tek u drugoj polovini 1974. i 1975. godine, kada je bila najveća godišnja proizvodnja u svih ovih 60 godina, i to:

- 115.000 t sirovog olova,
- 89.138 t rafinisanog olova, 111,4 t srebra i 55,2 t bizmuta.

Jedan od bitnih razloga ovog povećanja proizvodnje jeste promena šarže prženja, radi promene sastava šljake šahtnih peći (smanjen je sadržaj  $\text{FeO}$ ). Ovaj novi sastav šljake (32-34 %  $\text{FeO}$ , 18-20 %  $\text{CaO}$ , 21-23 %  $\text{SiO}_2$ ) i kasnije se primenjivao.

U ovom periodu došlo je do razvoja i povećanja proizvodnosti rudarskih i metalurških kapaciteta, te je odlučeno da se razvije i prerađivačka industrija: izgrađene su fabrike akumulatora u Kosovskoj Mitrovici i Peći, fabrika lovačke municije u Srbici, proširenje prerade srebra u Prizrenu, i dr. Takođe je odlučeno da se izgradi nova Rafinerija olova sa kompletnom preradom međuprodukata, nova šahtna peć, postrojenje za preradu otpadnih akumulatora, novi dimnjak (300 m) i potrebni prateći objekti, sve za godišnji kapacitet 170.000 t rafinisanog olova. Stvaranje izgradnje ovih investicionih objekata počela je

intezivno 1977. godine, nakon kompletнnog obezbeђenja finansijskih sredstava, mada su investicioni projekti zavrшeni već 1975. godine [10,11,12].

## 6. METALURGIJA OLOVA U PERIODU 1977. – 2000. GODINE

U staroj Rafineriji olova osnovni nedostatak bio je nedovoljna i nedovrшena prerada međuproдukata olova i to je osnovni razlog izgradnje nove Rafinerije sa pratećim pogonima za proizvodnju srebra, zlata, bizmута, Sb-Pb legura i Pb-Cu камена.

U novoj Rafineriji predviđen je niz savremenih tehnoloških operacija: doprema tečnog olova, omekšavanje vazduhom, vakum-otcinkavanje, elektrotermička prerada srebrenе pene i bakarnih šikera, elektroliza Pb-Bi legure umesto postojećeg hlornog postupka i izgradnja filtera za metalurške gasove. Ova nova Rafinerija zavrшeno je verovatno sa 80 %, ali iz više razloga još nije u potpunosti zavrшena.

Politički događaji i raspad Jugoslavije prekinuli su zavrшetak ovih investicija, ali su glavni objekti izgrađeni: nova šahtna peć, dimnjak visine 305 m, nova Rafinerija olova, pogon za preradу otpadnih akumulatora. Oko 1985. godine demontirana je flotacija u Zvečanu, pa je oslobođen prostor за širenje metalurgije olova.

Proizvodnja rafinisanog olova naglo je padala posle 1989. godine, da bi u 1994. godini iznosila samo 4.458 t. Poslednjih osam godina (1992. – 1999. godine) proizvedeno je samo 125.785 t rafinisanog olova, dok je u prethodnih osam godina (1984. – 1991. godine) proizvedeno 548.770 t rafinisanog olova i 658,2 t elektrolitički rafinisanog olova.

Nakon prestanka bombardovanja Srbije 1999. godine i dolaska međunarodnih snaga na Kosovo i Metohiju, šef UMNIK-a, Kušner doneo je Uredbu 25.07.1999. godine, kojom UMNIK „ima nadležnost nad pokretnom i nepokretnom imovinom koja je vlasništvo, ali je registrovana u ime SR Jugoslavije ili R. Srbije, a koja se nalazi na teritoriji Kosova“. Na osnovu ove Uredbe, izvrшena je okupacija „Trepče“ avgusta 2000. godine i obustavljen je rad Topionice olova koja ove 2022. godine ne radi.

Osim izvesnih međuproдukata, olova koji su deponovani pored Topionice i Rafinerije u Zvečanu, na staroj deponiji flotacionog jalovišta Gornje Polje, nalazi se lager od oko  $2,5 \times 10^6$  t šljake iz šahtnih peći, koja sadrži 30–35 % Fe, oko 12 % ZnO, 20-22 % SiO<sub>2</sub>, oko 1,5 % Pb, a koja se može preraditi („fjumingovanje“) ili prodati i tretira se kao sekundarna sirovina.

Preko puta termoelektrane na brdu u mestu Rudare deponovana je šljaka i pepeо termoelektrane i drugi otpadni materijal. Ovo predstavlja problem jer ugrožava magistralni put i reku Ibar.

## 7. PERIOD NADLEŽNOSTI UMNika-A (2000. – 2022.)

Metalurgija olova „Trepča“ (pržionica, šahtne peći, rafinerija olova) prestala je sa radom avgusta 2000. godine, a kao što je opisala Biljana Marinović u dnevnom listu „Politika“, 28.04.2011. godine: „Trepča je okupirana još 14.08.2000. godine, kada je u ranim jutarnjim časovima, oko 900 pripadnika KFORA opkolilo, a potom i blokiralo rad ovog kompleksa u Zvečanu, pod izgovorom da se Trepča u svom radu nije pridržavala „ekoloških standarda“. U akciji su učestvovali britanski, francuski, danski i pakistanski vojnici Kfora. Prvo je izvršen upad u Topionicu olova u kojoj su pretežno bili zaposleni Srbi, a zatim je oko 150 vojnika engleskog kraljevskog puka upalo u hotel „Zvečan“. Nakon preuzimanja industrijskog kruga, izvršen je upad u upravnu zgradu Trepče.“

Da okupacija „Trepče“ izgleda kao sasvim legalan akt, postarao se Bernar Kušner, tadašnji šef Umnika, sa svojom Uredbom jula 1999. godine. Paradoksalno je konstatovao aerozagadenost zbog metalurgije olova u kojoj su izgrađeni i rade najmoderniji (elektro i rukavni Flakt) filetri posle kojih se kroz novi dimnjak visine 305 m prečišćeni metalurški gasovi izbacuju u atmosferu.

Pržionica i šahtne peći i dalje ne rade, a u Rafineriji je u proteklih petnaest godina rafinisano godišnje samo 1.000 do 1.500 t otpada, komada sirovog olova koje je pokupljeno iz industriskog kruga. Za poslednjih 17 godina rafinisano je samo oko 20.000 t olova.

Sadašnja postrojenja su amortizovana zbog starosti i nerada (stajanja), tehnologije su napredovale, pa je prisutna dilema varijantnih rešenja o budućem radu Metalurgije olova „Trepča“ – Zvečan.

## ZAKLJUČAK

U prvih pedeset godina rada (1945. – 1990. godine), rudnici olovo-cinkove rude, Flotacija, Topionica i Rafinerija olova „Trepča“ u Zvečanu, spadale su u vodeće jugoslovenske proizvodne organizacije koje su mnogo doprinele privrednom i društvenom razvoju države. Sledećih deset godina, raspad Jugoslavije, tranzicija, subjektivne slabosti, spoljni uticaji i drugi faktori negativno su uticali na rad ovih pogona kombinata „Trepča“. Strana okupacija 1999. godine i zabrana rada ovih pogona (osim aktivnih rudnika), koji ne rade punih 22 godine, doveli su do dileme o budućem radu ovih veoma značajnih, strategijskih proizvodnih organizacija. Rudnik „Trepča“ u Starom Trgu prestaje da radi posle ratnih dešavanja na Kosovu i Metohiji (1999. godine). Najniži horizonti jame su potopljeni, (IX – XI horizont), oprema u severnom servisnom oknu je skroz uništена. Godine 2005. kreće proizvodnja rude, sa mesečnim proizvodnjom od 2.500 – 3.000 tona (što je nekada bila dnevna proizvodnja).

Rudnik „Trepča“ u Starom Trgu, flotacija i metalurgija olova u Zvečanu, ključne su proizvodne organizacije u obnovi i razvoju Kombinata „Trepča“, a koji je dostigao svetski vrh u proizvodnji i preradi olova, srebra i cinka u drugoj polovini 20. veka.

Inostrani faktor koji je doprineo sadašnjem lošem stanju, trebalo bi da doprinese i dovođenju rudarsko-metalurške proizvodnje olova, srebra, cinka i drugih pratećih komercijalnih proizvoda u Kombinatu „Trepča“ u normalno radno stanje.

Značaj Kombinata „Trepča“ može se videti i prema vrednostima finalnih proizvoda metala i njegovih jedinjenja. U 1975. godini proizvedeno je 89.100 tona rafinisanog olova, 111 tona srebra, 55 tona bizmuta, u metalurgiji olova u Zvečanu, a 26.800 tona cinka u metalurgiji cinka u južnom delu Kosovske Mitrovice. U 1978. godini proizvedeno je 86.400 tona rafinisanog olova, 118 tona srebra, 44.800 tona cinka.

Prema sadašnjoj ceni vrednost ova tri metala u polugama proizvedena u 1978. godini iznosila bi oko 500.000.000 dolara.

Osim ova tri metala, proizvedeno je još finalnih metalnih proizvoda: zlato, olovni-bakarni kamen, antimon u tvrdom olovu, cink – prah, cink – oksid i razne olovne i cinkove legure.

Zbog toga prave vrednosti ovih finalnih proizvoda treba povećati navedenu cifru za ova tri metala iz 1978. godine za oko 20 % da bi se doble stvarne finansijske vrednosti, a to znači da je u metalurgiji olova u Zvečanu i metalurgiji cinka u južnoj Kosovskoj Mitrovici, proizvedeno u 1978. godini finalnih komercijalnih proizvoda metalnih proizvoda u ukupnoj vrednosti od 510.000.000 dolara. Vrednost ovih metala posle prerade u finalne proizvode je znatno veća (akumulatori, kablovi, limovi, i dr.).

Obzirom da su se u Kosovskoj Mitrovici prozvodili i akumulatori, sumporna kiselina, i veštačka đubriva, pa ako se obračuna i njihova vrednost, tek tada će se videti koliko je milijardi dolara izgubljeno zato što nisu radili proizvodni pogoni „Trepče“ u Kosovskoj Mitrovici i Zvečanu, preko čitavih 20 godina.

## LITERATURA

- [1] P. Jovanović, Rudarstvo na tlu Srbije, Od paleolita do sredine 20 veka, Prva knjiga, Izdavač JINA – Jugoslovenska inženjerska akademija, Beograd, 2007.
- [2] P. Jovanović, Rudarstvo na tlu Srbije, Rudnici u obnovljenoj Srbiji (1806-1945), Druga knjiga, Prvi tom, Izdavač JINA – Jugoslovenska inženjerska akademija, Beograd, 2008.

- [3] Trepča, Rudarsko-metalurško-hemijski kombinat olova i cinka, Jubilarna monografija, Kosovska Mitrovica, 1974.
- [4] S. Trajković, Osnovi rударства, Rudarsko-geološki fakultet Beograd, 2010.
- [5] D. Dimić, Projekat severnog servisnog okna u jami „Stari Trg“, Diplomski rad, Rudarsko-geološki fakultet Beograd, 1975.
- [6] M. Milutinović, Verifikacija projekta izrade ventilacionog okna za rudnik „Trepča“, Diplomski rad, Rudarsko-geološki fakultet Beograd, 1976.
- [7] Lj. Savić, Kvantitativne determinante kvaliteta ekonomije sa posebnim osvrtom na izraz produktivnosti u rudniku i flotaciji „Trepča“ – Stari Trg, Seminarski rad, 1998/1999. godina, Zvečan.
- [8] B. Nikolić, Šesdeset godina metalurgije olova „Trepča“ u Zvečanu, Metalurgija, Vol. 5, Br. 2, 1999.
- [9] V. Đokić, Metalurgija sirovog olova u Topionici „Trepča“, Studija, Zvečan, 1977.
- [10] B. Nikolić, S. Trajković, Devedeset godina rударства i metalurgije u kombinatu „Trepča – SEER“, I-deo, Podzemni radovi, Br. 30, RGF Beograd, 2017.
- [11] B. Nikolić, S. Trajković, S. Bajić, V. Vujačić, Devedeset godina rударства i metalurgije u kombinatu „Trepča – SEER“, II-deo, Podzemni radovi, Br. 31, RGF Beograd, 2017.
- [12] S. Vujić, Mineralno-sirovinski kompleks Kosova i Metohije, Monografija, Rudarski institut Beograd, Geološki zavod Srbije, 2021.

