



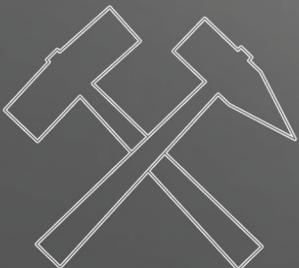
# РУДАРСКИ ГЛАСНИК

BULLETIN OF MINES

ISSN 0035-9637  
eISSN 2956-2457

Књига СХХII, Бр. 1-2, 2025.

Volume СХХII, No 1-2, 2025



ISSN 0035-9637 (штампано издање / printed edition)  
e-ISSN 2956-2457 (online)

(CXXII) 1-2

## РУДАРСКИ ГЛАСНИК

### Главни и одговорни уредник

Др Јасмина Нешковић  
е-пошта: [jasmina.neskovic@ribeograd.ac.rs](mailto:jasmina.neskovic@ribeograd.ac.rs)

### Издавач:

Рударски институт д.о.о. Београд  
Београд, Батајнички пут 2,  
тел: 011 21 95 112; факс: 011 26 14 632  
[www.ribeograd.ac.rs](http://www.ribeograd.ac.rs)

### За издавача:

Др Светлана Полавдер, директор РИ-а

### Превод:

Лела Лончар

### Припрема за штампу:

Лепосава Кнежевић  
Др Павле Стјепановић  
Раде Шарац

### Штампа:

Klik commerce d.o.o. Београд

### Тираж:

300 примерака

### Место и година издавања:

Београд, 2025.

ISSN 0035-9637 (штампано издање)  
e-ISSN 2956-2457 (online)

### Адреса:

Редакција Рударског гласника  
11080 Београд, Батајнички пут 2



Аутори задржавају ауторска права над објављеним чланцима, а издавачу дају неексклузивно право да рукопис објави, да у случају даљег коришћења чланка буде наведен као његов први издавач, као и да дистрибуира чланак у свим облицима и медијима. Објављени чланци дистрибуирају се у складу са лиценцом Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY)

## BULLETIN OF MINES

### Editor in Chief:

Dr Jasmina Nešković  
e-mail: [jasmina.neskovic@ribeograd.ac.rs](mailto:jasmina.neskovic@ribeograd.ac.rs)

### Publisher:

Mining Institute Ltd. Belgrade  
Belgrade, Batajnički put 2,  
Phone. (381 11) 21 95 112; Fax. (381 11) 26 14 632  
[www.ribeograd.ac.rs](http://www.ribeograd.ac.rs)

### For publishers:

Dr Svetlana Polavder, director of the MI

### Translation:

Lela Lončar

### Prepress:

Leposava Knežević  
Pavle Stjepanović  
Rade Šarac

### Press:

Klik commerce d.o.o. Belgrade

### Circulation:

300 copies

### Place and year of the issue:

Belgrade, 2025.

ISSN 0035-9637 (printed edition)  
e-ISSN 2956-2457 (online)

### Adress:

Editorial Board of the Bulletin of Mines  
11080 Belgrade, Batajnički put 2

Authors retain copyright of the published papers and grant to the publisher the non-exclusive right to publish the article, to be cited as its original publisher in case of reuse, and to distribute it in all forms and media. The published articles will be distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY)

**РЕДАКЦИЈА**

Др Светлана Полавдер  
*Рударски институт д.о.о. Београд*

Др Павле Стјепановић  
*Рударски институт д.о.о. Београд*

Др Сандра Петковић Папалазароу  
*Рударски институт д.о.о. Београд*

Др Јосип Ишек  
*Рударски институт д.о.о. Београд*

Др Ивана Јовановић  
*Институт за рударство и металургију Бор*

Др Владимир Јовановић  
*ИТНМС, Београд*

Јелена Исаиловић  
*Рударски институт д.о.о. Београд*

Виолета Чолаковић  
*Рударски институт д.о.о. Београд*

**EDITORIAL BOARD**

Dr Svetlana Polavder  
*Mining institute Ltd. Belgrade*

Dr Pavle Stjepanović  
*Mining institute Ltd. Belgrade*

Dr Sandra Petković Papalazarou  
*Mining institute Ltd. Belgrade*

Dr Josip Išek  
*Mining institute Ltd. Belgrade*

Dr Ivana Jovanović  
*Mining and Metallurgy Institute Bor*

Dr Vladimir Jovanović  
*ITNMS, Belgrade*

Jelena Isailović  
*Mining institute Ltd. Belgrade*

Violeta Čolaković  
*Mining institute Ltd. Belgrade*

**МЕЂУНАРОДНИ ИЗДАВАЧКИ САВЕТ**

Академик проф. др Слободан Вујић  
*Академија инжењерских наука Србије, Србија*

Академик проф. др Валентин Чантурија  
*Руска академија наука, Русија*

Академик проф. др Неђо Ђурић  
*Академија наука и умјетности Републике Српске, Босна и Херцеговина*

Проф. др Срећко Стопић  
*IME Институт за Процесно инжењерство и рециклирање, RWTH Универзитет у Ахену, Немачка*

Проф. др Венцислав Иванов  
*Рударски факултет, Бујарска*

Проф. др Зоран Пантов  
*Универзитет Гоце Делчев, Факултет природних и техничких наука, Штип, Северна Македонија*

Проф. др Марек Цала  
*AGH универзитет за науку и технологију, Краков, Пољска*

Проф. др Аруна Мангалпади  
*Национални институт за технологију, Рударски одсек, Карнаџака, Индија*

Проф. др Тунцел М. Јегулали  
*Колумбија универзитет, Рударска школа Хенри Крумб, Њујорк, САД*

Проф. др Вереш Јоел  
*Универзитет у Петрошанију, Рударски факултет, Румунија*

Проф. др Карстен Дребенштет  
*TU Рударска академија Фрајберг, Инс. за руд, Немачка*

Проф. др Милован Урошевић  
*Кртин Универзитет, Перт, Аустралија*

Проф. др Абдулах Фишне  
*Технички универзитет Истанбул, Одсек рударског инжењерства, Турска*

Др Марјан Худеј  
*РГП Велење, Словенија*

Др Славомир Хредзак  
*Институт Геотехнике, SAS, Кошице, Словачка*

**INTERNATIONAL PUBLISHING COUNCIL**

Academician prof. dr Slobodan Vujic  
*Academy of Engineering Sciences of Serbia, Serbia*

Academician prof. dr Valentin Čanturija  
*Russian Academy of Sciences, Russia*

Academician prof. dr Neđo Đurić  
*Academy of Sciences and Arts Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina*

Prof. dr Srećko Stopić  
*IME Institute for Process Metallurgy and Recycling, RWTH Aachen University, Aachen, Germany*

Prof. dr Vencislav Ivanov  
*Mining Faculty, Bulgaria*

Prof. dr Zoran Pantov  
*University Goce Delchev, Faculty of Natural and Technical Sciences, Štip, North Macedonia*

Prof. dr Marek Cala  
*AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland*

Prof. dr Aruna Mangalpadi  
*National Institute of Technology, Department of Mining, Karnataka, India*

Prof. dr Tuncel M. Jegulali  
*Columbia University, Henry Crumb School of Mines, New York, USA*

Prof. dr Vereš Joel  
*University of Petroșani, Faculty of Mining, Romania*

Prof. dr Carsten Drebenštet  
*TU Bergakademie Freiberg, Institute of Mining, Germany*

Prof. dr Milovan Urošević  
*Curtin University, Perth, Australia*

Prof. dr Abdulah Fišne  
*Istanbul Technical University, Department of Mining Engineering, Turkey*

Dr Marjan Hudej  
*RGP Velenje, Slovenia*

Dr Slavomír Hredzák  
*Institute of Geotechnics SAS, Kosice, Slovakia*

**РЕЦЕНЗЕНТИ**

Академик проф. др Слободан Вујић  
*Академија инжењерских наука Србије, Србија*

Проф. др Милан Трумић  
*Технички факултет у Бору, Србија*

Проф. др Новак Блечић  
*Рударско геолошки факултет, Београд*

Проф. др Владимир Милисављевић  
*Рударско геолошки факултет, Београд*

Проф. др Душан Берисављевић  
*Рударско геолошки факултет, Београд*

Проф. др Срећко Стопић  
*ИМЕ Институт за Процесно инжењерство и рециклирање, RWTH Универзитет у Ахену, Немачка*

Проф. др Милош Танасијевић  
*Рударско геолошки факултет, Београд*

Проф. др Предраг Лазић  
*Рударско геолошки факултет, Београд*

Проф. др Милена Костовић  
*Рударско геолошки факултет, Београд*

Проф. др Лазар Кричак  
*Рударско геолошки факултет, Београд*

Проф. др Владислав Чебаšek  
*Рударско геолошки факултет, Београд*

Проф. др Томислав Шубарановић  
*Рударско геолошки факултет, Београд*

Проф. др Раде Јеленковић  
*Рударско геолошки факултет, Београд*

Проф. др Миленко Пушић  
*Рударско геолошки факултет, Београд*

Проф. др Зоран Никић  
*Шумарски факултет, Београд*

Проф. др Петар Папић  
*Рударско геолошки факултет, Београд*

Проф. др Владимир Симић  
*Рударско геолошки факултет, Београд*

Проф. др Дејан Стевановић  
*Рударско геолошки факултет, Београд*

Др Милинко Радосављевић  
*Рударски институт д.о.о. Београд, Србија*

Др Светомир Максимовић  
*Академија инжењерских наука Србије*

Др Александар Митрашиновић  
*Институт техничких наука САНУ, Београд, Србија*

Др Мирослав Сокић  
*ИТНМС, Београд*

**REVIEWERS**

Academician prof. dr Slobodan Vujić  
*Academy of Engineering Sciences of Serbia*

Prof. dr Milan Trumić  
*Technical Faculty in Bor, Serbia*

Prof. dr Novak Blečić  
*Faculty of Mining and Geology, Serbia*

Prof. dr Vladimir Milisavljević  
*Faculty of Mining and Geology, Serbia*

Prof. dr Dušan Berisavljević  
*Faculty of Mining and Geology, Serbia*

Prof. dr Srećko Stopić  
*IME Institute for Process Metallurgy and Recycling, RWTH Aachen University, Aachen, Germany*

Prof. dr Miloš Tanasijević  
*Faculty of Mining and Geology Belgrade*

Prof. dr Predrag Lazić  
*Faculty of Mining and Geology, Belgrade*

Prof. dr Milena Kostović  
*Faculty of Mining and Geology, Belgrade*

Prof. dr Lazar Kričak  
*Faculty of Mining and Geology, Belgrade*

Prof. dr Vladislav Čebašek  
*Faculty of Mining and Geology, Belgrade*

Prof. dr Tomislav Šubaranović  
*Faculty of Mining and Geology, Belgrade*

Prof. dr Rade Jelenković  
*Faculty of Mining and Geology, Belgrade*

Prof. dr Milenko Pušić,  
*Faculty of Mining and Geology, Belgrade*

Prof. dr Zoran Nikić,  
*Faculty of Forestry, Belgrade*

Prof. dr Petar Papić  
*Faculty of Mining and Geology, Belgrade*

Prof. dr Vladimir Simić  
*Faculty of Mining and Geology, Belgrade*

Prof. dr Dejan Stevanović,  
*Faculty of Mining and Geology, Belgrade*

Dr Milinko Radosavljević  
*Mining Institute Ltd. Belgrade, Serbia*

Dr Svetomir Maksimović  
*Academy of Engineering Sciences of Serbia*

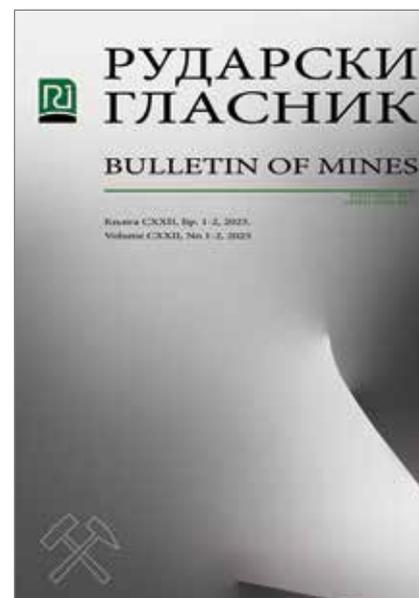
Dr Aleksandar Mitrašinović  
*Institute of Technical Sciences of SASA, Belgrade, Serbia*

Dr Miroslav Sokić  
*ITNMS, Belgrade*



## САДРЖАЈ / TABLE OF CONTENTS

Часопис Рударски гласник излази од 1903. и намењен је свим истраживачима и стручњацима у домену техничко-технолошких наука. Часопис је бесплатан, отвореног приступа, објављује рецензиране научне и стручне чланке који садрже значајне новине, експерименталне и теоријске, научне и инжењерске резултате у рударству, геологији и сродним областима. Осим чланака објављују се и брилози ненауног карактера као што су прегледи нових публикација, прикази научних и стручних скупова у земљи и иностранству, информације о најновијим техничким достигнућима и сл.



The journal *Bulletin of Mines* has been published since 1903 and is intended for all researchers and experts in the area of technical and technological sciences. The journal is free of charge, open access, and publishes peer-reviewed scientific and professional articles containing significant novelties, experimental and theoretical, scientific and engineering results in mining, geology, and related areas. In addition to articles, non-scientific contributions are also published, such as reviews of new publications, reports of scientific and professional conferences in the country and abroad, information on the latest technical achievements, etc.

## РАДОВИ / ARTICLES

ШТА СУ СРБИ ЗНАЛИ О ЗЕМЉИ ОД VII ДО XVII СТОЛЕЋА WHAT THE SERBS KNEW ABOUT THE EARTH FROM THE 7TH TO THE 17TH CENTURY Александар Грубић / Aleksandar Grubić.....	7-50
КАРБОТЕРМАЛНА РЕДУКЦИЈА БОКСИТНОГ (ЦРВЕНИ МУЉ) И ИЛМЕНИТНОГ (ТИОНИТ) ОТПАДА: ОДРЖИВ ПРИСТУП ИЗДВАЈАЊУ РЕСУРСА CARBOTHERMAL REDUCTION OF RESIDUES OF BAUXITE (RED MUD) AND ILMENITE (TIONITE): A SUSTAINABLE APPROACH TO RESOURCE RECOVERY Срећко Стопић, Душко Костић, Митар Перушић, Florian Wegmann, Ненад Николић, Bernd Friedrich / Srećko Stopić, Duško Kostić, Mitar Perušić, Florian Wegmann, Nenad Nikolić, Bernd Friedrich .....	51-62
ИНТЕРПРЕТАЦИЈА РЕЗУЛТАТА БУШЕЊА КРЕЧЊАКА КОРИШЋЕЊЕМ E - S ДИЈАГРАМА INTERPRETATION OF LIMESTONE DRILLING RESULTS USING E - S DIAGRAMS Viřazoslav Krúpa, Mária Bali Hudáková, Edita Lazarová, Pavol Vavrek, Alexander Kiovský, Lucia Ivaničová / Viřazoslav Krúpa, Mária Bali Hudáková, Edita Lazarová, Pavol Vavrek, Alexander Kiovský, Lucia Ivaničová .....	63-76

СТРАТЕШКО УПРАВЉАЊЕ РУДАРЕЊЕМ У СВЕТЛУ НЕДОСТАТКА РЕСУРСА И ИЗАЗОВА ОДРЖИВОСТИ И ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ STRATEGIC MINING MANAGEMENT IN LIGHT OF RESOURCE SCARCITY AND SUSTAINABILITY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION CHALLENGES Иван Стевовић, Diana Mihaela Țîrcă / Ivan Stevović, Diana Mihaela Țîrcă .....	77-95
УЛОГА РУДАРСКОГ СЕКТОРА НА ПРИВРЕДНИ РАЗВОЈ THE ROLE OF THE MINING SECTOR IN ECONOMIC DEVELOPMENT Драган Милошевић, Драго Аћимовић, Раде Шарац / Dragan Milošević, Drago Aćimović, Rade Šarac.....	97-105
ХЕМИЈСКИ ОТИСАК ТЕШКИХ МЕТАЛА (УКУПНИ САДРЖАЈ) ЛИГНИТА СРБИЈЕ У ВРЕМЕНУ – СКРАЂЕНИ ВОДИЧ КРОЗ ПРОШЛА ВРЕМЕНА HEAVY METALS TIME FOOTPRINT (TOTAL AMOUNTS) OF SERBIAN LIGNITE – A BRIEF GUIDE THROUGH PREVIOUS TIMES Богољуб Вучковић / Bogoljub Vučković .....	107-122
ОПТИМИЗАЦИЈА КОНТУРА ПОВРШИНСКИХ КОПОВА LERCHS-GROSSMANN 2D МОДЕЛОМ, ПРИМЕНОМ ПРОГРАМА ЗА ТАБЕЛАРНЕ ПРОРАЧУНЕ OPTIMIZATION OF SURFACE MINE CONTOURS WITH THE LERCHS-GROSSMANN 2D MODEL, USING SPREADSHEET PROGRAMMES Саша Цвијић / Saša Cvijić .....	123-141
ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ ПАРЦИЈАЛНЕ КОСИНЕ ОДЛАГАЛИШТА ПОВРШИНСКОГ КОПА ПОЉЕ Е У ЗОНИ РАДА ОДЛАГАЧА О-6 DIMENSIONING OF THE PARTIAL SLOPE OF THE LOCAL OPEN-PIT MINE LANDFILL IN THE O-6 SPOIL-DISPOSAL MACHINE OPERATION ZONE Бранко Петровић / Branko Petrović.....	143-151
МЕЂУСЕКТОРСКА АНАЛИЗА ПРОЦЕСА ЗАГАЂЕЊА РАДОМ ТЕРМОЕЛЕКТРАНА НИКОЛА ТЕСЛА И ПОВРШИНСКИХ КОПОВА ЛИГНИТА РБ КОЛУБАРА РЕПУБЛИКА СРБИЈА INTERSECTORAL ANALYSIS OF POLLUTION PROCESSES CAUSED BY THE OPERATION OF THE THERMAL POWER PLANT NIKOLA TESLA AND OPEN PIT LIGNITE MINES, MB KOLUBARA, REPUBLIC OF SERBIA Светомир Максимовић, Жељко Праштало, Раде Шарац / Svetomir Maksimović, Željko Praštalo, Rade Šarac....	153-163
РУДАРСКА ЧЕТА НА ЧЕЛУ ОТПОРА ФАШИЗМУ У ДРУГОМ СВЕТСКОМ РАТУ THE MINING COMPANY AT THE FOREFRONT OF THE RESISTANCE TO FASCISM IN THE SECOND WORLD WAR Бранко Миладиновић / Branko Miladinović.....	165-182
ОСТАЛО / OTHER	
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ / PhD THESIS .....	183
ЗНАЧАЈНИ ДОГАЂАЈИ / SIGNIFICANT EVENTS.....	187
КЊИГЕ / BOOKS .....	189
НАУЧНИ И СТРУЧНИ СКУПОВИ / SCIENTIFIC AND PROFESSIONAL MEETINGS.....	193
ЈЕДИНСТВЕНА ИДЕНТИФИКАЦИЈА АУТОРА / OPEN RESEARCH AND CONTRIBUTOR ID (ORCID).....	195
УПУТСТВО АУТОРИМА / INSTRUCTION FOR AUTHORS .....	197

## ШТА СУ СРБИ ЗНАЛИ О ЗЕМЉИ ОД VII ДО XVII СТОЛЕЋА

### WHAT THE SERBS KNEW ABOUT THE EARTH FROM THE 7TH TO THE 17TH CENTURY

DOI: 10.5937/RG2502007G

Оригинални научни рад  
Original Scientific Paper

Александар Грубић  
Академија инжењерских наука Србије  
aleksandar\_grubic@yahoo.com

Aleksandar Grubić  
Academy of Engineering Sciences of Serbia  
aleksandar\_grubic@yahoo.com

Примљен 1. 9. 2025; Рецензиран 15. 10. 2025; Прихваћен 17. 10. 2025.

Received 1 September 2025; Received in revised version 15 October 2025; Accepted 17 October 2025

**Сажетак:** Ако корисимо историјску поделу Геологије на периоде: пранаучна, ембрионална, као гео Природописа, осамостаљена, еволуциона, неокатастрофистичка и мобилистичка[1]; онда су Срби од седмог до седмнаестог века имали знања о Земљи на нивоу прва два периода.

Током VII и VIII столећа били су њани ња су имали емпијска знања пореклом из разних делатности (пољопривреде, рударства, грађевинарства, керамике, ојкарства, из каменолома итд). Теоријски су само знали како је бој Сварој створио Земљу и све на њој.

У IX веку примили су хришћанство ња су се одмах о пореклу Земље обавестили из Светог писма. Пошло су се уредо и оисменили очели су да преводе књије на свој језик. Сазнали су детаље о „стварању Земље“ и њеним особинама из њих књија. У њом пољеду најважнији сјиси били су „Хексамерони“ (= Шестодневи) а нарочито онај који је написао Василије Велики (преведен на српски половином XIV века). То је била једина књија посвећена у целини само Земљи. Таква обавештеност, уз наредовање емпијског знања, остала је све до XII века.

Између XII и XV века десила су се три процеса: (1) очело је расјарчавање српске државе; (2) јако су наредовала емпијска знања о Земљи интензивирањем рударства под Немањинима и у Десиновини; и (3) остварио се историјски прелаз у следећи период. У њоме велику улогу имало је обнављање манастира Хиландара.

Раскомадана територија српске државе (Ујари и Млечани од XII века), Турци (од XIV века) и Аустријанци (од XVI века) разорили су хомојеност српског народа. То је битно утицало на диференцијацију целокупне националне културе ња и услове за очетиак ембрионалне геологије. Заједничко је било само знање из „Шестоднева“ Василија Великог. За Србе под Турцима њо је њако остало до ослобођења у XIX веку. Само у Хиландару обављани су прејиси књија променљивим индустријом.

На територијама Ујарске, Млечана и Аустријанаца, међу њим, биле су достајне информације са Запада (о Којернику, Колумбовим открићима, Мателановој експедицији, Великим географским открићима, о минералима, сјенама, о „теоријама Земље“, наредовању пољопривреде и др.) Све њо је утицало на дојуњавање и исправку примитивних знања из „Шестоднева“ Василија Великог (написано у IV веку) и проширивање хоризонта њих Срба све до краја периода. Они нису имали своје сјручњаке за проучавање Земље и њених сјена. Школе су радиле али Срби су у њим земљама мојли бити само војници, свештеници и адвокати. За њо им је била корисна „помоћ“ двојце одличних италијанских геолога: Марсиљја (1699-1726) на Дунаву и Форјиса (1774) у Далмацији.

Прелаз у следећи период одиграо се између 1794. и 1811. године. Односно од увођења Геогнозије у Гимназију у Сремским Карловцима и појаве познатије (али скраћеније због црквенословенског језика) „Естествознанија“ П. Кенџелца. То време је било обележено појавом српских књига са геолошким садржајем (у оквиру других природних наука) и знањем обојавивањем емпиријских знања.

**Кључне речи:** СРБИ, ЗЕМЉА, ХЕКСАЕМЕРОНИ, ВАСИЛИЈЕ ВЕЛИКИ

**Abstract:** *If we use the historical division of Geology into periods: pre-scientific, embryonic, as part of Natural History, independent, evolutionary, neo-catastrophic and mobility periods [1]; at that time, from the 7th to the 17th century, the Serbs had knowledge about the Earth at the level of the first two periods.*

*During the 7th and 8th century they were pagans, so they had empirical knowledge originating from various activities (agriculture, mining, construction, ceramics, brickmaking, quarrying, etc.). Theoretically, they only knew how god Svarog created the Earth and everything on it.*

*In the 9th century, they adopted Christianity and immediately learned about the origin of the Earth from the Holy Scriptures. Since they also became literate at the same time, they began to translate books into their own language. They learned details about the “creation of the Earth” and its properties from these books. In this regard, the most important writings were the “Hexaemeron” (= Six Days), especially the one written by Basil the Great (translated into Serbian in the mid-14th century). It was the only book dedicated entirely to the Earth. Such knowledge, along with the advancement of empirical knowledge, remained until the 12th century.*

*Between the 12th and 15th centuries, three processes took place: (1) the disintegration of the Serbian state began; (2) empirical knowledge about the Earth greatly advanced with the intensification of mining under the rule of the Nemanjić dynasty and in the Despotate; and (3) a gradual transition to the next period was achieved. The restoration of the Hilandar Monastery played a major role in this.*

*The fragmented territory of the Serbian state (Hungarians and Venetians from the 12th century), the Turks (from the 14th century) and the Austrians (from the 16th century) destroyed the homogeneity of the Serbian people. This significantly influenced the differentiation of the entire national culture and even the conditions for the beginning of embryonic geology. The only thing that was common was the knowledge from the «Six Days» of Basil the Great. For the Serbs under the Turks, it remained so until liberation in the 19th century. Only in the Hilandar Monastery book copies were made with varying intensity.*

*In the territories of the Hungarians, Venetians and Austrians, however, information from the West was available (about Copernicus, Columbus' discoveries, Magellan's expedition, the Great Geographical Discoveries, about minerals, rocks, about «theories of the Earth», the progress of agriculture, etc.). All this influenced the completion and correction of primitive knowledge from the «Six Days» of Basil the Great (written in the 4th century) and the expansion of the horizons of those Serbs until the end of the period. They did not have their own experts for studying the Earth and its rocks. Schools were open, but Serbs in those countries could only be soldiers, priests and lawyers. That is why the «help» of two excellent Italian geologists was useful: Marsiglia (1699-1726) on the Danube and Fortis (1774) in Dalmatia.*

*The transition to the next period took place between 1794 and 1811. That is, from the introduction of Geognosy to the Gymnasium in Sremski Karlovci and the appearance of the famous (but abridged due to the Church Slavonic language) «Estestvoznanije» by P. Kengelech. That time was marked by the appearance of Serbian books with geological content (within the framework of other natural sciences) and a significant enrichment of empirical knowledge.*

**Key words:** SERBS, COUNTRY, HEXAEMERONS, BASIL THE GREAT

## УВОД

Овај текст односи се на веома дуго време од десет веква. То су периоди касног Средњег века, Ренесансе и раног Новог века, за то време у Европи су се десили многи догађаји, који ни Србе нису оставили на миру.

Прасловени су вековима живели у раштрканим племенским заједницама на прекокарпатском простору Источне, Средње и делом

## INTRODUCTION

This text refers to a very long period of ten centuries. These are the periods of the late Middle Ages, the Renaissance and the early Modern Age, during which time many events took place in Europe, which did not leave the Serbs in peace.

For centuries, the Proto-Slavs lived in scattered tribal communities in the Transcarpathian region of Eastern, Central and partly Western

Западне Европе. О начину њиховог живота више се слуги него што се зна, пошто о томе нема записаних података. Верује се да су сви имали сличан многобожачки култ, обреде, обичаје и да су „писали цртама и резам“. Византијци су записали да је то „веома бројан народ“. Први писани подаци о њима потичу тек из шестог века [2].

После распада Римског царства на два дела, 476. године, остао је као самостална држава само његов источни део. Тај део, под царем Јустинијаном I, у VI веку ће узети назив „Византија“. Већ крајем тог века, Словени на истоку, осетили су да се Лимес не брани тако ефикасно као раније па су постепено почели да насељавају и освајају леву обалу Дунава. Прво су продирали са те позиције у пљачкашке походе све до половине Грчке. После, здружени с Аварима 567. године, запосели су Панонију. Затим, су наставили пљачкашке подухвате све до Цариграда. После тих упада у дубљи део државе, Авари су се враћали у Панонију, а Словени су остајали. Тако се сматра да је до 516. године Балканско полуострво било насељено словенским племенима. Негде од половине VII века њихове раздвојене заједнице, третиране су као „Склавиније“ и добијале посебна имена. Углавном према географским положајима на којима су се налазили. (н.пр. Тимочани, Неретвљани итд.).

Средином седмог века, у старој постојбини међу Словенима долази спонтано до издвајања посебних народа. Управо тада преко Карпата прелазе Срби и Хрвати као посебно оформљени народи са тачно утврђеним називима. Србе је предводила једна или неколико већих боље организованих родовских заједница, око којих су била окупљена и мања племена. Према цару Константину Порфирогенету (X век), на основу писаних докумената и података из усмене традиције, Срби су се населили код Солуна. Брзо су се предомислили, међутим, и по дозволи цара Ираклија (VII век), преселили се на простор између река Лима и Пиве. Даља историја Срба на Балканском полуострву, према историчарима, била је динамична и праћена многим сукобима, компликованим односима са византијцима и комшијама и последицама тих процеса [2].

Europe. More is suspected than known about their way of life, since there is no written information about it. It is believed that they all had a similar polytheistic cult, rituals, customs and that they “wrote with lines and cuts”. The Byzantines wrote that they were a “very numerous people”. The first written data about them go back only to the sixth century [2].

After the Roman Empire split into two parts in 476, only its eastern part remained as an independent state. This part, under Emperor Justinian I, took the name of “Byzantium” in the 6th century. By the end of that century, the Slavs in the east felt that the Limes was not being defended as effectively as before, so they gradually began to settle and conquer the left bank of the Danube. First, they penetrated from that position in plundering campaigns all the way to half of Greece. Then, united with the Avars in 567, they occupied Pannonia. Then, they continued their plundering ventures all the way to Constantinople. After these incursions into the deeper part of the state, the Avars returned to Pannonia, while the Slavs remained. Thus, it is believed that until 516, the Balkan Peninsula was inhabited by Slavic tribes. Somewhere from the middle of the 7th century, their separate communities were treated as “Sclaveni” and were given special names. Mainly according to the geographical locations in which they were located. (e.g. Timočani, Neretvljani, etc.).

In the middle of the seventh century, in the old homeland among the Slavs, the separation of separate peoples occurred spontaneously. It was then that the Serbs and Croats crossed the Carpathians as separately formed peoples with precisely defined names. The Serbs were led by one or several larger, better organized clan communities, around which smaller tribes were also gathered. According to Emperor Constantine Porphyrogenitus (10th century), based on written documents and information from oral tradition, the Serbs settled near Thessaloniki. They soon changed their minds, however, and with the permission of Emperor Heraclius (7th century), moved to the area between the Lima and Piva rivers. The further history of the Serbs on the Balkan Peninsula, according to historians, was dynamic and accompanied by many conflicts, complicated relations with the Byzantines and neighbours, and the consequences of these processes [2].

У узаврелој Европи Срби су били, прво, освајачи па Кнежевина у Византији. Затим су основали Краљевину под Немањићима и Душаново царство. После његове пропасти и турског запоседања изборили су се за вазалну Деспотовину (до 1453) а потом су доспели под трајну директну турску окупацију.

Уз многе борбе подељени су Срби између јачих држава. Прво су били раздвојени (од XII века) јер су на северу били покорени Угарима а на југозападу су их присвојили Млечани. Коначно, вођени Српском православном црквом и организовани у Војним крајинама, живели су под Аустријском управом (од XVI века) на северозападу. Тако потлачени преживљавали су све до Велике сеобе Срба (1690) и Карловачког мира (1699), односно Темишварског сабора у Ср. Карловцима (1791). Разбијени, под управама Турске, Угарске, Венеције и Аустрије живели су у потпуно различитим условима и могућностима за успешан напредак. Тако су ушли у осамнаести век, у коме су се битно разликовали њихова култура и знање о Земљи, према срединама у којима су обитавали [2].

Добрим делом још од раније, али и током тог средњовековног кошмара, Срби су стекли две врсте знања о Земљи и њеним стенама: практична и теоријска. Практична су потицала из искуства, која су долазила из рударства, металургије, грађевинарства, каменорезачког, кречарског, грнчарског, опекарског, јувелирског и других заната. Нарочито развијено је било познавање минерала и руда за време Немањића и Деспотовине (XII до XV века). Трагање за њима у разним стенама и теренима и праћење промена слојева при експлоатацији руда одвијали су се у “рупама”, како су тада третирали рудници. Према „Закону о рудницима“ Деспота Стефана Лазаревића (из 1412) [3] геолошки посао у рударству се називао „узбој“. Већина тих послова и њихова пракса, по правилу, били су еснафски и гајили су се у породицама.

Теоријски и духовни процес сазнавања развијали су се независно од практичних али ипак ови други су имали одређен значај. У

In a turbulent Europe, the Serbs were, first, conquerors and then the Principalities in Byzantium. Then they founded the Kingdom under the rule of the Nemanjić dynasty as well as the Empire of Dušan. After the collapse of thereof and the Turkish occupation, they fought for a vassal Despotate (until 1453) and then came under permanent direct Turkish occupation.

With many struggles, the Serbs were divided between stronger states. First, they were separated (from the 12th century) because they were conquered by the Hungarians in the north and appropriated by the Venetians in the southwest. Finally, led by the Serbian Orthodox Church and organized in the Military Borderlands, they lived under Austrian rule (from the 16th century) in the northwest. Thus oppressed, they survived until the Great Migration of Serbs (1690) and the Peace of Karlovci (1699), and the Council of Timisoara in Sr. Karlovci (1791), respectively. Broken, under the rule of Turkey, Hungary, Venice and Austria, they lived in completely different conditions and opportunities for successful progress. Thus they entered the eighteenth century, in which their culture and knowledge of the Earth differed significantly, according to the environments in which they lived [2].

For the most part, even before, but also during that medieval nightmare, Serbs acquired two types of knowledge about the Earth and its rocks: practical and theoretical. The practical knowledge came from experience, which came from mining, metallurgy, construction, stone-cutting, lime-making, pottery, brick-making, jewelry and other crafts. Knowledge of minerals and ores was particularly developed during the Nemanjić dynasty and the Despotate (12th to 15th century). Searching for them in various rocks and terrains and monitoring changes in layers during the exploitation of ores took place in “holes”, as mines were treated at that time. According to the “Law on Mines” of Despot Stefan Lazarević (from 1412) [3], geological work in mining was called “uzboj”. Most of these jobs and their practices were, as a rule, guild-based and cultivated within families.

Theoretical and spiritual processes of knowledge developed independently of the practical ones, but the latter still had a certain importance. At first, they were inherited mythical

почетку то су биле наслеђене митске приче а после су задобиле и хришћенску образовну и културну подршку. Реч је о три веома значајна процеса, који су оставили дубоке трагове у каснијој историји Срба. Процеси, о којима је овде реч, били су: християнизација, описмењавање и улазак у круг византијског културног утицаја. Ова три процеса текла су упоредо, неравномерно и доста споро.

Први је био процес покрштавања. Из своје старе постојбине у нову домовину Срби су дошли верујући у старе словенске богове и настављајући пратеће обичаје и одговарајуће обреде. Били су уверени да је цео свет, небо, Земљу и бића сворио један свемогући и велики бог Сварог. Неки су га звали и Перун и Световид (отуда су та три назива Словени повезивали у јединствен појам „Триглав“). Сварог је главни предак свих осталих богова, који су му били подређени. Ти богови, другог реда, били су у митовима или „задужени“ за поједине одређене ствари или су били заштитници. Иначе, Срби су тврдо веровали како целу Земљу одржава у њеном стабилном положају један огроман храст. Због тога се храст сматрао за свето дрво [4].

Поменуто паганско и вишебожачко уверење није могло дуго да се одржи у хришћанском окружењу. То је први приметио кнез Властимир око 850. године па се покрстио са породицом и пратиоцима у Цариграду. Био је уверен како је тим поступком християнизовао и цео Српски народ у држави. Нажалост, то је била велика заблуда. Зато је његов син кнез Мутимир 879. замолио цара Василија првог Македонца да му помогне у покрштавању народа. Када је цар прикупио довољно свештеника они су дошли међу Србе и темељно их све покрстили. То је било већ озбиљно и право покрштавање.

Срби су прелазак и хришћанство само делимично разумели. Долазили су редовно у богомоље, крстили се и слушали литургије али ништа нису разумели од службе, јер су грчки попови то изводили на свом језику. Због тога, Срби, код куће, наставили су са својим старим паганским обичајима. Овај дуализам је трајао око два века. Међутим,

and later they also gained Christian educational and cultural support. These are three very significant processes that left deep traces in the later history of the Serbs. The processes in question here were: Christianization, literacy, and entry into the circle of Byzantine cultural influence. These three processes proceeded in parallel, unevenly, and quite slowly.

The first was the process of Christianization. From their old homeland to their new homeland, the Serbs came believing in the old Slavic gods and continuing the accompanying customs and appropriate rituals. They were convinced that the entire world, sky, Earth and human beings were created by one almighty and great god Svarog. Some called him Perun and Svetovid (hence the Slavs connected these three names into a single concept “Triglav”). Svarog is the main ancestor of all other gods, who were subordinate to him. These gods, of the second order, were in myths either “in charge” of certain specific things or were protectors. Otherwise, the Serbs strongly believed that the entire Earth was maintained in its stable position by one huge oak. Therefore, the oak was considered a sacred tree [4].

The aforementioned pagan and polytheistic beliefs could not be maintained for long in a Christian environment. Prince Vlastimir was the first to notice this around 850, so he was baptized with his family and companions in Constantinople. He was convinced that by doing so, he had also Christianized the entire Serbian people in the state. Unfortunately, this was a great mistake. Therefore, in 879, his son Prince Mutimir asked Emperor Basil I of Macedonia to help him in the Christianization of the people. When the emperor gathered enough priests, they came among the Serbs and thoroughly baptized them all. This was already a serious and true Christianization.

The Serbs only partially understood the conversion and Christianity. They came regularly to places of worship, were baptized and listened to the liturgies, but they did not understand anything of the service, because the Greek priests performed it in their own language. Therefore, the Serbs, at home, continued with their old pagan customs. This dualism lasted for about two

Свети Сава, када је радио на организовању Српске православне цркве, још увек је имао са тиме велике муке. Ипак није до краја све успео, остало је трагова паганских елемената у вери и даље. Озбиљан подухват у решавању овог проблема наступио је тек када су грчки попови одстрањени из СПЦ [2].

Примањем хришћанства покренуто је и описмењавања Словена, у другој половини IX века (863). То су извела браћа Ђирило и Методије из Солуна. На молбу Великог кнеза Моравске и одобрења византијског двора, браћа су израдила у Моравској ново словенско писмо, које је названо "глагољица". Уз то, почели су да преводе неопходне и важне црквене књиге. То је лепо примљено међу јужним Словенима. Овај битан почетак (нове?) писмености поставио је темеље за успостављање њихове књижевности и културе. Нажалост, Методије после двадесетак година је преминуо. Све што су урадила браћа је забрањено а њихови ученици су протерани из државе. Победили су католици.

Методијеви и Ђирилови ученици са задовољством су примљени у Бугарској (886. године). Климент и Наум су се сместили у Охриду и тамо почели одмах да раде на новом писму, јер се показало да је глагољица непрактична. Ослањајући се (или на старо словенско) или на грчко писмо, они су осмислили „ђирилицу“, која је била веома функционална. Због тога је потиснула глаголицу постепено међу Словенима. Књиге писане глаголицом за Србе нису сачуване па се о њима и не зна ништа. (Није искључено да су спаљене у зиму када су се грејали монаси, због страшне зиме у Хиландару, паљећи сувишне књиге.) – Тако је описмењавање трајало до XII века.

Ђирилица, литургија, богослужбне књиге и други елементи хришћанства на црквенословенском језику одомаћили су се код свих јужних и источних Словена. Тако је било и код Срба, који су прихватили и све главне гране византијске цивилизације. Посебно у време успона Немањића (XII – XV век). Између осталог, порасла је потреба подизања храмова као објеката за црквене обреде. Прво су то биле скромне брвнаре а после

centuries. However, Saint Sava, when he worked on organizing the Serbian Orthodox Church, still had great difficulty with it. However, he did not succeed in everything until the end, traces of pagan elements in the faith still remained. A serious attempt to solve this problem occurred only when the Greek priests were removed from the Serbian Orthodox Church [2].

The adoption of Christianity also initiated the literacy of the Slavs, in the second half of the 9th century (863). This was carried out by the brothers Cyril and Methodius from Thessaloniki. At the request of the Grand Duke of Moravia and with the approval of the Byzantine court, the brothers created a new Slavic script in Moravia, which was called "Glagolitic". In addition, they began to translate necessary and important church books. This was well received among the southern Slavs. This important beginning of (new?) literacy laid the foundations for the establishment of their literature and culture. Unfortunately, Methodius died about twenty years later. Everything the brothers did was banned and their students were expelled from the state. The Catholics won.

Methodius and Cyril's students were gladly received in Bulgaria (886). Clement and Naum settled in Ohrid and immediately began working on a new script there, because the Glagolitic script proved impractical. Relying (either on the Old Slavonic script) or on the Greek script, they devised the "Cyrillic script", which was very functional. Therefore, it gradually replaced the Glagolitic script among the Slavs. Books written in Glagolitic for the Serbs have not been preserved, so nothing is known about them. (It is not excluded that they were burned in the winter... when the monks were warming themselves, due to the terrible winter in the Hilandar Monastery, by burning unnecessary books.) - Thus, literacy lasted until the 12th century.

The Cyrillic alphabet, liturgy, liturgical books and other elements of Christianity in the Church Slavonic language became familiar to all South and East Slavs. The same was true of the Serbs, who also accepted all the main branches of Byzantine civilization. Especially during the rise of the Nemanjić dynasty (12th – 15th centuries). Among other things, the need

зидане цркве и манастири. На овај процес долазили су утицаји из византијске праксе али и из богомоља далматинских градова, што се јасно види на архитектури објекта, које су градили далматински мајстори. Овај процес окруњен је обновом Хиландара 1198. године од стране Св. Саве и Св. Симеуна. Од тада па све до пропасти Византије Хиландар је био главна државна и културна веза између Срба и Цариграда [2].

Кирилица је имала веома важну улогу у раној српској књижевности. Срби су били под снажним утицајем бриљантног образовања, књижевности и културе који су се ширили из Цариграда по целом православном Истоку од X века до 1453. – После превођења обавезних црквених књига доста брзо се појавила потреба и за другом литературом. Нарочито током осамостаљивања СПЦ, почетком XIII столећа. Успостављањем старих и нових манастирских и приватних библиотека преписивање и превођење целих књига су се умножили. Књиге су рађене само по наруџбини и биле су веома скупе. Популарни су били, међутим, изводи из разних списа, скраћене верзије, зборници целих мањих књига, фрагменти и њихове компилације. То је било усклађено, пре свега, ангажовањем братства у Хиландару али и са формирањем све већег броја нових центара за те послове (Ново Брдо, Смедерево и др.). Главни кадар за овај посао били су дијаци и монаси преводиоци и преписивачи. „Према сачуваним књигама у прво време владао је интерес за „мешовитим зборницима антологијског карактера“ [5]. После су дошле на ред и друге књиге. Међу њима изузетан значај и интерес владао је за „Хексамеронима“ (или „Шестодневима“) [21].

Хексамерони су били записана предавања (т.зв. омоније) или посебно писани текстови. У њима је изведена више или мање успешна интеграција библијске, Мојсијеве „Књиге постања“, као теолошке основе, и разних античких филозофских, научних и космолошких тумачења о свету. Почев од Фила Александријског (I век) кроз столећа најмудрије црквене личности састављале су хексамеронска дела. Различитог квалитета и разних профила. Познато је око 125 обрада

to build temples as buildings for church ceremonies increased. At first, these were modest log cabins, and later brick churches and monasteries. This process was influenced by Byzantine practice, but also by places of worship in Dalmatian cities, which is clearly visible in the architecture of the buildings built by Dalmatian masters. This process was crowned by the restoration of Hilandar in 1198 by St. Sava and St. Simeon. From then until the fall of Byzantium, Hilandar was the main state and cultural link between the Serbs and Constantinople [2].

The Cyrillic alphabet played a very important role in early Serbian literature. The Serbs were strongly influenced by the brilliant education, literature and culture that spread from Constantinople throughout the Orthodox East from the 10th century to 1453. – After the translation of obligatory church books, the need for other literature quickly arose. Especially during the independence of the Serbian Orthodox Church, at the beginning of the 13th century. With the establishment of old and new monastery and private libraries, the copying and translation of entire books multiplied. Books were made only to order and were very expensive. However, excerpts from various writings, abridged versions, collections of entire smaller books, fragments and their compilations were popular. This was coordinated, first of all, with the engagement of the brotherhood in Hilandar, but also with the formation of an increasing number of new centres for these tasks (Novo Brdo, Smederevo, etc.). The main personnel for this work were the students and monks, translators and copyists. “According to the preserved books, at first there was interest in “mixed collections of an anthological nature” [5]. Later, other books came into play. Among them, the “Hexaemerons” (or “Six Days”) was of exceptional importance and interest” [21].

Hexaemerons were recorded lectures (so-called omonies) or specially written texts. They were a more or less successful integration of the Bible, Moses’ “Book of Genesis”, as the theological basis, and various ancient philosophical, scientific and cosmological interpretations of the world. Starting with Philo of Alexandria (1st century) throughout the centuries, the wisest church figures composed hexaameron works. Of varying quality and various profiles. About 125 versions

хексамерона са више од 40 разних наслова [5]. У њиховим садржајима скоро редовно подаци или мишљења о Земљи заузимају више или мање простора. Изузеци су ретки. Пошто су научна открића и нове информације о Земљи у то време споро напредовали, обичне људе то није много ни интересовало а све је и иначе било под контролом цркве. Сви су били верници па су се задовољавали оним што је записано у Библији.

Поред хексамерона, међутим, писано је о постанку Земље још и у т. зв. историјским „Палејама“ и на почетку многих средњовековних хроника. „Палеје“ су на српску редакцију превеђене као „названије“ а сада би се могле превести као „напомене“. То су биле „анонимне компилације различитих тумачења старозаветних текстова, често и из апокрифних извора“ [6].

Све ово, о хексамеронима, припада у класификацији науке у стадијум „пранауке целе јестаственице“ па и геологије [1].

Занимљиво је, такође, да се размотри и какав је био однос знања о Земљи између подељених Срба на Истоку и Западу. Генерално, било је слично знање већине обичног становништва на обе стране али постојала је и одређена разлика.

На Истоку, све до пада Цариграда (1453) био је у току интензиван интелектуални живот. „Још од Михајла Псела, који је на прагу другог миленијума после Христа, основао Универзитет, чији углед је одржаван све до XIV века, развијала се просвета, чији су корени, преко светих отаца трећег и четвртог века, сезали све до пресократоваца и давали одличне плодове“ [7].

После пада Цариграда, Турска наставља с новим освајањима. То је била основна филозофија њене економије. Освајања и пљачке за нова освајања. Стање је било променљиво. (Зависило је од великих везира. Када су то били људи пореклом Срби живело се лагодније и обрнуто.) Такви услови у држави унели су Србима велики кошмар у општи развој па и све елементе културе и знања. За науку није било никаквих услова. Већином,

of the hexaameron are known with more than 40 different titles [5]. In their contents, data or opinions about the Earth almost regularly occupy more or less space. Exceptions are rare. Since scientific discoveries and new information about the Earth were progressing slowly at that time, ordinary people were not much interested in it, and everything was otherwise under the control of the church. They were all believers, so they were content with what was written in the Bible.

In addition to the hexaameron, however, the creation of the Earth was also written about in the so-called historical “Paleia” and at the beginning of many medieval chronicles. The “Paleia” were translated into Serbian as “named” and could now be translated as “notes”. These were “anonymous compilations of various interpretations of Old Testament texts, often from apocryphal sources” [6].

All this, about hexaemerons, belongs in the classification of science to the stage of “pre-science of the whole of nature” and even geology [1].

It is also interesting to consider what the relationship of knowledge about the Earth was between the divided Serbs in the East and the West. In general, the knowledge of the majority of the ordinary population on both sides was similar, but there was also a certain difference.

In the East, until the fall of Constantinople (1453), an intensive intellectual life was underway. “Ever since Michael Pselus, who founded the University on the threshold of the second millennium after Christ, whose reputation was maintained until the 14th century, education has been developing, the roots of which, through the holy fathers of the third and fourth centuries, reached all the way to the Pre-Socratics and bore excellent fruits” [7].

After the fall of Constantinople, Turkey continued with new conquests. This was the basic philosophy of its economy. Conquests and plunder for new conquests. The situation was changeable. (It depended on the grand viziers. When they were people of Serbian origin, life was more comfortable and vice versa.) Such conditions in the country brought a great nightmare to the Serbs in terms of general development,

важна је била само борба за голу егзистенцију. Срби изоловани под Турцима, од XV века па надаље, тешко да су сазнали нешто о Колумбовим открићима (1498 до 1504); затим, о несрећно-срећном завршетку Магелановог морског пута око света (1527) и Коперниковом хелиоцентричном систему (1543). Исто тако, загонетна су њихова сазнања о Великим географским открићима (1450 до 1750), итд. Треба дозволити, међутим, како су о свему поменутом појединци ипак нешто могли чути и сазнати, бар делимично, од својих сународника Срба, који су живели под управама Венеције, Аустрије и Угарске, с којима су се сретали под разним околностима. Оно што је сигурно, међутим, то је да су разумевали, током времена све боље и боље, оно што је написано у „Шестодневу“ Василија Великог. Без икаквих нарочитих измена и допуна. Тако је то остало све до XVIII века. У крајњој линији, то значи да су Срби све до тог времена знали оно што је било карактеристично за етапу Пранауке о Земљи.

На Западу Срби, такође, нису имали погодности за некакав озбиљнији образовни и културни напредак. Ипак, живели су у другачијем амбијенту. Образовање и знање били су резервисани за властелу, препознани су и цењени. Међутим и тамо су били под снажним утицајем цркве. Штавише, сви људи потпуно су били и у рукама католичке цркве. Нарочито оштро знање је било контролисано и цензурирано од стране Инквизиције (XIII до XIX век). За „погрешно“ објављено дело или изражено мишљење губила се глава. Преводи Хексамерона са грчког или писани на латинском и на Западу били су веома популарни и „сигурна литература“. Генерално, стање је било следеће.

Економија феудалне варијанте капитализма за свој опстанак и развој тражила је науку. Утицај античких знања о Земљи је изгубљен распадом Римског царства. Тек доласком Арапа у Европу и њиховим преводима са грчког на арапски и латински поново је откриван аристотелизам али је добио прави замах у XII веку. Због тога су знања о Земљи каснила. Прво у Италији а затим у Француској и Немачкој коначно

including all elements of culture and knowledge. There were no conditions for science. For the most part, only the struggle for bare existence mattered. The Serbs, isolated under the Turks, from the 15th century onwards, hardly learned anything about Columbus' discoveries (1498 to 1504); nor about the unfortunate-happy ending of Magellan's sea route around the world (1527) and Copernicus' heliocentric system (1543). Likewise, their knowledge of the Great Geographical Discoveries (1450 to 1750), etc., is enigmatic. It should be allowed, however, that individuals could still hear and learn something about all of the above, at least partially, from their fellow Serbs, who lived under the rule of Venice, Austria and Hungary, whom they met under various circumstances. What is certain, however, is that they understood, over time, better and better, what was written in the "Six Days" of Basil the Great. Without any special changes or additions. It remained that way until the 18th century. Ultimately, this means that the Serbs knew until that time what was characteristic of the stage of Pre-Earth Science.

In the West, the Serbs also did not have the facilities for any serious educational and cultural progress. However, they lived in a different environment. Education and knowledge were reserved for the nobility, they were recognized and appreciated. However, there they were also under the strong influence of the church. Moreover, all people were completely in the hands of the Catholic Church. Especially sharp knowledge was controlled and censored by the Inquisition (13th to 19th centuries). For a "wrong" published work or expressed opinion, one could lose one's head. Translations of the Hexaameron from Greek or written in Latin and in the West were very popular and were considered as "safe literature". In general, the situation was as follows.

The economy of the feudal variant of capitalism required science for its survival and development. The influence of ancient knowledge about the Earth was lost with the collapse of the Roman Empire. It was only with the arrival of the Arabs in Europe and their translations from Greek into Arabic and Latin that Aristotelianism was rediscovered, but it gained real momentum in the 12th century. Therefore, knowledge about the Earth

су изашла из дуготрајног степена Пранауке. Прешла су у етапу „Ембриналне науке“ са почецима Хуманизма и Ренесансе, негде око почетка XV века. Знања о Земљи још су била на нову индивидуалних напора појединачно. То је време у коме су усамљени истраживачи своју радозналост задовољавали размишљањима, опажањима и писменим приказивањем. Обављали су то самостално и без много интересовања како ће то бити прихваћено [1].

У XVI столећу стање се мало поправило па су се појавиле и прве синтезе. Као доказ може да се наведе књига „О постанку планина“ од Валеријуса Фавентиеса (алијас академика Valerio Faenzi- а, бенедиктинца, 1561) [22], објављена у Венецијској академији. У тој књизи главне планине су настале када је Бог створио Земљу. После су планине формиране услед разних утицаја (земљотреса, испупчења Земље услед велике влаге, јаким притисака у подземљу од стране „заробљеног“ ваздуха, од подземне ватре, под утицајем звезда а посебно Сунца, од ерозије, јаким ветрова, итд.). Ови други утицаји делују полака па их ми „смртници“ и не запажамо. Сви аргументи о томе се налазе искључиво у делима античких аутора (Аристотела, Анаксагоре, Талеса, Хесиода, и Демокрита; Сенеке, Плинија, Алберта, Салустиа, и других римских писаца).

Током Ренесансе (XIV - XVI век) знања о Земљи коначно су прошла кроз фазе: „натурфилозофије“, првих геолошких уопштавања и састављања т. зв. „Теорија Земље“. Негде до половине XVII века. То је било већ време за које се може сматрати да свакако спада у историју Геологије. Уосталом, појам „Геологија“, по А. Де Бурту [1] прво је употребљен у Немачкој чак 1473. али је остао незапажен. Затим, то исто урадио је Алдрованди крајем XVI века у једном рукопису па и то није прихваћено. У сваком случају о јасно издвојеној науци Геологији може да се говори тек од почетка XIX века. – Сво то време Срби, окупирани на својим ЈЗ, З. и С. територијама и они који су мигративно били удаљени, остали су на нивоу Пранауке или мало модификоване и унапређене Пранауке из „Шестоднева“ Василија Великог. Реч је о

was late. First in Italy and then in France and Germany, it finally emerged from the long-lasting stage of Pre-Science. It moved into the stage of “Embryonic Science” with the beginnings of Humanism and the Renaissance, somewhere around the beginning of the 15th century. Knowledge about the Earth was still at the nascent stage of individual efforts. That was a time when solitary researchers satisfied their curiosity with reflections, observations and written accounts. They did it independently and without much interest in how it would be accepted [1].

In the 16th century, the situation improved a little, and the first syntheses appeared. As evidence, we can cite the book “On the Origin of Mountains” by Valerius Faventius (alias of academician Valerio Faenzi, a Benedictine, 1561) [22], published by the Academy of Venice. In that book, the main mountains were created when God created the Earth. Later, mountains were formed due to various influences (earthquakes, bulging of the Earth due to high humidity, strong pressures underground by “trapped” air, by underground fire, under the influence of stars and especially the Sun, by erosion, strong winds, etc.). These other influences act more slowly, so we “mortals” do not even notice them. All arguments about this are found exclusively in the works of ancient authors (Aristotle, Anaxagoras, Thales, Hesiod, and Democritus; Seneca, Pliny, Albertus, Sallust, and other Roman writers).

During the Renaissance (14th-16th centuries), knowledge about the Earth finally went through the phases of: “natural philosophy”, the first geological generalizations and the compilation of the so-called “Theory of the Earth” sometime by the middle of the 17th century. That was already a time that can be considered to certainly belong to the history of Geology. After all, the term “Geology”, according to A. De Burt [1] was first used in Germany as early as 1473, but it remained unnoticed. Later, Aldrovandi did the same at the end of the 16th century in a manuscript, but that too was not accepted. In any case, one can only speak of a clearly separate science of Geology from the beginning of the 19th century. All that time, the Serbs, occupied in their SW, W and N territories and those who were migratorily distant, remained at the level of Pre-Science or a slightly modified and

томе да су они могли сазнати, у својим срединама, да је Земља округла, затим да се обрће око Сунца, да у тлу има разних руда које се експлоатишу итд али то није било опште прихваћено од народа.

На територијама на којима су обитавали Срби значајна позитивна појава, из тог периода, био је чувени италијански полихистор Марсиљи, творац прве временске поделе стена и планина на „примарне“ и „секундарне“. Као аустријски генерал, после Карловачког мира 1699. геолошки је радио у Ђердапу и под Фрушком гором, ради фундирања тврђаве у Петроварадину. Тада је прогласио ту нашу планину „примарном“. Дакле, још у XVII веку Фрушкој гори је одређена њена „старост“ према тадашњим критеријумима.-У Далмацији геологију је радио други познати Италијан А. Фортис [8] прво сам, а после као професионални водич. Нажалост Срби о том послу нису знали ништа али да су и знали не би га разумели.

Први Хексамерон на црквенословенском језику бугарске редакције била је обимна књига Јована Егзарха (са прелаза IX-X век). Срби су могли одмах да је користе како је написана. На српску редакцију пренета је у XIII веку од стране несрећног Теодора Граматика у Хиландару. Књига има изразито еклектички карактер, при чему су коришћени текстови: Парменида, Диогена, Демокрита, Талеса, Аристотела и других аутора [5]. Најважнија чињеница је да је Егзарх у своју компилацију унео велике делове Шестоднева Василија Великог. Рукописни оригинал ове књиге пренет је у XVII веку у Русију и данас се налази у Москви. Код нас је сачуван само његов препис из XVII века [5].

Осим Егзархове књиге урађени су још преводи хексамерона: Јована Златоустог, Василија Великог, Георгија Писиде, Северина Логотета и Северина Гавалског [5]. Нарочито популарни међу Србима били су: превод књиге од Ј. Златоустог (због богатог духовног садржаја) и од Г. Писиде (јер је поетски био римовано састављен и то на изванредно лепом језику). У овом погледу значајно је било, такође, што је Владислав Граматик 1469. урадио препис Шестоднева Василија

improved Pre-Science from the “Six Days” of Basil the Great. The point is that they were able to learn, in their environments, that the Earth is round, also that it revolves around the Sun, that there are various ores in the soil that can be exploited, etc., but this was not generally accepted by the people.

In the territories inhabited by Serbs, a significant positive phenomenon from that period was the famous Italian poly historian Marsigli, the creator of the first temporal division of rocks and mountains into “primary” and “secondary”. As an Austrian general, after the Peace of Karlovac in 1699, he worked geologically at Đerdap and at the foot of Fruška Gora, in order to found the fortress at Petrovaradin. At that time, he declared our mountain to be “primary”. So, back in the 17th century, the “age” of Fruška Gora was determined according to the criteria of the time. In Dalmatia, another famous Italian, A. Fortis [8], first alone and then as a professional guide, worked on geology. Unfortunately, the Serbs knew nothing about that work, but even if they had known, they would not have understood it.

The first Hexaameron in the Church Slavonic language of the edited by the Bulgarians was a voluminous book by John the Exarch (from the turn of the 9th-10th century). The Serbs could immediately use it as written. It was transferred for Serbian editing in the 13th century by the unfortunate Theodore the Grammaticus in Hilandar. The book has a distinctly eclectic character, using texts by: Parmenides, Diogenes, Democritus, Thales, Aristotle and other authors [5]. The most important fact is that the Exarch had included large parts of the Six Days by Basil the Great in his compilation. The original manuscript of this book was transferred to Russia in the 17th century and is today in Moscow. Only its copy from the 17th century has been preserved with us [5].

In addition to the Exarch’s book, translations of the hexaemerons were also done: by John Chrysostom, Basil the Great, George of Pisida, Severinus Logothetus and Severinus of Gaval [5]. Particularly popular among Serbs were: the translation of the book by J. Chrysostom (because of its extensive spiritual content) and by G. of Pisida (because it was poetically composed in rhyme and in an extraordinarily beautiful

Великог са истог превода са кога је изведен и Хиандарски примерак. То се види по њиховој истоветности. Он се сада налази у Загребу (у ХАЗУ) [9].

Руководећи се претходно наведеним чињеницама, писац овог текста одлучио је да знања и мишљења Срба о Земљи у времену између VII и XVII века изложи према Шестодневу Василија Великог. Има неколико разлога за овакав избор. (1) Овај текст је репрезентативан за то знање. 2) Шестоднев Василија Великог је важио за један од најбољих, што није чудно, јер је аутор био изузетан познавалац античког знања и то, не из хеленистичких византијских извора, него из аутентичног грчког наслеђа. (3) Зато што управо сада имамо на располагању одличан најновији превод књиге од С. Јакшића. (4) Што је писац могао да користи домаћу литературу о самом делу али и о условима под којима је знање ширено. То је сасвим довољно.

Поред свега што је напред написано, веома важна су још два питања: (1) колико су била раширена знања о Земљи из Шестоднева међу Србима, и (2) каква је била структура оних који су добро познавали ту књигу Василија Великог, јер она је била главни извор тих знања.

Колико је било раширено знање из Хексамерона Василија Великог тешко је данас одредити али се може предпоставити. Сигурно је највећи део становништва научио и веровао у Мојсијеву „Књигу постања“ из Библије. Исто тако, веома вероватно је да није био мали број Срба, који су знали шта је написано у Шестодневу. То, међутим, није било уједначено и општеприхваћено знање. Зависило је од тога да ли су појединци директно прочитали и разумели текст или су евентуално само чули нешто о Земљи из разних извора. Наравно, и колико су веровали у та сазнања.

На друго питање одговор је много лакши. На првом месту по знању Шестоднева били су дијаци преводиоци и преписивачи и људи који су били са њима у непосредном контакту. Одмах до њих били су људи који су водили манастирске и јавне библиотеке

(language). In this regard, it was also significant that Vladislav the Grammarian made a copy of the Days by Basil the Great in 1469 from the same translation from which the Hilandar copy was derived. This is evident from their identity. It is now in Zagreb (in the HAZU) [9].

Guided by the previously mentioned facts, the writer of this text decided to present the knowledge and opinions of Serbs about the Earth in the period between the 7th and 17th centuries according to the Six Days of Basil the Great. There are several reasons for this choice. (1) This text is representative of that knowledge. 2) The Six Days by Basil the Great was considered one of the best, which is not surprising, because the author was an exceptional connoisseur of ancient knowledge, and not from Hellenistic Byzantine sources, but from the authentic Greek heritage. (3) Because right now we have at our disposal an excellent, recent translation of the book by S. Jakšić. (4) That the writer was able to use domestic literature on the work itself, and also on the conditions under which the knowledge was disseminated. That is quite sufficient.

In addition to everything written above, two more issues are very important: (1) how widespread was the knowledge about the Earth from the Six Days among the Serbs, and (2) what was the structure of those who were very familiar with that book of Basil the Great, as it was the main source of that knowledge.

How widespread the knowledge from the Hexameron of Basil the Great was is difficult to determine today, but it can be assumed. The majority of the population must have learned and believed in Moses' "Book of Genesis" from the Bible. It is also very likely that there was not a small number of Serbs who knew what was written in the the Six Days. However, this was not a uniform and generally accepted knowledge. It depended on whether individuals had directly read and understood the text or possibly just heard something about the Earth from various sources. Of course, and how much they believed in that knowledge.

The answer to the second question is much easier. In the first place in terms of knowledge of the Six Days were the students, translators and copyists, and people who were in direct contact with them. Immediately next to them were people who ran

или чак имали своје личне библиотеке: владарске и великашке породице, сви писмени монаси из Хиландара и свештеници са библиотекама, логотети или даскали (учитељи). Трећу групу чинили су сви писмени људи који су били заинтересовани за своје образовање и њихова околина. Коначно, ту су спадали и редовни гости у манастирима који су слушали „омоније на Шестоднев“ Василија Великог које су редовно читане после завршеног ручка за време великог поста. То све није био мали укупан број добро обавештених о Шестодневу.

Велику улогу у просвећивању имао је Хиландар као предводник. Још од његове обнове и током каснијег развоја имао је битну улогу у освајању знања Срба у целини. Био је српски Универзитет и расадник знања. Остао је то вековима, без обзира на промене које су се дешавале. Посебно је било значајно што је манастирска библиотека била најбогатија књигама на целој Светој гори. Проблеми су настајали само онда када је манастир био директно под Турцима у XVI-XVII и XVIII-XIX веку.

Овде треба посебно нагласити да су знања о Земљи из Шестоднева Василија Великог, као мериторна и библијски и научно доказана, доминирала међу Србима све до краја XVII века а делом су коришћена и у XVIII, што доказују преписи из тог времена.

На крају овог мало дужег увода писац овог текста има пријатну потребу да се захвали свим прегаоцима из наше средине који су се бавили разним доменама историје и културе нашег народа или баш и директно Шестодневом Василија Великог. Без њиховог упорног и занетог рада пуног љубави не би било ни овог текста.

#### О ХЕКСАЕМЕРОНУ ВАСИЛИЈА ВЕЛИКОГ

По Н. Сакосу [10] „Није позната година када је Василије Велики изговорио своје беседе на Шестоднев. Можда је то било 370. године“. То изгледа вероватно јер оно шта је у њима записано сведочи о високом ин-

monastery and public libraries or even had their own personal libraries: the ruling and noble families, all the literate monks from Hilandar and priests with libraries, logothetes or daskali (teachers). The third group consisted of all the literate people who were interested in their education and their surroundings. Finally, this included regular guests in the monasteries who listened to the “Six Days sermons” by Basil the Great, which were regularly read after lunch during Great Lent. All this was not a small total number of those well informed about the Six Days.

Hilandar played a major role in the enlightenment as a leader. Ever since its restoration and during its later development, it played an important role in the conquest of knowledge by the Serbs on the whole. It was a Serbian University and a hotbed of knowledge. It remained so for centuries, regardless of the changes that occurred. It was especially significant that the monastery library was the richest in books on the entire Holy Mountain. Problems arose only when the monastery was directly under the Turks in the 16th-17th and 18th-19th centuries.

It should be especially emphasized here that the knowledge about the Earth from the Six Days by Basil the Great, as both meritorious and biblically and scientifically proven, dominated among the Serbs until the end of the 17th century and was partly used in the 18th century, as proved by the copies from that time.

At the end of this somewhat longer introduction, the writer of this text has a pleasant need to thank all the scholars from our community who have dealt with various domains of the history and culture of our people or actually directly with the Six Days of Basil the Great. Without their persistent and passionate work out of love, this text would not exist.

#### ON THE HEXAEMERON OF BASIL THE GREAT

According to N. Sakos [10] “The year when Basil the Great delivered his sermons on the Sixth Day is not known. Perhaps it was in the year 370”. This seems likely because what is written in them testifies on the high intellectual

телектуалном нивоу говорника и одличном познаваоцу и црквеног учења и знању античког наслеђа. Говорник се служи течно књижевним језиком свог времена и “тачним атичким дијалектом” примећује Касиодор (стр. 46). Василије је говорио осам беседа пет дана, највероватније у току васкршњег поста (стр. 44), јер су такве беседе биле уобичајене баш у таквим приликама. Говоре је држао у Кесарији Кападокијској (стр. 38). „И поред тога што су беседе биле на високом нивоу, са успехом их је пратило мноштво народа, где су били заступљени занатлије, уметници, радници и жене из народа. Иако нису биле унапред забележене, биле су добро испланиране а, после њиховог записивања од стране брзописаца, очигледно је да су биле подношене Василију на поправку [11].

У то време наслов дела првенствено је одређиван према наслову прве беседе. Григорије Ниски и Григорије Богослов, међутим, Василијево дело одмах су назвали само „Хексамерон“ („Шестоднев“) [10].

У Шесотдневу Василије Велики користи за основу свог излагања Мојсијеву „Књигу постања“ из Библије као апсолутну истину. Као доказе о стварању света, међутим, широко користи знања из античке филозофије и природних наука (=фисика) стечених на студијама у Атини. При томе, некада прихвата и преноси знања из антике али у низу случајева „теорије грчких мудраца“ одбацује и не прихвата зато што нису у складу са Светим писмом.

У својим беседама Василије Велики у великој мери се ослањао на Платона (и његов “Тимеј”). Та приврженост била је до те мере да је „дошао до закључка да се платонизам у извесном погледу не слаже са Библијом, али то није нити може бити сметња да се отац идеалистичке филозофије не интегрише са хришћанством“ [5, 12] налази како је аутор доста користио и Аристотела и стоике.- Грчки коментатори, међутим, не истичу толико Василијеву везаност за Платона колико налазе да је „црпео податке из четворице великих писаца: Аристотела, Плутарха,

level of the speaker and his excellent knowledge of both church doctrine and knowledge of the ancient heritage. The speaker is fluent in the literary language of his time and “in the exact Attic dialect”, notes Cassiodorus (p. 46). Basil delivered eight sermons over five days, most likely during the Easter fast (p. 44), since such sermons were common on such occasions. He delivered his speeches in Caesarea Cappadocia (p. 38). “Despite the high level of the sermons, they were successfully followed by a multitude of people, including artisans, artists, workers, and women from the people. Although they were not recorded in advance, they were well planned and, after they were written down by stenographers, it is obvious that they were submitted to Basil for correction [11].

At that time, the title of the work was primarily determined by the title of the first sermon. Gregory of Nyssa and Gregory the Theologian, however, immediately called Basil’s work simply “Hexaemeron” (“Six-Day”) [10].

In the Six Days, Basil the Great uses Moses’ “Book of Genesis” from the Bible as the basis for his exposition as the absolute truth. As evidence for the creation of the world, however, he widely uses knowledge from ancient philosophy and natural sciences (=physics) acquired during his studies in Athens. In doing so, he sometimes accepts and transmits knowledge from antiquity, but in a number of cases he rejects and does not accept the “theories of the Greek sages” because they are not in accordance with the Holy Scriptures.

In his sermons, Basil the Great relied heavily on Plato (and his “Timaeus”). This devotion was to the extent that he “came to the conclusion that Platonism in a certain respect does not agree with the Bible, but this is not and cannot be an obstacle for the father of idealistic philosophy to integrate with Christianity” [5, 12] finds that the author made extensive use of both Aristotle and the Stoics. Greek commentators, however, do not emphasize Basil’s attachment to Plato as much as they find that he “drew information from four great writers: Aristotle, Plutarch, Aelian and Diogenes Laertius, and then from the books of Diodorus Siculus, Oppian, Di-

Елијана и Диогена Леартија, а затим из књига Диодора Сицилијанца, Опијана, Диоскурида, Филона Јудејца и хришћанских писаца Иполита и Оригана [10].

По Н. Радошевић [12] Василије Велики са другим „Великанима златног доба века класичног образовања, мудро успевају, водећи рачуна да не склизну у гностичку јерес, да преузму из античког наслеђа све што се није директно косило са догматским основама и што је правилно хришћанство, могло да обогати хришћанску мисао“. Међутим, „Када му усаглашавање Мојсијеве приче са рационалним научним објашњењима није полазило за руком, Василије је настали проблем препустио мудрости божанског провиђења“.

Што се тиче грчких преписа и превода С. Сакос [10] каже: да их има много и да сви потичу из Грчке и Мале Азије. „Наводе се рукописи из 9 века, који се чувају у Паризу и веома доброг су квалитета. Тако је, на пример J. Garnier у Паризу штампао дела Василија Великог у три тома (1839). Сем тога, S. Giet (Париз, 1949) приредио је издање „на основу двадесет старих рукописних кодекса из 9 века“ (који се чувају у тамошњој Националној библиотеци).- Као најстарији превод К. Христу [11] наводи како је „Око 400. године извесни Евстатије, који је живео у Риму, превео Беседе на Шестоднев на латински језик“. После тога прављени су и други преписи па је дело и на Западу било популарно.

У погледу превода и преписа на српску редакцију у литератури се наводи како је први превод Шестоднева Василија Великог израдио Никон Јерусалимски 1439. године. Помиње се, такође, да је то део „Шестоднева“ из манастира Савиње из 1439. Међутим, Н. Радошевић [12] каже: „Рукопис манастира Хиландара бр. 405. састављен око 1400. године, садржи, за сада, најстарији превод интегралног српског а уједно и словенског превода девет „Беседа на Шестоднев“ Василија Великог. Тако се време превођења на српкословенски овог дела помера на средину XIV века“. Овај важан податак ауторка допуњава „Овај превод... много је у науци познатији по једном

oscurides, Philo the Judaeian and the Christian writers Hippolytus and Origen [10].

According to N. Radošević [12] Basil the Great and other “Giants of the Golden Age of Classical Education, wisely succeed, taking care not to slip into Gnostic heresy, in taking from the ancient heritage everything that did not directly contradict the dogmatic foundations and proper Christianity that could enrich Christian thought”. However, “When he failed to reconcile the stories of Moses with rational scientific explanations, Basil left the resulting problem to the wisdom of divine providence”.

As for Greek copies and translations, S. Sakos [10] says: that there are many of them and that they all originate from Greece and Asia Minor. “Manuscripts from the 9th century, which are kept in Paris and are of very good quality, are mentioned. For example, J. Garnier printed the works of Basil the Great in Paris in three volumes (1839). In addition, S. Giet (Paris, 1949) prepared an edition “based on twenty old manuscript codices from the 9th century” (which are kept in the National Library there). As the oldest translation, K. Christu [11] states that “Around the year 400, a certain Eustathius, who lived in Rome, translated the Sermons on the Sixth Day into Latin”. After that, other copies were made, so the work was also popular in the West.

In terms of translation and transcription into Serbian, it is stated in the literature that the first translation of the Six Days of Basil the Great was done by Nikon of Jerusalem in 1439. It is also mentioned that it is part of the “Six Days” from the Savinja Monastery from 1439. However, N. Radošević [12] says: “The manuscript of the Hilandar Monastery No. 405, compiled around the year 1400, contains, for now, the oldest translation of the integral Serbian and also Slavic translation of the nine “Homilies on Six Days” by Basil the Great. Thus, the time of the translation into Serbo-Slavic of this work is shifted to the middle of the 14th century”. The author adds to this important information “This translation... is much better known in science by a younger transcript, which is kept in Zagreb (HAZU) as part of the collection of

млађем препису, који се у оквиру зборника Владислава Граматика из 1469. године чува у Загребу (ХАЗУ). Није познато, међутим, ни ко је наручио ни ко је превео ни ко је написао ортограф“ тог превода. Осим овога постоји још много превода тог списка од којих су неки веома лепо.

Подаци о Шестодневу Василија Великог у нашој литератури наводе се и помињу на много места. Највише конкретних и корисних извештаја о том спису, међутим, налази се у публикацијама: Д. Драгојловића [5, 19]; Н. Радошевић [6, 9, 12] и А. Аркадијевић Турилова са Л. Мошковым [19]. На савремени српски књижевни језик, С. Јакшић је урадио нови превод са грчког преписа за Библиотеку Светоотачко богословље СПЦ (три издања: 2001, 2003 и 2008).

Може се поставити и питање: зашто код Срба нема ранијих превода и преписа Шестоднева Василија Великог? Одговори могу бити два: или су сви ти преводи (бар за сада) пропали или су се Срби дуго задовољавали оним што су о том Шестодневу сазнали посредно. Из Шестоднева Јована Егзарха (и његовог превода на српски од стране Теодора Граматика из 1262-3. године). Егзарх је изложио велики део Василијевог списка у свом обимном делу.

Застој у преписивању Шестоднева и других књижевних дела наступио је у време пропасти Душановог царства, услед слабљења државе и најезде Турака. Нови интерес за спис Василија Великог, међутим, по Д. Драгојловићу [5] појавио се у време Деспотовине (од око 1400. године) „када почиње епоха реинтеграције Платона и платонизма у мисаоном животу Европе па и средњовековној књижевности“ (стр. 190).- Падом Деспотовине (око 1450) и новим турским освајањима опет је опао интерес за писањем и читањем.- Тек у XVII и XVIII веку обновљени су преводи и преписи књиге Василија Великог.