## **BAKAR 47 (2022) 2 COPPER**

---

UDK: 622.271:504.6(045)=163.41

Primljen: 28.11.2022.

DOI: 10.5937/bakar2202031J

Prerađen: 05.12.2022.

NAUČNI RAD

Prihvaćen: 08.12.2022.

Oblast: Rudarstvo i zaštita životne sredine

### **TEHNOLOGIJA POVRŠINSKE EKSPLOATACIJE I UPRAVLJANJE ZAŠТИTOM ŽIVOTNE SREDINE**

### **TECHNOLOGY OF SURFACE EXPLOITATION AND MANAGEMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION**

Ivan Jovanović<sup>1</sup>, Novica Staletović<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni bulevar 35, 19210 Bor

<sup>2</sup>Univerzitet Union „Nikola Tesla“, Fakultet za ekologiju i zaštitu  
životne sredine, Cara Dušana 62-64, 11000 Beograd

#### **Izvod**

*Na osnovu podataka dobijenih istražnim bušenjem, ispitivano ležište rude bakra spada u grupu ležišta vezanih za intermediarne vulkansko - intruzivne magmatske kompleks. Radi se o kompaktном rudnom telu koje ima oblik iskošenog valjka i koga sačinjavaju minerali bakra zajedno sa hloritisanim i kaolinizanim andezitom. Usled eksploracije rudnog ležišta dolazi i do uticaja tehnoloških parametara na životnu sredinu. Cilj rada je naglasiti da je značajno upravljati životnom sredinom i kod površinske eksploracije rudnih ležišta.*

**Ključne reči:** površinska eksploracija, ležište rude bakra, upravljanje zaštitom životne sredine

#### **Abstract**

*On the basis of data obtained by the exploratory drilling, the researched copper ore deposit belongs to a group of deposits related to intermediate volcanic - intrusive magmatic complexes. It is a compact ore body with the shape of an inclined cylinder and is composed of copper minerals together with the chloritized and kaolinized andesite. There is also an impact of technological parameters on the environment due to the exploitation of the ore deposit. The aim of this paper is to emphasize that it is important to manage the environment in surface exploitation of ore deposits.*

**Keywords:** surface exploitation, copper ore deposit, management of environmental protection

## **1. UVOD**

Ležište rude bakra „Brdo“ nalazi se u neposrednoj blizini naselja Rudnik. Rudnik je naselje u Srbiji, u opštini Gornji Milanovac koji pripada Moravičkom okrugu. Nalazi se na istoimenoj planini. Smešten je između 500 m i 700 m nadmorske visine. Rudnik se nalazi na oko 100 km južno od Beograda, 15 km severno od Gornjeg Milanovca i na oko 50 km od Kragujevca [1].

Ležište se nalazi u oblasti umereno-kontinentalne klime sa izraženim lokalnim karakteristikama. Hidrogeografske tačke i heterogena vegetacija značajno dopunjuju sliku klimatske autentičnosti podneblja. Treba istaći specifične prednosti ovih klimatskih odlika: niže letnje temperature u odnosu na obližnje doline i niske predele Šumadije i Beograda, posledica su, pre svega, nadmorske visine rudničkog gorja, pojačane cirkulacije vazduha, velike količine padavina i znatnog prostranstva šumskog pokrivača. Prosečne godišnje temperature niže su u odnosu na Beograd i okolna mesta. To se odnosi i na maksimalne temperature gde je razlika još veća i iznosi više od 4-5 stepeni. Broj dana sa temperaturama jednakim ili višim od 30 stepeni je samo 5. Pojačana cirkulacija vazduha je posledica postojanja mnoštva dolina koje se protežu vertikalno i stvaraju prijatnu svežinu u uslovima kada su temperature čak i visoke [2].

Rudnik čini hidrografski čvor u Šumadiji, razvođe između reka Velike Morave, Zapadne Morave i Kolubare. Sa severne strane planinu opkoljava reka Jasenica, desna pritoka Velike Morave, sa zapadne izvorišni kraci Despotovice, leve pritoke Zapadne Morave, a sa južne i jugoistočne Gruža, takođe leva pritoka Zapadne Morave. Drugim rečima, područje planine Rudnik izvorište je najvećih šumadijskih reka. Pored pomenutih, tu su i Lepenica, desna pritoka Velike Morave, i Ljig, leva pritoka Kolubare [2].

Geografski položaj ležišta u odnosu na Gaus-Krigerov koordinatni sistem određen je pomoću 4 trigonometrijske tačke čije su koordinate date u Tabeli 1.

**Tabela 1.** Geografski položaj ležišta određen sa 4 trigonometrijske tačke

	<b>Y<sub>i</sub> (m)</b>	<b>X<sub>i</sub> (m)</b>
<b>1</b>	7.471.742,64	4.805.560,39
<b>2</b>	7.469.965,57	4.804.180,67
<b>3</b>	7.471.945,24	4.802.268,23
<b>4</b>	7.474.031,75	4.803.659,64

Najviša kota terena u blizini ležišta je k +650 m, a najniža k +390 m.

## 2. GEOLOŠKI PODACI O LEŽIŠTU

Na osnovu podataka dobijenih istražnim bušenjem, ležište rude bakra „Brdo“ spada u grupu ležišta vezanih za intermediarne vulkansko - intruzivne magmatske komplekse. Radi se o kompaktnom rudnom telu koje ima oblik iskošenog valjka i koga sačinjavaju minerali bakra zajedno sa hloritisanim i kaolinisanim andezitom. Determinisani su sledeći rudni minerali: halkopirit, bornit, halkozin, molibdenit, tetraedrit, kovelin, digenit [3].

### 3. OPIS LEŽIŠTA

Ležište je u horizontalnom preseku izduženog oblika sa približnim pravcem pružanja istok-zapad. Dimenzije ležišta u horizontalnom preseku su po dužini maksimalno 1.461,09 m, a maksimalna širina iznosi 394 m. Površina koju ležište zauzima u planu je oko 561.239,81 m<sup>2</sup>.

U vertikalnom preseku ležište je, takođe, izduženog oblika sa padom u pravcu zapad-istok. Prosečan ugao zaledanja ležišta iznosi 13°.

Mineralizacija je intenzivna u celom ležištu, dok je prelaz prema okolnim stenama oštar.

Dubinskim istražnim bušotinama sa jezgrovanjem je ustanovljeno da se, u okolini u kojoj se pozicioniralo ležište, nalazi veliki broj raseda. Ovi rasedi su nastali kao rezultat postrudnih deformacija, koje su imale glavnu ulogu u oblikovanju i definisanju rudnog tela. Zahvatanje ležišta rasedima dovelo je do pojave više sistema pukotina u okviru rudnog masiva, a što se odrazilo na degradaciju osnovne stenske mase. Pukotinski sistemi su pretežno koncentrisani u samom ležištu, dok su krovinske i podinske stene kompaktnije.

Različiti tipovi stena koja se nalaze u zoni ležišta imaju različite hidrogeološke karakteristike. Složena građa ležišta, stvarana tokom duge geološke istorije, postojanje stena sa različitom strukturu i poroznosti, intezivna tektonska poremećenost stenskih masiva, i dr., uslovi su složenih hidrogeoloških odnosa u terenima šire okoline.

Izmenjene vulkanske stene su dosta ispucale. Konstantovan je veliki broj pukotina, koje uslovjavaju dobru vodopropusnost. U njima postoji mogućnost akumuliranja podzemnih voda. Ukupna količina poroznosti se sa dubinom smanjuje, pre svega zbog stisnustosti pukotina usled pritiska stenskih masa. Neretko su pukotine ispunjene gipsom, što ga čini hidrogeološkim izolatorom. S obzirom da ležište zaleže na relativno velikoj dubini, ne očekuje se veliki dotok podzemnih i atmosferskih voda koje gravitiraju naniže, kako u krovini, tako i u podini. Prilikom eksploatacije, usled efekta miniranja, može doći do pojave voda u rasedima i pukotinama, ali se očekuje da količine tih voda budu neznatne i da ne utiču na eksploataciju.

### 4. INŽENJERSKO – GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE LEŽIŠTA

Na uzorcima koji su dobijeni iz istražnih bušotina, takođe, obavljena su i geomehanička ispitivanja radi što boljeg upoznavanja sa osobinama kako samog ležišta, tako i okolnih stena.

Geomehanička ispitivanja vršena su na više uzoraka uzetih iz istražnih bušotina i rudarskih radova i rezultati su prikazani u Tabeli 2.

**Tabela 2.** Fizičko-mehaničke karakteristike ležišta i okolnih stena

Fizičko-mehaničke karakteristike	Jedinica mere	Ruda bakra	Andezit	Dolomit
Zapreminska masa	t/m <sup>3</sup>	2,75	2,79	3,02
Čvrstoća na pritisak	kN/m <sup>2</sup>	65,837	36,939	84,239
Čvrstoća na istezanje	kN/m <sup>2</sup>	11,670	51,98	13,612
Čvrstoća na savijanje	kN/m <sup>2</sup>	14,736	14,200	14,200
Čvrstoća na smicanje	kN/m <sup>2</sup>	10,602	9,091	9,091
Kohezija	kN/m <sup>2</sup>	10,295-19,025	32,14	13,337-20,790
Ugao unutrašnjeg trenja	°	30°30' - 40°20'	30°	36°10'37°20'
Modul elastičnosti	kN/m <sup>2</sup>	17,245-57,325	/	20182,1-39931,2
Poroznost	%	3,18-12,54	3,3	2,84-3,55

Istraživanja ovog ležišta vršena su geološkim, geofizičkim i geochemijskim prospekcijama, kao i dubinskim istražnim bušotinama sa jezgrovanjem. Bušotine su izrađene u kvadratnoj mreži dimenzija 75 x 100 m. Uzorci dobijeni ovim bušotinama dati su na dalju analizu u laboratoriji.

Na osnovu mreže istražnih bušotina dimenzija 75 x 100 m izrađeno je 7 paralelnih vertikalnih uzdužnih profila, koji ujedno služe i kao metoda određivanja geoloških rezervi za ovo ležište.

Kao druga metoda usvojena je metoda paralelnih ravni ležišta koja ujedno služi i kao provera rezervi utvrđenih preko paralelnih uzdužnih profila.

Razlika u zapreminama između ove dve metode treba da bude u granicama od 5 % do 10 %, a računa se po obrascu:

$$\Delta_V = \frac{V_{geol\,vece} - V_{geol\,manje}}{V_{geol\,vece}} \times 100 [\%]$$

$$\Delta_V = \frac{30.734.746,68 - 28.420.229,38}{30.734.746,68} \times 100 = 7,53 \%$$

Na osnovu dobijenog rezultata, odstupanja su u dozvoljenim granicama tolerancije (do 10%) te se usvaja da utvrđene geološke rezerve ležišta rude bakra „Brdo“ iznose [4]:

$$Q_{geol} = 28.420.229,38 \text{ m}^3$$

Prema stepenu istraženosti, rudne rezerve se razvrstavaju u različite kategorije. U našoj zemlji su po Pravilniku o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi čvrstih mineralnih sirovina i vođenju evidencije o njima iz 1979. godine

(„Službeni list“ SFRJ, br. 53/79), na osnovu stepena istraženosti i stepena poznavanja kvaliteta sirovine, utvrđene rezerve mineralnih sirovina i svrstavaju se u sledeće kategorije: A, B, C1, C2, D1, D2. Rezerve A, B i C1 kategorije razvrstavaju se u bilansne i vanbilansne. Rezerve C2, D1 i D2 kategorije smatraju se potencijalnim i ne razvrstavaju se u kategorije. Geološke rezerve proračunate za ovo ležište spadaju u bilansne rezerve, odnosno spadaju u C1 kategoriju rezervi.

Na osnovu podataka dobijenih izradom etažnih karti i na osnovu proračuna zapremina zahvaćene rude po etaži dolazi se do podatka o eksplotacionim rezervama. Eksplotacione rezerve iznose [4]:

$$Q_{exp} = 74.332.080,35 \text{ t}$$

## 5. OSNOVNA KONCEPCIJA EKSPLOATACIJE LEŽIŠTA RUDE BAKRA

Koncepcija eksplotacije na površinskom kopu „Brdo“ je sledeća: [4]

1. Izrada platoa za smeštaj drobiličnog postrojenja na koti k +420m.
2. Izrada glavnog pristupnog puta sa platoa na koti k +420 m do etaže E640 na koti k +640 m. Put se izrađuje po terenu u okviru zahvata kopa kao dvosmerni, širine 15,32 m i dužine 2.254,35 m.

Izrada još 2 pristupna puta koji vode do odlagališta.

Jedan pristupni put se izrađuje sa kote k +490 m, od glavnog pristupnog puta do odlagališta J1 na koti k +490 m, kao dvosmerni put širine 15,32 m i ukupne dužine 294,87 m. Dužina od 51,9 m je u okviru zahvata kopa, dok ostatak od 242,97 m nije.

Drugi pristupni put se izrađuje sa kote k+420 m, od platforme do odlagališta J2 i J3 čiji je početak na koti k+420 m. Radi se kao dvosmerni put širine 15,32 m i ukupne dužine 429,12 m. Ceo put se nalazi izvan zahvata kopa.

Svi delovi pristupnih puteva koji se nalaze u okviru zahvata kopa se sukcesivno uništavaju sa napredovanjem eksplotacije sa viših ka nižim etažama, odnosno sa viših ka nižim kotama.

3. Otvaranje i otkopavanje na najvišoj etaži E640 neće se raditi bušačko-minerskim radovima, već ripovanjem i buldozerskim preguravanjem do utovarnih tačaka.
4. Etaže u visinskem delu kopa su etaže od kote k+640 m do etaže na koti k+420 m. Koncepcija odlaganja jalovine sa ovih etaža je sprovedena tako što se jalovina delimično odlaže na odlagalište J1, J2 i na odlagalište J3.
5. Od nivoa etaže na koti k+420 m kop prelazi u dubinski tip kopa. Jalovina sa etaža iz dubinskog dela kopa transportuje se na jalovište J3, gde se transportuje i deo jalovine iz visinskog dela kopa. Nakon postizanja

projektovane visine jalovišta J2 do kote k+420 m, suksesivno se izrađuje visinsko odlagalište J3 do kote +520 m.

6. Radovi na kopu će se odvijati diskontinualnom tehnologijom otkopavanja i transporta koja ima sledeće faze:
  - bušenje i miniranje,
  - utovar odminiranog materijala bagerima,
  - transport rude i jalovine kamionima,
  - odlaganje jalovine,
  - odvodnjavanje, i
  - pomoćne operacije.

## 6. UPRAVLJANJE ZAŠTITOM ŽIVOTNE SREDINE

Usled eksploatacije rudnog ležišta dolazi i do uticaja tehnoloških parametara na životnu sredinu. Stoga je značajno upravljati životnom sredinom i kod površinske eksplatacije navedenog ispitivanog rudnog ležišta.

Upravljanje životnom sredinom predstavlja deo dobre poslovne prakse u svim proizvodnim organizacijama koje imaju jasnu strategiju i čiji je cilj zasnovan na stalnom unapređenju svojih tehnoloških procesa. U ovom delu rada definisće se osnovni principi i elementi za upravljanjem životnom sredinom u cilju smanjenja ekoloških problema koji nastaju tokom površinske eksploatacije rudnog ležišta.

Principi i elementi upravljanja životnom sredinom obuhvataju [5]:

- Politiku zaštite životne sredine.
- Planiranje.
- Verifikaciju implementacije i korektivnih mera.
- Pregled i poboljšanje.
- Kontinuirano usavršavanje.

U suštini, upravljanje životnom sredinom odnosi se na upravljanje ljudskim aktivnostima i njihovim uticajima, a ne samo na upravljanje prirodnim uticajima.

Upravljanjem zaštitom životne sredine treba da obezbedi da se ne premaši kritična granica životne sredine, kao i da se radi na smanjenju i ublažavanju ekoloških problema.

Upravljanje životnom sredinom kod površinske eksplatacije rudnog ležišta se može definisati kao proces koji se odnosi na interakciju između čoveka i okoline koja ima za cilj da identifikuje:

- Koji su ekološki poželjni ishodi?
- Koja su fizička, ekonomski, društvena, kulturna i tehnološka ograničenja za postizanje ovih rezultata?
- Koje su najbolje opcije za postizanje ovih rezultata?

Upravljanje životnom sredinom se fokusira na implementaciji, praćenju, kontroli u cilju očuvanja životne sredine.

Kod tehnologije površinske eksploatacije ciljevi upravljanja životnom sredinom moraju da uključe:

- Prevenciju i rešavanje ekoloških problema.
- Utvrđivanje granica.
- Uspostavljanje i održavanje posebne organizacione celine koja će efikasno istraživati životnu sredinu, vršiti praćenje i upravljanje.
- Upozoravanja na opasnost i identifikovanje načina za njihovo prevazilaženje.
- Održavanje i poboljšavanje postojećih resursa.

Ovako organizovani sistem se tumači kao niz međusobno povezanih elemenata koji rade zajedno da bi se postigao jasno definisan cilj. Stoga se može reći da se sistem upravljanja životnom sredinom sastoji od skupa međusobno povezanih elemenata koji rade zajedno za postizanje cilja efikasnog upravljanja životnom sredinom.

Najbolje za funkcionisanje sistema upravljanja životnom sredinom kod površinske eksploatacije rudnog ležišta je da se uvede standard. Međunarodni standard ISO 14001 je standard za menadžment koji ima za cilj podržavanje sveobuhvatne zaštite životne sredine. Standard je primenljiv na sve tipove i veličine proizvodnih organizacija i može se prilagoditi različitim geografskim, kulturnim i društvenim uslovima.

Ovim standardom se utvrđuju zahtevi koji se odnose na sistem od upravljanja životnom sredinom, kako bi mu se omogućilo da razvije i implementira politiku i ciljeve zaštite životne sredine vodeći računa o svim zakonskim i drugim propisima.

## ZAKLJUČAK

Cilj upravljanja životnom sredinom je poboljšanje kvaliteta ljudskog života. Glavna briga upravljanja životnom sredinom je zadovoljavanje i unapređenje ljudskih potreba na održivoj osnovi uz pravljenje minimalne štete prirodnim staništima i ekosistemima.

Sistem upravljanja životnom sredinom u površinskoj eksploataciji rudnih ležišta se odnosi na upravljanje ekološkim programima od strane proizvodne organizacije na planski, sveobuhvatan, sistematičan i dokumentovan način. On uključuje organizacionu strukturu, planiranje i resurse za razvoj, sprovođenje i održavanje politike zaštite životne sredine.

Upravljanje zaštitom životne sredine služi kao sredstvo za poboljšanje ekoloških performansi i obezbeđuje sistematicnost u načinu kojim proizvodna organizacija upravlja poslovima životne sredine.

Najrasprostranjeniji standard za životnu sredinu i upravljanje rizikom u površinskoj eksploraciji rudnih ležišta je standard ISO 14001.

Povećanjem svesti o ekološkim problemima izazvanim ekonomskim i privrednim aktivnostima u oblasti površinske eksploracije rudog ležišta, dovelo je do pojave sposobnosti proizvodne organizacije da upravlja svojim okruženjem. Pravilnim sprovođenjem ekoloških tehnika i alatima upravljanja, ona može da upravlja svojim uticajem na životnu sredinu, da smanji potrošnju energije i emisije štetnog otpada, da poveća efikasnost korišćenja voda i postigne bolje upravljanje otpadom.

Prednosti korišćenja sistema upravljanja životnom sredinom dovode do ekonomske koristi kao što su niži troškovi i naknade u vezi sa životnom sredinom i direktnе uštеде kroz smanjenje izvora koji ugrožavaju životnu sredinu.

## ZAHVALNOST

*Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije za finansijsku podršku naznačenu br. 451-03-68/2022-14/200052.*

## LITERATURA

- [1] <http://rudnik.in.rs/rudnik/geografske-odlike.html>
- [2] Strateški master plan održivog razvoja planine Rudnik od 2014. do 2024, str. 22-27.
- [3] Živorad Milićević, Petrografija (predavanja), Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, 2003, str. 75-79.
- [4] Ivan Jovanović, Tehnologija površinske eksploracije, Seminarski rad, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, 2021.
- [5] Branislav Andelković, Osnovi sistema zaštite, Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu u Nišu, Prvo izdanje, Niš, 2010.

## **BAKAR 47 (2022) 2 COPPER**

UDK: 622.546.4/.8:551.44:628.14(045)=163.41

Primljen: 05.12.2022.

DOI: 10.5937/bakar2202039P

Prerađen: 07.12.2022.

NAUČNI RAD

Prihvaćen: 09.12.2022.

Oblast: Rudarstvo i zaštita životne sredine

### **ANALIZA UTICAJA RUDARSKIH AKTIVNOSTI NA SADRŽAJ TEŠKIH METALA U PODZEMNOJ VODI I VODI ZA PIĆE U ZAVISNOSTI OD KLIMATSKIH PARAMETARA**

### **ANALYSIS OF THE MINING ACTIVITIES IMPACT ON THE CONTENT OF HEAVY METALS IN THE GROUNDWATER AND DRINKING WATER DEPENDING ON CLIMATE PARAMETERS**

Marina Pešić<sup>1</sup>, Radmila Marković<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Javno komunalno preduzeće „Vodovod“ Bor, R.J. Čoče 16, 19210 Bor

<sup>2</sup>Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni Bulevar 35, 19210 Bor

e-mail: marinabor030@gmail.com

#### **Izvod**

Svrha ove analize je da pokaže da li rudarske aktivnosti utiču na kvalitet podzemnih voda i vode za piće. Analiza uzoraka vode je vršena u tri nepovoljna klimatska perioda u toku zime 2018.-2019. godine. Dobijeni rezultati pokazuju da koncentracije teških metala u uzorcima vode nemaju vrednosti veće od dozvoljenih prema važećoj zakonskoj regulativi. Takođe, koncentracija teških metala se nije menjala sa promenama klimatskih parametara. Međutim, utvrđena je viša koncentracija molibdена od zakonom propisane u periodu otapanja snega. Ovim je pokazano da u krajnje nepovoljnim klimatskim uslovima kraške podzemne vode mogu da sadrže i pojedine metale čije poreklo može biti ili iz okolnog terena ili posledica rudarskih aktivnosti s obzirom da su dva površinska kopa u neposrednoj blizini izvorišta „Surdup“.

**Ključne reči:** teški metali, podzemna voda, voda za piće, klimatski parametri

#### **Abstract**

The purpose of this analysis is to show whether mining activities have an impact on the groundwater and drinking water quality. Water samples were analyzed in three unfavorable climatic periods during the winter of 2018-2019. The obtained results show that the heavy metal concentrations in water samples do not have values higher than the allowable according to the current statutory regulations. Also, the heavy metal concentration did not change with changes in climate parameters. However, a higher concentration of molybdenum than statutory by the law was found in the period of snow melting. This has shown that in extremely unfavorable climatic conditions, the karst groundwater can contain certain metals that can origin either from the surrounding field or as a result of mining activities, considering that there are two open pits in the immediate vicinity of the "Surdup" source.

**Keywords:** heavy metals, groundwater, drinking water, climate parameters

## 1. UVOD

Voda je ograničeni resurs od vitalne važnosti za zdravlje ljudi, životnu sredinu i ekonomski razvoj. Procenjuje se da usled klimatskih promena danas jedna trećina svetske populacije živi u zemljama izloženim srednjem do visokom vodnom stresu, a predviđanja ukazuju da će do 2025. godine polovina populacije živeti u bezvodnim regionima [1,2,3].