Интерес за Шестоднев Василија Великог трајао је и даље. Ево и сада, писац ових редова користио је нови превод са грчког С.

Vladislav Grammaticus from 1469. However, it neither known who commissioned it, who translated it, or who wrote the orthography” of that translation. In addition to this, there are many other translations of this work, some of which are very beautiful.

Information about the Six Days of Basil the Great is cited and mentioned in many places in our literature. Most of the specific and useful information on this writing, however, is found in the publications of: D. Dragojlović 5, 19]; N. Radošević 6, 9, 12] and A. Arkadijevič Turilova with L. Moškova [19]. S. Jakšić produced a new translation from the Greek transcript into modern Serbian literary language, for the Library of the Holy Fathers Theology of the Serbian Orthodox Church (three editions: 2001, 2003 and 2008).

The question can also be asked: why are there no earlier translations and transcripts of the Six Days of Basil the Great among the Serbs? There can be two answers: either all these translations (at least for now) have failed, or the Serbs have long been content with what they had learned indirectly about the Six Days. From the Six Days of John the Exarch (and its translation into Serbian by Theodore the Grammaticus from 1262-3). The Exarch presented a large part of Basil’s writings in his extensive work.

A halt in the copying of the Six Days and other literary works occurred during the fall of Dušan’s empire, due to the weakening of the state and the invasion of the Turks. However, according to D. Dragojlović [5], a new interest in the writings of Basil the Great appeared during the Despotate period (from around 1400) “when the era of the reintegration of Plato and Platonism in the intellectual life of Europe and even medieval literature began” (p. 190). With the fall of the Despotate (around 1450) and the new Turkish conquests, interest in writing and reading declined again. Only in the 17th and 18th centuries were translations and copying of the book of Basil the Great renewed.

Interest in the Six Days of Basil the Great continued. Even now, the writer of these lines used S. Jakšić’s new translation from Greek, printed by “Beseda” from Novi Sad, in its third edition (2008).

Јакшића који је штампала „Беседа“ из Новог Сада и то у трећем издању (2008).

По Д. Драгојловићу [5] међу најлепше рукописе Шестоднева Василија Великог спада препис Владислава Граматика из 1469. године, писан за Димитрија Кантакузена и превод Гаврила Стефановића Венцловића из 1734. године писан у Коморану и Ђуру.

За српског читаца и слушаоца, у пригодним приликама, од момента када је преведен Шестоднев на наш језик и касније, све до XVIII века, то је била важна енциклопедија знања из природе. Из ње је могао да се упозна са тумачењима о Земљи према црквеној књижевности али и по мишљењима античких природњака, без обзира што Василије Велики већином не наводи њихова имена.

Василије Велики је говорио често у континуитету о некој теми али већином асоцијативно. Зато се мисли о појединим темама налазе размештене по целој књизи. У тексту пред читаоцем то је морало да се промени. Примењен је метод издвајања исечака са речима, реченицама пасосима и целим страницама о свим темама које су обрађене. Затим је изведено њихово одговарајуће логичко повезвање. Тако су састављена овде посебна поглавља: о небу, Земљи, води, светлости итд. При томе, сваки исечак на крају је означен тачним местом где се налази у актуелном преводу из 2008. У загради иза цитата се налази прво римски број беседе (н.пр. V), затим, арапски број за редни положај одломка у беседи и на крају број странице у књизи изданој 2008 године. На тај начин се види како су исечци повезани. То је било неопходно јер некада потичу из вема удаљених делова текста а односе се на исте мисли и исту проблематику.

## ЗНАЊЕ О ЗЕМЉИ У ШЕСТОДНЕВУ ВАСИЛИЈА ВЕЛИКОГ

### О ПОСТАНКУ СВЕТА

Василије Велики у првој беседи, држећи се Светог писма, одлучно каже: „Свет је саздан истог тренутка када је изречена воља

According to D. Dragojlović [5], the most beautiful manuscripts of the Six Days of Basil the Great include the copy by Vladislav Grammaticus from 1469, written for Dimitri Kantakouzenos, and the translation by Gavriilo Stefanović Venclović from 1734, written in Komoran and Đur.

For the Serbian reader and listener, on appropriate occasions, from the moment when the Six Days of Basil the Great was translated into our language and later, until the 18th century, it presented an important encyclopedia of knowledge from nature. From that translation, the reader could learn about the interpretations of the Earth according to church literature but also according to the opinions of ancient naturalists, regardless of the fact that Basil the Great generally does not mention their names.

Basil the Great often spoke continuously about a topic, but mostly associatively. That is why thoughts on individual topics are scattered throughout the book. In the text before the reader, this had to change. The method of separating excerpts with words, sentences, paragraphs and entire pages on all the topics that were covered was applied. Then their appropriate logical connection was made. Thus, separate chapters were composed here: on heaven, Earth, water, light, etc. In addition to that, at the end of each excerpt the exact place where it is located in the current translation from 2008 is marked. In brackets after the quotation, first is given the Roman number of the sermon (e.g. V), then the Arabic number for the ordinal position of the excerpt in the sermon and finally the page number in the book published in 2008. In this way, it is possible to see how the excerpts are connected. This was necessary because they sometimes originate from very distant parts of the text and relate to the same thoughts and the same issues.

## KNOWLEDGE ABOUT THE EARTH IN THE SIX DAYS OF BASIL THE GREAT

### ON THE CREATION OF THE WORLD

In his first sermon, Basil the Great, adhering to the Holy Scriptures, decisively states: “The world was created at the very moment when

Божја и то без протока времена“ (I, 24-25, стр. 65). Шта више, није морало чак ни то да буде, „довољан је само миг његове воље“ (II, 34, стр. 91) или помисао, „без речи да прене-се своје замисли“ (III, 7, стр. 98).

Даље, о постанку света, можда, и не би тре-бало писати јер све изгледа узалудно. Има, међутим, у проблематици стварања света читав спектар информација о којима Срби нису имали појма. Због тога је писац ових редова одлучио да изнесе целу ствар у ши-рем контексту.

Бог/Христос као градитељ великим цирк-лом формира “небески свод”, који раздваја васељену са водом испод и изнад њега. Умет-ник слободно користи две перспективе, вертикалну за Исуса и циркулу, и хоризон-тално-косу за Земљу и васељену, на начин како то доживљава и види. - Илустрација из једне француске Библије из XIII столећа, (слика 1) [23].

the will of God was pronounced, and without the passage of time.” (I, 24-25, p. 65). Moreover, it did not even have to be that, “just a moment of his will is enough” (II, 34, p. 91) or the thought, “without words to convey his thoughts” (III, 7, p. 98).

Further, perhaps we should not write about the creation of the world because everything seems in vain. However, there is a whole range of information in the issue of the creation of the world that the Serbs had no idea about. That is why the writer of these lines decided to present the whole matter in a broader context.

God/Christ as a builder forms the “celestial vault” with a large circle, which separates the universe with water below and above it. The artist freely uses two perspectives, vertical for Jesus and the circle, and horizontal-oblique for the Earth and the universe, in the way he experiences and sees it. - Illustration from a 13th-century French Bible, (Figure 1) [23].



Слика 1, Бог/Христос као градитељ [23]  
Figure 1, God/Christ as a Builder [23]

После наведене констатације, Василије Ве-лики не говори више о „делу Творца“ већ се разрачунава са тумачењима античких при-

After the above statement, Basil the Great no longer speaks about the “work of the Creator” but rather comes to terms with the interpreta-

родњака и филозофа о тома како је успостављен свет.

Говорник се позива на различита схватања природе и настанка света „оних који су изван цркве“ (III, 42, стр. 113). Они „смаatraју да је овај свет одувек постојао заједно са Богом и не прихватају да је од њега постао, тврдећи да свет сам по себи постоји“ и „уче да Бог јесте узрочник света, али узрочник без своје воље“ (I, 27, стр. 66, и 14, стр. 61; Ксенофон и др.). Трећи, опет, „уче о томе да свет бесконачно много пута пропада и изнова се рађа. Они тврде да васељена сагоре ватром а онда опет оживи из семена запретеног ватром у спаљеној материји“ (I, 42, стр. 115; Хераклит и стоици).

На другом месту, додаје како су „неки од њих прибегавали идеји да је основа света вештаствена (материјална), тврдећи да узрок свему чине вештаствени елементи света. Други су, опет, замишљали да природу свега видљивог чине атоми и недељива тела и тежине и празни простори. Пошто се недељива тела час узајамно сједињују а час разједињују, од тога зависи постојање или пропадање; а најјачи сплет атома најтрајнијих тела постаје узрок одржања света... Зато их је безбожност, која беше у њима, навела на заблудну помисао да све што постоји јесте без поретка и без вођства и креће се по случајности (I, 7-8, стр. 57-58; Демокрит).

Поводом таквих мишљења старих грчких мудраца говорник каже: како су они „о природи много расправљали али ни једна њихова теорија не остаде чврста и непоколебљива: увек је седећа оповргавала претходну. Није наше да њихове теорије разобличавамо довољни су и они сами да оповргавају једни друге. Јер они који за Бога нису знали нису прихватили то да је при постанку света био присутан разумни узрок, већ су у складу са својим првобитним незнањем закључивали о ономе што следи“ (I, 7-8, стр. 57-58).

После свега наведеног Василије Велики, међутим, беспоговорно узима да је за постанак света „првенствено учење догмата о стварању и устројству света“ (I,13, стр. 60).

tions of ancient naturalists and philosophers about how the world was established.

The speaker refers to the different understandings of the nature and origin of the world of “those who are outside the church” (III, 42, p. 113). They “consider that this world has always existed together with God and do not accept that it was created by him, claiming that the world exists in itself” and “teach that God is the creator of the world, but the creator without his will” (I, 27, p. 66, and 14, p. 61; Xenophon and others). And others “teach that the world has been infinitely destroyed and reborn many times. They claim that the universe has been burned in fire and to revive again from the seed threatened by fire in burnt matter” (I, 42, p. 115; Heraclitus and the Stoics).

Elsewhere, he added that “some of them had resorted to the idea that the foundation of the world is material (= material), claiming that the cause of everything are the material elements of the world. Others, on the other hand, imagined that the nature of everything visible consists of atoms and indivisible bodies and weights and empty spaces. Since indivisible bodies are at one moment mutually united and at another moment separated, existence or decay depends on this; and the strongest intertwining of atoms of the most durable bodies becomes the cause of preservation of the world... Therefore, the impiety that was in them has led them to the erroneous idea that everything that exists is without order and without guidance and moves by chance (I, 7-8, pp. 57-58; Democritus).

Regarding such opinions of the ancient Greek sages, the speaker says: how they “discussed nature a lot, but none of their theories remained firm and unshakable: each theory always refuted the previous one. It is not our business to expose their theories; it is enough for them to refute each other. For those who did not know about God did not accept that a rational cause was present at the creation of the world, but in accordance with their original ignorance they rather concluded about what follows” (I, 7-8, pp. 57-58).

After all the above, Basil the Great, however, unquestionably assumes that for the creation of the world, “teaching of the dogma about the

Осим ове опширне расправе о настанку света по грчким ауторима Василије Велики, говори дуже или краће и о другим питањима из тог домена и заузима одређене ставове.

Можда, на првом месту треба истакнути како је говорник под појмовима „свет“ и „васељена“ подразумевао: небо, Земљу и мора и оно што се између њих налази (I, 28, ст. 67).

Затим је важан ауторов категоричан став: „Време је створено кад и материја“ (I, 20, стр. 63; I, 23, стр. 64). Тиме је пружио логичан одговор на то важно питање о коме се озбиљно расправљало.

Тешко је данас разумети како су српски слушаоци у почетку, приликом пригодних јавних читања, или појединци читаоци тих текстова схватили и прихватили ова разматрања о постанку васељене изложених у Шестодеву Василија Великог. Нарочито у време њиховог покрштавања што није ишло течно и брзо. Из Шастоднева Јована Егзарха у X веку то им је било приступачно на бугарској редакцији, али тешко да су било шта од свега тога добро разумели. Вероватно је да су касније постепено али и преводом на српски језик у XIII веку почели да схватају како се постанак света не тумачи једноставно као у њихвим митовима: „Сварог је створио свет“, него да ту има различитих често супротстављених мишљења, дилема и тумачења. На крају, то им је постало много јасније када су добили у руке преводе и преписе Шестоднева Василија Великог на српској редакцији негде око половине XIV века [12]. Тада су били већ довољно припремљени да разазнају шта и како су о том важном питању расправљали антички мислиоци а како се то објашњава у цркви.

#### О НЕБУ

Говорник објашњава откуда је „небо“ добило тај назив. Каже како „небо“ на грчком значи „видети“ па се тиме описује да је „ваздух чист и провидан“ (VI, 38, стр. 111).

Василије Велики констатује да небо и Земља који су створени истовремено, „предста-

creation and organization of the world is primary“ (I, 13, p. 60).

In addition to this extensive discussion of the origin of the world according to Greek authors, Basil the Great speaks at length or in brief about other issues in that domain and takes certain positions.

Perhaps, in the first place, it should be emphasized that by the terms “world” and “universe” the speaker meant: the sky, the Earth and the seas and what is between them (I, 28, st. 67).

Also, the author’s categorical position is important: “Time was created when matter was created” (I, 20, p. 63; I, 23, p. 64). In doing so, he provided a logical answer to that important question that was seriously debated.

It is difficult today to understand how Serbian listeners initially, during appropriate public readings, or individual readers of those texts understood and accepted these considerations about the origin of the universe presented in the Six Days of Basil the Great. Especially at the time of their Christianization, which did not go smoothly and quickly. From the Six Days of John the Exarch in the 10th century, this was accessible to them in the Bulgarian edition, but it is unlikely that they understood any of it well. It is likely that later, gradually, but also with the translation into Serbian in the 13th century, they began to understand that the creation of the world is not interpreted simply as in their myths: “Svarog created the world”, but that there are different, often opposing opinions, dilemmas and interpretations. In the end, this became much clearer to them when they got their hands on the translations and transcriptions of the Six Days of Basil the Great in the Serbian edition, somewhere around the middle of the 14th century [12]. At that time, they were already sufficiently prepared to discern what and how ancient thinkers discussed this important issue and how it is explained in the church.

#### ON THE SKY

The speaker explains where the name “sky” comes from. He says that “sky” in Greek means “to see” and thus describes “the air as pure and transparent” (VI, 38, p. 111).

вљају крајности васељене“ (I, 28, стр. 67). Онда поставља питање: „постоје ли уопште два неба“ (III, 9, стр. 99). При томе, доводи у сукоб грчке филозофе који кажу „да постоји необично много небеса и светова“ (Леукип, Демокрит) и Аристотела, који тврди да „постоји само једно небо“ (III, 9-10, стр. 99-100).

Затим, беседник каже: „Ми смо, пак, толико далеко од тога да не верујемо у постојање другог неба, да чак истражујемо и треће“ (по псалму блаженог Павла). Но, „псалм који нам говори о небесима небеса пружа нам сазнање о томе да постоје и више небеса“. Затим, додаје „То без сумње, није невероватније од постојања седам кругова по којима се, како скоро сви једногласно тврде, крећу звезде“ (III, 12, стр. 101), односно „планете“ (IV, 34, стр. 169), „Месец и Сунце“ (по Платону). Ти поменути кругови „како веле, налазе се један у другоме налик на судове, који су сложени један у другоме. Кружећи у супротном смеру од васељене“ (III, 12, стр. 101).

Ово сложено питање Василије Велики закључује како треба оставити незнабошцима да се они расправљају, а слушаоцима је важно оно што каже Свето писмо. Тамо пише како постоји само једно небо а „оно друго... представља нешто друго у односу на оно небо које је створено у почетку... чвршће је и дато му је нарочито име „свод небески“ (III, 45 стр.117) и друга „намена у васељни“ (III, 14 стр. 102). Онда Василије Велики говори о „своду у облику сфере“ који је створен да „растави воду од воде“ (III, 4, стр. 97; 23, стр. 105). То је било потребно јер је у почетку Земља била покривена огромном количином воде. (Ово уверење је било само траг Талесовог мишљења и веома старог мезопотамијско-египатског убеђења да све потиче из воде.)

Тако је Творац посебним „сводом“ одвојио део воде која је остала у васељени (реке, језера, мора, ваздушна вода) од воде којом је цео простор наше васељене обухваћен „па је она у целини потпуно заробљена између непрегледног мора“ (III, 30, стр. 110). Коначно, говорећи о води не прави никак-

Basil the Great states that the sky and the Earth, which were created simultaneously, “represent the extremes of the universe” (I, 28, p. 67). He then asks the question: “are there two heavens at all” (III, 9, p. 99). In doing so, he brings into conflict the Greek philosophers who say “that there is an unusually large number of heavens and worlds” (Leucippus, Democritus) and Aristotle, who claims that “there is only one heaven” (III, 9-10, pp. 99-100).

Then, the speaker says: “We are so far from not believing in the existence of a second sky that we are even investigating a third one” (according to the psalm of the blessed Paul). However, “the psalm that speaks to us about the skies of skies gives us knowledge that there are more skies”. Then, he adds “This is undoubtedly no more incredible than the existence of seven circles in which, as almost everyone unanimously claims, the stars and planets move” (III, 12, p. 101), (IV, 34, p. 169), “Moon and Sun” (according to Plato). These mentioned circles “as they say, are located inside one another like vessels, which are stacked inside one another. Rotating in the direction opposite to the universe” (III, 12, p. 101).

Basil the Great concludes this complex question by saying that it should be left to the pagans to discuss, and what is important for the listeners is what the Holy Scripture says. It says there that there is only one sky and that “the other... represents something different from the sky that was created in the beginning... is more solid and is given the special name “the firmament of heaven” (III, 45 p.117) and has another “purpose in the universe” (III, 14 p. 102). Then Basil the Great speaks of a “sphere-shaped firmament” that was created to “separate water from water” (III, 4, p. 97; 23, p. 105). This was necessary because in the beginning the Earth was covered with a huge amount of water. (This belief was only a trace of Thales’s opinion and the very old Mesopotamian-Egyptian conviction that everything comes from water.)

Thus, the Creator separated with a special “arch” the part of the water that remained in the universe (rivers, lakes, seas, air water) from the water that covers the entire space of our universe “so that it was completely trapped in the midst of the vast sea” (III, 30, p. 110). Finally, when speaking of water, he does not make any

ву разлику у особинама воде у васељени и „оне воде које су над небесима“ већ каже: „схватимо воду као воду“ (III, 45, стр. 116). Са онима који заступају мишљење о посебним особинама „воде небеске“, говорник се шегачи (II, 14, стр. 102).

Упадљивио је како Василије Велики тврди да су звезде „као цветови окитиле небо“ (VI, 3, стр. 156) а не истиче да се Сунце и Месец „налазе на небу“. Та два светла тела помиње на много места али тако као да се налазе у оквиру васељене. Изнад ваздуха и етера које осветљавају са велике даљине. То се може закључити из следећег текста „Сунце и Месец су велика (тела) не зато што су већа од других звезда, већ зато што су толиких размера да је светлост, која од њих долази, довољна да обасја и небо и ваздух, и сву земљу и мора“ (VI, 47, стр. 175). При томе, упозорава да су ипак велики јер су ближи Земљи од звезда па нас „Сунце обасјава са мање удаљености“ (VI, 49, стр. 175).

Овде ваља напоменути да говорник вешто избегава оно што врло јасно пише у Светом писму: „Потом рече Бог: Нека буду светила на своду небеском“. Дакле, Сунце и Месец су на „своду небеском“ заједно са звездама. То говорник ту и на другим местима замењује само као „светила небеска“ (VI, 7-9, стр. 157-158), зато што астрономи јасно виде разлику између удаљености Сунца и Месеца од звезда.

Закључујући о небу Василије Велики опомиње и пише: „ако величанственост неба надилази меру човековог разума, како ће ум бити у стању да сагледа природу онога што је вечно „ (VI, 6, стр. 157).

Занимљиво је, такође, да је покушао Василије Велики да тумачи и питање: шта је било на том простору пре стварања наше васељене? На основу израза „у почетку створи“, из Библије, закључио је да је „нешто постојало и пре овог света, нешто што наш ум може замислити али је оно схваћено као неистражено... Било је то стање које је старије од постанка света, подобно небеским силама; стање надвремено, вечно и бесконачно. Умствена светлост са хармоничним светом ум-

distinction between the properties of water in the universe and “the waters that are above the skies” but says: “let us understand water as water” (III, 45, p. 116). The speaker is joking with those who advocate the opinion about the special properties of “heavenly water”, (II, 14, p. 102).

It is striking how Basil the Great claims that the stars “like flowers adorned the sky” (VI, 3, p. 156) and does not emphasize that the Sun and the Moon “are in the sky”. He mentions these two luminous bodies in many places, but as if they were within the universe. Above the air and ether that they illuminate from a great distance. This can be concluded from the following text: “The Sun and the Moon are great (bodies) not because they are larger than other stars, but because they are of such a size that the light that comes from them is sufficient to illuminate both the sky and the air, and all the land and sea” (VI, 47, p. 175). At the same time, he warns that they are still great because they are closer to the Earth than the stars, so “the Sun illuminates us from a smaller distance” (VI, 49, p. 175).

It needs to be noted here that the speaker cleverly avoids what is very clearly written in the Holy Scriptures: “Then God said, Let there be lights in the firmament of the heaven.” Hence, the Sun and the Moon are in the “firmament of the heaven” together with the stars. The speaker replaces this here and in other places only as “the lights of the heaven” (VI, 7-9, pp. 157-158), because astronomers clearly see the difference between the distance of the Sun and the Moon from the stars.

Concluding about heaven, Basil the Great warns and writes: “if the magnificence of heaven exceeds the measure of human reason, how will the mind be able to perceive the nature of what is eternal” (VI, 6, p. 157).

It is also interesting that Basil the Great tried to interpret the question: what was in that space before the creation of our universe? Based on the expression “in the beginning God created”, from the Bible, he concluded that “something existed before this world, something that our mind can imagine but it is understood as unexplored... It was a state that is older than the creation of the world, similar to the heavenly forces; a state that is timeless, eternal and infinite. .. intellectual

ствених бића, која надилазе наш разум“ (I, 17-18, стр. 62; 21, стр. 63). Она су на „почетку постојања свих видљивих и чувствима доступних ствари“ ( I, 21, стр. 63). Овоме додаје „Немогуће је виђење умствених ствари и необјашњив је у потпуности њихов логос“ (II, 1, стр. 72).

(Први део претходног пасоса, у преводу Гаврила Стефановића Венцловића, по Д. Драгојловићу [5], није буквалан превод као наведени Јакшићев (I, 17-18, стр. 62), него је скраћен. Драгојловић пише да Василије Велики поставља „питање шта је претходило стварању. Његов одговор колико је једноставан толико је и интересантан. „Пре стварања видљивог света, пише Василије Велики, постојала је само енергија и сила која је старија од материјалног света (Г. С. В. фол 3). Ово Драгојловићу пружа могућност за веома занимљив коментар. „Грчка филозофија никада није дошла до појма силе или енергије као стања „пре сваког времена, стања вечног и непрекидног“. Ова на први поглед фантастична и сасвим ненаучна тврдња била је врло значајна јер је садржавала већи део оног напора маште који је био потребан да се много касније створи Коперникова хипотеза и модерне физичке теорије о енергији и сили“.- Овај искорак из наше теме само потврђује да савременици нису узалуд разумели висок и веома надарен интелектуални капацитет Василија Великог.)

Осим свега тога, Творац је „на самом почетку свог дела поставио и циљ свега што је створио“ (III, 48, стр, 118). Коначно, Бог је „знао колико је времена одредио свету за трајање (III, 26, стр.107), све док не дође „час када ће све бити спржено ватром“ (III, 10, стр. 110), када се све заврши „окончањем васељене“ (IX, 6, стр. 226; V, 56, стр. 154).

Сва ова излагања говорник је закључио констатацијом; „Све што је у времену започето нужно је да се у времену и заврши...у деловима и у целини“ (I, 13, стр. 60).

#### О ЗЕМЉИ

Василије Велики истиче како, по Светом писму, у моменту када је настала „земља је

light... with a harmonious world of intellectual beings, which surpass our reason” (I, 17-18, p. 62; 21, p. 63). They are at the “beginning of the existence of all visible and sensible things” (I, 21, p. 63). To this he adds “The vision of mental things is impossible and their logos is completely inexplicable” (II, 1, p. 72).

(The first part of the previous passage, translated by Gavriilo Stefanović Venclović, according to D. Dragojlović [5], is not a literal translation like the one by Jakšić (I, 17-18, p. 62), but rather an abbreviated one. Dragojlović writes that Basil the Great asks “the question of what preceded creation. His answer is as simple as it is interesting. “Before the creation of the visible world, writes Basil the Great, there was only energy and force that is older than the material world (G. S. V. fol. 3). This provides an opportunity to Dragojlović to give a very interesting comment. “Greek philosophy never came to the concept of force or energy as a state “before all time, a state eternal and continuous.” This at first glance fantastic and completely unscientific claim was very significant because it contained a large part of the effort of imagination that was needed to create the Copernican hypothesis and modern physical theories of energy and force”. This digression from our topic only confirms that it was not in vain that the contemporaries understood the greatly gifted intellectual capacity of Basil the Great).

In addition to all this, the Creator “set the goal for everything he had created at the very beginning of his work” (III, 48, p. 118). Finally, God “knew how much time he had decided for the world to last (III, 26, p. 107), until “the hour came when everything would be burned up with fire” (III, 10, p. 110), when everything would end with “the end of the universe” (IX, 6, p. 226; V, 56, p. 154).

The speaker concluded all these statements with the statement; “Everything that is begun in time must necessarily be finished in time...in parts and on the whole” (I, 13, p. 60).

#### ABOUT THE EARTH

Basil the Great points out that, according to the Holy Scriptures, at the moment when it

била пуста и невидљива“. У ствари она је била „пуста“ због тога што „на њој није било ничега“ (II, 4, стр. 78) а „невидљива“ из више разлога. Прво, зато што није било светла па је владала „дубока ноћ“ (II, 19, стр. 85). Друго, што „још не беше човека да је види“ (II, 4, ср 78) и треће, зато што ју је „бездан прекривао“ (II, 18, 84). Другим речима, зато што је лежала веома дубоко испод водене масе, која је са „свих страна окруживала земљу“ (III, 23, стр. 106). Јер се воде „још не беху сабрале“ у своја „зборишта“ (II, 4, 78).

Даље говорник каже „има их који узимају да је материја „по својој природи и невидљива и безоблична, те је њу. преузео Уметник довео је у поредак и тако је од ње саздао све што је видљиво“.

Василије Велики, овде се разрачунава са гностицима. Назива их „изопачитељем истине“ који „изврћу смисао Светога писма и пишу по сопственом нахођењу“ (II, 6, стр. 79).

Затим је оделио Творац једним „сводом“ исту воду на два дела: изнад и испод тог „небеског свода“ (III, 4, стр. 97; III, 45, стр. 116). Тако је трећег дана раздељено копно од воде, која се повукла у своја „спремшта“. Одмах се показала „суха“ земља па не треба сматрати да је „Сунце узрок сушења земље“ јер је оно настало касније (IV, 22, стр. 128). Осим тога, издвојене су и „велике стајаће воде, које је Бог касније начинио и назвао их морима“ (II, 4, стр. 78).

Посебно је Василије Велики расправљао два крупна питања: на чему је Земља основана и зашто је непомична?

Поводом првог питања писац саветује да се оно не истражује „јер ће ти се тада разум помутити“, како се то види по разматрањима старих филозофа (I, 33, стр. 69). „Ако узмеш да се испод земље налази ваздух (Анаксимен, Анаксагора, Демокрит) или вода питање је како она не пропадне и потоне због своје тежине. Ако предпоставиш да се земља ослања на некакво друго тело, које је тврђе од земље (Ксенофон, Калофан) онда мораш да узмеш како се то тело опет

was created, “the earth was desolate and invisible.” In fact, it was “desolate” because “there was nothing on it” (II, 4, p. 78) and “invisible” for several reasons. First, because there was no light and “deep night” reigned (II, 19, p. 85). Secondly, because “there was no man yet to see it” (II, 4, sr 78) and thirdly, because “the abyss covered it” (II, 18, 84). In other words, because it lay very deep beneath the mass of water, which “surrounded the earth on all sides” (III, 23, p. 106). For the waters “had not yet gathered” into their “gatherings” (II, 4, 78).

The speaker further says, “There are those who hold that matter is “by its nature both invisible and formless, and that ...it was taken over by the Artist who brought into order and thus created from it all that is visible.”

Basil the Great here deals with the Gnostics. He calls them “perverters of the truth” who “distort the meaning of the Holy Scriptures and write according to their own whims” (II, 6, p. 79).

Then the Creator separated the same water with a single “firmament” into two parts: above and below that “firmament” (III, 4, p. 97; III, 45, p. 116). Thus, on the third day, the dry land was separated from the water, which retreated into its “reservoirs”. Immediately, “dry” land appeared, so we should not assume that “the Sun is the cause of the drying of the earth” because it came into being later (IV, 22, p. 128). In addition, “great standing waters, which God later made and called seas” were also separated (II, 4, p. 78).

Basil the Great in particular discussed two major questions: what is the Earth founded on and why is it immobile?

Regarding the first question, the writer advises not to investigate it “because your mind will be confused then”, as can be seen from the considerations of the ancient philosophers (I, 33, p. 69). “If you assume that there is air (Anaximenes, Anaxagoras, Democritus) or water under the earth, the question is how it does not collapse and sink due to its own weight. If you assume that the earth rests on some other body, which is harder than the earth (Xenophon, Calophanes), then you must assume that this body rests on some other hard body beneath

ослања на неко друго тврдо тело испод њега и тако ћемо доспети до бескраја“ (Аристид; I, 34, стр. 70). Уместо свих тих предпоставки Василије Велики закључује: „зар речи из Псалма „Он је на морима земљу основао“ ишта друго казују него то да је земља са свих страна окружена водом? И како то да вода која је течна и по природи се слива низ стрмине, остаје на висинама и никуда не отиче? А ти не помишљаш на то да исту толику, па чак и већу, недоумицу нашем уму представља земља која по себи стоји у простру (IV, 4, стр.123) а по природи је тешка. Али било да сматрамо да земља по себи стоји, било да кажемо да плута поврх воде, не треба да се удаљавамо од благочестивог размишљања већ треба да исповедамо да све заједно одржава сила Творца. Односно, како Псалм каже „у руци Божјој су крајеви земаљски“. То је најпоузданије нашем уму и од користи је онима који слушају“ (I, 36-37, стр. 71; IV, 4, стр. 123).

У погледу „узрока због којих земља стоји непомично“ (I, 38, стр. 71) говорник следи за Аристотелом и тумачењем, које је у то време било општеприхваћено. Каже: „јасно је, дакле, да се према оној тачки, према којој теже поједини делови васељене, сабира и читава васељена. Па пошто камење и дрвеће и све што је земаљско тежи према доле, заиста је то место које је читавој земљи својствено и које јој припада... а разум нам је показао да то „доле“ јесте средиште. Немој се, дакле, чудити што земља никуда не пада јер она по природи заузима средишње место (I, 39, стр. 72-73). То је њено природно и нужно место (I, 38, стр. 72). Земља у ствари „стоји сама по себи“ и равномерност растојања која постоје око ње, не дозвољава да она у ком правцу тоне“ (I, 18, стр. 71). Овде се писац потсмева неким филозофима који распредају и о таквим проблемима (Емподокле).

На занимљив начин Василије Велики се дотиче и питања облика Земље. О томе каже: „Писци који су о свету писали, много су расправљали о облицима земље, односно о томе да ли је земља као лопта или као ваљак, или је можда налик на диск који је одасвуд подједнако заокружен, или на ведро које је у

it, and so we will reach infinity” (Aristides; I, 34, p. 70). Instead of all these assumptions, Basil the Great concludes: “do the words from the Psalm “He founded the earth on the seas” say anything else than that the earth is surrounded on all sides by water? And how is it that water, which is liquid and naturally flows down steep slopes, remains on high ground and does not flow anywhere? And you do not think that the earth, which by itself stands in space (IV, 4, p. 123) and is by nature heavy, presents an equal, and even greater, dilemma to our mind. But whether we consider that the earth stands on itself, or whether we say that it floats on the surface of the water, we should not stray from pious reflection, but should confess that the power of the Creator holds everything together. Namely, as the Psalm says, “in the hand of God are the ends of the earth.” This is most reliable for our mind and is beneficial to those who listen” (I, 36-37, p. 71; IV, 4, p. 123).

Regarding the “reasons why the earth stands still” (I, 38, p. 71), the speaker follows Aristotle and the interpretation that was generally accepted at that time. He says: “It is clear, therefore, that the whole universe is gathered towards that point towards which the individual parts of the universe tend to go. Since stones and trees and everything earthly tend downwards, this is indeed the place that is inherent to the whole earth and belongs to it... and reason has shown us that this “downwards” is the centre. Do not be surprised, therefore, that the earth does not fall anywhere, for it naturally occupies the central place (I, 39, pp. 72-73). This is its natural and necessary place (I, 38, p. 72). The earth actually “stands by itself” and the uniformity of the distances that exist around it does not allow it to sink in any direction” (I, 18, p. 71). Here the writer mocks some philosophers who talk about such problems (Empadocles).

In an interesting way, Basil the Great also touches on the question of the shape of the Earth. He says about this: “The writers who wrote about the world have discussed a lot the shapes of the Earth, that is, whether the Earth is like a ball or like a cylinder, or whether it is like a disk that is equally rounded on all sides, or like a bucket that is hollow in the middle (“for all these theories were expressed by those who wrote

средици шупље („јер све те теорије изразили су они који су писали о свету, оповргавајући једни друге“, Питагора, Платон, Анаксимандар). Нећу сматрати да је наше схватање постања света мање значајно од њиховога због тога што Мојсије, слуга Божији, ништа није рекао да обим земље износи осамнаест миријаде стадија и није измерио на колико се простора у ваздуху пружа сенка земље када се Сунце нађе испод ње, и како та сенка падајући на Месец изазива помрачење“ (IX, 3, стр. 224). Василије Велики је у овом излагању потпуно неправедано циничан према готово свим главним грчким филозофима а свој одговор о том важном питању није дао. Констатација, „ оно што за нас нема никаквог значаја, то је (Мојсије) изоставио као нешто што нам није од користи“ (IV, 3, стр. 124), и није никакав, чак ни површан одговор. За српског читаоца, међутим, овај текст је био веома важан извор различитих тумачења овог проблема.

У ствари Василије Велики добро је знао да је облик Земље једно веома битно питање па, зазирући од јереси гностицизма, избегао је да се отворено изјасни. Мајда би радо прихватио логично мишљење Питагоре, Парменида и Платона о лоптастом облику Земље али не сме то отворено да каже. - Има, међутим, једно место у Шестодневу на коме, поводом кретања Сунца, нехотице пише: да је „дан мера времена за које Сунце пређе хемисфером, која је изнад једне половине земље“ (V-VI, 45-46, стр. 174-175). А, шта је са другом „половином земље“? Ако је то „друга половина“ онда треба да је иста или слична са „првом“; а прва је копно и небеска хемисфера; односно, други део васељене. Из овога се види да је Василије Велики званично прихватио равну Земљу у „ великим морима која обухватају простор наше васељене...заробљен између непрегледних“ вода (III, 30, стр. 110).

С друге стране, Василије Велики није могао олако да пређе преко чињенице да у „Књизи постања“ нема ни речи о питању: од чега је Земља изграђена? Говорник каже да „ти ипак својим умом треба да замислиш како је све изграђено од земље, воде, ваздуха и ватре“ (I, 28, стр. 67), као простих првобит-

about the world, refuting each other”, Pythagoras, Plato, Anaximander). I will not consider our understanding of the creation of the world to be less significant than theirs because Moses, the servant of God, did not say anything about the circumference of the earth being eighteen myriads of stadia, and did not measure to what extent the space in the air is covered by the shadow of the earth when the Sun is below it, and how this shadow, falling on the Moon, causes an eclipse” (IX, 3, p. 224). In this statement, Basil the Great was quite unjustly cynical towards almost all the major Greek philosophers and did not give his answer to this important question. The statement, “what is of no importance to us, was left out (by Moses) as something that is of no use to us” (IV, 3, p. 124), and is no answer, not even a superficial one. For the Serbian reader, however, this text was a very important source of different interpretation of this problem.

In fact, Basil the Great knew very well that the shape of the Earth was a very important issue, so, fearing the heresy of Gnosticism, he avoided making an open statement. Perhaps he would have gladly accepted the logical opinion of Pythagoras, Parmenides, and Plato about the spherical shape of the Earth, but he did not dare say so openly. There is, however, one place in the Six Days where, regarding the movement of the Sun, he inadvertently wrote: that “a day is a measure of the time in which the Sun passes through the hemisphere that is above one half of the Earth” (V-VI, 45-46, pp. 174-175). And what about the other “half of the Earth”? If it is the “second half,” then it should be the same or similar to the “first”; and the first is the land and the celestial hemisphere; that is, the second part of the universe. From this it can be seen that Basil the Great officially accepted a flat Earth in the “great seas that encompass the space of our universe...trapped between immeasurable” waters (III, 30, p. 110).

On the other hand, Basil the Great could not easily overlook the fact that in the “Book of Genesis” there was not a word about the question: what is the Earth made of? The speaker says that “you should still imagine with your mind how everything is made of earth, water, air and fire” (I, 28, p. 67), as simple original elements or “primordial elements” (IV, 26-27, p.

них елемената или „праелемената“ (IV, 26-27, стр. 129). Од њих су изграђене све сложене ствари а „они елементи који су уврштени у какво тело, и потпадају под чулно опажање, поседују спрегу тих својстава. Ништа од онога што видимо и што чулно опажамо, није потпуно само, нити је просто или несмешано; него је земља сува и хладна, ваздух топао и влажан, а ватра топла и сува. Тако из спреге својстава произлази могућност да се сви елементи мешају један са другим. Наиме, сваки од њих меша се са суседним елементом кроз заједничко својство, и кроз заједницу са суседним елементом спаја се са оним који му је противан. Као што се земља, која је сува и хладна, сједињује са водом јер су сродне по хладноћи, а преко воде сједињује са ваздухом, тако исто се сједињују и вода, ваздух и ватра па се остварује круг и складно коло, пошто су сви ови елементи у сагласју, и један другоме одговарју. Њихво различито комбиновано мешање карактерише (сваки) предмет“ (IV, 26-29, стр. 129-130).

На овај начин, по Д. Дргојловићу [5] Василије Велики узима како се „све налази у свему ( I, 28, 67) у једној савршеној хармонији (III, 21, стр. 105; IV, 28-29, стр. 130). При томе, „приписује хармонији посебну улогу у свету, хармонија има улогу природног закона који условљава и сложеност природних стихија“ (стр. 197).

Кроз наведене ставове Василија Великог јасно се види како прихвата учење Емпедокла о „четири праелемента“ и Аристотелову надградњу о њиховим особинама.

Такво је стање свагде где су праелементи „смешани“. Иначе, где су праелементи самостални па се нађу у непосредном односу са својим супротностима они ступају у сталан сукоб - „Троше се у међусобној борби“ (II, 19, 89) све док јачи не надвлада слабијег, на пример као однос ватре и воде (III, 25, стр. 107).

О морфологији копна говорник информиче већином узгредно. Нешто мало више у трећој беседи (III, 28-29 и 30). Ту излаже како постоје на копну многе реке (бујичне и непресушујуће) од којих су неке веома

129). All complex things are built from them, and “those elements that are included in some body, and fall under the sense perception, possess the combination of these properties. Nothing of what we see and perceive with the senses is completely alone, nor is it simple or unmixed; but earth is dry and cold, air is warm and moist, and fire is warm and dry. Thus from the combination of properties arises the possibility that all elements mix with each other. Namely, each of them mixes with the neighbouring element through a common property, and through the union with the neighbouring element it unites with the one that is opposite to it. Just as earth, which is dry and cold, unites with water because they are related in coldness, and through water it unites with air, so likewise water, air and fire unite, and a circle and a harmonious circuit are realized, since all these elements are in harmony and correspond to each other. Their various combined mixing characterizes (each) object” (IV, 26-29, pp. 129-130).

In this way, according to D. Dragojlović [5], Basil the Great takes the view that “everything is found in everything (I, 28, 67) in one perfect harmony (III, 21, p. 105; IV, 28-29, p. 130). In doing so, he “attributes a special role to harmony in the world, harmony has the role of a natural law that conditions the complexity of natural disasters” (p. 197).

Through the above-mentioned positions of Basil the Great, it is clearly seen that he accepts Empedocles’ teaching about the “four primal elements” and Aristotle’s superstructure about their properties.

Such is the state wherever the primal elements are “mixed”. Otherwise, where the primal elements are independent and find themselves in direct relation with their opposites, they enter into constant conflict. “They are consumed in mutual struggle” (II, 19, 89) until the stronger overcomes the weaker, for example, like the relationship between fire and water (III, 25, p. 107).

The orator mostly provides casual information about the morphology of the land. Somewhat more in the third speech (III, 28-29 and 30). There he explains that there are many rivers on the land (torrential and never-ending), some

велике а уз њих налазе се и њихове долине (V, 51, 159). Већином те реке извиру са планина као што су Кавказ, Пиринеји и Рипо (Алпе) (III, 29-39, стр. 109-110). Планине су са „врховима“ (V, 51, стр. 153), „удубинама и избраздане гудурама „ (IV, 13, стр. 125) и „кланцима“ (V, 1, стр. 125). Осим планина, постоје и „равнице“. Неке су мање (V, 27, стр. 146) а неке низије „по величини као највећа мора“ (V, 13, 125). Посебно истиче да постоје и језера разне величине и особина.

Помиње Василије Велики и пустиње (V, 54, 153) и острва у морима (IV, 13, 132; IV, 36, 133). Из свих наведених детаља се јасно види како је говорник доста добро познавао географију свог доба. „Првобитну морфологију суше земље“ описао је дисконтинуирано и верно али без икакве напомене да се она мења током времена.

У погледу описивања „сухог“ копна писац наводи само још како су многи његови делови „порозни и препуни шпиља“ и додаје да „исто тако у подземљу се налазе кривудасти и прави канали и пролази“ (IV, 32-33, стр. 132), Логично је што је аутор пренео ово схватање Анаксимандра и других грчких природњака јер је то упадљиво видљиво и позната особина грчког карста. Та идеја је упорно и озбиљно преношена у науци све до XIX века. Најпотпуније пренета је и графички приказана од стране А. Кирхера [13].

#### О ВОДИ

На првом месту, вода је важан градивни праелемент васељене. Када је створен свет, вели Василије Велики, „неизмерно мноштво воде било је разливано по земљи и није било сразмерно њој, већ ју је многоструко премашивало“. То није било случајно „јер велики Уметник, је тако предвидео будућност“. О томе беседник каже: Ватра и вода у васељени као „два елемента противни су један другоме и уништавају један другога: ватра, наиме, уништава воду када преовладава у снази, а вода уништава ватру када је надмашује мноштвом. Дакле, старајући се толико о течности, Бог ју је сву ускладиштио на такав начин да она истраје до постављене границе саздања света и да се полако троши

of which are very large and have their valleys alongside them (V, 51, 159). Most of these rivers originate from mountains such as the Caucasus, the Pyrenees and the Ripo (=Alps) (III, 29-39, pp. 109-110). The mountains have “peaks” (V, 51, p. 153), “hollows and furrowed by ravines” (IV, 13, p. 125) and “ravines” (V, 1, p. 125). In addition to mountains, there are also “plains”. Some are smaller (V, 27, p. 146) and some are plains “as large as the largest sea” (V, 13, 125). He especially emphasizes that there are also lakes of various sizes and characteristics.

Basil the Great mentions deserts (V, 54, 153) and islands in the seas (IV, 13, 132; IV, 36, 133). From all the above details it is clear that the speaker knew the geography of his time quite well. He described the “original morphology of the dry land” discontinuously and faithfully, but without any mention of its changing over time.

In terms of describing the “dry” land, the writer only states that many of its parts are “porous and full of caves” and adds that “there are also crooked and straight channels and passages in the underground” (IV, 32-33, p. 132). It is logical that the author conveyed this understanding of Anaximander and other Greek naturalists because it is a strikingly visible and well-known feature of the Greek karst. This idea was persistently and seriously conveyed in science until the 19th century. It was most fully conveyed and graphically depicted by A. Kircher [13].

#### ABOUT WATER

First of all, water is an important building block of the universe. When the world was created, says Basil the Great, “an immense amount of water was spread over the earth and was not proportional to it, but exceeded it many times over.” This was no accident, “for the great Artist thus foresaw the future.” The orator says about this: Fire and water in the universe as “two elements are opposed to each other and destroy each other: fire, namely, destroys water when it prevails in strength, and water destroys fire when it surpasses it in quantity... Therefore, taking such care of the liquid, God stored it all in such a way that it would last until the set limit of the creation of the world and would slowly be consumed by the power of fire. He,

снагом ватре. Онај, дакле, који је све то постепено и са мером устројио знао је колико је времена одредио свему за трајање“ ( III, 25, стр. 106-107).

Заповешћу Божијом, „створено је велико пространство, спремиште у кога се стекло мноштво воде“ (IV, 15, стр. 126). Тај простор Василије Велики је назвао и „збориште“ па пише да то нису „случајне скупине воде, већ изузетне и највеће у којима се показује сабрано сво вештество воде“ ((IV, 17, стр. 126). Јер је то збориште веће од свих и по величини „једнако са земљом“ (IV,18, стр, 127).

За разлику од огромне водене масе, која се налази у морима, на копну има мањих зборишта вода које стално теку „саме од себе“ јер првобитном заповешћу „никада не поустају“ (IV, 9, стр. 123).

Језера, на пример, могу да имају „мноштво воде, која је по заповести скупљена течењем у своја зборишта и никуда не отичу..Них није могуће назвати морима чак и ако су нека слана и густа, те су слична великом мору, као што је Асфалтитско језеро (=Мртво море) у Јудеји и Сервоатско језеро, које се протеже између Египта и Палестине у Арапској пустињи“ (IV,18, 127). Језера су често стецишта река (IV, 13, стр. 132).

Говорник истиче како је „многа воде разливено по земљи, те се она простире поврх свега видљивог и коначно продире у све дубине земаљске“ (III, 28. стр. 108). Помиње и зденце (бунаре) који су у ствари „рукотворена зборишта водена, пошто се течност која је разасута испод тла излива у места издубљена у земљи“.

Када је реч о текућим водама Василије Велики каже: „стојећи повише извора из којег теку читави потоци, помислиш: ко ли ту воду потискује из лагума земаљских; куда та вода стреми; како се ти извори не исцрпљују; и како се стецишта водена не препуне?“ Главне одговоре је прихватио од античких природњака (Аристотела и др).

Василије Велики истиче да „главни извор сваке течности на земљи представља морска

therefore, who gradually and with measure arranged all this... knew how much time he had determined for everything to last” (III, 25, pp. 106-107).

By God’s command, “a great expanse was created, a storehouse in which a multitude of water was gathered” (IV, 15, p. 126). Basil the Great also called this space a “meeting place” and wrote that these are not “random gatherings of water, but exceptional and largest in which all the magic of water is displayed together” ((IV, 17, p. 126). Because this meeting place is larger than all others and in size “equal to the earth” (IV, 18, p. 127).

Unlike the vast mass of water found in the seas, on land there are smaller pools of water that constantly flow “of their own accord” because, according to the original command, “they never cease” (IV, 9, p. 123).

Lakes, for example, can have “a multitude of waters, which, according to the command, are gathered by flowing into their pools and do not flow anywhere. They cannot be called seas even if some are salty and dense, and are similar to a large sea, such as the Asphaltite Lake (=Dead Sea) in Judea and the Serboat Lake, which stretches between Egypt and Palestine in the Arabian Desert” (IV, 18, 127). Lakes are often the confluences of rivers (IV, 13, p. 132).

The speaker emphasizes that “a lot of water is spread over the earth, so that it spreads over everything visible and finally penetrates all the depths of the earth” ((III, 28, p. 108). He also mentions wells, which are in fact, “man-made water reservoirs, since the liquid that is scattered under the ground pours out into places hollowed out in the earth”.

When it comes to flowing waters, Basil the Great says: “standing above a spring from which entire streams flow, you think: who is pushing this water out of the earth’s underground tunnels; where is this water heading; how are these springs not exhausted; and how are the water pools not overflowing?” He accepted the main answers from ancient naturalists (Aristotle and others).

Basil the Great points out that “the main source of every liquid on earth is sea water.” It flows into

вода. „Она се разлива у невидљиве подземне проходе, као што доказују они делови копна који су порозни и препуни шпиља, испод којих као кроз некакве канале протиче море, па када вода испуни кривудава, а не праве, подземне канале, покренута је ветром који потискује, па разарајући површину земље излази напоље. Тамо се цеђењем ослобађа горчине те тако постаје питка“ (IV, 32, стр. 132). Тако настају стални извори и по Аристотелу. (Ово тумачење о морском пореклу изворских вода, такође, је било веома распрострањено и вековима узимано као непобитна истина.) Занимљиво је, међутим, да је Василије Велики дозволио да се нешто слично може узети и за оне „воде које су у близини река“ (IV, 33, стр. 132). Другим речима, сматра да неки извори поред река могу да потичу од воде из суседних површинских токова.

Воде које теку „саме од себе“ (IV, 10, стр. 123) „било да су од зимских бујица било да су непресушне“ у виду река разне величине браздају „простор наше васељене“. Затим, писац као примере наводи многе велике реке и њихове притоке из тада познатог Средоземног света од Инда и Нила, преко Аракоса, Дона и Истра до река са Пиринеја (III, 28-29, стр. 108-110). За наше људе занимљиво је да говори и о Истру (стари назив за Дунав) како „се, протежући дуж Европе, предаје Црном мору“ (III, 29, 109). Мора су стецишта свих тих река јер „примају токове са свих страна.

За термалне и минералне изворе аутор узима да вода из подземних канала „излазећи напоље од метала испод површине прима и својство топлоте; а од ветра који је покреће, постаје врела и често као огањ то се може видети на многим острвима и на многим обалским местима“ (IV, 33, стр. 132).

Осим свега поменутог о води, Василије Велики је изложио и знање о „умственом кретању воде“. Море „загревано зрацима Сунца, постаје узрок и извор ваздушних вода, те са испарењима испушта и најситније честице воде, које се, привучене у висине, затим хладе, јер се пењу повише од зрака који се одбијају

invisible underground passages, as evidenced by those parts of the land that are porous and full of caves, under which the sea flows as if through some kind of channels, and when the water fills the crooked, and not straight, underground channels, it is set in motion by the wind that pushes it, and, destroying the surface of the earth, it comes out. There, by squeezing, it is freed from bitterness and thus becomes drinkable” (IV, 32, p. 132). This is how permanent springs are created, according to Aristotle. (This interpretation of the marine origin of spring waters was also very widespread and for centuries was taken as an undeniable truth.) It is interesting, however, that Basil the Great allowed that something similar could be taken for those “waters that are near rivers” (IV, 33, p. 132). In other words, he believes that some springs next to rivers may originate from water from neighbouring surface streams.

Waters that flow “of their own accord” (IV, 10, p. 123) “whether from winter torrents or from inexhaustible” in the form of rivers of various sizes furrow “the space of our universe”. Then, the writer cites as examples many large rivers and their tributaries from the then known Mediterranean world from the Indus and the Nile, via the Araxos, the Don and the Istrian to the rivers of the Pyrenees (III, 28-29, pp. 108-110). For our people, it is interesting that he also speaks of Istria (the old name for the Danube) as “stretching along Europe, it gives itself to the Black Sea” (III, 29, 109). The seas are the confluences of all these rivers because “they receive flows from all sides.

For thermal and mineral springs, the author assumes that water from underground channels “coming out from the metal beneath the surface also receives the property of heat; ... and from the wind that moves it, it becomes hot and often like fire... this can be seen on many islands and in many coastal places” (IV, 33, p. 132).

In addition to everything mentioned about water, Basil the Great also presented knowledge about the “mental movement of water”. The sea “heated by the rays of the Sun, becomes the cause and source of air waters, and with evaporation it releases even the smallest particles of water, which, drawn to the heights, then cool, because they rise higher than the rays that are reflected from the

од Земље, а пошто сенка неба истовремено распростире хладнћу оне постају киша која натапа земљу“ (IV, 34, стр. 132; III, 40, стр. 114).

#### О ВАЗДУХУ

Ваздух је такође један од важних праелемената васељене између “земље и неба“. Налази се смешан и у Земљи. „То нам показују испарења која она испушта из себе када је влажну Сунце загрева“ (I, 28-29, стр. 67). Затим, Василије Велики каже: „нема га испод земље јер би она ту меку твар са мноштвом празнина...толиком тежином, која га притиска и не би могло бити да се ваздух не провали и не распе на све стране. У ствари он је увек горе преко земље“ (I, 33, стр. 69).

Ваздух у почетку стварања „није био... покривач земље, природа ваздуха је ретка и провидна, и у њему се крећу све врсте видљивих створења а он их показује очима оних који гледају“ (II, 14, стр. 82). Тада се ваздух налазио „разливан изнад...бездана,...који је прекривао земљу“ (II, 18, стр. 84; II, 27, стр. 88) а по њему је био...“дух Божији“ (II, 28, стр. 88). Пошто се повукла вода и настала светлост, „Ваздух беше обасјан, боље рећи, у потпуности помешан са светлошћу, одашиљући посвуда у све своје пределе јасне блиставе зраке. Јер у висину је достигао до самог етера и до неба, а у ширину је у трен ока обасјао све делове света... Његова природа је толико танана и прозирна, да светлости не треба ни најмањи проток времена да би кроз њега прошла“ (II, 31-32, стр. 90).

„Чврст и опипљив ваздух када је затечен у теснацу облака и кад проваљује насилно одатле производи тресак и грмљавину“ а то је „утврђивање грома“ (III, 18-19, стр. 104).- Може и да се „креће па тада постаје ветар“ (IV, 32, стр. 132); који покреће и потискује „поземне воде“ (Аристотел) или на „морима прави велике таласе“ (IV, 12, стр. 124).

„Јасно ћеш видети... ваздух који се разлива, који је по својој природи мек и влажан, и који свему што га удише даје своју трајну храну; а због своје тананости узмиче и раздваја се пред оним стварима које се крећу

Earth, and since the shadow of the sky at the same time spreads out its cold, they become rain that soaks the earth” (IV, 34, p. 132; III, 40, p. 114).

#### ABOUT AIR

Air is also one of the important protoelements of the universe between “earth and sky”. It is also found in the Earth. “This is shown to us by the vapours that it emits from itself when the moist Sun heats it” (I, 28-29, p. 67). Then, Basil the Great says: “it is not found under the earth because it would have that soft substance with a multitude of voids... such a weight, which presses it down and it could not be there for the air would break through and spread out on all sides. In fact, it is always above the earth” (I, 33, p. 69).

At the beginning of creation, air “was not... a ground cover, the nature of air is rare and transparent, and in it all kinds of visible creatures move and it shows them through the eyes of those who are looking” (II, 14, p. 82). At that time, the air was “spread out over...the abyss,... which covered the earth” (II, 18, p. 84; II, 27, p. 88) and it was covered by...“the spirit of God” (II, 28, p. 88). After the water receded and light appeared, “The air was illuminated, or rather, completely mixed with light, sending forth clear, brilliant rays everywhere in all its regions. For in height it reached the very ether and the sky, and in breadth it illuminated all parts of the world in the twinkling of an eye... Its nature is so thin and transparent that light does not need even the slightest passage of time to pass through it” (II, 31-32, p. 90).

“Solid and tangible air, when it is caught in a strait of clouds and when it breaks through violently, it produces a crash and thunder from there” and this is the “strengthening of thunder” (III, 18-19, p. 104). It can also “move and then become wind” (IV, 32, p. 132); which moves and pushes “the waters of the earth” (Aristotle) or “makes great waves on the seas” (IV, 12, p. 124).

“You will clearly see... the air that spreads out, which is by its nature soft and moist, and which gives its permanent nourishment to everything that breathes it; and because of its thinness it retreats and separates itself from those things

тако да не представља препреку, за кретање кроз њега“ (IV, 4, стр. 121). Када се „Сунце сели јужним крајевима и тиме чини да се у нашем крају продужи сенка ноћи; тада се охлади ваздух који је при земљи, и сва испарења течности се сабира изнад нас изазивајући тако кишу и мраз и велики снег“ (VI, 40, стр. 171). „Одатле селећи се ка северу... Сунце нам пружа најдуже дане. Па пошто дуго времена остаје у ваздуху, оно чини ужареним ваздух над нашим главама и исушује сву земљу, помажући тиме да се развије засејани биљни свет“ (VI, 42, стр. 172).

У смени дана и ноћи и када „Сунце има власт над даном... дан представља ваздух који је осветљен Сунцем“ (VI, 45, стр. 172).

„Ваздушне промене се такође, прилагођавају... Месечевим менама; о томе нам сведоче изненадне олује, које се за време младог месеца често појављују, после спокојног и тихог времена“ и „морске струје, плима и осека“ (VI, 59, стр. 179-180).

„Што је за копнене животиње ваздух то је за пловне врсте вода, разлог за то је очит. У нас, наиме, постоје плућа, један порозан шупљикав орган, који када се прса надимају, узима у себе ваздух те њиме блажи и расхлађује нашу унутрашњу топлоту, док водене животиње дишу ширењем и скупљањем шкрга“ (VII, 5, стр. 185).

„Птице ... на сличан начин уз помоћ крила плове по ваздуху“ (VIII, 11, стр. 205).

„Чиопе... се хране оним што лети по ваздуху“ (VIII, 11-12, стр. 205). „Ваздух је преиспуњен птицама које по њему лете“ (VIII, 32, стр. 215).

По Светом писму „небо се пак, овде тако назива јер је ваздух над нашим главама нешто сабијенији у поређењу са тежином етера и гушћи због испаравања која оздо долазе“ (VIII, 32, стр. 215).

У антици су веровали да у васељени постоји посебно гасовито стање које су називали „етер“. Због тога и Василије Велики га исто узима у обзир и о њему каже: етер је „

that move so that it does not present an obstacle to movement through it” (IV, 4, p. 121). When “the sun moves to the southern regions and thereby causes the shadow of night to lengthen in our region; then the air that is near the ground cools, and all the vapours of the liquid gather above us, thus causing rain and frost and heavy snow” (VI, 40, p. 171). “From there, moving northward... the sun gives us the longest days. And since it remains in the air for a long time, it makes the air above our heads hot and dries out all the earth, thereby helping the sown plant world to develop” (VI, 42, p. 172).

In the change of day and night and when “the Sun has power over the day... the day represents the air that is illuminated by the Sun” (VI, 45, p. 172).

“The changes of the air also adapt themselves... to the moon phases; this is evidenced by the sudden storms, which often appear during the new moon, after calm and quiet weather” and “the currents of the sea, the tides and the ebbs” (VI, 59, p. 179-180).

“What air is to land animals, water is to floating species, and the reason for this is obvious. In us, namely, there are lungs, a porous hollow organ, which when the chest is inflated, takes in air and with it softens and cools our internal heat, while aquatic animals breathe by expanding and contracting their gills” (VII, 5, p. 185).

“Birds ... in a similar way, with the help of their wings, navigate through the air” (VIII, 11, p. 205).

“Shrike ... feeds on what flies through the air” (VIII, 11-12, p. 205). “The air is full of birds that fly through it” (VIII, 32, p. 215).

According to the Holy Scriptures, “the sky is called so here because the air above our heads is somewhat more compressed compared to the weight of the ether and denser due to the evaporations that come from below” (VIII, 32, p. 215).

In antiquity, they believed that there was a special gaseous state in the universe that they called “ether”. Therefore, Basil the Great also takes it into account and says about it: ether is

горњи разређени део ваздуха“. По природи је „огњен и запаљив“ (III, 33, стр. 111), тако „ко би га спречио да запали и да сагори све што је у његовој близини. Због тога постоји ваздушна вода а горњи простори су покривени облацима како се етер не би свега дохватио и све сагорео“.

#### О СВЕТЛОСТИ

Василије Велики у четвртом предавању говори о светлости зато што хоће да увери слушаоце како је баш светлост један од битних услова за живот на Земљи. Сигурно је, такође, да су и Срби из свакодневног искуства већ знали много ствари о којима пише у Шестодневу. Због тога у овом одељку се наводи већином оно што Срби нису довољно познавали тадашња тумачења у Византији о особинама и пореклу појаве. Нарочито о „наднебеској светлости“ (II, 25-26, стр. 87-88) и о важним особинама „два светлила Сунцу и Месецу који нису исти“ (VI, 17, стр. 160) а одређују „небеску светлост“ (II, 45, стр. 93).

На првом месту, пре пријема хришћанства Срби нису ни слутили да је прво створена само „појава светлости“ па тек онда накнадно и „два светлила Сунце и Месећ“ (I, 17, стр. 62; IV, 9, 158). Прва светлост је била само привремена, „умствена“ и чекала је свој узрок (I, 49, стр. 62).-Пре те светлости, говорник истиче, постојала је само „вечна, права умствена светлост“ која се налази, од тада, само изван наше васељене (II, 25-26, стр. 87-88).

Потом, тешко да су Срби ишта знали да је баш „Творац Сунце створио да буде носилац ове првостепене светлости и свог га зажегао“ (VI, 10, стр. 159) и „подарио му топлоту“ сразмерну његовом удаљеношћу од земље... да својом претераном силином не сажеже земљу“ (VI, 53, стр. 178). При томе, одредио је Сунцу да за равнотежу његовој „ватри користи ону воду од испаравања мора и других базена“ (III, 35-37, стр. 112-113).

Исто тако Срби нису знали да је „Сунце... примило светлост и мешало га са собом

“the upper rarefied part of the air”. By nature, it is “fiery and flammable” (III, 33, p. 111), so “who could prevent it from setting fire to and burning everything in its vicinity. Therefore, there is air water and the upper spaces are covered with clouds so that the ether would not reach everything and burn everything”.

#### ABOUT LIGHT

In the fourth lecture, Basil the Great speaks about light because he wants to convince his listeners that light is one of the essential conditions for life on Earth. It is also certain that the Serbs already knew many of the things he writes about in the Six-Days from their everyday experience. Therefore, this section mostly states what the Serbs did not know enough about the interpretations of the time in Byzantium about the properties and origin of the phenomenon. In particular, about the “supercelestial light” (II, 25-26, pp. 87-88) and about the important properties of the “two luminaries of the Sun and the Moon that are not the same” (VI, 17, p. 160) and that determine the “celestial light” (II, 45, p. 93).

In the first place, before the adoption of Christianity, the Serbs did not even suspect that only the “appearance of light” was created first, and only later on the “two luminaries, the Sun and the Moon” (I, 17, p. 62; IV, 9, 158). The first light was only temporary, “mental” and awaited its cause (I, 49, p. 62). Before that light, the speaker emphasizes, there was only the “eternal, true mental light” which has been located, since then, only outside our universe (II, 25-26, p. 87-88).

Also, it is unlikely that the Serbs knew anything about the fact that “the Creator created the Sun to be the bearer of this primary light and set it on fire” (VI, 10, p. 159) and “gave it heat” proportional to its distance from the earth... so that it would not burn the earth with its excessive force” (VI, 53, p. 178). In doing so, he ordered the Sun to use the water from the evaporation of the sea and other basins to balance its “fire” (III, 35-37, pp. 112-113).

Likewise, the Serbs did not know that “the Sun...received light and mixed it with itself and retained that light, not removing it from itself, while the Moon continually casts off light from

и ту светлост задржава, не одлажући је од себе, док Месец непрекидно збацује са себе светлост и изнова се њом огрће“ (VI, 16-17, стр. 160-161).

Затим Василије Велики опширно говори о Сунцу које се „окреће кружно по небу (II, 41, стр. 93)... па тако ствара услове за дан, када је на полулопти неба изнад земље“ а „ноћ када се заклони“ (II, 38, стр.97). Истовремено полакао се премешта према југу и враћа пема северу што утиче на смену „годишњих доба“ (VI, 39-42, стр. 171). На тај начин „заокружује време од годину дана, када се врати на исто оно место са кога је почело померање“ (VI, 46, стр. 174).

О времену, међутим, „постоји... веома значајно слово, које се преноси скривеним предањем“. Како је Творац „одредио период дана као мерне јединице за мерење (времена), и мерећи га седмицама, заповедио да се седмице стално понављају бројећи тако проток времена. Седмицу, опет сачињава један дан који се понавља седам пута, а то је кружни облик јер почиње од њега и завршиће се њиме. Веку је, дакле, својствено управо то, да се враћа у себе и да се нигде не завршава. Отуда у Св. Писму на више места се говори „век векова“ и векови векова“ (II, 42-43, стр. 94).

О Сунцу Василије Великии полемисе са другачијим схватањима, па каже како „неки кажу да сунчева топлота долази од брзог обртања“ (III, 34, стр. 112; Аристотел). Побија такође, и мишљење „неких заблуделих природњака да је Сунце виновник свега што расте на земљи... јер је оно по свом настанку млађе од траве и биља“ (VI, 3-4, стр. 134-135).

После Сунца говорник се посвећује тумачењу „Месеца и његових мена“ (VI, 15-16, стр. 160). Василије Велики констатује: „Све оно што је речено о Сунцу, може се применити и када је реч о Месецу. Јер и његово тело је велико и после Сунца најблиставије. Али он ипак није увек видљив свом својом величином него је његов круг некад савршен а некада изгеда непотпун и умањен, показујући са обе своје стране део који му

itself and again clothes itself with it” (VI, 16-17, pp. 160-161).

Then Basil the Great speaks at length about the Sun which “revolves in a circle in the sky (II, 41, p. 93)... and thus creates the conditions for day, when it is in the hemisphere of the sky above the earth” and “night when it is hidden” (II, 38, p. 97). At the same time, it slowly moves to the south and returns to the north, which affects the change of “seasons” (VI, 39-42, p. 171). In this way, it “completes the time of one year, when it returns to the same place from which the movement began” (VI, 46, p. 174).

About time, however, “there is... a very significant word, which is transmitted by hidden tradition”. How the Creator “determined the period of the day as a unit of measurement for measuring (time), and measuring it in weeks, commanded that the weeks be constantly repeated, thus counting the flow of time. A week, however, is made up of one day that is repeated seven times, and this is a circular form because it begins with it and will end with it. It is inherent for age, therefore, that it returns to itself and does not end anywhere. Hence in the Holy Scripture it is spoken in several places of “age of ages” and ages of ages” (II, 42-43, p. 94).

Basil the Great disputes different views about the Sun, saying that “some say that the sun’s heat comes from its rapid rotation” (III, 34, p. 112; Aristotle). He also refutes the opinion of “some misguided naturalists that the Sun is the cause of everything that grows on earth... because it is younger in its origin than grass and plants” (VI, 3-4, pp. 134-135).

After the Sun, the narrator devotes himself to the interpretation of “the Moon and its phases” (VI, 15-16, p. 160). Basil the Great states: “Everything that has been said about the Sun can also be applied to the Moon. For its body is also large and, after the Sun, the most brilliant. But it is not always visible in its full size, but its circle is sometimes perfect and sometimes appears incomplete and diminished, showing on both sides the part that is missing. For when it grows, one part of it is darkened, and during the time of its decrease, the other part remains

недостаје. Јер кад расте онда је један његов део помрачен, а у време смањивања, други део му остаје скривен“. Дакле, у тој честој промени облика, постоји један неизрециви наук премудрог Творца“ (VI, 54-55, стр. 178). Овде говорник, немоћан да објасни узрок месечевих мена (а није прихватио тумачење како „сенка сунчеве светлости узрокује месечеве мена“, IX, 3, стр. 224), користи прилику да пређе на социјалну тематику, па додаје поуку: „та месечева мена пружа јасан пример наше природе, односно казује да ништа што је човечанско није постојано“.

Настављајући даље говорник о Месецу каже: „пошто Месец стигне до властитог врхунца и пошто у потпуности наврши своју крајњу меру, постепеним опадањем се троши и пропада, и на концу се потпуно смањи и нестане“ (VI, 55, стр. 178). Опет овде позива се на промене у човековом животу.

Василије Велики доста објашњавања посветио је величини Сунца и Месеца. Прво је закључио да је „Сунце, које је подложно пропадљивости“, „велико“ и „сразмерне величине са васењеном“ (VI, 6, стр. 175). Затим, вели да је и Месец огroman али изгледа мањи јер га сви ми гледамо „са толико велике даљине“ (VI, 64, стр. 182). То је „познато и на земљи: када гледамо људе и предмете у даљини они су мали, када им се приближи-мо видимо да су велики“ (VI, 50, стр. 176).

У небеску светлост спада и круна од „венца звезда“ (II, 4, стр. 78). Без обзира што их је много „оне нису тако светле као Сунце и Месец“ (VI, 52, стр. 177). Тај „украш неба“ (VI, 3, стр. 156) Халдејци (Вавилонци) узимају за основу „науке о данима рођења“ (VI, 24, стр. 164). Они „веле како наш живот зависи од кретања небеских тела“. Односно, тврде „Да узајамни однос појединих звезда које се крећу и звезда које се налазе у зодијачком кругу, када оне образују одређени облик, одређују овакву или онакву судбину“ појединца (VI, 24, 164-165). За ту „смешну непостојећу вештину“ (Астрологију; VI, 29, стр. 167) Василије Велики истиче како има „много безумља, а још више базбожности... Ако и постоје какве звезде које чине човеку штету, онда би требало закључити да је уз-

hidden from it.” Therefore, in this frequent change of form, there is an ineffable teaching of the all-wise Creator” (VI, 54-55, p. 178). Here the narrator, unable to explain the cause of the moon's phases (and not accepting the interpretation that “the shadow of the sunlight causes the moon's phases” (IX, 3, p. 224), uses the opportunity to move on to social topics, and adds a lesson: “that phase of the moon provides a clear example of our nature, and it says that nothing that is human is permanent.”

Continuing further, the narrator says about the Moon: “after the Moon reaches its own peak and after it has fully reached its ultimate measure, by gradual decline it is consumed and it decays, and in the end it completely diminishes and disappears” (VI, 55, p. 178). Here again he refers to the changes in human life.

Basil the Great devoted a lot of explanation to the size of the Sun and the Moon. First, he concluded that “the Sun, which is subject to decay”, is “large” and “of a size commensurate with the universe” (VI, 6, p. 175). Then, he says that the Moon is also huge but appears smaller because we all look at it “from such a great distance” (VI, 64, p. 182). This is “known on earth: when we look at people and objects in the distance, they are small, when we approach them we see that they are large” (VI, 50, p. 176).

The celestial light also includes a crown of “a garland of stars” (II, 4, p. 78). Regardless of the fact that there are many of them, “they are not as bright as the Sun and the Moon” (VI, 52, p. 177). This “ornament of the sky” (VI, 3, p. 156) is taken by the Chaldeans (Babylonians) as the basis of the “science of birth dates” (VI, 24, 164). They “say that our life depends on the movement of the heavenly bodies”. That is, they claim “that the mutual relationship of individual moving stars and the stars located in the zodiac circle, when they form a certain shape, determine this or that fate” of an individual (VI, 24, 164-165). For this “ridiculous non-existent art” (Astrology; VI, 29, p. 167), Basil the Great points out that there is “much foolishness, and even more impiety... If there are any stars that harm man, then it should be concluded that the cause of their evil lies in the one who creat-

рок њиховог зла у оном ко их је створио“ (VI, 35, стр. 169). „Јер се ништа не би збивало по човечијој вољи“ (VI, 38, стр. 171).- Све му томе Василије Велики се супротставља и, остајући на свом ставу, благонаклоно Халдејцима поручује „Има ли ишта смешније од овога“ (VI, 31, стр. 167).

#### О МОРУ

Мора су највећа зборишта воде. Постоје и изузетно велика мора, која обухватају „простор наше васељене... заробљене између непрегледних“ вода (III, 30, стр. 110). По њима се „морепловци не одважују на пловидбу“ (IV, 15, стр. 126). У њима „нема острва нити са друге стране има икаквог копна“ (VII, 20, стр. 196). То су: „северно, јужно, источно и западно море“. Постоје, међутим, и „посебних имена нека мора мања“ као што је Црно море, Пропонтијско море, Хелеспонт, Егејско море и Јонско и Сардинијско, па пет Сицилијанско и Тиренијско“ (IV, 20, стр. 128). Та мора су, међутим, повезана па се због тога за неко привидно изоловано море, као што је Каспијско и Црвено море представља да су „некаквим отвором“ спојена са највећим морима“ (IV, 18, стр. 127). (Ово последње „објашњење“ било је омиљена тима античких писаца; Аристотел и др). „Мора су слана и горка зато што им је таква природа, а не само зато што Сунце испарава воду из њих“ (III, 37, 113, Аристотел).

Мора „имају велику снагу. Међутим, иако често бесне због дувања ветрова, и подижу таласе до великих висина, када стигне до својих обала, распршујући своју жестину у пену враћа се назад... Наиме, песком, који је од свега најслабији, обуздано је море које је незадрживе силине, ко би иначе спречио Црвено море да се разлије по читавом Египту, који је нижи од њега“ (IV, 12, стр. 124; Аристотел). Уз то, Василије Велики обавештава читаоца о неуспелим покушајима египатских фараона да повежу „Египатско и Индијско, у коме је и Црвено море“ (IV, 13, 124).

Василије Велики говори, такође, и о појавама плиме и осеке; односно о издизању и спуштању морске површине услед „месечевих мена“ (VI, 59, стр. 180).

ed them” (VI, 35, p. 169). “For nothing would happen according to man’s will” (VI, 38, 171). Basil the Great opposes all this and, remaining true to his position, benevolently addresses the Chaldeans “Is there anything more ridiculous than this” (VI, 31, p. 167).

#### ABOUT THE SEA

Seas are the largest bodies of water. There are also extremely large seas, which encompass “the space of our universe... trapped between immeasurable” waters (III, 30, p. 110). In them “sailors do not dare to sail” (IV, 15, p. 126). In them “there are no islands, nor on the other side is there any land” (VII, 20, p. 196). These are: “the northern, southern, eastern and western seas”. There are, however, also “special names for some smaller seas” such as the Black Sea, the Propontian Sea, the Hellespont, the Aegean Sea, the Ionian Sea, the Sardinian Sea, the Five Sicilian Seas, and the Tyrrhenian Sea” (IV, 20, p. 128). These seas are, however, connected, and therefore some apparently isolated seas, such as the Caspian and the Red Seas, are assumed to be connected to the largest seas by “some kind of opening” (IV, 18, p. 127). (This last “explanation” was a favorite of a team of ancient writers; Aristotle et al.). “The seas are salty and bitter because that is their nature, and not only because the Sun evaporates the water from them” (III, 37, 113, Aristotle).

Seas “have great power. However, although they often rage because of the blowing of the winds, and raise the waves to great heights, when they reach their shores, dispersing their violence into foam, they return back... Namely, by sand, which is the weakest of all, the sea is restrained, which is of unstoppable force, otherwise who would prevent the Red Sea from spreading over all of Egypt, which is lower than it” (IV, 12, p. 124; Aristotle). In addition, Basil the Great informs the reader about the unsuccessful attempts of the Egyptian pharaohs to connect “Egypt and India, in which is the Red Sea” (IV, 13, 124).