Takođe, sa druge strane i zagađenje vode koje je posledica različitih antropogenih aktivnosti, pre svega u industriji, poljoprivredi i domaćinstvima postaje sve veći problem [4,5]. Sve navedeno smanjuje količine dostupne čiste vode i povećava kompeticiju za vodom adekvatnog kvaliteta. Može se reći da su problemi kojima su danas izloženi vodni resursi posledica klimatskih promena, prekomernog korišćenja, zagađenja i neadekvatnog upravljanja, kako na globalnom nivou tako i u lokalnim zajednicama.

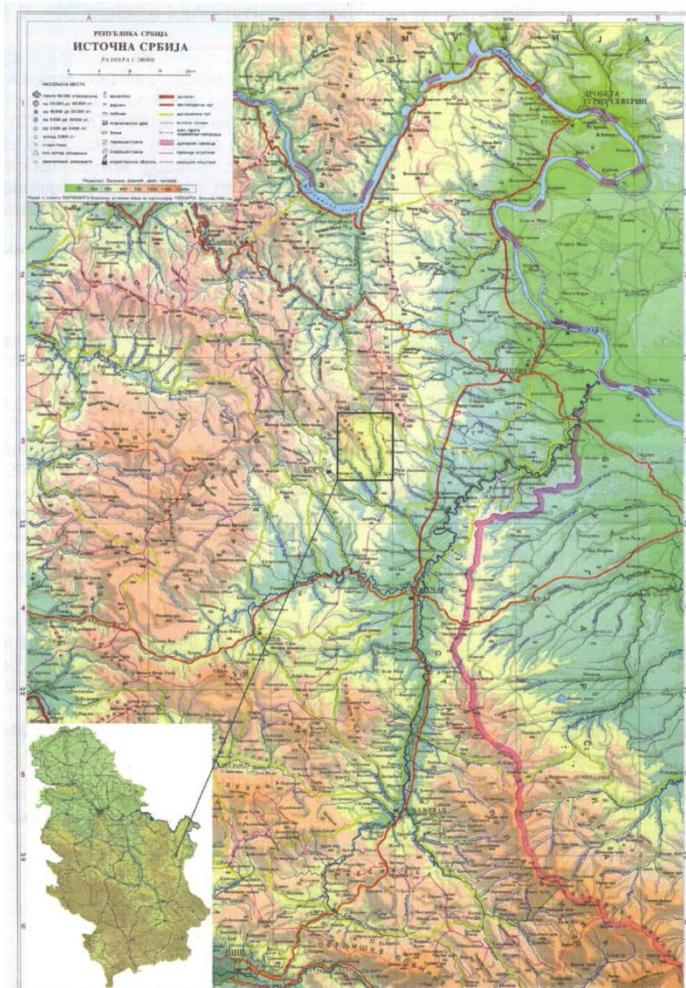
Poseban značaj u vodosnabdevanju imaju karstni tereni, zato što su vodni resursi ovih područja visokog kvaliteta i zahtevaju minimalnu preradu, kako bi se dobio kvalitet vode koji je propisan za vodu za piće [6,7]. U Srbiji, karstne izdanske vode predstavljaju značajan potencijal za sadašnje i buduće vodosnabdevanje, a kada su u pitanju pojedini delovi istočne i zapadne Srbije, ne postoji alternativno rešenje [8].

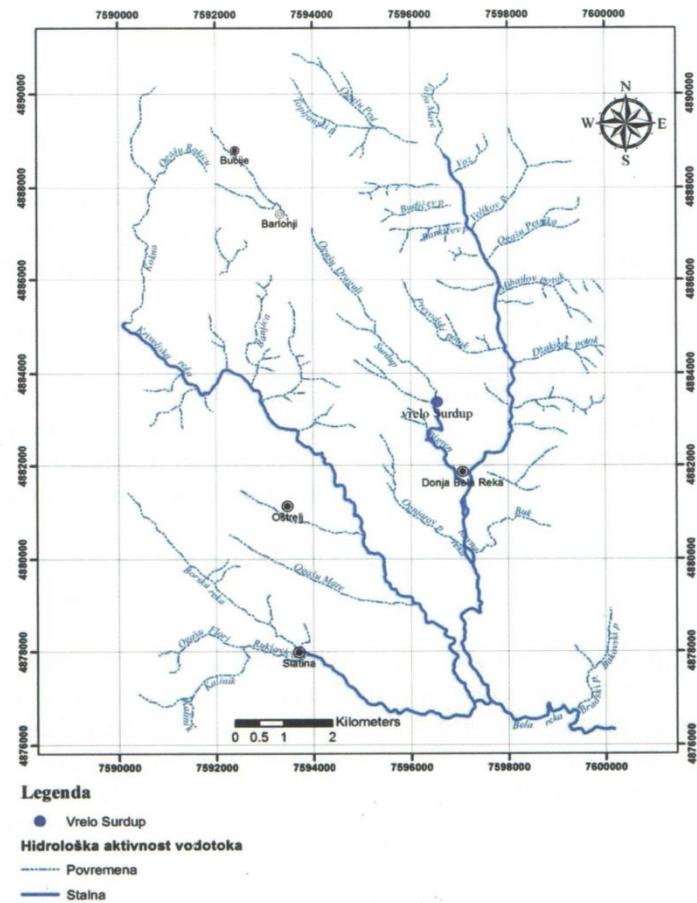
Kraška područja su izuzetno vulnerabilna, a samim tim su podložnija zagađenju. Poznato je da se u periodima padavina ili otapanja snega naglo pogoršava mikrobiloški i hemijski kvalitet (mutnoća, suspendovane materije) kraških podzemnih voda [9]. Takođe, specifičnost kraških terena dovodi do brzog prenosa zagađivača u kojima potencijalno može biti i teških metala [10,11]. Ovo može biti posebno važno za vodosnabdevanje ukoliko su kraška izvorišta u oblasti rudarenja, kao što je slučaj sa izvorištem „Surdup“ koje se nalazi u blizini dva rudnika: „Serbia Zijin Copper doo“ (eksploatacija i prerada ruda bakra) i rudnik „Jugo - Kaolin“ (proizvodnja kvarcnog peska).

Cilj ovog rada je da se utvrди da li postoji uticaj rudarenja, u zavisnosti od klimatskih parametara, na kvalitet podzemne vode izvorišta „Surdup“ i vode za piće iz distributivnog sistema.

## 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Prostor izvorišta „Surdup“ nalazi se na oko 1,5 km severno od sela Donja Bela Reka, na nadmorskoj visini 302 m (Slika 1.). Karstni tip izdani je razvijen u široj okolini istraživanog područja, kao i u slivu izvorišta „Surdup“.





## **Sl. 2. Sliv Ravne reke**

Površinski kop „Jugo – Kaolin“ nalazi se na oko 1 km severno od sela Donja Bela Reka. Eksplotacija kvarcnog peska se vrši na udaljenosti oko 600 metara vazdušnom linijom u pravcu jugoistoka od izvorišta „Surdup“.

### **3. FIZIČKO-HEMIJSKA SVOJSTVA I KVALITET PODZEMNIH VODA IZVORIŠTA „SURDUP“**

Dosadašnja ispitivanja fizičko-hemijskih osobina podzemnih voda izvorišta „Surdup“ [12], pokazuju da se radi o prozračnim vodama, bez boje, mirisa (što ukazuje na odsustvo slobodnih gasova u podzemnim vodama) i ukusa. Vrednost temperature vode se kreće od 8,1 do 14,7°C. Vrednost pH ispitivanih voda kreće se u intervalu od 7,0 do 7,2 što ukazuje da ova voda pripada neutralnim do slabo alkalnim vodama. Ukupna tvrdoća vode je od 12,7 do 18,0°dH, odnosno srednje

vrednosti oko  $15,4^{\circ}\text{dH}$  što je svrstava u grupu tvrdih voda. Mineralizacija ispitivanih voda svojim vrednostima koje se kreću oko  $302 \text{ mg/l}$ , svrstava ove ispitivane vode, u vode male mineralizacije. Elektroprovodljivost se kretala u intervalu  $408\text{-}480 \mu\text{S/cm}$ . Na osnovu rezultata hidrohemiskih režimskih ispitivanja kvaliteta, tj. hemijskog sastava ovih podzemnih voda, može se reći da su ispitivane vode hladne, pripadaju kategoriji prirodnih mineralnih voda sa niskim sadržajem rastvorljivih mineralnih materija. Po klasifikaciji, ove vode spadaju u hidrokarbonatnu klasu voda, kalcijumskog tipa.

#### 4. UZORKOVANJE VODE I METODE ANALIZE

Uzorkovanje vode za potrebe ispitivanja sadržaja teških metala u periodu decembar 2018. godine - februar 2019. godine, vršeno je na izvorištu „Surdup“ i iz distributivne mreže koja se snabdeva vodom sa izvorišta „Surdup“. Posuda za uzimanje uzorka vode za hemijske analize je zapremine  $1,5 \text{ l}$  i mora biti hemijski čista. Uzorak vode je uziman na slavinama na pumpnim stanicama i na slavinama u distributivnom sistemu, gde se voda najviše koristi (kuhinja, toalet u javnim ustanovama). Pre uzimanja uzorka vode sa slavine uklonjeni su svi dodatni metalni ili plastični delovi (filteri, mrežice, i dr.). Tada je na slavini puštena voda da teče umerenim mlazom  $3\text{-}5$  minuta. Zatim je posuda za uzimanje uzorka tri puta isprana vodom koja se ispituje i nakon toga je napunjena.

Sadržaj teških metala u svim uzorcima određivan je na Optičkom emisionom spektrometru sa induktivno spregnutom plazmom (ICP-OES, Perkin Elmer Optima 8300, USA). Određivanje teških metala spektrofotometrijskom tehnikom uključuje izbor optimalne, odnosno radne emisione linije ( $\lambda$ ) sa pripadajućom granicom detekcije. Koncentracije teških metala u uzorcima vode određene su u hemijskoj laboratoriji na Tehničkom fakultetu u Boru, Univerziteta u Beogradu.

#### 5. REZULTATI I DISKUSIJA

U periodu decembar 2018. – februar 2019. godine uzorkovana je voda na izvorištu „Surdup“ i voda iz distributivnog sistema koji se snabdeva vodom sa ovog izvorišta. Rezultati su prikazani u Tabeli 1. Uzorkovanja su vršena tri puta u periodima sa različitim klimatskim karakteristikama, kako bi se utvrdilo da li postoji veza između podzemnih voda i površinskih kopova. Prvo uzorkovanje (I) je bilo 14.12.2018. godine i obuhvatilo je sušni period obzirom da više meseci nije bilo kišnih padavina, a sneg koji je pao krajem novembra, još uvek nije počeo da se topi. Drugo uzorkovanje (II) je bilo 14.01.2019. godine i obuhvatilo je period nakon otapanja snega koje je uslovilo povećanje količine podzemnih voda. Treće uzorkovanje (III) je sprovedeno 04.02.2019. godine u

periodu otapanja snega, s tim što je u ovom uzorku određivana i koncentracija molibdена.

**Tabela 1. Koncentracija teških metala i ostalih elemenata u uzorcima vode na izvorištu „Surdup“ i u distributivnom sistemu**

Element	Mesto uzorkovanja						MDK mg/l	
	Izvorište „Surdup“			Distributivni sistem				
	Koncentracija ispitivanih elemenata mg/l							
	I	II	III	I	II	III		
Ag	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	
Al	<0,0027	<0,01	0,029	<0,0027	<0,01	<0,01	0,2	
As	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,01	
B	<0,001	0,41	0,40	<0,001	0,34	0,19	1,0	
Ba	0,011	0,015	0,018	0,011	0,014	0,01	0,7	
Bi	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,07	-	
Ca	118,78	124,81	138,51	120,37	128,81	134,85	200,0	
Cd	<0,0006	0,0120	0,0019	<0,0006	<0,0006	<0,0006	0,003	
Co	0,0050	0,0150	<0,01	0,0058	0,0092	<0,01	-	
Cr	<0,000425	0,0096	<0,02	<0,000425	0,003	<0,02	0,05	
Cu	<0,000057	0,0041	<0,004	0,097	0,0165	<0,004	2,0	
Fe	<0,000472	0,0033	0,032	<0,000472	<0,03	<0,03	0,3	
K	<1,748	0,608	0,859	<1,748	0,612	0,353	12,0	
Li	0,0006	0,0124	0,0050	0,0005	0,0053	0,0018	12,0	
Mg	3,345	5,643	4,253	3,364	5,810	4,910	50,0	
Mn	<0,001058	0,013	0,0039	<0,001058	0,0059	0,0014	0,05	
Mo	n.a.*	n.a.*	<b>0,29</b>	n.a.*	n.a.*	<b>0,12</b>	0,07	
Na	1,086	1,757	2,273	1,327	1,755	0,885	200,0	
Ni	<0,002	0,00624	0,00211	<0,002	0,00202	<0,002	0,02	
Pb	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,01	
Sr	0,049	0,070	0,084	0,050	0,066	0,074	-	
Tl	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	-	
Zn	<0,02	0,0027	<0,02	0,3401	0,0413	0,0229	3,0	

n.a.\* nije analizirano

Na osnovu rezultata prikazanih u Tabeli 1 zaključuje se da koncentracije teških metala u vodi ne prelaze zakonom propisane vrednosti za vodu za piće [13], izuzev sadržaja molibdена u vodi uzorka III, kada je sneg počeo da se topi i kada se podzemne vode kreću turbulentno. Koncentracija molibdена je bila iznad zakonom propisane vrednosti za vodu za piće (MDK - maksimalno dozvoljena koncentracija je 0,07 mg/l) u uzorku vode sa izvorišta „Surdup“, ali i u uzorku vode iz distributivnog sistema. Obzirom da se izvorišta u periodu otapanja snega ili intenzivnih kišnih padavina, po pravilu zamućuju, ona se isključuju iz sistema vodosnabdevanja i tako se sprečava ulazak neispravne vode u distributivni sistem. Moguće je da se u delu distributivnog sistema gde je uzet uzorak za analizu nalazila još uvek i određena količina vode iz pravca „Surdup“, a koja je dospela u distributivni sistem na početku zamućenja

izvorišta i pre njegovog isključenja, pomešana sa vodom iz drugog pravca koji je imao higijenski ispravnu vodu, što je uslovilo prisustvo niže koncentracije molibdена od one koja je detektovana u vodi izvorišta „Surdup“, ali je ona i dalje bila viša od propisane.

Izvorište „Surdup“ nalazi se u oblasti koja je bogata rudom bakra i kvarcnog peska, tj. u blizini dva rudnika: „Serbia Zijin Copper doo“ (eksploatacija rude bakra) i rudnik „Jugo – Kaolin“ (proizvodnja kvarcnog peska), a poznato je da je molibden komponenta koja prati rudu bakra, pa njegovo prisustvo u vodi može biti posledica rudarenja, ali i prirodnog luženja u podzemne vode, posebno u periodu njihovog turbulentnog kretanja. Molibden se ne pojavljuje u prirodi kao slobodan metal, već kao molibdenit ( $\text{MoS}_2$ ), manje kao vulfenit ( $\text{PbMoO}_4$ ), povelit ( $\text{CaMoO}_4$ ) ili kao nusproizvod u procesu rудarstva bakra i volframa. Većina jedinjenja molibdена ima malu rastvorljivost u vodi, ali kada minerali koji sadrže molibden dodju u kontakt sa kiseonikom i vodom, nastaje molibdatni ion  $\text{MoO}_4^{2-}$  koji je je rastvorljiv u vodi. Takođe, viša koncentracija molibdена je prisutna u sedimentu, stenama, posebno u glini, glinenim škriljcima i ilovači, dok je u peščaru i peščanim stenama koncentracija molibdена niža [14].

## ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazani su rezultati ispitivanja sadržaja teških metala u podzemnim vodama izvorišta „Surdup“ i u vodi za piće iz vodovodnog sistema koji distribuira vodu iz pravca navedenog izvorišta. Ispitivanja su vršena u zimskom periodu (decembar 2018. – februar 2019. godine) koji je sa aspekta klimatskih uslova najnepovoljniji za kvalitet vode. Uzorkovanja su vršena u tri karakteristična perioda: pre početka otapanja snega (I), nakon otapanja snega (II) i u toku otapanja snega (III), a rezultati su pokazali da izuzev molibdена u vodi koja je uzorkovana u periodu otapanja snega, ostali teški metali nisu detektovani u izvorištu „Surdup“ ni u nepovoljnim klimatskim uslovima. Ovim je pokazano da u krajnje nepovoljnim klimatskim uslovima kraške podzemne vode mogu da sadrže i pojedine metale čije poreklo može biti iz okolnog terena ali i posledica rudarenja.

## LITERATURA

- [1] S. Rehanna, P.P. Mujumdar, Climate change induced risk in water quality control problems, Journal of Hydrology, 444-445 (2012) 63-77.
- [2] A. Mondal, P.P. Mujumdar, Regional hydrological impacts of climate change: implications for water management in India, Hydrological Sciences and Water Security: Past, Present and Future, 366 (2015) 34-43.

- [3] WHO, Klimatske promene i samit COP 27, Egipat, 2022.
- [4] K. Mohankumar, V. Hariharan, P.N. Rao, Heavy metal contamination in groundwater around industrial estate vs residential areas in Coimbatore, India, *Journal of Clinical and Diagnostic Research, Biochemistry Section*, 10 (2016) 5-7.
- [5] N. Akhtar, M.I.S. Ishak, S.A. Bhawani, K. Umar, Various natural and anthropogenic factors responsible for water quality degradation: A review, *Water*, 13 (19) (2021) 2660.
- [6] D.J. Vesper, W.B. White, Spring and conduit sediments as storage reservoirs for heavy metals in karst aquifers, *Environmental Geology*, 45 (2004) 481-493.
- [7] I. Nikolić, V. Kocic, V. Ristic Vakanjac, Monitoring podzemnih voda u državnoj mreži stanica Srbije, XIV Srpski simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, Zlatibor, Srbija, 2012, pp. 45-50.
- [8] M. Pešić, V. Ristić Vakanjac, B. Vakanjac, M. Antonijević, N. Marković, Good monitoring as a precondition for high drinking water quality: Case study of Zlot water supply sources (Bor, Serbia), XXIII International Conference Ecological Truth, Ed. Pantović and Marković, University of Belgrade, Technical Faculty Bor, 2015, pp. 583-589.
- [9] M. Pešić, S. Milić, M. Nujkić, M. Marić, The impact of climatic parameters on the turbidity and natural organic matter content in drinking water in the City of Bor (Eastern Serbia), *Environmental Earth Sciences*, 79 (2020) 267.
- [10] A. Giurginca, C.M. Munteanu, M.L. Stanomir, G. Niculescu, M. Giurginca, Assessment of potentially 353 toxic metals concentration in karst areas of the Mehedinți Plateau Geopark (Romania), *Carpathian Journal of 354 Earth and Environmental Sciences*, 3.103-110 (2010) 355.
- [11] F. Gutierrez, M. Parise, J. de Waele, H. Jourde, A review on natural and human-induced geohazards and 356 impacts in karst, *Earth-Science Reviews*, 138 (2014) 61-88.
- [12] S. Živanović, J. Lazović, V. Tomić, A. Avramović, Elaborat o rezervama podzemnih voda na izvoristu „Surdup“, JKP „Vodovod“ Bor, Geoinženjering BGP, Beograd, 2016.
- [13] Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće, Sl. list SRJ, br. 42/98, 44/99, 40/03.
- [14] M. Pešić, S. Milić, M. Nujkić, M. Marić, Determination of heavy metal concentration and correlation analysis of turbidity: A case study of the Zlot source (Bor, Serbia), *Water, Air and Soil Pollution*, 231 (2020) 98.

## **BAKAR 47 (2022) 2 COPPER**

---

UDK: 669:681.3.06(045)=163.41

Primljen: 13.09.2022.

DOI: 10.5937/bakar2202047M

Prerađen: 25.10.2022.

NAUČNI RAD

Prihvaćen: 15.11.2022.

Oblast: Ekonomija, menadžment

### **PRIMENA GRUPNE METODE PRIHVATANJA PODATAKA U FINANSIJSKOJ ANALIZI PREDUZEĆA METALURŠKE INDUSTRIJE**

### **APPLICATION OF GROUP METHOD OF DATA HANDLING IN FINANCIAL ANALYSIS OF METALLURGICAL INDUSTRY ENTERPRISES**

Ivan Milojević<sup>1</sup>, Miloš Miljković<sup>2</sup>, Miloš Radosavljević<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet za poslovne studije, Banja Luka, e-mail: drimilojevic@gmail.com

<sup>2</sup>Ujedinjeni granski sindikati „Nezavisnost“, Beograd,

e-mail: milos.miljkovic.mekis@gmail.com

<sup>3</sup>Institut primenjenih nauka, Beograd, e-mail: radosavljevicm93@gmail.com

#### **Izvod**

*U procesu finansijske analize nezaobilazno mesto pripada kvantitativnim analitičkim metodama. Tokom ekonomskog razvoja analitički procesi su dobijali sve više na značaju, tako da je uslovjavao i njihov razvoj. Primenjujući različite metode analize finansijskih izveštaja kao što su horizontalne, vertikalne ili racio analize operativni menadžment je dolazio do neophodnih informacija, ali se za strategijsko odlučivanje stalno iznalazio i razvijao novi korpus metoda. U tom kontekstu i metode Data Mininga nalaze svoje mesto.*

*Predmet ovog rada jeste, upravo primena jednog od prihvaćenih metoda Data Mining u finansijskoj analizi na primeru kompanije metalne industrije, tzv. grupna metoda prihvatanja podataka.*

**Ključne reči:** analitičke metode, Data Mining, grupna metoda prihvatanja podataka, finansijska analiza

#### **Abstract**

*In the process of financial analysis, an inevitable place belongs to the quantitative analytical methods. During the economic development, the analytical processes became more and more important, so that it conditioned their development. Applying various methods of analysis the financial statements such as the horizontal, vertical or ratio analysis, the operational management obtained the necessary information, but a new corpus of methods was constantly invented and developed for the strategic decision-making. In this context, the Data Mining methods also find their place. The subject of this paper is the application of one of the accepted methods of the Data Mining in the financial analysis on an example of a metal industry company, the so-called Group Method of Data Handling.*

**Keywords:** analytical methods, Data Mining, Group Method of Data Handling, financial analysis

## 1. UVOD

Primena analitičkih metoda na operativnom nivou omogućava donošenje kontinuiranih odluka neuslovljenih dužim vremenskim rokom. Saznajna moć finansijskih izveštaja dobija sve više na značaju primenom savremenih metoda koje daju smernice menadžmentu na duži vremenski rok, sa strategijskog nivoa. Primenjujući ove metode analitički softveri svojom nadogradnjom doprinose evolutivnom razvoju već korišćenih metoda kao što su klasične analitičke metode (horizontalna, vertikalna, regresiona analizu, Z-skor, i sl.). Nadogradnjom ovako prikazanih metoda dominantno mesto dobija pronalaženje implicitnih znanja takozvanim Data Mining metodama [1]. Uključujući ovako posmatrane metode u proces finansijske analize dobija se kvalitativno sadržajniji analitički izveštaj, obuhvatajući veliku količinu informacija na jednoj strani, a ipak izostavljajući nepotrebna preklapanja informacija, što svakako daje prednost u odnosu na klasične metode koje se koriste kod operativnih finansijskih analiza.

Cilj ovog rada jeste sagledavanje mogućnosti predikcije poslovnog rezultata preduzeća metalne industrije [2] kao bazične industrijske grane u uslovima ograničenog poslovnog izveštavanja na period od deset godina primenom na prilagođenom finansijskom izveštaju za potrebe analize grupnom metodom prihvatanja podataka (GMDH metodom).