Basil the Great also speaks of the phenomena of tides; that is, the rising and falling of the sea surface due to the “changes of the moon” (VI, 59, p. 180).

Говорник посебно истиче Северно море због његових особености „Слађа је, на име, она вода од воде осталог мора, јер се Сунце над њом кратко здржава и својим зрацима не извлачи из ње све оно што је питко.“ Оно је „плитко и пространо и изложено јаким ветровима, те има мало обала и дубоких места. Због тога га ветрови лако могу узбуркати до самог дна, тако да се таласима меша и песак који је у дубинама. Оно је, такође, зими веома хладно и у њега се уливају многе велике реке“ (VII, 23-24, стр. 192-193; Аристотел).

#### О ОРГАНСКОМ СВЕТУ, МИНЕРАЛИМА И МЕТАЛИМА

Скоро половину свог излагања на Шестоднев Василије Велики употребио је за образлагање органског света (V, VII, VIII и IX беседа). Ту има велика количина података, тумачења и мишљења о биљкама и животињама, који се мало односе на знања о пореклу, саставу, и догађајима везаним за Земљу. Ово је изванредан део књиге у коме има толико много материјала занимљивог за биологе.

Када су биљке у питању Василије Велики каже да су оне „на заповест изникнуле из земље у виду небројеног мноштва растиња“. Потом, додаје: „та заповест и сада пребива у земљи и сваке године испољи силу да настану трава и семење и дрвеће и то ће бити све до опшег окончања васељене“ (V, 55-56, стр. 154). Ова говорникова реченица, поред низа других али мање директних, јасно открива врло одређен и јасан теолошки дуализам Василија Великог. - Сунце „није виновник свега што расте из земље... оно је по свом постанку млађе“ (V, 3-4, стр. 135-136). Осим тога, „ништа од тога биља није настало узалуд и без икакве користи“ (V, 21, стр. 141), јер или је храна животињама или служи као лек од болести.

О животињама говорник каже: да свака од њих „узастопним пријемством чува неизмењивост своје врсте све до окончања васељене“ (IX, 6, стр. 226). Занимљиво је да Василије Велики за птице сматра да су као и рибе и „потичу из воде“ (VIII, 11, 205). При

The speaker particularly highlights the North Sea because of its peculiarities: “ Namely, that water is sweeter than the water of the rest of the sea, because the Sun stays over it for a short time and does not extract from it with its rays all that is drinkable.” It is “shallow and spacious and exposed to strong winds, and has few shores and deep places. For this reason, the winds can easily stir it to the very bottom, so that the sand that is in the depths is mixed with the waves. It is also very cold in winter and many large rivers flow into it” (VII, 23-24, pp. 192-193; Aristotle).

#### ON THE ORGANIC WORLD, MINERALS AND METALS

Almost half of his lecture at the Sixth Day, Basil the Great devoted to explaining the organic world (discourses V, VII, VIII and IX). There is a large amount of data, interpretations and opinions about plants and animals, which have little to do with knowledge of the origin, composition and events related to the Earth. This is an extraordinary part of the book, in which there is so much material of interest to biologists.

When it comes to plants, Basil the Great says that they “sprouted from the earth at the command in the form of an innumerable multitude of plants”. Then, he adds: “that command even now resides in the earth and every year manifests its power to produce grass and seeds and trees, and this will be until the general end of the universe” (V, 55-56, p. 154). This sentence of the narrator, in addition to a number of others but less direct, clearly reveals a very specific and clear theological dualism of Basil the Great. The sun “is not the culprit of everything that grows from the earth... it is younger in its origin” (V, 3-4, pp. 135-136). In addition, “none of these plants arose in vain and without any benefit” (V, 21, p. 141), because they are either food for animals or serve as a medicine for diseases.

Regarding animals, the narrator says: that each of them “preserves the immutability of its species by successive reception until the end of the universe” (IX, 6, p. 226). It is interesting that Basil the Great considers birds to be like fish and to “originate from water” (VIII, 11, 205).

томе, под птицама подразумева све што лети, чак и слепе мишеве који су „у исти мах четвороношци и птице“ (VIII, 34, 215). Уз то долазе и безбројне „птице које се називају инсекти, као што су пчеле и осице“ (VIII, 35, стр. 218).

Посебо место у беседи Василије Велики поклања животињама које „и сада излазе живе из земље. Јер земља у кишним периодима не испушта из себе само цврчке или безбројно мноштво каквих птичијих врста (=инсеката, оп. А. Г.)... већ она из своје утробе рађа и којекакве мишеве и жабе... У Египту... земља се сместа напуни пацовима... Глисте не настану другачије, него од блата, јер нити излазе из јајашаца нити на било који други начин постају, већ су рођене из земље“ (IX, 7, стр. 226-227). Ово је било Анаксагорино и Аристотелово тумачење које је било веома популарно и у народу и у науци. Одржавало се све до XVII века, када је и експериментално доказано да није тачно. Тако, међутим није било ни код Срба ни иначе у широј популацији. У ту стару заблуду веровало се делимично скоро до прве половине XX века.

Василије Велики говори о томе да се бисери налазе у остригама, које „леже на обалама и спрудовима“. Такође, постоји и драгоцен „коралски камен“ који „је у води мекан као трава а када изађе на ваздух он се стврдне“ (VI, 30, стр. 196). О јантару зна много „неки чак кажу како је и јантар заправо млечац који се цеди из биљака, па се стврдне и постаје налик камену. Да је то тако, сведоче травке и најситнији инсекти који се у њему могу видети, а који су, док је млечац био течан у њему били заробљени“ (V, 48, стр. 151). Тако се беседник бавио и фосилима а да, при томе, није био ни свестан о чему говори.

Василије Велики наводи како се у подземљу налазе и метали (IV, 33, стр. 132) од којих апострофира само гвожђе (I, 28, стр. 67) „које настаје из земље“. Помиње и два камена : „кристални камен који се претвара у такав облик због превеликог згушњавања воде“ и „провидни камен који има нарочиту и чисту прозрачност... сасвим налик на ваздух“

In addition, by birds he means everything that flies, even bats that are “at the same time quadrupeds and birds” (VIII, 34, 215). In addition, there are countless “birds that are called insects, such as bees and wasps” (VIII, 35, p. 218).

A special place in the sermon of Basil the Great is given to animals that “even now emerge alive from the earth. For the earth in rainy periods does not only emit from itself crickets or an innumerable multitude of some bird species (=insects, op. A. G.)... but it also gives birth to all kinds of mice and frogs from its womb... In Egypt... the earth is immediately filled with rats... Worms do not arise otherwise than from mud, because they neither emerge from eggs nor become in any other way, but are born from the earth” (IX, 7, pp. 226-227). This was the interpretation of Anaxagoras and Aristotle, which was very popular both among the people and in science. It was maintained until the 17th century, when it was experimentally proven to be incorrect. However, this was not the case neither among the Serbs nor in the wider population. This old misconception was partially believed almost until the first half of the 20th century.

Basil the Great speaks of pearls being found in oysters, which “lie on the shores and reefs”. There is also a precious “coral stone” which “is soft like grass in water, but when it comes out into the air it hardens” (VI, 30, p. 196). He knows a lot about amber, “some even say that amber is actually a jelly that is squeezed out of plants, then hardens and becomes like stone. That this is so is evidenced by the grasses and the smallest insects that can be seen in it, which were trapped in it” while the jelly was liquid (V, 48, p. 151). Thus, the orator also dealt with fossils without even realizing what he was talking about.

Basil the Great states that metals are also found in the underground (IV, 33, p. 132), of which he only mentions iron (I, 28, p. 67) “which arises from the earth”. He also mentions two stones: “a crystalline stone that is transformed into such a form due to the excessive condensation of water” and “a transparent stone that has a special and pure translucency... quite similar to air”

(III, 19-20, стр. 104). Овде је готово сигурно да је реч о кристалима кварца.

Излагање о минералима и металима Василија Великог је скромно, јер и иначе није било нарочито познато али и зато што се о њима не говори у Светом писму. То је исто разлог што беседник ништа и не помиње у Шестодневу о вулканима и земљотресима а сигурно је да је о тим појавама знао доста још из Атинског универзитета.

#### ВАСИЛИЈЕ ВЕЛИКИ

Василије Велики (Кесаријски или Кападокијски) био је један од неколико најважнијих црквених отаца и учитеља у веома битно време Патристике.

По К. Христу [11] Василије је потицао и по оцу Василију и по мајци Емилији из познатих племићких породица. Отац му је био учитељ. Имао је браћу и једну сестру. Млађи брат ће бити истакнути богослов Григорије Ниски. Василије је рођен 330. године вероватно у Неокесарији у Понту. Од ране младости био је нежне грађе и болешљив. Одлично образовање стекао је у породици а, после очеве смрти, у школи Кесарије Кападокијске. Жељан науке провео је прво годину дана на старом Универзитету у Цариграду, затим је прешао у Атину (352. године). Ту, на Универзитету слушао је: књижевност, реторику и филозофију (етику, физику и метафизику). За време студија становао је са својим великим пријатељем Григоријем из Аријанза, који ће касније постати истакнути делатник Патристике Григорије Богослов.

Василије је завршио студије 356. године и вратио се у Кесарију (Кападокијску). Одмах је почео да држи веома успешна разна предавања која су радо слушана. Позивали су га и из других градова из Неокесарије. Ту се нашао поново са породицом. Мајка Емилија и сестра Макрина су примиле хришћанство и основале монашку заједницу. Под тим новим утицајем покрстио се и Василије и удубио се у читање хришћанских списа. Открио је „нову светлост“ коју није налазио у многобожачким књигама.

(III, 19-20, p. 104). Here it is almost certain that we are talking about quartz crystals.

Basil the Great's presentation of minerals and metals is modest, because they were not particularly well known in any case, but also because they are not mentioned in the Holy Scriptures. This is also the reason why the orator does not mention anything in the Six Days about volcanoes and earthquakes, although it is certain that he knew a lot about these phenomena from the University of Athens.

#### BASIL THE GREAT

Basil the Great (of Caesarea or Cappadocia) was one of the most important church fathers and teachers in a very important period of Patristics.

According to P. Christ [11], Basil came from well-known noble families through both his father Basil and his mother Emelya. His father was a teacher. He had brothers and one sister. His younger brother was the prominent theologian Gregory of Nyssa. Basil was born in 330, probably in Neocaesarea in Pontus. From an early age, he was of delicate build and sickly. He received an excellent education in his family and, after his father's death, in the school of Caesarea Cappadocia. Eager for learning, he first spent a year at the old University of Constantinople, then moved to Athens (352). There, at the University, he studied: literature, rhetoric and philosophy (ethics, physics and metaphysics). During his studies, he lived with his great friend Gregory of Arians, who would later become a prominent figure in Patristics, Gregory the Theologian.

Basil completed his studies in 356 and returned to Caesarea (Cappadocia). He immediately began to give very successful lectures that were eagerly listened to. He was also invited from other cities in Neocaesarea. There he found himself with his family again. Mother Aemelia and sister Macrina converted to Christianity and founded a monastic community. Under this new influence, Basil was also baptized and immersed himself in reading Christian writings. He discovered a "new light" that he had not found in pagan books.

Василије се окренуо потпуно хришћанству и даље студије и размишљања посветио је новој вери. Како би што боље разумео хришћанство, а посебно монашку филозофију и праксу, пропутовао је Сирију, Мезопотамију, Палестину и Египат. На том путу упознао је низ богослова.

Повратком са пута у Кесарију рукоположен је за ђакона. Тако је почео његов црквени живот (360. године). Убрзо је био присутан сабору у Цариграду. Затим, у осами, темељно је проучавао Ориганове списе и почео да пише апологетска дела у Понту.

Од 365. спријатељио се са својим епископом Јевсевијем и почео да му помаже у администрацији дијецезе. Наставио је да се бави хуманитарним радом и продужио да учи. Када је епископ преминуо сви су знали да је Василије веома способан и elokventан црквени човек па је 376. године хиротонисан за епископа. Тада је наступило још веће ангажовање у цркви. Оснивање нових епископија у Кесарији, настојање да повеже све православне епископе Истока против јереси, што је било веома тешко у то време. Ипак успео је да обједини већину епископа на Истоку и постане предводник Православља.

У новом својству деловао је успешно и у погледу: уређења богослужења, организовању монашког живота, и друштвеном деловању. Поделио је своје наслеђено имање у Понту, а један део одредио да се успоставе добротворне установе.

## ЗАКЉУЧНИ РЕЗИМЕ

### ПЕРИОД ПРАНАУЧНЕ ГЕОЛОГИЈЕ У СРБА

Приближно средином Средњег века (у VII веку), када су Срби забележени на Балканском полуострву, они су били пагани с много митова. О Земљи су знали мало. Само колико је произлазило из мита како је Земљу и све што се налази на њој створио главни бог Сварог. За разлику од тога, имали су доста развијено емпиријско знање о стенама, камењу и земљишту, из вековног искуства

Basil turned completely to Christianity and devoted his further studies and reflections to the new faith. In order to better understand Christianity, and especially monastic philosophy and practice, he traveled to Syria, Mesopotamia, Palestine, and Egypt. On this journey, he met a number of theologians.

Upon returning from his trip to Caesarea, he was ordained a deacon. Thus began his church life (360). He was soon present at the Council of Constantinople. Then, in solitude, he thoroughly studied the writings of Origen and began to write apologetic works in Pontus.

From 365, he became friends with his bishop Eusebius and began to assist him in the administration of the diocese. He continued to engage in humanitarian work and continued to study. When the bishop died, everyone knew that Basil was a very capable and eloquent churchman, so in 376 he was ordained a bishop. Then he became even more involved in the church. The establishment of new bishoprics in Caesarea, an effort to unite all the Orthodox bishops of the East against heresy, which was very difficult at that time. Nevertheless, he managed to unite the majority of the bishops in the East and become the leader of Orthodoxy.

In his new capacity, he also acted successfully in terms of: regulating worship, organizing monastic life, and social activities. He divided his inherited property in Pontus and assigned a part to establish charitable institutions.

## FINAL SUMMARY

### THE PERIOD OF PRE-SCIENTIFIC GEOLOGY AMONG THE SERBS

Around the middle of the Middle Ages (in the 7th century), when the Serbs were recorded on the Balkan Peninsula, they were pagans with many myths. They knew little about the Earth. Only what came from the myth that the Earth and everything on it was created by the main god Svarog. In contrast, they had a fairly developed empirical knowledge of rocks, stones and soil, from centuries of experience in the affairs of their ancestors and their own lives. In the

о пословима предака и свог живота. У новој средини, тако је то опстајало два века. Сукоби и контакти, у мирнијим временима, са Византијцима и њиховом културом, међутим, постепено су обогаћивали њихово искуство.

Примање хришћанства и описмењавање у IX веку променили су нагло њихов живот, навике, знање и хоризонте. На почетку касног Средњег века (у X веку) већ су имали на располагању „Шестоднев“ (Хексамерон) бугарског писца Ј. Егзарха. Из те разноврсне и богате књиге сазнавали су много тога што у опште нису знали о Земљи. Јачи замах добило је то учење после обнављања Хиаландара (XI век) и успостављања његове библиотеке. Још више се убрзало превођењем „Шестоднева“ Василија Великог на српску редакцију (око половине XIV века). Та књига, посвећена у целини само познавању Земље (неба, земље, воде, светла, мора и настанку планете), била је заснована на Светом писму и његовој комбинацији са најлогичнијим схватањима античких писаца и природњака. Упознала је Србе са хришћанским схватањима о Земљи али је допринела и у познавању другачијих мишљења. У сваком случају цело то учење одвијало се у оквирима натурфилософских погледа на природу и емпиријских искустава становништва.

Оваква обавештеност Срба о Земљи остала је све до средине и краја касног Средњег века; односно Немањичке државе (XII-XV век) и Деспотовине (XV век). Снажним развојем рударства, грађевинарства и других пратећих делатности великим корацима су проширена и обогаћена властита емпиријска знања Срба. Тако је завршен период српске „пранауке о Земљи“, који је трајао од VII до XII века. Између XII и XV века сместила се расплнута граница протеклог и следећег периода.

#### ПЕРИОД ЕМБРИОНАЛНЕ ГЕОЛОГИЈЕ У СРБА

Током XII века почело је комадање простора насељених Србима. Североисточне територије запосели су Угари а југозападне Мле-

new environment, this persisted for two centuries. Conflicts and contacts, in more peaceful times, with the Byzantines and their culture, however, gradually enriched their experience.

The adoption of Christianity and literacy in the 9th century abruptly changed their lives, habits, knowledge and horizons. At the beginning of the late Middle Ages (in the 10th century), they already had at their disposal the “Hexaemeron” (Hexaemeron) by the Bulgarian writer J. Exarch. From that diverse and rich book, they learned much that they did not know about the Earth in general. This learning gained greater momentum after the restoration of Hialandar (11th century) and the establishment of its library. It accelerated even more with the translation of the “Hexaemeron” by Basil the Great into Serbian (around the middle of the 14th century). That book, dedicated entirely to the knowledge of the Earth (sky, land, water, light, sea and the origin of the planet), was based on the Holy Scriptures and its combination with the most logical understandings of ancient writers and naturalists. It introduced the Serbs to Christian understandings of the Earth, but it also contributed to the knowledge of different opinions. In any case, all this learning took place within the framework of natural philosophical views on nature and the empirical experiences of the population.

This awareness of the Serbs about the Earth remained until the middle and end of the late Middle Ages; that is, the Nemanjić state (12th-15th centuries) and the Despotate (15th century). With the strong development of mining, construction and other related activities, the Serbs’ own empirical knowledge was expanded and enriched in great strides. Thus ended the period of Serbian “primordial science of the Earth”, which lasted from the 7th to the 12th centuries. Between the 12th and 15th centuries, a blurred boundary between the previous and the next period was established.

#### THE PERIOD OF EMBRYONIC GEOLOGY AMONG THE SERBS

During the 12th century, the fragmentation of the areas inhabited by the Serbs began. The northeastern territories were occupied by the

чани. Од XIV века наставили су та освајања Османлије а у XVI веку придружили су им се Аустријанци на северозападу. Овако раздељено становништво имало је слична основна знања о Земљи али током времена настале су и знатне разлике између одвојених делова истог народа.

На простору запоседнутом Турцима, уз борбу за голи опстанак, задржала су се само знања из Шестоднева Василија Великог. Савим је могуће да су неке нове информације о Земљи са Запада ипак пристизале преко суседних окупираних Срба. Занимљиво је, међутим, да су у то време били доста интензивни преводилачки, преписивачки и редакторски послови у Хиландару. Запостављањем рударства постепено се гасило и емпиријско знање.

Србима са територија окупираним од стране других држава, поред поменутог Шестоднева и напредовања њиховог емпиријског искуства из природе, стизале су информације о текућим открићима из целог света током Ренесансе, раног и касног Новог века (XIV до XVII век). Споро али су ипак стизале. Срби и даље нису имали властитих стручњака, знања и послова из геологије. Тек у другој половини периода и то нарочито пред његов крај појавиле су се књиге са геолошким садржајем обједињеним с осталим природним наукама. Без истицања како је реч о посебној науци. Прва таква књига био је Орфелинов „Вечити календар“ са преведеним поглављем „О созданију мира“ (1783) [14]. Овај период, такође, се одвијао у окриљу преовлађујуће натурфилософије.

Треба, међутим, истакнути да су ти Срби имали „испомоћ“ у геолошким пословима од двојце ст ранаца, крајем XVII и почетком XVIII века. Уз Дунав, у Ђердапу и на фундарању Петроварадинске тврђаве, радио је познати италијански полихистор и аустријски генерал Л. Ф. Марсиљи (1699 до 1726) [15] а у Далмацији одличан италијански, прави теренски геолог А. Фортис (1774; A. Fortis) [8]. Њихове књиге били су први сигурни документи о геологији „каменитих планина“ са српских терена.

Hungarians and the southwestern by the Venetians. From the 14th century, these conquests were continued by the Ottomans, and in the 16th century, they were joined by the Austrians in the northwest. This divided population had similar basic knowledge about the Earth, but over time, significant differences emerged between separate parts of the same people.

In the area occupied by the Turks, with a struggle for bare survival, only knowledge from the Six Days of Basil the Great was preserved. It is quite possible that some new information about the Earth from the West still arrived through the neighbouring occupied Serbs. It is interesting, however, that at that time there was quite intensive translation, copying and editing work in Hilandar. With the neglect of mining, empirical knowledge was gradually extinguished.

Serbs from territories occupied by other states, in addition to the aforementioned Six Days and the advancement of their empirical experience in nature, received information about current discoveries from all over the world during the Renaissance, early and late modern ages (14th to 17th centuries). Slowly but surely, information arrived. The Serbs still did not have their own experts, knowledge and work in geology. Only in the second half of the period, and especially towards its end, did books with geological content combined with other natural sciences appear. Without emphasizing that it was a separate science. The first such book was Orfelin's "Eternal Calendar" with a translated chapter "On the Creation of Peace" (1783) [14]. This period also took place within the framework of the prevailing natural philosophy.

It should be noted, however, that these Serbs had "help" in geological matters from two foreigners, at the end of the 17th and beginning of the 18th century. Along the Danube, in Đerdap and on the foundation of the Petrovaradin fortress, the famous Italian polyhistor and Austrian general L. F. Marsili (1699 to 1726) [15] worked, and in Dalmatia the excellent Italian, true field geologist A. Fortis (1774) [8]. Their books were the first reliable documents on the geology of the "rocky mountains" from Serbian terrain.

Граница овог периода са следећим, такође, доста је развучена. Почела је увођењем Геогнозије, као дела Природописа, у Карловачку гимназију (1794). Одвијала се кроз књиге преведених текстова А. Стојковића (1801-1803) [16] и Ј. Вујића (1803) [17]. Све до П. Кенђелца (1811). Својом књигом „Естествословије“, пуном опажања из природе, властитих идеја, експеримената, оригиналним тумачењем настанка планина и изјавом како „предмет стварања света није тема за богослове већ за природњаке“ (стр. 23), он је разјаснио шта ко треба да ради [18]. Уз то, поставио је јасан камен граничник следећем периоду „Геологији као делу Природописа“ од почетка XVIII века.

The border between this period and the next is also quite blurred. It began with the introduction of Geognosia, as a part of the Natural History, into the Karlovac Gymnasium (1794). It took place through books of translated texts by A. Stojković (1801-1803) [16] and J. Vujić (1803) [17]. All the way to P. Kendelac (1811). With his book “Estestvoslovije”, full of observations from nature, his own ideas, experiments, original interpretation of the formation of mountains and the statement that “the subject of the creation of the world is not a topic for theologians but for naturalists” (p. 23), he clarified what everyone should do [18]. In addition, he set a clear boundary stone for the next period of “Geology as a part of Natural History” from the beginning of the 18th century.

#### ЛИТЕРАТУРА/ LITERATURE

- [1] Висоцки Б. П.: Проблеми историји и методологији геологических наука, Изд. Недра, Москва, 1977.
- [2] Милошевић Д.: Срби на балканском раскршћу. Историјски архив Крушевац, Библиотека Национална историја, Крушевац, 1994.
- [3] Радојчић Н.: Закон о рудницима или новобрдски законик, Народна библиотека, Ресавска школа, Деспотовач, 1995.
- [4] Шћекић Д.: Сорбаби. Истина о српству од икона, Београд, 2000.
- [5] Драгојловић Д.: Историја филозофске мисли у Срба епохе феудализма., Библиотека Мисао, Изабрана дела, 3, Службени гласник, Београд, 2009.
- [6] Радошевић Н.: Списи о постанку света у манастиру Хиландару, Задужбина, XI, 45, Београд, 1999, стр. 12.
- [7] Симовић З.: Кап меда, Изд. Библиотека Браћа Настасијевић, Горњи Милановац, 2010.
- [8] Fortis A.: Put po Dalmaciji. 1774. Prevod M. Maras, Globus, Zagreb, 1984.
- [9] Радошевић Н.: Словенски превод „Шестоднева“ Василија Великог, Научни састанак слависта у Вукове дане, Реферати и саопштења 14/1, Београд, 1985., стр. 157-164.
- [10] Сакос С. Н.: О Шестодневу. У: Свети Василије Велики, Шестоднев, Светоотачко богословље, 2, Нови Сад, 2008, стр. 38- 52, Беседа.
- [11] Христу К.: Свети Василије Велики, У: Свети Василије Велики, Шестоднев, Светоотачко богословље, 2, Нови Сад, 2008, стр. 5-37, Беседа.
- [12] Радошевић Н.: О словенском преводу Шестоднева у манастиру Хиландару и о рукопису Хил. 405, Хиландарски зборник САНУ, Хиландарски одбор, 10, Београд, 1998, 179- 189.
- [13] Kircher Mundus subterraneus, First edition, 1664, Off. Janson & Weyerstraten, Amsterdam.
- [14] Јовановић Б.: Вечити календар Захарија Орфелина, Природне и математичке науке у Срба у 18. и првој половини 19. века, САНУ у Новом Саду, Универзитет у Новом Саду и Магица српска, Нови Сад, 1995, стр. 33-40.
- [15] Marsigli L. F.: Danubius Pannonico Mysiensis, Tomus I, Geographia, 1726, стр. 89 и 67, Hague & Amsterdam.
- [16] Грубић А.: Две стотине година геологије у „Fysiki“ Атанасија Стојковића, Лицеум, 10, Центар за научна истраживања САНУ и Универзитета у Крагујевцу, 2004, Крагујевац, 2006, стр. 21-54.
- [17] Вујић Ј.: Естествословије в ползе јуности, Будим, 1803.
- [18] Грубић А.: Геологија у Естествословију Павла Кенђелца из 1811. године, Флогистон, 25, Београд, 2017, стр. 155-191.
- [19] Драгојловић Д.: Хексамерони у средњовековној српској књижевности, Књижевна историја, VIII, 30, Београд, 1975, стр. 165-181.

- [20] Аркадијевич-Турилов А. и Мошкова Л.: Каталог словенских рукописа светогорских манастира, Библиотека Ортограф, Чигоја штампа, 2016.
- [21] Василије Велики, Свети, Шестоднев, Светотачко богословље, 2, треће издање, Богословље, Нови Сад, 2008, стр. 53- 269.
- [22] Faventius V.: De montium origine. 1561, Academia Veneta. Prevod: Faenci V.: Sull origine delle montagne, Tarara, 2023, Ediz. Verbania.- <https://archive.org/details/demotiumorigine/0000/faen>
- [23] Политикин Магазин, бр. 844, 2013, стр. 5

КАРБОТЕРМАЛНА РЕДУКЦИЈА БОКСИТНОГ (ЦРВЕНИ МУЉ)  
И ИЛМЕНИТНОГ (ТИОНИТ) ОТПАДА:  
ОДРЖИВ ПРИСТУП ИЗДВАЈАЊУ РЕСУРСА

CARBOTHERMAL REDUCTION OF RESIDUES OF BAUXITE  
(RED MUD) AND ILMENITE (TIONITE):  
A SUSTAINABLE APPROACH TO RESOURCE RECOVERY

DOI: 10.5937/RG2502051S

Оригинални научни рад  
Original Scientific Paper

Срећко Стопић<sup>1</sup>  
Душко Костић<sup>2</sup>  
Митар Перушић<sup>2</sup>  
Florian Wegmann<sup>1</sup>  
Ненад Николић<sup>3</sup>  
Bernd Friedrich<sup>1</sup>

Srećko Stopić<sup>1</sup>  
Duško Kostić<sup>2</sup>  
Mitar Perušić<sup>2</sup>  
Florian Wegmann<sup>1</sup>  
Nenad Nikolić<sup>3</sup>  
Bernd Friedrich<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IME Институт за Процесно инжењерство и металургију, RWTH Ахен Универзитет, Ахен, Немачка;

<sup>1</sup>IME Institute for Process Metallurgy and Recycling, RWTH Aachen University, Aachen, Germany

<sup>2</sup>Технолошки факултет Зворник, Универзитет у Источном Сарајеву, Зворник, Република Српска, Босна и Херцеговина

<sup>2</sup>Faculty of Technology Zvornik, University of East Sarajevo, Zvornik, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

<sup>3</sup>Институт за мултидисциплинарна истраживања, Универзитет у Београду, Београд, Србија  
SStopic@metallurgie.rwth-aachen.de

<sup>3</sup>Institute for Multidisciplinary Research, University of Belgrade, Belgrade, Serbia  
SStopic@metallurgie.rwth-aachen.de

Примљен 25. 8. 2025; Рецензиран 5. 10. 2025; Прихваћен 11. 10. 2025.

Received 25 August 2025; Received in revised version 5 October 2025; Accepted 11 October 2025

**Сажетак:** Црвени муљ, нуспроизвод добијања иленице из боксита, и тионит, остатак из производње титан-диоксида из иленица, представљају два обимна индустријска отпада са значајним утицајем на животну средину и недовољно искоришћеним ресурсним потенцијалом. Оба остатака садрже високе концентрације њихова и фаза које носе титанијум, али њихова стабилност и сложена минералогја отежавају директну валоризацију. У овом раду примењена је стратегија карботермичке редукције ради истовременог уклањања њихова и структурне модификације титанијумске фазе. Калцијум-оксид је уведен као модификатор, не само да би се побољшала кинетика редукције већ и да би се подстигло формирање калцијум-титанида, чиме се децентрализује рутилом бојана структура тионита. Примарни циљ био је селективна редукција и одвајање њихова, уз добијање титанијумом бојане шлаке модификоване СаО-ом, погодне за накнадно лужење. Овај процес истиче двоструку користи: смањење еколошког оптерећења индустријским отпадима и обезбеђивање њихова ка издвајању њихова и титанијума.

**Кључне речи:** ИЛМЕНИТ, ЦРВЕНИ МУЉ, РЕДУКЦИЈА, ИЗДВАЈАЊЕ МЕТАЛА

**Abstract:** Red mud, a by-product of alumina production from bauxite, and tionite, a residue from titanium dioxide manufacturing from ilmenite, represent two large-scale industrial wastes with significant environmental impact and underutilized resource potential. Both residues contain high concentrations of iron and titanium-bearing phases, yet their stability and complex mineralogy hinder direct valorization. In this work, a carbothermal reduction strategy was applied to simultaneously address the removal of iron and the structural modification of titanium phase. Calcium oxide was introduced as a fluxing agent, not only to enhance reduction kinetics but also to promote the formation of calcium titanate, thereby destabilizing the rutile-rich tionite structure. The primary objective was the selective reduction and separation of iron, while preparing a CaO-modified titanium-bearing slag suitable for subsequent leaching. This approach highlights a dual benefit: mitigating the environmental burden of industrial residues and providing a pathway toward resource recovery of iron and titanium.

**Key words:** ILMENITE, RED MUD, REDUCTION, METAL RECOVERY

## УВОД

Производња глинице и титанијум-диоксида у великим размерама повезана је са настајањем огромних количина индустријског отпада, који представљају и еколошки изазов и прилику за издвајање корисних компоненти. Међу њима, црвени муљ (ЦМ), нуспроизвод добијања глинице Бајеровим поступком, и тионит, остатак из производње титанијум диоксида ( $\text{TiO}_2$ ) из илменита сулфатним поступком, представљају два најзначајнија отпада. Њихово безбедно одлагање остаје глобално актуелан проблем, али хемијски састав и минералогја ових материјала истовремено их чине и обећавајућим секундарним ресурсима за издвајање метала и друге индустријске примене [1, 2].

Црвени муљ настаје у количини од 0,5 до 2,0 тоне по тони произведене глинице, а глобалне залихе су према проценама премашиле 5 милијарди тона до 2020. године. Његова карактеристична црвена боја потиче од високог садржаја оксида гвожђа, али такође садржи заосталу глиницу, силицијум-диоксид, титанијум-диоксид и алкалне оксиде. Материјал је изразито алкалан (pH 9–13), што представља озбиљан ризик од загађења земљишта и подземних вода, корозије инфраструктуре и токсичности за екосистеме. Поред тога, његова ситна гранулација отежава суво складиштење због стварања прашине. Традиционално се одлаже таложењем у виду суспензије, сувим депоновањем или сушењем на сунцу, али црвени муљ се и даље класификује као опасан материјал због свог састава и специфичних захтева за руковање. Ипак, бројна истраживања су

## INTRODUCTION

The large-scale production of alumina and titanium dioxide is associated with the generation of massive volumes of industrial residues that present both environmental challenges and opportunities for resource recovery. Among these, red mud (RM), a by-product of alumina production through the Bayer process, and tionite, a residue from titanium dioxide ( $\text{TiO}_2$ ) manufacturing from ilmenite via the sulfate process, represent two of the most significant waste streams. Their safe disposal remains a pressing global issue, yet their chemical composition and mineralogy also make them promising secondary resources for metal recovery and other industrial applications [1, 2].

Red mud is generated in quantities ranging from 0.5 to 2.0 tons per ton of alumina produced, with global stockpiles estimated to exceed 5 billion tons as of 2020. Its characteristic red color derives from a high iron oxide content, but it also contains residual alumina, silica, titanium dioxide, and alkali oxides. The material is highly alkaline (pH 9–13), which poses serious risks of soil and groundwater pollution, corrosion of infrastructure, and toxicity to ecosystems. Furthermore, its fine particle size makes dusting a challenge in dry storage. Traditionally managed by slurry disposal, dry stacking, or solar drying, red mud continues to be classified as a hazardous material due to its composition and handling requirements. Nevertheless, extensive research has highlighted its potential utilization in applications such as stabilization materials, adsorbents, catalysts,

истакла његов потенцијал за примену у областима као што су стабилизациони материјали, адсорбенси, катализатори, керамика, пигменти, цементи, а нарочито у издвајању метала попут гвожђа, алуминијума и титанијума [3–21].

Тионит, с друге стране, настаје претежно у сулфатном поступку производње  $TiO_2$ , где се након лужења одвајају нерастворени остаци руде. Ови остаци су комплексни и састоје се од нераегованих једињења титанијума, оксида гвожђа, других металних оксида и често заосталих трагова сумпорне киселине. Такав састав чини тионит и еколошки проблематичним и тешким за прераду. Иако хлоридни поступак такође генерише остатке богате титанијумом, тионит из сулфатног поступка је далеко заступљенији. Због високог садржаја  $TiO_2$  и минералогije засноване на рутилу, тионит представља потенцијални секундарни ресурс, али његова стабилност отежава директну примену. Досадашња истраживања обухватала су хидрометалуршко лужење ради издвајања титанијума, пиromеталуршку конверзију у шљаке богате титанијумом, реинтеграцију у производњу  $TiO_2$ , као и примене у ремедијацији животне средине, грађевинским материјалима или производњи катализатора. Упркос тим напорима, методе за масовнију употребу још увек нису развијене, те су потребне иновативне стратегије које ће истовремено смањити еколошке ризике и омогућити искоришћење потенцијала [2, 22–27].

Један од обећавајућих путева за истовремену валоризацију црвеног муља и тионита јесте карботермијска редукација. Овај поступак омогућава селективну редукацију и издвајање гвожђа, чиме се решава један од кључних проблема у њиховој употреби. У случају тионита, додаток калцијум-оксида не само да делује као топитељ и олакшава редукацију, већ подстиче и формирање калцијум-титаната, чиме се нарушава стабилна рутилна структура и припрема материјал за накнадну прераду. Код оба остатка, редукација представља припремну фазу за лужење, омогућавајући издвајање корисних металних компоненти уз стабилизацију преостале шљаке.

Ово истраживање је усмерено на комбиновани третман црвеног муља и тионита

ceramics, pigments, cements, and particularly in the recovery of valuable metals such as iron, aluminum, and titanium [3–21].

Tionite, on the other hand, originates mainly from the sulfate process of  $TiO_2$  production, where undissolved ore residues are separated after leaching. These residues are complex, consisting of unreacted titanium compounds, iron oxides, other metal oxides, and often entrapped sulfuric acid. This combination makes tionite both environmentally problematic and difficult to process. While the chloride process also generates titanium-bearing residues, tionite from the sulfate route is particularly abundant. Due to its high  $TiO_2$  content and rutile-dominated mineralogy, tionite represents a potential secondary resource, though its stability makes direct utilization challenging. Approaches investigated for tionite valorization include hydrometallurgical leaching for titanium recovery, pyrometallurgical conversion into titanium-rich slags, reintegration into  $TiO_2$  production, and applications in environmental remediation, construction materials, or catalyst production. Despite these efforts, large-scale solutions remain underdeveloped, and innovative strategies are required to both mitigate environmental risks and unlock its resource potential [2, 22–27].

A promising pathway for the simultaneous valorization of red mud and tionite is carbothermal reduction. This process enables selective reduction and separation of iron, addressing one of the key obstacles for their utilization. In the case of tionite, the addition of calcium oxide not only acts as a fluxing agent to facilitate reduction but also promotes the formation of calcium titanate, thereby disrupting the stable rutile structure and preparing the residue for downstream processing. For both residues, the reduction step serves as a preparatory stage for subsequent leaching, allowing recovery of valuable metal components while stabilizing the remaining slag.

This study focuses on the combined treatment of red mud and tionite via carbothermal reduction with CaO addition, aiming to (i) remove iron efficiently, (ii) destabilize the

карботермијском редукцијом уз додатак CaO, са циљем да се: (i) ефикасно уклони гвожђе, (ii) дестабилизује стабилна титанијумска фаза у тиониту и (iii) припреми шљака погодна за лужење и даље издвајање метала. Интеграцијом металуршких и еколошких аспеката, овај рад доприноси развоју одрживе стратегије за употребу ових индустријских остатака.

## МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДЕ

У овом раду, као сировина је коришћен црвени муљ из фабрике „Алумина“ д.о.о. из Зворника. Црвени муљ је претходно осушен, самљевен и припремљен за процес редукције. У табели 1 приказан је састав коришћеног црвеног муља.

Табела 1, Састав црвеног муља из фабрике „Алумина“ д.о.о.

Table 1, Composition of red mud from „Alumina“ d.o.o.

Једињење Compounds	%	Једињење Compounds	%
Губитак жарењем 1000° C Ignition loss at 1000° C	8,32	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,225
SiO <sub>2</sub>	10,52	CuO	0,007
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	49,29	K <sub>2</sub> O	0,159
Na <sub>2</sub> O	2,45	Tl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,088
TiO <sub>2</sub>	4,59	MnO	0,145
CaO	8,23	MgO	0,627
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,03	NiO	0,034
Ag <sub>2</sub> O	0,001	PbO	0,019
BaO	0,014	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,930
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,133	ZnO	0,016
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,011	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,135
Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,012	SrO	0,075

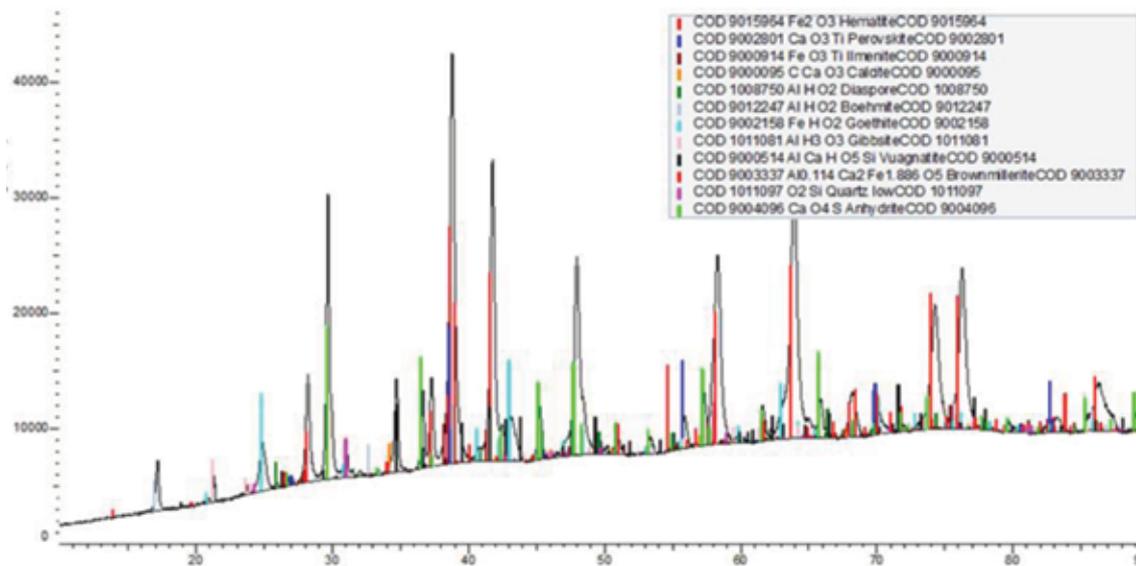
На слици 1. приказан је XRD коришћеног црвеног муља.

stable titanium phases in tionite, and (iii) prepare a leachable slag suitable for further resource recovery. By integrating metallurgical and environmental considerations, this work contributes to the development of sustainable strategies for the utilization of these major industrial residues.

## MATERIALS AND METHODS

In this work, red mud from the factory „Alumina“ d.o.o. was used as a raw material from Zvornik. The red mud is previously dried, ground, and prepared for the reduction process. In Table 1. the composition of the used red mud is shown.

On figure 1. XRD analysis of used red mud is shown.



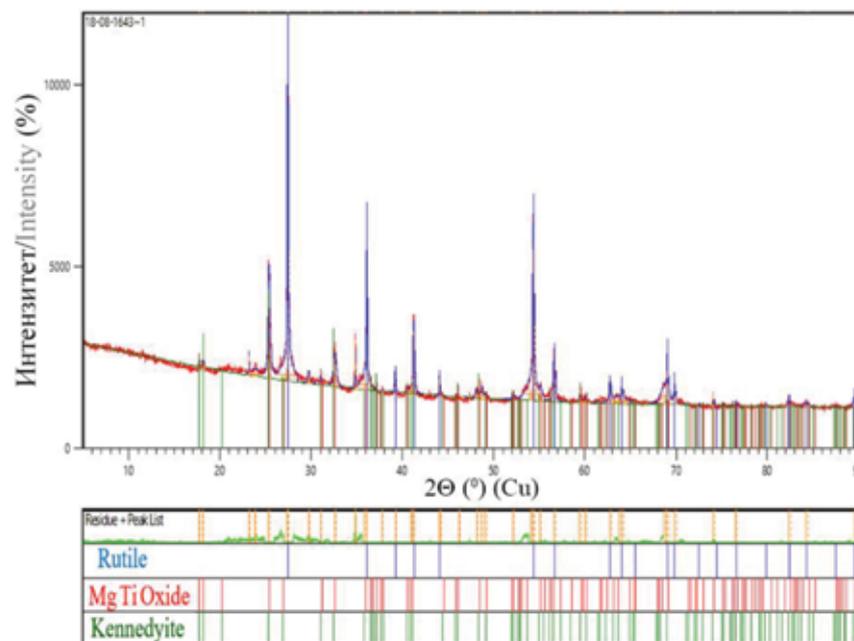
Слика 1, XRD анализа црвеног муља  
Figure 1, XRD analysis of red mud

XRD анализа је потврдила присуство хематита и других веома стабилних оксида за редукцију, укључујући илменит. Анализа такође показује присуство других минерала попут перовскита, калцита, диаспора, бемита, анхидрида и др., који ће током редукције оксида гвожђа проћи кроз структурне промене.

The XRD-analysis has confirmed the presence hematite and other very stable oxides for reduction including ilmenite. Analysis shows other non-ferrous minerals perovskite, calcite, diaspore, boehmite, anhydride etc. which will undergo structural change caused by iron oxide reduction.

XRD анализа тионита приказана је на слици 2.

XRD analysis of tionite is shown in Figure 2.



Слика 2, XRD анализа тионитна  
Figure 2, XRD analysis of the Tionite sample

XRD дифрактограми тионита откривају фазни састав узорка. Узорак показује присуство доминантних фаза, а то су рутил, Mg-Ti оксид и кенедит (гвожђе-титанијум-магнезијум оксид). Рутил се јавља као доминантна фаза, што је видљиво из изражених пикова при нижим  $2\theta$  угловима, око 25–30°. Присуство Mg-Ti оксида указује на формирање комплексне фазе која може утицати на реактивност титанијума током лужења. Такође је детектован и кенедит у мањој мери. Хемијски састав тионита је приказан у табели 2.

The XRD patterns of Tionite reveal the phase composition of the sample. The sample shows the presence of dominant phases which are rutile, Mg-Ti oxide, and kennedyite (iron titanium magnesium oxide). Rutile appears to be the dominant phase. This is evident from the strong peaks at lower  $2\theta$  angles around 25–30°. The presence of Mg-Ti oxide suggests the formation of a complex phase that could influence the reactivity of titanium during leaching. Kennedyite which is a less common phase is also detected. The chemical composition of Tionite is shown in Table 2.

Табела 2, Хемијски састав тионитног  
Table 2, Chemical composition of Tionite

Елемент Element	Титанијум Titanium	Силицијум Silica	Алуминијум Aluminium	Гвожђе Iron
Количина (%) Amount (%)	33,9	7,72	1,94	5,68

Хемијски састав узорка указује на то да је титанијум доминантни елемент са уделом до 33,9% укупне масе. Силицијум-диоксид је такође присутан у количини од 7,72%, што може утицати на процес лужења стварањем силика-гела под одређеним условима. Алуминијум је присутан у количини од 1,94%, а гвожђе 5,68%, што су ниже вредности, али и даље могу утицати на фазне трансформације и понашање при редукцији током обраде.

The elemental composition of the sample indicates that titanium is the dominant element with up to 33.9% of the total mass. Silica is also present at 7.72%, which could influence the leaching process by forming silica gel under certain conditions. Aluminum have amount of 1.94%, iron 5.68%, which are lower amounts but still it may affect phase transformations and reduction behavior during processing.

## МЕТОДЕ

XRD анализа је урађена коришћењем дифрактометра Bruker D8 Advance опремљеног LynxEye детектором. Bruker D8 Advance представља модеран и веома снажан XRD систем познат по високом квалитету анализе. ICP-OES анализа је извршена на уређају Agilent 5000 ICP-OES са напредним функцијама за побољшане перформансе. Овај систем је веома ефикасан и познат по високој осетљивости и широком динамичком опсегу, што омогућава детекцију и квантификацију не само главних, већ елемената у траговима. Напредна оптика и детекторска технологија обезбеђују поуздане и репродуктивне резултате за готово сваки елемент. EDS анализа је спроведена помоћу детектора Octane Plus-A

## METHODS

XRD analysis was conducted with Bruker D8 Advance diffractometer equipped with a Lynx-Eye detector. The Bruker D8 Advance is a modern and very powerful XRD system known for its high quality of analysis. ICP-OES Agilent 5000 ICP-OES equipped with advanced features for enhanced performance was used. This system is very efficient and known for high sensitivity and wide dynamic range, detecting and quantifying not just major but also trace elements. Advanced optics and detector technology ensure reliable and reproducible results for almost every element. EDS analysis was performed using an Octane Plus-A detector by Ametek-EDAX. This detector is very popular and has high-resolution capabilities and sensi-

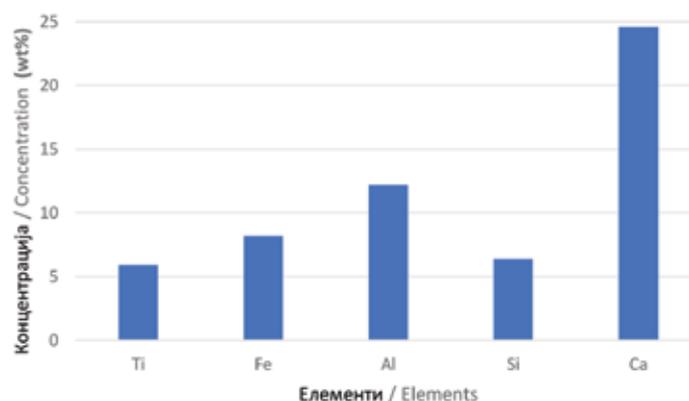
компаније Ametek-EDAX. Овај детектор је веома распрострањен и одликује се високом резолуцијом и осетљивошћу, што га чини погодним за детаљну елементарну анализу.

Процес редукције угљеником одвијао се у DC електролучној пећи. Три (3) килограма црвеног муља и тионита, заједно са графитом као редукционим агенсом, помешани су и убачени у пећ. Због високе вискозности шљаке након редукције оксида гвожђа, шљака је показивала тенденцију стварања пене. Да би се смањила вискозност, додат је CaO као топител. Позитиван ефекат додатка CaO огледа се у томе што се евентуални FeO из  $Fe_2SiO_4$  поново раствара у шљаци, уз повољну промену активности FeO, а истовремено долази и до нарушавања стабилне рутилне структуре у редукцији тионита. Након убацивања смеше, редукција се одвијала у трајању од 45 минута, како би угљеник реаговао са шљаком. По истеку времена задржавања, издвојена је метална фаза Fe, док је шљака остала у пећи.

Добијени узорци су затим одвојени механички коришћењем магнетне сепарације. Добијени производи су анализирани XRD и EDS анализом.

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Резултати ICP анализе (изражени у масеним процентима, wt%) приказују састав кључних елемената у шљаци након карботермијске редукције, укључујући гвожђе (Fe), титанијум (Ti), силицијум (Si), алуминијум (Al) и калцијум (Ca).



Слика 3, Елементарна анализа шљаке добијене карботермалном редукцијом црвеног муља  
Figure 3, Elemental analysis of carbothermally reduced red mud slag

tivity, making it suitable for detailed elemental analysis

The reduction process with carbon took place in a DC electric arc furnace. Three (3) kilograms of red mud and tionite and graphite as carbon-reducing agent are mixed and charged into the furnace. Because of the high viscosity of the slag after reducing the iron-oxides, the slag has been creating a foam. To lower the viscosity, CaO has been added as a fluxing agent. The positive side effect of CaO is, that possible FeO from  $Fe_2SiO_4$  is dissolved back into the slag with a positive change of activity of FeO and also altering the strong rutile structure in tionite reduction. After charging, a holding time of 45 minutes has been started, to let the carbon react with the slag. After the holding time, the furnace was tapped to extract the Fe metal phase, while the slag phase remained in the crucible.

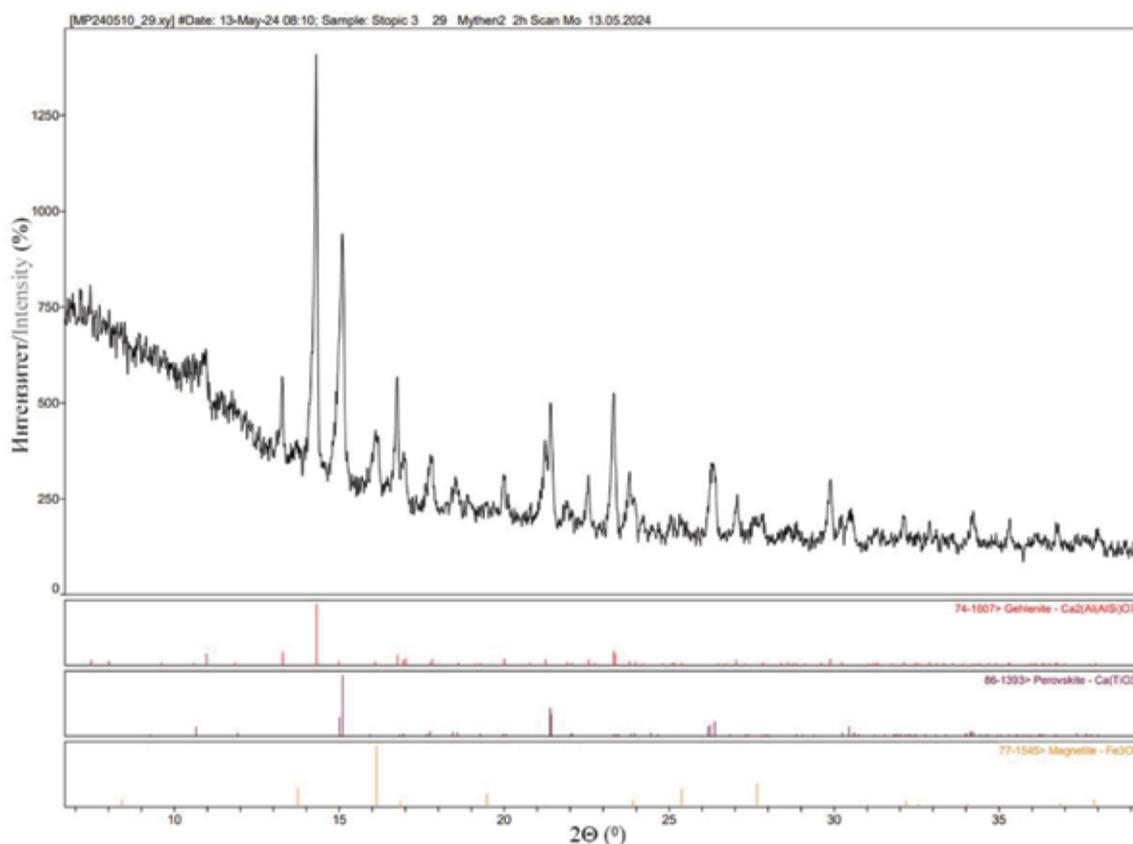
The samples were separated mechanically using magnetic separation. The obtained products were analyzed by XRD and EDS analysis.

## RESULTS AND DISCUSSION

The results of ICP analysis (expressed in weight percent, wt%) illustrate the composition of key elements in the slag after carbothermal reduction, including iron (Fe), titanium (Ti), silicon (Si), aluminum (Al), and calcium (Ca).

Значајно висока концентрација калцијума, близу 30 мас.%, одражава намерно додавање СаО као топитеља током процеса. У поређењу са почетним црвеним муљем, који је садржао само трагове калцијума, ово додавање је значајно обогатило редуковану шљаку. Садржај алуминијума је такође благо повећан, достижући вриједности изнад 10 мас.%. Концентрација гвожђа је значајно опала на 5–10 мас.%, што потврђује ефикасну редукцију оксида гвожђа. Истовремено, силицијум и титанијум су концентрисани у шљаци, што је у складу са њиховом неактивношћу под примењеним редукционим условима. Ови резултати указују на снажан утицај додатка СаО, који је постао доминантна компонента у финалној шљаци.

A notably high concentration of calcium, close to 30 wt%, reflects the deliberate addition of CaO as a fluxing agent during the process. Compared with the original red mud, which contained only trace levels of calcium, this addition significantly enriched the reduced slag. Aluminum content also increased slightly, reaching values above 10 wt%. Iron concentration decreased markedly to 5–10 wt%, confirming the effective reduction of iron oxides. Meanwhile, silicon and titanium remained concentrated in the slag, consistent with their relative inertness under the applied reducing conditions. These results demonstrate the strong influence of CaO addition, which became the dominant component in the final slag.



Слика 4, Дифракциограми шљаке црвеног муља редуковане на 1600° C

Figure 4, Diffractograms for red mud slag reduced at 1600° C

XRD анализа у праху на собној температури изведена је на узорцима редукованог црвеног муља, а фазе су идентификоване коришћењем ICDD базе података. Одсуство хематита у дифракционом обрасцу указује на његову потпуну редукцију, док детекција

Room-temperature X-ray powder diffraction (XRD) analysis was performed on the reduced red mud samples, with phases identified using the ICDD database. The absence of hematite reflections in the diffraction pattern indicates its complete reduction, while the detection of

магнетита сугерише да је део гвожђа остао делимично оксидован у шљаци. Појава перовскита ( $\text{CaTiO}_3$ ) потврђује стабилизацију титанијума у оксидном облику, док формирање геленита ( $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ ) одражава сложене високотемпературне интеракције између оксида присутних у систему.

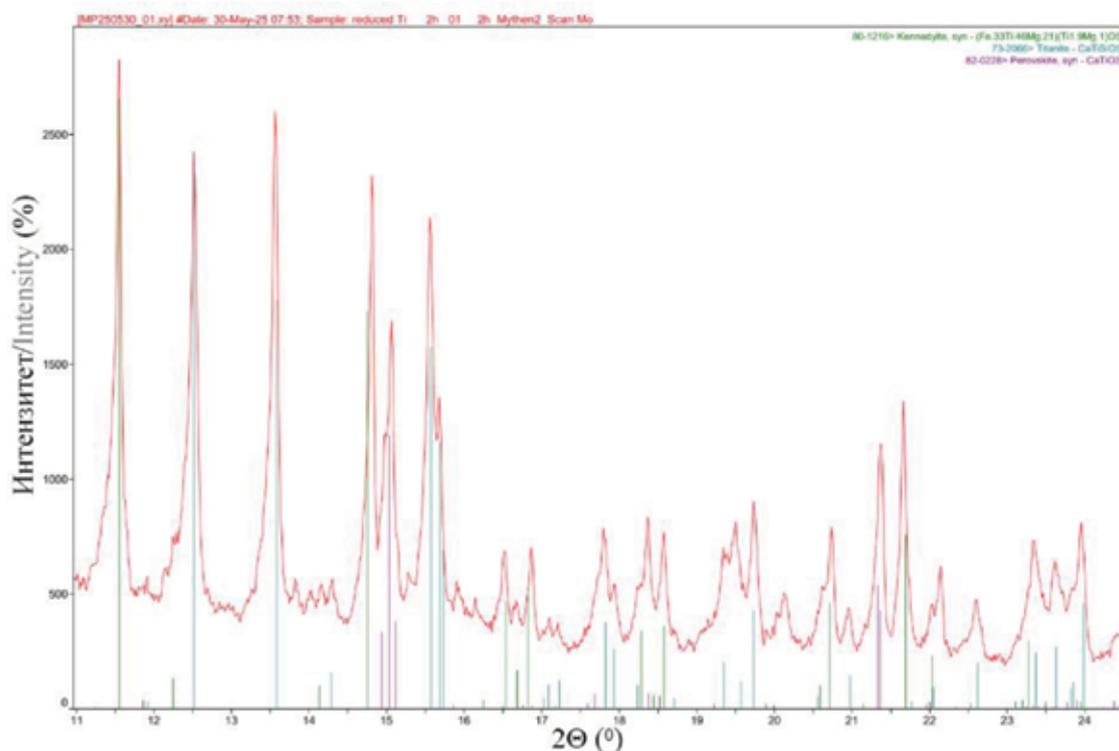
Свеукупно, XRD резултати показују да карботермална редукција трансформише црвени муљ из његове првобитне сложене меше оксида и силиката у поједностављени систем који се састоји од металног гвожђа и шљаке модификоване  $\text{CaO}$ -ом, претежно састављене од перовскита и геленита, са мањим уделом магнетита.

На слици 5 приказана је XRD анализа редукованог тионита.

magnetite suggests that a fraction of iron remained partially oxidized in the slag. The appearance of perovskite ( $\text{CaTiO}_3$ ) confirms the stabilization of titanium in oxidized form, while gehlenite ( $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ ) formation reflects the complex high-temperature interactions among oxides present in the system.

Overall, the XRD results reveal that carbothermal reduction transforms red mud from its original complex mixture of oxides and silicates into a simplified system dominated by metallic iron and a  $\text{CaO}$ -modified slag phase, primarily composed of perovskite and gehlenite, with minor magnetite also present.

On figure 5. XRD analysis of reduced tionite is shown.



Слика 5, Дифрактограми редукованог тионита

Figure 5, Diffractograms for reduced tionite

XRD анализа изведена је на узорцима редукованог тионита, а детектоване фазе су идентификоване коришћењем ICDD базе података. Посматране су нове фазе које садрже титанијум, што одражава ефекат додатка  $\text{CaO}$  и високотемпературне редук-

X-ray diffraction (XRD) analysis was performed on the reduced tionite samples, and the detected phases were identified using the ICDD database. Several new titanium-bearing phases were observed, reflecting the effect of  $\text{CaO}$  addition and high-temperature reduction

ције на стабилност оригиналне рутилне структуре. Присуство кенедита, комплексног титаната сродног псеудобрукиту и структурно сличног армалколиту, указује на опсежну модификацију почетне  $\text{TiO}_2$  фазе. Детекција титанита ( $\text{CaTiSiO}_5$ ) указује на инкорпорацију калцијума и силицијума током реакцијског процеса, сугеришући снажне интеракције између  $\text{CaO}$  и силикатних компоненти тионита. Поред тога, формирање перовскита ( $\text{CaTiO}_3$ ) потврђује очекивану реакцију између  $\text{TiO}_2$  и  $\text{CaO}$  у редукционим условима.

Свеукупно, појава титанита и перовскита истиче трансформацију рутилом богатог тионита у шљаку доминирану новим  $\text{Ca-Ti}$  фазама. Ови резултати показују да додаток  $\text{CaO}$  не само да олакшава уклањање гвожђа, већ и дестабилизује стабилну рутилну структуру, припремајући систем за накнадно лужење и издвајање титанијума.

## ЗАКЉУЧАК

Карботермијска редукција уз додаток  $\text{CaO}$  показала се као ефикасна стратегија за трансформацију црвеног муља и тионита у корисне производе. ICP анализа је потврдила значајно обogaћење калцијума у редуктованим шљакама, док је концентрација гвожђа значајно смањена на 5–10 мас.%, што показује ефикасно уклањање гвожђа. XRD резултати су открили потпуну редукцију хематита у црвеном муљу и његову трансформацију у метално гвожђе и шљаком модификованом  $\text{CaO}$ -ом, претежно састављеном од перовскита и геленита, са мањим уделом магнетита. У случају тионита, рутилна структура је дестабилизвана, што је довело до формирања нових  $\text{Ca-Ti}$  фаза, попут перовскита и титанита. Ови резултати истичу двоструку улогу  $\text{CaO}$  као топитеља и стабилизатора једињења богатих титанијумом. Свеукупно, процес не само да омогућава издвајање гвожђа, већ и припрема шљаку погодну за лужење, богату  $\text{Ca-Ti}$  фазама, отварајући пут за накнадно издвајање титанијума и других елемената.

on the stability of the original rutile structure. The presence of kenedyte, a complex titanate related to pseudobrookite and structurally similar to armalcolite, indicates extensive modification of the initial  $\text{TiO}_2$  phase. The detection of titanite ( $\text{CaTiSiO}_5$ ) points to the incorporation of calcium and silicon during the reaction process, suggesting strong interactions between  $\text{CaO}$  and the silicate components of tionite. In addition, the formation of perovskite ( $\text{CaTiO}_3$ ) confirms the expected reaction between  $\text{TiO}_2$  and  $\text{CaO}$  under reducing conditions.

Overall, the emergence of titanite, and perovskite highlights the transformation of rutile-rich tionite into a slag dominated by novel  $\text{Ca-Ti}$  phases. These results demonstrate that  $\text{CaO}$  addition not only facilitates iron removal but also destabilizes the stable rutile structure, preparing the system for subsequent leaching and titanium recovery.

## CONCLUSION

Carbothermal reduction with  $\text{CaO}$  addition proved to be an effective strategy for transforming both red mud and tionite into value-added products. ICP analysis confirmed a significant enrichment of calcium in the reduced slags, while iron concentration was markedly decreased to 5–10 wt%, demonstrating efficient iron removal. XRD results revealed the complete reduction of hematite in red mud and its transformation into a system dominated by metallic iron and a  $\text{CaO}$ -modified slag phase, primarily composed of perovskite and gehlenite with minor magnetite. In the case of tionite, the rutile structure was destabilized, leading to the formation of new  $\text{Ca-Ti}$  phases such as perovskite and titanite. These findings highlight the dual role of  $\text{CaO}$  as a fluxing agent and a stabilizer of titanium-bearing compounds. Overall, the process not only enables iron recovery but also prepares a leachable slag rich in  $\text{Ca-Ti}$  phases, paving the way for subsequent extraction of titanium and other valuable elements.

## ЛИТЕРАТУРА / LITERATURE

- [1] Brough D, Jouhara H.: The aluminium industry: A review on state-of-the-art technologies, environmental impacts and possibilities for waste heat recovery. *International Journal of Thermofluids*, 2020., 1–2:100007.
- [2] Gázquez MJ, Bolívar JP, García-Tenorio García-Balmaseda R, Vaca F.: A review of the production cycle of titanium dioxide pigment. *Materials Sciences and Applications* 2014., 05:441–458.
- [3] Archambo MS, Kawatra SK: Utilization of Bauxite Residue: Recovering Iron Values Using the Iron Nugget Process. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review* 2021., 42:222–230.
- [4] Liu Y, Naidu R.: Hidden values in bauxite residue (red mud): Recovery of metals. *Waste Management* 2014., 34:2662–2673.
- [5] Qi Y.: The neutralization and recycling of red mud—a review. *J Phys Conf Ser* 2021., 1759:12004.
- [6] Rai S, Bahadure S, Chaddha MJ, Agnihotri A.: Disposal Practices and Utilization of Red Mud (Bauxite Residue): A Review in Indian Context and Abroad. *Journal of Sustainable Metallurgy* 2020., 6:1–8.
- [7] Winkler D, Bidló A, Bolodár-Varga B, Erdő Á, Horváth A.: Long-term ecological effects of the red mud disaster in Hungary: Regeneration of red mud flooded areas in a contaminated industrial region. *Science of The Total Environment* 2018., 644:1292–1303.
- [8] Kalkan E.: Utilization of red mud as a stabilization material for the preparation of clay liners. *Eng Geol* 2006, 87:220–229.
- [9] Pradhan J, Das SN, Thakur RS.: Adsorption of Hexavalent Chromium from Aqueous Solution by Using Activated Red Mud. *J Colloid Interface Sci* 1999., 217:137–141.
- [10] Martins YJC, Almeida ACM, Viegas BM, do Nascimento RA, Ribeiro NF da P.: Use of red mud from amazon region as an adsorbent for the removal of methylene blue: process optimization, isotherm and kinetic studies. *International Journal of Environmental Science and Technology* 2020., 17:4133–4148.
- [11] Kumar S, Kumar R, Bandopadhyay A.: Innovative methodologies for the utilisation of wastes from metallurgical and allied industries. *Resour Conserv Recycl* 2006., 48:301–314.
- [12] Cao JL, Yan ZL, Deng QF, Yuan ZY, Wang Y, et al.: Homogeneous precipitation method preparation of modified red mud supported Ni mesoporous catalysts for ammonia decomposition. *Catal Sci Technol* 2014., 4:361–368.
- [13] Wei G, Shao L, Mo J, Li Z, Zhang L.: Preparation of a new Fenton-like catalyst from red mud using molasses wastewater as partial acidifying agent. *Environ Sci Pollut Res Int* 2017., 24:15067–15077.
- [14] Amritphale SS, Anshul A, Chandra N, Ramakrishnan N.: A novel process for making radiopaque materials using bauxite—Red mud. *J Eur Ceram Soc* 2007., 27:1945–1951.
- [15] Pontikes Y, Nikolopoulos P, Angelopoulos GN.: Thermal behaviour of clay mixtures with bauxite residue for the production of heavy-clay ceramics. *J Eur Ceram Soc* 2007., 27:1645–1649.
- [16] Liu W, Yang J, Xiao B.: Application of Bayer red mud for iron recovery and building material production from aluminosilicate residues. *J Hazard Mater* 2009., 161:474–478.
- [17] Pérez-Villarejo L, Corpas-Iglesias FA, Martínez-Martínez S, Artiaga R, Pascual-Cosp J.: Manufacturing new ceramic materials from clay and red mud derived from the aluminium industry. *Constr Build Mater* 2012., 35:656–665.
- [18] Pera J, Boumaza R, Ambroise J.: Development of a pozzolanic pigment from red mud. *Cem Concr Res* 1997., 27:1513–1522.
- [19] Mukiza E, Zhang LL, Liu X, Zhang N.: Utilization of red mud in road base and subgrade materials: A review. *Resour Conserv Recycl* 2019., 141:187–199.
- [20] Pan Z, Li D, Yu J, Yang N.: Properties and microstructure of the hardened alkali-activated red mud-slag cementitious material. *Cem Concr Res* 2003., 33:1437–1441.
- [21] Singh M, Upadhyay SN, Prasad PM.: Preparation of special cements from red mud. *Waste Management* 1996., 16:665–670.
- [22] Sadeghi MH, Nasr Esfahany M. Development of a Safe and Environmentally Friendly Sulfate Process for the Production of Titanium Oxide. *Ind Eng Chem Res* 2022., 61:1786–1796.
- [23] How to manufacture titanium dioxide by chloride process. <https://www.fangyuan-tio2.com/how-to-manufacture-titanium-dioxide-by-chloride-process.html> (accessed 29 July 2024).

- [24] Meng F, Xue T, Liu Y, Wang W, Qi T.: Treatment of tionite residue from titanium oxide industry for recovery of  $TiO_2$  and removal of silica. *Hydrometallurgy* 2016., 161:112–116.
- [25] Chen: Practical Questions and Answers in the Production... - Google Академик. [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Practical%20Questions%20and%20Answers%20in%20the%20Production%20of%20Titanium%20Dioxide%20from%20Sulfate%20Proce-ss&publication\\_year=2009&author=D.B.%20Chen](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Practical%20Questions%20and%20Answers%20in%20the%20Production%20of%20Titanium%20Dioxide%20from%20Sulfate%20Proce-ss&publication_year=2009&author=D.B.%20Chen) (accessed 18 August 2024).
- [26] Hajjaji W, Costa G, Zanelli C, Ribeiro MJ, Seabra MP et al.: An overview of using solid wastes for pigment industry. *J Eur Ceram Soc* 2012., 32:753–764.
- [27] Labrincha JA, Marques JI, Hajjaji W, Senff L, Zanelli C, et al.: Novel inorganic products based on industrial wastes. *Waste Biomass Valorization* 2014., 5:385–392.

ИНТЕРПРЕТАЦИЈА РЕЗУЛТАТА БУШЕЊА КРЕЧЊАКА  
КОРИШЋЕЊЕМ E - S ДИЈАГРАМА

INTERPRETATION OF LIMESTONE DRILLING  
RESULTS USING E - S DIAGRAMS

DOI: 10.5937/RG2502063K

Оригинални научни рад

Original Scientific Paper

Vítazoslav Krúpa  
Mária Bali Hudáková  
Edita Lazarová  
Pavol Vavrek  
Alexander Kiovský  
Lucia Ivaničová

Институт за геотехнику

Словачке академије наука, Кошице, Словачка

krupa@saske.sk

Vítazoslav Krúpa  
Mária Bali Hudáková  
Edita Lazarová  
Pavol Vavrek  
Alexander Kiovský  
Lucia Ivaničová

Institute of Geotechnics of the

Slovak Academy of Sciences, Košice, Slovakia

krupa@saske.sk

Примљен 10. 9. 2025; Рецензиран 22. 10. 2025; Прихваћен 24. 10. 2025.

Received 10 September 2025; Received in revised version 22 October 2025; Accepted 24 October 2025

**Сажетак:** Чланак се бави могућношћу процене процеса бушења у ефективној зони коришћењем E-S дијаграма. Експериментни су сprovedени на лабораторијској платформи за бушење при бушењу кречњака помоћу двеју врста круна за бушење са површински постављеним глејом са дијамантском круном. Измерени подаци су обрађени нумеричким методама и упоређени са теоријским моделима, показујући високу сагласност између прорачуна и експеримента. Резултати су показали да се ефикасна зона бушења састоји од две фазе са различитом специфичном енергијом и снагом бушења. Поређење обеју круна за бушење указало је на упоредиву ефикасност распадања кречњака. Статистичка анализа је ипак ипак потврдила корисност коефицијента резања као индикатора оптимизације начина бушења. Предложена методологија има потенцијал за ширу примену у другим врстама стена и може допринети оптимизацији технологија бушења у геотермалним бушотинама, рударству или инжењерској геологији.

**Кључне речи:** СПЕЦИФИЧНА ЕНЕРГИЈА; ЈАЧИНА БУШЕЊА; E - S ДИЈАГРАМ; КОЕФИЦИЈЕНТ РЕЗАЊА; ЕФЕКТИВНА ЗОНА БУШЕЊА

**Abstract:** The article deals with the possibility of evaluating the drilling process in the effective area using E-S diagrams. Experiments were carried out on a laboratory drilling rig when drilling limestone with surface-set diamond core drill bits of two types. The measured data were processed by numerical methods and compared with theoretical models, confirming a high agreement between calculations and experiment. The results showed that the efficient drilling area consists of two phases with different specific energy and drilling strength. Comparison of both drill bits indicated comparable efficiency of the limestone disintegration. Statistical analysis also confirmed the usefulness of the cutting coefficient as an indicator of drilling mode optimization. The proposed methodology has the potential for wider application in other types of rocks and can contribute to the optimization of drilling technologies in geothermal wells, mining or engineering geology.

**Key words:** SPECIFIC ENERGY; DRILLING STRENGTH; E - S DIAGRAM; CUTTING COEFFICIENT; EFFECTIVE DRILLING AREA

## УВОД

У оквиру експерименталног истраживања распадања стена бушењем на нашем радном месту, јавила се потреба за креирањем методологије која ефикасно тумачи измерене величине и омогућава оптимизацију режима бушења. Циљ ове студије је анализа резултата бушења кречњака употребом длета малог пречника са дијамантском круном на лабораторијској платформи за бушење коришћењем Е-S („специфична енергија“ – „јачина бушења“) дијаграма и повезаних индикатора ефикасности. Концепт специфичне енергије, дефинисане као енергије потребне за уклањање јединице запремине стене, један је од основних алата за процену ефикасности бушења још од Тиловог класичног рада [1] и још увек је основа за континуирано праћење и контролу процеса бушења [2, 3].

Са становишта физичке интерпретације, Е-S дијаграм процењује напон током међусобне интеракције алата и стене користећи динамичке величине које су повезане са примењеним режимом бушења (сила/притисак, обртни момент и обртаји) и одговарајућу величину - дубину продирања (помак алата по обртају), чиме се ствара оквир за идентификацију ефективног режима бушења и кварова (нпр. Иступљење сеченица, прекомерно трење, поновно бушење фрагмената стене). Теоријски модели одзива бушења лопатастих длета квантификују односе између притиска, обртног момента, брзине продирања и угаоне брзине [4, 5], омогућавајући физички конзистентну интерпретацију емпиријских кривих у Е-S простору. У оперативним условима, приступ процене механичке специфичне енергије показао се ефикасним у повећању брзине продирања (ROP) и дијагностиковању неефикасних услова [2, 6, 7].

Специфичности материјала значајно утичу на уочене трендове: код компактних стена (нпр. гранит), потрошња енергије је осетљива на параметре бушења и услове напрезања [8], док присуство или индукција микропукотина смањује потребну специфичну енергију [9, 10]. Штавише, класични радови показују разлику између статичких и динамичких тестова оптерећења силом [11], што

## INTRODUCTION

In the framework of experimental research on rock disintegration by drilling at our workplace, there was a need to create a methodology that effectively interprets the measured quantities and allows for the optimization of the drilling regime. The aim of this study is to analyze the results of drilling limestone using small-diameter diamond core bits on a laboratory drilling rig using E-S (“specific energy” – “drilling strength”) diagrams and related efficiency indicators. The concept of specific energy, defined as the energy required to remove a unit volume of rock, has been one of the basic tools for evaluating drilling efficiency since Teale’s classic work [1] and is still the basis for continuous monitoring and control of the drilling process [2, 3].

From the point of view of physical interpretation, the E-S diagram evaluates the stress during the mutual interaction of the tool and the rock using dynamic quantities that are associated with the applied drilling mode (force/pressure, torque and revolutions) and the corresponding quantity - penetration depth (tool feed per revolution), thereby creating a framework for identifying the effective drilling mode and failures (e.g. blunting of cutting edges, excessive friction, re-biting of rock fragments). Theoretical models of drilling response of drag bits quantify the relationships between pressure, torque, the rate of penetration, and the angular velocity [4, 5], allowing a physically consistent interpretation of empirical curves in E-S space. In operational conditions, the mechanical specific energy assessment approach has proven to be effective in increasing the rate of penetration (ROP) and diagnosing inefficient conditions [2, 6, 7].

Material specificities significantly influence the observed trends: in compact rocks (e.g. granite), energy consumption is sensitive to drilling parameters and stress conditions [8], while the presence or induction of microcracks reduces the required specific energy [9, 10]. Furthermore, classical work shows the difference between static and dynamic force loading tests [11], which is important in transferring results from the laboratory to in

је важно при преношењу резултата из лабораторије у услове *in situ*. У том смислу, користимо E-S дијаграме и ефикасне границе зоне бушења како бисмо тумачили експерименте бушења кречњака и квантификовали оптималне параметре унутар фаза I/II.

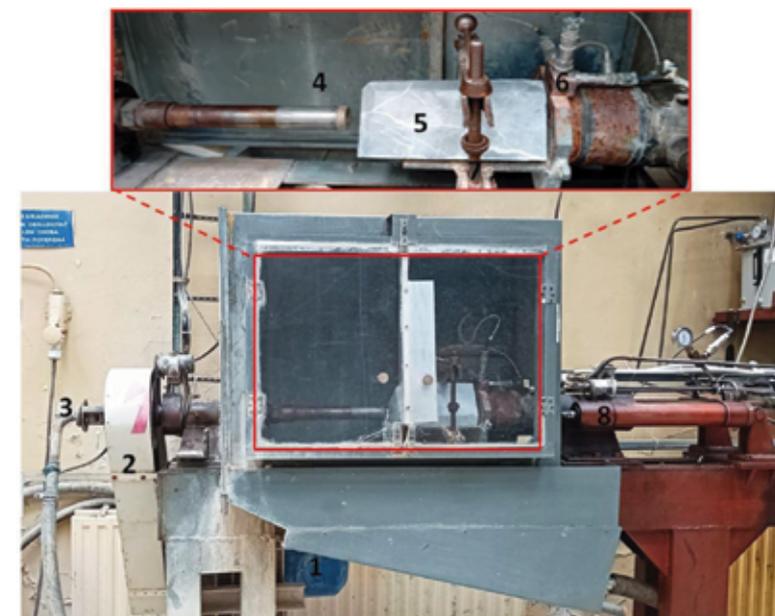
## ЛАБОРАТОРИЈСКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО И МЕТОДЕ

Експериментални програм је спроведен на хоризонталној платформи за бушење, Слика 1. Платформа за бушење се користи у истраживачке сврхе бушења и испитивања алата за бушење до пречника 59 mm. Платформа за бушење омогућава примену режима бушења са брзинама ротације до 2200 o/min и спољашњим оптерећењима до 20 kN са максималном дужином бушења једног узорка од 26 cm. Наша лабораторија је опремљена уређајима за мерење физичко-механичких својстава стена, мерење абразивности стена, мерење хабања дијамантских алата и мерење величине и облика фрагмената стена.

*situ* conditions. Against this background, we use E-S diagrams and efficient drilling area boundaries to interpret limestone drilling experiments and to quantify optimal parameters within phases I/II.

## LABORATORY EXPERIMENTAL PART AND METHODS

The experimental program was carried out on a horizontal drilling rig, Figure 1. The drilling rig is used for research purposes of drilling and testing drilling tools up to a diameter of 59 mm. The drilling rig allows for the application of drilling modes with rotation speeds up to 2200 rpm and external loads up to 20 kN with a maximum drilled length of one sample of 26 cm. Our laboratory is equipped with devices for measuring the physical and mechanical properties of rocks, measuring the abrasiveness of rocks, measuring the wear of diamond tools and measuring the size and shape of rock fragments.



Слика 1, Експериментална платформа за бушење и њени главни делови  
*Figure 1, Experimental drilling rig and its main parts*

Тумач: 1 - Електромотор; 2 - Каишни погон; 3 - Црево за довод течности за бушење;  
4 - Језгрена цев са круном за бушење; 5 - Узорак стене; 6 - Акцелерометри;  
7 - Оквир за фиксирање узорка стене; 8 - Хидраулични цилиндри двоструког дејства.

Legend: 1 - Electromotor, 2 - Belt drive, 3 - Drilling fluid supply hose,  
4 - Core barrel with drill bit, 5 - Rock specimen, 6 - Accelerometers,  
7 - Rock specimen fixing frame, 8 - Double-acting hydraulic cylinders.

У овом раду се разматрају резултати експерименталног бушења кречњака длетом пречника 46 mm у константном режиму при примењеној брзини ротације  $n = 1000$  o/min и спољашњем оптерећењу силом  $F = 14$  kN. Коришћене су две површински постављене дијамантске круне за бушење: круна за бушење (16/25) и круна за бушење (25/40). Круна за бушење (16/25) има дијамантска зрна тежине 16–25 камена по карату, а круна за бушење (25/40) има дијамантска зрна тежине 25–40 камена по карату. Алати за бушење се састоје од три резна сегмента, са спољашњим пречником круне за бушење од 46 mm и унутрашњим пречником од 32 mm.

Приликом извођења сваког експеримента, испуњен је услов хомогености у погледу дужине бушотине једног узорка стене ( $l=20$  cm), брзине ротације  $n$  и линеарно растућег оптерећења силом  $F$  до задате константне вредности. Седмнаест бушотина је направљено круном за бушење (16/25), а 27 бушотина је направљено круном за бушење (25/40). Свака бушотина је направљена на узорку кречњака из каменолома Вчеларе (Словачка), који је исечен кружном тестером кубног облика димензија 150x150x260 mm. Кречњак је компактан са измереном већом чврстоћом. То је седиментна стена састављена од калцита (калцијум карбонат,  $\text{CaCO}_3$ ) који садржи минерале оксида гвожђа. Има релативно фину до средње грубу текстуру. Структура је углавном макрокристална, Слика 2. Измерена физичка и механичка својства кречњака приказана су у Табели 1.

This paper discusses the results of experimental drilling in limestone with bits of 46 mm diameter in a constant mode at an applied rotational speed  $n = 1000$  rpm and an external force load  $F = 14$  kN. Two surface-set diamond drill bits were used: drill bit (16/25) and drill bit (25/40). Drill bit (16/25) has diamond grains with a weight of 16–25 stones per carat and drill bit (25/40) has diamond grains with a weight of 25–40 stones per carat. The drilling tools consist of three cutting segments, with an outer diameter of the drill bit of 46 mm and an inner diameter of 32 mm.

When performing each experiment, the homogeneity condition was met regarding the length of the borehole of one rock sample ( $l=20$  cm), the rotational speed  $n$  and the linearly increasing force load  $F$  up to set constant value. The seventeen boreholes were made with the drill bit (16/25) and 27 boreholes were made with the drill bit (25/40). Each borehole was made on a limestone sample from the Včeláre quarry (Slovakia), which was cut on a circular saw into a cuboid shape with dimensions of 150x150x260 mm. Limestone is compact with a measured higher strength. It is a sedimentary rock composed of calcite (calcium carbonate,  $\text{CaCO}_3$ ) containing iron oxide minerals. It has a relatively fine to medium-coarse texture. The structure is mostly macrocrystalline, Figure 2. The measured physical and mechanical properties of limestone are shown in Table 1.



Слика 2, Структура кречњака из каменолома Вчеларе (Словачка)  
Figure 2, The structure of limestone from the Včeláre quarry (Slovakia)

Табела 1, Особине кречњака  
Table 1, Properties of limenstone

Статистичке вредности Statistical values	Запреминска тежина (kg.m <sup>-3</sup> ) Bulk density (kg.m <sup>-3</sup> )	UCS (MPa) UCS (MPa)	Бразилски тест (MPa) Brazilian test (MPa)	НВ (kg.mm <sup>-2</sup> ) НВ (kg.mm <sup>-2</sup> )	Ободно смицање (MPa) Punch shear (MPa)
Број процењених узорака Number of samples evaluated	14	15	10	10	10
Просечне Mean	2,691	85,1	9,3	466,4	9,5
Средње Median	2,691	77,8	9,5	457,1	10,0
Минимум Minimum	2,682	55,1	6,5	416,3	5,2
Максимум Maximum	2,702	119,2	10,8	521,8	14,2

Тумач: UCS - Једноосна чврстоћа на притисак, НВ - Бринелов тест тврдоће, Бразилски тест - Индиректна затезна чврстоћа.  
Legend: UCS - Uniaxial Compressive Strength, НВ - Brinell Hardness Test, Brazilian Test - Indirect Tensile Strength.

Према словачкој техничкој норми ON 441121, кречњак има дефинисану вредност абразивности од 0,0186 mg.m<sup>-1</sup> и спада у стене са ниском абразивношћу.

According to Slovak technical norm ON 441121, limestone has a defined abrasiveness value of 0.0186 mg.m<sup>-1</sup> and belongs to rocks with low abrasiveness.

#### ОПИС ЕФИКАСНЕ ПОВРШИНЕ БУШЕЊА КОРИШЋЕЊЕМ Е-S ДИЈАГРАМА

#### DESCRIPTION OF THE EFFICIENT DRILLING AREA USING E-S DIAGRAMS

За квантитативно поређење алата за бушење коришћене су две методологије (16/25) и (25/40). Методологија Е-S дијаграма [5] и методологија за процену ефикасне зоне бушења са оптерећењем спољашњом силом у интервалу F од F<sub>inf</sub> до 2F<sub>inf</sub> [12].

Two methodologies were used for the quantitative comparison of drilling tools (16/25) and (25/40). The E-S diagram methodology [5] and the methodology for evaluating of the efficient drilling area with external force loading in the interval F from F<sub>inf</sub> to 2F<sub>inf</sub> [12].

Е-S дијаграм графички приказује зависност специфичне енергије Е од чврстоће бушења S, где су Е и S две величине са димензијама напона које су пропорционалне обртном моменту Т и оптерећењу спољашњом силом F и обрнуто пропорционалне дубини реза p [5].

The E-S diagram graphically depicts the dependence of the specific energy E on the drilling strength S, where E and S are two quantities with stress dimensions that are proportional to the torque T and the external force load F and inversely proportional to the depth of cut p [5].

Специфична енергија Е је одређена изразом (1),

The specific energy E is determined by the expression (1),

$$E = \frac{2\pi}{A} \cdot \frac{T}{p} = \frac{2T}{(R^2 - r^2)p} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

где је:

$A$  - константа која изражава површину контакта између алата и стене  $A = \pi(R^2 - r^2)$ , (mm<sup>2</sup>);

$R$  - спољашњи полупречник машине за бушење, (mm);

$r$  - унутрашњи полупречник машине за бушење, (mm);

$p$  - дубина продирања (помак алата по обртају), (mm);

$T$  - обртни момент, (Nmm).

where:

$A$  - constant expressing the surface area of the contact surface between the tool and the rock  $A = \pi(R^2 - r^2)$ , (mm<sup>2</sup>);

$R$  - outer radius of the drill bit, (mm);

$r$  - inner radius of the drill bit, (mm);

$p$  - penetration depth (tool feed per revolution), (mm);

$T$  - is the torque, (Nmm).

The drilling strength  $S$  is given by the relationship (2),

Снага бушења  $S$  дата је односом (2),

$$S = \frac{F}{(R-r) \cdot p} = \frac{F}{h \cdot p} \text{ (MPa)} \quad (2)$$

где је:

$h$  - ширина сегмента дефинисана као разлика између спољашњег и унутрашњег радијуса машине за бушење, (mm).

where:

$h$  - segment width defined as the difference between the outer and inner radius of the drill bit, (mm).

Моделирање одзива из појединачних експерименталних бушења кречњачких бушотина може се директно повезати са варијабилношћу силе потиска  $F$  и дужином реза  $p$  дефинисањем ефективне површине бушења.

Modeling the response from individual experimental limestone borehole drillings can be directly linked to the variability of the thrust force  $F$  and the depth of cut  $p$  by defining the effective drilling area.

Ефикасна површина бушења се математички добија анализом једначина (3) и (4),

The efficient drilling area is obtained mathematically by analyzing the equations (3) and (4),

$$p(F) = p_{max} [1 - e^{-\omega F} (1 + \omega F)] \text{ (mm)} \quad (3)$$

$$T(F) = \kappa [F + \Theta (e^{\frac{F}{\Theta}} - 1)] \text{ (Nmm)} \quad (4)$$

који дефинишу криву зависности дубине продирања  $p$  од спољашњег оптерећења  $F$  и обртног момента  $T$  од  $F$ . Коefицијенти супституције  $p_{max}$ ,  $\omega$ ,  $\kappa$  а  $\Theta$  одређени су методом најмањих квадрата.

which define the dependence curve of the penetration depth  $p$  on the external load  $F$  and the torque  $T$  on  $F$ . The substitution coefficients  $p_{max}$ ,  $\omega$ ,  $\kappa$  а  $\Theta$  are determined by the least squares method.

Доња граница ефикасне зоне бушења је дефинисана спољашњим оптерећењем  $F_{inf}$  одређеним у тачки прегива  $p$ - $F$  криве, једначина (5).

The lower limit of the efficient drilling area is definition by the external load  $F_{inf}$  determined at the inflection point of the  $p$ - $F$  curve, equation (5).

$$F_{inf} = \frac{1}{\omega} \text{ (N)} \quad (5)$$

Горња граница ефикасне зоне бушења је дефинисана као  $F_2 = 2 F_{inf}$ . Унутар ефективне зоне је вредност спољашњег оптерећења  $F_{opt}$ , што је аргумент минималне специфичне енергије.

Оптерећење  $F_{opt}$  дели ефикасну површину бушења на две фазе. Фазу I режима бушења (од  $F_{inf}$  до  $F_{opt}$ ), где вредности и E и S опадају са повећањем спољашњег оптерећења силом (подручје ефикасног распадања стена), и фазу II режима бушења (од  $F_{opt}$  до  $F_2$ ), где вредности E и S такође расту са повећањем спољашњег оптерећења силом (подручје ефикасног распадања стена са додатним секундарним дробљењем већ распаданих остатака стене). Прелазна фаза је видљива између ових фаза. Фаза распадања стена има спољашња оптерећења од  $F = 0$  до  $F_{inf}$  за механизам површинске абразије.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО И ТЕОРИЈСКИ ОБРАЂЕНИ РЕЗУЛТАТИ

Измерени експериментални подаци добијени бушењем кречњака коришћени су за израчунавање теоријских вредности дубине продирања и обртног момента коришћењем једначина (3) и (4) у MATLAB програму за сваки изведени експеримент. Експериментални и теоријски подаци имају веома високу корелациону чврстоћу, односно активно се филтрирају одступања експерименталних података узрокована неидентификованим „неисправним количинама“.

Израчунате криве E-S, према једначинама (1) - (2), засноване су на теоријским подацима бушења кречњака помоћу круне за бушење (16/25) након бушења 1,74 m, Слика 3.

Слика 3 приказује промене специфичне енергије E и отпора стене на распадање S са променама спољашњег оптерећења силом F. Означене тачке одређују величину силе F као аргумент минимума E и S.

The upper limit of the efficient drilling area is defined as  $F_2 = 2 F_{inf}$ . Inside the effective area is the value of the external load  $F_{opt}$ , which is the argument of the minimum specific energy.

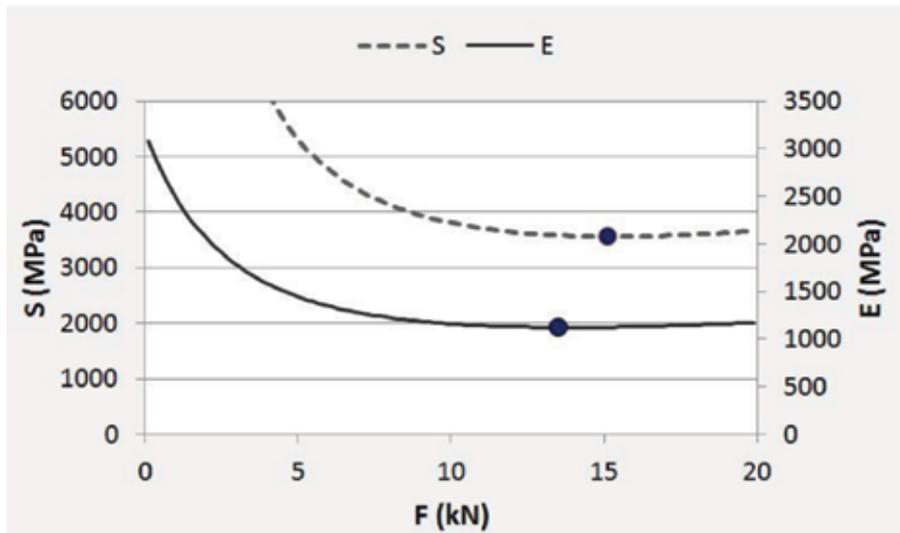
The load  $F_{opt}$  divides the efficient drilling area into two phases. Phase I of the drilling mode (from  $F_{inf}$  to  $F_{opt}$ ), where the values of both E and S decrease with increasing external force load (area of efficient rock disintegration), and phase II of the drilling mode (from  $F_{opt}$  to  $F_2$ ), where the values of E and S also increase with increasing external force load (area of efficient rock disintegration with added secondary crushing of already disintegrated rock debris). A transition phase is visible between these phases. Stage of the rock disintegration has external loads from  $F = 0$  to  $F_{inf}$  for surface-abrasion mechanism.

## EXPERIMENTAL AND THEORETICAL PROCESSED RESULTS

The measured experimental data obtained from the limestone drilling were used to calculate the theoretical values of penetration depth and torque using equations (3) and (4) in the MATLAB program for each experiment performed. Experimental and theoretical data have a very high correlation tightness, that is, deviations of experimental data caused by unidentifiable „faulty quantities“ are actively filtered.

Calculated curves E-S, according to equations (1) - (2), are based on theoretical data from drilling limestone using a drill bit (16/25) after drilling 1.74 m, Figure 3.

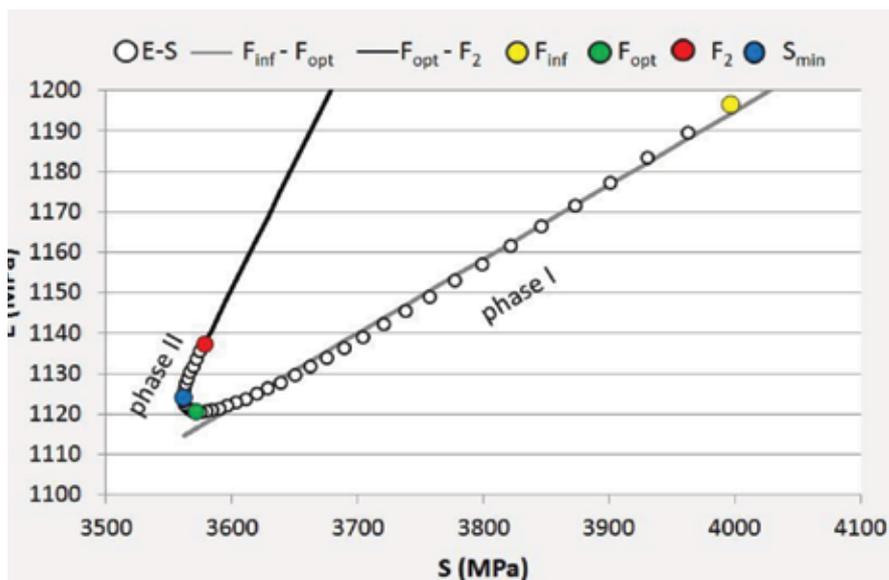
Figure 3 shows changes in specific energy E and rock resistance to disintegration S with changes in external force load F. The marked points determine the magnitude of force F as an argument of the minimum E and S.



Слика 3, Криве величина E и S у зависности од F  
Figure 3, Curves of the quantities E and S depending on F

Слика 4 приказује промене величина E и S у области ефикасног распадања кречњака. У фази I, са повећањем спољашњег оптерећења од вредности  $F_{inf}$  до  $F_{opt}$ , вредности специфичне енергије и величине S смањују се на свој достижни минимум. Минимум и E и S налази се у прелазној фази између фаза I и II. Фаза II карактерише повећање вредности E и S са повећањем спољашњег оптерећења од вредности  $F_{opt}$  до  $F_2$ .

Figure 4 presents the changes in the quantities E and S in area of the efficient limestone disintegration. In phase I, with the increase in the external load from the value  $F_{inf}$  to  $F_{opt}$ , the values of the specific energy and the quantity S decrease to their achievable minimum. The minimum of both E and S is found in the transition phase between phases I and II. Phase II is characterized by the increase in the values of E and S with the increase in the external load from the value  $F_{opt}$  to  $F_2$ .



Слика 4, Промене вредности E и S у области ефикасније распада кречњака одређене за фазу I и фазу II  
Figure 4, Changes of the values E and S in the more effective limestone disintegration region determined of the phase I and phase II

Теоријски прорачун за одабрани експеримент одредио је коефицијенте супституције једначина (3) и (4) и идентификовао следеће параметре ефективне површине бушења, видети Табела 2.

The theoretical calculation for the selected experiment determined the substitution coefficients of equations (3) and (4) and identified the following parameters of the effective drilling area, see Table 2.

Табела 2, Резултати експеримента бушења кречњака машином за бушење (16/25) на  $L = 1,74$  m  
Table 2, Results of an experiment drilling limestone with a drill bit(16/25) at  $L = 1.74$  m

Параметри Parameters	Вредност Value	Напомене Notes
$p_{max}$	1,15 mm	Максимална дубина продирања, коефицијент супституције из једначине (3) Maximal penetration depth, the substitution coefficient from Eq. (3)
$\omega$	0,1169 kN <sup>-1</sup>	Коефицијент супституције из једначине (3) The substitution coefficient from Eq. (3)
$\kappa$	6,57 mm	Коефицијент супституције из једначине (4) The substitution coefficient from Eq. (4)
$\Theta$	0,9687 kN	Коефицијент супституције из једначине (4) The substitution coefficient from Eq. (4)
$F_{inf}$	8,556 kN $\rightarrow p = 0,301$ mm	Доња граница зоне ефикасног бушења The lower boundary of the zone of efficient drilling
$F_{opt}$	14,1 kN $\rightarrow p = 0,564$ mm	$1,648 \cdot F_{inf}$ аргумент минимума E $1.648 \cdot F_{inf}$ argument of the minimum E
$F_2$	17,11 kN $\rightarrow p = 0,683$ mm	Горња граница зоне ефикасног бушења The upper boundary of the zone of efficient drilling
$E_{min}$	1,121 МПа при $F = 14,1$ kN 1,121 MPa at $F = 14,1$ kN	Минимална специфична енергија Minimum specific energy
$S_{min}$	3,562 МПа при $F = 15,1$ kN 3,562 MPa at $F = 15,1$ kN	Минимална јачина бушења Minimum drilling strength
$E_{CP}$	1,109 МПа	Вредност на врху резача Value at cutter point
$S_{CP}$	3,534 МПа	Вредност на врху резача Value at cutter point

Добијени односи између специфичне енергије и снаге бушења за круну за бушење (16/25):

- Фаза I:  $E = 0,1834S + 461,62$ ;
- Фаза II:  $E = 0,624S - 1.095,5$ .

Напомена 1: Стољно оштерењење  $F_{inf} = 8,556$  kN одговара дубини продирања  $p = 0,301$  mm. Минимална специфична енергија  $E_{min} = 1,121$  МПа има аргумент  $F_{opt} = 14,1$  kN. Параметри  $E_{CP}$  и  $S_{CP}$  дају вредности специфичне енергије и чврстоће бушења на врху резача, тј. на пресеку линија фазе I и фазе II.

The resulting relationships between specific energy and drilling strength for drill bit (16/25):

- Phase I:  $E = 0.1834S + 461.62$ ;
- Phase II:  $E = 0.624S - 1,095.5$ .

Note 1: The external load  $F_{inf} = 8.556$  kN corresponds to a penetration depth  $p = 0.301$  mm. The minimum specific energy  $E_{min} = 1.121$  MPa has an argument  $F_{opt} = 14.1$  kN. The parameters  $E_{CP}$  and  $S_{CP}$  give the values of the specific energy and drilling strength at the cutter point, i.e. at the intersection of the lines of phase I and phase II.

Са скоро истом дужином бушења  $L=1,73$  m, резултати бушења кречњака круном за бушење (25/40) приказани су у Табели 3.

With almost the same length drilled  $L=1.73$  m, the results of drilling limestone with a drill bit (25/40) are shown in Table 3.

Табела 3, Резултати експеримента бушења кречњака круном за бушење (25/40) на  $L = 1,73$  m  
Table 3, Results of an experiment drilling limestone with a drill bit (25/40) at  $L = 1.73$  m

Параметри Parameters	Вредност Value	Напомене Note
$P_{max}$	1,11 mm	Максимална дубина продирања, коефицијент супституције из једначине (3) Maximal penetration depth, the substitution coefficient from Eq. (3)
$\omega$	0,1336 kN <sup>-1</sup>	Коефицијент супституције из једначине (3) The substitution coefficient from Eq. (3)
$\kappa$	7,44 mm	Коефицијент супституције из једначине (4) The substitution coefficient from Eq. (4)
$\Theta$	0,6769 kN	Коефицијент супституције из једначине (4) The substitution coefficient from Eq. (4)
$F_{inf}$	7,484 kN $\rightarrow p = 0,294$ mm	Доња граница зоне ефикасног бушења The lower boundary of the zone of efficient drilling
$F_{opt}$	12,5 kN $\rightarrow p = 0,552$ mm	$1.67 \cdot F_{inf}$ аргумент минимума E $1.67 \cdot F_{inf}$ argument of the minimum E
$F_2$	14,97 kN $\rightarrow p = 0,665$ mm	Горња граница зоне ефикасног бушења The upper boundary of the zone of efficient drilling
$E_{min}$	1,167 МПа при $F = 12,5$ kN 1,167 МПа at $F = 12,5$ kN	Минимална специфична енергија Minimum specific energy
$S_{min}$	3,231 МПа при $F = 14,1$ kN 3,231 МПа at $F = 14,1$ kN	Минимална јачина бушења Minimum drilling strength
$E_{CP}$	1,150 МПа	Вредност на врху резача Value at cutter point
$S_{CP}$	3,180 МПа	Вредност на врху резача Value at cutter point

Добијени односи између специфичне енергије и снаге бушења за круну за бушење (25/40):

- Фаза I:  $E = 0,2409S + 384,41$ ;
- Фаза II:  $E = 0,4921S - 414,56$ .

The resulting relationships between specific energy and drilling strength for drill bit (25/40):

- Phase I:  $E = 0.2409S + 384.41$ ;
- Phase II:  $E = 0.4921S - 414.56$ .

Евалуацијом 17 узастопних експерименталних бушења круном за бушење (16/25) и 27 експерименталних са круном за бушење (25/40) добили смо просечне вредности екстрема (минимума) специфичне енергије E и снаге бушења S, које су приказане у Табели 4.

By evaluating the 17 subsequent drilling experiments with the drill bit (16/25) and the 27 experiments with the drill bit (25/40) we obtained the average values of the extremes (minima) of the specific energy E and the drilling strength S, which are presented in Table 4.

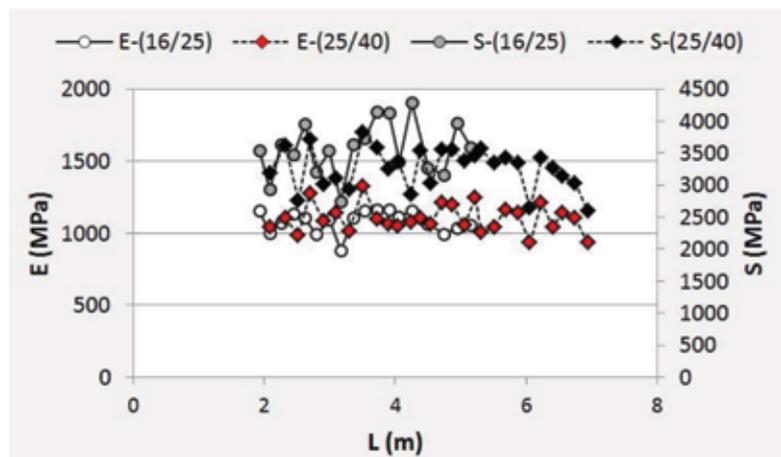
Табела 4, Просечне вредности специфичне енергије E и снаге бушења S постигнуће при бушењу кречњака круном за бушење (16/25) и (25/40)

Table 4, Average values of specific energy E and drilling strength S achieved when drilling limestone with (16/25) and (25/40) drill bits

Круна за бушење Drill bits	Специфична енергија E / Specific energy E (MPa)			Јачина бушења S / Drilling strength S (MPa)		
	Аритметичка средња вредност Arithmetic mean	Стандардно одступање Standard deviation	Просечна вредност Median	Аритметичка средња вредност Arithmetic mean	Стандардно одступање Standard deviation	Просечна вредност Median
16/25	1.084,736	75,835	1.104,034	3.532,136	400,991	3.538,662
25/40	1.102,519	94,710	1.093,267	3.267,816	316,145	3.347,523

Приликом бушења кречњака круном за бушење (16/25) са већим дијамантима, јачина бушења S је неповољнија, тј. стена пружа већи отпор бушењу. Предност круне за бушење (16/25) је мања вредност минималне достижне специфичне енергије E. Разлог за овај парадокс је тај што је оптимално спољашње оптерећење за круну за бушење (16/25)  $F_{opt} = 15,81$  kN са просечном дубином продирања  $p_{opt} = 0,633$  mm. Круна за бушење (25/40) са мањом величином дијаманата има оптималне вредности  $F_{opt} = 13,86$  kN са  $p_{opt} = 0,617$  mm. Међутим, разлике у вредностима минималне специфичне енергије E су незнатне и обе бургије машине за бушење су упоредиве по својој ефикасности при бушењу кречњака. Слика 5 приказује графичке резултате минималних вредности специфичне енергије E и јачине бушења S при бушењу кречњака.

When limestone drilling with drill bit (16/25) with larger size of diamonds the drilling strength S is less favorable, i.e. the rock offers greater resistance to drilling. The advantage of drill bit (16/25) is the smaller value of the minimum achievable specific energy E. The reason for this paradox is that the optimal external load for drill bit (16/25) is  $F_{opt} = 15.81$  kN with an average penetration depth  $p_{opt} = 0.633$  mm. Drill bit (25/40) with smaller size of diamonds has optimal values  $F_{opt} = 13.86$  kN with  $p_{opt} = 0.617$  mm. However, the differences in the values of the minimum specific energy E are insignificant and both drill bits are comparable in their efficiency in drilling limestone. Figure 5 show the graphical outputs of the minimal values of the specific energy E and the drilling strength S when drilling limestone.



Слика 5, Минималне вредности специфичне енергије E и јачине бушења S са повећањем дужине бушења L коришћењем круне за бушење (16/25) и круне за бушење (25/40)

Figure 5, Minimal values of specific energy E and drilling strength S with increasing drilled length L using drill bit (16/25) and drill bit (25/40)

Из резултата приказаних на слици 5, може се рећи да процес бушења састоји се од фаза опоравка и фаза опадања ефикасности бушења. Претпостављамо да је смањење величине E и S узроковано формирањем нових оштрих ивица дијаманата. Након њиховог формирања, процес раздвајања је ефикаснији све док се зрна дијаманта не исполирају и морају се поново формирати нове оштре ивице. Овај циклус се понавља. Израчунати однос E/S је пропорционалан  $\mu$ , где је  $\mu$  коефицијент резања, једначина (6).

$$\mu \sim \frac{E}{S} \quad (6)$$

Површина ефикасног распадања кречњака одређена је на основу израчунатих минималних вредности специфичне енергије E и чврстоће бушења S коришћењем једначина (1) и (2), слика 5. Након тога су израчунате регресионе једначине коефицијента резања  $\mu = 0,8478 (E/S)$  за круну за бушење (16/25), а за круну за бушење (25/40) одређен је коефицијент резања  $\mu = 0,847 (E/S)$ . Коефицијенти детерминације  $R^2 = 1$ . Стога се може рећи да коефицијент резања  $\mu$  представља приближно 85% односа E/S у оптималном режиму бушења.

У Табели 5 су израчунате статистичке карактеристике за коефицијент резања  $\mu$  и однос E/S за коришћене машина за бушење.

From the results presented in Figure 5, it can be stated that the drilling process consists of recovery phases and decay phases of drilling efficiency. We assume that the decrease in the size of E and S is caused by the formation of new sharp edges of diamonds. After their formation, the separation process is more efficient until the diamond grains become polished and new sharp edges must be formed again. This cycle repeats. The calculated E/S ratio is proportional to  $\mu$ , where  $\mu$  is cutting coefficient, equation (6).

The area of the efficient limestone disintegration was determined based on the calculated minimum values of specific energy E and drilling strength S using equations (1) and (2), Figure 5. Subsequently were calculated the regression equations of the cutting coefficient  $\mu = 0.8478.(E/S)$  for drill bit (16/25) and for drill bit (25/40) was determined the cutting coefficient  $\mu = 0.847.(E/S)$ . The coefficients of determination  $R^2 = 1$ . It can therefore be stated that the cutting coefficient  $\mu$  represents approximately 85% of the E/S in the optimal drilling mode.

In Table 5, the statistical characteristics for the cutting coefficient  $\mu$  and the E/S ratio for the drill bits used are calculated.

Табела 5, Средње вредности коефицијента резања  $\mu$  и специфичног енергетског односа E и јачине бушења S постигнуће при бушењу кречњака са круном за бушење (16/25) и са круном за бушење (25/40)

Table 5, Mean values of cutting coefficient  $\mu$  and specific energy ratio E and drilling strength S achieved when drilling limestone with drill bit (16/25) and drill bit (25/40)

Круна за бушење Drill bits	Коефицијент резања $\mu$ / Cutting coefficient $\mu$			Однос E/S / E/S ratio		
	Аритметичка просечна вредност Arithmetic mean	Стандардно одступање Standard deviation	Средња вредност Median	Аритметичка просечна вредност Arithmetic mean	Стандардно одступање Standard deviation	Средња вредност Median
16/25	0,262	0,024	0,263	0,310	0,029	0,310
25/40	0,287	0,020	0,290	0,339	0,023	0,343

## ДИСКУСИЈА

Експериментални резултати су показали да чак и у мање абразивним стенама као што је кречњак, промена геометрије дијамант-

## DISCUSSION

The experimental results showed that even in less abrasive rocks such as limestone, the change in the geometry of diamond grains

ских зрна игра важну улогу у ефикасности бушења. Одступања од  $\pm 10\%$  могу се приписати динамичким променама у резним ивицама (сеченицама), које се наизменично стварају и троше током бушења. Ова појава одговара запажањима других аутора приликом испитивања гранита [8, 9], где је ефекат био још израженији.

Још један аспект је погодност коришћења коефицијента резања као индикатора оптимизације режима бушења. Резултати указују на то да коефицијент добро описује однос специфичне енергије и снаге бушења чак и под променљивим условима. Питање преносивости методологије из лабораторијских услова у *in situ*, где су присутни други фактори као што су утицај шипки за бушење, температуре, притиска или присуства расхладних течности, остаје дискутабилно.

Са практичне перспективе, важно је да методологија омогућава идентификацију оптималних параметара бушења, што може допринети смањењу трошкова енергије и продужењу века трајања алата. У будућности се препоручује њена верификација на већем распону стена и у реалним теренским условима.

## ЗАКЉУЧАК

Проширење евалуације ефикасне површине бушења коришћењем Е-S дијаграма олакшало је тумачење фазе I и фазе II. Евалуирани експерименти бушења кречњака круном за бушење (16/25) и круном за бушење (25/40) доказују да је кречњак стена са ниским абразивним дејством и да су стога постигнути резултати само незнатно погођени хабањем машине за бушење. Ипак, стандардне девијације од око 10% вредности Е и S указују на то да се и у овом случају дешавају промене у геометрији дијамантских зрна. Утврђено је да однос минималних вредности Е и S одговара вредностима коефицијента резања  $\mu$ .

## ЗАХВАЛНИЦА

Ово истраживање је подржано пројектима VEGA 2/0090/23 и APVV-23-0364.

plays an important role in drilling efficiency. Deviations of  $\pm 10\%$  can be attributed to dynamic changes in the cutting edges, which are alternately created and worn during drilling. This phenomenon corresponds to the observations of other authors when testing granites [8, 9], where the effect was even more pronounced.

Another aspect is the suitability of using the cutting coefficient as an indicator of drilling mode optimization. The results indicate that the coefficient well describes the ratio of specific energy and drilling strength even under changing conditions. The question of the transferability of the methodology from laboratory conditions to *in situ*, where other factors such as the influence of the drill string, temperature, pressure or the presence of cooling fluids, remains debatable.

From a practical perspective, it is important that the methodology allows for the identification of optimal drilling parameters, which can contribute to reducing energy costs and extending tool life. In the future, its verification on a larger range of rocks and in real field conditions is recommended.

## CONCLUSION

The extension of the evaluation of the efficient drilling area using E-S diagrams made it easier to interpret phase I and phase II. The evaluated experiments of drilling limestone with drill bit (16/25) and drill bit (25/40) prove that limestone is a low abrasive rock and therefore the achieved results are only slightly affected by drill bit wear. Nevertheless, the standard deviations of about 10% of the E and S values indicate that changes in the geometry of diamond grains occur in this case as well. It was found that the ratio of the minimal values of E and S corresponds to the values of the cutting coefficient  $\mu$ .

## ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by projects VEGA 2/0090/23 and APVV-23-0364.

## ЛИТЕРАТУРА / LITERATURE

- [1] Teale R.: The concept of specific energy in rock drilling, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2(1), 1965, pp. 57–73 [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(65\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0148-9062(65)90022-7).
- [2] Dupriest F. E., Koederitz W. L.: Maximizing drill rates with real-time surveillance of mechanical specific energy (SPE 92194), *Society of Petroleum Engineers*, 2005.
- [3] Bourgoyne Jr. A. T., Millheim K. K., Chenevert M. E., Young, F. S. Jr.: *Applied drilling engineering*. Society of Petroleum Engineers, 1991.
- [4] Detournay E., Defourny P.: A phenomenological model for the drilling action of drag bits. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 29(1), 1992, pp. 13–23, DOI: 10.1016/0148-9062(92)91041-3.
- [5] Detournay E., Richard T., Shepherd M.: Drilling response of drag bits: Theory and experiment. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 45(8), 2008, pp. 1347–1360, DOI: 10.1016/j.ijrmms.2008.01.001.
- [6] Dupriest F. E.: Comprehensive drill-rate management process to maximize rate of penetration (SPE-102210), *Society of Petroleum Engineers*, 2006.
- [7] Pessier R. C., Fear M. J.: Quantifying common drilling problems with mechanical specific energy and a bit-specific coefficient of sliding friction (SPE-24584), *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, 1992.
- [8] Tang H., Liang D.-C., Wu Z.-J., Cheng X.: Energy analysis of intact granite based on test while drilling under different confining stresses and drilling parameters. *Frontiers in Earth Science*, 10, 1057187., 2023., DOI: 10.3389/feart.2022.1057187.
- [9] Ji Z.: Numerical analyses of the granite fragmentation in rotary-percussive drilling with consideration of pre-existing cracks, In *ARMA 2022 Symposium (Paper ARMA-2022-0874)*. OnePetro, 2022.
- [10] Kazi A., Riyaz M., Tang X., Staack D., Tai, B.: Reduction in specific energy of drilling granite through plasma-induced micro-fractures. *Procedia Manufacturing*, U.S. Department of Energy (OSTI), 48, 2020, pp. 1004–1011.
- [11] Lundquist R. G.: The effect of surface conditions on the specific energy of rock drilling, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 8(5), 1971, pp. 481–490, DOI: 10.1016/0148-9062(71)90046-5
- [12] Krúpa V., Kruláková M., Lazarová E., Labaš M., Feriančíková K., Ivaničová L.: Measurement, modeling and prediction of penetration depth in rotary drilling of rocks. *Measurement*, 117, 2018, pp. 165–175, DOI: 10.1016/j.measurement.2017.12.007.

СТРАТЕШКО УПРАВЉАЊЕ РУДАРЕЊЕМ У СВЕТЛУ  
НЕДОСТАТКА РЕСУРСА И ИЗАЗОВА ОДРЖИВОСТИ  
И ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

STRATEGIC MINING MANAGEMENT IN LIGHT  
OF RESOURCE SCARCITY AND SUSTAINABILITY  
AND ENVIRONMENTAL PROTECTION CHALLENGES

DOI: 10.5937/RG2502077S

Прегледни рад  
Review

Иван Стевовић<sup>1</sup>

Diana Mihaela Țîrcă<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Иновациони Центар

Машинског факултета,

Универзитет у Београду, Београд, Република Србија

<sup>2</sup>Економски факултет, Универзитет „Constantin

Brancusi“ у Тргу Жиуу, Тргу Жиу, Горж, Румунија

istevovic@mas.bg.ac.rs

Ivan Stevović<sup>1</sup>

Diana Mihaela Țîrcă<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Innovation Center of the

Faculty of Mechanical Engineering

University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia

<sup>2</sup>Faculty of Economics, “Constantin Brancusi”

of Targu-Jiu, Targu-Jiu, Gorj, Romania

istevovic@mas.bg.ac.rs

Примљен 22. 9. 2025; Рецензиран 29. 10. 2025; Прихваћен 21. 11. 2025.

Received 22 September 2025; Received in revised version 29 October 2025; Accepted 21 November 2025

**Сажетак:** *Савремено рударство налази се на раскрићу између растућих потреба за минералним сировинама и ограничених природних ресурса, уз истовремено појачане јавности и регулаторних тела да се очувају екосистеми. Стратешко управљање рударским активностима захтева интеграцију економских, еколошких и социјалних аспеката, као и усклађивање са принципима циркуларне економије. Циљ овог рада је да се анализирају кључни изазови у домену одрживости, идентификују фактори који условљавају недостатак минералних ресурса и понуде стратегије за дугорочно планирање. Методологија је заснована на компаративној анализи глобалних трендова, процени расположивости рудних лежишта и анализи утицаја на животну средину кроз индикаторе као што су емисије CO<sub>2</sub>, загађење воде и деградација земљишта. Резултати указују на потребу примене интегрисаног управљачког приступа, развој технолошких иновација за повећање ефикасности експлоатације и усклађивање стројних еколошких стандарда. Дискусија показује да успешна трансформација рударског сектора зависи од дугорочне визије, јавноприватног партнерства и усмеравања инвестиција ка истраживању и рециклажи секундарних сировина. Закључак истиче да је само холистички приступ, који истовремено подржава економску добит и заштити природно окружење, у стању да обезбеди стабилност и одрживост рударства у наредним деценијама.*

**Кључне речи:** СТРАТЕШКО УПРАВЉАЊЕ, РУДАРСТВО, ЦИРКУЛАРНА ЕКОНОМИЈА, ОДРЖИВИ РАЗВОЈ, ЗАШТИТА ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

**Abstract:** *Modern mining is at the crossroads of growing demand for mineral resources and limited natural resources, while at the same time increasing public and regulatory pressure to preserve ecosystems. Strategic*

*management of mining activities requires the integration of economic, environmental and social aspects, as well as compliance with the principles of the circular economy. The aim of this paper is to analyze key challenges in the field of sustainability, identify factors that determine the scarcity of mineral resources and offer strategies for long-term planning. The methodology is based on comparative analysis of global trends, assessment of the availability of mineral deposits and analysis of environmental impacts through indicators such as CO<sub>2</sub> emissions, water consumption and land degradation. The results indicate the need to apply an integrated management approach, develop technological innovations to increase the efficiency of exploitation and establish strict environmental standards. The discussion shows that the successful transformation of the mining sector depends on a long-term vision, public-private partnerships and directing investments towards the exploration and recycling of secondary raw materials. The conclusion emphasizes that only a holistic approach, which simultaneously addresses economic profit and environmental protection, is able to ensure the stability and acceptability of mining in the coming decades.*

**Keywords:** STRATEGIC MANAGEMENT, MINING, CIRCULAR ECONOMY, SUSTAINABLE DEVELOPMENT, ENVIRONMENTAL PROTECTION

## УВОД

Рударство је историјски представљало основ индустријског развоја и технолошког напретка, али је истовремено изазвало значајне промене у природним екосистемима. У последњим деценијама, нагли раст светске популације и индустријализација довели су до повећане потражње за металима и минералима, што резултира исцрпљивањем висококвалитетних лежишта и растућим притиском на животну средину. Ограниченост ресурса и све строжи еколошки стандарди намећу потребу за преиспитивањем досадашњих пракси и изработом одговарајуће просторно планске документације [1]. Савремено рударство више не може да се посматра искључиво кроз призму економске добити, већ захтева холистички приступ који укључује концепт одрживог развоја, друштвене одговорности и управљања ризицима.

Истовремено, климатске промене, губитак биодиверзитета и деградација земљишта намећу нове изазове [2]. Стратегије које се примењују у водећим рударским земљама све више интегришу процену животног циклуса и технолошке иновације попут аутоматизације и дигитализације рударских процеса, а посебно су усмерени ка прелазу са линеарне на циркуларну економију, која је при коришћењу необновљивих извора енергије још већи императив него код обновљивих [3]. Циљ овог рада је да истражи како стратешко управљање може допринети ефикаснијем коришћењу ресурса, мини-

## INTRODUCTION

Mining has historically been the basis of industrial development and technological progress, but it has also caused significant changes in natural ecosystems. In the recent decades, rapid growth in the world population and industrialization have led to increased demand for metals and minerals, resulting in the depletion of high-quality deposits and increasing pressure on the environment. Resource limitations and increasingly stringent environmental standards impose the need to review previous practices and develop appropriate spatial planning documentation [1]. Modern mining can no longer be viewed exclusively through the prism of economic profit, but requires a holistic approach that includes the concept of sustainable development, social responsibility and risk management.

At the same time, climate change, biodiversity loss and land degradation pose new challenges [2]. Strategies implemented in leading mining countries increasingly integrate life cycle assessment and technological innovations such as automation and digitization of mining processes, and are particularly focused on the transition from a linear to a circular economy, which is an even greater imperative when using non-renewable energy sources than when using renewable ones [3]. The aim of this paper is to explore how strategic management can contribute to more efficient use of resources, minimizing environmental impacts

мизовању еколошких утицаја и обезбеђивању дугорочне одрживости сектора.

Рударство као кључна индустријска грана у XXI веку [4] налази се пред сложеним изазовима који проистичу из све веће глобалне потражње за минералним ресурсима, ограничене доступности сировина, као и еколошких притисака и захтева за одрживим развојем. Стратешко управљање рударењем постаје императив, јер подразумева балансирање између економских интереса, енергетске безбедности, социјалних потреба и заштите животне средине.

## МЕТОДОЛОГИЈА

Методолошки приступ у овом раду заснован је на примени мултикритеријалне анализе (МСА) [5], која омогућава евалуацију различитих аспеката рударске индустрије у односу на циљеве одрживог развоја.

Кључни кораци методологије обухватају:

- Идентификација ресурса и потреба – утврђивање кључних минералних и енергетских ресурса у свету и региону, као и трендова њихове потрошње и утицаја на животну средину.
- Компаративна анализа најбољих пракси – студије случаја из земаља са развијеним системима управљања рударством (нпр. Норвешка, Канада, Аустралија).

Методолошки оквир истраживања обухвата анализу глобалних трендова и извора података. Коришћене су статистике Међународне агенције за енергију, Светске банке и УН о производњи, резервама и потрошњи кључних руда/минерала (угаљ, бакар, гвожђе, ретки елементи).

Прикупљени подаци су обрађени статистичким методама коришћењем софтверских пакета Microsoft Excel и IBM SPSS Statistics 24.

Квалитативни подаци прикупљени су из научних радова, студија случаја (Аустралија, Чиле, Србија) и извештаја компанија.

and ensuring the long-term sustainability of the sector.

Mining, as a key industry in the 21st century [4], faces complex challenges arising from the increasing global demand for mineral resources, the limited availability of raw materials, as well as environmental pressures and the requirements for sustainable development. Strategic mining management is becoming imperative, as it involves balancing economic interests, energy security, social needs, and environmental protection.

## METHODOLOGY

The methodological approach in this paper is based on the application of multi-criteria analysis (MCA) [5], which allows for the evaluation of various aspects of the mining industry in relation to sustainable development goals.

The key steps of the methodology include:

- Resource and needs identification – determining key mineral and energy resources in the world and the region, as well as trends in their consumption and environmental impact.
- Comparative analysis of best practices – case studies from countries with developed mining management systems (e.g. Norway, Canada, Australia).

The methodological framework of the research includes an analysis of global trends and data sources. Statistics from the International Energy Agency, the World Bank and the UN on the production, reserves and consumption of key ores/minerals (coal, copper, iron, rare earth elements) were used.

The collected data were processed based on statistical methods using the software packages Microsoft Excel and IBM SPSS Statistics 24.

Qualitative data were collected from scientific papers, case studies (Australia, Chile, Ser-

Квантитативни подаци су обрађени и дескриптивном статистиком, графичким и табеларним приказима трендова. Циљ методологије је да омогући системско сагледавање рударства кроз призму ресурса, технологије, регулативе и друштвено-еколошких утицаја.

## РЕЗУЛТАТИ

### ГЛОБАЛНИ ДЕФИЦИТ РЕСУРСА

Истраживања Међународне агенције за енергију (IEA) [29] спроведена 2024. године [6] и Геолошког института САД (USGS) [7, 30] показују да се резерве висококвалитетних руда у свету смањују. Годишња стопа пада изражена у мегатонама (Mt) приказана је у Табели 1 за бакар, никл, литијум и кобалт. Резултати показују и да је просечан садржај метала у новооткривеним лежиштима знатно нижи него у рудницима који су се експлоатисали у другој половини XX века. На пример, просечан садржај бакра у новоразвијеним рудницама Чилеа опао је са 1,2% на око 0,6% у последње три деценије [8]. Настали услови подразумевају удвостручење количине руде која се мора прерадити за исту тонажу метала, уз повећање потрошње енергије и воде [9].

Quantitative data were also processed using descriptive statistics, graphical and tabular displays of trends. The goal of the methodology is to enable a systemic view of mining through the prism of resources, technology, regulations and socio-ecological impacts.

## RESULTS

### GLOBAL RESOURCE SHORTAGE

Research by the International Energy Agency (IEA) [29] conducted in 2024 [6] and the United States Geological Survey (USGS) [7, 30] shows that the world's reserves of high-grade ores are decreasing. The annual rate of decline in megatons (Mt) is shown in Table 1 for copper, nickel, lithium and cobalt. The results also show that the average metal content of newly discovered deposits is significantly lower than in mines that were exploited in the second half of the 20th century. For example, the average copper content of newly developed mines in Chile has fallen from 1.2% to about 0.6% in the last three decades [8]. The resulting conditions imply a doubling of the amount of ore that must be processed to produce the same tonnage of metal, with increasing energy and water consumption [9].

Табела 1, Глобални трендови резерви и потражње за одабраним металима у свету

Table 1, Global trends in reserves and demand for selected metals in the world

Метал Metal	Процењене глобалне резерве (Mt) Estimated global reserves (Mt)	Годишња потрошња 2023 (Mt) Annual consumption 2023 (Mt)	Просечни раст потражње (%) Average demand growth (%)	Просечан садржај руде Average ore grade (%)	
				1980.god year	2023.god year
Бакар Copper	870	27	3,5–4,0	1,2	0,6
Никл Nickel	95	3,4	4,5–5,0	2,0	1,1
Литијум Lithium	26	0,14	7,0–10,0	1,5	1,0
Кобалт Cobalt	7,6	0,19	6,0	0,3	0,2

Резултати истовремено показују да светска потражња за критичним минералима драматично расте. Енергетска транзиција, пре свега електрификација транспорта и развој складишта енергије, узрокује годишњи раст тражње за бавром, литијумом, кобалтом и ретким земљама. Само за производњу батерија за електрична возила, очекује се да ће потребе за литијумом до 2030. порастати за више од 300% у односу на ниво из 2020. Ова диспропорција између темпа експлоатације и формирања нових резерви условљава пораст цена на глобалним берзама и генерише геополитичке тензије, посебно између водећих произвођача и потрошача.

У Србији, као делу Западног Балкана, посебну пажњу изазивају лежишта борских бакарних руда [10] и јадарског литијума [11], Табела 2. Историјски гледано, Бор је један од најзначајнијих европских центара за производњу бакра, али дуготрајна експлоатација довела је до пада садржаја бакра у руди са некадашњих 2% на испод 0,6% [12]. Пројекат „Јадар“ код Лознице, иако још увек предмет јавних и регулаторних расправа [13], показује колико су ретка и вредна налазишта литијума у Европи и колико су инвестиције у такве ресурсе повезане са друштвеним отпором и еколошким ризицима.

The results also show that global demand for critical minerals is growing dramatically. Energy transition, primarily electrification of transport and development of energy storage, is driving annual growth in demand for copper, lithium, cobalt and rare earths. For the production of batteries for electric vehicles alone, lithium demand is expected to increase by more than 300% by 2030 compared to the 2020 levels. This imbalance between the rate of exploitation and the formation of new reserves is driving up prices on global stock exchanges and generating geopolitical tensions, especially between leading producers and consumers.

In Serbia, as part of the Western Balkans, the Bor copper ore deposits [10] and Jadar lithium [11] are of particular interest, Table 2. Historically, Bor has been one of the most important European centres for copper production, but long-term exploitation has led to a drop in the copper content of the ore from the former 2% to below 0.6% [12]. The Jadar project near Loznica, although still subject to public and regulatory debate [13], shows how rare and valuable lithium deposits are in Europe and how investments in such resources are associated with social resistance and environmental risks.

Табела 2, Примери из Србије, процене за бакар и литијум  
Table 2, Examples from Serbia, estimates for copper and lithium

Лежиште Deposit	Руда/минерал Ore/Mineral	Историјски садржај (%) Historical content (%)	Тренутни садржај (%) Current content (%)	Процењене резерве (Mt) Estimated reserves (Mt)	Кључни изазови Key challenges
Бор (Велики Кривељ, Церово) Bor (Veliki Krivelj, Cerovo)	Бакар Copper	са 2,0 на 1,2 from 2.0 to 1.2	0,5–0,6	>300	Старе технологије прераде, еколошки утицај Old processing technologies, environmental impact
Јадар (Лозница) Jadar (Loznica)	Литијум- борати Lithium- borate	–	1,8 (Li <sub>2</sub> O)	>100	Еколошка прихватљивост, друштвени отпор Environmental acceptability, social resistance

Ови подаци јасно показују да се светски рударски сектор суочава са „двоструким макама“ – са једне стране расте потреба за минералима због дигитализације и енергетске транзиције, а са друге стране опада квалитет руда и усложњавају се еколошки услови. Повећани ризици од нестабилности снабдевања захтевају развој стратегија за ефикасније коришћење ресурса, рециклажу, замену материјала и улагање у истраживање нових лежишта уз минималан утицај на околину.

#### ЕКОЛОШКИ ПРИТИСЦИ

Рударске активности имају сложен и вишеслојан утицај на животну средину, који се манифестује кроз емисије гасова стаклене баште, деградацију земљишта, контаминацију водотокова, губитак биодиверзитета и повећање буке и прашине у локалним заједницама. Енергетски интензивни процеси дробљења, млевења и флотације руде захтевају велике количине електричне енергије и воде, што у крајњем исходу води повећању угљеничног отиска и притиску на локалне водне ресурсе. Подаци Међународне агенције за енергетику (IEA) [29] и Међународног савета за рударство и метале (ICMM) [31] из 2023. године показују да рударски сектор глобално учествује са приближно 7% у укупним индустријским емисијама CO<sub>2</sub>, при чему отворени копови и металуршке прераде доприносе највећем уделу.

Резултати показују да се негативни утицаји рударских активности на животну средину најчешће појављују у следећим областима:

- Водни ресурси – у периоду 2010–2020. просечна потрошња воде по тони руде повећана је за око 18% [14, 15, 16, 17, 18, 19]. Ово је последица пада садржаја метала, што изискује већи обим прераде и интензивније испирање.
- Контаминација земљишта и воде – цурење киселих рударских вода (acid mine drainage) доводи до растварања тешких метала и њиховог уноса у водене токове, са дуготрајним ефектима на екосистеме.
- Биодиверзитет и пејзаж – велики отворени копови и депоније јаловине узро-

These data clearly show that the global mining sector is facing a “double-edged sword” – on the one hand, demand for minerals is growing due to digitization and energy transition, and on the other hand, the quality of ores is declining and environmental conditions are becoming more complex. Increased risks of supply instability require the development of strategies for more efficient use of resources, recycling, material substitution and investment in the exploration of new deposits with minimal environmental impact.

#### ENVIRONMENTAL PRESSURES

Mining activities have a complex and multifaceted environmental impact, manifested through greenhouse gas emissions, land degradation, water contamination, biodiversity loss and increased noise and dust in local communities. The energy-intensive processes of crushing, grinding and flotation of ore require large amounts of electricity and water, which ultimately leads to an increase in the carbon footprint and pressure on local water resources. Data from the International Energy Agency (IEA) [29] and the International Council on Mining and Metals (ICMM) [31] from 2023 show that the mining sector contributes approximately 7% of total industrial CO<sub>2</sub> emissions globally, with the largest share of open pit mining and metallurgical processing.

The results show that the negative impacts of mining activities on the environment most frequently occur in the following areas:

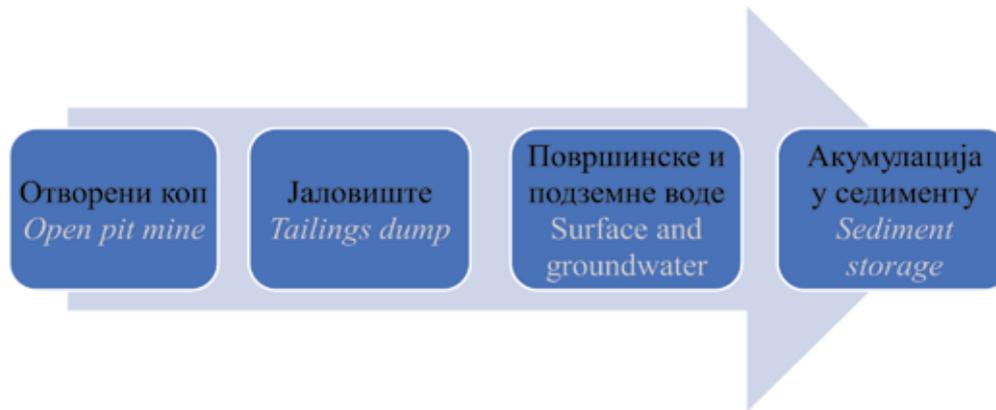
- Water resources – in the period 2010–2020. average water consumption per ton of ore increased by about 18% [14, 15, 16, 17, 18, 19]. This is a consequence of decrease in the metal content, which requires a larger volume of processing and more intensive leaching.
- Soil and water contamination – leakage of acid mine drainage leads to the dissolution of heavy metals and their entry into water courses, with long-term effects on ecosystems.
- Biodiversity and landscape – large open pit mines and tailings dumps cause habitat loss,

кују губитак станишта, фрагментацију екосистема и трајне промене у морфологији терена.

ecosystem fragmentation and permanent changes in terrain morphology.

Пропагација загађења у рударским зонама отворених копова приказана је шематски на Слици 1.

The propagation of pollution in open pit mining zones is shown schematically in Figure 1.



Слика 1, Шематски приказ токова загађења у рударским зонама отворених копова  
Figure 1, Schematic representation of pollution flows in open pit mining zones

Резултати истраживања показују да су рударске зоне у Србији најчешће црне тачке животне средине. Загађујуће материје, пре свега тешки метали и полуметали (бакар, арсен, олово, кадмијум), после испуштања у површинске воде (реке, језера) постепено прелазе из водене фазе у чврсту фазу и таложе се у доњим слојевима речног, или језерског дна.

Research results show that mining zones in Serbia are the most common environmental black spots. Pollutants, primarily heavy metals and semi-metals (copper, arsenic, lead, cadmium), after being released into surface waters (rivers, lakes) gradually pass from the aqueous phase to the solid phase and settle in the lower layers of the river or lake bottom.

Хемијска реакција се одвија тако што се растворене јонске форме метала везују за честице глине, органску материју и оксиде гвожђа/мангана, па се таложе као нерастворљива једињења.

The chemical reaction occurs as dissolved ionic forms of metals bind to clay particles, organic matter, and iron/manganese oxides, and are deposited as insoluble compounds.

Једном кад се метали нађу у седименту, они остају дуго, често деценијама, и могу поново прећи у воду ако дође до промене рН, оксидационо редукционих услова или хидродинамике, што у резултату даје дугорочни резервоар загађења.

Once metals are in sediment, they remain for a long time, often decades, and can be re-introduced into the water if there is a change in pH, redox conditions, or hydrodynamics, resulting in a long-term reservoir of pollution.

Еколошки ризик је значајно повећан, јер седимент постаје „складиште“ токсичних материја које могу улазити у ланац исхране (биоакумулација у дну, шкољкама, рибама).

The environmental risk is significantly increased, as sediment becomes a “storage” of toxic substances that can enter the food chain (bioaccumulation in the bottom, shellfish, fish).

Србија има дугу рударску традицију (Бор, Мајданпек, Трепча) [20], што је донело зна-

Serbia has a long mining tradition (Bor, Majdanpek, Treпча) [20], which has brought sig-

чајне економске бенефите, али и озбиљне еколошке последице:

1. Борски рударско-металуршки басен:
  - Деценијска експлоатација бакра довела је до акумулације јаловишта и повећаних концентрација тешких метала (арсен, кадмијум) у околном земљишту и водотоцима.
  - Емисије SO<sub>2</sub> из топионице, иако смањене модернизацијом постројења у 2021. години [21], и даље представљају изазов за квалитет ваздуха и здравље становништва.
2. Јадарски басен (потенцијално лежиште литијума):
  - Могући утицаји укључују измену водног режима реке Јадар, стварање великих количина јаловине са ризиком од цурења у подземне воде и деградацију пољопривредног земљишта.
  - Локалне заједнице изражавају забринутост због недостатка транспарентности и дугорочних гаранција за рекултивацију.
3. Стара јаловишта и несанитарне депоније:
  - На више локација (Столице, Злот, Звечан) присутни су наслеђени проблеми неконтролисаног цурења тешких метала и киселих вода у речне системе, што резултира хроничним загађењем.

Резултати анализе података из комбиних јавно доступних извештаја Међународне агенције за енергетику (IEA) [29], Међународног панела о климатским променама (IPCC) [32], јавни извештаји термоелектрана [33, 34] и академских студија о емисијама угљендиоксида, сумпордиоксида, потрошње воде и садржаја тешких метала у седименту на неким постојећим и планираним локацијама у Србији [22] су приказани у Табели 3 уз поређење са референтним вредностима просечним за ЕУ.

nificant economic benefits, but also serious environmental consequences:

1. Bor Mining and Metallurgical Basin:
  - Decades of copper mining have led to the tailings storage and increased concentrations of heavy metals (arsenic, cadmium) in the surrounding soil and waterways.
  - SO<sub>2</sub> emissions from the smelter, although reduced by modernization of the plant in 2021 [21], continue to pose a challenge to air quality and public health.
2. Jadar Basin (potential lithium deposit):
  - Possible impacts include alteration of the water regime of the Jadar River, generation of large amounts of tailings with risk of leakage into groundwater, and degradation of agricultural land.
  - Local communities express concerns about the lack of transparency and long-term guarantees for reclamation.
3. Old tailing dumps and unsanitary landfills:
  - In several locations (Stolice, Zlot, Zvečan) there are inherited problems of uncontrolled leakage of heavy metals and acidic waters into river systems, resulting in chronic pollution.

The results of the analysis of data from combined publicly available reports of the International Energy Agency (IEA) [29], the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [32], public reports of thermal power plants [33, 34] and academic studies on carbon dioxide, sulphur dioxide emissions, water consumption, and heavy metal content in sediment at some existing and planned sites in Serbia [22] are presented in Table 3, along with a comparison with the EU average reference values.

Табела 3, Кључни индикатори утицаја рударства на животну средину (пример Србије)  
Table 3, Key indicators of the impact of mining on the environment (example of Serbia)

Параметар Parameter	Бор (2023) Bor (2023)	Мајданпек (2023) Majdanpek (2023)	Јадар (пројекција) Jadar (projection)	Референтна вредност (ЕУ) Reference value (EU)
Емисија CO <sub>2</sub> (t/год) CO <sub>2</sub> emissions (t/year)	~1.250.000	~380.000	450.000	-
SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> ваздуха) SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> air)	40–80 (пик >100) 40–80 (peak >100)	30–50	-	<20 (лимит) <20 (limit)
Потрошња воде (m <sup>3</sup> /тона) Water consumption (m <sup>3</sup> /ton)	4,2	3,8	5,0	<3,0 (добра пракса) <3,0 (good practice)
Тешки метали у седименту (mg/kg) Heavy metals in sediment (mg/kg)	Cu 320, As 75	Cu 210, Pb 55	Li -	Cu <50 As <20 (оријент.) Cu <50 As <20 (approx.)

Резултати истраживања у Србији су показали да је у зонама Борског Тимока и Пека, вишегодишња активност рудника довела до повећаних концентрација бакра (Cu), олова (Pb) и арсена (As) у седиментима [23], што је потврђено мониторингом и истраживањима Геолошког завода [35].

Акумулација у седименту је опасан трансфер загађења из воде у нанос на дну, који временом делује као „архива“ загађивача и потенцијални секундарни извор, ако услови окружења омогуће поновно ослобађање.

Импликације оваквих загађења утичу негативно на водни биланс. Растућа конкуренција између индустрије, пољопривреде и домаћинства у долинама великих река захтева квалитативну и квантитативну контролу и рециклажу процесних вода.

Резултат оваквих загађења у Србији су дугорочни ризици. Наслеђени стари рударски објекти захтевају санацију, јер представљају латентни извор хроничног загађења. Сходно томе је потребно прилагодити и законодавство. Имплементација ЕУ директива о управљању отпадом и водама остаје изазов, посебно у сегменту мониторинга и транспарентности података.

Research results in Serbia have shown that in the Borski Timok and Pek zones, long-term mining activity has led to increased concentrations of copper (Cu), lead (Pb) and arsenic (As) in sediments [23], which has been confirmed by monitoring and research carried out by the Geological Survey of Serbia [35].

Sediment storage is dangerous transfer of pollution from water to sediment, which over time acts as an “archive” of pollutants and a potential secondary source, if environmental conditions allow for re-release.

The implications of such pollution have a negative impact on the water balance. Growing competition between industry, agriculture and households in the valleys of large rivers requires qualitative and quantitative control and recycling of process waters.

Such pollution in Serbia carries long-term risks. Inherited old mining facilities require rehabilitation, as they represent a latent source of chronic pollution. Accordingly, legislation needs to be adjusted. Implementation of the EU directives on waste and water management remains a challenge, especially in the segment of monitoring and data transparency.

## УВИДИ ИЗ СТУДИЈА СЛУЧАЈА

Анализа упоредних примера из Аустралије, Чилеа, Србије и земаља са најразвијенијим системима управљања рударством омогућава да се размотре стварни домети примењених политика и технолошких решења у контексту одрживости и заштите животне средине. Уместо изолованог приказа чињеница, овде су резултати интегрисани у наратив који указује на кључне законитости и поуке релевантне за српски рударски сектор.

У Аустралији се током последње две деценије развио концепт интегрисаног управљања ресурсима [24] који истовремено узима у обзир потребе привреде и очување екосистема. Усвајањем Закона о заштити животне средине и биодиверзитета (EPBC) створен је правни оквир који не допушта отварање великог рудника без свеобухватне процене утицаја и јавне расправе. Истраживања показују да је систем „прогресивне рекултивације“, при коме се већ ископане површине паралелно обнављају током рада копа, значајно смањило деградацију земљишта и омогућио враћање функционалних екосистема на преко 40% површина у року од пет година по завршетку експлоатације. Додатно, увођење сувог одлагања јаловине и затворених кругова воде смањило је ризик од изливања и губитка воде, што се посебно истиче у полусушним подручјима Западне Аустралије.

Чиле, као водећи светски произвођач бакра, суочава се са изразитим водним дефицитом у аридним зонама Атакаме [25]. Резултати примене постројења за десалинизацију показују да је више од половине потреба воде за велике руднике, попут Ескондида, обезбеђено из морских извора, чиме је избегнут притисак на подземне и површинске токове. Паралелно, систем онлајн мониторинга емисија прашине и сумпор-диоксида омогућава тренутно реаговање надлежних служби и транспарентност према јавности. Оваква пракса не само да редукује негативне утицаје већ и доприноси изградњи поверења локалних заједница, што се уочава кроз смањење броја конфликта и правних спорова након увођења ових мера.

## INSIGHTS FROM CASE STUDIES

Analysis of comparative examples from Australia, Chile, Serbia and countries with the most developed mining management systems allows us to consider the real scope of the applied policies and technological solutions in the context of sustainability and environmental protection. Instead of an isolated presentation of facts, here the results are integrated into a narrative that points out key regularities and lessons relevant to the Serbian mining sector.

In Australia, the concept of integrated resource management [24] has developed over the past two decades, simultaneously taking into account the needs of the economy and the preservation of ecosystems. The adoption of the Environmental Protection and Biodiversity Act (EPBC) created a legal framework that does not allow the opening of a large mine without a comprehensive impact assessment and public debate. Research shows that the system of “progressive reclamation”, in which previously excavated areas are restored in parallel during mining operations, has significantly reduced soil degradation and enabled the restoration of functional ecosystems to over 40% of the areas within five years of the end of exploitation. In addition, the introduction of dry tailings disposal and closed water circuits has reduced the risk of spills and water loss, which is particularly emphasized in the semi-arid areas of Western Australia.

Chile, the world’s leading copper producer, is facing severe water shortages in the arid Atacama Desert [25]. Results of implementation of desalination plants show that more than half of the water needs of large mines, such as Escondido, are met from sea sources, thus avoiding pressure on groundwater and surface watercourses. In parallel, an online monitoring system for dust and sulphur dioxide emissions enables immediate response by the relevant authorities and public transparency. This practice not only reduces negative impacts but also contributes to building trust among local communities, as can be seen in the reduction in the number of conflicts and legal disputes following the introduction of these measures.

Србија се налази у транзиционом положају, где историјски наслеђени проблеми – посебно у Бору и Мајданпеку – и даље оптерећују квалитет воде и седимената тешким металима [26]. Нови Закон о рударству и геолошким истраживањима (2021) поставио је темељ за усаглашавање са европским еколошким стандардима, али спровођење остаје изазов због ограничених инспекцијских капацитета и недовољне дигитализације података. У појединим пројектима, попут истраживања литијума у долини Јадра [27], захтеви јавности за транспарентност и заштиту животне средине довели су до суспензије активности и отворили расправу о социјалној лиценци за рад. Ипак, пилот-пројекти рециклаже старих јаловина и претварања отпадних материјала у секундарне сировине показују да постоји потенцијал за увођење циркуларне економије у рударство Србије.

Увид у праксу Норвешке [36] и Канаде даје драгоцене смернице за даље унапређење. Норвешка је развила специфичан модел одлагања у фјордовима уз строг мониторинг концентрација тешких метала, чиме је ризик за биоту сведен на минималан ниво и омогућено континуирано праћење кумулативних ефеката. Канада, с друге стране, инсистира на изради детаљног плана затварања рудника пре почетка рада, уз активно укључивање домородачких заједница у процес одлучивања и дељење економских користи [28]. Такав приступ не само да смањује потенцијалне сукобе него гради дугорочни друштвени консензус о прихватљивости рударских активности.

Упоредни резултати указују да су ефикасност мера и степен прихватања рударских пројеката у великој мери условљени транспарентношћу, правовременим укључивањем јавности и техничким решењима која смањују водни и енергетски отисак. Док земље попут Аустралије и Чилеа демонстрирају да се и у интензивном рударству могу постићи високи еколошки стандарди, искуства Норвешке и Канаде наглашавају важност предвидивих регулаторних механизма и социјалне лиценце. За Србију, која настоји да повећа учешће рударства у БДП-у, поука је да без унапређења мониторинга, транспарентности и укључивања локалних заједница

Serbia is in a transitional situation, where historically inherited problems – especially in Bor and Majdanpek – continue to burden water quality and sediments with heavy metals [26]. The new Mining and Geological Exploration Act (2021) has laid the groundwork for compliance with the European environmental standards, but enforcement remains a challenge due to limited inspection capacity and insufficient data digitization. In some projects, such as lithium exploration in the Jadar Valley [27], public demands for transparency and environmental protection have led to suspension of activities and opened a debate on a social work permit. However, pilot projects for the recycling of old tailings and the conversion of waste materials into secondary raw materials show that there is potential for introducing a circular economy into Serbia's mining industry.

Insights into the practices of Norway [36] and Canada provide valuable guidance for further improvement. Norway has developed a specific model for disposal in fjords with strict monitoring of heavy metal concentration, which minimizes the risk to biota and allows for continuous monitoring of cumulative effects. Canada, on the other hand, insists on the development of a detailed mine closure plan before the beginning of operations, with active involvement of indigenous communities in the decision-making process and sharing of economic benefits [28]. Such approach not only reduces potential conflicts but also builds long-term social consensus on the acceptability of mining activities.

Comparative results indicate that the effectiveness of measures and the degree of acceptance of mining projects are largely determined by transparency, timely public involvement and technical solutions that reduce water and energy footprints. While countries such as Australia and Chile demonstrate that high environmental standards can be achieved even in intensive mining, the experiences of Norway and Canada emphasize the importance of predictable regulatory mechanisms and social licences. For Serbia, which is striving to increase the share of mining in the GDP, the lesson learned is that without improved monitoring, transparency and involvement of the local communities,

нема дугорочне одрживости ни друштвене прихватљивости рударских подухвата.

there is no long-term sustainability or social acceptability of mining ventures.

## ИСКОПАВАЊЕ И КВАЛИТЕТ УГЉА У СРБИЈИ

## MINING AND QUALITY OF COAL IN SERBIA

Србија располаже значајним резервама лигнита, пре свега у Колубарском и Костолачком басену, са укупним процењеним количинама преко 4 милијарде тона [37]. Лигнит чини више од 65% примарне енергије у електроенергетском миксу земље. Међутим, квалитет овог угља је релативно низак – карактерише га висока влажност (до 50%), низак до средњи доњи топлотни потенцијал (7–9 MJ/kg) и повећан садржај пепела и сумпора. Та својства условљавају већу специфичну потрошњу по произведеном kWh и вишу емисију CO<sub>2</sub> у поређењу са угљем вишег квалитета који се користи у појединим развијеним земљама.

Serbia has significant reserves of lignite, primarily in the Kolubara and Kostolac basins, with total estimated quantities of over 4 billion tons [37]. Lignite accounts for more than 65% of primary energy in the country's electric power mix. However, the quality of this coal is relatively low - it is characterized by high humidity (up to 50%), low to medium lower heating potential (7–9 MJ/kg) and increased ash and sulphur content. These properties result in higher specific consumption per kWh produced and higher CO<sub>2</sub> emissions compared to higher quality coal used in some developed countries.