Primena finansijskih pokazatelje ima dalekostruku upotrebnu vrednost kada se radi o proizvodnim preduzećima usled čega se u njih koriste različite tehnike, dobar doprinos daje i pravilnoj organizaciji računovodstvenog informacionog sistema [3]. Jedna od tehnika predviđanja vremenskih serija kakve su serije podataka finansijskih izveštaja jeste i trend. U našem istraživanju pokušaćemo da za razliku od ove tehnike primenom GMDH modela uključimo veći broj parametara koji utiču na predviđanje prihoda preduzeća.

## 2. MODEL ZASNOVAN NA MAŠINSKOM UČENJU

Procesi mašinskog učenja obuhvataju veći skup različitih procesa od samog prikupljanja novih saznanja, preko razvoja i usavršavanja u domenu njihove primene, do sagledavanja strukture i dolaženja do novih činjenica [4]. Ekonomski modeli mogu biti iskorišćeni upravo kao instrumenti i kao sredstva analize zato što se njima postiže rešenje prepostavke [5].

Ovakav vid dolaženja do saznanja se može posmatrati kroz različite oblike kao što su [6]:

- Sama akvizicija novih saznanja, gde se informacije prikupljaju i prikazuju simbolički, tako da se putem algebarskih prikaza mogu primeniti; i

- Trenin, odnosno poboljšavanje već stecenih postojećih znanja, koja se kontinuiranim ponavljanjem praktično koriguju, tako da se postojeća odstupanja svode na što manju moguću meru.

Teorijski posmatrano oba načina dolaženja do saznanja moraju biti prisutni kako bi se stvorili uslovi dolaženja do novih vrednosti [7]. Ovde se prevashodno misli na procese uspostavljanja i usavršavanja znanja kao samog faktora proizvodnje u savremenim uslovima.

Samo mašinsko učenje se ispoljava zavisno od odabranog sistema učenja, područja primene i načina na koji se takva znanja predstavljaju. U analizi finansijskih izveštaja primenjuje se induktivno mašinsko učenje pri kome se sam proces analize kreira tako da se sistem poboljšanja rezultata operativne analize nadograđuje uz zadate parametre, i to na dva načina [8]. Ovde je važno napomenuti da postoje i drugi sistemi mašinskog učenja, na primer učenje memorisanjem (rote learning), učenje na osnovu rečenog (learning by being told), učenje po analogiji (learning by analogy), učenje na osnovu primera (learning by examples), koje zahteva induktivno zaključivanje. Napred navedeno se ne može postići korelacionom i regresionom analizom [9].

Finansijski izveštaji rezultat su poslovnih procesa tako da se njihovom analizom dolazi do potvrđivanja određenih pravila koja važe u finansijama, što je teorijski već postavljeno, a što se pojašnjava putem samih analitičkih rezultata. Na ovaj način se dolazi od usmeravanja preduzeća ka željenom ishodištu [10].

Navedene metode se mogu dalje deliti saglasno više obeležja, kao i samih ishodišta. S tim u vezi mogu se koristiti i metode opšte poznate pod nazivom Data Mining u vidu stabla odlučivanja, produkcionih pravila liste odlučivanja koji su sami primeri načina predstavljanja empirijskih rezultata. U ovom radu mi ćemo koristiti metodu samoorganizovanog modela Data Mininga [11].

### 3. GRUPNA METODA PRIHVATANJA PODATAKA

Kada se izvrši uporedna analiza i sagledavanje Model samoorganizovanog otkrivanja skrivenih znanja SOSZ dolazi se do podatka da, u odnosu na klasične mreže i genetski algoritam koji se neretko primenjuju u finansijskoj analizi, ovaj metod ima značane prednosti. Ono u čemu se ogledaju njegove prednosti su ti što se on fokusira i osnovu traži na principu evolutivnog, mutacionog i selektivnog pristupa, a sve u cilju stvaranja mrežne strukture čime se postiže sinergija strukture i validacije modela to takvog nivoa na kome se formira optimalno složeni model [12]. Ovaj model je usmeran na redukciju podataka, ponovni prolazak kroz celokupan proces i da bi se na kraju došlo do validacije dobijenih rezultata. Dobijeni rezultati se mogu korigovati u procesu samorganizacije, te se iz tog razloga taj proces i zove samoorganizavano otkrivanje skrivenih znanja

(self-organization data mining - SODM) [13]. Model SODM je prezentovan sa još nekim metodama i zato se naziva grupna metoda prihvatanja podataka (Group Method of Data Handling - GMDH) [14].

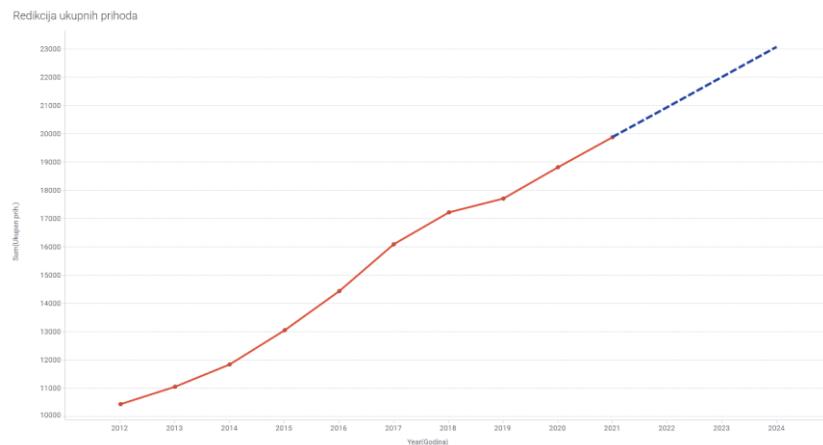
A.G. Ivakhnenko je 1967. godine, radeći prethodnih nekoliko godina, prezentovao GMDH. Metoda je imala određene modifikacije tokom 1970. godine i 1980. godine. Ono po čemu se ova metoda razlikuje od drugih su: da problem rešava tako što primenjuje tehniku neuralnih mreža sa manje efikasnim i sporim algoritmima, nego oni koji se koriste u statističkim softverima, na taj način se još izbegava pojava nagomilavanja [15]. Pravilno predviđanje budućih prihoda je bitno i prilikom revizije finansijskih izveštaja [16].

GMDH ima takav algoritam koji vrši selekciju najbolje kompleksnosti-složenosti, a sve na osnovu induktivnog pristupa. Isto se postiže zahvaljujući eksternim informacijama pod uslovom da pre toga nisu iskorišćene za ocenu koeficijenata modela. Kako bi izneto bilo što razumljivije i primenljivije, objašnjenje će se izvesti na primeru podataka preduzeća u grani metalske industrije - metalurgije [17].

Na osnovu podataka dobijenih finansijskim izveštajima za poslednjih 10 godina, a preračunatih za potrebe ovog rada i primenom GMDH metode izvršeno je predviđanje budućih prihoda entiteta, koji su prikazani u tabeli 1 i na slici 1.

**Tabela 1.** Pokazatelji iz FI izraženi u milionima dinara

Godina	Ukupna OS	Kapit. invest	Obrtna imo.	Kapital	Provizija	Obaveze	Ukupna akt.	Ukupan prih.	Poslovni tros.	Neto posl. dobit	Dobit iz posl.
2012	6010	78	2234	1324	2120	3238	8253	12437	12333	236	135
2013	6420	71	2392	2165	2341	2525	8825	12065	12990	314	208
2014	7715	74	2681	2176	2650	3714	10421	12845	13754	313	242
2015	8825	88	3431	3162	2800	4145	12285	14055	15093	315	261
2016	10735	88	3674	3044	2892	6337	14543	14547	16229	308	143
2017	11871	93	4125	2587	3533	8126	16954	16701	18110	12	-302
2018	12549	89	4370	2181	4293	9107	16871	1723	19135	68	-312
2019	12303	101	5283	2037	4529	9310	17510	17731	19597	325	-9
2020	12758	113	5205	3550	6471	7325	19138	19836	19902	598	399
2021	12554	126	5888	4843	6943	6718	18519	18900	21598	838	756

**Sl. 1.** Grafički prikaz budućeg ukupnog prihoda dobijenog metodom GMDH

Navedenim grafikonom na slici 1 data je primena GMDH metode na posmatrane podatke, što je i omogućilo da se za poslednje tri godine od 2022. godine do 2024. godine izvrši procena budućih prihoda posmatranog entiteta. Ovakva procene se ne bi mogla vršiti SWOT analizom [18].

Dobijeni rezultati primenom metode GBDH su prikazani u tabeli 2. Iz tabele 2 se može videti da isti predviđaju prihode za tekuću godinu i za naredne dve godine. Prilikom analize podataka i obradom istih ovom metododom u razmatranje nisu uzeti nagomilani podaci. Takva klasifikacija podataka ukazuje nam da je metoda GBDH prihvatljiva i moguća za projekciju budućih kretanja salda na odabranim kontima iz analiziranih finansijskih izveštaja [19].

**Tabela 2.** Statistički podaci dobijeni primenom metode GBDH

Godina	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Stvarno	10437	11065	11845	13055	14447	16101	17239	17731	18836	19900			
Predikcija	10069	11179	12289	13400	14569	15870	16925	17944	18928	19876	20789	21960	23392
Finalno predviđanje	10069	11179	12289	13400	14569	15870	16925	17944	18928	19876	20789	21960	23392
Niži	9545	10655	11765	12876	14045	15346	16401	17420	18404	19352	20265	21437	22868
Viši	10593	11703	12813	13924	15093	16394	17449	18468	19452	20400	21313	22484	23916

## ZAKLJUČAK

Dobijeni rezultati u ovom radu ukazuju da se primenom GBDH metode u analizi finansijskih izveštaja, dobijaju pouzdani podaci, odnosno da se pokazuje uspešnost i primenjivost neuralnih mreža u svrhu kratkoročnih projekcija budućih kretanja činioca finansijskih izveštaja i pokazatelja. U istu svrhu se može primeniti i samoorganizovani sistem Data Mining.

Kada je reč o nekim komparativnim prednostima u odnosu na ostale metode, u prvi plan se može izdvojiti da ona podržava nelinearne obrasce podataka. Može se očekivati da Data Mining, a naročito metoda GBDH uzme priimat i napreduje do standardne tehnike koja se koristi u finansijskoj analizi. Kako bi rezultati istraživanja bili od koristi za neka dalja i buduća istraživanja, očekuje se da budu nadograđeni različitim modelima sa dopunskim makroekonomskim informacijama i modelima za ekstenziviranu bazu podataka. Ova metoda se takođe može primeniti i u velikim multinacionalnim kompanijama naročito kada rade na finansijskim i investicionim projektima van matične zemlje.

## LITERATURA

- [1] V. Miškovic, Jedna klasa algoritama za induktivno učenje, Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Banja Luci, Banja Luka, maj 2002.
- [2] A. Savić, R. Kostić, Tranzicija nezaposlenosti kao faktor rasta metalurške industrije, Bakar, Vol. 47, 1 (2022) 33-42.
- [3] D. Lojaničić, S. Trajković, S. Tasić, Mogućnost primene Bulove algebre u kreiranju računovodstvenog informacionog sistema, Oditor, Vol 7, 2 (2021) 7-15.
- [4] F. Lemke, J.-A. Muler, Self-Organization Data Mining, R. Michalski, J. Carbonell, T. Mitchell (Eds.), Machine learning: An artificial intelligence approach, Vol. I, San Francisco, CA, Morgan Kaufmann, 1983.
- [5] N. Pantić, R. Damjanović, R. Kostić, Metode ekonomski analize kao deo metode društvenih nauka, Akcionarstvo, Vol. 27, 1 (2021) 7-27.