Термоелектране „Никола Тесла“ и „Костолац“ су главни потрошачи домаћег лигнита и извор око 70% националних емисија CO<sub>2</sub> из енергетског сектора [38]. Низак степен ефикасности старих блокова (25–33%) додатно повећава емисијски фактор. Прелазак на технологије са вишим степеном искоришћења, санација губитака и увођење система за десулфуризацију представљају кључне кораке за смањење угљеничног отиска. У контексту европске енергетске транзиције, Србија ће морати да преиспита дугорочну улогу лигнита и убрза улагања у обновљиве изворе енергије и мере енергетске ефикасности.

The Nikola Tesla and Kostolac thermal power plants are the main consumers of domestic lignite and the source of about 70% of national CO<sub>2</sub> emissions from the energy sector [38]. The low efficiency of old units (25–33%) further increases the emission factor. Switching to technologies with higher efficiency, remediation of losses and introduction of desulphurization systems are key steps for reducing the carbon footprint. In the context of the European energy transition, Serbia will have to reconsider the long-term role of lignite and accelerate investments in renewable energy sources and energy efficiency measures.

Резултати статистичких анализа међународног мониторинга квалитета неких угљева [29] у Србији и неким земљама ЕУ [32] са последичним емисијама [33] су приказани у Табели 4.

The results of statistical analyses of international monitoring of the quality of some coals [29] in Serbia and some EU [32] countries with the resulting emissions [33] are presented in Table 4.

Емисија CO<sub>2</sub> по kWh варира у зависности од квалитета угља (од садржаја воде, сумпора, пепела), ефикасности постројења, начина рада (пун капацитет, половичан рад), као и од мера као што су разни системи за смањење емисија.

CO<sub>2</sub> emissions per kWh vary depending on coal quality (moisture content, sulphur, ash), plant efficiency, operating mode (full capacity, half-load operation), as well as measures such as various emission reduction systems.

Табела 4, Поређење топлотног потенцијала и емисија CO<sub>2</sub> из угља (просек)  
Table 4, Comparison of thermal potential and CO<sub>2</sub> emissions from coal (average)

Земља / Регион Country / Region	Тип угља Coal type	Доњи топлотни потенцијал (MJ/kg) Lower heating potential (MJ/kg)	Емисије CO <sub>2</sub> (g/kWh) CO <sub>2</sub> emissions (g/kWh)	Напомена Note
Србија (Колубара) Serbia (Kolubara)	Лигнит Lignite	7–9	1.050–1.150	ТЕ „Никола Тесла“, ниска ефикасност ТРП “Nikola Tesla”, low efficiency
Немачка (Лузатија) Germany (Lusatia)	Лигнит Lignite	9–11	950–1.000	Савремени блокови >38% Modern units >38%
Пољска Poland	Камени угаљ Hard coal	18–22	850–900	Средња ефикасност Medium efficiency
Аустралија Australia	Камени угаљ Hard coal	22–25	820–860	Висок квалитет угља High quality coal
САД (ПРБ - Вајоминг) USA (PRB - Wyoming)	Суббитуминозни Subbituminous	16–19	880–930	Модерне електране Modern power plants

## ДИСКУСИЈА

Рударска индустрија је један од стубова економског развоја, јер обезбеђује неопходне сировине за енергетику, индустрију грађевинских материјала, високотехнолошке секторе и пољопривреду. Међутим, историјски развој рударства био је праћен бројним негативним последицама – деградацијом земљишта, загађењем воде и ваздуха, уништавањем биодиверзитета и озбиљним утицајима на здравље локалних заједница. Зато се у савременим условима глобализације и климатских промена, поставља императив за новим приступом управљању рударским активностима.

Недостатак ресурса, нарочито ретких метала и минерала који су кључни за дигиталну и енергетску транзицију (литијум, кобалт, никл, ретке земље), условљава промену стратегије и захтева развој одрживих модела управљања. Питање одрживости није више само опција већ нужност која обухвата све фазе рударског циклуса – од истраживања и експлоатације до рекултивације и затварања рудника.

У том контексту, стратешко управљање рударством треба посматрати као синтезу ду-

## DISCUSSION

The mining industry is one of the pillars of economic development, as it provides the necessary raw materials for the energy sector, the construction materials industry, high-tech sectors and agriculture. However, the historical development of mining was accompanied by numerous negative consequences – land degradation, water and air pollution, destruction of biodiversity and serious impacts on the health of local communities. Therefore, in the modern conditions of globalization and climate change, an imperative is set for a new approach to the management of mining activities.

The lack of resources, especially rare metals and minerals that are key to the digital and energy transition (lithium, cobalt, nickel, rare earths), necessitates a change in strategy and requires the development of sustainable management models. The issue of sustainability is no longer just an option but a necessity that encompasses all phases of the mining cycle – from exploration and exploitation to reclamation and mine closure.

In this context, strategic mining management should be seen as a synthesis of long-term

горочног планирања, управљања ризицима, имплементације чистијих технологија и поштовања принципа друштвене одговорности. Управо оваква интегрална перспектива омогућава да рударство не буде само индустрија експлоатације, већ и сектор који може да допринесе остваривању глобалних циљева одрживог развоја.

Анализом тренутног стања рударства у свету уочава се неколико кључних трендова:

- Глобални пораст потражње за критичним минералима: Према проценама Међународне агенције за енергију [29], до 2040. године потражња нпр. за литијумом биће увећана за четири до пет пута. Слични трендови уочавају се и за кобалт и никл, што ствара притисак на постојеће ресурсе.
- Недостатак еколошки одрживих пракси: У многим земљама у развоју, рударство се још увек заснива на застарелим технологијама које доводе до прекомерне потрошње воде, енергије и загађења.
- Потреба за циркуларном економијом: Ресурси из секундарних извора (рециклажа електронског отпада, обрада индустријских остатака) постају све важнији, јер могу делимично заменити примарну експлоатацију.
- Еколошка рекултивација: Модерне стратегије рударења морају укључити планове за рекултивацију простора након затварања рудника/отворених копова, што подразумева пошумљавање, обнову земљишта и развој нових намена (екотуризам, пољопривреда).
- Друштвена одговорност: Успешни примери (нпр. Канада) показују да укључивање локалних заједница у процес одлучивања смањује конфликте и повећава прихватљивост рударских пројеката.

Стратешки исправан приступ оптималном управљању минералним ресурсима мора да садржи, али и да не буде ограничен на:

- Еколошку анализу – процена утицаја рударства на земљиште, воду, ваздух и

planning, risk management, implementation of cleaner technologies and respect for the principles of social responsibility. It is precisely this integral perspective that allows mining to be not only an extractive industry, but also a sector that can contribute to the achievement of global sustainable development goals.

An analysis of the current state of mining in the world reveals several key trends:

- Global growth in demand for critical minerals: According to estimates by the International Energy Agency [29], by 2040, demand for, for example, lithium will increase by four to five times. Similar trends are observed for cobalt and nickel, which creates pressure on existing resources.
- Lack of environmentally sustainable practices: In many developing countries, mining is still based on outdated technologies that lead to excessive consumption of water, energy and pollution
- Need for a circular economy: Resources from secondary sources (e-waste recycling, industrial residue processing) are becoming increasingly important, as they can partially replace primary exploitation.
- Environmental reclamation: Modern mining strategies must include plans for the reclamation of areas after the closure of mines/open pits, which includes afforestation, land restoration and the development of new uses (ecotourism, agriculture).
- Social responsibility: Successful examples (e.g. Canada) show that involving local communities in the decision-making process reduces conflicts and increases the acceptability of mining projects.

A strategically sound approach to optimal mineral resource management must include, but not be limited to:

- Environmental analysis – an assessment of the impact of mining on land, water, air

биодиверзитет, укључујући емисије гасова са ефектом стаклене баште.

- Економску анализу – анализа трошкова и користи, укључујући дугорочне ефекте на локалну и националну економију.
- Социјалне аспекте – процена утицаја рударства на локалне заједнице, запошљавање, здравље становништва и миграције.
- Управљање ризицима – израда сценарија за могуће еколошке и економске кризе у сектору.

Идентификација еколошких индикатора је значајна у процени угљеничног отиска, водног биланса и губитка земљишта, као и упоредна анализа нормативних оквира (ЕУ директиве, ISO 14001 стандарди) и представљају кључне кораке при стратешком управљању рударским ресурсима.

Унапређење Стратешких анализа могуће је применом SWOT (анализа снага, слабости, прилика и претњи, Слика 2) и PESTEL (политичког, економског, друштвеног, технолошког, еколошког и правног, Слика 3) приступа за идентификацију прилика, ризика и неопходних мера у планирању рударских активности.

and biodiversity, including greenhouse gas emissions.

- Economic analysis – an analysis of costs and benefits, including long-term effects on the local and national economy.
- Social aspects – assessment of the impact of mining on local communities, employment, population health and migration.
- Risk management – development of scenarios for possible environmental and economic crises in the sector.

Identification of environmental indicators is important in the assessment of carbon footprint, water balance and soil loss, as well as comparative analysis of regulatory frameworks (EU directives, ISO 14001 standards) and represent key steps in the strategic management of mining resources.

Improvement of Strategic Analysis is possible by applying SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats Analysis, Figure 2) and PESTEL (Political, Economic, Social, Technological, Environmental and Legal, Figure 3) approaches to identify opportunities, risks and necessary measures in planning mining activities.



Слика 2, SWOT анализа за унапређење стратешког управљања рударством  
Figure 2, SWOT analysis for improving strategic mining management



Слика 3, Обухват ПЕСТЕЛ анализе у функцији стратешког управљања рударством  
Figure 3, Scope of PESTEL analysis in the function of strategic mining management

Системска интеграција економских, еколошких и социјалних фактора представља предуслов одрживог рударства. Примена концепта „Нето позитивног утицаја“ (Net Positive Impact) подразумева да рударски пројекат, поред ублажавања негативних ефеката, активно доприноси и обнови екосистема. Истовремено, дугорочно планирање резерви и истраживање алтернативних извора сировина (рециклажом електронског отпада) могу значајно ублажити дефицит минерала.

Спроведене анализе показују да је неопходно премештање фокуса са краткорочних економских добитака на дугорочне бенефите одрживог управљања. Савремени концепт рударења подразумева и примену дигиталних технологија (вештачка интелигенција, „паметни рудници“) ради смањења потрошње ресурса и повећања безбедности.

Препоруке су да се даља истраживања могу развијати у следећим стратешким правцима:

- Технолошке иновације – увођење аутоматизованих система, прерада руде уз нижу потрошњу енергије и рециклирање секундарних сировина.
- Циркуларна економија – искоришћавање рударског отпада за производњу

The systemic integration of economic, environmental and social factors is a prerequisite for sustainable mining. The application of the concept of “Net Positive Impact” implies that a mining project, in addition to mitigating negative effects, actively contributes to and restores the ecosystem. At the same time, long-term reserve planning and research into alternative sources of raw materials (recycling electronic waste) can significantly alleviate the mineral deficit.

The conducted analyses show that it is necessary to shift the focus from short-term economic gains to long-term benefits of sustainable management. The modern concept of mining also implies the application of digital technologies (artificial intelligence, “smart mines”) to reduce resource consumption and increase safety.

Recommendations are that further research can be developed in the following strategic directions:

- Technological innovations – introduction of automated systems, ore processing with lower energy consumption and recycling of secondary raw materials.
- Circular economy – utilization of mining waste for the production of construction

грађевинских материјала, извлачење метала из секундарних токова.

- Регулаторни инструменти – усклађивање са међународним стандардима, транспарентно извештавање о еколошким, социјалним и управљачким (ESG) индикаторима и укључивање локалних заједница у одлучивање.

Социјални аспект рударства као привредне гране је врло значајан. Рударство је често извор запошљавања и инфраструктурног развоја, али и социјалних конфликта. Досадашња искуства показују да рано укључивање заједнице, праведна расподела добити и поштовање људских права и критеријума заштите животне средине значајно смањују ризик од отпора и правних спорова.

## ЗАКЉУЧАК

Стратешко управљање рударењем у условима недостатка ресурса и све већих еколошких изазова захтева промену парадигме – од краткорочне експлоатације ка дугорочном управљању природним ресурсима. Рударство више не може бити посматрано само као извор сировина, већ као комплексни систем који ће интегрисати економске, еколошке и друштвене циљеве.

Резултати показују да будућност рударства лежи у примени концепата циркуларне економије, развоју чистих технологија и увођењу система за еколошку реституцију. Истовремено, укључивање локалних заједница и транспарентност у процесу управљања представљају услов без кога није могуће обезбедити друштвену прихватљивост рударских пројеката.

Увођење стратешког планирања, које интегрише и еколошке и социјалне индикаторе у процес доношења одлука, омогућава смањење ризика, повећање друштвене прихватљивости и очување биосфере за будуће генерације. Само холистички приступ који надилази традиционалне економске оквира може гарантовати да рударство, као једна од најстаријих привредних делатно-

materials, extraction of metals from secondary streams.

- Regulatory instruments – harmonization with international standards, transparent reporting on environmental, social and governance (ESG) indicators and inclusion of local communities in decision-making.

The social aspect of mining as an economic sector is very significant. Mining is often a source of employment and infrastructure development, but also of social conflicts. Experience to date shows that early community involvement, fair distribution of benefits and respect for human rights and environmental protection criteria significantly reduce the risk of resistance and legal disputes.

## CONCLUSION

Strategic management of mining in the context of resource scarcity and growing environmental challenges requires a paradigm shift – from short-term exploitation to long-term management of natural resources. Mining can no longer be viewed solely as a source of raw materials, but as a complex system that will integrate economic, environmental and social goals.

The results show that the future of mining lies in the application of circular economy concepts, the development of clean technologies and the introduction of environmental restitution systems. At the same time, the involvement of local communities and transparency in the management process is a pre-condition without which it is not possible to ensure the social acceptability of mining projects.

The introduction of strategic planning, which integrates both environmental and social indicators into the decision-making process, allows for risk reduction, increased social acceptability and preservation of the biosphere for future generations. Only a holistic approach that goes beyond traditional economic frameworks can guarantee that mining, as one of the oldest economic activities, remains a driver of

сти, остане покретач развоја уз минималан еколошки траг.

Закључује се да је стратешко управљање рударством кључно не само за смањење негативних еколошких последица, већ и за убрзање енергетске транзиције и постизање глобалних циљева одрживог развоја. У том смислу, рударство може бити препознато као сектор који, уколико је правилно вођен, доприноси одрживој будућности, а не као претња њој.

## ЗАХВАЛНОСТ

Резултати представљени у овом истраживању су подржани од стране Министарства за науку, технолошки развој и иновације Републике Србије, број уговора: 451-03-136/2025-03/200213.

## ЛИТЕРАТУРА / LITERATURE

- [1] Đurić N., Stevović I., Đurić D.: The importance of knowledge of the geological environment when designing spatial – planning documents, *Contemporary Materials* 2023, Banja Luka, 7–8. September 2023., 191-207.
- [2] Stevovic S., Miloradovic M., Stevovic I.: Management of environmental quality and Kostolac mine areas natural resources usage, *Management of Environmental Quality: An International Journal* 25.3, 2014., 285-300.
- [3] Stevovic I., Mirjanic D., Petrovic N.: Integration of solar energy by nature-inspired optimization in the context of circular economy, *Energy* 235, 2021., 121297.
- [4] Walter M., Deniau Y., Herrera Vargas V.: The politics of 'Green' extraction frontiers: mapping metals and mineral mining conflicts related to the energy transition in the Americas, *Critical Sociology* 51.4-5, 2025., 907-934.
- [5] Stevović I., Mirjanić D., Stevović S.: Possibilities for wider investment in solar energy implementation, *Energy* 180, 2019., 495-510.
- [6] Van de Loo K.: IEA Recommendations for Just Transitions in the Coal Sector, *Mining Report* 160.6, 2024.
- [7] Lederer G., et al. USGS critical minerals review, *Min. En* 76.5, 2024., 29-42.

development with a minimal environmental footprint.

It is concluded that strategic management of mining is crucial not only for reducing negative environmental impacts, but also for accelerating the energy transition and achieving global sustainable development goals. In this sense, mining can be recognized as a sector that, if properly managed, contributes to a sustainable future, rather than being a threat to it.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The results presented in this research were supported by the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia, contract number: 451-03-136/2025-03/200213.

- [8] Wood D., Andre van As: Discovery and underground mining of large deposits, *Essential training to ensure copper supply*, *SEG Discovery* 139, 2024., 11-23.
- [9] Marinova S., et al. Water footprint of battery-grade lithium production in the Salar de Atacama, Chile, *Journal of Cleaner Production* 487, 2025., 144635.
- [10] Vujović N., et al. Towards Circularity in Serbian Mining, *Unlocking the Potential of Flotation Tailings and Fly Ash*, *Minerals* 15.3, 2025., 254.
- [11] Vivoda V., Loginova J.: Lithium at the crossroads: geopolitical, economic, and socio-environmental complexities of the Jadar project in Serbia: Lithium at the crossroads: geopolitical, economic, and socio-environmental complexities of the Jadar project in Serbia, *Mineral Economics*, 2025., 1-17.
- [12] Stanojević N.: Improving Serbia's copper exports, *Key challenges and solutions*, *Industry/Industrija* 52, 2024.
- [13] Stefanović N., Danilović Hristić N., Petrić J.: Spatial planning, environmental activism, and politics—case study of the Jadar project for lithium exploitation in Serbia, *Sustainability* 15.2, 2023., 1736.
- [14] João Pedro Machado de Lima, Miriam Cristina Santos Amaral, Sonaly Cristina Rezende

- Borges de Lima: Sustainable water management in the mining industry, Paving the way for the future, *Journal of Water Process Engineering* 71, 2025., 107239.
- [15] Ndlovu Sehlistelo, Sefiu O. Adewuyi: Towards sustainable metal extraction, Navigating energy and water challenges in the South African mining industry, *The Extractive Industries and Society* 24, 2025., 101760.
- [16] Lagos G. et al. Potential copper production through 2035 in Chile, *Mineral Economics* 33.1-2, 2020., 43-56.
- [17] Bana Irwan Syah, Wenjing Wan, Leiting Shen: Optimization of High-pressure Acid Leaching for Nickel and Cobalt Recovery from Ultra-low-Grade Laterite Ores, *JOM* 2025., 1-1.
- [18] Vegh Gary, et al. Life cycle assessment of nickel, manganese, cobalt critical minerals: lithium hydroxide monohydrate (mine-to-material) in Québec, Canada.” *Journal of Power Sources* 657, 2025., 238149.
- [19] Islam Kamrul et al. Geological resource production constrained by regional water availability, *Science* 387.6739, 2025., 1214-1218.
- [20] Manić E., Lutovac M.: Natural resources and manufacturing sector, *The Geography of Serbia: Nature, People, Economy*. Cham: Springer International Publishing, 2021., 207-220.
- [21] Nevrlý, Matěj: Chinese influence on the energy sector of Serbia and Bosnia and Herzegovina. Diss. Masaryk University, Faculty of Social Studies, 2025.
- [22] Mihalj I. et al. Particulate air pollution in Central Serbia and some proposed measures for the restoration of degraded and disturbed mining areas, *Geographica Pannonica* 28.3 2024., 205-220.
- [23] Osenyeng Olaotse, et al. Environmental risk assessment of the contamination of river water and sediments from the Bor mining area, East Serbia—Secondary Cu enrichment at the reservoir site, *Resource Geology* 73.1, 2023., e12314.
- [24] Thom Bruce, Celine Steinfeld: Natural resource management and regional planning: a geographical perspective, *Australasian Journal of Environmental Management*, 2025., 1-18.
- [25] Odell Scott D.: Desalination in Chile’s mining regions: Global drivers and local impacts of a technological fix to hydrosocial conflict, *Journal of Cleaner Production* 323, 2021., 129104.
- [26] Vukosavić S. N.: Minerals for the green agenda, implications, stalemates, and alternatives, *Open Geosciences* 17.1, 2025., 20250813.
- [27] Allen Calvin, and Béla Galgóczi: The Jadar lithium mining project in Serbia: imperatives mean complex decision-making, *SEER Journal for Labour and Social Affairs in Eastern Europe* 27.1, 2024., 77-98.
- [28] Vegh Gary et al. Life cycle assessment of nickel, manganese, cobalt critical minerals: lithium hydroxide monohydrate (mine-to-material) in Québec, Canada, *Journal of Power Sources* 657, 2025., 238149.
- [29] <https://www.iea.org/>
- [30] <https://www.usgs.gov/>
- [31] <https://www.icmm.com/>
- [32] <https://www.ipcc.ch/>
- [33] <https://www.energyflux.net/>
- [34] <https://www.eps.rs/eng/Pages/default.aspx>
- [35] <https://www.gzs.gov.rs/>
- [36] <https://zerowasteeurope.eu/>
- [37] <https://www.eps.rs/eng/poslovanje-ugalj/Pages/Proizvodnja-uglja.aspx>
- [38] <https://www.eps.rs/eng/Pages/Istorija.aspx>



УЛОГА РУДАРСКОГ СЕКТОРА  
НА ПРИВРЕДНИ РАЗВОЈ  
THE ROLE OF THE MINING SECTOR  
IN ECONOMIC DEVELOPMENT

DOI: 10.5937/RG2502097M

Прегледни рад  
Review

Драган Милошевић  
Драго Аћимовић  
Раде Шарац  
Рударски институт д.о.о, Београд  
[dragan.milosevic@ribeograd.ac.rs](mailto:dragan.milosevic@ribeograd.ac.rs)

Dragan Milošević  
Drago Aćimović  
Rade Šarac  
Mining institute Ltd. Belgrade  
[dragan.milosevic@ribeograd.ac.rs](mailto:dragan.milosevic@ribeograd.ac.rs)

Примљен 17. 7. 2025; Рецензиран 5. 9. 2025; Прихваћен 8. 9. 2025.

Received 17 July 2025; Received in revised version 5 September 2025; Accepted 8 September 2025

**Сажетак:** Рударски сектор има значајну улогу у привредном развоју земље, како у економском смислу, тако и као основа за развој других индустријских грана. Утицај се може посматрати кроз више аспеката: економски допринос, развој инфраструктуре, запошљавање и локални развој, индустријска база, технолошки развој и иновације, изазови и одрживи развој, геополитички значај и др.

Модерни рударски сектор примењује најпредне технологије за истраживање, експлоатацију и прераду минералних сировина, што подстица технолошки напредак и трансфер знања у друге области. Велики изазови укључују очување животне средине, рационалну употребу ресурса и социјалну одговорност.

Савремени приступи рударству подразумева поштовање принципа одрживог развоја: екологију, социјалну одрживост и економску ефикасност. Рударске сировине, посебно критични и стратешки минерали, имају све већи значај у међународним односима, што позиционира рударске земље као важне актере на глобалној сцени. Рударство доприноси расту БДП-а, посебно у земљама богатим минералним ресурсима.

**Кључне речи:** РУДАРСТВО, ЕКОНОМИЈА, ЗАШТИТА ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

**Abstract:** The sector plays a significant role in the country's economic development, both in economic terms and as a basis for the development of other industrial branches. The impact can be viewed through several aspects: economic contribution, infrastructure development, employment and local development, industrial base, technological development and innovation, challenges and sustainable development, geopolitical significance, etc.

The modern mining sector applies advanced technologies for the exploration, exploitation and processing of mineral raw materials, which encourages technological progress and the transfer of knowledge to other areas. The major challenges include environmental protection, rational use of resources and social responsibility.

A modern approach to mining implies respect for the principles of sustainable development: ecology, social acceptability and economic efficiency. Mining raw materials, especially critical and strategic minerals, is of increasing importance in international relations, which positions mining countries as important actors on the global stage. Mining contributes to GDP growth, especially in countries rich in mineral resources.

**Key words:** MINING, ECONOMICS, ENVIRONMENTAL PROTECTION

## УВОД

Минералне сировине често представљају значајан део извоза, чиме доприносе стабилизацији платнобилансне позиције земље. Рударске активности често подстичу изградњу путева, железница, енергетске и телекомуникационе инфраструктуре, што има шире користи и за друге секторе економије. Рударски сектор обезбеђује директну и индиректну запосленост, посебно у руралним и мање развијеним подручјима. Развој рударских пројеката води ка порасту потрошње у локалним заједницама и развоју малих и средњих предузећа (услуге, трговина, грађевинарство и сл.). Многе индустријске гране, попут металургије, грађевинарства, хемијске индустрије и енергетике, директно зависе од рударског сектора. Обезбеђење домаћих сировина смањује увозну зависност и јача индустријску конкурентност.

## УЛОГА РУДАРСКОГ СЕКТОРА У ПРИВРЕДНОМ РАЗВОЈУ КИНЕ

Учешће рударства у БДП-у је око 2,6% (2023). Запослени у рударству чине преко 6 милиона људи. Највећи произвођач угља (>50% светске производње), ретких земаља > 60% глобалне производње злато, бакар, гвожђе. Инвестиције чине висок ниво домаћих и прекограничних улагања (посебно у Африци, Латинској Америци). Улога у развоју је платформа за индустријализацију и енергетску безбедност, интензивно повезана са грађевинским, металоперађивачким и извозним сектором и стратешки значај у ланцима снабдевања (нпр. батерије, електроника) [1].

## УЛОГА РУДАРСКОГ СЕКТОРА У ПРИВРЕДНОМ РАЗВОЈУ САД – а

Учешће у БДП-у је око 1,5% (без нафтног и гасног сектора). Запослени у рударству чине око 600.000 људи. Главни ресурси су: угаљ, злато, бакар, литијум, нафта и гас. Извоз рударских производа је > \$100 милијарди годишње. Улога у развоју је подршка енергетској независности, важна у технолошком сектору (обезбеђење критичних минерала)

## INTRODUCTION

Mineral raw materials often represent a significant part of exports, thereby contributing to the stabilization of the country's balance of payments position. Mining activities often stimulate the construction of roads, railways, energy and telecommunications infrastructure, which has wider benefits for other sectors of the economy. The mining sector provides direct and indirect employment, especially in rural and less developed areas. The development of mining projects leads to increased consumption in local communities and the development of small and medium-sized enterprises (services, trade, construction, etc.). Many industrial branches, such as metallurgy, construction, chemical industry and energy, directly depend on the mining sector. Securing domestic raw materials reduces import dependence and strengthens industrial competitiveness.

## THE ROLE OF THE MINING SECTOR IN CHINA'S ECONOMIC DEVELOPMENT

Mining contribution to GDP is around 2.6% (2023). Employment in mining is over 6 million people. Largest producer: coal: >50% of world production, rare earths >60% of global production gold, copper, iron. Investment is high level of domestic and cross-border investment (especially in Africa, Latin America). Role in development is platform for industrialization and energy security, intensively linked to the construction, metalworking and export sectors and strategic importance in supply chains (e.g. batteries, electronics) [1].

## THE ROLE OF THE MINING SECTOR IN THE ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE USA

Contribution to GDP is around 1.5% (excluding oil and gas). Employment in mining is around 600,000 people. Main resources: coal, gold, copper, lithium, oil and gas. Exports of mining products > \$100 billion per year. Role in development: support for energy independence, important in the technology sector (providing critical minerals) and research and

и истраживања и иновације у области еколошки одрживе експлоатације [1].

#### УЛОГА РУДАРСКОГ СЕКТОРА У ПРИВРЕДНОМ РАЗВОЈУ РУСИЈЕ

Учешће у БДП-у је преко 8% (укључујући нафту и гас). Запослени у рударству чине преко 1 милион. Водећи је произвођач: гаса (2. место у свету), нафте, угља, паладијума, никла, алуминијума, дијаманата. Извоз рудних ресурса је > 60% укупног извоза Русије. Улога у развоју су: кључни фискални извор (огромни приходи од извозних такси), геополитички значај (утицај кроз енергетске токове и сировинске ресурсе) и привреда је снажно ослоњена на експлоатацију природних богатстава [1].

#### ЕФЕКТИ РУДАРСКОГ СЕКТОРА У СРБИЈИ

Рударски сектор у Србији има значајну улогу у укупном економском развоју земље. Захваљујући природним ресурсима, представља основу индустријског развоја у земљи и има важну улогу у регионалном развоју. Србија располаже значајним резервама минералних сировина: бакар, злато, угљ, олово, цинк, литијум, као и грађевински и индустријски камен, што чини рударство једним од стратешких сектора домаће привреде. Накнада за коришћење минералних сировина, порези и доприноси, као и улагања страних компанија, доприносе бруто домаћем производу Србије и представљају важан извор прихода.

Рударство је често једини развијени сектор у појединим али неретко и мање развијеним подручјима Србије, где рудници доприносе локалном развоју отварањем радних места, улагањем у инфраструктуру (путеве, електричну мрежу) и подршком заједницама (здравство, образовање, еколошки пројекти). Представља изворни основ за рад металургије, хемијске и цементне индустрије, енергетике, грађевинарства и др.

Међутим, иако рударство има економски значај, прате га и озбиљни изазови: одлага-

innovation in the field of environmentally sustainable exploitation [1].

#### THE ROLE OF THE MINING SECTOR IN RUSSIA'S ECONOMIC DEVELOPMENT

Contribution to GDP is over 8% (including oil and gas). Mining employment is over 1 million. Leading producer of: gas (2nd in the world), oil, coal, palladium, nickel, aluminum, diamonds. Export of mineral resources: > 60% of Russia's total exports. Role in development is: key fiscal source (huge revenue from export duties), geopolitical importance (influence through energy flows and raw materials), and economy heavily reliant on the exploitation of natural resources [1].

#### EFFECTS OF THE MINING SECTOR IN SERBIA

The mining sector in Serbia plays a significant role in the overall economic development of the country. Thanks to its natural resources, it is the basis of industrial development in the country and plays an important role in regional development. Serbia has significant reserves of mineral raw materials: copper, gold, coal, lead, zinc, lithium, as well as construction and industrial stone, which makes mining one of the strategic sectors of the domestic economy. Fees for the use of mineral raw materials, taxes and contributions, as well as investments by foreign companies, contribute to the gross domestic product of Serbia and represent an important source of income.

Mining is often the only developed sector in some, but often less developed, areas of Serbia, where mines contribute to local development by creating jobs, investing in infrastructure (roads, electricity grids) and supporting communities (health, education, environmental projects). It represents the original basis for the work of metallurgy, chemical and cement industries, energy, construction, etc.

However, although mining has economic importance, it is also accompanied by serious challenges: landfills/landfills, the need to re-

лишта / депоније, потреба за санацијом старих рударских постројења, еколошки утицаји, отпор локалног становништва према новим пројектима и други негативни ефекти.

## УЛОГА РУДАРСКОГ СЕКТОРА У ПРИВРЕДНОМ РАЗВОЈУ СРБИЈЕ

Учешће рударства у БДП-у је око 2% БДП-а (подаци за 2022–2023). Са повезаним секторима (енергија, прерада метала) – индиректни утицај је знатно већи. Запослени у рударству чине око 22.000 – 25.000 људи, углавном у површинској експлоатацији угља и металним рудама. Главни ресурси су: лигнит, бакар и злато, цинк, олово, литијум (потенцијално: Јадар), минерали за грађевинарство (камен, шљунак), извоз рударских производа (2023) са преко 1,2 милијарде евра, од чега доминира бакар, злато и метали [1].

Улога рударства у привредном развоју Србије се може посматрати са два аспекта: *позитивни аспекти* (фискални приходи, иностране инвестиције, извоз и платнобилансни ефекат и развој инфраструктуре у рударским регионима) и *изазови и ризици* (еколошки притисци, социјални отпор, зависност од страних компанија и слаба додатна вредност – извоз сировина, а не финалних производа).

## ВАЛОРИЗАЦИЈА РУДАРСТВА У ПРИВРЕДНОЈ ОБЛАСТИ СРБИЈЕ

Преглед најважнијих производа у спољнотрговинској размени Србије извршен је према подацима различитих извора у циљу што боље анализе.

У домену извоза доминирају електромашинска индустрија, гвожђе / челик, гума, пољопривредни производи (воће, житарице), руде и компоненти за возила.

Што се тиче увоза највише преовлађују минерална горива, електротехника, индустријска опрема, пластика, возила, фармацевтски производи и метал.

habilitate old mining facilities, environmental impacts, local population resistance to new projects, and other negative effects.

## THE ROLE OF THE MINING SECTOR IN THE ECONOMIC DEVELOPMENT OF SERBIA

Mining contribution to GDP is around 2% of GDP (data for 2022–2023). With related sectors (energy, metal processing) – the indirect impact is significantly higher. Mining employment is around 22,000–25,000 people, mainly in surface coal mining and metal ores. Main resources: lignite, copper and gold, zinc, lead, lithium (potentially: Jadar), construction minerals (stone, gravel), export of mining products (2023) is over 1.2 billion euros, dominated by copper, gold and metals [1].

The role of mining in Serbia's economic development can be viewed from two aspects: *positive aspects* (fiscal revenues, foreign investments, exports and balance of payments effect and infrastructure development in mining regions) and *challenges and risks* (environmental pressures, social resistance, dependence on foreign companies and weak added value – export of raw materials, not final products).

## VALORIZATION OF MINING IN THE ECONOMIC AREA OF SERBIA

An overview of the most important products in Serbia's foreign trade was conducted based on data from various sources in order to provide the best possible analysis.

In the export domain, the electrical engineering industry, iron / steel, rubber, agricultural products (fruit, cereals), ores and vehicle components dominate.

As for imports, the most prevalent are mineral fuels, electrical engineering, industrial equipment, plastics, vehicles, pharmaceutical products and metal.

Табела 1, Десет најважнијих производа у спољнотрговинској размени Србије током 2024. (по вредности, у милионима USD) – Извоз - Увоз [1,2,3]  
 Table 1, Ten most important products in Serbia's foreign trade in 2024 (by value, in millions of USD) – Export - Import [1,2,3]

Извоз / Export		Увоз / Import	
Категорија / HS систем* Category / HS system*	мил USD mil USD	Категорија / HS систем* Category / HS system*	мил USD mil USD
Електрична и електроничка опрема / 85 Electrical and electronic equipment / 85	3.819	Минерална горива и деривати / 27 Mineral fuels and derivatives / 27	5.560
Индустријска опрема / 84 Industrial equipment / 84	1.805	Комодитети невезани за врсту / 99 Commodities not related to type / 99	5.000
Пластика и производи од пластике / 39 Plastics and plastic products / 39	1.378	Електрична и електроничка опрема / 85 Electrical and electronic equipment / 85	3.840
Гвожђе и челик / 72 Iron and steel / 72	1.218	Индустријска опрема / 84 Industrial equipment / 84	3.440
Гума / 40 Rubber / 40	1.137	Пластика и производи / 39 Plastics and products / 39	2.060
Воће и орашasti плодови / 08 Fruit and nuts / 08	975	Моторна возила и делови / 87 Motor vehicles and parts / 87	1.920
Руде / 26 Ores / 26	946	Фармацеутски производи / 30 Pharmaceutical products / 30	1.540
Моторна возила и делови / 87 Motor vehicles and parts / 87	939	Челични производи / 72 Steel products / 72	1.030
Житарице / 10 Grains / 10	908	Челични производи / 73 Steel products / 73	956
Намештај / 94 Furniture / 94	813	Алуминијум / 76 Aluminum / 76	814

\***HS систем** користи се глобално за класификацију робе у међународној трговини. Развила га је Светска царинска организација (WCO) и користи се за статистику, царине, анализе итд.

\*The **HS system** is used globally to classify goods in international trade. It was developed by the World Customs Organization (WCO) and is used for statistics, customs, analysis, etc.

У циљу што бољег сагледавања утицаја рударства на економију Србије, у раду су приказани најважнији инпути у спољнотрговинској размени.

Према статистичком прегледу [4] на сликама 1 и 2, приказани су пет најважнијих производа у спољнотрговинској размени Србије по СТ, 2024. у мил. USD.

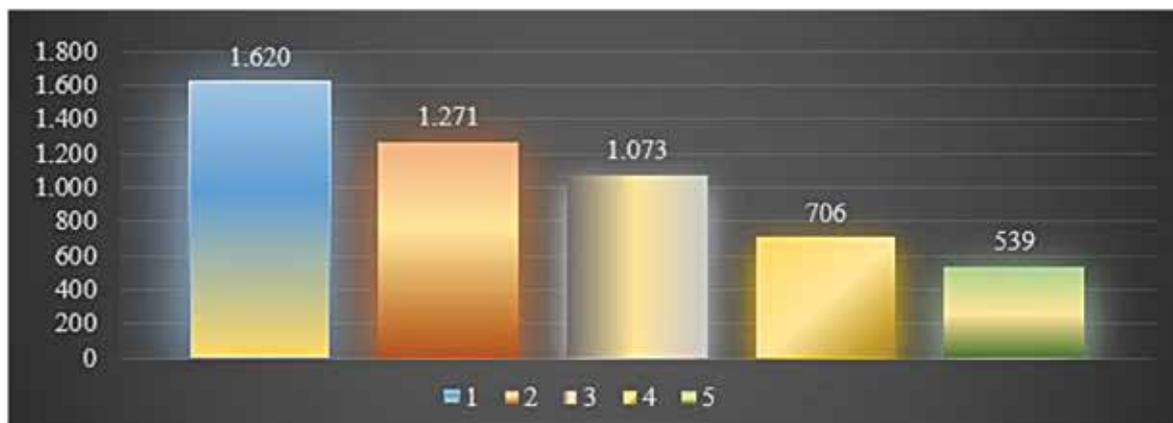
In order to better understand the impact of mining on the Serbian economy, the paper presents the most important inputs in foreign trade.

According to the statistical review [4], Figures 1 and 2 show the five most important products in Serbia's foreign trade by CT, 2024 in million USD.



Слика 1, Највећих њећ извозних ѡпроизвода у спољноѡривинској размени [4]  
 Figure 1, Five largest export products in foreign trade [4]

Тумач: 1 - Сетови проводника за авионе, возила, бродове; 2 - Руде бабра и концентрати;  
 3 - Рафинисани бабар; 4 - Електрична енергија; 5 - Нове спољне пнеуматске гуме за аутомобиле.  
 Legend: 1 - Wire harnesses for aircraft, vehicles, ships; 2 - Copper ores and concentrates;  
 3 - Refined copper; 4 - Electricity; 5 - New outer pneumatic tires for automobiles.



Слика 2, Највећих њећ увозних ѡпроизвода у спољноѡривинској размени [4]  
 Figure 2, Top five imported products in foreign trade [4]

Тумач: 1 - Нафта и уља од битуминозних минерала, сирови; 2 - Лекови, нн, за малопродају;  
 3 - Природни гас у гасовитом стању; 4 - Електрична енергија; 5 - Гасна уља.  
 Legend: 1 - Petroleum and oils obtained from bituminous minerals, crude; 2 - Pharmaceuticals, n.p.,  
 for retail sale; 3 - Natural gas in gaseous state; 4 - Electricity; 5 - Gas oils.

У табели 2. се могу видети десет најважнијих извозних производа у спољнотрговинској размени Србије, Статистички календар Републике Србије 2025, док су у табели 3. приказани важнији индекси економских кретања, на основу података Месечног статистичког билтена 01/2025.

Table 2 shows the ten most important export products in Serbia's foreign trade, Statistical Calendar of the Republic of Serbia 2025, while Table 3 shows the most important indices of economic trends, based on data from the Monthly Statistical Bulletin 01/2025.

Табела 2, Десет најважнијих производа у спољној трговинској размени – Извоз, по СТ, (мил. USD) [4]  
Table 2, Ten most important products in foreign trade - Exports, by CT, (million USD) [4]

Опис / Description	2019.	2020.	2021.	2022.	2023.
Сетови проводника за авионе, возила, бродове Sets of conductors for aircraft, vehicles, ships	1.242	1.161	1.422	1.509	1.798
Руде бакра и концентрати Copper ores and concentrates			855	1768	1.464
Рафинисани бакар Refined copper	438	345	470		506
Електрична енергија Electricity				891	1.374
Нове спољне пнеуматске гуме за аутомобиле New outer pneumatic tires for cars	547	495	623	667	578
Кукуруз, остали Corn, other	506	621	557	364	
ТПФ (Fe, нелег. челик) непревуч. Ш>=600 mm, котур TPF (Fe, non-alloy steel) uncoated, W>=600 mm, coil	482	260	473	456	
Остали делови и прибор за моторна возила Other parts and accessories for motor vehicles				366	586
Малине, смрзнуте, без шећера Raspberries, frozen, without sugar		296	426	373	
Препарати (прање, чишћење), нн, за малопродају Preparations (washing, cleaning), nec, for retail sale		260	418	480	418
Укупно Total	19.630	19.498	25.564	29.058	30.935

Табела 3, Важнији индекси економских кретања [5]  
Table 3, Important economic trend indices [5]

Година Year	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.	2022.	2023.	2024.	Просечно Average
1.	108,3	102,8	110,6	94,5	106,3	102,5	97,4	104,1	106,9	100,4	103,4
2.	108,3	95,6	109,3	<b>89,0</b>	112,2	100,2	<b>130,6</b>	116,3	98,9	106,9	<b>106,7</b>
3.	102,1	108,2	111,3	96,4	107,2	100,1	99,2	100,2	106,7	102,6	103,4
4.	<b>123,7</b>	93,0	108,5	90,5	100,7	111,7	<b>81,3</b>	112,5	111,7	90,9	<b>102,5</b>
5.	106,1	104,1	107,1	105,3	110,9	103,2	104,3	101,8	104,1	102,7	105,0
6.	100,5	100,2	105,2	106,7	107,7	104,2	103,9	100,8	108,8	107,2	104,5
7.	102,4	102,4	101,9	102,1	102,0	101,1	108,2	115,8	106,4	104,6	104,7

\*1. Индустриска производња, физички обим; 2. Рударство; 3. Прерађивачка индустрија; 4. Снабдевање ел. енергијом, гасом, паром и климатизација; 5. Промет робе у трговини на мало, у сталним ценама; 6. Просечне зараде без пореза и доприноса, реалне; 7. Потрошачке цене.

\*1. Industrial production, physical volume; 2. Mining; 3. Manufacturing; 4. Electricity, gas, steam and air conditioning supply; 5. Retail trade turnover, at constant prices; 6. Average wages without taxes and contributions, real; 7. Consumer prices.

У сектору Рударство, период од 2015. до 2024., забележен је просечан раст од 6,7%, а у сектору Снабдевање ел. енергијом, гасом, паром и климатизација 2,5%. У Рударском сектору највећи пад од 11% забележен је у 2018., а највећи раст од 30,6% је био у 2021. У сектору Снабдевање ел. енергијом, гасом, паром и климатизација највећи пад од 18,7% забележен је 2021., а највећи раст од 23,7% био је 2015.

Према статистичким подацима Републичког завода за статистику, спољнотрговински робни промет, за извоз и увоз по економској намени Европске уније, која врши структурирање производа у пет група, приказана је у наредној табели.

In the Mining sector, the period from 2015 to 2024, an average growth of 6.7% was recorded, and in the Electricity, gas, steam and air conditioning supply sector 2.5%. In the Mining sector, the largest decline of 11% was recorded in 2018, and the largest growth of 30.6% was in 2021. In the Electricity, gas, steam and air conditioning supply sector, the largest decline of 18.7% was recorded in 2021, and the largest growth of 23.7% was in 2015.

According to statistical data from the Statistical Office of the Republic of Serbia, foreign trade turnover, for exports and imports by economic purpose of the European Union, which structures products into five groups, is shown in the following table.

Табела 4, Извоз и увоз по секторима и областима КД (производни принцип), у млрд. РСД [3]  
 Table 4, Exports and imports by sectors and areas of KD (production principle), in billion RSD [3]

Јануар – Децембар/January - December												
	Извоз Export			Увоз Import			Удео у укупном извозу Share in total exports %		Удео у укупном увозу Share in total imports %		Салдо Balance	
	2023.	2024.	*	2023.	2024.	*	2023.	2024.	2023.	2024.	2023.	2024.
1.	169,9	191,9	113,0	454,3	391,8	86,3	5,1	5,4	10,5	8,6	-284,4	-199,9
2.	0,2	0,1	74,1	51,1	33,3	65,3	0,0	0,0	1,2	0,7	-50,9	-33,2
3.	0,2	0,0	2,4	357,8	293,2	82,0	0,0	0,0	8,3	6,4	-357,6	-293,2
4.	167,3	189,2	113,1	33,3	53,4	160,4	5,0	5,3	0,8	1,2	134,0	135,8
5.	2,2	2,6	121,1	12,2	11,9	98,0	0,1	0,1	0,3	0,3	-10,0	-9,3

\*Индекс; 1. Рударство; 2. Експлоатација угља; 3. Експлоатација сирове нафте и природног гаса;  
 4. Експлоатација руде метала; 5. Остало рударство.

\*Index; 1. Mining; 2. Coal mining; 3. Crude oil and natural gas mining; 4. Metal ore mining; 5. Other mining.

## ЗАКЉУЧАК

Рударство у Србији спада у највеће носиоце привредног раста, извоза, индустријског развоја и запошљавања. Његов будући допринос зависи од одговорног управљања ресурсима, улагања у технологију, поштовања еколошких стандарда и сарадње са локалним заједницама. Неоспорна је чињеница

## CONCLUSION

Mining in Serbia is one of the largest drivers of economic growth, exports, industrial development and employment. Its future contribution depends on responsible resource management, investment in technology, compliance with environmental standards and cooperation with local communities. It is an indisputable fact that the

да савремени развој рударства у Србији мора бити усклађен са принципима одрживог развоја, транспарентности и јавне контроле.

Рударски сектор у Србији је стратешки важан, иако чини релативно мали проценат БДП-а, он има снажан мултипликативни ефекат на локалну економију, извозне приходе и инфраструктурни развој. Међутим, баланс између економског интереса и заштите животне средине постаје кључна тачка политике у рударству.

modern development of mining in Serbia must be aligned with the principles of sustainable development, transparency and public control.

The mining sector in Serbia is strategically important, although it accounts for a relatively small percentage of GDP, it has a strong multiplier effect on the local economy, export revenues and infrastructure development. However, the balance between economic interest and environmental protection is becoming a key point in mining policy.

#### ЛИТЕРАТУРА / LITERATURE

- [1] globalEDGE (UN Comtrade, 2023-2024), <https://globaledge.msu.edu/>.
- [2] Tendata, <https://www.tendata.com/>.
- [3] Спољнотрговинска робна размена, Републички завод за статистику, 2024., <https://www.stat.gov.rs>.
- [4] Статистички календар Републике Србије, Републички завод за статистику, Београд, 2025., <https://www.stat.gov.rs>.
- [5] Месечни статистички билтен, Републички завод за статистику, Београд, 2016/1-2025/1, <https://www.stat.gov.rs>.



**ХЕМИЈСКИ ОТИСАК ТЕШКИХ МЕТАЛА (УКУПНИ САДРЖАЈ)  
ЛИГНИТА СРБИЈЕ У ВРЕМЕНУ – СКРАЋЕНИ ВОДИЧ  
КРОЗ ПРОШЛА ВРЕМЕНА**

**HEAVY METALS TIME FOOTPRINT (TOTAL AMOUNTS)  
OF SERBIAN LIGNITE – A BRIEF GUIDE THROUGH  
PREVIOUS TIMES**

DOI: 10.5937/RG2502107V

Прегледни рад  
Review

Богољуб Вучковић

Електропривреда Србије А.Д., Огранак РБ Колубара,  
ОЦ „Пројект”, Лазаревац, Србија  
bogoljub.vuckovic@eps.rs

Bogoljub Vučković

Joint stock company Elektroprivreda Srbije, Kolubara  
coal basin, Division „Project“, Lazarevac, Serbia  
bogoljub.vuckovic@eps.rs

*Овај рад има геолошки и еколошки теоретски карактер.*

*Овај рад је проширена верзија рада саопишеној на конгресу „Рударство 2025“, Србија.*

*This paper has a strong emphasis on theoretical considerations, in the geological and ecological aspect.*

*This is an extended paper from the Congress „Rudarstvo 2025“, Serbia.*

Примљен 29. 7. 2025; Рецензиран 5. 9. 2025; Прихваћен 9. 9. 2025.

Received 29 July 2025; Received in revised version 5 September 2025; Accepted 9 September 2025

**Сажетак:** Термо енергетски капацитети Електропривреде Србије (ЕПС) заснивају се на лигнитима, који су сконцентрисани у два велика угљена/рударска басена. Први је Костолачко-Ковински басен са укупном површином од око 320 km<sup>2</sup> и има око 5,7 милијарди t геолошких ресурса и резерви лигнита. Експлоатација угља одвија се дуже од 150 година. Такође, као други је Колубарски басен је са експлоатабилном површином од око 200 km<sup>2</sup> и са укупно око 4,1 милијарди t геолошких ресурса и резерви лигнита. Експлоатација угља се одвија дуже од 130 година. Укупно, пре откопавања, ЕПС је располагао са скоро 10 милијарди t геолошких ресурса и резерви лигнита у оба угљарска подручја. Од тога, добар део од око 1,9 милијарди t већ је откопан. И надаље, преостале су огромне количине угља за откопавање.

Овим радом бавимо се геохемијским карактеристикама угљених слојева у оба угљена басена и вршимо упоредну анализу са одабраним археолошким, антропошким и осталим савременим примерима из Србије, Европе и Света. Оно што аутора и читаоце највише занима јесте – да ли тешки метали из угља остављају хемијски отисак у времену. У наредним поглављима обрадићемо ову проблематику.

**Кључне речи:** ЛИГНИТ, ТЛО, СЕДИМЕНТИ, ХЕМИЈСКИ ОТИСАК, ТРАГ

**Abstract:** The thermal energy capacities of the Electric Power Industry of Serbia (EPS) are based on lignite, which is concentrated in two large coal/mining basins. The first one is the Kostolac-Kovin Coal Basin with a total area of about 320 km<sup>2</sup> and has about 5.7 billion tons of geological resources and lignite reserves. Coal mining has been going on for more than 150 years. Also, the second one is Kolubara Coal Basin. It has an exploitable area of about 200 km<sup>2</sup> and a total of about 4.1 billion tons of geological resources and lignite reserves. Coal mining has been going on for more than 130 years. In total, in the previous years, EPS had almost 10 billion t of geological resources and

*lignite reserves in both coal mining areas. Out of this, a good part of about 1.9 billion t has already been mined. And furthermore, there are huge amounts of coal left to be mined.*

*In this paper, we deal with the geochemical characteristics of coal seams in both coal basins and perform a comparative analysis with selected anthropological, archeological and contemporary construction materials based on examples from Serbia, Europe and worldwide. The author and readers are most interested in whether heavy metals from coal cause a chemical footprint in time. We will deal with this issue in the following chapters.*

**Key words:** LIGNITE, SOIL, SEDIMENTS, CHEMICAL FOOTPRINT, TIME FOOTPRINT

## ОПШТЕ ИНФОРМАЦИЈЕ О УГЉУ

### ЛИГНИТСКИ БАСЕН КОСТОЛАЦ-КОВИН (ИСТОЧНА СРБИЈА)

Генерално, лигнитски басен се налази у источној Србији, на 50 km удаљености, источно од Београда. Налази се у алувијалним платоима река Велике Мораве и Млаве, које се обе уливају у реку Дунав (слика 1). Река Дунав га дели на два дела - јужно од Дунава налази се Костолачки угљени басен, а северно од Дунава Ковински угљени басен. Пре савремене геологије, подземна експлоатација почиње средином и крајем XIX века, али у малом обиму. Савремена геолошка истраживања почела су 1941. године и настављају се до данас. Пет слојева лигнита углавном нису дефинитивно оконтурени ни латерално нити по дубини, па постоји потенцијал за њихово даље истраживање ван постојећих истражних поља. Прорачун ресурса/резерви за свих 5 слојева лигнита дао је око 5,7 милијарди тона.

### КОЛУБАРСКИ ЛИГНИТСКИ БАСЕН (ЗАПАДНА СРБИЈА)

Лигнитски басен се налази у западној Србији, 50 km југозападно од Београда, у алувијалном сливу реке Колубара, која се надаље улива у реку Саву (слика 1). Пре савремене геологије, подземна експлоатација је почела крајем XIX века, у малом обиму. Период геолошких истраживања од 1936. до 2025. године, у геолошком и рударском аспекту је веома успешан. Као резултат тога, истражено је око 4,1 милијарде тона геолошких резерви и ресурса лигнита, као и додатних неколико стотина милиона кубних метара ресурса неметалних минералних сировина. Истраживање и експлоатација

## GENERAL INFORMATION ABOUT COAL

### LIGNITE BASIN KOSTOLAC-KOVIN (EAST SERBIA)

Generally, the lignite basin is located in eastern Serbia, at a distance of 50 km east of Belgrade. It lies in the alluvial plates of the rivers Velika Morava and Mlava rivers, which both flow into the Danube river (figure 1). It is divided into two parts by the Danube river - to the south of Danube lies the Kostolac Coal Basin, and to the north of the Danube lies the Kovin Coal Basin. Before contemporary geology, underground mining activities started in mid and late XIX century, on a small scale. Contemporary geological explorations began in 1941 and have continued to this day. In total, 3,900 boreholes were drilled in the last 80 years, i.e. 305,000 m of drilling. The 5 lignite layers are generally not definitively contoured either laterally or in depth, but there is a potential for their further research outside the existing exploration fields. The general calculation of lignite resources for all 5 lignite seams yielded about 5,7 B t of lignite.

### LIGNITE BASIN KOLUBARA (WEST SERBIA)

The lignite basin is located in western Serbia, 50 km southwest of Belgrade, in the Kolubara alluvial river basin, which further flow into the Sava river (figure 1). Before contemporary geology, underground mining started in the late XIX century, on a small scale. The period of geological surveys from 1936 up to 2025 in the geological and mining aspects is very successful. As a result, about 4,1 B t of geological lignite reserves and resources were explored, as well as additional few hundred million m<sup>3</sup> resources of non-metallic mineral raw materials. Lignite exploration and exploitation began in the eastern part of the basin, where

лигнит почела је у источном делу басена, где је и даље у току, али се полако сели у западни део басена, где постаје све значајнија.

it is still ongoing, but is slowly moving to the western part of the basin, where it is becoming more important.



Слика 1, Генерални приказ географског положаја Колубарског и Костолачког угљеног басена; Костолачко-Ковински басен је на 50 km источно, док је Колубарски басен на 50 km западно од Београда

Figure 1, General geographical position of the Kostolac-Kovin and Kolubara Lignite Basins; Kostolac-Kovin Coal area is 50 km east, and Kolubara Coal Area is 50 km west of Belgrade

## РУДАРСКА ДОСТИГНУЋА

У оба подручја одвија се веома обимна рударска експлоатација на површинским коповима. Ово су највећи копови угља у Србији, али и на Балкану. Оба рударска подручја описана су у неколико реченица и дијаграма (слике 2 и 3).

## MINING ACHIEVEMENTS

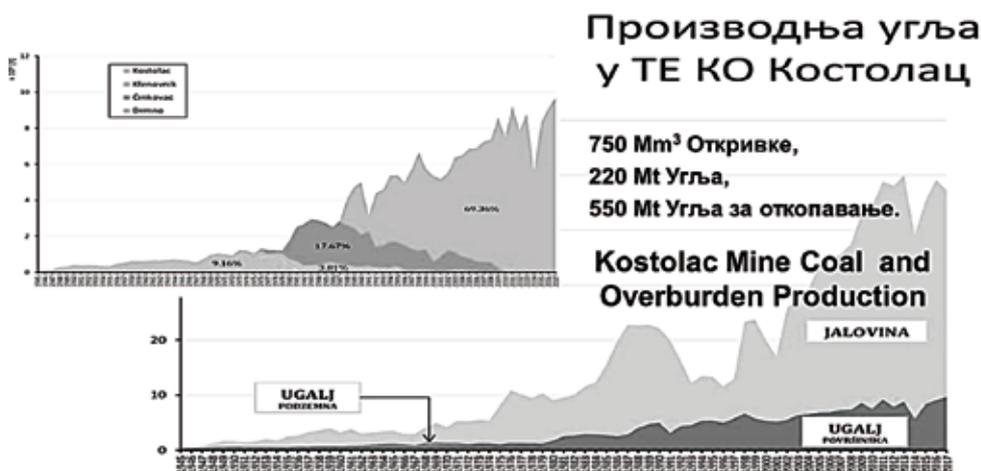
In both areas, extensive mining operations are carried out in open-pit mines. These are the largest coal mines in Serbia, but also in the Balkans. For both mining areas are described in a few sentences and diagrams (figures 2 and 3).

## КОСТОЛАЧКО-КОВИНСКИ БАСЕН

Садашња годишња производња лигнита са површинског копа Дрмно износи око 8 M t/god. и у плану је повећање тих капацитета. Са слике 2 уочава се да је откопано више од 750 M m<sup>3</sup> јаловине и око 220 M t лигнита, првенствено на површинским коповима (три површинска копа), закључно са 2017. годином. Удео јамске експлоатације (три старе јаме) је миноран. У оквиру ЕПС-а, овај рудник обезбеђује око 25% годишњих количина угља. За откопавање на површинским коповима у наредном периоду преостало је још око 550 M t лигнита.

## KOSTOLAC-KOVIN MINING AREA

The current annual production of lignite from the Drmno surface mine is about 8 M t/year. and the plan is to increase those capacities. In Figure 2, it can be seen that more than 750 M m<sup>3</sup> of overburden and about 220 M t of lignite were excavated, primarily in open pits (three open pits), up to 2017. The share of underground exploitation (three old pits) is minor. Within EPS, this mine provides about 25% of annual coal volumes. About 550 M t of lignite remains to be excavated in surface mines in the following period.



Слика 2, Генерални приказ остварених резултата рударске производње у ТЕ—КО Костолац (након Вучковић, 40-47)

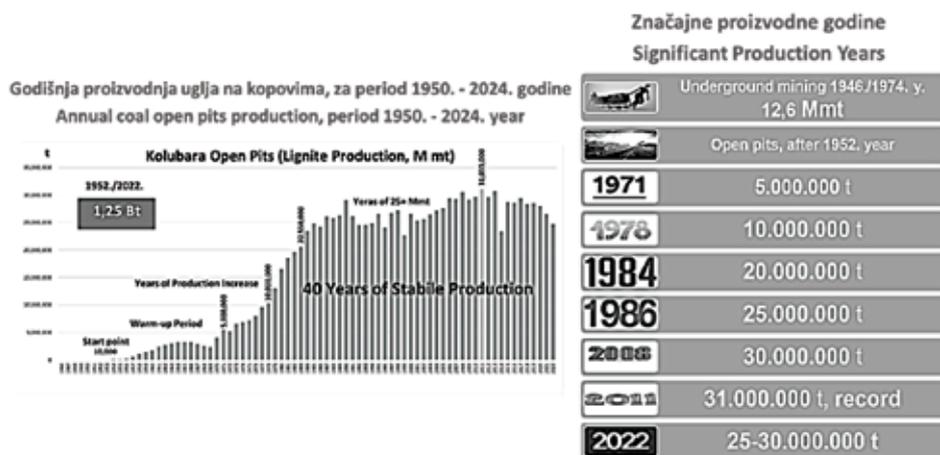
Figure 2, General Mining Achievements of the Kostolac Coal Mine (after Vuckovic, 40-47)

## КОЛУБАРСКИ БАСЕН

Годишња производња лигнита на површинским коповима (10 површинских копова, од којих су четири већ затворена) до 2022. године износила је и до 30 М t/god. По захтевима ЕПС-а у плану је производња лигнита од око 22-23М t/god. Са слике 3, уочава се да је откопано више од 1,35 Мlrd t лигнита, првенствено на површинским коповима, закључно са 2024. годином. За исти период откопане количине јаловине износе око 3 Мlrd m³. Удео јамске експлоатације (12 јама, након 1973. све су затворене) је миноран. У оквиру ЕПС-а, овај рудник обезбеђује око 75% годишњих количина угља. За откопавање на површинским коповима у наредном периоду преостало је још око 1,5 Мlrd t лигнита.

## KOLUBARA MINING AREA

The annual production of lignite at surface mines (10 open pits, four of which are already closed) until 2022 was up to 30M t/year. According to the requirements of EPS, the production of lignite of about 22-23 M t/year is planned. From Figure 3, it can be seen that more than 1.35 billion t of lignite was mined, primarily in surface mines, by the end of 2024. For the same period, the amount of overburden excavated is about 3 billion m³. The share of pit exploitation (12 pits, all closed after 1973) is minor. Within EPS, this mine provides about 75% of annual coal volumes. About 1.5 billion t of lignite remains to be mined in surface mines in the following period.



Слика 3, Генерални приказ остварених резултата рударске производње у РБ Колубара (Вучковић, 2024.)

Figure 3, General Mining Achievements of the Kolubara Coal Mine (after Vučković, 2024)

## ОПШТЕ ИНФОРМАЦИЈЕ О ГЕОХЕМИЈСКОМ УЗОРКОВАЊУ

У Костолачко-ковинском и Колубарском лигнитском басену спроведене су бројне лабораторијске анализе за одређивање квалитета лигнита, као и бројне друге за геотехничке и хидрогеолошке сврхе. Углавном у последњих десет година, посебна пажња је посвећена и еколошким карактеристикама лигнита, а одређиван је укупан садржај 20 ТМ (тешки метали). Поред лигнита, узорци су узети и из свих седимената у хоризонталном и вертикалном профилу; као и из површинског слоја земљишта изнад лежишта Дрмно и из шљунка из ширег подручја. У Колубарским лигнитским рудницама постоје еколошка истраживања у мањем обиму.

## ТОКСИЧНИ ТЕШКИ МЕТАЛИ У ЛИГНИТУ – ОЧЕКИВАЊА ЈАВНОСТИ И СТРУЧЊАКА О ЗАГАЂЕЊУ ЕКОЛОГИЈЕ

Наравно, ова тема је изузетно актуелна и присутна је у свим могућим владиним медијима, универзитетима, институтима, биромима, канцеларијама, затим невладиним организацијама и тако даље. Сви очекују да ће експлоатација и сагоревање лигнитних маса изузетно загадити животну средину. То иде толико далеко да је већ постало нека врста мантре. Сматра се да термоенергетски сектор Србије у великој мери загађује животну средину и да се одговарајуће мере заштите или санације морају предузети што је пре могуће.

Међутим, бројни подаци мерења ТМ (слика 4) из површинских рудника лигнита у Костолцу и Колубари, као и подаци о пепелу из повезаних термоелектрана, не указују на то. У последњих неколико година ова тема је представљена и објављена у неколико радова у Србији и иностранству. Као матрица је коришћен увек исти угаљ Колубара/Костолац, који је упоређен са многим различитим примерима (*урбано земљиште, градски њаркови, површински слој земљишта, речни седименти, органске материје, органска њкива, индустријско и рударско земљиште, итд.*). Било је изузетно много примера загађења у неким

## GENERAL INFORMATION ABOUT HM GEOCHEMICAL CYCLE

At the Kostolac-Kovin and Kolubara Lignite Basins numerous laboratory analyses were performed to determine the quality of lignite, as well as numerous others for geotechnical and hydrogeological purposes. Mostly in the last ten years, special attention has been paid to the ecological characteristics of lignite, and the total contents of 20 HM<sup>1</sup> have also been determined. Apart from lignite, samples were also taken from all sediments in the horizontal and vertical profile of the deposit; as well as from the top soil above the Drmno deposit and from gravel from the wider area. In Kolubara Lignite Mines there are ecology explorations on a smaller scale. In this paper we deal with the total amounts of specific HM.

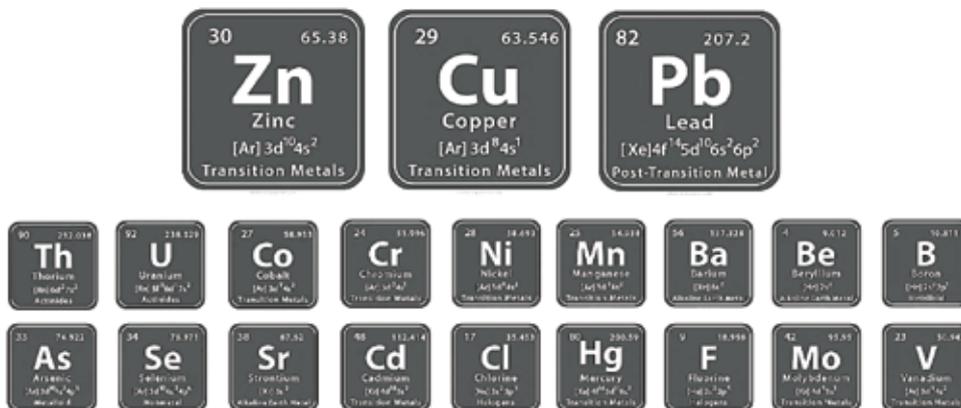
## TOXIC HEAVY METALS IN LIGNITE – PUBLIC AND EXPERT EXPECTATION OF ECOLOGY POLLUTION

Of course, this topic is extremely hot and is present in all possible governmental media, universities, institutes, bureaus, offices, NGOs and so on. Everyone's expectations are that the exploitation and combustion of lignite masses will extremely pollute the environment. This goes so far, that it has already become a kind of mantra. It is considered that the thermal energy sector of Serbia has been polluting the environment to a great extent and that appropriate protection or remedial measures must be urgently taken.

However, numerous HM (figure 4) measured data from surface lignite mines in Kostolac and Kolubara, as well as data on ash from related thermal power plants, do not indicate this. At last few years this topic was presented and published in several papers in Serbia and abroad. The same Kolubara/Kostolac Coal was used as a matrix and compared with a lot of different examples (*urban soils, city parks, top soils, river sediments, organic matters, organic tissues, industrial and mining grounds, banking value, etc.*) There were many examples of pollution in some matters throughout Serbia, the Region, Europe and

материјама широм Србије, региона, Европе и света, које нису у никаквој вези са лигнитима, што делује крајње неочекивано (видети претходне радове аутора) [40-47].

the World, that appear to be unexpected (see the authors of previous papers) [40-47].



Слика 4, Листа лабораторијски анализираних ТМ у лигнитима Колубаре и Костолица (Вучковић, 2024.)  
 Figure 4, List of Heavy Metals assayed in the Kolubara and Kostolac Coal Mines (after Vučković, 2024)

#### ГДЕ СУ ДАНАС ПРИСУТНИ ТМ?

На основу свеprisутног страха од ТМ, да ли знамо, барем информативно, где можемо пронаћи ТМ у нашем најближем окружењу (слике 5, 6). У сваком случају, те „ствари“ су увек присутне у нашем животу и постале су наши доживотни пратиоци пре много година.

#### NOWDAYES, WHERE ARE HM PRESENT?

Given the extended fear of HM, do we know, at least informatively, where we can find HM in our nearest neighbourhood (figures 5, 6). Anyway, those "things" are always present in our life and they became our lifelong companion long ago.



Слика 5, Свакодневни видови извора тешких метала (нпр. батерије, кухињско посуђе)  
 Figure 5, Some Heavy Metals Everyday Sources (e.g. batteries, kitchenware)



Слика 6, Свакодневни видови извора тешких метала (нпр. њасте за зубе, медицински суйлементи, мобилни телефони)  
 Figure 6, Some Heavy Metals Everyday Sources (e.g. tooth paste, medical supplements, cellular phones)

Као што видимо, постоје свуда по нашим домовима и то је цена савременог живота. Али, да ли су опасни или токсични? Наравно да нису, јер се ти ТМ налазе у веома стабилним минералним облицима/легурама у тим свакодневним предметима. Не постоји могућност да се активирају и мобилишу, произвођачи се брину о томе.

As we can see, they exist all everywhere in our homes and that is the price of contemporary life. But, are they dangerous or toxic. Of course not, because that HM stay in very stabile mineral forms/alloys in that everyday items. There is no possibility to activate and mobilize them, the producers take care about that.

#### КАДА ЈЕ ПОЧЕЛО ЗАГАЂЕЊЕ ТМ?

#### WHEN DID HM POLLUTION START?

Дакле, свеprisутно општеномодно, стручно и научно размишљање сматра да је ово присуство ТМ у нашем свакодневном животу почело одмах након **Прве индустријске револуције**, која је почела (1780. године у Великој Британији; после 1830-1840. широм света). Велика индустријска и рударска производња утицали су на животну средину и јавно здравље. Године (и животна средина) пре тог периода биле су идиличне, без икаквих трагова загађења ТМ. Да ли је ово тачно схваћено? [1-49]

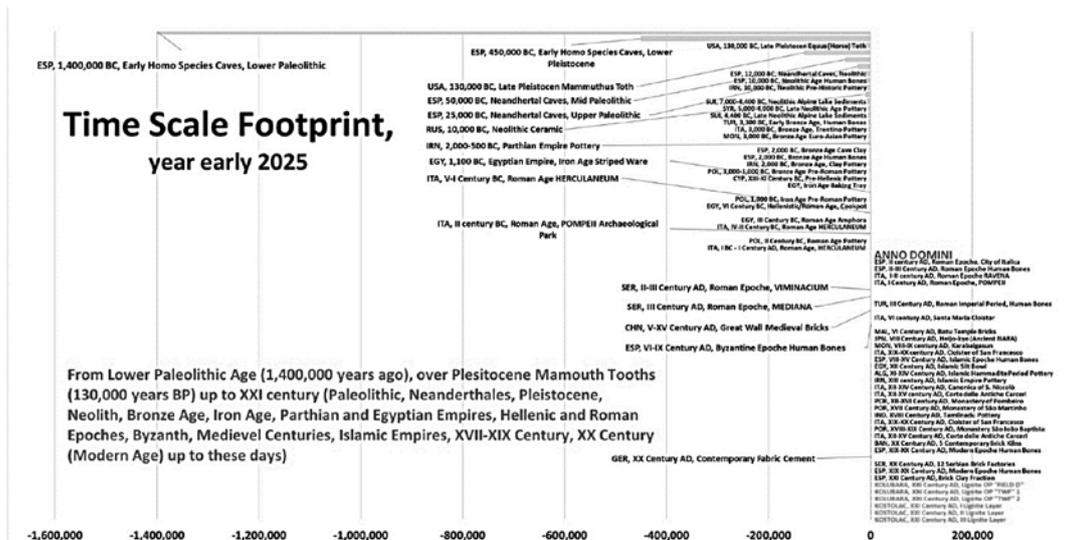
Thus, the ubiquitous popular, professional and scientific thinking holds that this presence of HM in our daily lives began immediately after the **First Industrial Revolution**, (which began in the 1780s in Great Britain; after 1830-1840s worldwide). Large-scale industrial and mining production has affected the environment and public health. The years (and the environment) before that period were idyllic, without any traces of HM pollution. Is this understood correctly? [1-49]

#### ВРЕМЕНСКА СКАЛА ХЕМИЈСКОГ ОТИСКА

#### CHEMICAL FOOTPRINT TIME SCALE

У овом раду гледамо много година уназад, почевши од раног настанка људске врсте (старости 1,4 М година) па све до почетка XXI века. Бројни објављени научни радови баве се овим питањем [1-40]. Посебну пажњу обраћају на укупан садржај ТМ у узорцима пећинског седимента, површинског слоја земље из тадашњих насеља, фрагмената грнчарије, животињских и људских костију из различитих временских периода и грађевинског материјала за изградњу стамбених и верских објеката. Пажња је посвећена узорцима раних људских врста који датирају 1,4 милиона година пре нове ере, затим зубу мамута старости 130.000 година, седиментима неандерталских пећина старости 50.000 до 25.000 година и фрагментима грнчарије људи из каменог неолитског доба. Такође, обухваћене су прве Хетитске и Египатске људске цивилизације, затим бакарно, бронзано и гвоздено доба, стари хеленски и римски период, рани византијски и исламски период, затим средњовековни период; који се протеже кроз XVII-XIX век, па све до XX века и коначно до почетка XXI века (слика 7).

In this paper we have looked back to see what it was like many years ago, starting from the origin of early human species (1,400,000 years ago) up to early XXI century. Numerous published scientific papers deal with this issue. They pay special attention to the total content of HM in samples of cave sediment, top soil from settlements, pottery fragments, animal and human bones from different time periods, and building materials for the construction of residential and religious buildings. Attention is paid to samples of early Human Species dating 1,4 My BP, and a Mammoth tooth dating back 130,000 years, Neanderthal cave sediments dating back 50,000 to 25,000 years, and fragments of pottery from Stone Age people. Also, the first Parthian and Egyptian human civilizations, Copper, Bronze and Iron Age, the old Hellenic and Roman periods, the early Byzantine and Islamic periods, then the Medieval period; going through the XVII-XIX centuries, up to the XX century and finally into the early XXI century (figure 7).

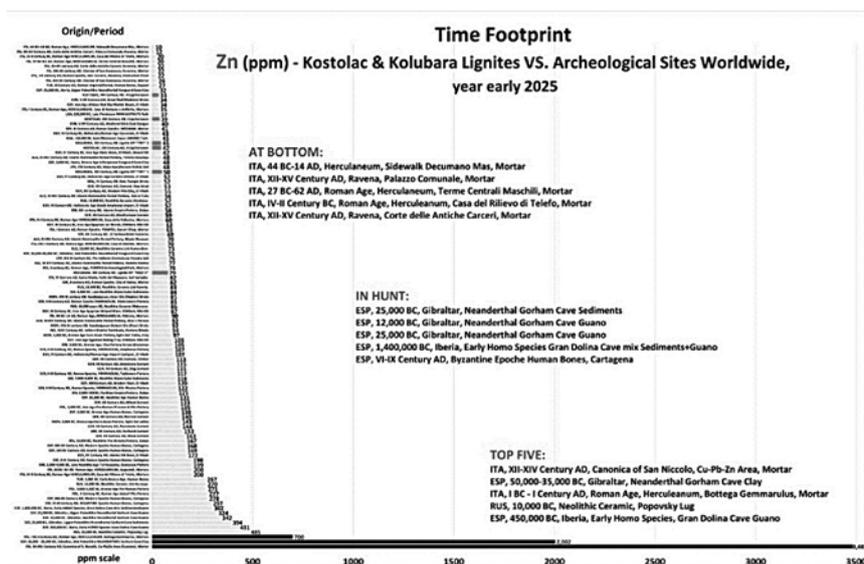


Слика 7, Временска скала; на дну светло сиво – године у којима је вршено узорковање  
 Колубарских и Костолачких лигнита (Вучковић, 2025.)

Figure 7, Time Scale Footprint; at bottom light gray – Kolubara and Kostolac Lignite sampling years (after Vučković, 2025)

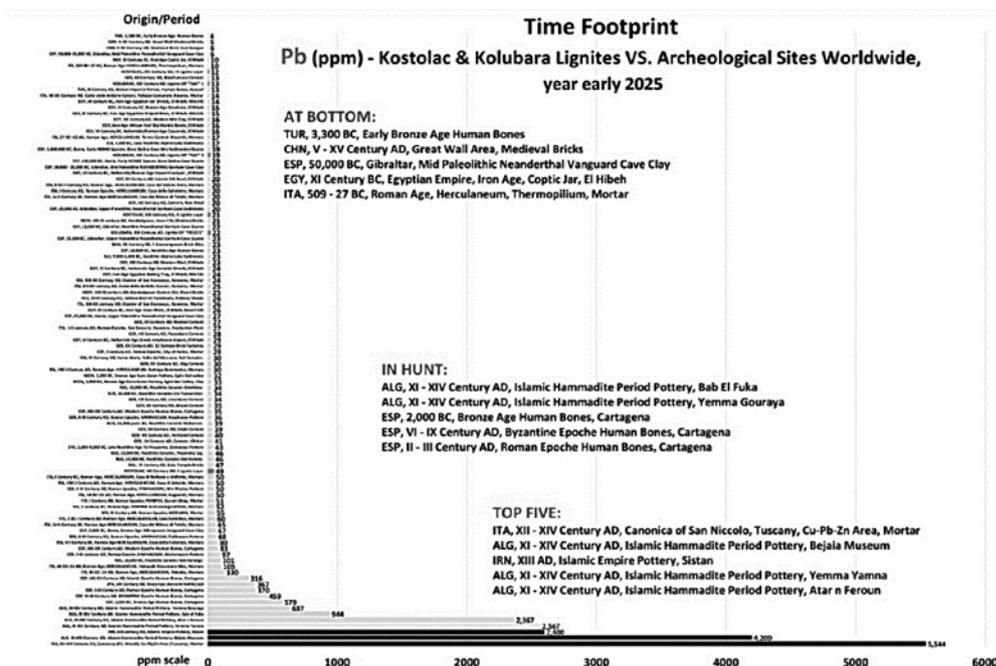
Као што видимо, временски распон је прилично широк. Пре почетка **I Индустијске Револуције** у Свету (1780. године) и пре наших светло сивих година (**ископавање и сагоревање лигнита** у РБ Колубара и ТЕ-КО Костолац), све би требало да буде апсолутно чисто од ТМ. Следећих неколико дијаграма ће приказати измерене (подаци из светске литературе и наше мерене вредности) концентрације ТМ и њихово упоређење са лигнитом (слике 8-13). Напомена, на дијаграмима је врх на дну.

As we can see, quite a wide range, lasting more than 1,400,000 years. Before light gray years (lignite excavation and combustion) at the very bottom of list, everything should be absolutely clean of HM. The next few diagrams show the specific HM measured total amount concentrations and its comparison with lignite's (figures 8-13). Note, on diagrams top is on bottom.



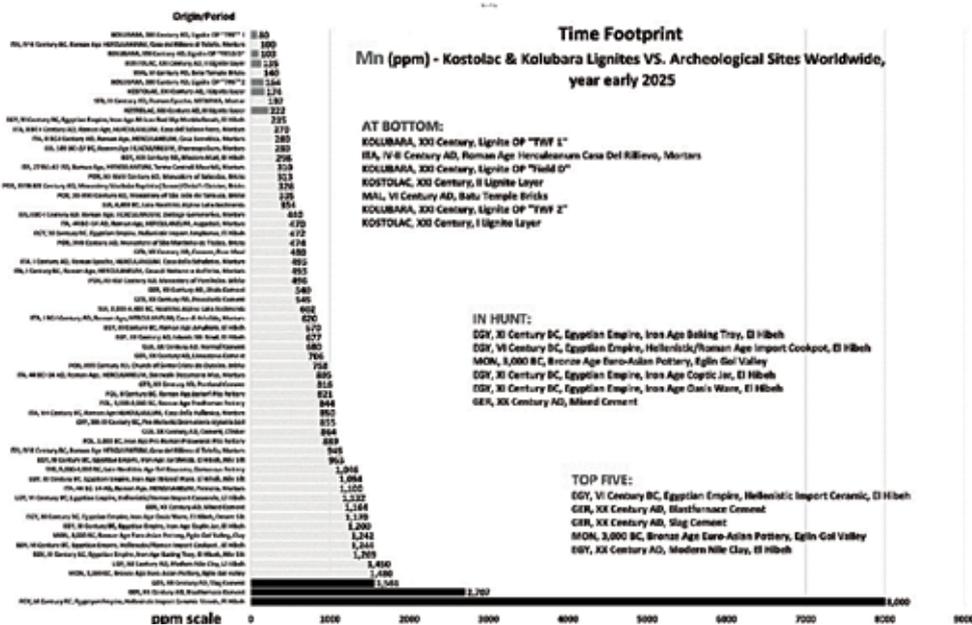
Слика 8, Zn Временски отисак; светло сиве колоне – садржаји ТМ у одређеним узорцима,  
 црне колоне – највише концентрације ТМ у узорцима, сиве колоне – садржај ТМ у узорцима  
 Колубарских и Костолачких лигнита (Вучковић, 2025.)

Figure 8, Zn Time Footprint; light gray bars – assayed HM concentration at specific items, black bars – extremely high levels of HM, gray bars – Kolubara and Kostolac Lignite HM levels (Vučković, 2025)



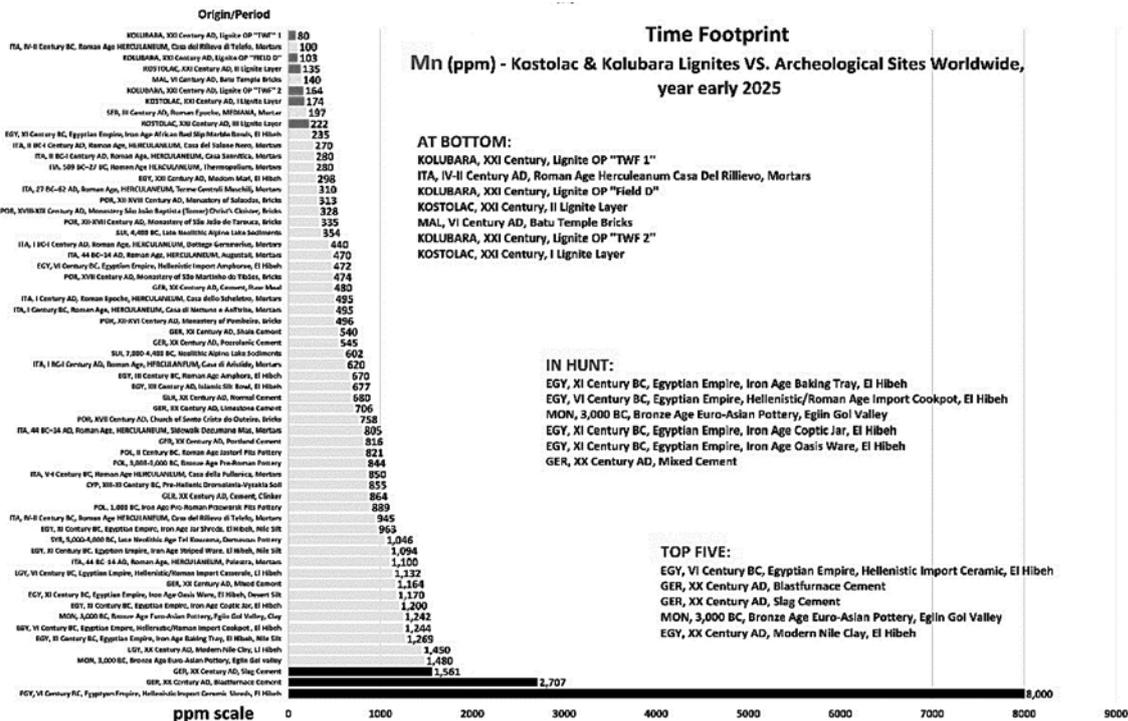
Слика 9, Pb Временски отисак; светло сиве колоне – садржаји ТМ у одређеним узорцима, црне колоне – највише концентрације ТМ у узорцима, сиве колоне – садржај ТМ у узорцима Колубарских и Костолачких лигнита (Вучковић, 2025.)

Figure 9, Pb Time Footprint; light gray bars – assayed HM concentration at specific items, black bars – extremely high levels of HM, gray bars – Kolubara and Kostolac Lignite HM levels (Vučkovic, 2025)



Слика 10, Mn Временски отисак; светло сиве колоне – садржаји ТМ у одређеним узорцима, црне колоне – највише концентрације ТМ у узорцима, сиве колоне – садржај ТМ у узорцима Колубарских и Костолачких лигнита (Вучковић, 2025.)

Figure 10, Mn Time Footprint; light gray bars – assayed HM concentration at specific items, black bars – extremely high levels of HM, gray bars – Kolubara and Kostolac Lignite HM levels (Vučković, 2025)

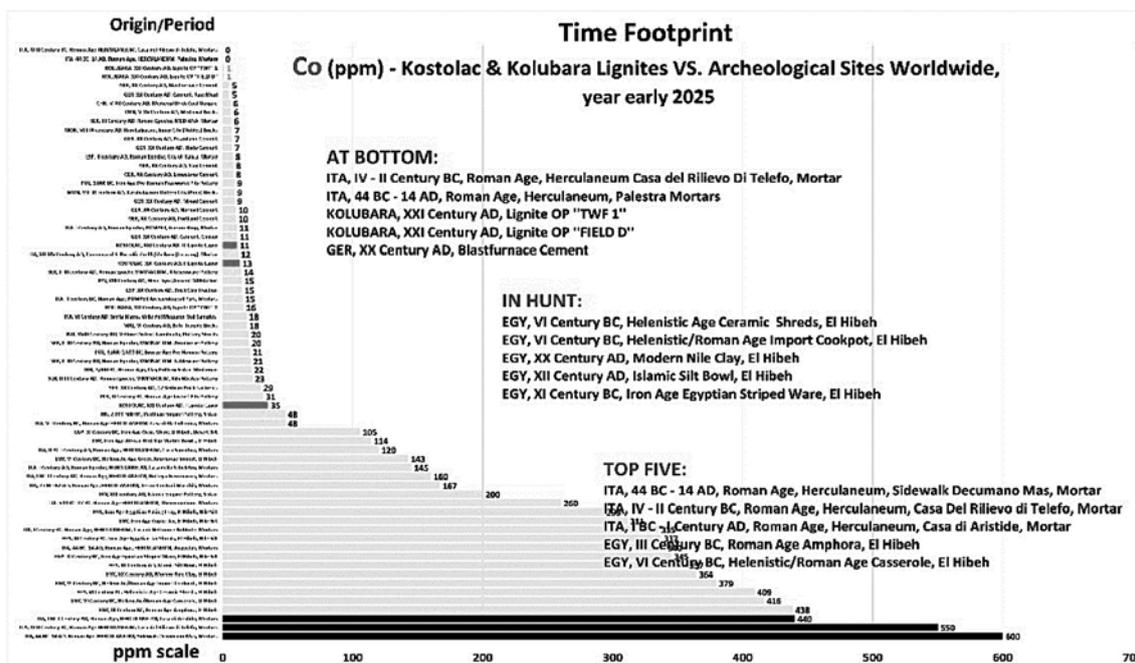


Слика 11, Cd Временски оџисак; светло сиве колоне – садржаји ТМ у одређеним узорцима, црне колоне – највише концентрације ТМ у узорцима, сиве колоне – садржај ТМ у узорцима Колубарских и Костолачких лигнита (Вучковић, 2025.)

Figure 11, Cd Time Footprint; light gray bars – assayed HM concentration at specific items, black bars – extremely high levels of HM, gray bars – Kolubara and Kostolac Lignite HM levels (Vučković, 2025)

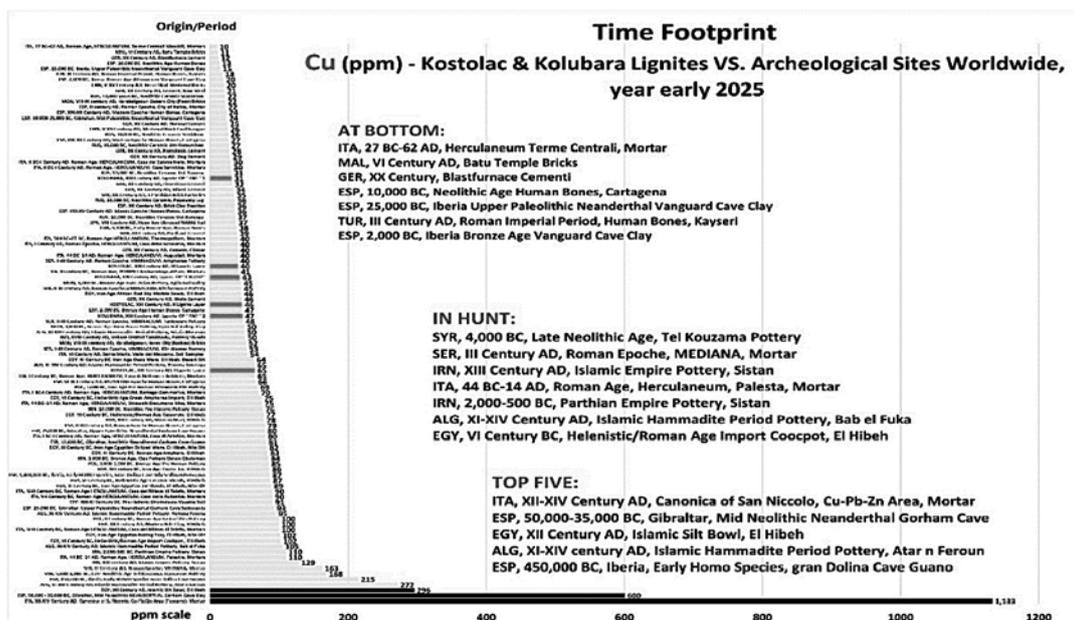
Као што можемо видети на горњим сликама (слике 8-11), увек постоји тенденција да сиве (наш лигнит) колумне буду на дну дијаграма. Понекад, неке измерене ствари скоче на изузетно високе нивое (нпр. садржај Cd је 500 x већи у Египатској грнчарији од пре 3.300 година неџо у нашем лигниту; садржај Mn је 300 x већи у Староегипатској грнчарији, али и у савременом Немачком индустријском цемениту из XX века; садржај Pb је 275 x већи у црквеном малтеру из XVII века, али и у средњовековној Исламској грнчарији; садржај Zn је 85 x већи у црквеном малтеру из XVII века, зајиним у Неолитској грнчарији из Русије старој око 10.000 година или у седиментима Неандерталских њећина у Шпанији старим око 50.000 година, итд.).

As we can see from the above few pictures (figures 8-11), there is always a trend for gray (our lignite) bars to be at the bottom of scale. Sometimes, some measured things jump to extremely high levels, (e.g. Cd is more than 500 x higher in Egyptian Empire Pottery 3,300 years ago than in our lignite; Mn is 300 x higher in old Egypt pottery and in German contemporary cement; Pb is 275 x higher in XVII century church mortar and medieval Islamic pottery; Zn is more than 85 x higher in XVII century mortar, Russian Neolithic pottery 10,000 years old, or in Neanderthal Cave Sediments 50,000 years ago, etc.).



Слика 12, Co Временски отисак; светло сиве колоне – садржаји ТМ у одређеним узорцима, црне колоне – највише концентрације ТМ у узорцима, сиве колоне – садржај ТМ у узорцима Колубарских и Костолачких лигнита (Вучковић, 2025.)

Figure 12, Co Time Footprint; light gray bars – assayed HM concentration at specific items, black bars – extremely high levels of HM, gray bars – Kolubara and Kostolac Lignite HM levels (Vučković, 2025)



Слика 13, Cu Временски отисак; светло сиве колоне – садржаји ТМ у одређеним узорцима, црне колоне – највише концентрације ТМ у узорцима, сиве колоне – садржај ТМ у узорцима Колубарских и Костолачких лигнита (Вучковић, 2025.)

Figure 13, Cu Time Footprint; light gray bars – assayed HM concentration at specific items, black bars – extremely high levels of HM, gray bars – Kolubara and Kostolac Lignite HM levels (Vučković, 2025)

Као што можемо видети на горње две слике (слике 12, 13), постоји тренд да сиве колумне буду на средини скале. Неке мерене ствари скачу до изузетно високих нивоа (*нпр. Co је више од 50 x већи у малтеру Херкуланеума из староримској доба него у нашем лигниту, али и у Старојегипатској увозној Хеленско/Римској грнчарији; Cu је 15-20 x већи у Гуано узорцима из његине са раним људским врстама старим око 450.000 година, али и у седиментима Неандерталске његине у Шпанији старој око 50.000 година*).

Тако да на основу неколико претходних дијаграма и крајње поједностављених појашњења, можемо закључити да су садржаји наведених и анализираних/упоређиваних тешких метала редовно значајно већи од оних које савременим лабораторијским испитивањима региструјемо у лигнитима. Из тога прозилази и закључак скромног геолога (аутора рада) који се бави овом проблематиком већ двадесет година, да су садржаји тешких метала у ближој или даљој прошлости били далеко већи од савремених у лигнитима које откопавамо. Наши преци нажалост нису ни били свесни тога шта их окружује у њиховом свакодневном животу. У сваком случају били су живи и здрави.

Нажалост, један од ограничавајућих фактора за даља поређења јесте то што су лабораторијска одређивања на поменути локацијама/узорцима вршена у мањем обиму (тек по неколико ТМ), што је генерално много мањи обим одређивања од оног који ЕПС практикује. Ми смо одређивали по 20 хемијских елемената (ТМ) у узорцима лигнита у лабораторији, али су стручни тимови са бројних локација широм света одређивали тек по око 4-5 елемената, а само неколико пута и више од тога, онако како је објављено.

## ЗАКЉУЧАК

Лигнити Костолачко-Ковинског и Колубарског лигнитског басена генерално имају ниске концентрације тешких метала, у поређењу са одабраним Српским, регионалним, Европским и Светским археолошким

As we can see from above two pictures (figures 12, 13), there is trend for yellow bars to be at the middle of scale. Some measured things jump to extremely high levels, (e.g. *Co is more than 50 x higher in Herculaneum mortar from Old Roman Age than in our lignite, or in old Egyptian Hellenic/Roman imported pottery; Cu is 15-20 x higher than in 450,000 years old Early Homo species cave Guano samples; or in Neanderthal Cave Sediments old 50,000 years ago*).

So, based on several previous diagrams and extremely simplified explanations, we can conclude that the contents of the mentioned and analyzed/compared heavy metals are regularly significantly higher than those that we register in lignites with modern laboratory tests. From this, the conclusion of a modest geologist (the author of the paper) who has been dealing with this problem for twenty years, that the contents of heavy metals in the recent or distant past were far higher than the current ones in the lignites we are excavating. Unfortunately, our ancestors were not even aware of what was surrounding them in their everyday life. They were alive and well anyway.

Unfortunately, one of the limiting factors for further comparisons is that the laboratory determinations at the mentioned locations/samples were performed on a smaller scale (only a few ТМ), which is generally a much smaller scale of determination than ours. We determined 20 chemical elements (HM) in lignite samples in the laboratory; but expert teams from numerous locations worldwide determined about 4-5 elements, only a few times even more than that. At least that's how it's been published. The conclusions are up to you.

## CONCLUSION

The lignite's of the Kostolac-Kovin and Kolubara Lignite Basins generally has low total amounts of concentrations of heavy metals, compared to selected Serbian, regional, European and Worldwide archeological, anthropological samples, as well as ancient settlements constructions and sediments or top soils. In this work, special attention is paid to the total content of HM as pollutants in Time Footprint

и антрополошким узорцима, али и са узорцима грађевинских амтеријала седимената и тла из насеља или пећина старих времена. У овом раду, посебна пажња је посвећена укупном садржају тешких метала као загађивача на скали временског отиска. На основу тога, може се закључити да су укупне концентрације неколико одабраних и анализираних тешких метала (Mn, Zn, Pb, Cu, Hg, Cd, Ni, As) значајно веће у старим, па чак и прастарим, узорцима приказаним на скали временског отиска него што су у савременом српском лигниту.

Scale. Based on this, it can be concluded that the total concentrations of a few HM (Mn, Zn, Pb, Cu, Hg, Cd, Ni, As) which were compared are significantly higher in the Time Footprint Scale, than in Serbian contemporary lignite.

## ЛИТЕРАТУРА / LITERATURE

- [1] Achternbosch M., Brautigam K.R., Hartlieb N., Kupsch C., Richers U., Stemmerman P.: Heavy Metals in Cement and Concrete Resulting from the Co-incineration of Wastes in Cement Kilns with Regard to the Legitimacy of Waste Utilization, Institute fur Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Institut fur Technische Chemie, Karlsruhe, 2003.
- [2] Arsenovic M., Zivancevic B., Radojevic Z.: Research on heavy metal content in clay brick products, Research Gate, Conference: 4th Symposium «Recycling technologies and sustainable development» At: Kladovo, Serbia, 2009, pp 320-324.
- [3] Bakraji E.H., Romeié M., Issa H.: Radioisotope X-Ray Fluorescence Analysis of Ancient Pottery from Tel Kouzama Site in Damascus, Syria; *Annali di Chimica*, 96, 2006, by Società Chimica Italiana.
- [4] Бркушанин И., Јовановић Г.: Извештај о испитивању земљишта РБ Колубара, Заштита на раду и заштита животне средине Београд, Лабораторија за заштиту на раду и животне средине, 2016.
- [5] Chiarelli N., Miriello D., Bianchi G., Fichera G., Giamello M., Turbanti Memmi I.: Characterization of ancient mortars from the S. Niccolò archaeological complex in Montieri (Tuscany – Italy), 2015, Research Gate, Construction and Building Materials, Elsevier BV.
- [6] Chuncai Z, Guijian L., Siwei C., Ting F., Paul K. S. Lam: The Environmental Geochemistry of Trace Elements and Naturally Radionuclides in a Coal Gangue Brick-Making Plant, Scientific Reports volume 4, Article number: 6221, 2014.
- [7] De Luca R., Miriello D., Pecci A., Dominguez-Bella S., Bernal-Casasola D., Cottica D., Bloise A., Mirocle Crisci D.: Archaeometric Study of Mortars from the Garum Shop at Pompeii, Campania, Italy, *Geoarchaeology: An International Journal* 30, 2015, pp. 330–351.
- [8] Franken C., Tengis S., Ulambayar E., Tumur-Ochir B.: Multi-method (XRF, FTIR, TGA) analysis of ancient bricks from Karabalgasun: A preliminary study, *Proceedings of the Mongolian Academy of Science*, VOL 60, No 01 (233), 2020, DOI: 10.5564/pmas.v60i1.1331.
- [9] Garcia-Martinez M.J., Moreno J.M., Moreno-Clavel J., Vegrara N., Garcia-Sanches A., Guillamon A., Porti M., Moreno-Grau S.: Heavy metals in human bones in different historical epochs; *Science of the Total Environment* 348, 2005, pp. 51–72.
- [10] Guler H., Hilal K., Guclu E.: Heavy metals in human bones from the Roman Imperial Period; *Journal of Surgery & Medicine (JOSAM)*, 2023, Vol 7, Issue 8, pp 463-467, ISSN:2602-2079.
- [11] Guner C., Aliyev V., Atamturk D., Duyar I., Soylemezoglu T.: Retention of Zn, Cu, Cd, Pb and As on human bones unearthed at a Central Anatolian Early Bronze Age excavation site (Resuloğlu, Turkey); *Eurasian J. Anthropol.* 2(1): pp. 27–39, 2011.
- [12] Hafez I., Sorrentino G., Faka M., Cuenca-García C., Makarona C., Charalambous A., Nys K., Hermon S.: Geochemical survey of soil samples from the archaeological site Dromolaxia-Vyzakia (Cyprus), by means of micro-XRF and statistical approaches; *Journal of Archaeological Science: Reports* 11, 2017, pp. 447–462

- [13] Hall M., Amraatuvshin Ch., Erdenbat E.: X-ray fluorescence analysis of pottery from Northern Mongolia; *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 240, No. 3, 1999, pp. 763-773.
- [14] Han C., Hwanh H., Kang J.H., Hong S.B., Han Y., Lee K., Hur S.D., Hong S.: Reliable Ultra Trace Analysis of Cd, U and Zn Concentrations in Greenland Snow and Ice by Using Ultraclean Methods for Contamination Control, *Molecules*, 2020, 25 (11), 2519.
- [15] Hill C.L.: The Merrell Locality (24BE1659) and Centennial Valley, Southwest Montana: Pleistocene Geology, Paleontology and Prehistoric Archaeology; Technical Report to the Dillon Resource Office, Pleistocene Geology, Paleontology & Prehistoric Archaeology, DOI:10.13140/2.1.5049.6643, Bureau of Land Management, 2005, ISBN: 0-615-13043-7.
- [16] Idjouadiene L., Mostefaoui T.A., Djermoune H., Bonizzoni L.: Application of X-ray fluorescence spectroscopy to provenance studies of Algerian archaeological pottery; *X-RAY SPECTROSCOPY*; Volume 48, Issue 5, SPECIAL ISSUE ARTICLE, DOI: 10.1002/xrs.3020, 2019.
- [17] Kawaha H., Yamashita S., Yamaoka K., Okai T., Shimoda G., Imai N.: Heavy metal pollution in Ancient Nara, Japan, during the eighth century; *Progress in Earth and Planetary Science*, Volume 1, article number 15, 2014.
- [18] Koinig K., Shotyk W., Lotter A., Ohlendorf C., Sturm M.: 9000 Years of geochemical evolution of lithogenic major and trace elements in the sediment of an alpine lake - The role of climate, vegetation, and land-use history; *Journal of Paleolimnology* 30, 2003, pp. 307-320.
- [19] Kumar S., Zhao M., Zhang H., Md Rahman A., Luo C., Rahman M. M.: Distribution, contamination status and source of trace elements in the soil around brick kilns, *Chemosphere*, Volume 263, 2021, 127882.
- [20] Leone G., De Vita A., Magnani A., Rossi C.: Characterization of archaeological mortars from Herculaneum; *Thermochimica Acta* 624, 2016, pp. 86-94, DOI: 10.1016/j.tca.2015.12.003.
- [21] Maltsev A.S., Umarova N.N., Pashkova G.V., Mukhamedova M.M., Shergin D.L., Panchuk V.V., Kirsanov D.O., Elena I. Demonterova E.I.: Combination of Total-Reflection X-Ray Fluorescence Method and Chemometric Techniques for Provenance Study of Archaeological Ceramics, *Molecules*, 2023, 28(3), 1099; DOI: 10.3390/molecules28031099.
- [22] Maresse G., Tucci P., Raickovic Savic A.: Roman Pottery from Viminacium (Serbia 2nd - 3rd Centuries AD): Compositional Characteristics, Production and Technological Aspects, *Archaeology and Science* 10, 2014, 904:738.6(497.11)<sup>01/02</sup> COBISS.SR-ID 219283468.
- [23] Marrocchino E., Telloi C., Novara P., Vaccaro C.: Petro-archaeometry characterization of historical mortars in the city of Ravenna (Italy), 2020 IMEKO TC-4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage Trento, Italy, 2020, pp. 32-37.
- [24] Marrocchino E., Telloi C., Cesarano M., Montuori M.: Geochemical and Petrographic Characterization of Bricks and Mortars of the Parish Church SANTA Maria in Padovetere (Comacchio, Ferrara, Italy), *Minerals*, 2021, 11, 530. DOI: 10.3390/min11050530
- [25] Michalowski A., Niedzielski P., Kozak L., Teska M., Jakubowski K., Zólkiewski M.: Archaeometrical studies of prehistoric pottery using portable ED-XRF; *Measurement* 159, 2020, 107758.
- [26] Miriello D., Bloise A., Crisci G., De Luca R., De Nigris B., Martellone A., Osanna M., Pace R., Pecci A., Ruggieri N.: New compositional data on ancient mortars and plasters from Pompeii (Campania – Southern Italy): Archaeometric results and considerations about their time evolution, *Materials Characterization* 146, 2018, pp. 189-203.
- [27] Merkel S.: The smelting of copper in the third millennium BC in Trentino, north-eastern Italy; *Archaeological and Anthropological Sciences*, Volume: 14, 10, Publication Date: 2022.
- [28] Meybeck M., Lestel L., Bonté P., Moilleron R., Colin J.L., Rousselot O., Hervé D., de Pontevès C., Grosbois C., Thévenot D.R.: Historical perspective of heavy metals contamination (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn) in the Seine River basin (France) following a DPSIR approach (1950-2005); *Sci Total Environ*, 2007; 375 (1-3): pp. 204-31.
- [29] Monge G., Jimenez-Espejo F., Garcia-Alix A., Martinez-Ruiz F., Matielli N., et al.: Earliest evidence of pollution by heavy metals in archaeological sites; *National Library of Medicine, Sci Rep*. 2015; 5:14252. DOI: 10.1038/srep14252.
- [30] Morgenstein M., Redmount C.A.: Using portable energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF) analysis for on-site study of ceramic sherds at El Hibeh, Egypt; *Journal of Archaeological Science* 32, 2005, pp. 1613-1623.

- [31] Ontiveros-Ortega E., Rodríguez-Gutiérrez O., Navarro A.D.: Mineralogical and physical-chemical characterization of Roman mortars used for monumental substructures on the Hill of San Antonio, in the Roman city of Italica (prov. Baetica, Santiponce, Seville, Spain); *Journal of Archeological Sciences*, Volume 7, 2016, pp. 205-223, DOI: 10.1016/j.jasrep.2016.03.043.
- [32] Ravisankar R., Naseerutheen A., Chandrasekaran A., Bramha S.N., Kanagasabapathy K.V., Prasad M.V.R., Satpathy K.K.: Energy dispersive X-ray fluorescence analysis of ancient potteries from Vellore District Tamilnadu, India with statistical approach; *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* 7, 2014, 44 e54.
- [33] Saiano F., Scalenghe R., Barello F., Ferrara E., Fonataine C., Caner L., Olivetti E., Boni I., Petit S.: Material sources of the Roman brick-making industry in the I and II century A.D. from IX 1 XI and Alpes Cottiae Regiones, Elsevier BV, *Quaternary International*, 2015.
- [34] Sarhaddi-Dadian H., Ramli Z., Shuhaimi N.H., Rahman A., Mehrafarin R.: X-Ray Diffraction and X-Ray Fluorescence Analysis of Pottery Shards from New Archaeological Survey in South Region of Sistan, Iran; *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, Vol. 15, No 3, 2015, pp. 45-56.
- [35] Stanković M., Krstić N., Đorđević D., Anastasijević N., Mitić V., Topličić-Čurčić G., Momčilović-Petronijević A.: Chemical Analysis of Mortars of Archaeological Samples From Mediana Locality, Serbia, *Science of Sintering*, 51, 2019, pp. 233-242, DOI: 10.2298/SOS1902233S, UDK: 902.03; 033.2
- [36] Стефановић П., Радовановић П., Перковић Б., и др.: Лабораторијске анализе угља репрезентативних узорака угља Колубарског басена, Извештај NIV-ITE 369, Институт за нуклеарне науке Винча, Београд, 2008.
- [37] Тепић М., Пергал М.: Извештај о испитивању бр. 24.1-0603/18-03 РБ Колубара, Заштита на раду и заштита животне средине Београд, Лабораторија за заштиту на раду и животне средине, 2018.
- [38] Yousufi R., El Ouear Z., Dahri N., Ouddane B., Rigane H.: Evaluating the Heavy Metals-Associated Ecological Risks in Soil and Sediments of a Decommissioned Tunisian Mine; *Pol. J. Environ. Stud.* Vol. 28, No. 4, 2019, pp. 2981-2993.
- [39] Zuliskandar R., Nik Hassan S., Nik Abdul R., Abdul Latif S., Muhammad R., Sharifah Z., Syed Z., Hossein S. D.: X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence (XRF) analysis of ancient bricks from Sungai Batu Temple (site SB1), Bujang Valley, Kedah, Malaysia, *Journal of Food, Agriculture & Environment* Vol.12 (3&4), 2014, pp. 360-364.
- [40] Вучковић Б., Радовановић Б., Животић Д.: Микроелементи у квартарним седиментима и лигниту Костолачко-Ковинског угљоносног басена, источна Србија – одабрани примери, XVIII Конгрес Геолога Србије 2022, књига извода.
- [41] Вучковић Б., Радовановић Б., Матић В., Гламочанин Л., Радић Б., Ераковић К., Животић Д.: Резултати геолошких истраживања лигнита костолачко-ковинског угљоносног басена – геолошке и морфоструктурне карактеристике - XVIII Конгрес Геолога Србије 2022, књига извода.
- [42] Vučković B., Milinković I.: Horizontal and Vertical Distribution of Heavy Metals (Cu, Pb, Zn) in Lignites of Kostolac-Kovin Lignite Basin, Eastern Serbia - XIV Simpozijum sa međunarodnim učešćem Rudarstvo 2023, June, Zlatibor, Serbia, 2023, pp. 124-133, ISBN 978-86-80420-27-1, COBISS.SR-ID116330505.
- [43] Vučković B., Dimitrijević B.: Heavy Metals in Lignite and Soil of Kostolac-Kovin Lignite Basin, Eastern Serbia - Comparative Analysis with Selected Examples – 9th International Conference MEP 23, Soko Banja, Serbia, 2023 pp. 24-27.
- [44] Vučković B., Dimitrijević B.: Beyond 2020 - Geology Explorations and Open Pit Activities Affection in Reclamation Designing in Kolubara Lignite Mines (KCM) Serbia, New Considerations – XVII International Conference of the Open and Underwater Mining of Minerals, Varna, Bulgaria, 2023.
- [45] Vučković B., Krgovic R.: Strategic Metals in Lignite of the Kostolac-Kovin and Kolubara Coal-Bearing Basins, Serbia - Big Numbers Game – XV Simpozijum sa međunarodnim učešćem Rudarstvo 2024, Vrnjačka Banja, Serbia, 2024.
- [46] Vučković B.: Heavy Metals in Lignite of the Kostolac-Kovin and Kolubara Basins, Serbia – Analyze with Unexpected, Section: Serbian River Sediments and Fishes' Tissue – XVI Međunarodna konferencija OMC 2024, Zlatibor, Serbia, 2024.
- [47] Вучковић Б.: Хемијски отисак лигнита Србије у простору и времену – да ли постоји? (скраћени водич кроз време и простор) –

- XVI Симпозијум са међународним учешће,  
„Рударство 2025“, 2025, Врњачка Бања,  
Србија, 2025, стр. 18-35, ISBN 978-86-80420-  
29-5, COBISS.SR-ID 169159177
- [48] Живковић Г., Маринковић А.: Извештај  
о испитивањима Институт за нуклеране  
науке Винча, Лабораторија за термотехнику  
и енергетику, 2018.
- [49] Životić D., Cvetković O., Vulić P., Gržetić I., Si-  
mić V., Ilijević K., Dojčinović B., Erić S., Radić  
B., Stojadinović S., Trifunović S.: Distribution  
of major and trace elements in the Kovin ligni-  
te (Serbia), *Geologia Croatica*, 2019, 72/1, pp.  
51–79.
- [50] JOURNALS, WWW, DOCUMENTATION  
CENTER
- [51] EPS, Kolubara Coal Mines, Technical & Desi-  
gning Documents
- [52] EPS, Designing Division ”Project”, Technical &  
Designing Documents
- [53] [www.EPS.co.rs](http://www.EPS.co.rs)



ОПТИМИЗАЦИЈА КОНТУРА ПОВРШИНСКИХ КОПОВА  
LERCHS-GROSSMANN 2D МОДЕЛОМ,  
ПРИМЕНОМ ПРОГРАМА ЗА ТАБЕЛАРНЕ ПРОРАЧУНЕ

OPTIMIZATION OF SURFACE MINE CONTOURS  
WITH THE LERCHS-GROSSMANN 2D MODEL,  
USING SPREADSHEET PROGRAMMES

DOI: 10.5937/RG2502123C

Прегледни рад  
Review

Саша Цвијић  
Колубара-Грађевинар, Лазаревац  
sasac@kglgrad.com

Saša Cvijić  
Kolubara-Gradinar, Lazarevac  
sasac@kglgrad.com

Примљен 25. 8. 2025; Рецензиран 11. 9. 2025; Прихваћен 1. 10. 2025.  
Received 25 August 2025; Received in revised version 11 September 2025; Accepted 1 October 2025

**Сажетак:** У овом раду разматра се оптимизација контура површинских копова коришћењем Lerchs-Grossmann модела у дводимензионалном облику (2D). Оптимизација граница површинских копова представља основни задатак у планирању и пројектовању површинских копова, са циљем остваривања највеће економске вредности лежишта уз истовремено поштовање технолошких, геотехничких и економских ограничења. У раду је дао основни (теоретски) оквир Lerchs-Grossmann алгоритма, као и приказ могућности примене једноставне 2D оптимизације помоћу програма за табеларне прорачуне (у раду је коришћен Microsoft Excel), кроз практични пример.

**Кључне речи:** ОПТИМИЗАЦИЈА, КОНТУРЕ ПОВРШИНСКОГ КОПА, БЛОК МОДЕЛ, LERCHS-GROSSMANN, EXCEL

**Abstract:** This paper discusses the optimization of open pit contours using the Lerchs-Grossmann model in two-dimensional (2D). The optimization of open pit boundaries is a fundamental task in the planning and design of open pits, with the aim of achieving the highest economic value of the deposit while complying with the technological, geotechnical and economic constraints. The paper presents the basic (theoretical) framework of the Lerchs-Grossmann algorithm, as well as a presentation of the possibilities of applying simple 2D optimization using a spreadsheet programme (Microsoft Excel was used in the paper), based on a practical example.

**Key words:** OPTIMIZATION, SURFACE MINING CONTOURS, BLOCK MODEL, LERCHS-GROSSMANN, EXCEL

## УВОД

Планирање површинских копова један је од кључних корака у рударству, односно у површинској експлоатацији. Правилно дефинисане границе површинског копа омогућавају постизање максималног економског

## INTRODUCTION

Planning of open pit mines is one of the key steps in mining, or rather in surface exploitation. Properly defined boundaries of an open pit mine allow for achieving maximum economic effect with optimal management of

ефекта уз оптимално управљање трошковима откривке и експлоатације. У принципу, оптимизација контура врши се помоћу специјализованих програмских пакета, али се основни алгоритми могу имплементирати и у једноставније алате, попут програма за табеларне прорачуне, ради образовних, оперативних и истраживачких сврха.

#### ЗНАЧАЈ ОПТИМИЗАЦИЈЕ У ПОВРШИНСКОЈ ЕКСПЛОАТАЦИЈИ

Оптимизација контура површинских копова представља један од основних проблема у пројектовању и планирању рударских радова. Примарни циљ овог процеса је дефинисање оптималне завршне контуре површинског копа која обезбеђује максималан профит рударског пројекта. При томе, повећање трошкова откопавања, транспорта или прераде може бити прихватљиво уколико води већем профиту, а сходно наведеном, сви параметри се разматрају у функцији економског резултата, а не изоловано у смислу искључивог смањења трошкова или максималног искоришћења минералних ресурса.

#### ПРЕГЛЕД МЕТОДА ОПТИМИЗАЦИЈЕ

Савремени модели оптимизације контура површинских копова су свеобухватни и подразумевају прорачуне маса на основу радних и завршних углова косина, цене минералне сировине, трошкова експлоатације, трошкова прераде, искоришћења у копу и преради, као и могућност промена цена и трошкова током времена. Коначан избор оптималног решења систематски се постиже економском анализом сваке генерисане контуре, с циљем постизања највећег могућег профита.

У домену софтверски подржаних решења за оптимизацију граница површинског копа, две најистакнутије и најшире прихваћене методе су метода „пливајућег конуса“ и метода „Lerchs-Grossmann“.

#### ОПТИМИЗАЦИЈА КОНТУРА ПОВРШИНСКИХ КОПОВА

Оптимизација граница површинског копа има за циљ одређивање облика и димензија

discovery and exploitation costs. Generally, contour optimization is performed using specialized software packages, but the basic algorithms can also be implemented in simpler tools, such as spreadsheet programmes, for educational, operational and research purposes.

#### THE IMPORTANCE OF OPTIMIZATION IN SURFACE MINING

Optimization of open pit contours is one of the fundamental problems in the design and planning of mining operations. The primary goal of this process is to define the optimal final contour of the open pit mine that ensures maximum profit for the mining project. In addition thereto, an increase in the costs of excavation, transportation or processing may be acceptable if it leads to higher profits, and accordingly, all parameters are considered in terms of economic results, and not in isolation in terms of exclusively reducing costs or maximizing the use of mineral resources.

#### OVERVIEW OF THE IMPLEMENTATION METHOD

Modern models for optimizing open pit boundary conditions are comprehensive and include mass calculations based on working and finishing slope angles, mineral raw material prices, operating costs, processing costs, mining and processing utilization, and the possibility of price and cost changes over time. The final selection of the optimal solution is systematically achieved by economic analysis of each generated contour, with the aim of achieving the highest possible profit.

In the domain of software-supported solutions for optimizing open pit boundary conditions, the two most prominent and widely accepted methods are the “floating cone” method and the “Lerchs-Grossmann” method.

#### OPTIMIZATION OF OPEN-MINE CONTOURS

Optimization of open-pit mining boundaries aims to determine the shape and dimensions of an open-pit mine that will provide the greatest

површинског копа који ће обезбедити највећу економску добит. Проблем се своди на балансирање прихода од минералне сировине са укупним трошковима који настају током откопавања, транспорта и прераде руде, као и управљања јаловинским материјалом.

#### ДЕФИНИСАЊЕ ГРАНИЦА ПОВРШИНСКОГ КОПА И ЦИЉЕВИ ОПТИМИЗАЦИЈЕ

Граница површинског копа није произвољна, већ зависи од:

- геолошких услова у лежишту,
- цене минералне сировине,
- степена искоришћења и типа припреме (прераде) минералне сировине,
- трошкова откопавања и транспорта,
- трошкова управљања и откопавања јаловинског материјала (откривка, интерслојна и међуслојна јаловина, јаловинске структуре у неправилним рудним телима),
- геометријских ограничења стабилности косина.

Поред непосредних геолошких и техничких параметара, на границе површинског копа значајно утичу и спољни фактори. То укључује географске карактеристике (реке, потоци...), постојећу инфраструктуру (путеви, пруге, насеља) и еколошка и административна ограничења. Кључно је да се ови спољни фактори интегришу у економску анализу, јер се потенцијални трошкови њиховог измештања или ублажавања процењују у односу на економске користи од приступа минералним резервама које се налазе испод њих.

#### ЕКОНОМСКИ БЛОК МОДЕЛ И КРИТЕРИЈУМИ НЕТО ВРЕДНОСТИ

Процес дефинисања граница површинског копа заснива се на конструкцији 3D површина које представљају контуре и границе површинског копа, у оквиру економског блок модела. Лежиште се дели на мрежу једнаких миниблокова, при чему сваки блок носи податке о свом положају и вредности, уз поштовање стабилних углова завршних косина.

economic benefit. The problem boils down to balancing the revenue from mineral resources with the total costs incurred during mining, transportation and processing of the ore, as well as the management of overburden.

#### DEFINING THE BOUNDARIES OF OPEN-PIT MINING AND OPTIMIZATION GOALS

The boundary of an open-pit mine is not arbitrary, but depends on:

- geological conditions in the deposit,
- the price of the mineral raw material,
- the degree of utilization and type of preparation (processing) of the mineral raw material,
- the costs of excavation and transportation,
- the costs of management and excavation of overburden material (overburden, interlayer and interlayer overburden, overburden structures in irregular ore bodies),
- geometric constraints on slope stability.

In addition to the immediate geological and technical parameters, the boundaries of an open pit mine are also significantly influenced by external factors. These include geographical features (rivers, streams, etc.), existing infrastructure (roads, railways, settlements), and environmental and administrative constraints. It is crucial that these external factors are integrated into the economic analysis, as the potential costs of their relocation or mitigation are assessed against the economic benefits of accessing the mineral reserves beneath them.

#### ECONOMIC BLOCK MODEL AND NET VALUE CRITERIA

The process of defining the boundaries of a surface mine is based on the construction of 3D surfaces that represent the contours and boundaries of the surface mine, within the economic block model. The deposit is divided into a network of equal miniblocks, with each block carrying data on its position and value, while respecting stable angles of the final slopes.

Сваки блок добија финансијску вредност, која се одређује као разлика између пројектоване продајне цене корисне минералне сировине и трошкова откопавања и припреме минералне сировине. Блокови са минералном сировином имају позитивну вредност (профит), док блокови откривке односно јаловине имају негативну вредност (трошак).

Циљ оптимизације је повећање укупне нето вредности (NV) површинског копа, што се постиже избором скупа блокова који чине оптималну контуру. За сваки блок одлучује се да ли је укључен или не, при чему се мора поштовати кључно ограничење: блок може бити укључен само ако су сви блокови изнад њега, неопходни за одржавање стабилног угла косине, такође укључени.

Ове зависности између блокова представљају се помоћу „лукова“ или „стрелица“ у графу, што омогућава примену алгоритама теорије графова. На тај начин сложени геотехнички услови преводе се у једноставне математичке односе, балансирајући између прецизности и брзине прорачуна.

#### КОНЦЕПТ КОЕФИЦИЈЕНТА ОТКРИВКЕ

Коефицијент откривке представља однос између количине откривке која се мора уклонити и одговарајуће количине корисне минералне сировине. Он је кључни показатељ природних и техничких карактеристика лежишта, јер одражава облик, положај и дебљину рудног тела, својства минералне сировине и околних стена, као и конфигурацију терена.

У пракси постоје различити облици коефицијента откривке: средњи, контурни, гранични, текући и плански, а према примени разликују се геолошки, етажни и економски коефицијенти. Током развоја површинског копа коефицијент откривке обично расте, јер се са ширењем и продубљивањем површинског копа најчешће приступа минералним сировинама нижег квалитета уз веће количине јаловине. Ова тенденција повећања директно утиче на економску исплативост експлоатације.

Each block is assigned a financial value, which is determined as the difference between the projected selling price of the useful mineral resource and the costs of mining and preparing the mineral resource. Mineral resource blocks have a positive value (profit), while overburden or tailings blocks have a negative value (cost).

The goal of optimization is to increase the total net value (NV) of the open pit, which is achieved by selecting a set of blocks that form the optimal contour. For each block, a decision is made whether to include it or not, with a key constraint that must be respected: a block can only be included if all the blocks above it, necessary to maintain a stable slope angle, are also included.

These dependencies between blocks are represented by “arcs” or “arrows” in a graph, which allows the application of graph theory algorithms. In this way, complex geotechnical conditions are translated into simple mathematical relationships, balancing between accuracy and speed of calculation.

#### CONCEPT OF THE OVERBURDEN COEFFICIENT

The overburden coefficient is the ratio between the amount of overburden that must be removed and the corresponding amount of useful mineral raw material. It is a key indicator of the natural and technical characteristics of the deposit, as it reflects the shape, position and thickness of the ore body, the properties of the mineral raw material and surrounding rocks, as well as the configuration of the terrain.

In practice, there are different forms of overburden coefficient: average, contour, boundary, current and planned, and geological, bench and economic coefficients are distinguished according to the application. During the development of an open-pit mine, the overburden coefficient usually increases, because with the expansion and deepening of the open-pit mine, lower quality mineral raw materials are most frequently accessed with larger amounts of tailings. This tendency for increasing directly affects the economic profitability of mining.

## ПРОГРАМСКИ ПАКЕТИ ЗА ОПТИМИЗАЦИЈУ КОНТУРА

### ПРЕГЛЕД СПЕЦИЈАЛИЗОВАНИХ ПРОГРАМА КОЈИ СЕ КОРИСТЕ У РУДАРСТВУ

За оптимизацију контура и планирање експлоатације користе се специјализовани програмски пакети, међу којима се издвајају:

- Whittle Programming: Познат по својим 3D и 4D моделима, који су дизајнирани за генерисање оптималних економских контура површинског копа. 4D модел је способан да угради потенцијалне економске промене током времена, што га чини погодним за дугорочно планирање експлоатације и дубинску анализу осетљивости.
- Maptek Vulkan: Свеобухватан програмски пакет за моделирање површинских копова. Поседује флексибилну базу података која омогућава детаљну анализу садржаја минералних сировина, формирање етажа и оптимизацију попречних пресека. *Maptek Vulkan* подржава 2D и 3D моделирање и нуди кориснички приказ за економску оптимизацију са *Whittle Pit Optimization*.
- Lynx Geosystems (MMS & Micro Lynx+): *Lynx MMS* је графички пакет базиран на UNIX радним станицама. Укључује модуле за обраду и анализу података, геолошку интерпретацију, моделирање површинских копова и планирање динамике производње. *Micro Lynx+* пружа решење за персоналне рачунаре са модулима за истраживање лежишта и површинску експлоатацију.
- Micromine: Нуди пакет програма који обухватају анализу истраживања лежишта, геолошко моделирање, оконтурење површинског копа, контролу квалитета и геодетске (мерачке) радове.
- Datamine Guide System: Карактерише га интерактивно графичко окружење које олакшава приказ и манипулацију подацима из бушотина, блок моделима, 2D и 3D *wireframe* моделима (дигитални теренски модел), тачкама и изолинијама. Подржава 3D моделирање лежишта, оконтурење површинског копа и интерактивно планирање производње.

## CONTOUR OPTIMIZATION SOFTWARE PACKAGES

### OVERVIEW OF SPECIALIZED PROGRAMMES USED IN MINING

Specialized software packages are used for contour optimization and mining planning, with emphasis on the following:

- Whittle Programming: Known for its 3D and 4D models, which are designed to generate optimal economic contours for open pit mining. The 4D model is capable of incorporating potential economic changes over time, making it suitable for long-term mine planning and in-depth sensitivity analysis.
- Maptek Vulkan: A comprehensive software package for surface mine modelling. It has a flexible database that allows for detailed analysis of mineral content, formation of layers, and optimization of cross sections. *Maptek Vulkan* supports 2D and 3D modelling and offers a user-friendly view for economic optimization with *Whittle Pit Optimization*.
- Lynx Geosystems (MMS & Micro Lynx+): *Lynx MMS* is a UNIX workstation-based graphics package. It includes modules for data processing and analysis, geological interpretation, surface mine modelling, and production dynamics planning. *Micro Lynx+* provides a PC solution with modules for deposit exploration and surface mining.
- Micromine: Offers a programme package that includes deposit exploration analysis, geological modelling, open pit contouring, quality control, and surveying.
- Datamine Guide System: Features an interactive graphical environment that facilitates the display and manipulation of borehole data, block models, 2D and 3D *wireframe* models (digital terrain models), points, and contours. Supports 3D deposit modelling, open pit contouring, and interactive production planning.
- Surpac Software International: Features a unique contour data structure that allows

- Surpac Software International: Поседује јединствену структуру података изолација која омогућава свакој тачки да прихвати више атрибута података, омогућавајући свеобухватне 3D презентације. Подржава оконтурење површинског копа и одлагалишта, геодетску (мерачку) интерпретацију терена, анализу производње и планирање рекултивације.
- Runge Mining (Talpac, XERAS): Развија специјализоване пакете за планирање производње, анализу капацитета опреме (Talpac, за камионе и механизацију) и детаљан прорачун трошкова (XERAS), који укључује анализу горива, пнеуматика, потрошних и резервних делова, све праћено кроз анализу тока новца.
- Geovariances International (Multipit): Програмски пакет дизајниран за геостатистичку оптимизацију површинских копова, способан да оптимизује на основу различитих економских функција и техничких параметара лежишта.
- Универзитет у Београду (Рударско-геолошки факултет): Допринео је развоју симулационих модела за конструкцију површинских копова, фокусирајући се на композицију етажних равни и поделу на миниблокове.

#### УЛОГА ОПШТИХ ПРОГРАМА ЗА ТАБЕЛАРНЕ ПРОРАЧУНЕ У ОПТИМИЗАЦИЈИ

Иако су специјализовани софтвери који се користе у рударству незамењиви за свеобухватну 3D оптимизацију великих лежишта, програми опште намене односно табеларна прорачуне попут *Microsoft Excel*-а, имају значајну улогу у рударском инжењерству.

*Microsoft Excel* је, што ће показати и практичан пример погодан за *Lerchs-Grossmann 2D* модел, јер његова структура омогућава:

- јасно разумевање логике алгорита,
- решавање проблема малих размера и академских (образовних) примера,
- припрему и управљање подацима,
- транспарентно праћење и проверу прорачуна.

each point to accept multiple data attributes, enabling comprehensive 3D presentations. Supports open pit and dump contouring, surveying, production analysis, and reclamation planning.

- Runge Mining (Talpac, XERAS): Develops specialized packages for production planning, equipment capacity analysis (Talpac, for trucks and machinery) and detailed costing (XERAS), which includes analysis of fuel, tires, consumables and spare parts, all monitored through cash flow analysis.
- Geovariances International (Multipit): A software package designed for geostatistical optimization of open pit mines, capable of optimizing based on various economic functions and technical parameters of the deposit.
- University of Belgrade (Faculty of Mining and Geology): Contributed to the development of simulation models for the construction of open pit mines, focusing on the composition of floor planes and the division into miniblocks.

#### THE ROLE OF GENERAL SPREADSHEET PROGRAMMES IN OPTIMIZATION

Although specialized software used in mining is indispensable for comprehensive 3D optimization of large deposits, general-purpose spreadsheet programmes such as *Microsoft Excel* play a significant role in mining engineering.

As shown in a practical example, *Microsoft Excel* is suitable for the *Lerchs-Grossmann 2D* model, because its structure allows for:

- clear understanding of algorithm logic,
- solving small-scale problems and academic (educational) examples,
- data preparation and management,
- transparent monitoring and verification of calculations.

*Microsoft Excel* cannot, on the one hand, replace specialized mining programmes, but on the other hand, it is a valuable tool for teaching and preliminary analysis, connect-

Microsoft Excel не може са једне стране заменити специјализоване програме у рударству, али са друге стране представља вредан алат за подучавање и прелиминарне анализе, повезујући теоријске принципе са практичном применом.

## ПРИНЦИП МОДЕЛА LERCHS-GROSSMANN 2D

Lerchs-Grossmann алгоритам (настао 1965. године) представља метод за одређивање оптималних контура површинског копа. Његов принцип се заснива на:

1. Подела лежишта на блокове у мрежи (2D или 3D).
2. Додељивању економске вредности сваком блоку (приход од минералне сировине умањен за трошкове откривке).
3. Постављању ограничења стабилности – блок се може експлоатисати само ако су уклоњени сви блокови изнад њега.
4. Примени теорије графова, лежиште се моделује као усмерен граф, где чворови представљају блокове, а гране представљају зависности.
5. Проналажењу максималног подграфа који максимизује суму позитивних вредности, што дефинише границу оптималног површинског копа.

## ОСНОВНЕ ПРЕТПОСТАВКЕ И МАТЕМАТИЧКИ КОНЦЕПТ

Алгоритам *Lerchs-Grossmann* је метода за одређивање оптималне контуре површинског копа, заснована на економском блок моделу лежишта. Сваком блоку додељује се вредност (профит или трошак), добијена као разлика између прихода од минералне сировине и укупних трошкова експлоатације и припреме минералне сировине. Циљ алгоритма је проналажење контуре површинског копа која обезбеђује максималну нето вредност уз поштовање геотехничких ограничења, посебно стабилних углова косина.

Предност *Lerchs-Grossmann* методе је у гаранцији да добијена контура представља

ing theoretical principles with practical application.

## PRINCIPLE OF THE MODEL LERCHS-GROSSMANN 2D

The *Lerchs-Grossmann* algorithm (developed in 1965) is a method for determining the optimal contours of an open pit mine. Its principle is based on:

1. Dividing the deposit into blocks in a grid (2D or 3D).
2. Assigning an economic value to each block (revenue from the mineral resource minus discovery overburden costs).
3. Setting stability constraints – a block can only be mined if all blocks above it are removed.
4. Applying the graph theory, the deposit is modelled as a directed graph, where nodes represent blocks and branches represent dependencies.
5. Finding the maximum subgraph that maximizes the sum of positive values, which defines the boundary of the optimal open pit mine.

## BASIC ASSUMPTIONS AND MATHEMATICAL CONCEPT

The *Lerchs-Grossmann* algorithm is a method for determining the optimal contour of an open pit mine, based on an economic block model of the deposit. Each block is assigned a value (profit or cost), obtained as the difference between the revenue from the mineral resource and the total costs of mining and preparation of the mineral resource. The goal of the algorithm is to find the contour of the open pit mine that provides the maximum net value while complying with the geotechnical constraints, in particular stable slope angles.

The advantage of the *Lerchs-Grossmann* method is that it guarantees that the resulting contour represents an absolute mathematical maximum, i.e. no block can be added or left out in order to increase the profit.

апсолутни математички максимум, то јест ниједан блок се не може додати или изоставити да би се додатно повећао профит.

У *Lerchs-Grossmann* 2D моделу проблем се своди на попречни пресек лежишта, при чему је кључан параметар угао завршне косине ( $\beta_z$ ), повезан са односом димензија блока ( $p$ ):

$$p = \frac{h}{b} = \tan \beta_z$$

где су:

$h$  - висина блока [m];  
 $b$  - ширина блока [m].

Висина блока се најчешће узима као висина етажне (у практичном примеру 5 метара), док се остале димензије одређују према технологији рада и густини истражних података.

#### ПРОЦЕДУРА РАДА LERCHS-GROSSMANN 2D АЛГОРИТМА

Процедура рада *Lerchs-Grossmann* 2D алгоритма за одређивање оптималних контура површинских копова заснива се на критеријуму оптималних економских ефеката и подељена је у три главне фазе.

#### Фаза 1: Утврђивање чистог профита сваког блока.

Претпоставка методе је да се профит може приписати сваком блоку посебно, када се он проведе кроз све фазе производње па се од вредности готовог производа одбију укупни трошкови. До оптималне граничне дубине површинског копа преко профила долази се поступком који је подељен у три фазе. У првој фази се, након димензионисања блока, утврђује чист профит сваког блока попречног на основу његове тежине, при чему је негативна вредност једнака трошку. На пример, вредност блока ( $V_{ij}$ ) износи [3]:

$$V_{ij} = \frac{T \cdot C \cdot S \cdot P_{ij}}{K}$$

где су:

$T$  - тежина блока [t];  
 $C$  - продајна цена минералне сировине или концентрата [RSD, €, ...];

In the *Lerchs-Grossmann* 2D model, the problem is reduced to the cross-section of the deposit, where the key parameter is the final slope angle ( $\beta_z$ ), related to the block dimension ratio ( $p$ ):

where:

$h$  - block height [m];  
 $b$  - block width [m].

The block height is generally taken as the height of the floor (in the practical example, 5 metres), while the other dimensions are determined according to the work technology and the density of the exploration data.

#### OPERATION PROCEDURE OF THE LERCHS-GROSSMANN 2D ALGORITHM

The operation procedure of the *Lerchs-Grossmann* 2D algorithm for determining the optimal contours of surface mines is based on the criterion of optimal economic effects and is divided into three main phases.

#### Phase 1: Determining the net profit of each block.

The assumption of the method is that profit can be attributed to each block separately, when it is applied in all stages of production and the total costs are deducted from the value of the finished product. The optimal depth limit of the surface mine across the profile is reached by a process divided into three phases. In the first phase, after the block is dimensioned, the net profit of each transverse block is determined based on its weight, with a negative value equal to the cost. For example, the value of block ( $V_{ij}$ ) is [3]:

where:

$T$  - block weight [t];  
 $C$  - selling price of mineral raw material or concentrate [RSD, €, ...];

S - степен искоришћења у припреми минералне сировине;  
 $P_{i,j}$  - проценат метала у блоку;  
 K - квалитет минералне сировине или концентрата.

S - degree of utilization in the preparation of mineral raw material;  
 $P_{i,j}$  - percentage of metal in the block;  
 K - quality of mineral raw material or concentrate.

За параметре S,  $P_{i,j}$  и K уписује се децимална вредност у распону од 0 до 1. Ако нема припреме минералне сировине, односно није битан проценат корисне компоненте (K) усваја се 1. Положај сваког блока одређен је нумеричким системом где (i) представља број реда, а (j) представља број колоне.

For the parameters S,  $P_{i,j}$  and K, a decimal value in the range from 0 to 1 is entered. If there is no preparation of mineral raw materials, i.e. the percentage of useful component (K) is not important, 1 is adopted. The position of each block is determined by a numerical system where (i) represents the row number and (j) represents the column number.

Генерално, вредност блока се своди на профит минус трошкови експлоатације и прераде (припреме минералне сировине).

In general, the value of a block is reduced to profit minus the costs of mining and processing (preparation of the mineral raw material).

После израчунавања почетних вредности за сваки блок, за сваку колону се врши рачунање кумулативне вредности профита, при чему се вредности сваког блока у колони додаје вредност претходног блока. Ова сабра-на вредност постаје нова вредност за посматрани блок. На крају ове фазе додаје се ред.

After calculating the initial values for each block, the cumulative value of profit is calculated for each column, whereby the value of the previous block is added to the value of each block in the column. This summed up value becomes the new value for the observed block. At the end of this phase, a row is added.

Пресек једног економског блок модела са кумулативним сумама (практични пример) приказана је на слици 1.

A cross-section of an economic block model with cumulative sums (a practical example) is shown in Figure 1.

i \ j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
2	-4	-4	-4	7	7	7	7	-4	7	7	-4	7	-4	7	7	7	7	-4	-4
3	-4	-4	-4	7	7	7	7	-4	7	7	7	7	7	7	-4	-4	-4	-4	-4
4	-4	-4	-4	7	7	7	7	7	3	3	3	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
5	-4	-4	5	7	7	7	7	7	0	0	0	-4	-4	-4	7	7	-4	-4	-4
6	-4	-4	-4	-4	-4	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	-4	-4	-4	-4
7	-4	-4	-4	-4	0	0	0	-4	-4	-4	-4	-4	3	3	-4	-4	-4	-4	-4
8	-4	-4	-4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
9	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4

Слика 1, Пресек економској блока модела са кумулативним сумама  
 Figure 1, Cross-section of an economic block model with cumulative sums

У табели 1 приказан је процес израчунавања кумулативне вредности профита за блокове унутар једне колоне (j=6) економског блок модела. Приказује како се права вредност сваког блока sukcesивно додаје кумулативној вредности претходног блока у истој колони. Њена вредност је у томе што јасно приказује како се трансформишу појединачне вредности блокова у кумулативне

Table 1 shows the process of calculating the cumulative value of profits for blocks within a single column (j=6) of an economic block model. It shows how the true value of each block is successively added to the cumulative value of the previous block in the same column. Its value lies in the fact that it clearly shows how the individual values of the blocks are transformed into cumulative sums, which is a key prereq-

суме, што је кључни предуслов за наредне фазе алгоритма *Lerchs-Grossmann*.

quisite for the subsequent stages of the *Lerchs-Grossmann* algorithm.

Табела 1, Процес израчунавања кумулативне вредности колоне  $j=6$   
 Table 1, Process for calculating the cumulative value of column  $j=6$

Ред Row	Права вредност блока Actual block value	Кумулативна вредност блока Cumulative block value
$i = 1$	-4	-4
$i = 2$	7	$3 = -4 + 7$
$i = 3$	7	$10 = -4 + 7 + 7$
$i = 4$	7	$17 = -4 + 7 + 7 + 7$
$i = 5$	7	$24 = -4 + 7 + 7 + 7 + 7$
<b><math>i = 6</math></b>	<b>7</b>	<b><math>31 = -4 + 7 + 7 + 7 + 7 + 7</math></b>
$i = 7$	0	$31 = -4 + 7 + 7 + 7 + 7 + 7 + 0$
$i = 8$	5	$36 = -4 + 7 + 7 + 7 + 7 + 7 + 0 + 5$
$i = 9$	-4	$32 = -4 + 7 + 7 + 7 + 7 + 7 + 0 + 5 - 4$

По истом принципу као за колону ( $j=6$ ) рачунају се кумулативне вредности за све остале колоне. Када се за све колоне заврши рачунање кумулативне вредности додаје се ред  $i = 0$ , који садржи блокове вредности 0 (слика 2).

Following the same principle as for column ( $j=6$ ), cumulative values are calculated for all other columns. When the cumulative value calculation is completed for all columns, row  $i = 0$  is added, which contains blocks of value 0 (Figure 2).

$i \backslash j$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-8	-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	-12	-20	-12	-12	-1	2	12	28	36	49	80	96	116	125	145	155	158	161	156	157
4	-16	-28	-36	-40	-7	15	34	58	67	94	114	123	143	141	150	148	165	177	161	149
5	-20	-36	-48	-47	-16	17	41	72	81	101	121	130	146	144	153	170	182	173	157	141
6	-24	-44	-60	-63	-27	4	48	79	88	108	128	137	153	151	168	180	178	169	149	133
7	-28	-52	-72	-79	-47	-7	35	79	84	105	126	136	153	159	171	176	174	161	141	121
8	-32	-60	-84	-95	-58	-22	29	71	89	110	131	141	158	155	167	172	166	153	129	109
9	-36	-68	-96	-111	-78	-37	10	61	77	106	127	137	154	151	159	164	158	141	117	93

Слика 2, Израчуната кумулативна вредност за све колоне и додати ред  $i=0$   
 Figure 2, Calculated cumulative value for all columns and added row  $i=0$

**Фаза 2: Формирање кумулативне вредности за цело лежиште.**

**Phase 2: Formation of cumulative value for the entire deposit.**

У овој фази, израчунава се кумулативни профит по колонама ( $M_{ij}$ ) на основу израза [3]:

In this phase, the cumulative profit is calculated by columns ( $M_{ij}$ ) based on the expression [3]:

$$M_{ij} = \sum m_{q,i}, \quad \text{за } q=1, 2, \dots, i$$

Табела 2, Приказ принципа формирања кумулативних вредности  
 Table 2, Presentation of the principle of formation of cumulative values

Опис Description	Илустрација Illustrations
<p>Процес почиње од блока В (1,1) (<math>i=1, j=1</math>).                      The process starts from block B (1,1) (<math>i=1, j=1</math>).</p>	
<p>Анализирају се околни блокови који се у односу на блок В (1,1) налазе:                      горе лево блок В (0,0),                      лево блок В (1,0) и                      доле лево блок В (2,0).                      The following surrounding blocks are analyzed,                      being located in relation to block B (1,1):                      upper left block B (0,0),                      left unit B (1,0) and                      lower left unit B (2,0).</p>	
<p>Од анализираних блокова бира се онај са највећом вредношћу В (0,0).                      Његова вредност се сабира са вредношћу почетног блока В (1,1).                      Ова збирна вредност се уписује у блок В (1,1) уместо његове оригиналне вредности. Из блока В (1,1) црта се стрелица ка блоку са највећом вредношћу.                      From the analyzed blocks, the one with the highest value B (0,0) is selected.                      Its value is added to the value of the initial unit B (1,1).                      This sum value is written to block B (1,1) instead of its original value. An arrow is drawn from unit B (1,1) to the unit with the highest value.</p>	

Ова анализа се наставља за остале блокове у колони, а затим се цео процес спроводи за сваку наредну колону (са лева на десно). На тај начин се добија кумулативна вредност за цело лежиште, а стрелице показују правце пружања блокова са већим садржајем корисне компоненте (табела 2 и слика 3).

This analysis is continued for the remaining blocks in the column, and then the entire process is carried out for each subsequent column (from left to right). In this way, a cumulative value is obtained for the entire deposit, and the arrows show the directions of the blocks with a higher content of the useful component (Table 2 and Figure 3).



Слика 3, Израчунајта кумулативна вредности за цело лежиште  
 Figure 3, Calculated cumulative value for the entire deposit



вредности за цео простор откопавања, сабирајући само вредности у блоковима који леже на граничној линији (површи) копа.

#### ПРЕДНОСТИ И ОГРАНИЧЕЊА LERCHS-GROSSMANN 2D МОДЕЛА

Предности. Дводимензионални *Lerchs-Grossmann* модел има значајне предности у одређеним ситуацијама. Пре свега, једноставан је за програмирање и разумевање у поређењу са сложенијим 3D моделима. Управо та једноставност га чини погодним за образовне сврхе и за илустрацију основних принципа оптимизације контура површинског копа. Модел омогућава и дефинисање минималних димензија дна површинског копа, уводећи додатна ограничења када је потребно. Историјски гледано, његова графичка природа омогућила је ручну примену на вертикалним пресецима, што је имало посебан значај пре него што је рачунарство постало широко доступно.

Ограничења. Ипак, *Lerchs-Grossmann* 2D модел представља поједностављење реалног стања на терену. Он подразумева уједначено лежиште по пружању, што је ретко случај у пракси. Због тога не може у потпуности да обухвати тродимензионалне зависности међу блоковима и често не даје глобално оптимално решење за сложена рудна тела. Тако, на пример, метода конуса, иако једноставна за примену, често доводи до компромиса: профитабилни блокови могу остати изван контуре, а непрофитабилни блокови могу бити укључени због техничких ограничења. Такође, 2D приступ не успева да повеже различите делове лежишта ако се они посматрају одвојено.

Са развојем рачунарске технике, ограничења тродимензионалног *Lerchs-Grossmann* алгорита су превазиђена. Данас постоје бројни специјализовани програмски пакети засновани управо на овој методи, са аутоматским анализама економске осетљивости и могућношћу обраде великог броја блокова.

#### ПРАКТИЧАН ПРИМЕР

За практичан пример узет је један профил са лежишта керамичке глине „Дрен“ код Лазареваца, на коме предузеће „Колубара-Грађе-

for the entire excavation area, summing only the values in the blocks lying on the boundary line (surface) of the excavation.

#### ADVANTAGES AND LIMITATIONS OF THE LERCHS-GROSSMANN 2D MODEL

Advantages. The two-dimensional *Lerchs-Grossmann* model has significant advantages in certain situations. First of all, it is easy to program and understand compared to more complex 3D models. It is precisely this simplicity that makes it suitable for educational purposes and for illustrating the basic principles of surface mine contour optimization. The model also allows for the definition of minimum dimensions of the bottom of a surface mine, introducing additional constraints when necessary. Historically, its graphical nature allowed for manual application on vertical sections, which was of particular importance before computers became widely available.

Limitations. However, the *Lerchs-Grossmann* 2D model is a simplification of the real situation in the field. It assumes a uniform deposit along the strike, which is rarely the case in practice. Therefore, it cannot fully capture three-dimensional dependencies between blocks and often does not provide a globally optimal solution for complex ore bodies. For example, the cone method, although simple to apply, often leads to compromises: profitable blocks may be left out of the contour, and unprofitable blocks may be included due to technical limitations. Also, the 2D approach fails to connect different parts of the deposit if they are viewed separately.

With the development of computer technology, the limitations of the three-dimensional *Lerchs-Grossmann* algorithm have been overcome. Today, there are numerous specialized software packages based on this method, with automatic economic sensitivity analyses and the ability to process a large number of blocks.

#### PRACTICAL EXAMPLE

A practical example is taken from a profile from the ceramic clay deposit “Dren” near Lazarevac, which is mined by the company “Kol-

винар“ д.о.о. Лазаревац из Лазаревца врши експлоатацију.

ubara-Gradevinar” d.o.o. Lazarevac from Lazarevac.

Креирање табеле/матрице економских вредности блокова (слика 5). У таблицу/матрицу се уносе вредности блокова (негативне вредности представљају блокове са губитком, позитивне са добитком). Затим се успоставе границе за условно форматирање који истичу најпозитивније блокове (у примеру -4 је најмањи, а 7 је највећи профит). Ширина блока је 10 метара, а висина (једнака пројектованој висине етаже) 5 метара.

Creating a table/matrix of economic values of blocks (Figure 5). The values of the blocks are entered into the table/matrix (negative values represent blocks with a loss, positive values with a profit). Then, the boundaries for conditional formatting are established that highlight the most positive units (in the example -4 is the smallest, and 7 is the largest profit). The width of the unit is 10 metres, and the height (equal to the designed floor height) is 5 metres.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
2		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
3	1	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
4	2	-4	-4	-4	7	7	7	7	-4	7	7	-4	7	-4	7	7	7	7	-4	-4
5	3	-4	-4	-4	7	7	7	7	-4	7	7	7	7	7	7	-4	-4	-4	-4	-4
6	4	-4	-4	-4	7	7	7	7	7	3	3	3	3	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
7	5	-4	-4	5	7	7	7	7	7	0	0	0	-4	-4	-4	7	7	-4	-4	-4
8	6	-4	-4	-4	-4	-4	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	-4	-4	-4
9	7	-4	-4	-4	-4	0	0	0	-4	-4	-4	-4	-4	3	3	-4	-4	-4	-4	-4
10	8	-4	-4	-4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	-4	-4	-4	-4	-4	-4
11	9	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4

Слика 5, Табела/матрица економских вредности блокова  
 Figure 5, Table/matrix of economic values of blocks

Табела/матрица кумулативног збира по редовима (слика 6). У ћелију C14 уносимо „=C3“. Ова формула се копира и повлачи десно и доле док се не попуни опсег D14:U14.

Table/matrix of cumulative sum by rows (Figure 6). Into cell C14 we enter “=C3”. This formula is copied and dragged to the right and down until range D14:U14 is filled.

Затим се у ћелију C15 уписује „=C14+C4“, а ова формула се повлачи (копира) десно и доле док се не попуни опсег C15:U22.

Then we enter “=C14+C4” into cell C15 and this formula is dragged (copied) to the right and down until range C15:U22 is filled.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
13		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
14	1	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
15	2	-8	-8	-8	3	3	3	3	-8	3	3	-8	3	-8	3	3	3	3	-8	-8
16	3	-12	-12	-12	10	10	10	10	-12	10	10	-1	10	-1	10	-1	-1	-1	-12	-12
17	4	-16	-16	-16	17	17	17	17	-5	13	13	2	13	-5	6	-5	-5	-5	-16	-16
18	5	-20	-20	-11	24	24	24	24	2	13	13	2	9	-9	2	2	2	-9	-20	-20
19	6	-24	-24	-15	20	20	31	31	9	20	20	9	16	-2	9	9	-2	-13	-24	-24
20	7	-28	-28	-19	16	20	31	31	5	16	16	5	12	1	12	5	-6	-17	-28	-28
21	8	-32	-32	-23	21	25	36	36	10	21	21	10	17	-3	8	1	-10	-21	-32	-32
22	9	-36	-36	-27	17	21	32	32	6	17	17	6	13	-7	4	-3	-14	-25	-36	-36

Слика 6, Табела/матрица кумулативног збира по редовима  
 Figure 6, Table/matrix of cumulative sum by rows

Табела/матрица обрачунаог кумулативног профита (слика 7) се израђује (обрачунава) од леве ка десној страни. Најпре се додаје

The table/matrix of the calculated cumulative profit (Figure 7) is created (calculated) from left to right. First, a row is added (in the ex-

ред (у примеру то је ред 25) са вредностима 0 (у опсегу B25:U25), а затим и колона B (у опсегу B25:B34).

У ћелију B26 уносимо „=C14“ (преношење вредности, први ред друге табеле/матрице кумулативни збир по редовима). Затим се ова формула повлачи (копира) дуж колоне B у опсегу B27:B34.

У ћелију C26 уписујемо „=C14+MAX(B25:B27)“. Ова формула се повлачи (копира) десно и доле до претпоследњег реда у опсегу C26:U33.

У последњем реду у табели, односно у ћелију C34 уписујемо „=C22+MAX(B33:B34)“. Затим се ова формула повлачи (копира) дуж реда 34 у опсегу C34:U34.

Тачка отварања, односно граница површинског копа приказана је у ћелији W26. То је максимална вредност вредности из опсега C26:U26 и за овај пример она износи 157, тако да је тачка отварања са десне стране профила у (осенченој) ћелији T26. У ћелију W24 неопходно је уписати „=MAX(C24:U24)“.

ample, row 25) with the values 0 (in the range B25:U25), and then column B (in the range B25:B34).

In cell B26, we enter “=C14” (transfer of values, the first row of the second table/matrix is the cumulative sum by rows). Then this formula is dragged (copied) along column B in the range B27:B34.

In cell C26, we enter “=C14+MAX(B25:B27)”. This formula is copied to the right and down to the penultimate row in the range C26:U33.

In the last row in the table, i.e. in cell C34, we enter “=C22+MAX(B33:B34)”. This formula is then copied along row 34 in the range C34:U34.