- [6] C. Spathis, M. Doumpos, C. Zopounidis, Using client performance measures to identify pre-engagement factors associated with qualified audit reports in Greece, *The International Journal of Accounting*, 38(3) (2003) 267-284.
- [7] B. Ilić, S. Tasić, Quantitative analysis of the role of production in value creation, *Održivi razvoj*, Vol. 3, 1 (2021) 17-33.
- [8] E. Kirkos, C. Spathis, Y. Manolopoulos, Data Mining techniques for the detection of fraudulent financial statements, *Expert System with Application*, 32 (2007) 995-1003.
- [9] N. Lekić, J. Vapa-Tankosić, J. Rajaković-Mijailović, S. Lekić, Analiza strukturnog kapitala kao komponente intelektualnog kapitala u IKT preduzećima, *Oditor*, Vol. 6, 3 (2020) 33-54.
- [10] B.P. Green, J.H. Choi, Assessing the risk of management fraud through neural-network technology, *Auditing: A Journal of Practice and Theory*, 16(1) (1997) 8-28.
- [11] J. Stice, Using financial and market information to identify pre-engagement market factors associated with lawsuits against auditors, *The Accounting Review*, 66(3) (1991) 516-533.
- [12] O. Persons, Using financial statement data to identify factors associated with fraudulent financial reporting, *Journal of Applied Business Research*, 11(3) (1995) 38-46.
- [13] R.C. Wu, Neural network models: Fonudantion and application to an audit decision problem, *Annals of Operations Research*, 75 (1997) 291-301.
- [14] V. Cherkassky, F.M. Mulier, Learning from data: Concepts, theory and methods, 2nd Edition, John Wiley - IEEE Press, 2007.
- [15] I.H. Witten, E. Frank, Data Mining: Practical machine learning tools and techniques with java implementations, Morgan Kaufmann Publishers, 2005, pp. 265-320.
- [16] S. Stanojević, M. Milunović, Okončanje postupka državne revizije, *Akcionarstvo*, Vol. 26, 1 (2020) 35-48.

- [17] R. Kohavi, A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection, in Proc. of International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1995.
- [18] S. Miletić, Z. Stanojević-Šimšić, A. Kostov, E. Požega, SWOT analiza – instrument za efikasno upravljanje, Bakar, Vol. 45, 2 (2020) 33-42.
- [19] V. Stanković, G. Mrdak, M. Miljković, Ekonomsko pravna analiza međunarodnih investicija, Oditor, Vol. 6, 3 (2020) 89-122.

## **BAKAR 47 (2022) 2 COPPER**

---

UDK: 005.542.1(045)=163.41

Primljen: 25.11.2022.

DOI: 10.5937/bakar2202055M

Prerađen: 02.12.2022.

NAUČNI RAD

Prihvaćen: 08.12.2022.

Oblast: Ekonomija i menadžment

### **ANALIZA KOMPENTENTNOG OSOBLJA ZA AKREDITACIJU LABORATORIJA AHP METODOM**

### **ANALYSIS OF COMPETENT STAFF FOR THE ACCREDITATION OF LABORATORIES USING THE AHP METHOD**

Slavica Miletić<sup>1</sup>, Ana Milijić<sup>2</sup>, Marko Trišić<sup>3</sup>, Slađana Krstić<sup>1</sup>, Emina Požega<sup>1</sup>

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

e-mail: slavica.miletic@irmbor.co.rs; sladjana.krstic@irmbor.co.rs;

emina.požega@irmbor.co.rs

<sup>2</sup>Inovacioni centar, Univerzitet Niš, Srbija, e-mail: ana.randjelovic@yahoo.com

<sup>3</sup>Visoka poslovna škola „Prof. dr Radomir Bojković“, Kruševac, Srbija,

e-mail: trisic.marko@gmail.com

#### **Izvod**

*Jedan od kriterijuma za ocenjivanje tehničke kompetentne laboratorije je komponentno i iskusno osoblje. U radu je data AHP analiza komponentnog i iskusnog osoblja za akreditaciju laboratorijske jedinice. Analizirani su sledeći podkriterijumi: obuka SRPS ISO 17025:2017, obuka ISO 9001, obuka osoblja za rad na određenoj mašini primenom validne metode, odgovornost, nepristrasnost, poverljivost, ovlašćenje i međuljudska saradnja laboratorijskog osoblja. Kriterijum komponentno i iskusno osoblje treba da ispunji sve zahteve za tehničku opremljenost laboratorijske jedinice da bi se podnela prijava za akreditaciju.*

**Ključne reči:** AHP analiza, kompetentnost i iskusno osoblje, akreditacija laboratorijske jedinice

#### **Abstract**

*The competent and experienced staff is one of the criteria for assessment the technical competence of the laboratory. This paper presents the AHP analysis of competent and experienced laboratory accreditation staff. The following sub-criteria were analyzed: training SRPS ISO 17025:2017, training ISO 9001, training staff to work on a particular machine using a valid method, responsibility, impartiality, confidentiality, authority and interpersonal cooperation of the laboratory staff. The criterion for competent and experienced staff should meet all the requirements for the technical equipment of the laboratory to submit an application for accreditation.*

**Keywords:** AHP analysis, competent and experienced staff, laboratory accreditation

## 1. UVOD

Akreditacija laboratorija je sredstvo za potvrđivanje tehničke kompetentnosti za obavljanje ispitivanja i etaloniranja materijala. Naziv laboratorija za akreditaciju se koristi svuda u svetu kao sredstvo potvrđivanja tehničke komponentnosti. Nacionalna akreditaciona tela koriste odgovarajuće kriterijume i procedure. Analiza i procena kriterijuma i podkriterijuma pruža informacije menadžerima o tehničkoj komponentnosti laboratorije.

Savremeno poslovanje zahteva potvrdu o proizvodima i uslugama u skladu sa specifičnim zahtevima i procedurama datim u standardima. ISO 9001 standard zahteva kvalitet proizvoda i usluga od kompanije. Međunarodni standard ISO/IEC 17025:2017 utvrđuje zahteve za komponentnost tehničke laboratorije za ispitivanje i etaloniranje materijala. Kad se utvrdi da je laboratorija tehnički komponentna, kompanija podnosi zahtev Akreditacionom telu za dobijanje akreditacije. Akreditaciono telo (ATS) ocenjuje tehničko komponente laboratorije i nepristrasno donosi odluku o akreditaciji.

U radu analiziramo komponentno i iskusno osoblje koje određuje tehničku komponentnost laboratorije. Kriterijum komponentno i iskusno osoblje se ocenjuje podkriterijumima: obuka SRPS ISO 17025:2017, obuka ISO 9001, obuka osoblja za rad na određenoj mašini primenom validne metode, odgovornost i nepristrasnost, poverljivost, ovlašćenje i međuljudska saradnja laboratorijskog osoblja. Analiza kriterijuma komponentno i iskusno osoblje je urađena AHP metodom (skr. analitički i hijerarhijski proces).

AHP analiza pokazuje ocenu svakog podkriterijuma kao evaluatora kriterijuma.

AHP metoda pripada metodama višekriterijumskog odlučivanja (MCDM). U poslednje vreme postoje razne implementacije MCDM modela. Donosioći odluka mogu ih koristiti pojedinačno ili kombinovano. Neki od tih alata je metod analitičkih hijerarhijskih procesa (eng. Analytic Hierarchical Process) koji se u radu koristi za analizu komponentnog osoblja.

Neki od radova novijeg datuma sa primenom AHP metode jesu: Building a strategy for the mining and metallurgy companies during the Covid-19 pandemic [1], Impact of Covid-19 on use of Non-Renewable Natural Resources [2], Analysis of the Digital Technology Impact in the Mining and Metallurgical Companies [3], i dr. Jedan od radova koji primenjuje kombinovane AHP i PROMETHEE metode, je: Selection of sustainable business model during the COVID-19 pandemic in Serbia [4].

## 2. ANALIZA KRITERIJUMA

Kriterijumi koji određuju kompetentnost tehničke laboratorije su: odgovarajući sistem menadžmenta i procedure, kompetentno i iskusno osoblje, odgovarajuća etalonirana oprema, adekvatni uslovi u kojima se ispitivanja/etaloniranja obavljaju, validne metode ispitivanja/etaloniranja, uključujući i metode uzorkovanja.

Laboratorija mora da ima proceduru za utvrđivanje zahteva o stručnosti osoblja i da vodi svu evidenciju.

Podkriterijum C<sub>1</sub> - *obuka SRPS ISO 17025:2017*; Međunarodni standard ISO/IEC 17025 [5] utvrđuje opšte zahteve za kompetentnost radi obavljanja ispitivanja i uzorkovanja materijala. Obukom ISO/IEC 17025 osoblje dobija znanje za ispitivanje/etaloniranje i uzorkovanje materijala u laboratorijama. Obučeno osoblje ispunjava zahteve po zastupljenim standardima i procedurama za korišćenje standardnih i nestandardnih metoda razvijenih u akreditovanim laboratorijama.

Podkriterijum C<sub>2</sub> - *obuka ISO 9001*; Kompetentno i iskusno osoblje po posebnim zahtevima i specifikacijama datim u standradima za akreditaciju moraju da poseduju obuku ISO 9001 standarda. ISO 9001 standard osoblju pruža kvalitetnu obuku o kvalitetu proizvoda. Poštujući zahteve ISO 9001 osoblje postaje kompetentno za rad u akreditovanim laboratorijama.

Podkriterijum C<sub>3</sub> - *obuka osoblja za rad na određenoj mašini primenom validne metode*; Osoblje mora da se obuci od strane akreditovane laboratorije za rad na određenoj mašini uz primenu odgovarajuće validne metode. Po zahtevima sistema menadžmenta, laboratorija mora da poseduje sertifikat o završenoj obuci za odgovarajuću mašinu i validnu metodu. Laboratorija mora da čuva zapise o kompetentnosti osoblja, uključujući obrazovanje, kvalifikaciju, tehničko znanje, obuku i iskustvo.

Podkriterijum C<sub>4</sub> - *odgovornost*; Osoblje koje obavlja bilo koje poslovne aktivnosti i koje pripada akreditovanim laboratorijama mora da bude odgovorno. Odgovorno poslovanje od strane osoblja smanjuje sve vrste rizika (gubitak akreditacije).

Podkriterijum C<sub>5</sub> - *nepristrasnost*; Čitavo osoblje i rukovodstvo laboratorija mora da bude posvećeno nepristrasnosti. Oni ne smeju da dozvole finansijskim, komercijalnim i drugim pritiscima da kompromituju nepristrasnost. Rizike laboratorija je potrebno svesti na najmanju meru bez prisustva pristranosti osoblja (SRPS ISO 17025:2017).

Podkriterijum C<sub>6</sub> - *poverljivost*; Kod podkriterijuma C<sub>6</sub>, osoblje koje radi u bilo kom svojstvu za akreditovane laboratorije, interno i eksterno mora da čuva kao poverljive sve informacije o korisniku, jedino ako drugačije ne zahteva

zakon (Standard ISO/IEC 17025: 2017). Informacije između osoblja laboratorija i korisnika moraju da budu poverljive jer se smatraju vlasništvom.

Podkriterijum C<sub>7</sub> – *ovlašćenje*; Laboratorija mora da ima osoblje koje ima ovlašćenje za primenu sistema menadžmenta i obezbeđivanje efikasnosti laboratorije.

Podkriterijum C<sub>8</sub> – *međuljudska saradnja laboratorijskog osoblja*; Saradanja između osoblja mora biti u skladu sa poštovanjem poslovne politike laboratorije. Osoblje mora da radi u skladu sa sistemom menadžmenta laboratorije.

### 3. PRIMENA AHP METODE

AHP metodom ocenjujemo podkriterijume. AHP metoda spada u grupu metoda višekriterijumskog odlučivanja (MCDM) tako da je jedna od najprimenjivanih koja se koristi za ocenjivanje kriterijuma i podkriterijuma. To je kvantitativna metoda koju je razvio Tomas Saaty [6]. AHP metoda služi kao pomoćno sredstvo menadžerima za rešavanje konfliktih realnih problema. Ocenjivanje podkriterijuma određujemo na osnovu Sajtijeve skale ocenama od 1-9 (Tabela 1).

Upoređujemo podkriterijume međusobno u odnosu na zadati cilj. Rangiranjem relativnog uticaja svakog podkriterijuma u odnosu na svaki podkriterijum, vrši se matricom poređenja (Tabela 2). Stepen konzistentnosti treba da bude manji od 0,1.

Ocene podkriterijuma odredili su autori rada i komponentno osoblje laboratorija.