The opening point, i.e. the boundary of the surface mine, is shown in cell W26. This is the maximum value of the values in the range C26:U26 and for this example it is 157, so the opening point is on the right side of the profile in the (shaded) cell T26. In cell W24, it is necessary to enter “=MAX(C24:U24)”.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	
24		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
26	1	-4	-4	-4	-4	-4	-2	8	24	32	45	76	92	112	121	141	151	154	157	153			Максимум 157	
27	2	-8	-12	-12	-12	-1	2	12	28	36	49	80	96	116	125	145	155	158	161	156	157			
28	3	-12	-20	-24	-24	-2	9	25	44	46	77	104	113	133	142	152	151	154	164	165	153			
29	4	-16	-28	-36	-40	-7	15	34	58	67	94	114	123	143	141	150	148	165	177	161	149			
30	5	-20	-36	-48	-47	-16	17	41	72	81	101	121	130	146	144	153	170	182	173	157	141			
31	6	-24	-44	-60	-63	-27	4	48	79	88	108	128	137	153	151	168	180	178	169	149	133			
32	7	-28	-52	-72	-79	-47	-7	35	79	84	105	126	136	153	159	171	176	174	161	141	121			
33	8	-32	-60	-84	-95	-56	-22	29	71	89	110	131	141	158	155	167	172	166	153	129	109			
34	9	-36	-68	-96	-111	-78	-37	10	61	77	106	127	137	154	151	159	164	158	141	117	93			

Слика 7, Табела матрица обрачунајој кумулативној профилу  
 Figure 7, Table of calculated cumulative profit matrices

Табела/матрица одређивања контура површинског копа на профилу (слика 8). У ћелију C37 уносимо:

„=IF(C26=\$W\$26;IF(AND(B27>=B26;B27>=B25);1;IF(B26>=B25;2;3));IF(OR(D38=3;D37=2);IF(AND(B27>=B26;B27>=B25);1;IF(B26>=B25;2;3));0))“.

Затим се ова формула повлачи (копира) дуж реда у опсегу C37:U37.

Table/matrix for determining the contours of a surface mine on a profile (Figure 8). In cell C37 we enter:

„=IF(C26=\$W\$26;IF(AND(B27>=B26;B27>=B25); 1;IF(B26>=B25;2;3)); IF(OR(D38=3;D37=2);IF(AND(B27>=B26;B27>=B25);1; IF(B26>=B25;2;3));0))“.

Then this formula is dragged (copied) along the row in the range C37:U37.

Затим у ћелију C38 уписујемо:

„=IF(OR(D37=3;D36=2;D35=1);IF(AND(B26>=B25;B26>=B24);1;IF(B25>=B24;2;3));0).

Ова формула се повлачи (копира) десно и доле до претпоследњег реда у опсегу C38:U44.

И на крају, у последњем реду у табели, односно у ћелију C45 уписујемо „=IF(OR(D44=1;D45=2);IF(B34>=B33;2;3);0)“. Затим се ова формула повлачи (копира) дуж реда 35 у опсегу D45:U45.

Ради прегледности, извршено је условно обликовање ћелија у табели где су осенчене ћелије које имају вредност ћелије веће од 0 (нула). У суштини, осенчене ћелије представљају контуру површинског копа на предметном профилу.

Додељене бројчане вредности у табели (0, 1, 2, 3), су заправо замена за стрелице и означавају:

- 0 – неутрална вредност (празна ћелија),
- 1 – стрелица дијагонално на лево доле ( ↙ ),
- 2 – стрелица на лево ( ← ),
- 3 – стрелица дијагонално лево на горе ( ↖ ).

Then in cell C38 we enter:

“=IF(OR(D37=3;D36=2;D35=1);IF(AND(B26>=B25;B26>=B24);1;IF(B25>=B24;2;3));0).

This formula is dragged (copied) to the right and down to the penultimate row in the range C38:U44.

And finally, in the last row in the table, that is, in cell C45 we enter “=IF(OR(D44=1;D45=2);IF(B34>=B33;2;3);0)”. Then this formula is dragged (copied) along row 35 in the range D45:U45.

For clarity, conditional formatting of cells in the table has been performed, where cells with a cell value greater than 0 (zero) are shaded. Essentially, the shaded cells represent the contour of a surface mine on the profile in question.

The assigned numerical values in the table (0, 1, 2, 3) are actually substitutes for arrows and indicate:

- 0 – neutral value (empty cell),
- 1 – arrow diagonally down to the left ( ↙ ),
- 2 – arrow to the left ( ← ),
- 3 – arrow diagonally up to the left ( ↖ ).

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
36		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
37	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
38	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0
39	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0
40	4	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
41	5	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	6	0	0	0	0	0	3	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	7	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Слика 8, Табела/матрица одређивања контура површинског копа на профилу  
 Figure 8, Table/matrix for determining the contours of the surface mine on the profile

Табела/матрица провера ћелија (блока) (слика 9) које учествују у контурама површинског копа на профилу. У последњем реду, у ћелији C56 уносимо: „=C45“ (преношење вредности, последњи ред табеле/матрице

Table/matrix for checking the cells (blocks) (Figure 9) that participate in the contours of the surface mine on the profile. In the last row, in cell C56, we enter: “=C45” (transfer of values, the last row of the table/matrix for deter-

одређивања контура површинског копа на профилу). Ова се формула повлачи (копира) дуж реда 56 у опсегу D56:U56.

Затим у ћелију C48 уписујемо „=IF(OR(C37>0;C49>0);1;0)“. Ова формула се повлачи (копира) десно и доле до претпоследњег реда (у којем су већ унете формуле – описано у претходном пасусу) у опсегу C48:U55.

Ради прегледности, извршено је условно обликовање ћелија где су блокови који улазе у састав површинског копа осенчене једном бојом (бројчано означени бројем 1), а они који не улазе другом бојом (бројчано означени бројем 0).

mining the contours of the surface mine on the profile). This formula is dragged (copied) along row 56 in the range D56:U56.

Then in cell C48, we enter “=IF(OR(C37>0;C49>0);1;0)”. This formula is dragged (copied) to the right and down to the penultimate row (in which formulas have already been entered – described in the previous paragraph) in the range C48:U55.

For clarity, a conditional cell formatting was performed where blocks that are part of the surface mine are shaded in one colour (numerically designated as 1), and those that are not part of the mine are shaded in another colour (numerically designated as 0).

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
47		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
48	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
49	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
50	3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
51	4	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
52	5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	6	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Слика 9, Табела/матрица провера ћелија (блока) које учествују у контурама површинског копа

Figure 9, Table/matrix for checking the cells (blocks) that participate in the contours of an open-pit mine

Табела/матрица максималне вредности попречног профила (слика 10). Настала је коришћењем података из табеле/матрице економских вредности блокова (слика 5) и табеле/матрице провера ћелија (блока) (слика 9) које учествују у контурама површинског копа. У ћелију C59 уносимо „=IF(C48=1;C3;”-“)“. Ова формула се копира и повлачи десно и доле док се не попуни опсег C59:U67.

Укупну вредност профила добија се у ћелији W59 у коју је унета формула: „=SUM(C59:U67)“. Добија се вредност од 157. Ова вредност је једнака вредности која је добијена у табели/матрици обрачунатог кумулативног профита (слика 7) у ћелији W26.

Table/matrix of maximum cross-sectional values (Figure 10). It was created using data from the table/matrix of economic values of blocks (Figure 5) and the table/matrix of cell (unit) checks (Figure 9) that participate in the surface mine contours. In cell C59, we enter “=IF(C48=1;C3;”-“)”. This formula is copied and dragged to the right and down until the range C59:U67 is filled.

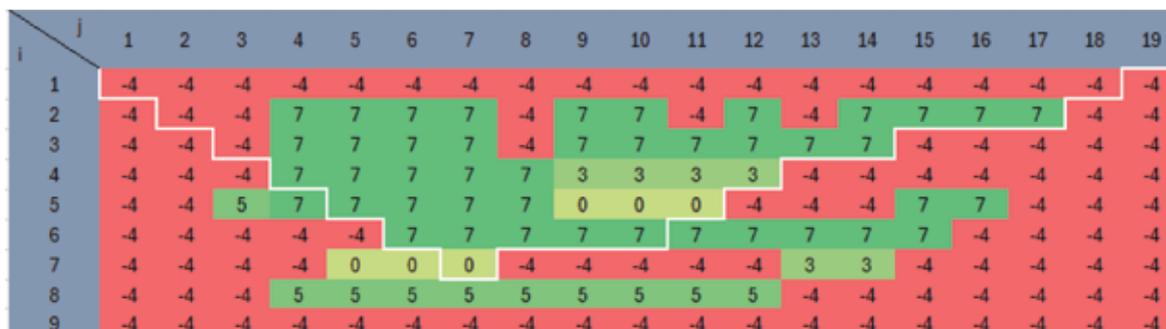
The total value of the profile is obtained in cell W59, where the formula: “=SUM(C59:U67)” is entered. The value obtained is 157. This value is equal to the value obtained in the table/matrix of calculated cumulative profit (Figure 7) in cell W26.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
58		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Укупна вредност профила	
59	1	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	157
60	2	-	-4	-4	7	7	7	7	-4	7	7	-4	7	-4	7	7	-	-	-	-	-	
61	3	-	-	-4	7	7	7	7	-4	7	7	7	7	7	7	-	-	-	-	-	-	
62	4	-	-	-	7	7	7	7	7	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	
63	5	-	-	-	-	7	7	7	7	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
64	6	-	-	-	-	-	7	7	7	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
65	7	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
66	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
67	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Слика 10, Табела/матрица максималне вредности појединачног профила  
 Figure 10, Table/matrix of maximum cross-section values

И на крају примера на почетну табелу/матрицу економских вредности блокова (слика 5) нанеће се граница контура површинског копа 8 (ивице беле боје) што је приказано на слици 10.

And at the end of the example, the boundary of the open-pit mine contour 8 (white edges) will be applied to the initial table/matrix of economic values of blocks (Figure 5), as shown in Figure 10.



Слика 11, Приказ граница површинског копа на табели/матрици економских вредности блокова  
 Figure 11, Display of the boundaries of the open-pit mine on the table/matrix of economic values of blocks

Са слике 11 јасно се уочава да је део економски исплативих блокова остао ван контура површинског копа. Примена *Lerchs-Grossmann* 2D модела у комбинацији са програмима за табеларне прорачуне омогућава одређивање оптималних контура појединих профила, при чему се добија компромис између економске вредности и технолошких услова откопавања.

Figure 11 clearly shows that a part of the economically viable units remained outside the contours of the open-pit mine. The application of the *Lerchs-Grossmann* 2D model in combination with spreadsheet programmes allows the determination of the optimal contours of individual profiles, thereby obtaining a compromise between economic value and technological conditions of excavation.

## ЗАКЉУЧАК

*Lerchs-Grossmann* метод представља поуздан математички модел за одређивање оптималних контура површинских копова. Иако се у пракси најчешће користи кроз специјализоване програмске пакете, могуће

## CONCLUSION

The *Lerchs-Grossmann* method is a reliable mathematical model for determining the optimal contours of open pit mines. Although in practice it is generally used through specialized software packages, it is possible to carry out

је спровести поједностављену 2D анализу и у програмима за табеларне прорачуне, што је посебно значајно за образовне, оперативне и истраживачке сврхе. Практичан пример приказан у раду показује да и „једноставни алати“ (попут *Microsoft Excel*-а) могу послужити за разумевање и решавање појединих оптимизационих метода у рударству.

a simplified 2D analysis in spreadsheet programmes, which is especially important for educational, operational and research purposes. The practical example presented in the paper shows that even “simple tools” (such as *Microsoft Excel*) can be used to understand and solve certain optimization methods in mining.

#### ЛИТЕРАТУРА / LITERATURE

- [1] Лазић А.: Пројектовање површинских копова са моделирањем система експлоатације, РГФ, Београд, 1998, ISBN 8673520452.
- [2] Колоња Б., Стевановић Д.: Пројектовање површинских копова – интерна скрипта, 2005.
- [3] Павловић В.: Системи површинске експлоатације, РГФ, Београд, 1998, ISBN 8673520207.
- [4] Вушовић Н.: Пројектовање рудника – интерна скрипта (презентација), Технички факултет у Бору, 2021.



ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ ПАРЦИЈАЛНЕ КОСИНЕ ОДЛАГАЛИШТА  
ПОВРШИНСКОГ КОПА ПОЉЕ Е У ЗОНИ РАДА ОДЛАГАЧА О-6

DIMENSIONING OF THE PARTIAL SLOPE  
OF THE LOCAL OPEN-PIT MINE LANDFILL  
IN THE O-6 SPOIL-DISPOSAL MACHINE OPERATION ZONE

DOI: 10.5937/RG2502143P

Стручни рад  
Expert paper

Бранко Петровић  
ЕПС Београд, РБ Колубара, Лазаревац, Србија  
branko.petrovic@eps.rs

Branko Petrović  
EPS Belgrade, RB Kolubara, Lazarevac, Serbia  
branko.petrovic@eps.rs

Примљен 29. 7. 2025; Рецензиран 25. 8. 2025; Прихваћен 3. 9. 2025.

Received 29 July 2025; Received in revised version 25 August 2025; Accepted 3 September 2025

**Сажетак:** Након завршетка експлоатације уља на простору ПК ПОЉЕ Д, угаљ из источног дела РБ КОЛУБАРА ће се ископавати на новом копу, ПК ПОЉЕ Е. Веома сложена геолошка структура, посебно у јужном и северном делу тог поља, као и велика заводњеност, основне су карактеристике тог простора. Током 2022. године и почетком 2023. године дошло је до зарушавања ешажа у јужној косини која. Одлуком руководства РБ КОЛУБАРА у ту зону која пребачен је одлагач О-6 како би одлагањем јаловинских маса формирао заштитни бегем и спречио даље клизање косине.

У овом раду приказани су резултати анализе стабилности новоформиране јаловинске ешаже (заштитни бегем) настале радом одлагача О-6.

**Кључне речи:** ЕТАЖА, ОДЛАГАЛИШТЕ, ФАКТОР СИГУРНОСТИ

**Abstract:** After the exploitation of coal on the site of PK POLJE D has been completed, the coal from the eastern section of RB KOLUBARA will be excavated at the new mine, PK POLJE E. The area is characterized by a highly complex geological structure especially in its southern and northern parts and substantial water saturation. During 2022 and the beginning of 2023, some benches on the southern slope of the mine collapsed. Following a decision by the management of RB KOLUBARA, the spoil-disposal machine O6 was relocated to that zone of the mine to deposit waste rock masses and form a protective embankment to prevent further slope failure.

This paper presents the results of a stability analysis of the newly formed waste rock bench (protective berm) created by the operation of the machine O6.

**Key words:** SLOPES, LANDFILL, SAFETY FACTOR

## УВОД

Колубарски лигнитски басен је лоциран на око 50 km југозападно од Београда и заузима делове територија општина Лазаревац, Лајковац и Уб, укупне површине од око 600 km<sup>2</sup> (Слика 1).

## INTRODUCTION

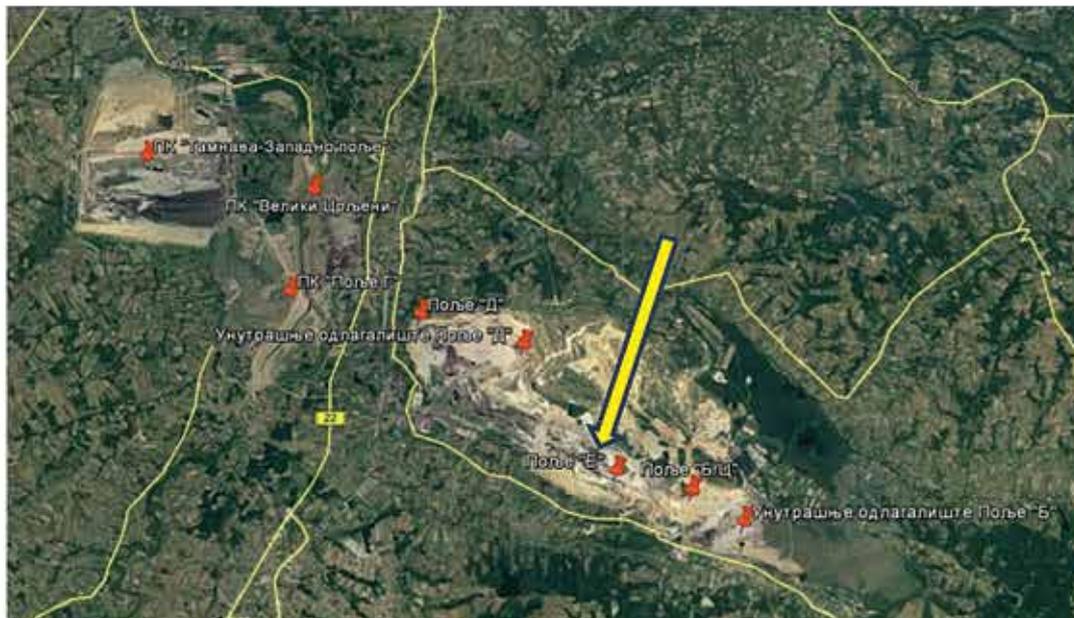
The Kolubara Lignite Basin is located approximately 50 km southwest of Belgrade and occupies parts of the municipalities of Lazarevac, Lajkovac and Ub, with a total area of approximately 600 km<sup>2</sup> (Figure 1).



Слика 1, Географска карта дела Србије са Колубарским уљоносним басеном  
Figure 1, Geographical map of the part of Serbia with the Kolubara Coal Basin

Површински коп ПОЉЕ Е се налази у крајњем југоисточном делу басена, површине од око 12,9 km<sup>2</sup> (Слика 2). Са његове источне стране је откопно поље ПОЉЕ Ц, на северном делу граничи се са ПОЉЕМ Д док су на западној страни ПОЉЕ Г и ПОЉЕ Ф. Јужна страна је оконтурена границом природног исклињења угљеног слоја.

The POLJE E (FIELD E) open-pit mine is located in the extreme southeastern part of the basin, with an area of approximately 12.9 km<sup>2</sup> (Figure 2). On its eastern side, the excavated field FIELD C is located, on the northern side it borders FIELD D, while FIELD G and FIELD F are on the western side. The southern side is contoured by the boundary of the natural outcrop of the coal seam.



Слика 2, Преједна карта Колубарског уљоносног басена (ПОЉЕ Е у југоисточном делу)  
Figure 2, Overview map of the Kolubara coal basin (FIELD E in the southeastern part)

На простору будућег површинског копа ПОЉЕ Е, на његовом крајњем истоку, налазе се инфраструктурни објекти Помоћне механизације (радионички и магацински простор), котларница, трафостаница, складиште горива, простор намењен за монтажни плац, а све у близини измештеног пута Вреоци – Аранђеловац и измештеног корита реке Пештан (Слика 3) [1].

On the site of the future open-pit mine FIELD E, at its easternmost point, there are infrastructural facilities of the Auxiliary Mechanization (workshop and warehouse space), a boiler room, a substation, a fuel storage facility, a space intended for an assembly site, all in the vicinity of the relocated road Vreoci – Arandjelovac and of the displaced bed of the Pestan river (Figure 3) [1].



Слика 3, Положај инфраструктурних објеката на јужној косини копа  
Figure 3, Location of infrastructure facilities on the southern slope of the pit

Током 2022. године и почетком 2023. године дошло је до зарушавања јужне косине копа тако да су трафостаница и постројење за прераду воде, који су се налазили у непосредној близини обода копа, морали бити измештени како не би дошло до њиховог оштећења. Одлуком руководства РБ КОЛУБАРА у ту зону копа допремљен је одлагач (О-6) са намером да се одлагањем јаловине и формирањем блока спречи даље клизање косине и да се на тај начин овај део копа учини безбедним [2].

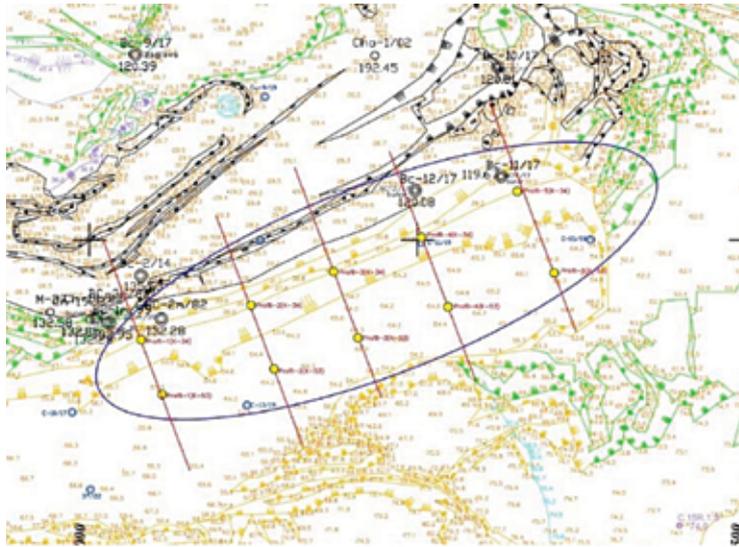
During 2022 and early 2023, the southern slope of the pit collapsed to the point that the substation and water treatment plant, which were located in the immediate vicinity of the pit perimeter, had to be relocated to avoid damage. By decision of the management of the RB KOLUBARA, a spoil-disposal machine (O-6) was relocated to that zone of the mine to deposit waste rock masses and form a protective embankment to prevent further slope failure and thus make this part of the pit safe [2].

Основ депонованог материјала чине сиво-плаве глине са променљивим садржајем песковите компоненте, фрагмената угља и дијатомита, сиво-жуте глине са облацима кварца, заглињени пескови, угљевита глина, комади дијатомита и угља.

The basis of the deposited material is made up of gray-blue clays with variable content of sandy components, fragmented coal and diatomite, gray-yellow clays with quartz pebbles, silty sands, carbonaceous clays, pieces of diatomite and coal.

У сврху одређивања физичко-механичких својстава тог материјала и димензионасања геометрије косине новоформираног блока јаловине, неопходно је било узимање узорака материјала и њихово лабораторијско испитивање. На Слици 4 приказани су профили са назначеним местима узимања узорака.

In order to determine the physical and mechanical properties of this material and dimension the geometry of the slope of the newly formed waste rock block, it was necessary to take samples of the material and conduct their laboratory testing. Figure 4 shows the profiles with the sampling locations indicated.



Слика 4, Положај профила и места узимања узорака за лабораторијско испитивање  
 Figure 4, Location of profiles and sampling points for laboratory testing

Резултати лабораториских испитивања одложеног материјала приказани су у Табели 1.

The results of laboratory testing of the deposited material are presented in Table 1.

Табела 1, Резултати лабораториских испитивања одложеног материјала  
 Table 1, Results of laboratory testing of the deposited material

ЗОНА ОДЛАГАЧА (О-6) SPOIL-DISPOSAL MACHINE ZONE (O-6)			
Ознака Профила Profile Tag	$\phi$ (°)	C (kN/m <sup>2</sup> )	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
Профил - 1 (К-53) Profile - 1 (K-53)	41	9	17,16
Профил - 2 (К-53) Profile - 2 (K-53)	43	5	17,04
Профил - 3 (К-53) Profile - 3 (K-53)	39	3	17,72
Профил - 4 (К-53) Profile - 4 (K-53)	34	6	17,52
Профил - 5 (К-53) Profile - 5 (K-53)	41	3	17,63
Профил - 1 (К-34) Profile - 1 (K-34)	37	5	17,58

ЗОНА ОДЛАГАЧА (О-6) SPOIL-DISPOSAL MACHINE ZONE (O-6)			
Ознака Профила Profile Tag	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	C (kN/m <sup>2</sup> )	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
Профил - 2 (К-34) Profile - 2 (K-34)	38	8	16,71
Профил - 3 (К-34) Profile - 3 (K-34)	37	5	17,31
Профил - 4 (К-34) Profile - 4 (K-34)	36	7	17,07
Профил - 5 (К-34) Profile - 5 (K-34)	41	6	16,86

### АНАЛИЗА СТАБИЛНОСТИ ПАРЦИЈАЛНЕ КОСИНЕ

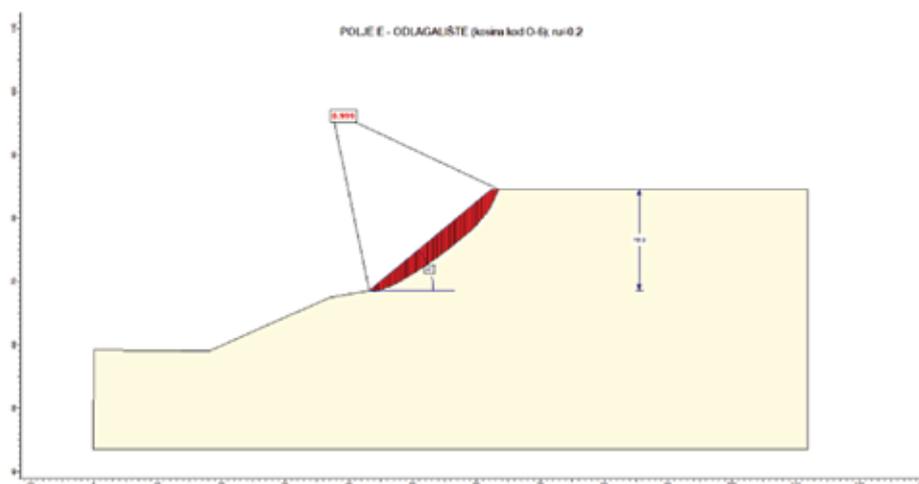
Прорачун фактора сигурности парцијалне косине ( $F_s$ ) урађен је применом софтверског пакета SLIDE 6.0, Rocscience Inc, уз Mohr-Coulomb-ов критеријум лома. Резултати прорачуна приказани су графички и табеларно. Подаци за физичко-механичка својства одлагалишта који су коришћени у прорачуну, узети су из Табеле 1.

На слици 5 и слици 6 приказана је парцијална косина новоформираног одлагалишта и добијене вредности фактора сигурности ( $F_s$ ) за тадашње стање косине, при коефицијенту порног притиска  $r_u = 0,2$  и  $r_u = 0,3$  [3].

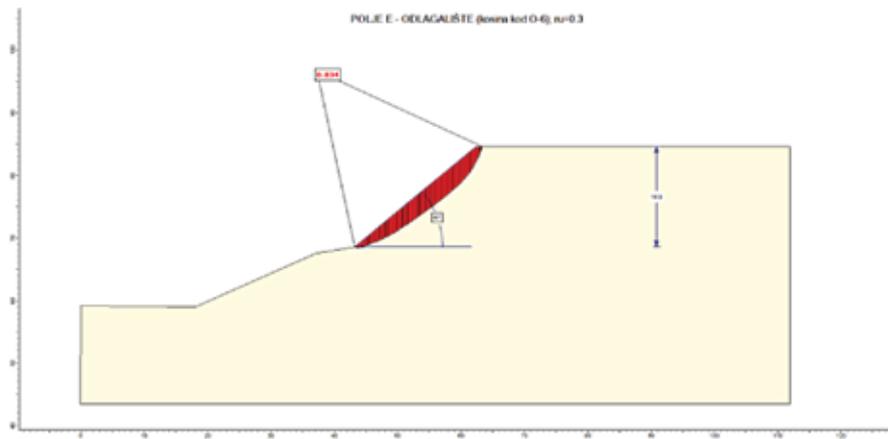
### ANALYSIS OF STABILITY OF PARTIAL SLOPE

The calculation of the safety factor of a partial slope ( $F_s$ ) was performed using the software package SLIDE 6.0, Rocscience Inc, with the Mohr-Coulomb failure criterion. The results of the calculation are presented graphically and in tables. The data for the physical-mechanical properties of the landfill used in the calculation were taken from Table 1.

Figure 5 and Figure 6 show the partial slope of the newly formed landfill and the obtained values of the safety factor ( $F_s$ ) for the current state of the slope, at the pore pressure coefficient  $r_u = 0.2$  and  $r_u = 0.3$  [3].



Слика 5, Парцијална косина одлагалишта ПОЉЕ Е код одлагача (О-6) – фактор сигурности  $F_s = 0,99$  (висина ећаже  $H_e = 16$  m; најиб ећаже  $\alpha = 40^{\circ}$ ;  $r_u = 0,2$ )  
 Figure 5, Partial slope of the landfill FIELD E near the spoil-disposal machine (O-6) – safety factor  $F_s = 0.99$  (floor height  $H_e = 16$  m; floor slope  $\alpha = 40^{\circ}$ ;  $r_u = 0.2$ )



Слика 6, Парцијална косина одлајалишта ПОЉЕ Е код одлајача (О-6) – фактор сигурности  $F_s = 0,83$  (висина етаже  $H_e = 16$  m; нагиб етаже  $\alpha = 40^\circ$ ;  $r_u = 0,3$ )  
 Figure 6, Partial slope of the landfill FIELD E near the spoil-disposal machine (O-6) – safety factor  $F_s = 0.83$  (floor height  $H_e = 16$  m; floor slope  $\alpha = 40^\circ$ ;  $r_u = 0.3$ )

Јасно је да при оваквој геометрији косина нема захтевану сигурност и да је неопходно кориговање њеног угла нагиба и висине. Из тог разлога, за различите висине и нагибе косине урађена је анализа стабилности [4].

It is clear that with this geometry the slope does not have the required safety and that it is necessary to correct its angle of inclination and height. For this reason, a stability analysis was performed for different heights and slopes of the slope [4].

У табели 2 и табели 3 приказане су вредности фактора сигурности ( $F_s$ ) за косине висине од 10 m до 22 m, нагибе од  $20^\circ$  до  $40^\circ$  и коефицијенте порног притиска  $r_u = 0,2$  и  $r_u = 0,3$ .

Table 2 and Table 3 show the values of the safety factor ( $F_s$ ) for slopes with heights from 10 m to 22 m, inclinations from  $20^\circ$  to  $40^\circ$  and pore pressure coefficients  $r_u = 0.2$  and  $r_u = 0.3$ .

Табела 2, Резултати анализе стабилности парцијалне косине одлајалишта ПОЉЕ Е – зона рада код одлајача (О6), ( $r_u = 0,2$ )

Table 2, Results of the stability analysis of the partial slope of the landfill FIELD E – work zone of the spoil-disposal machine (O6), ( $r_u = 0.2$ )

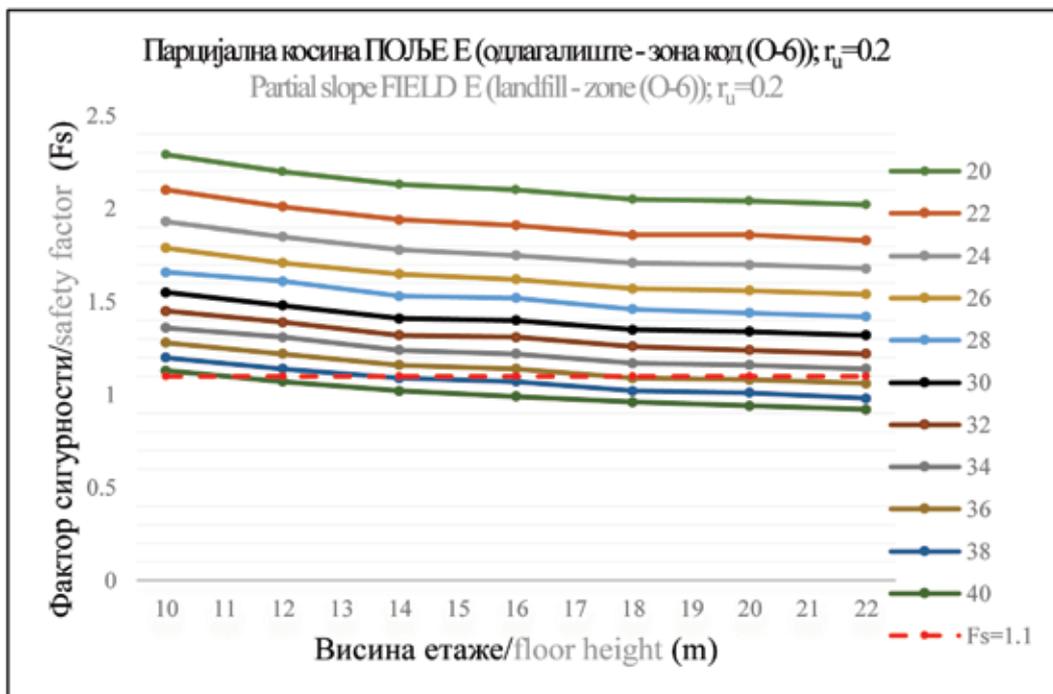
Нагиб етаже Floor slope $\alpha$ ( $^\circ$ )	Фактор сигурности $F_s$ за висину етаже / Safety factor $F_s$ for floor height						
	H = 10 m	H = 12 m	H = 14 m	H = 16 m	H = 18 m	H = 20 m	H = 22 m
20	2,29	2,25	2,13	2,14	2,05	2,04	2,02
22	2,10	2,05	1,94	1,95	1,86	1,86	1,83
24	1,93	1,89	1,78	1,78	1,71	1,70	1,68
26	1,79	1,74	1,65	1,64	1,57	1,56	1,54
28	1,66	1,61	1,53	1,52	1,46	1,44	1,42
30	1,55	1,50	1,41	1,41	1,35	1,34	1,32
32	1,45	1,40	1,32	1,31	1,26	1,24	1,22
34	1,36	1,31	1,24	1,22	1,17	1,16	1,14
36	1,28	1,23	1,16	1,14	1,09	1,08	1,06
38	1,20	1,16	1,09	1,07	1,02	1,01	0,98
40	1,13	1,09	1,02	0,99	0,96	0,94	0,92

Табела 3, Резултати анализе стабилности њарцијалне косине одлајалишта ПОЉЕ Е – зона рада код одлајача (О6), ( $r_u = 0,3$ )  
 Table 3, Results of the partial slope stability analysis of FIELD E landfill –spoil-disposal machine work zone (O6), ( $r_u = 0,3$ )

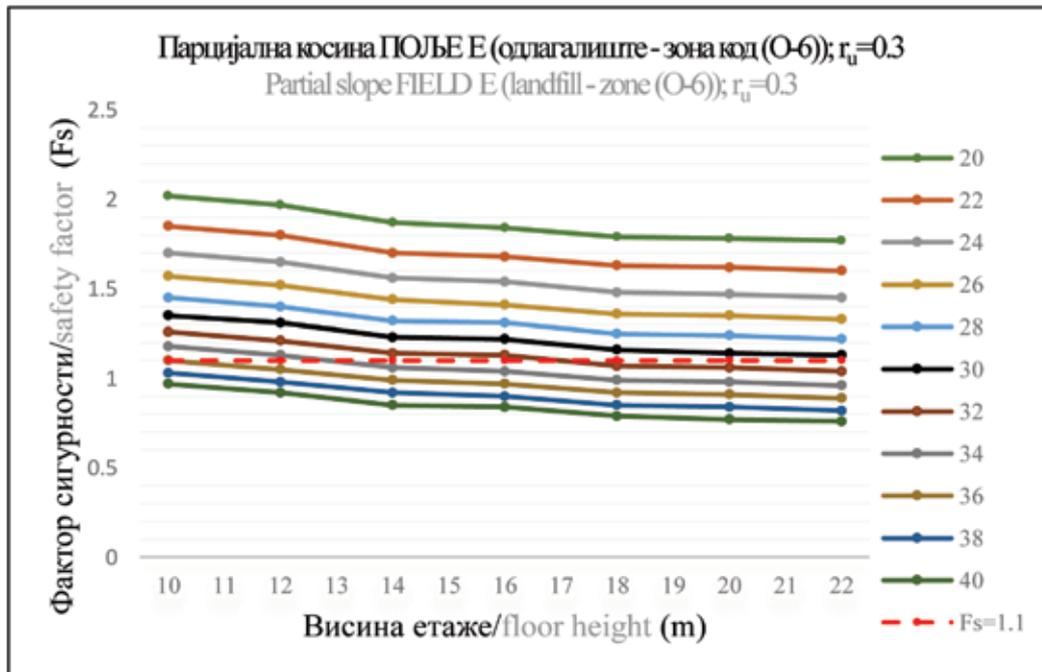
Нагиб етаже Floor slope $\alpha$ (°)	Фактор сигурности $F_s$ за висину етаже / Safety factor $F_s$ for floor height						
	H = 10 m	H = 12 m	H = 14 m	H = 16 m	H = 18 m	H = 20 m	H = 22 m
20	2,02	1,98	1,87	1,88	1,79	1,78	1,77
22	1,85	1,80	1,70	1,70	1,63	1,62	1,60
24	1,70	1,65	1,56	1,56	1,48	1,47	1,45
26	1,57	1,52	1,43	1,43	1,36	1,35	1,33
28	1,45	1,41	1,32	1,31	1,25	1,24	1,22
30	1,35	1,31	1,23	1,22	1,16	1,14	1,13
32	1,26	1,21	1,14	1,13	1,07	1,06	1,04
34	1,18	1,13	1,06	1,04	0,99	0,98	0,96
36	1,10	1,05	0,99	0,97	0,92	0,91	0,89
38	1,03	0,98	0,92	0,90	0,85	0,84	0,82
40	0,97	0,92	0,85	0,84	0,79	0,77	0,76

Графичка интерпретација података из Табеле 2 и Табеле 3, дата је на слици 7 и слици 8.

Graphical interpretation of the data from Table 2 and Table 3 is given in Figure 7 and Figure 8.



Слика 7, Вредности фактора сигурности ( $F_s$ ) у зависности од висине етаже ( $H_e$ ) и најиба етаже ( $\alpha$ ) њри коефицијенту њорној њријиска  $r_u=0,2$   
 Figure 7, Values of the safety factor ( $F_s$ ) depending on the floor height ( $H_e$ ) and the floor slope ( $\alpha$ ) at the pore pressure coefficient  $r_u=0.2$



Слика 8, Вредности фактора сигурности ( $F_s$ ) у зависности од висине етаже ( $H_e$ ) и најиба етаже ( $\alpha$ ) при коефицијенту порног притиска  $r_u=0,3$

Figure 8, Values of the safety factor ( $F_s$ ) depending on the floor height ( $H_e$ ) and the floor slope ( $\alpha$ ) at the pore pressure coefficient  $r_u=0.3$

## ЗАКЉУЧАК

Правилно димензионање етаже (одређивање њене висине и нагиба) веома је битно пре самог почетка процеса експлоатације из више разлога. Првенствено, правилно дефинисани параметри етаже директно утичу на њену стабилност и сигурност при раду што се позитивно одражава на динамику технолошког процеса и економске показатеље.

Парцијална косина одлагалишта ПК ПОЉЕ Е у зони рада одлагача О-6 може се димензионисати користећи дијаграме (слика 7 и слика 8), који су настали прорачуном фактора сигурности ( $F_s$ ) за разне облике етаже (висина етаже од 10 до 22 m, нагиб од 20° до 40°) [5].

Сходно нагибу етаже, одређује се њена висина (на апсциси), тако да вредност фактора сигурности ( $F_s$ ) буде изнад црвене испрекидане линије ( $F_s \geq 1.1$ ). На пример, за етажу нагиба  $\alpha = 30^\circ$ , висина етаже може бити 20 m што се и препоручује у овом конкретном случају.

## CONCLUSION

Proper dimensioning of a floor (determining its height and slope) is very important before the very beginning of the exploitation process for the above reasons. First of all, correctly defined floor parameters directly affect its stability and safety during operation, which has a positive effect on the dynamics of the technological process and economic indicators.

The partial slope of the PK POLJE E landfill in the O-6 spoil-disposal machine operation zone can be dimensioned using diagrams (Figure 7 and Figure 8), which resulted by calculating the safety factor ( $F_s$ ) for various floor shapes (floor height from 10 to 22 m, slope from 20° to 40°) [5].

According to the slope of the floor, its height is determined (on the abscissa), so that the value of the safety factor ( $F_s$ ) is above the red dashed line ( $F_s \geq 1.1$ ). For example, for a floor with a slope of  $\alpha = 30^\circ$ , the height of the floor can be 20 m, which is recommended in this particular case.

## ЛИТЕРАТУРА / LITERATURE

- [1] Стручна и фондуска документација РБ Колубара.
- [2] Петровић Б.: Анализа стабилности јужне косине ПК Поља Е - РБ Колубара у зони инфраструктурних објеката, XI међународна конференција Угаљ и критични минерали (ССМ 2023), Златибор, Србија, 2023., стр. 160-167, Зборник радова, ISBN: 978-86-83497-30-0.
- [3] Pavlović N., Petrović B., Šubaranović T., Pavlović V.: Opencast mine internal dump sanation risks International Geomechanics Conference, Varna, Bulgaria, 2022., pp. 235-241, Proceedings, ISSN: 1314-6467.
- [4] Петровић Б., Вујић С., Чебашек В., Гајић Г., Игњатовић Д.: Прогнозни анализ устојчивости откосов внуренних отвалов после затоплення угольного карьера Тамнава Западно поле, Журнал, Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, НОМЕР 1, Москва, Русија, 2016., pp. 110-115., ISSN 0015-3273, UDK 622.271: 624.131.
- [5] Петровић Б.: Анализа стабилности косина одлагалишта ПК. Тамнава-Западно поље у функцији испумпавања воде из копа, XI Међународна конференција о површинској експлоатацији, Златибор, Србија, 2014., стр. 311-319, Зборник радова, ISSN: 1314-8877.



МЕЂУСЕКТОРСКА АНАЛИЗА ПРОЦЕСА ЗАГАЂЕЊА РАДОМ  
ТЕРМОЕЛЕКТРАНА НИКОЛА ТЕСЛА И ПОВРШИНСКИХ КОПОВА  
ЛИГНИТА РБ КОЛУБАРА РЕПУБЛИКА СРБИЈА

INTERSECTORAL ANALYSIS OF POLLUTION PROCESSES CAUSED  
BY THE OPERATION OF THE THERMAL POWER PLANT NIKOLA TESLA  
AND OPEN PIT LIGNITE MINES, MB KOLUBARA, REPUBLIC OF SERBIA

DOI: 10.5937/RG2502153M

Стручни рад  
Expert paper

Светомир Максимовић<sup>1</sup>  
Жељко Праштало<sup>2</sup>  
Раде Шарац<sup>2</sup>

Svetomir Maksimović<sup>1</sup>  
Željko Praštalo<sup>2</sup>  
Rade Šarac<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Академија инжењерских наука Србије, Србија

<sup>1</sup>Academy of Engineering Sciences of Serbia

<sup>2</sup>Рударски институт д.о.о. Београд

<sup>2</sup>Mining institute Ltd. Belgrade

svetomir.maksimovic@gmail.com

svetomir.maksimovic@gmail.com

Примљен 29. 9. 2025; Рецензиран 23. 10. 2025; Прихваћен 23. 10. 2025.

Received 29 September 2025; Received in revised version 23 October 2025; Accepted 23 October 2025

**Сажетак:** *Проштеривање уља као стратегичке енергенције је изражено у многим европским државама. Није спорно да планирање енергетике мора уважити еколошке и економске циљеве. Владе и креатори политике морају енергетску одрживост уравнијено сироводити и дати могућност да се енергетска сигурност оствари у континуитету. То значи да се веза између енергије, животне средине и економије мора објективно ускладити. Међусекторска анализа је управо алат који уружа могућност таквог сагледавања.*

*У раду је само једним делом, применом међусекторске анализе, анализиран однос неких загађивача насталих у процесу производње у термоелектранама „Никола Тесла“ (ТЕНТ) и површинским коповима лигнита у РБ „Колубара“ и производних резултата у производном делу Јавног предузећа „Електропривереда Србије“.*

**Кључне речи:** МЕЂУСЕКТОРСКЕ АНАЛИЗЕ, ЗАГАЂЕНОСТ, ПОВРШИНСКИ КОПОВИ, ТЕРМОЕЛЕКТРАНЕ

**Abstract:** *The expulsion of coal as a strategic energy source is expressed in many European countries. It is indisputable that energy planning must take into account environmental and economic goals. Governments and policymakers must implement energy sustainability in a balanced manner and provide an opportunity for energy security to be achieved in continuity. This means that the relationship between energy, the environment and the economy must be objectively harmonized. Intersectoral analysis is precisely the tool that enables such perception.*

*The paper only analyzes in one part, by applying cross-sectoral analysis, the relationship between some pollutants generated in the production process of the Thermal Power Plants Nikola Tesla (TPPNT) and open-pit lignite mines at the Kolubara coal mine, and production results in the production part of the Public Enterprise «Electric Power Industry of Serbia».*

**Key words:** CROSS-SECTORAL ANALYSES, POLLUTION, OPEN-PIT MINING, THERMO-POWER PLANTS

## УВОД

Европска енергетска заједница је анализирила и установила да 16 термоелектрана на угаљ у земљама Западног Балкана загађује регион и Европу више него свих осталих 250 термоелектрана на угаљ у Европи [1]. Без обзира на тачност наведене компарације проблем је евидентан и има негативну еколошку димензију.

Ако се посматрају финални производи, угаљ и електрична енергија, анализа процеса загађивања је веома захтевна и сложена. Производња угља и електричне енергије проузрукује емисију штетних материја и то не само у њиховом производном делу, него и у претходним производним активностима. Многе „чисте“ привредне гране користећи електричну енергију и угаљ у процесу производње су индиректни загађивачи и то се даље преноси на више нивое.

Познато је да је производња електричне енергије у термоелектранама на лигнит у РС највећи појединачни загађивач. Ради се о старим термокапацитетима које сагоревају лигнит све мање топлотне моћи.

Укупна инсталисана снага ТЕНТ износи 3.346 MW и годишње се произведе око 28.484 GWh електричне енергије. Производња угља у РБ „Колубара“ одвија се на четири активна копа и износи у просеку 30 милиона тона годишње. За потребе ТЕНТ испоручује се 28,5 милиона тона, а за финалну потрошњу, укључујући и прераду угља 1,5 милиона тона.

Међусекторска анализа пружа могућност да се утврди на који начин компоненте финалне порошње утичу на укупну загађеност, који део укупних емисија иде на терет личне потрошње, извоза итд. и колико се загађеност избегава увозом електричне енергије и угља. За анализу процеса загађивања користе се коефицијенти загађивања. За анализу човекове животне средине Леонтијеф у међусекторску анализу укључује додатне индустријске гране које се баве заштитом животне средине („Antipollution – industries“). У овом раду су приказане методе међусекторске анализе процеса загађивања у производном делу ЈП „Електропривреда Србије“.

## INTRODUCTION

The European Energy Community has analyzed and established that 16 coal-fired power plants in the Western Balkan countries pollute the region and Europe more than all other 250 coal-fired power plants in Europe [1]. Regardless of the accuracy of the above comparison, the problem is evident and has a negative environmental dimension.

If we look at the final products, coal and electricity, the analysis of the pollution process is very demanding and complex. The production of coal and electricity causes the emission of harmful substances, not only in their production part, but also in previous production activities. Many “clean” industries using electricity and coal in the production process are indirect pollutants and this is further transmitted to higher levels.

It is known that the production of electricity in lignite-fired power plants in the Republic of Serbia is the largest single polluter. These are old thermal capacities burning lignite of decreasing thermal power.

The total installed capacity of TPPNT is 3,346 MW producing approximately 28,484 GWh of electricity annually. Coal production at the Kolubara coal mine takes place at four active mines with an average of 30 million tons per year. For the needs of TPPNT 28.5 million tons are delivered, and 1.5 million tons for final consumption, including coal processing.

Cross-sectoral analysis provides an opportunity to establish how the components of final consumption affect total pollution, what part of total emissions is borne by personal consumption, exports, etc., and how much pollution is avoided by importing electricity and coal. Pollution coefficients are used for analyzing pollution processes. For the analysis of the human environment, Leontief includes additional industrial branches that deal with environmental protection in the intersectoral analysis (“Antipollution – industries”). This paper presents methods for the intersectoral analysis of pollution processes in the production part of the PE “Electric Power Industry of Serbia”.

## ЛЕОНТИЕВА МАЋУСЕКТОРСКА АНАЛИЗА - ИНВЕРЗНА МАТРИЦА ТЕХНИЧКИХ КОЕФИЦИЈЕНАТА

Да би се успоставила анализа загађивања животне средине мора се поћи од методолошких основа модела међусекторске анализе, трансакционе улазно - излазне табеле и техничких коефицијената. За разлику од техничких коефицијената који показују директне потребе по јединици производње производног сектора (j) за потребе другог производног сектора (i), елементи инверзне матрице техничких коефицијената указују на начин распрострања укупних ефеката по целом производном систему који настају повећањем јединице екстерне реализације одређеног производног сектора.

Леонтиева анализа на примеру отвореног статичког инпут-оутпут модела има општи облик:

$$X = Ax + Y \quad (1)$$

Односно,

And,

$$(I - A)x = Y \quad (2)$$

где су:

Where:

- $x$  - вектор производње;
- $Y$  - вектор финалне потрошње;
- $X$  - јединична матрица;
- $A$  - матрица техничких коефицијената.

- $x$  - production vector;
- $Y$  - final consumption vector;
- $X$  - unit matrix;
- $A$  - technical coefficient matrix.

Даљим решавањем по  $x$ , једначина (2) добија следећи облик:

By further solving by  $x$ , equation (2) takes the following form:

$$x = (X - A)^{-1}Y \quad (3)$$

Овако изведена једначина изражава трошкове реализације одређеног производног сектора (j) у функцији од екстерних трошкова свих производних сектора. Елементи инверзне матрице  $(X - A)^{-1}$  показују за колико ће се повећати трошкови реализације j-тог производног сектора ако додатни екстерни трошкови i-тог производног сектора порасту за јединицу.

The equation thus derived expresses the costs of realization of a certain production sector (j) as a function of the external costs of all production sectors. The elements of the inverse matrix  $(X - A)^{-1}$  show by how much the costs of realization of the jth production sector will increase if the additional external costs of the ith production sector increase by one unit.

На основу података добијених из Извештаја о пословању ЈП „Електропривреда Србије“ за анализирану годину, урађена је основна

Based on the data obtained from the Business Report of the PE “Electric Power Industry of Serbia” for the analyzed year, the basic input -

улазно - излазна матрица производних сектора система РБ „Колубара“ и ТЕНТ и приказана је у табели 1.

output matrix of the production sectors of the MB “Kolubara” and TPPNT systems was prepared and is shown in Table 1.

## РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

## RESEARCH RESULTS

Треба имати у виду и следеће параметре:

The following parameters should also be taken into account:

- Средња вредност доње топлотне моћи угља износи 7.390 kJ/kg.
- Инвестициона улагања у копове и термоблокове немају утицаја на основну улазно - излазну матрицу.
- Са повећањем цене испоручене електричне енергије пропорционално расте и цена угља.

- The average value of the lower heating value of coal is 7,390 kJ/kg.
- Investments in mines and thermal blocks have no impact on the basic input-output matrix.
- With an increase in the price of supplied electricity, the price of coal increases proportionally.

Табела 1, Основна улазно - излазна табела производних сектора РБ „Колубаре“ и ТЕНТ приказана је у 10<sup>6</sup> РСД  
Table 1, The basic input-output table of the production sectors of MB «Kolubara» and TPPNT is shown in 10<sup>6</sup> RSD

Примаоци Users Даваоци Donors		Репродукциона потрошња / Reproduction consumption								УРП TRC	ФП FC	РС DF	
		Производња и прерада угља Coal production and processing					Производња електричне Енергије у ТЕ Electricity production in TPPs						
		К-1 К-1	К-2 К-2	К-3 К-3	К-4 К-4	КП КР	ТЕНТ-1 TPPNT-1	ТЕНТ-2 TPPNT-2	ТЕК TPPK				ТЕМ TPPM
К-1 К-1	ПШУ Coal prod & proc.	0	0	0	0	0	196	3.063	0	0	3.259	77	3.336
К-2 К-2		0	0	0	0	0	639	6.609	0	0	7.248	185	7.433
К-3 К-3		0	0	0	0	0	7.364	269	1.712	538	9.883	0	9.883
К-4 К-4		0	0	0	0	300	0	0	50	0	350	60	410
КП КР		0	0	0	0	4	0	0	52	3	59	3.000	3.059
ТЕНТ-1 TPPNT-1	ПЕТЕ El.cons.inTPPs	36	117	0	0	0	925	0	0	0	1.078	17.506	18.584
ТЕНТ-2 TPPNT-2		35	115	0	0	0	0	516	0	0	666	16.700	17.366
ТЕК TPPK		0	0	574	42	118	0	0	129	0	863	3.737	4.600
ТЕМ TPPM		0	0	0	0	0	0	0	0	30	30	1.170	1.200
Укупно Total		71	232	574	42	422	9.124	10.457	1.943	571	23.436	42.435	65.871
Производња Production		3.265	7.201	9.309	368	2.637	9.460	6.909	2.657	629	42.435		
РСР AF		3.336	7.433	9.883	410	3.059	18.584	17.366	4.600	1.200	65.871		

ППУ - Производња и прерада угља у РБ Колубара CPP - Coal production and processing at MB	РС - Расподељена средства DF - Distributed funds
ПЕЕТЕ - Производња електричне енергије у термоелектранама (ТЕНТ) PEETE - Electricity production in TPPs (TPPNT)	РСР - Расположива средства AF - Available funds
УРП - Укупна репродукциона потрошња TRC - Total reproduction consumption	ПК - Површински коп OPM - Open pit mine
ФП - Финална потрошња FC - Final consumption	ТЕНТ - Термоелектрана „Никола Тесла“ TPPNT - Thermal Power Plant „Nikola Tesla“

У моделу смо издвојили следеће вредности:

In the model, we have extracted the following values:

а) Техничке коефицијенте (нормативи производње)

a) Technical coefficients (production standards)

$$A_{[aij]} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,01055 & 0,17638 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,034384 & 0,380571 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,396255 & 0,01549 & 0,372174 & 0,448333 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,098071 & 0 & 0 & 0,01087 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,001308 & 0 & 0 & 0,011304 & 0,00250 \\ 0,010791 & 0,015740 & 0 & 0 & 0 & 0,049774 & 0 & 0 & 0 \\ 0,010492 & 0,015471 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,029713 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,05808 & 0,10244 & 0,038575 & 0 & 0 & 0,02804 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,02500 \end{vmatrix}$$

$$(I - A)^{-1} = \begin{vmatrix} 1.002 & 0.003 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.011 & 0.183 & 0.000 & 0.000 \\ 0.005 & 1.007 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.036 & 0.396 & 0.000 & 0.000 \\ 0.005 & 0.007 & 1.023 & 0.040 & 0.019 & 0.427 & 0.020 & 0.392 & 0.470 \\ 0.000 & 0.000 & 0.001 & 1.001 & 0.099 & 0.000 & 0.000 & 0.013 & 0.001 \\ 0.000 & 0.000 & 0.001 & 0.001 & 1.002 & 0.000 & 0.000 & 0.012 & 0.003 \\ 0.011 & 0.017 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.053 & 0.009 & 0.000 & 0.000 \\ 0.011 & 0.016 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.001 & 1.039 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.061 & 0.108 & 0.051 & 0.026 & 0.001 & 1.054 & 0.028 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 1.026 \end{vmatrix}$$

Елементи инверзне матрице  $(I - A)^{-1}$  показују да повећање финалне потрошње  $Y_1$  за јединицу узрокује повећање производње угља на К-1 ( $x_1$ ) од 1,002 јединица, повећање производње угља на К-2 ( $x_2$ ) од 0,005 јединица, повећање производње угља на К-3 ( $x_3$ ) од 0,005 јединица, повећање производње електричне енергије у ТЕНТ-1 ( $x_6$ ) од 0,011 јединица и ТЕНТ-2 ( $x_7$ ) од 0,011 јединица. Истим поступком се утврђује финална потрошња електричне енергије у ТЕНТ-1 ( $y_6$ ) за јединицу, повећањем производње електричне енергије ( $x_6$ ) од 1,053 јединица, повећањем производње угља на К-1 ( $x_1$ ) од

The elements of the inverse matrix  $(I - A)^{-1}$  show that an increase in final consumption  $Y_1$  per unit causes an increase in coal production at K-1 ( $x_1$ ) of 1 TPPNT.002 units, an increase in coal production at K-2 ( $x_2$ ) of 0.005 units, an increase in coal production at K-3 ( $x_3$ ) of 0.005 units, an increase in electricity production at TPPNT-1 ( $x_6$ ) of 0.011 units and TENT-2 ( $x_7$ ) of 0.011 units. The same procedure determines the final electricity consumption in TPPNT -1 ( $y_6$ ) per unit, by increasing electricity production ( $x_6$ ) by 1.053 units, increasing coal production at K-1 ( $x_1$ ) by 0.011 units, K-2 ( $x_2$ ) by 0.036 units, K-3 ( $x_3$ ) by 0.427 units, increasing

0,011 јединица, К-2 ( $x_2$ ) од 0,036 јединица, К-3 ( $x_3$ ) од 0,427 јединица, повећање производње електричне енергије у ТЕНТ-2 ( $x_7$ ) од 0,001 јединица и ТЕК ( $x_8$ ) од 0,026 јединица.

Слично техничким коефицијентима  $a_{ij}$ , коефицијенти загађења  $z_j^k$  дефинисани су на основу претпоставке линеарне зависности између обима производње производног сектора  $j$ , с једне стране, и количине емитоване штетне материје  $k$  у сектору  $j$  с друге стране [1]:

$$e_j^k = z_j^k x_j \quad (4)$$

$$z_j^k = e_j^k / x_j \quad (5)$$

где су:

- $e_j^k$  - Укупне емисије штетне материје  $k$  у производном сектору  $j$ ;
- $x_j$  - Обим производње  $j$ -тог сектора;
- $z_j^k$  - Коефицијент загађења  $j$ -тог сектора (представља специфичну емисију штетне материје  $k$  по јединици производа производног сектора  $j$ ).

Матрица емисије  $E$  добија следећи облик:

$$E = \begin{bmatrix} e_1^1 & e_2^1 & e_3^1 & \dots & e_n^1 \\ e_1^2 & e_2^2 & e_3^2 & \dots & e_n^2 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ e_1^r & e_2^r & e_3^r & \dots & e_n^r \end{bmatrix} \quad (6)$$

Применом релације (5) и матрице (6) добија се матрица загађења  $z$ :

$$z = \begin{bmatrix} z_1^1 & z_2^1 & z_3^1 & \dots & z_n^1 \\ z_1^2 & z_2^2 & z_3^2 & \dots & z_n^2 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ z_1^r & z_2^r & z_3^r & \dots & z_n^r \end{bmatrix} \quad (7)$$

Матрица емисије исказана преко  $z$  има следећу релацију:

$$E = z * D(x) \quad (8)$$

And,

$$z = E * [D(x)]^{-1} \quad (9)$$

Где је  $D(x)$  дијагонална матрица вектора  $x$ , а  $[D(x)]^{-1}$  њена инверзна матрица.

electricity production in TENT-2 ( $x_7$ ) by 0.001 units and TEK ( $x_8$ ) by 0.026 units.

Similar to the technical coefficients  $a_{ij}$ , the pollution coefficients  $z_j^k$  are defined based on the assumption of a linear dependence between the volume of production of the production sector  $j$ , on the one hand, and the amount of emitted harmful substance  $k$  in sector  $j$  on the other hand [1]:

where:

- $e_j^k$  - Total emissions of harmful substance  $k$  in production sector  $j$ ;
- $x_j$  - Production volume of the  $j$ th sector;
- $z_j^k$  - Pollution coefficient of the  $j$ th sector (represents the specific emission of harmful substance  $k$  per unit of product of the production sector  $j$ ).

The emission matrix  $E$  takes the following form:

By applying relation (5) and matrix (6), the pollution matrix  $z$  is obtained:

The emission matrix expressed in terms of  $z$  has the following relation:

Where  $D(x)$  is the diagonal matrix of the vector  $x$ , and  $[D(x)]^{-1}$  is its inverse matrix.

На основу прегледа документације Јавног предузећа „Електропривреда Србије“, друге расположиве документације и рачунски изведених вредности, формирана је табела емисије штетних материја (табела 2).

Based on a review of the documentation of the Public Enterprise “Electric Power Industry of Serbia”, other available documentation and calculated values, a table of emissions of harmful substances was formed (Table 2).

Табела 2, Емитиране количине штетних материја у производним секторима  
 Table 2, Emissions of harmful substances in production sectors

Врста емисија Type of emissions		Емитиране количине (t/год.) / Emissions (t/year)								
		Производња и прерада угља Coal production and processing					Производња електричне енергије у термоелектранама Electricity production in thermal power plants			
		К-1 K-1	К-2 K-2	К-3 K-3	К-4 K-4	КП KP	ТЕНТ-1 TPPNT-1	ТЕНТ-2 TPPNT-2	ТЕК TPPK	ТЕМ TPPM
Е	CO <sub>2</sub>	15.000	20.000	30.000	5.000	21.500	9.750.000	9.600.000	2.500.000	750.000
	SO <sub>2</sub>	7.121	9.943	12.317	211	794	88.000	89.000	15.000	5.000
	NO <sub>x</sub>	2.857	3.653	4.897	98	361	16.900	16.700	4.500	1.640

Применом релације (9) добијене су следеће вредности:

Applying relation (9) the following values were obtained:

$$z = \begin{bmatrix} 4,4964 & 2,6906 & 3,0354 & 12,1951 & 7,0283 & 524,6475 & 552,7680 & 543,4750 & 624,9975 \\ 2,1346 & 1,3376 & 1,2462 & 0,5146 & 0,2595 & 4,7353 & 5,1246 & 3,2608 & 4,1666 \\ 0,8564 & 0,4914 & 0,4955 & 0,2390 & 0,1180 & 0,9094 & 0,9616 & 0,9782 & 1,3667 \end{bmatrix}$$

Из матрице  $z$  (7) преузет је само један ред коефицијената загађивања (у овом случају загађивач је сумпор-диоксид SO<sub>2</sub>):

From the matrix  $z$  (7) only one row of pollution coefficients is taken (in this case the pollutant is sulfur dioxide SO<sub>2</sub>):

$$z = [2,1346 \ 1,3376 \ 1,2462 \ 0,5146 \ 0,2595 \ 4,7363 \ 5,1246 \ 3,2608 \ 4,1666] \quad (10)$$

За међусекторску анализу процеса загађивања, вектор  $z$  из релације (10) се доводи у облик дијагоналне матрице  $D(z)$ . Међусобна емисиона повезаност производних сектора добија се мултиплицирањем једначине (3) с леве стране са матрицом  $D(z)$  [1].

For the cross-sector analysis of the pollution process, the vector  $z$  from relation (10) is brought into the form of a diagonal matrix  $D(z)$ . The mutual emission connection of the production sectors is obtained by multiplying equation (3) on the left side with the matrix  $D(z)$  [1].

$$D(z) * x = D(z) * (I - A)^{-1} * y \quad (11)$$

Множењем матрице  $D(z)$  и матричног мултипликатора  $(I - A)^{-1}$  добијамо „матрични мултипликатор емисије“, у овом случају за штетну емисију SO<sub>2</sub>.

By multiplying the matrix  $D(z)$  and the matrix multiplier  $(I - A)^{-1}$ , we obtain the “matrix emission multiplier”, in this case for the six-phase emission of SO<sub>2</sub>.

Са  $v$  ћемо означити матрични производ  $D(z) * (I - A)^{-1}$ . За штетну материју SO<sub>2</sub> матрични мултипликатор емисије има следећи облик:

We will denote the matrix product  $D(z) * (I - A)^{-1}$  by  $v$ . For the harmful substance SO<sub>2</sub>, the matrix emission multiplier has the following form:

$$v = \begin{pmatrix} 2,1389 & 0,0064 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0235 & 0,3906 & 0,0000 & 0,0000 \\ 0,0067 & 1,3470 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0496 & 0,5455 & 0,0000 & 0,0000 \\ 0,0062 & 0,0087 & 1,2749 & 0,0498 & 0,0237 & 0,5321 & 0,0249 & 0,4885 & 0,5857 \\ 0,0000 & 0,0000 & 0,0005 & 0,5151 & 0,0509 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0067 & 0,0005 \\ 0,0000 & 0,0000 & 0,0002 & 0,0002 & 0,2600 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0031 & 0,0008 \\ 0,0521 & 0,0805 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 4,9863 & 0,0426 & 0,0000 & 0,0000 \\ 0,0564 & 0,0820 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0051 & 5,3244 & 0,0000 & 0,0000 \\ 0,0000 & 0,0000 & 0,1989 & 0,0282 & 0,1663 & 0,0848 & 0,0033 & 3,4369 & 0,0913 \\ 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 4,2749 \end{pmatrix} \quad (12)$$

Из матрице  $v$  може се закључити да је сваки финални производ (произведени угаљ за ши-року потрошњу) на К-1 оптерећен укупном емисијом и то: директном емисијом К-1 у висини од 2,1389 јединица и индиректним емисијама од 0,0067 јединица са К-3, 0,0521 јединице из ТЕНТ-1 и 0,0564 из ТЕНТ-2.

$$\sum z_i \cdot a'_3 = 2,1389 + 0,0067 + 0,0521 + 0,0564 = 2,2541 \quad (13)$$

Сходно претходном примеру може се на исти начин утврдити да је финални производ (електрична енергија) у ТЕ оптерећен укупном емисијама:

$$\sum z_i \cdot a'_6 = 4,9863 + 0,0496 + 0,5321 + 0,0051 + 0,0848 = 5,6579 \quad (14)$$

тј. директном емисијом ТЕНТ-1 у висини 4,9863 јединица и индиректним емисијама од К-1 у висини 0,0235 јединица, ПК-2 у вредности 0,0496 јединица, К-3 у вредности 0,5321 јединица, ТЕНТ-2 у вредности 0,0051 јединица и ТЕК у вредности 0,0848 јединица.

Увођењем вектора  $Y$  у једначину (13) добијамо укупну емисију  $SO_2$  (Табела 3).

From the matrix  $v$  it can be concluded that each final product (produced coal for general consumption) at K-1 is loaded with total emissions, namely: direct emissions K-1 in the amount of 2.1389 units and indirect emissions of 0.0067 units from K-3, 0.0521 units from TPPNT-1 and 0.0564 from TPPNT-2.

According to the previous example, it can be determined in the same way that the final product (electricity) in TE is loaded with total emissions:

i.e. direct emission of TЕНТ-1 in the amount of 4.9863 units and indirect emissions from K-1 in the amount of 0.0235 units, OPM-2 in the amount of 0.0496 units, K-3 in the amount of 0.5321 units, TPPNT-2 in the amount of 0.0051 units and TPPK in the amount of 0.0848 units.

By introducing the vector  $Y$  into equation (13) we obtain the total emission of  $SO_2$  (Table 3).

Табела 3, Производ „матричног мултипликатора емисије“ и финалне потрошње, емисија настала због  $SO_2$   
 Table 3, Product of the «emission matrix multiplier» and final consumption, emission caused by  $SO_2$

	Емисија настала због $SO_2$ / $SO_2$ Emissions									Укупно Total
	К-1 К-1	К-2 К-2	К-3 К-3	К-4 К-4	КП КР	ТЕНТ-1 ТППНТ-1	ТЕНТ-2 ТППНТ-2	ТЕК ТППК	ТЕМ ТППМ	
К-1 К-1	164,70	1,18	0,00	0,00	0,00	411,39	6.543,73	0,00	0,00	7.121,00
К-2 К-2	0,52	249,20	0,00	0,00	0,00	868,30	8.824,98	0,00	0,00	9.943,00
К-3 К-3	0,48	1,61	0,00	3,00	71,10	9.314,19	415,83	1.825,52	685,27	12.317,00
К-4 К-4	0,00	0,00	0,00	30,91	154,46	0,00	0,00	25,04	0,59	211,00

	Емисија настала због SO <sub>2</sub> / SO <sub>2</sub> Emissions									Укупно Total
	К-1 К-1	К-2 К-2	К-3 К-3	К-4 К-4	КП КР	ТЕНТ-1 ТППНТ-1	ТЕНТ-2 ТППНТ-2	ТЕК ТППК	ТЕМ ТППМ	
КП КР	0,00	0,00	0,00	0,01	781,47	0,00	0,00	11,58	0,94	794,00
ТЕНТ-1 ТППНТ-1	4,01	14,90	0,00	0,00	0,00	87.269,67	711,42	0,00	0,00	88.000,00
ТЕНТ-2 ТППНТ-2	4,34	15,17	0,00	0,00	0,00	89,28	88.891,21	0,00	0,00	89.000,00
ТЕК ТППК	0,00	0,00	0,00	1,69	498,90	1.484,51	55,10	12.853,00	106,80	15.000,00
ТЕМ ТППМ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5.000,00	5.000,00
Укупно Total	174,05	282,06	0,00	35,61	1.505,93	99.437,34	105.442,27	14.715,14	5.793,60	227.386,00

Укупна емисија SO<sub>2</sub> износи 227.386 јединица, од тога у К-1 7.121 јединица, К-2 9.943 јединица, К-3 12.317 јединица итд. Емисионих 164,7 јединица у К-1 настало је због 411,4 јединица у ТЕНТ-1 и 6.543,7 јединица у ТЕНТ-2. То значи да је финална продаја угља у К-1 проузроковала 164,7 јединица директних и 0,52, 0,48, 4,01 и 4,34 јединица индиректних емисија SO<sub>2</sub> односно 174,05 укупних емисионих јединица. С друге стране, финална продаја струје у ТЕНТ-1 проузроковала је 87.269,67 јединица директних, а 411,39; 868,30; 9.314,19; 89,28 и 1.484,51 јединица индиректних емисија SO<sub>2</sub> тј. укупно 99.437,34 емисионих јединица.

Претходно урађена анализа за SO<sub>2</sub> примењена је и при анализи штетних материја CO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub> и добијене су следеће емисије (табеле 4 и 5).

Total SO<sub>2</sub> emissions are 227,386 units, of which 7,121 units in Q-1, 9,943 units in Q-2, 12,317 units in Q-3, etc. The 164.7 emission units in Q-1 were due to 411.4 units in TPPNT -1 and 6,543.7 units in TPPNT-2. This means that the final sale of coal in Q-1 caused 164.7 units of direct and 0.52, 0.48, 4.01 and 4.34 units of indirect SO<sub>2</sub> emissions, or 174.05 total emission units. On the other hand, the final sale of electricity in TPPNT -1 caused 87,269.67 units of direct, and 411.39; 868.30; 9,314.19; 89.28 and 1,484.51 units of indirect SO<sub>2</sub> emissions, i.e. a total of 99,437.34 emission units.

The previously performed analysis for SO<sub>2</sub> was also applied to the analysis of harmful substances CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> and the following emissions were obtained (Tables 4 and 5).

Табела 4, Производ „матричног мултипликатора емисије“ и финалне потрошње, Емисија настала због CO<sub>2</sub>  
 Table 4, Product of the «emission matrix multiplier» and final consumption, Emissions due to CO<sub>2</sub>

	Емисије настале због CO <sub>2</sub> / CO <sub>2</sub> Emissions									Укупно Total
	К-1 К-1	К-2 К-2	К-3 К-3	К-4 К-4	КР КР	ТЕНТ-1 ТППНТ-1	ТЕНТ-2 ТППНТ-2	ТЕК ТППК	ТЕМ ТППМ	
К-1 К-1	34,92	2,50	0	0	0	866,55	13.740,76	0	0	14.956,73
К-2 К-2	1,03	501,24	0	0	0	1.696,33	17.793,85	0	0	19.992,45
К-3 К-3	1,17	3,92	0	7,28	173,10	22.689,53	1.013,69	4.446,66	1.669,12	30.004,47
К-4 К-4	0	0	0	732,44	3.621,90	0	0	592,31	14,27	4.960,92
КР КР	0	0	0	0,42	21.126,90	0	0	315,03	24,69	21.467,04
ТЕНТ-1 ТППНТ-1	444,37	1.650,01	0	0	0	9.671.256,22	78.854,06	0	0	9.752.204,66

	Емисије настале због CO <sub>2</sub> / CO <sub>2</sub> Emissions									Укупно Total
	К-1 К-1	К-2 К-2	К-3 К-3	К-4 К-4	КР КР	ТЕНТ-1 ТППНТ-1	ТЕНТ-2 ТППНТ-2	ТЕК ТППК	ТЕМ ТППМ	
ТЕНТ-2 ТППНТ-1	468,19	1.636,20	0	0	0	9.677,32	9.591.242,53	0	0	9.603.024,24
ТЕК ТППК	0	0	0	3.521,72	83.151,60	247.365,03	9.076,45	2.140.638,06	17.804,24	2.501.557,10
ТЕМ ТППМ	0	0	0	0	0	0	0	0	750.259,46	750.259,46
Укупно Total	1.261,68	3.793,87	0	4.261,86	108.073,50	9.953.550,98	9.711.721,34	2.145.992,06	769.771,78	22.698.427,07

Табела 5, Производ „матричне мултипликатора емисије“ и финалне потрошње, Емисија настала због NO<sub>x</sub>  
Table 5, Product of the «emission matrix multiplier» and final consumption, Emissions due to NO<sub>x</sub>

	Емисије настале због NO <sub>x</sub> / NO <sub>x</sub> Emissions									Укупно Total
	К-1 К-1	К-2 К-2	К-3 К-3	К-4 К-4	КР К-Р	ТЕНТ-1 ТППНТ-1	ТЕНТ-2 ТППНТ-1	ТЕК ТППК	ТЕМ ТППМ	
К-1 К-1	66,07	0,48	0,00	0,00	0,00	164,56	2.616,89	0,00	0,00	2.848.00
К-2 К-2	0,18	91,54	0,00	0,00	0,00	309,86	3.249,82	0,00	0,00	3.651.40
К-3 К-3	0,19	0,65	0,00	1,19	28,20	3.704,30	165,33	725,73	272,49	4.898.08
К-4 К-4	0,00	0,00	0,00	14,35	71,10	0,00	0,00	11,58	0,23	97,26
КР КР	0,00	0,00	0,00	0,01	354,60	0,00	0,00	5,23	0,35	360,19
ТЕНТ-1 ТППНТ-1	0,77	2,85	0,00	0,00	0,00	16.762,75	136,94	0,00	0,00	16.903,31
ТЕНТ-2 ТППНТ-2	0,82	2,85	0,00	0,00	0,00	17,51	16.684,97	0,00	0,00	16.706,15
ТЕК ТППК	0,00	0,00	0,00	6,34	149,70	444,65	16,70	3.852,85	32,06	4.502,30
ТЕМ ТППМ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.640,57	1.640,57
Укупно Total	68,03	98,37	0,00	21,89	603,60	21.403,63	22.870,65	4.595,39	1.945,70	51.607,26

Укупне емисије SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub> се односе на сагоревање лигнита у термоблоквима, а у мањој мери за функционисање механизације на коповима, самоупале унутар копа и на рудничкој депонији. Како се ради о емисијама штетних гасова које су више пута веће од емисија у термоелектранама на угаљ у Европи, менаџери ЕПС морају сагледати све механизме њиховог смањења. У току су радови на решавању проблема одсумпоравања гасова у термоблоквима ТЕНТ, а рудничка технологија откопавања и третирања угља треба свести на оптимални ниво. Примена међусекторске анализе на годишњем нивоу може указати

Total SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions relate to the combustion of lignite in thermal blocks, and to a lesser extent to the functioning of the mine machinery, self-ignition within the mine and at the mine dump. Since these are emissions of harmful gases that are several times higher than emissions from coal-fired thermal power plants in Europe, EPS's managers must consider all mechanisms for their reduction. Work is underway to solve the problem of gas desulphurization in TPPNT thermal blocks, and mining technology for mining and coal treatment should be reduced to an optimal level. The application of cross-sectoral analysis on an annual basis can indicate the effec-

на ефикасност свих уведених мера појединачно за сваки производни сектор и укупно стање у ЕПС.