**Tabela1.** Saaty skala za vredovanje kriterijuma i alternativa [6]

$$S = \left\{ \frac{1}{9}, \frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 \right\}$$

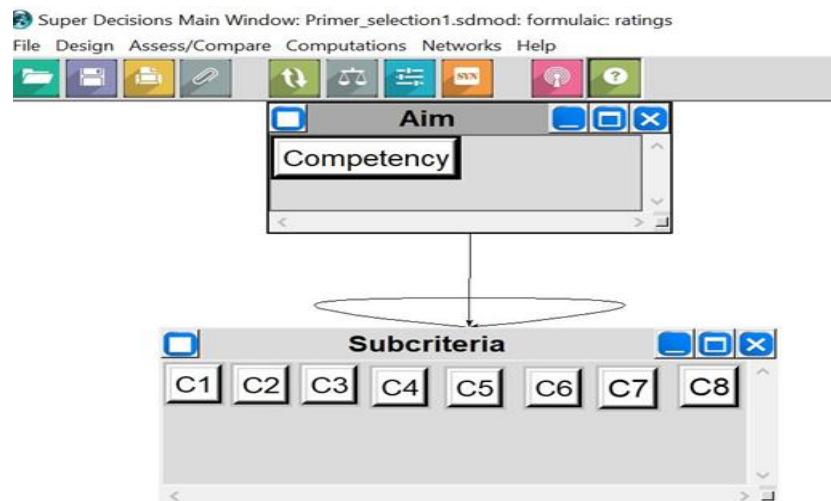
Vrednost $a_{jk}$	Interpretacija rezultata
1	Elementi $j$ i $k$ su podjednako važni
3	Element $j$ je nekako važniji od elementa $k$
5	Element $j$ je važniji od elementa $k$
7	Element $j$ je vrlo važan od elementa $k$
9	Element $j$ je apsolutno važniji od elementa $k$
2, 4, 6, 8	Srednje vrednosti između dva elemenata

**Tabela 2.** Matrica poređenja parova za težinske koeficijente kriterijuma

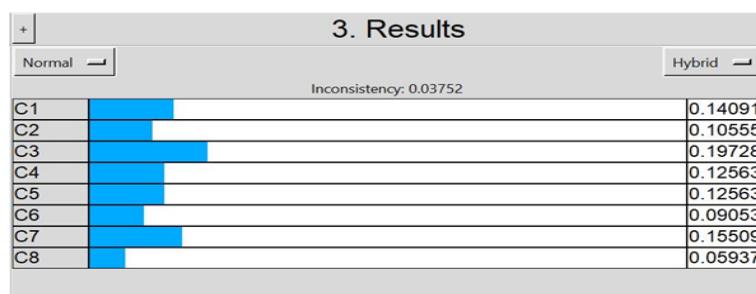
Podkriterijum	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>
C <sub>1</sub>	1	2	1	1	1	1	1/2	2
C <sub>2</sub>		1	1/2	1	1	1	1/2	2
C <sub>3</sub>			1	2	2	2	2	3
C <sub>4</sub>				1	1	2	1	2
C <sub>5</sub>					1	2	1	2
C <sub>6</sub>						1	1/2	2
C <sub>7</sub>							1	2
C <sub>8</sub>								1

Nakon unešenih ocena u matrici poređenja, pomoću softvera Super Decisions je dobijen rezultat rangiranja uticaja podkriterijuma. Prvo je izvršeno definisanje višedimenzionalne hijerarhijske strukture uticaja na komponentnost i iskusno osoblje laboratorija, zatim su određeni težinski koeficijenti podkriterijuma. Rezultati su prikazani na slici 1. Stepen konzistentnosti je 0,03752, koji je manji od 0,1.

Na slici 2 prikazani su rezultati rangiranja podkriterijuma.



**Sl. 1.** Višedimenzionalna hijerarhijska struktura



**Sl. 2. Rezultati rangiranja podkriterijuma**

#### 4. REZULTATI I DISKUSIJA

Uzimajući u obzir sliku 2, dolazimo do sledećih rezultata:

Najvažniji podkriterijum za ocenjivanje komponentnog osoblja za akreditovanje laboratorije je *podkriterijum C<sub>3</sub>* - obuka osoblja za rad na određenoj mašini primenom validne metode, jer njegov težinski koeficijenat ima najveću vrednost 0,19728. Najvažnije je da osoblje bude kvalitetno obučeno za rad na određenoj mašini.

*Podkriterijum C<sub>7</sub>* – ovlašćenje zauzima drugo mesto po važnosti za rad osoblja u laboratoriji, jer njegov težinski koeficijenat iznosi 0,15509. Laboratorija mora da ima osobu koja je ovlašćena za implementaciju sistema menadžmenta kvalitetom (QMS), sprovodenju standarda SRPS ISO 17025:2017 i praćenje rada cele laboratorije. Ovlašćena osoba radi na sprovodenju datih procedura i poboljšanju uslova rada cele laboratorije.

Na trećem mestu je *podkriterijum C<sub>1</sub>* - obuka SRPS ISO 17025:2017; Osoblje koje radi u akreditovanim laboratorijama mora imati obuku u skladu sa međunarodnim standardom ISO/IEC 17025. ISO/IEC 17025 utvrđuje opšte zahteve za stručnost za obavljanje laboratorijskih ispitivanja.

*Podkriterijumi C<sub>4</sub>* - odgovornost i *C<sub>5</sub>* – nepristrasnost; Zauzimaju četvrtu mesto, jer imaju isti težinski koeficijent 0,12563. Standard ISO/IEC 17025 u svojim zahtevima zahteva da osoblje koje obavlja laboratorijske aktivnosti bude odgovorno i nepristrasno.

Peto mesto zauzima *podkriterijum C<sub>2</sub>* - obuka ISO 9001; Njegov težinski koeficijenat je 0,10555. Svaka osoba koja radi u laboratoriji mora proći obuku po ISO 9001, odnosno prema zahtevima ATS-a.

*Podkriterijum C<sub>6</sub>* – poverljivost; Zauzima šesto mesto sa težinskim koeficijentom 0,09053. Standard SRPS ISO 17025:2017 zahteva da osoblje zaposleno u laboratorijama mora biti poverljivo, kako interno tako i eksterno.

*Podkriterijum C<sub>8</sub> – međuljudska saradnja laboratorijskog osoblja je na poslednjem mestu, jer njegov težinski koeficijenat 0,05937. Saradnja između osoblja mora biti u skladu sa zahtevima laboratorijske politike. Zahtevi standarda SRPS ISO 17025:2017 zahtevaju poštovanje i uvažavanje između internog i eksternog osoblja. Međusobna saradnja, takođe, utiče na rezultate ispitivanja materijala.*

## ZAKLJUČAK

U radu je dat AHP proraučun procene komponententnog i iskusnog osoblja za uspešnu akreditaciju laboratorije. Za procenjivanje su korišćeni sledeći podkriterijumi: obuka SRPS ISO 17025:2017, obuka ISO 9001, obuka osoblja za rad na određenoj mašini primenom validne metode, odgovornost, nepristrasnost, poverljivost, ovlašćenje i međuljudska saradnja laboratorijskog osoblja.

Najvažniji podkriterijum za procenu komponententnog i iskusnog osoblja je podkriterijum C<sub>3</sub>, obuka osoblja za rad na određenoj mašini primenom validne metode sa težinskim koeficijentom 0,19728.

AHP analiza pokazuje snagu ponderisanih koeficijenata podkriterijuma u vrednovanju kriterijuma komponententnog i iskusnog osoblja za potrebe akreditacije laboratorije.

## ZAHVALNICA

*Istraživanja predstavljena u ovom radu su urađena uz finansijsku podršku Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru finansiranja naučno istraživačkog rada u Institutu za rudarstvo i metalurgiju Bor, prema ugovoru sa evidencionim brojem 451-03-9/2021-14/200052, i u Inovacionom centru Univeziteta Niš sa evidencionim brojem 451-03-68/2020-14/200371.*

## REFERENCE

- [1] S. Miletic, D. Bogdanovic, A. Kostov, Building a strategy for the mining and metallurgy companies during the COVID-19 pandemic, Mining and Metallurgy Engineering Bor, Vol. 4, 1 (2022) pp. 41-51.
- [2] D. Bogdanović, S. Milić, Impact of COVID-19 on use of non-renewable natural resources, Podzemni Radovi, 39 (2021) 1-9.
- [3] S. Milić, D. Bogdanović, M. Ignjatović, Z. Stanojević Šimšić, A. Kostov, Analysis of the digital technology impact in the mining and metallurgical companies, Mining and Metallurgy Engineering Bor, 1-2 (2021) 43-54.

- [4] S. Milić, D. Bogdanović, Selection of sustainable business model during the COVID-19 pandemic in Serbia, Thematic Proceedings, The impact of the COVID-19 pandemic on economy, resources and sustainable development, 2021, pp. 45-59.
- [5] Normative documents: Standard ISO/IEC 17025: 2017.
- [6] T.L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process. McGraw Hill Company, New York A., 1980.

## UPUTSTVO AUTORIMA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Adresa uredništva je: Časopis BAKAR

Institut za rudarstvo i metalurgiju

Zeleni bulevar 35, 19210 Bor

E-mail: [nti@irmbor.co.rs](mailto:nti@irmbor.co.rs); [ana.kostov@irmbor.co.rs](mailto:ana.kostov@irmbor.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](mailto:nti@irmbor.co.rs); [ana.kostov@irmbor.co.rs](mailto:ana.kostov@irmbor.co.rs)  
                                  Telephone: +381 30/454-260; +381 30/454-108

We are thankful for all authors on cooperation.

**SADRŽAJ**  
**CONTENS**

---

Miloš Đukić, Stefan Đordjevski, Renata Kovačević, Dragana Adamović, Mirjana Šteharnik, Sanela Vasiljević, Brankica Jakša	
<b>SMANJIVANJE Matriks EFEKTA U ANALIZI ZLATA I SREBRA ICP-MS TEHNIKOM</b>	
REDUCTION OF THE MATRIX EFFECTS IN THE GOLD AND SILVER ANALYSIS USING THE ICP-MS TECHNIQUE .....	1
Slobodan Trajković, Branislav Nikolić, Željko Kamberović, Sanja Bajić	
<b>RAZVOJ RUDARSTVA I METALURGIJE OLOVA I CINKA U RUDNIKU „TREPČA“ – STARI TRG</b>	
DEVELOPMENT OF THE LEAD AND ZINC MINING AND METALLURGY IN THE "TREPČA" MINE – STARI TRG .....	11
Ivan Jovanović, Novica Staletović	
<b>TEHNOLOGIJA POVRŠINSKE EKSPLOATACIJE I UPRAVLJANJE ZAŠTITOM ŽIVOTNE SREDINE</b>	
TECHNOLOGY OF SURFACE EXPLOITATION AND MANAGEMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION .....	31
Marina Pešić, Radmila Marković	
<b>ANALIZA UTICAJA RUDARSKIH AKTIVNOSTI NA SADRŽAJ TEŠKIH METALA U PODZEMNOJ VODI I VODI ZA PIĆE U ZAVISNOSTI OD KLIMATSKIH PARAMETARA</b>	
ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF MINING ACTIVITIES ON THE CONTENT OF HEAVY METALS IN GROUNDWATER AND DRINKING WATER DEPENDING ON CLIMATE PARAMETERS .....	39
Ivan Milojević, Miloš Miljković, Miloš Radosavljević	
<b>PRIMENA GRUPNE METODE PRIHVATANJA PODATAKA U FINANSIJSKOJ ANALIZI PREDUZEĆA METALURŠKE INDUSTRIJE</b>	
APPLICATION OF GROUP METHOD OF DATA HANDLING IN FINANCIAL ANALYSIS OF METALLURGICAL INDUSTRY ENTERPRISES .....	47
Slavica Miletić, Ana Milijić, Marko Trišić, Sladana Krstić, Emina Požega	
<b>ANALIZA KOMPENTENTNOG OSOBLJA ZA AKREDITACIJU LABORATORIJA AHP METODOM</b>	
ANALYSIS OF COMPETENT STAFF FOR THE ACCREDITATION OF LABORATORIES USING THE AHP METHOD .....	55

---