## ЗАКЉУЧАК

Познавање укупног оптерећења финалних производа емисијама штетних материја значајно је за спровођење заштите животне средине у економској политици не само Јавног предузећа „Електропривреда Србије“ већ и Републике Србије. Технолошке поступке на површинским коповима и термоелектранама на угаљ могуће је ефикасно анализирати применом међусекторске анализе. Приказани рад је конкретан приступ анализе процеса загађивања животне средине у производном сектору „Електропривреде Србије“ и може послужити менаџерима ЕПС у праћењу и дефинисању приоритета у ефикасном смањењу процеса загађивања штетним материјама.

## ЛИТЕРАТУРА / LITERATURE

- [1] RERI Renewables and Environmental Regulatory Institute, Na Zapadnom Balkanu živimo u otrovnom oblaku, april 2022.
- [2] Гереке З., Чупић М.: Међусекторска анализа процеса загађивања човекове животне средине, СИМ-ОП-ИС, Херцег Нови, 1978.
- [3] Вујич С., Максимович С., Радосављевић М., Крунич Д.: Межотраслево моделирање и горнодобивајућа промишленност, Журнал Физико-техническе проблеме развојке полезних ископаемих, No 5, 2018, 78-87, УДК 622:338, DOI:10.15372/ФТ-ПРПИ20180508.
- [4] Maksimović S., Milinović Z., Miljanović I., Boševski S., Hudej M., Benović T.: Application of input-output analysis in corporate enterprises of epis thermal power sector, 3rd Bal-

ken Mining Congress, 01-03.10.2009., Izmir, Turkey, 2009, pp. 491-498, ISBN: 978-9944-89-782-2.

## CONCLUSION

Knowing the total load of final products with emissions of harmful substances is important for the implementation of environmental protection in the economic policy not only of the Public Enterprise “Electric Power Industry of Serbia” but also of the Republic of Serbia. Technological processes in open-pit mines and coal-fired thermal power plants can be effectively analyzed by applying cross-sector analysis. The presented work is a concrete approach to the analysis of the environmental pollution process in the production sector of the «Electric Power Industry of Serbia» and can serve EPS’s managers in monitoring and defining priorities in effectively reducing the process of pollution with harmful substances.

- [5] Maksimović S., Polavder S., Partial model of production increase depending on the selected final consumption component, 7th Balkan Mining Congress, Prijedor, 2017, 177-182, ISBN 978-99955-681-7-7 (Faculty of Mining), COBOSS.RS-ID 6803736.
- [6] Fazal R., Aziz Ur Rehman S., Ishaq Bhatti M., Ur Rehman A., Arooj F., Hayat U., A Cross-Sectoral Investigation of the Energy-Environment-Economy Causal Nexus in Pakistan: Policy Suggestions for Improved Energy Management.
- [7] Документација Јавног предузећа Електропривреда Србије.





РУДАРСКА ЧЕТА НА ЧЕЛУ ОТПОРА ФАШИЗМУ  
У ДРУГОМ СВЕТСКОМ РАТУ

THE MINING COMPANY AT THE FOREFRONT OF THE  
RESISTANCE TO FASCISM IN THE SECOND WORLD WAR

DOI: 10.5937/RG2502165M

Приказ  
Expert Review

Бранко Миладиновић  
Геолошки завод Србије  
branko.miladinovic@gzs.gov.rs

Branko Miladinović  
Geological survey of Serbia  
branko.miladinovic@gzs.gov.rs

„Много времена нас дели од тих славних и незаборавних дана и догађаја у  
чијој сенци људи никада не смеју да живе, али које никада не смеју ни да забораве.“

Еуген Лебарић, учесник рата и бивши генерал ЈНА

“A lot of time separates us from those glorious and unforgettable days and events,  
in whose shadow people must never live, but which they must also never forget.”

Eugen Lebarić, war participant and former JNA general

Примљен 3. 9. 2025; Рецензиран 17. 10. 2025; Прихваћен 21. 10. 2025.

Received 3 September 2025; Received in revised version 17 October 2025; Accepted 21 October 2025

**Сажетак:** Девећој маја 2025. године, навршило се тачно осамдесет година од победе над фашизмом и капитулације нацистичке Немачке у Другом светском рату (1945-2025). Овај важан датум који има посебан историјски значај за руски народ и мирољубиви свет у целини, обележен је свечаном војном парадом у Москви.

Радам се преноси колективно сећање и емпатија према једној одважној и храброј генерацији рудара Трепча, Белој брда и Ибарских рудника, који су у јулу 1941. године оставили рударски алат и са пушком у руци се прикључили покрету отпора фашизму, борби против окупатора и безобзирној експлоатацији њихове радне снаге.

Од прве искре експлозије на жичари рудника Трепча, рудари Рударске четине су прошли све рајне страве Прве пролетерске бригаде од 1941. до 1945. године и својом крвљу дубоко нашојили бојишта на путу ка својој слободи.

Зато наша сећања на херојска дела ових рудара, морају бити вечна као што је и њихова слава вечна.

**Кључне речи:** РУДАРИ, РУДАРСКА ЧЕТА, ФАШИЗАМ, ПОКРЕТ ОТПОРА, ДИВЕРЗАНТИ ТРЕПЧЕ

**Abstract:** On May 9<sup>th</sup>, 2025, exactly eighty years had passed since the victory over fascism and the capitulation of Nazi Germany in the World War II (1945–2025). This important date, which holds special historical significance for the Russian and the peace-loving people as a whole, was marked by a solemn military parade in Moscow.

This paper conveys the collective memory and empathy toward a courageous and brave generation of miners from Treпча, Belo Brdo, and the Ibar mines, who in July 1941 laid down their mining tools and, with rifles in hand, joined the resistance movement against fascism, the struggle against the occupier, and the ruthless exploitation of labor power.

*From the first spark of the explosion on the Trepča mine cableway, the miners of the Miners' Company endured all the wartime horrors of the First Proletarian Brigade from 1941 to 1945 and soaked the battlefields with their blood on the road to sacred freedom.*

*Therefore, our memory of the heroic deeds of these miners must be eternal, just as their glory is eternal.*

**Key words:** MINERS, MINERS' COMPANY, FASCISM, RESISTANCE MOVEMENT, TREPČA SABOTEURS

## УВОД

Девог маја 2025. године, војном парадом у Москви, обележена је осамдесетогодишњица победе над фашизмом и капитулације нацистичке Немачке у Другом светском рату.

Овим радом, тежња је била да се освеже сећања на херојске дане рудара Трeпче, Белог брда и Ибарских рудника који су се 1941. године под завиореним рударским барјаком, прикључили покрету отпора фашистичкој окупацији Србије и тадашње Југославије.

Током ратних дана, у редовима Прве пролетерске бригаде, реч „рудар” је имала специфично значење. Неуништиви дух и одлучност рудара, спремни да учине и поднесу много више него што услови у датом тренутку пружају, дизала је морал и давала наду пролетеријама. Поносни стеченом традицијом чете, било је нечег посебног код рудара, а то је способност да увек у борби и на делу покажу да су достојни имена рудара. „Та традиција коју су рудари носили, снага којом су овладавали сваким ко год је улазио у редове бораца њихове чете – то је нешто најлепше и најупечатљивије чега се сећам ...” ратни ветеран Б. Богавац [2]

## ПРЕДРАТНИ РАЗВОЈ РУДНИКА ТРЕПЧА И ШТРАЈК РУДАРА

Значајнији развој рудника Трeпча, почиње од 1926. године, односно од времена када је концесија Трeпча прешла у власништву удружења које су чинили 20 енглеских капиталиста и један американац (*Selection Trust Ltd* из Лондона) [1]. Продаја концесије је била дело махинације и преваре Енглеза уз помоћ домаћих манипуланата рудним богатством Србије. Енглеска компанија је купила концесију од Рада Пашића, сина председника Владе Николе Пашића [5].

## INTRODUCTION

On May 9, 2025, the eightieth anniversary of the victory over fascism and the capitulation of Nazi Germany in the Second World War was marked with a military parade in Moscow.

This paper aims to revive the memory of the heroic days of the miners of Trepča, Belo Brdo, and the Ibar mines who, in 1941, under the raised miners' flag, joined the resistance movement against the fascist occupation of Serbia and the former Yugoslavia.

During the war, within the ranks of the First Proletarian Brigade, the word “miner” carried a special meaning. The indomitable spirit and determination of the miners – ready to do and endure far more than circumstances allowed – lifted morale and inspired hope among the proletarians. Proud of the tradition upheld by their company, the miners possessed something unique: the ability to prove in combat, time and again, that they were worthy of the miners' name. “That tradition carried by the miners, the strength with which they influenced anyone who entered the ranks of their company's fighters – that is the most beautiful and striking thing I remember...” war veteran B. Bogovac [2].

## PRE-WAR DEVELOPMENT OF THE TREPČA MINE AND THE MINERS' STRIKE

The significant development of the Trepča mine began in 1926, when the Trepča concession passed into the ownership of a group of 20 English capitalists and one American (*Selection Trust Ltd* of London) [1]. The sale of the concession was an act of manipulation and fraud by the English, aided by domestic exploiters of Serbia's mineral wealth. The English company bought the concession from Rade Pašić, son of Prime Minister Nikola Pašić [5].

Енглези су одмах организовали истражи-вања и рударске припреме, а када је потврђе-на огромна геолошка потенцијалност ле-жишта Стари трг (рејон села Миљеница и на Трепчанском брду), основана је у децембру 1927. године компанија *Trepča Mines Ltd* са седиштем у Лондону и дирекцијом у Звечану. Исте године је основан и *Kopaonik Mines Ltd*, огранак енглеске компаније *Selection Trust Ltd*, са циљем експлоатације оловно-цинкане руде из лежишта Бело брдо на Копеонику [1].

Свечаност поводом отварања рудника Трепча је одржана 10. октобра 1930. године.

Захваљујући богатој руди и повољним усло-вима експлоатације, Енглези су производњу из годину у годину нагло увећавали. У вези такве динамике производње С.Вујић [5] на-води: „Стари трг је за кратко време постао највећи рудник олова и цинка у Европи. То није престижно већ школски пример раубо-вања лежишта и пљачке”.

Само у периоду 1939-1940. године, откопано је готово 700.000 тона руде и тада произве-дено 74.000 тона оловног концентрата, 14.000 тона рафинираног олова и 44.000 тона кон-центрата цинка. До почетка Другог светског рата 1941. године, у руднику Трепча је произ-ведено укупно 5.972.909 тона оловно-цинка-не руде одличног квалитета [1].

Како се развијао рудник и увећавао капитал енглеским концесионарима, тако су услови рада у руднику били све неподношљивији. Тешки услови рада у рударским јамама где су рудари удисали оловну прашину, са скромним дневницама, нередовним примањима и дру-гим невољама, чиниле су стварност тадашњег рударског живота у Трепчи. Живели су тешко, често испод људског достојанства. У потрази за послом, многи досељеници из различитих крајева ондашње Југославије, прихватили су сурове услове живота под крововима рудар-ских уцерица и полусрушених дрвених барака Трепче. Поједини су преноћишта налазили у околним пећинама и у напуштеним влажним просторијама рударских јама [1].

Немилосрдно искоришћавање радне снаге, уједињавало је вољу и напоре рудара да се

The English immediately organized explora-tions and mining preparations, and once the enormous geological potential of the Stari Trg deposit (in the area of the village Miljenica and on the Trepča hill) was confirmed, in December 1927 the company *Trepča Mines Ltd* was established with headquarters in London and a directorate in Zvečan. That same year, *Kopaonik Mines Ltd*, a branch of the English company *Selection Trust Ltd*, was also founded with the aim of exploiting the lead-zinc ore from the Belo Brdo deposit on Kopaonik [1].

The ceremony marking the opening of the Trepča mine was held on October 10<sup>th</sup>, 1930.

Thanks to the rich ore and favorable exploita-tion conditions, the English rapidly increased production year after year. Regarding this pace of production, S. Vujić [5] notes: “Stari Trg quickly became the largest lead and zinc mine in Europe. This was not prestige, but a textbook example of plundering the deposit and looting.”

In the period 1939–1940 alone, almost 700,000 tons of ore were mined, producing 74,000 tons of lead concentrate, 14,000 tons of refined lead, and 44,000 tons of zinc concentrate. By the beginning of the World War II in 1941, Trepča had produced a total of 5,972,909 tons of high-quality lead-zinc ore [1].

As the mine expanded and the English con-cessionaires grew wealthier, the working conditions in the mine became increasingly unbearable. Harsh conditions in the mining shafts, where miners inhaled lead dust, com-bined with meager wages, irregular pay, and other hardships, defined the miners’ lives in Trepča. They lived in misery, often below human dignity. In search of work, many mi-grants from different parts of then-Yugosla-via accepted the harsh living conditions in makeshift shacks and half-collapsed wooden barracks. Some even found shelter in nearby caves or in abandoned, damp mine cham-bers [1].

The ruthless exploitation of labor united the will and efforts of the miners to oppose the

кроз раднички покрет супротставе управи рудника и на тај начин изборе за бољи и хуманији живот.

По одбијању управе рудника да прихвати захтеве рудара за рад од 8 часова, у погону Први Тунел је дошло до обуставе рада 14. маја 1936. године. Рудари у Старом тргу су се прикључили штрајку, тако да је у протесту било 1.763 рудара [1]. Штрајкачки одбор је након тога објавио 10 захтева рудара. Поред поштовања радног времена, рудари су тражили и побољшање хигијенских услова, нова купатила, осветљење у баракама где су живели, превоз радника до рудника, слободно удруживање у синдикалну организацију, боље услове становања, повећање зараде, гаранцију да штрајкачи неће бити кажњавани након окончања штрајка и др. (слика 1, лево).

После пуно мука, управа Трепча је 2. јуна 1936. године прихватила штрајкачке захтеве. Био је ово велики успех за саме рударе али и много више од тога, јер је јавност преко штампе која је пратила догађања у Трепчи, сазнала истину о условима рада и безобзирној експлоатацији рудара и домаће радне снаге за рачун енглеског капитала.

mine management through the workers' movement and thus fight for a better and more humane life.

After the management refused the miners' demand for an eight-hour workday, work was stopped in the *First Tunnel* plant on May 14<sup>th</sup>, 1936. The miners of Stari Trg joined the strike, and in total 1,763 miners took part in the protest [1]. The strike committee then issued 10 demands. In addition to an eight-hour workday, miners demanded improved hygiene conditions, new baths, lighting in their barracks, transportation to the mine, the right to freely organize a union, better housing, higher wages, a guarantee that strikers would not be punished after the strike, and more (Figure 1, left).

After much struggle, on June 2<sup>nd</sup>, 1936, the Trepča management accepted the miners' demands. This was a great success for the miners themselves, but also much more, because the public, through newspapers that reported on events in Trepča, learned the truth about the working conditions and ruthless exploitation of miners and local labor for the benefit of English capital.



Слика 1, Обустава рада у јами „Стари трг“ [9], слика лево снимљена 28. маја 1936. и збор рудара Трепча, 12. јул 1939., слика десно [1]

Figure 1, Work stoppage in the “Stari Trg” mine [9], left image, May 28, 1936 and Assembly of Trepča miners, July 12<sup>th</sup>, 1939, right image [1]

Услед све веће инфлације, незнатно повећање зарада рудара брзо је постало безвредно. Незадовољство је расло, али 5. јануара 1937. године када је стигла информација до рудара у јами да је на наговор управе рудника, полиција ухапсила секретара Синди-

Due to growing inflation, the modest wage increase quickly became worthless. Discontent grew, but on January 5<sup>th</sup>, 1937, when the miners learned underground that, at the urging of the mine management, police had arrested the secretary of the Union Organization, work was

калне организације, дошло је до обуставе рада. Рудари су забарикадирали улазе у јаме (тзв. „јамски штрајк“) и тражили хитно пуштање на слободу синдикалног представника. То је и учињено након три дана штрајка [1].

Током 1937. године, борба рудара за боље услове рада је била исказана штрајком и у руднику каменог угља Јарандо и новоотвореном руднику олова Бело брдо на Копаонику.

О тешком положају рудара Б.Божовић [1], наводи: „У извештају Братинске благајне за 1938. годину наводи се да је међу рударима било 25 смртних случајева и 75 тешких и неизлечивих обољења – углавном туберкулозе, а управа је све раднике који више нису били способни за рад отпуштала с посла без икакве накнаде“ (слика 2).

Како је јула 1939. године истицао трогодишњи колективни уговор између радника и управе Трепча (склопљен након штрајка 1936. године), рударски синдикат се припремао за потписивање новог уговора али са 19 додатних тачака (слика 1, десно).

Када је управа исказала непопустљиви став и одбила захтеве, рудари су 19. јула 1939. године, прогласили штрајк. У обустави рада у Трепчи је учествовало 3.600 радника.

Уследиле су оштре мере и притисци да се сломи штрајк. Власницима рудника је притекла у помоћ и домаћа власт. Полиција и жандармерија је запосела рудник. Срески начелник је забранио локалним трговцима да продају штрајкачима животне намирнице, а управа рудника је обуставила исплату радницима заостале дневнице.

Вршени су покушаји подмићивања чланова штрајкачког одбора, хапшење и протеривање, као и бројне друге мере. А онда је 15. августа 1939. године стигла нова превара: „Према решењу дирекције у Лондону рудник Трепча је затворен“ [1]. На тај начин је отпуштено 3.600 радника и сва кривица за затварање рудника је пребачена на раднике. Они нису обраћали пажњу на то и у руднику је владао ред и мир. Сви радници са села, а чинили су трећину запослених, доносили

stopped again. The miners barricaded the mine entrances (so-called “*pit strike*”) and demanded the immediate release of their union representative. This was done after three days of striking [1].

During 1937, the miners’ struggle for better working conditions spread with strikes at the Jarando coal mine and the newly opened Belo Brdo lead mine on Kopaonik.

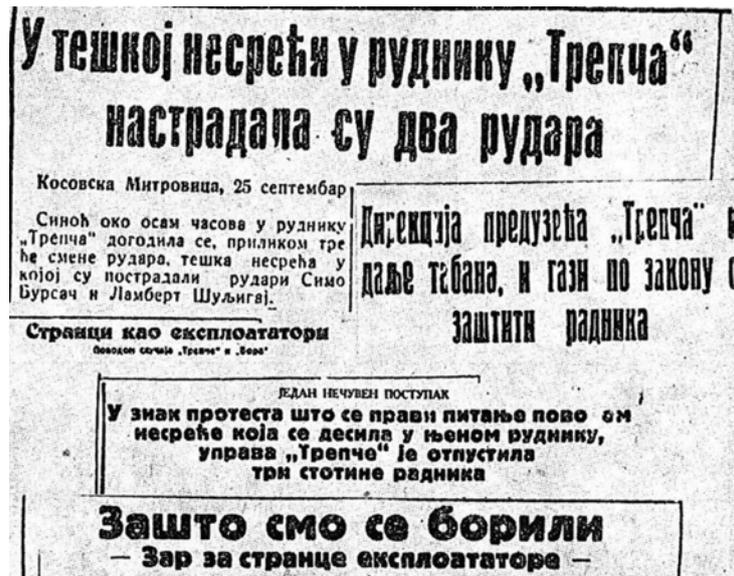
Regarding the dire position of the miners, B. Božović [1] notes: “In the report of the Bratinska Treasury for 1938, it was stated that among the miners there were 25 deaths and 75 serious and incurable illnesses - mostly tuberculosis, and the management dismissed from work all laborers who were no longer able to work, without any compensation.” (Figure 2).

As the three-year collective agreement between the workers and the Trepča management (concluded after the 1936 strike) was set to expire in July 1939, the miners’ union prepared a supplement to the new agreement with 19 additional points (Figure 1, right).

When management took an uncompromising stance and rejected the demands, on July 19<sup>th</sup>, 1939, the miners declared a strike. At Trepča, 3,600 workers joined the work stoppage.

Severe measures and pressures followed to break the strike. The mine owners were supported by the local authorities. Police and gendarmes occupied the mine. The district chief forbade local merchants from selling food to the strikers, and the mine management suspended payment of back wages.

Attempts were made to bribe strike committee members, to arrest and expel them, and to apply numerous other measures. Then, on August 15<sup>th</sup>, 1939, came a new deceit: “According to the decision of the directorate in London, the Trepča mine is closed” [1]. Thus, 3,600 workers were dismissed, and all blame for the closure of the mine was placed on the workers. But the miners ignored this, and order and peace prevailed in the mine. All workers from surrounding villages, who made up one-third



Слика 2, Најновији у шtamпи о несрећи у Трепчи и обесправљености рудара [1]  
Figure 2, Newspaper headlines about the accident in Trepča and the miners' lack of rights [1]

су радницима и штрајкачком одбору животне намирнице. То су чинили и локални трговци без обзира на забрану.

Пошто нису успели да угуше штрајз за 47 дана и поред 134 ухапшена радника, 1. септембра 1939. године, управа Трепче је потписала са радницима нови колективни уговор. Рудари су истрајали у својим радничким правима.

#### ПОКРЕТ ОТПОРА У ТРЕПЧИ

По нападу нацистичке Немачке на Југославију, Енглези су одмах напустили Трепчу. Уз помоћ пете колоне (љотићеваца, фолксдојчера, белогардејаца, албанских фашиста и других агената), Немци су окупирали Трепчу. Моторизоване немачке трупе у Косовској Митровици, дочекао је 16. априла 1941. године предратни немачки агент Џафер Дева, а у Старом тргу технички управник рудника инж. Ђорђе Димитријевић, познати љотићевац и непријатељ радника [1]. Косово и Метохија је била италијанска окупациона зона, осим Трепче коју су контролисали Немци.

Тајни агенти и петоклоноши, предали су окупатору потпуно сачуване руднике и постројења за прераду руде, тако да је про-

of the workforce, brought food to the miners and the strike committee. Merchants did the same despite the ban.

Since the strike could not be crushed after 47 days and despite the arrest of 134 miners, on September 1<sup>st</sup>, 1939, the Trepča management signed a new collective agreement with the workers. The miners persevered in defending their labor rights.

#### THE RESISTANCE MOVEMENT IN TREPČA

After Nazi Germany's attack on Yugoslavia, the English immediately abandoned Trepča. With the help of the fifth column (Ljotić's followers, Volksdeutsche, White Guards, Albanian fascists, and other agents), the Germans occupied Trepča. The motorized German troops were welcomed in Kosovska Mitrovica on April 16<sup>th</sup>, 1941, by the pre-war German agent Xhaver Deva, and in Stari Trg by the mine's technical manager, engineer Đorđe Dimitrijević, a well-known Ljotić supporter and enemy of the workers [1]. Kosovo and Metohija fell under the Italian occupation zone, except for Trepča, which was under German control.

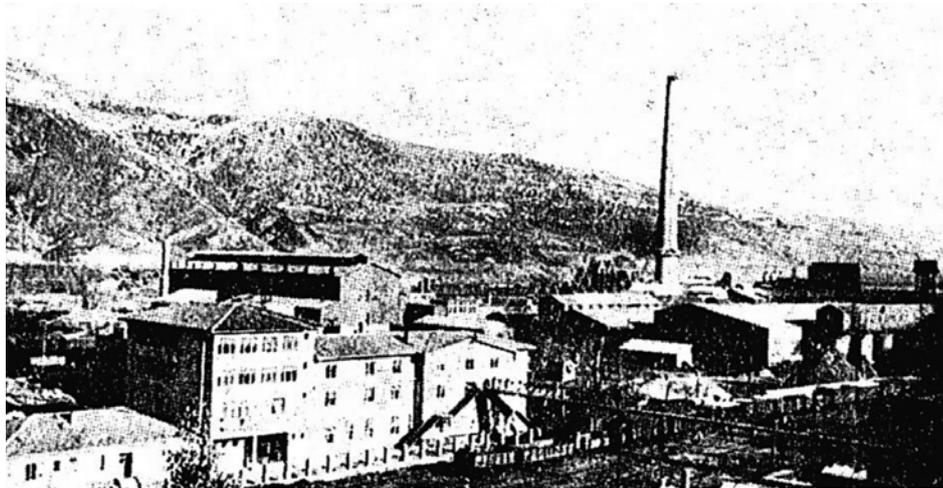
Secret agents and fifth-columnists handed over to the occupiers completely preserved mines

изводња одмах отпочела (слика 3). Интенсантно је да је за све време немачког управљања Трепчом до 1944. године, задржан је британски назив рудника.

Немачкој управи рудника је било стало да се руда даноноћно извлачи из јаме рудника Стари трг и оближњег погона Први Тунел. Руда је жичаром дугом 6,35 km и са капацитетом 100 t/h, транспортована од рудника Стари трг до постројења за прераду у Звечану (слика 3). Технолошким процесом прераде руде до добијања оловног концентрата (после чега се из пулпе одвајао цинк, а онда пирит), део концентрата се потом допремао у топионицу и на крају технолошког процеса добијало олово високе чистоће (рафинирано олово). Из Звечана, олово је транспортовано железницом преко Краљева до Београда, а онда за Немачку. Трасу железничке пруге су обезбеђивале посебне јединице, а сам рудник је чувала немачка војска, Војна жандармерија, Тајна војна полиција. У томе су им помагали албански квислинзи, рудничка стража и др.

and ore processing facilities, so production began immediately (Figure 3). Throughout German management of Trepča until 1944, the British name of the mine was retained.

The German mine administration insisted for ore to be extracted day and night from the Stari Trg mine and the nearby First Tunnel plant. The ore was transported by cableway, 6.35 km long with a capacity of 100 tons per hour, from the Stari Trg mine to the processing plant in Zvečan (Figure 3). Through the technological process, lead concentrate was produced (from which zinc was later separated, and then pyrite). A part of the concentrate was sent to the smelter, and at the end of the technological process, high-purity lead was obtained (refined lead). From Zvečan, the lead was shipped by rail via Kraljevo to Belgrade, and then to Germany. The railway line was secured by special units, while the mine itself was guarded by German military forces, military gendarmerie, and secret military police. They were assisted by Albanian collaborators, mine guards, and others.



Слика 3, Постројење „Трепче“, Звечан 1940. [1]  
Figure 3, The “Trepča” facility, Zvečan, 1940 [1]

Након Хитлерове одлуке о нападу на Совјетски Савез 22. јуна 1941. године, потреба немачке војне индустрије за металним сировинама биле су све веће. Немачки управник Трепче инж. Ернст Краузе искусни рударски стручњак и директор рудника Хелвиг, из петних жила се трудили да „оловна река“ из Трепче, непрекидно тече ка Трећем рајху. Ради постизања гвозде-

After Hitler’s decision to attack the Soviet Union on June 22<sup>nd</sup>, 1941, the German war industry’s need for metal raw materials grew dramatically. The German manager of Trepča, engineer Ernst Krause, an experienced mining expert, and the mine director Helwig did everything they could to ensure that the “river of lead” from Trepča flowed continuously to the Third Reich. To establish iron discipline and absolute obedience,

не дисциплине и апсолутне послушности, спровођене су мере кажњавања и застрашавања радника [1].

Ове репресивне мере и све веће разбуктавање рата у Европи и свету, убрзале су активности на стварању покрета отпора и међу рударима Трепча. На основу препорука највиших органа КПЈ, у Обласном комитету за Косово и Метохију и Месном комитету Косовске Митровице, разматране су варијанте диверзије у Трепчи.

Одлука је донета да се диверзија изврши на жичару која од Старог трга води до Звечана (слика 4). Непосредна организација и руковођење акцијом, поверена је тридесетогодишњем рудару Данилу Брклјачу – Данету, копачу руде у Трепчи (слика 5).

Дане је био родом из Велике Попине, крај Грачаца. У потрази за егзистенцијом, пут га је као и многе његове земљаке довео у Трепчу. У радничком покрету је био активан. Калио се у обрачунима са управом рудника и властима током вишенедељних штрајкова, када је требало напрегнути све снаге да би се издржало до краја. Рудари су у њему видели чист морални лик професионалног рудара.

Дане због тога није имао тешкоће у избору рудара који би учествовали у диверзији. На списку су били истакнути активисти радничког покрета, рудари у које је лично имао поверења:

1. *Јово Јованић*, копач руде у погону Први Тунел–Река;
2. *Перо Ђурица*, рудар и топионичарски радник Трепча;
3. *Раде Милићевић*, јамски возач руде у Трепчи;
4. *Никола Лабус – Никица*, помоћник копача руде у Трепчи;
5. *Милош Лабус – Миле*, помоћник копача руде у Трепчи;
6. *Никола Кртинић*, јамски возач у погону Први Тунел.

Диверзантска акција је за њих имала дво-струки значај: ударац немачком окупатору у

measures of punishment and intimidation of the workers were enforced [1].

These repressive measures, along with the escalating war in Europe and worldwide, accelerated the creation of a resistance movement among Trepča miners. Based on the recommendations of the Central Committee of the Communist Party of Yugoslavia (CPY), the Regional Committee of the CPY for Kosovo and Metohija and the Local Committee in Kosovska Mitrovica considered variants of sabotage actions at Trepča.

The decision was made to carry out sabotage on the cableway connecting Stari Trg and Zvečan (Figure 4). The immediate organization and leadership of the action were entrusted to 30-year-old miner Danilo Brkljač - Dane, an ore digger at Trepča (Figure 5).

Dane was born in Velika Popina, near Gračac. Like many of his countrymen, he had come to Trepča in search of work. He was active in the workers' movement, hardened in clashes with mine management and authorities during weeks-long strikes, when all strength had to be mustered to endure to the end. The miners saw in him the moral character of a professional miner.

Because of this, Dane had no difficulty choosing miners to take part in the sabotage. On the list were prominent activists of the workers' movement, miners in whom he had personal trust:

1. *Jovo Jovanić*, ore digger in the First Tunnel plant – Reka;
2. *Pero Đurica*, miner and smelter worker at Trepča;
3. *Rade Milićević*, underground ore hauler at Trepča;
4. *Nikola Labus - Nikica*, assistant ore digger at Trepča;
5. *Miloš Labus - Mile*, assistant ore digger at Trepča;
6. *Nikola Krtinić*, underground ore hauler in the First Tunnel plant.

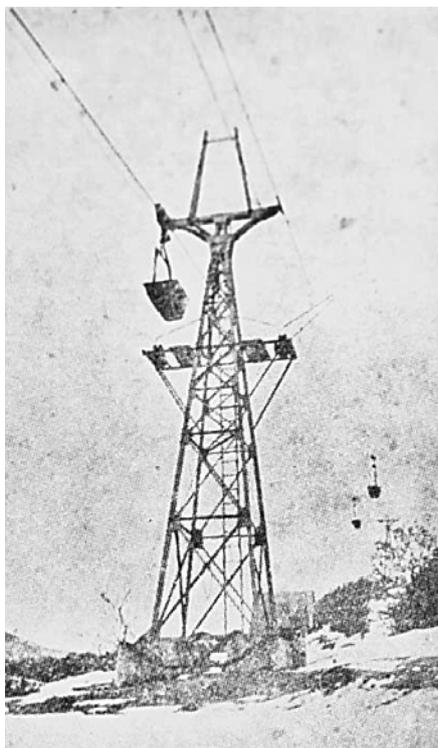
The sabotage action had a dual purpose: to strike at the German occupier in the mine,

руднику и одлазак на Копаоник ради формирања Копаоничког партизанског одреда [1]. Акција је припремана у тајности. Експлозив за минирање жичаре је тајно изнет из јаме, скривен у вагонетићу са рудом. По плану који је постојао, прихватна база за рударе након диверзије је било село Лисина на Копаонику.

Диверзија је изведена у ноћи 30. јула 1941. године у 23.30 часова. На основу података из немачке архиве, диверзија на Трепчиној жичари је извршена на половини растојања између Старог трга и Звечана. Експлозивно пуњење је било постављено на 3 стуба жичаре и 1 торањ је био порушен, док су друга два била само оштећена.

and to enable the group to move to Kopaonik, where they would form the Kopaonik Partisan Detachment [1]. The action was prepared in secrecy. Explosives for destroying the cableway were smuggled out of the shaft, hidden in ore carts. According to the plan, the reception base for the miners after the sabotage was the village of Lisina on Kopaonik.

The sabotage was carried out on the night of July 30<sup>th</sup>, 1941, at 23:30. According to German archival data, the diversion of Trepča's cableway was executed halfway along the route between Stari Trg and Zvečan. Explosives were set on three towers of the cableway: one was destroyed, two others damaged.



Слика 4, Жичара рудника „Стари трг“ на којој је изведена диверзија 30. јула 1941. [1]

Figure 4, The cableway of the “Stari Trg” mine on which the sabotage was carried out on July 30<sup>th</sup>, 1941 [1]

Након диверзије, у Трепчи је владала паника. Почели су прогони и хапшења. Група рудара која је била „компромитована” пред полицијом, склонила се из рудника пре извршења диверзије на жичару. Дванаесторица њих је стигла на Копаоник одмах за седморицом диверзаната.

After the sabotage, panic reigned at Trepča. Persecution and arrests began. A group of miners, “compromised” before the police, left the mine even before the action began. Twelve of them reached Kopaonik shortly after the seven saboteurs.

За недељу дана, у Лисинама на Копаонику, окупило се већ 60 бораца већином рудара, тако да је 10. августа 1941. године, формиран штаб Копаоничког одреда. Од седморице Трепчиних диверзаната, функције у штабу су имали Дане Брклјач који је постао заменик комесара, а Јово Јованић интендант.

Копаонички одред је био прва оружана формација која је на простору Косова, средњег дела Ибарске долине и новопазарског краја, имала ратне окршаје са немачком окупационом војском. Највећи број оружаних акција је спроведен да би се онемогућила немачка пљачка рудног богатства из овог краја.

Почетком августа 1941. године, минирано је постројење на руднику Кремићи, а 23. августа је изведен напад на железничку станицу у Ушћу.

Транспорт олова из Трепче за Немачку је морао да се прекине по сваку цену. Рат за олово Трепче је настављен акцијом која је изведена 1. септембра 1941. године. Миниран је тунел код села Тврђана, на прузи између станица Лешка и Лепосавића. Наредног дана је поново изведена акција на трепчину жичару. Овог пута је срушена челична конструкција затезне станице жичаре крај Орахова. У паници, Немци су са квислинзима организовали потеру. Једну групу рудара диверзаната у повлачењу ка Копаонику, пресрели су код села Борчана жандарми и вилнетари (албанска квислиншка стража). Рудари су тада положили прву жртву у устанку који су подигли против фашизма. Погинуо је рудар Тодор Милићевић, млађи брат Радета Милићевића (једног од седморице Трепчиних диверзаната). Након овог догађаја, Копаонички одред је носио име „Тодор Милићевић”.

Оружана акција на рудник олова и цинка Бело брдо на Копаонику, изведена је 2. октобра 1941. године. После велике борбе са жандармима, рударска постројења и рудник су били тако разорени да га Немци нису могли користити до краја рата. Тада је убијен управник рудника, познати петоклонаш из Трепче инж. Ђорђе Димитријевић. Покрету отпора се прикључило 52 рудара Белог брда [1].

Within a week, 60 fighters, mostly miners, had gathered in Lisina on Kopaonik, so on August 10<sup>th</sup>, 1941, the headquarters of the Kopaonik Detachment was formed. Of the seven Trepča saboteurs, Dane Brkljač became deputy commissar, while Jovo Jovanić was appointed quartermaster.

The Kopaonik Detachment was the first armed formation in Kosovo, the central Ibar valley, and the Novi Pazar region to engage in combat with German occupation troops. Most actions were aimed at preventing the Germans from looting mineral wealth from the area.

In early August 1941, the plant at the Kremići mine was blown up. An attack on the railway station in Ušće was carried out on August 23<sup>rd</sup>.

The transport of lead from Trepča to Germany had to be stopped at any cost. The war for Trepča's lead continued with an action carried out on September 1<sup>st</sup>, 1941. A tunnel near the village of Tvrđan, on the line between the Lešak and Leposavić stations, was mined. The following day, another sabotage targeted the Trepča cableway, this time, the steel structure of the tension station near Orahovac was destroyed. In panic, the Germans and quislings organized a manhunt. One group of miners retreating toward Kopaonik was intercepted near the village of Borčane by gendarmes and *vilnetari* (Albanian quisling guards). There, miners made their first sacrifice in the uprising against fascism: Todor Milićević, brother of saboteur Rade Milićević, was killed. After this, the Kopaonik Detachment bore his name - "Todor Milićević".

On October 2<sup>nd</sup>, 1941, an armed action targeted the Belo Brdo lead and zinc mine on Kopaonik. After fierce fighting with gendarmes, the mining facilities were so destroyed that the Germans could not use them until the end of the war. The mine manager, engineer Đorđe Dimitrijević, the well-known fifth-columnist from Trepča, was killed. Fifty-two miners from Belo Brdo joined the resistance movement [1].

Са борбеним искуством и организационим ојачањем које је стекао, Копаонички одред је кренуо са акцијама у долину Ибра. Рашка је ослобођена 3. октобра 1941. године, а наредног дана и Баљевац са рудником каменог угља Јарандо.

А онда су кренуле и прве жртве Трепчиних диверзаната-рудара.

При минирању железничког моста преко Ибра код села Придворице, недалеко од станице Слатина, у борби са Немцима 4. октобра 1941. године, погинуо је први од седморице диверзаната Трепчине жичаре, Перо Ђурица.

Након ослобођења Јошаничке бање и Ушћа (у садејству са Краљевачким одредом којим је командовао Павле Јакшић), долина Ибра је била ослобођена од Немаца. Тиме је било онемогућено даље коришћење важне саобраћајнице Ибарском долином за немачку пљачку рудног богатства из овог краја. Рат за олово је привремено добијен.

Због мноштва рудара у одреду и већег броја рудника на овом подручју, рудари су слободну територију у долини Ибра назвали „Рударска република”. Брањена је од окупатора 42 дана, од 3. октобра до 13. новембра 1941. године [2]. Током њеног постојања, успостављена је народна власт и рад железничке пруге за превоз путника на релацији Рашка-Богutowaц.

Следе затим нови ратни окршаји, а са њима и нова страдања рудара. Рудари Копаоничког одреда су учествовали у октобарским/новембарским борбама око Краљева, а током новембра и у одбрани Ужичке републике.

Део бораца Копаоничког одреда који су током новембара 1941. године, водили ратне окршаје са Немцима код Краљева, у повлачењу са рањеницима преко јужних падина Јелице, били су заробљени од стране четника у забитом планинском селу Горњи Дубац. У овој групи су се наша и двојица тешко рањених рудара диверзаната Трепче и то бивши вођа групе Дане Брклјач и Миле Лабус. Њихова судбина је била окончана након пар дана када су их четници предали Немцима у Чачку.

With its gained combat experience and strengthened organization, the Kopaonik Detachment moved into the Ibar valley. Raška was liberated on October 3<sup>th</sup>, 1941, followed the next day by Baljevac with its Jarando coal mine.

Then came the first losses among the Trepča saboteurs/miners.

While mining the railway bridge over the Ibar near the village of Pridvorica, close to the Slatina station, on October 4<sup>th</sup>, 1941, one of the seven cableway saboteurs, Pero Đurica, was killed in combat with the Germans.

After liberating Jošanička Banja and Ušće (together with the Kraljevo Detachment of Pavle Jakšić), the Ibar valley was cleared of Germans. This prevented the occupiers from using this key transport route to loot the region's mineral wealth. The war for lead was temporarily won.

Because of the large number of miners in the detachment and the many mines in the area, the fighters named the liberated territory in the Ibar valley the “Miners’ Republic.” It was defended from October 3<sup>rd</sup> to November 13<sup>th</sup>, 1941, a total of 42 days [2]. During its existence, people's government was established and the railway line Raška–Bogutowac was used for passenger transport.

New battles followed, bringing further miner casualties. Miners of the Kopaonik Detachment took part in the October/November fighting to liberate Kraljevo, and in November also in the defense of the Užice Republic.

Another group of Kopaonik fighters, who had fought the Germans near Kraljevo, retreated with the wounded across the southern slopes of Jelica. They were captured by Chetniks in the remote mountain village of Gornji Dubac. Among them were two severely wounded Trepča saboteurs: former leader Dane Brkljač and Mile Labus. Their fate was sealed when the Chetniks handed them over to the Germans in Čačak a few days later.

Одбрана Ужичке републике, какав парадокс: једину слободну територију на тлу поробљене Европе од нацистичке Немачке, браниће Срби - пролетери од напада Срба - националиста. Тиме ће заправо и званично започети грађански рат у Србији.

Мало је познато да је 30. октобра 1941. године, групу рудара добровољаца и других бораца из долине Ибра, повео за Ужице студент рударства Милутин Вујовић – Вујаклија, ради одбране Ужичке републике. Већ 1. новембра 1941. године, у Ужицу је формирана Шеста ибарска чета Ужичког одреда у чијем саставу су били и рудари са Ибра. Милутин је постављен за политичког комесара ове чете. Током прве половине новембра, рудари Шесте ибарске чете су учествовали у тешким борбама са четницима на ширем простору Ужица: на Трешњици, Буковима, Црнокоси и другим бојиштима.

У долини Ибра 9. и 10. новембра 1941. године, током борбене акције са четницима за Рашку, био је тешко рањен још један од седморице рудара диверзаната на Трешчину жичару, Јово Јованић. У повлачењу из Рашке према Биоцу где је био лоциран штаб Копанничког одреда, умро је храбри рудар. У тој борби, погинуо је и његов друг из диверзантске групе, рудар Никола-Никица Лабус. Тако је од седморице рудара који су покренули покрет отпора немачком окупатору у јулу 1941. године у Трешчи, остала жива само двојица рудара Никола Кртинић и Раде Миљевић.

У другој половини новембра 1941. године, кренула је велика немачка офанзива у западној Србији. У Копанничком одреду су прегруписани борци у четири чете. Рудари су били у саставу Треће рударске чете [6].

Затварање правца Краљево-Чачак пред налетом 113. немачке дивизије која је повучена са источног фронта, није успело. Продор из правца Бајине Баште преко Кадињаче ка Ужицу је направила и 243. немачка дивизија. Ужичка република није одбрањена. Рудари из Копанничког одреда и делови Краљевачког одреда, у групама су се пробијали према Санџаку.

The defense of the Užice Republic – what a paradox: the only free territory on the soil of occupied Europe under Nazi Germany would be defended by Serbs proletarians from the attacks of Serbs nationalists. This would, in fact, officially mark the beginning of the civil war in Serbia.

It is little known that on October 30, 1941, a group of volunteer miners and other fighters from the Ibar valley was led to Užice by mining student Milutin Vujović – Vujaklija in order to defend the Užice Republic. On November 1, 1941, the Sixth Ibar Company of the Užice Detachment was formed in Užice, and miners from the Ibar region were among its members. Milutin was appointed the political commissar of this company. During the first half of November, the Sixth Ibar Company took part in heavy battles against the Chetniks in the wider Užice area: at Trešnjica, Bukovi, Crnokosa, and other battlefields.

In the Ibar Valley, on November 9 and 10<sup>th</sup>, 1941, during a combat action against the Chetniks for Raška, another one of the seven miners who had carried out the sabotage on Trepča's cableway, Jovo Jovanić, was severely wounded. While comrades carried him in retreat toward Bioce, where the Kopaonik headquarters was located, the brave miner died. In that same battle, his comrade and fellow saboteur, Nikola "Nikica" Labus, was also killed. Thus, of the seven miners who launched the resistance movement against the German occupier in Trepča in July 1941, only two remained alive: Nikola Krtinić and Rade Milićević.

In the second half of November 1941, a major German offensive was launched in western Serbia. The Kopaonik Detachment reorganized its fighters into four companies. The miners were part of the Third Mining Company [6].

Blocking the Kraljevo–Čačak route against the advance of the 113<sup>th</sup> German Division, withdrawn from the Eastern Front, was unsuccessful. The advance toward Užice from the direction of Bajina Bašta, across Kadinjača, was also carried out by the 243<sup>rd</sup> German Division. The Užice Republic was not defended. The miners from the Kopaonik Detachment and elements of the Kraljevo Detachment broke through in groups toward Sandžak.

Рудари из састава Шесте ибарске чете који су се затекли у Ужицу после неуспеле одбране Ужичке републике 29. новембра 1941. године, кренули су са главнином снага преко Златибора ка Санџаку.

#### РУДАРИ У ПРВОЈ ПРОЛЕТЕРСКОЈ БРИГАДИ

У ратном строју на дан формирања Прве пролетерске бригаде 21. децембра 1941. године на тргу у Рудом, била је постројена и Рударска чета, као трећа чета у саставу Четвртог краљевачког батаљона.

Тог дана Рударска чета је имала 63 борца. Окосницу чете је чинило 33 рудара [1, 4]. Шест рудара је било распоређено у Другу чету краљевачког батаљона [4].

За ове ратне дане рудара, треба истаћи ратни пут двадесетдвогодишњег студента рударства Милутина Вујовића – Вујаклије о коме је горе већ било речи. Родом је био из Чачка. Након краткотрајног априлског рата и немачке окупације Југославије, Милутин је прекинуо студије и из Београда је отишао јуна 1941. године у Ибарске руднике. По дизању устанка, одмах се прикључио Баљевачкој чети. Као добровољац је учествовао у одбрани Ужичке републике, а у Рудом је постављен за итенданта у Четвртом краљевачком батаљону. Касније је био комесар у Другој чети овог батаљона [7]. Милутин је преживео рат [6].

Једина жена у строју Рударске чете у Рудом је била Александра Крстоношић – Наница (слика 6). Имала је само осамнаест година. Родом је била из Србобрана. У Ушће је дошла 1941. године са мајком која је избегла из Војводине. Као ученица VII разреда краљевачке гимназије [7], храброст и одважност је испољила при нападу Краљевачког одреда на Ушће, када је доставила штабу одреда прецизне податке о распореду окупаторских снага [1]. При повлачењу ка Санџаку крајем новембра 1941. године, четници су је заробили али је на крају ипак успела да се домогне Руда у Босни.

Miners of the Sixth Ibar Company who were still in Užice after the failed defense of the Užice Republic on November 29<sup>th</sup>, 1941, withdrew with the main forces across Zlatibor toward Sandžak.

#### MINERS IN THE FIRST PROLETARIAN BRIGADE

On the day of the formation of the First Proletarian Brigade, December 21<sup>st</sup>, 1941, in the square in Rudo, the Mining Company was also assembled, as the third company within the Fourth Kraljevo Battalion.

That day, 63 fighters stood in the ranks of the Miners' Company. The core of the company consisted of 33 miners [1,4]. Six miners were deployed to the Second Company of the Kraljevo Battalion [4].

For these wartime days of the miners, it is important to highlight the military path of the twenty-two-year-old mining student Milutin Vujović – Vujaklija, who has already been mentioned above. He was originally from Čačak. After the short April War and the German occupation of Yugoslavia, Milutin interrupted his studies and went from Belgrade to the Ibar mines in June 1941. Following the outbreak of the uprising, he immediately joined the Baljevačka Company. As a volunteer, he took part in the defense of the Užice Republic, and in Rudo he was appointed quartermaster of the Fourth Kraljevo Battalion. Later, he served as commissar in the Second Company of this battalion [7]. Milutin survived the war [6].

The only woman in the ranks of the Mining Company in Rudo was Aleksandra Krstonošić – Nanica (Figure 6). She was only eighteen years old and originally from Srbobran. She came to Ušće in 1941 with her mother, who had fled from Vojvodina. As a seventh-grade student at the Kraljevo Gymnasium [7], she displayed courage and bravery during the attack of the Kraljevo Detachment on Ušće, delivering precise information about the deployment of the occupying forces to the detachment's headquarters [1]. During the retreat toward Sandžak at the end of November 1941, she was captured by the Chetniks but ultimately managed to reach Rudo in Bosnia.

Пред вече истог дана када је формирана Прва пролетерска бригада у Рудом (21. децембра 1941. године), Краљевачки батаљон и Рударска чета у његовом саставу, била је одмах упућена према селу Гаочићима, у сусрет колони италијанске војске која се из Вишеграда кретала према Рудом. После напорног марша по леденој ноћи и планинском беспућу, у зору 22. децембра 1941. године при густој магли, отпочео је снажан напад Рударске чете и других јединица на Италијане. У том незадрживом јуришу, погинуо је заменик командира вода Никола Кртинић, шести најмлађи од седморице рудара који су срушили жичару Трепча у јулу 1941. године [2]. Никола је имао 27. година.



Слика 5, Данило Дана Бркљач [1]  
Figure 5, Danilo Dane Brkljač [1]

Убрзо након тога, средином фебруара 1942. године, село Праче на североисточним падинама Јахорине, остаће рударима заувек у тужном сећању. У жестици борбе са усташама и домобранима, који су имали гарнизон у овом селу, погинуло је седам рудара: Бошко и Војин Баровић, Бошко Бошњовић, Радисав Ивановић, Никола Мировић, Драган Јајчанин и Новак Јушковић [4, 2].

У Стакавици код Котор Вароши 6. децембра 1942. године, погинуо је рудар Трепча Иван Шулентић, а брзо након тога 1. јануара 1943. године у борби за ослобођење Теслића и

On the evening of the same day the First Proletarian Brigade was formed in Rudo (December 21<sup>st</sup>, 1941), the Kraljevo Battalion and the Mining Company within it were immediately sent toward the village of Gaocići, to intercept a column of the Italian army moving from Višegrad toward Rudo. After a strenuous march through the icy night and mountain wilderness, at dawn on December 22<sup>nd</sup>, 1941, in dense fog, the Mining Company and other units launched a strong attack on the Italians. During this unstoppable assault, the deputy platoon commander Nikola Krtinić was killed; he was the sixth youngest of the seven miners who had destroyed the Trepča cableway in July 1941 [2]. Nikola was 27 years old.



Слика 6, Александра Крстонишић Наница [1]  
Figure 6, Aleksandra Krstonošić Nanića [1]

Soon afterward, in mid-February 1942, the village of Prača on the northeastern slopes of Jahorina would remain forever in sorrowful memory for the miners. In a fierce battle with Ustaše and Domobrans garrisoned there, seven miners were killed: Boško and Vojin Barović, Boško Bošnjović, Radisav Ivanović, Nikola Mirović, Dragan Jajčanin, and Novak Jušković [4,2].

In Stakavići near Kotor Varoš, on December 6, 1942, the Trepča miner Ivan Šulentić was killed, and shortly thereafter, on January 1, 1943, in the battle for the liberation of Teslić,

Перо Ступар, машиновођа у руднику Трепча [7].

Ратни дани, мучни и тешки у свакодневним борбама и усиљеним маршевима по босанским планинским теренима, мучени неизвесношћу, глађу, исцрпљивало је рударе и борце пролетерске војске до крајних граница издржљивости.

У току четврте немачке офанзиве, у ноћи између 22. и 23. фебруара 1943. године, Рударска чета је водила тешку борбу са Немцима на Иван-седлу (планинском превоју на Иван планини североисточно од Коњица, на путу према Хаџићима и Сарајеву). При пакленој артиљериској ватри Немаца, једна од експлозија бројних граната је разнела леђа заменику комесара Рударске чете, храбром пушкомитраљесцу Николи Бубалу, двадесетдогодишњем рудару из Трепча (слика 7) [7].

Током ове немачке офанзиве, пожртвована болничарка Александра-Наница (слика 6) док је лечила оболеле борце од тифуса, и сама се разболела од ове опасне болести. Након преласка Неретве марта 1943. године, у тешким мукама је умрла у Централној болници 20. марта у селу Рибари, око 20 km јужно од Коњица [7]. Истог дана у овом селу је извршио самоубиство тифусом измучени Жегар Дане. Скромни и повучени Дане је био рудар у руднику Бело брдо на Копаонику [7].

У петој немачкој офанзиви која је одпочела 15. маја 1943. године, водиле су се борбе свом својом жестином у долинама река Таре, Пиве и Сутјеске. Рудар Раде Милићевић (слика 8), комесар Рударске чете, био је већ прекаљени борац, једини живи рудар од седморице који су минирали жичару Трепча у јулу 1941. године.

Током ове офанзиве, у другој половини маја 1943. године, Рударска чета се пробивала са осталим јединцама Прве пролетерске дивизије од Челебића према северу ка Фочи. Код села Златни бор на десној обали реке Таре, рудари су 22. маја 1943. године водили паклени окршај са Немцима из састава артиљеријског дивизиона. Нападом на Немце, штитили су позадину према Челебићу где се налазила Централна болница са рањеницима.

Pero Stupar, a machinist at the Trepča mine, also fell [7].

The wartime days, arduous and grueling in daily battles and forced marches across the Bosnian mountain terrain, tormented by uncertainty and hunger, exhausted the miners and fighters of the Proletarian Army to the very limits of endurance.

During the Fourth German Offensive, on the night of February 22<sup>nd</sup>–23<sup>rd</sup>, 1943, the Miners' Company fought a grueling battle with the Germans at Ivan-sedlo (a mountain pass on Ivan Planina northeast of Konjic toward Hadžići and Sarajevo). Under the hellish German artillery fire, one of the numerous shell explosions tore apart the back of the deputy commissar of the Mining Company, the brave machine-gunner Nikola Bubalo, a twenty-two-year-old miner from Trepča (Figure 7) [7].

During this German offensive, devoted nurse Aleksandra–Nanica (Figure 6) contracted typhus while caring for the sick. After crossing the Neretva in March 1943, she died in great suffering at the Central Hospital on March 20<sup>th</sup> in the village of Ribari, about 20 km south of Konjic [7]. On the same day, in this village, Žegar Dane, exhausted by typhus, took his own life. Modest and withdrawn, Dane had been a miner at the Belo Brdo mine on Kopaonik [7].

During the fifth German offensive, which began on May 15, 1943, fierce battles raged in the valleys of the Tara, Piva, and Sutjeska rivers. The miner Rade Milićević (Figure 8), commissar of the Mining Company, was already a seasoned fighter and the only surviving miner of the seven who had sabotaged the Trepča cableway in July 1941.

In mid-May 1943, the Miners' Company, together with other units of the First Proletarian Division, was breaking through from Čelebići northward toward Foča. Near the village of Zlatni Bor on the right bank of the Tara River, on May 22<sup>nd</sup>, 1943, the miners fought a heavy battle with Germans from an artillery battalion. By attacking the Germans, they shielded the rear near Čelebići, where the Central Hospital with the wounded was located.



Слика 7, Никола Бубало, народни херој [1]  
Figure 7, Nikola Bubalo, People's Hero [1]



Слика 8, Раде Милићевић народни херој [1]  
Figure 8, Rade Milićević People's Hero [1]

У току снажне размене ватре 23. маја 1943. године, Раде Милићевић (слика 8) је смртно страдао од минобацачке мине која је експлоадирала у његовој непосредној близини [3]. После овог догађаја, живих диверзаната Трепча више није било.

Поред Рада Милићевића на Сутјесци су животе положили и рудари Митар Стругар, Војислав Дутина и Милун Ивановић.

Митар Стругар рудар из Трепча је погинуо у Миљевини током завршних борби након пробоја обруча на Балиновцу 9/10. јуна 1943. године [1].

Војислав Дутина рудар из Ибарских рудника, као инвалид са Игмана, био је у Централној болници и погинуо је 11. јуна 1943. године на Вучеву [6].

Милун Ивановић је био рудар у Ибарским рудницама, Белом брду и Трепчи. Као борац Друге пролетерске бригаде, тешко је рањен на Кошуру. По пробоју обруча на Балиновцу, погинуо је у Миљевини током авионског бомбардовања [1].

Даноноћне борбе немилосрдно су односиле животе на хиљаде бораца. Од 33 рудара који су у Рудом били у строју Рударске чете, рат је преживело 17 рудара [4]. За народне хероје су проглашени рудари Раде Милићевић

In the hellish exchange of fire on May 23<sup>rd</sup>, 1943, Rade Milićević (Figure 8) was killed by a mortar shell that exploded right next to him [3]. After this event, none of the Trepča saboteurs remained alive.

Alongside Rade Milićević, other miners also laid down their lives at Sutjeska: Mitar Strugar, Vojislav Dutina, and Milun Ivanović.

Mitar Strugar, a miner from Trepča, was killed in Miljevina during the final battles after the breakthrough at Balinovac on June 9–10<sup>th</sup>, 1943. [1].

Vojislav Dutina, a miner from the Ibar mines, who had been disabled on Igman, was in the Central Hospital and was killed on June 11<sup>th</sup>, 1943, at Vučevo [6].

Milun Ivanović, a miner in the Ibar mines, Belo Brdo, and Trepča, fought in the Second Proletarian Brigade. He was severely wounded at Košur, and later killed in Miljevina during an air bombardment [1].

Day and night battles mercilessly claimed thousands of lives. Of the 33 miners who stood in formation with the Miners' Company in Rudo, 17 survived the war [4]. The miners Rade Milićević and Nikola Bubalo were proclaimed People's Heroes. Outside the Miners' Company, Milun Ivanović, also a miner, was

и Никола Бубало. Ван Рударске чете, за наредног хероја је проглашен и рудар Милун Ивановић [1]. Сва тројица су били стари познаници, рудари из Трепче (слика 9).

later proclaimed a hero [1]. All three were old acquaintances, miners from Treпча (Figure 9).



Слика 9, Баљевац, споменик погинулим рударима 1941-1945, дело вајара Нандора Глида [10]

Figure 9, Baljevac, Monument to the Fallen Miners 1941-1945, the work of sculptor Nandor Glid [10]

## УМЕСТО ЗАКЉУЧКА

„Сетио сам се Пиве, Таре, Комарнице, Ђехотине, Сутјеске и Дрине, Автовца, Пивских планина, Златног бора, Троврха, Дурмитора, Маглића, Волујка, Кошура, Крекова, Сухе, Вучева, Челебића, Тјентишта, Зеленгоре, Бавана и Балиновца. Сетио сам се свих напада и противнапада, јуриша и противјуриша, удара и противудара. Сетио сам се наших другарица и другова на Сутјесци, као и на другим бојиштима, који дадоше вечној ноћи дан својих очију ... Те наше, као и хиљаде и хиљаде других жртава, дале су своје животе за слободу који нису доживели.” Ова сећања Богдана Зелића [7] мешала су се са покличима бораца када је негде у околини Загреба, стигла до штаба њихове јединице радосна вест 9. маја 1945. године. „У крви стварана, беља од сунца и среће, стигла је слобода” [7], исписало је перо

## INSTEAD OF A CONCLUSION

“I remembered Piva, Tara, Komarnica, Ćehotina, Sutjeska and Drina, Avtovac, the Piva mountains, Zlatni Bor, Trovrh, Durmitor, Maglič, Volujak, Košur, Krekovi, Suha, Vučevo, Ćelebići, Tjentište, Zelengora, Bavan and Balinovac. I remembered all the attacks and counterattacks, charges and countercharges, strikes and counterstrikes. I remembered our comrades, women and men, at Sutjeska as well as on other battlefields, who gave the eternal night in place of the day in their eyes... Those comrades of ours, like thousands and thousands of others, gave their lives for freedom which they themselves did not live to see.” These memories of Bogdan Zelić [7] mingled with the shouts of fighters when, somewhere near Zagreb, the joyful news reached their unit's headquarters on May 9<sup>th</sup>, 1945. “Born in blood, whiter than the sun and happiness, freedom has arrived” [7], wrote the hand of Bogdan

у руци Богдана Зелића, славног хероја са Сутјеске, у данима слободе који су дошли.

У години јубилеја, 80. година од слома фашизма и завршетка Другог светског рата, овај рад је још једено подсећање на херојске дане рудара Рударске чете, на наше рударе који су пали током антифашистичког рата 1941-1945, на бојиштима Југославије.

Нека им је вечна слава и хвала!

#### ЗАХВАЛНИЦА

Срдечно се захваљујем Академику проф. др Слободану Вујићу за корисне сугестије током писања овог рада.

#### ЛИТЕРАТУРА / LITERATURE

- [1] Божовић Б.: Рударска чета, Војноиздавачки завод, Београд, 1974.
- [2] Богавац Б.: Краљевачки батаљон, Књига прва, Историјски архив Краљево – Фонд за историју, Краљево, 1986.
- [3] Богавац Б.: Краљевачки батаљон, Књига друга, Историјски архив Краљево – Фонд за историју, Краљево, 1986.
- [4] Вуксановић М.: Прва пролетерска бригада, Народна књига и Институт за савремену историју из Београда и Побједа Титоград, Београд, 1981.
- [5] Вујић С.: Историјска вертикала рударства на простору Србије, Рударски институт

Zelić, the famous hero of Sutjeska, in the days of freedom that had finally come.

In this jubilee year, the 80th anniversary of the defeat of fascism and the end of the World War II, this paper stands as another remembrance of the heroic deeds of the miners of the Miners' Company, of our miners who fell during the antifascist war of 1941–1945, on the battlefields of Yugoslavia.

Eternal glory and gratitude to them!

#### ACKNOWLEDGMENTS

I sincerely thank Academician prof. dr. Slobodan Vujić for his valuable suggestions during the writing of this paper.

Београд и Информатика АД Београд, Београд, 2024.

- [6] Ђорђевић Т.: Ибарски рудници каменог угља 1924-1994., Ибарски рудници каменог угља, Бањевац, 1994.
- [7] Зелић Б. Боћо: Прва пролетерска–Челна колона НОБ-а, ЈП Службени гласник, Београд, 2011.
- [8] Лагатор Ш., Чукић М.: Патризанке прве пролетерске, EXPORT PRESS – Beograd, Beograd, 1978.
- [9] Политика 28. мај 1936.
- [10] <https://skulptura-hronologijaizlaganja.rs>

## ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ / PhD THESIS

Др Павле Стјепановић, дипл.инж.рударства

Dr Pavle Stjepanović, mining engineer

СТОХАСТИЧКИ МОДЕЛ УПРАВЉАЊА  
ЗАЛИХАМА КАО ОСНОВА  
ПЛАНИРАЊА НАБАВКЕ ПРОЦЕСНИХ  
МАТЕРИЈАЛА У ПРИПРЕМИ  
МИНЕРАЛНИХ СИРОВИНА

STOCHASTIC INVENTORY  
MANAGEMENT MODEL AS A BASIS  
FOR PROCUREMENT PLANNING  
OF PROCESS MATERIALS IN  
THE MINERAL PROCESSING

Универзитет у Београду, Технички факултет у  
Бору, 31. 10. 2025.

University of Belgrade Technical Faculty in  
Bor, 31 October 2025

ментори проф. др Милан Трумић, Универзитет  
у Београду, Технички факултет у Бору и проф.  
др Марија Кузмановић, Универзитет у Београду,  
Факултет организационих наука

mentors prof. dr Milan Trumić, University of  
Belgrade, Technical Faculty in Bor and prof.  
dr Marija Kuzmanović, University of Belgrade,  
Faculty of organizational sciences

**Сажетак:** Управљање залихама представља један од кључних фактора финансијске стабилности и континуитета пословања у савременом динамичном окружењу. Залихе обухватају широк спектар материјалних ресурса – од сировина и полупроизвода до готових производа и потрошних материјала – а њихово правилно планирање и контрола директно утичу на трошкове и ефикасност производног процеса. Укупни трошкови залиха могу се поделити на трошкове набавке, држања и недостатка, па је оптимизација ових трошкова од суштинског значаја за свако предузеће.

**Abstract:** Inventory management is one of the key factors for financial stability and business continuity in today's dynamic environment. Inventories encompass a wide range of material resources – from raw materials and semi-finished products to finished products and consumables – and their proper planning and control directly affect the costs and efficiency of the production process. The total cost of inventory can be divided into acquisition, holding and shortage costs, so optimizing these costs is essential for every company.

Савремени приступи управљању залихама ослањају се на математичке моделе, међу којима се издвајају детерминистички и стохастички. Док детерминистички модели полазе од предвидивих односа, стохастички модели одликују се одређеним бројем кључних елемената, од којих сваки

Modern approaches to inventory management rely on mathematical models, among which deterministic and stochastic stand out. While deterministic models start from predictable relationships, stochastic models are characterized by a certain number of key elements, each of which plays a very important role in construction and analysis. These are random

игра веома важну улогу у конструкцији и анализи. То су случајне променљиве, дистрибуције вероватноће и временски или просторни параметри. Омогућавају разумевање и управљање неизвесностима кроз примену метода попут Марковљевих, Гаусових и Левијевих процеса, Монте Карло симулација и других пробабилитичких техника. Стохастички системи играју виталну улогу у решавању инхерентних неизвесности у управљању залихама материјала, нудећи доносиоцима одлука алате за побољшање ефикасности, смањење трошкова и побољшање укупне отпорности производног процеса.

Истраживања су реализована на теоријском и примењеном практичном нивоу. Посебан значај истраживања окренут је ка рударству, где управљање залихама процесних материјала (енергија, реагенси, резервни делови) директно утиче на континуитет производње и економску одрживост. Експериментална истраживања спроведена су на реалном субјекту, односно на подацима из технолошко флотацијског процеса, Рудника и флотације Рудник доо., која су показала да динамичко стохастичко моделирање успешно осликава реалне промене у потрошњи процесних материјала. Анализа десетогодишњег праћења потрошње процесних материјала у флотацији Рудник, полиметаличне руде олова, цинка и бакра, омогућила је дефинисање оптималних интервала месечних залиха потрошног материјала и њихову економску валидацију. Резултати су показали да оптимизацијом залиха могу да се постигну значајне уштеде на месечном, кварталном и вишегодишњем нивоу, уз истовремено обезбеђивање континуитета производног процеса. Упоредна анализа просечних, максималних и оптималних залиха потврдила је да модел прецизно осликава динамику реалног система, чиме се потврђује његова практична применљивост.

Закључак истраживања јасно указује да је динамичко стохастичко моделирање валидан и ефикасан алат за оптимизацију залиха уопште у индустрији али са акцентом на припрему минералних сировина и

variables, probability distributions and temporal or spatial parameters. They enable understanding and management of uncertainties through the application of methods such as Markov, Gaussian and Lévy processes, Monte Carlo simulations and other probabilistic techniques. Stochastic systems play a vital role in resolving the inherent uncertainties in material inventory management, offering decision makers tools to improve efficiency, reduce costs and improve the overall resilience of the production process.

The research was carried out at the theoretical and applied practical level. The research is of particular importance in mining, where the management of process material inventories (energy, reagents, spare parts) directly affects the continuity of production and economic sustainability. Experimental research was conducted on a real subject, i.e. on data from the technological flotation process, the Rudnik and Flotation Rudnik doo, which showed that dynamic stochastic modeling successfully reflects real changes in the consumption of process materials. Analysis of ten-year monitoring of the consumption of process materials in the flotation plant Rudnik, a polymetallic ore of lead, zinc and copper, enabled the definition of optimal intervals for monthly supplies of consumables and their economic validation. The results showed that inventory optimization can achieve significant savings on a monthly, quarterly, and multi-year basis, while ensuring the continuity of the production process. A comparative analysis of average, maximum, and optimal inventories confirmed that the model accurately reflects the dynamics of the real system, thus confirming its practical applicability.

The conclusion of the research clearly indicates that dynamic stochastic modeling is a valid and effective tool for optimizing inventories in general in industry, but with an emphasis on the preparation of mineral raw materials and mining. Theoretical considerations and analyses revealed that the problem has not been researched adequately for its importance for the preparation of mineral raw materials and mining. This dissertation, in addition to its ba-

рударство. Из теоријских разматрања и анализа проистекла су сазнања да је проблем не истражен примерено његовом значају за припрему минерални сировина и рудаство. Ова дисертација, осим основног научног значаја има и афирмативну функцију ширења видокруга о значају примене стохастичке оптимизације залиха, као и економске бенефите за минерално-сировински и индустријски комплекс у најширем смислу. На овај начин се доприноси развоју теорије и праксе управљања залихама, уз наглашавање значаја смањења залиха и повећања ефикасности као глобалног тренда. Резултати потврђују да се применом оваквих модела могу остварити значајне економске користи, смањити ризици од застоја у производњи и повећати отпорност пословних система, што представља важан допринос научној и практичној области управљања залихама.

sis scientific significance, also has the affirmative function of broadening the horizons of the importance of applying stochastic inventory optimization, as well as the economic benefits for the mineral-raw materials and industrial complex in the broadest sense. In this way, it contributes to the development of inventory management theory and practice, while emphasizing the importance of reducing inventory and increasing efficiency as a global trend. The results confirm that the application of such models can achieve significant economic benefits, reduce the risks of production downtime, and increase the resilience of business systems, which represents an important contribution to the scientific and practical field of inventory management.





## ЗНАЧАЈНИ ДОГАЂАЈИ / SIGNIFICANT EVENTS

СВЕЧАНА АКАДЕМИЈА ПОВОДОМ ЈУБИЛЕЈА 65 ГОДИНА РАДА РУДАРСКОГ ИНСТИТУТА одржана је 26. септембра 2025. године у Великој сали театра Маднелианум у Земуну. Скупу су присуствовали представници Министарстава, декани факултета, универзитетски професори, бројни директори института, компанија и пословни сарадници. Окупљенима су се обратили: директорка Рударског института др Светлана Полавдер и доскорашњи директор др Милинко Радосављевић, а затим у име ресорног Министарства науке, технолошког развоја и иновација др Марија Ђњатовић, државни секретар, као и др Иван Јанковић, помоћник министра, Министарства рударства и енергетике. Након презентације историјата Рударског института и краћег

THE ACADEMY CEREMONY ON THE OCCASION OF THE 65TH ANNIVERSARY OF THE MINING INSTITUTE was held on September 26, 2025 in the Great Hall of the Madnelianum Theater in Zemun. The meeting was attended by representatives of ministries, faculty deans, university professors, numerous directors of institutes and companies, and business associates. The audience was addressed by: Director of the Mining Institute Ltd, dr Svetlana Polavder and the previous director, dr Milinko Radosavljević, and then, on behalf of the relevant Ministry of Science, Technological Development and Innovation, dr Marija Gnjatović, State Secretary, as well as dr Ivan Janković, Assistant Minister of the Ministry of Mining and Energy. After a presentation of the history of Mining Institute and a short musical



Галерија фотографија са свечане Академије доступна је на сајту Рударског института д.о.о.  
<https://ribeograd.ac.rs/>

A photo gallery from the ceremonial Academy is available on the Mining Institute Ltd. website  
<https://ribeograd.ac.rs/>

музичког програма, додељене су плакете за хвалности за дугогодишњу сарадњу заслужним Институцијама и компанијама.

Плакете су уручили директорка др Светлана Полавдер и њен заменик Марко Павловић. Добитници признања су: Министарство науке, технолошког развоја и иновација, Министарство рударства и енергетике, Електропривреда Србије АД Београд, Serbia Zijin Copper Bor, Serbia Zijin Mining Bor, Рударско геолошки факултет у Београду, Геолошки завод Србије, Енергопројект Ентел АД Београд, ПД Георад д.о.о, Lafarge Србија д.о.о. Веоџин, Рудник угља Ковин АД, Рудник и флотација Рудник д.о.о, Јавно предузеће за подземну експлоатацију угља Ресавица, ЈКП Београдски метро и воз, Институт МОЛ д.о.о, VV Proing д.о.о. Веоград, Институт за нуклеарне науке Винча, Институт за водопривреду Јарослав Черни, Делта инжењеринг д.о.о. Београд, Аеролаб д.о.о. Београд.

Посебна плакета, за изузетан допринос науци и издавачкој делатности Рударског института додељена је академику проф. др Слободану Вујићу.

Приредио: др Милинко Радосављевић

program, plaques of gratitude for long-term cooperation were awarded to deserving institutions and companies.

The plaques were presented by Director dr Svetlana Polavder and her deputy Marko Pavlović. The recipients of the awards are: Ministry of Science, Technological Development and Innovation, Ministry of Mining and Energy, Serbian Electric Power Company AD Belgrade, Serbia Zijin Copper Bor, Serbia Zijin Mining Bor, Faculty of Mining and Geology in Belgrade, Geological Survey of Serbia, Energoprojekt Entel AD Belgrade, PD Georad Ltd, Lafarge Serbia Ltd. Beočin, Kovin Coal Mine AD, Rudnik and flotation Rudnik Ltd, Public Company for Underground Coal Exploitation Resavica, PUC Belgrade Metro and Train, Institute MOL Ltd, VV Proing Ltd. Belgrade, Institute of Nuclear Sciences Vinča, Institute of Water Management Jaroslav Černi, Delta Engineering Ltd. Belgrade, Aerolab Ltd. Belgrade.

A special plaque for exceptional contribution to science and publishing activities of the Mining Institute was awarded to Academician prof. dr Slobodan Vujić.

Edited by dr Milinko Radosavljević

## КЊИГЕ / BOOKS

### ИСТОРИЈСКА ВЕРТИКАЛА РУДАРСТВА НА ПРОСТОРУ СРБИЈЕ HISTORICAL VERTICAL OF MINING IN SERBIA

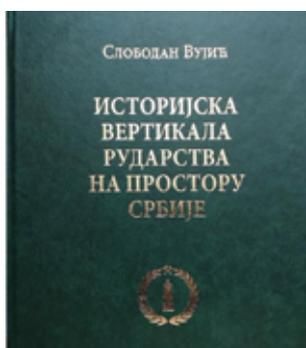
Слободан Вујић / Slobodan Vujić

РУДАРСКИ ИНСТИТУТ ДОО БЕОГРАД, ИНФОРМАТИКА АД БЕОГРАД /  
MINING INSTITUTE LTD BELGRADE, INFORMATIKA AD BELGRADE

ISBN 978-86-82673-23-1, DOI: 10.25075/MO2024.01, COBISS.SR-ID 156399369, 2024, (527)

Обимно, јединствено, драгоцено научно дело, настало као резултат вишедеценијских истраживања и прикупљања историографске грађе.

Од можда највећег човековог открића да комад стене у вагри прелази у метал, сазнајним процесом до данас, рударство се као друштвена супструктура, уздигло или стагнирало, доносило благостања или страдања и утицало на историјске токове. Два су раздобља најдинамичнијег развоја и успона српског рударства – време процвата средњовековне српске државе (рударске велесиле тог времена) и друга половина XX века. У средњовековној држави рударство је било окосница богатства, економске, политичке, војне моћи, културног и духовног уздицања. Током друге половине прошлог столећа, која је у књизи исцрпно обрађена, рударство је ослонац послератне обнове разорене и опустошене земље, економског и општег развоја, с важном демографском, социјалном, регионално развојном и немерљиво значајном функцијом у очувању суверенитета земље. Захваљујући и искључиво домаћој памети – науци, знању и стручности рударских, геолошких и инжењера блиских струка школованих на нашим школама, у том времену произведено је 36 милиона тона нафте, 27 милијарди метара кубних гаса и 2,133 милијарде тона чврстих минералних сировина, од тога: 1,104 милијарде тона угља, 0,754 милијарде тона полиметаличних руда обојених и племенитих метала и 275 милиона тона неметаличних минералних сировина.



A comprehensive, unique, valuable scientific work, created as a result of decades of research and collection of historiographical material.

From perhaps man's greatest discovery that a piece of rock in fire turns into metal, through a cognitive process to the present day, mining as a social substructure has risen or stagnated, brought prosperity or suffering, and influenced historical trends. There are two periods of the most dynamic development and rise of Serbian mining – the time of the heyday of the medieval Serbian state (the mining superpower of that time) and the second half of the 20th century. In the medieval state, mining was the backbone of wealth, economic, political, military power, and cultural and spiritual advancement. During the second half of the last century, which is exhaustively covered in the book, mining was the mainstay of the post-war reconstruction of the devastated and devastated country, of economic and general development, with an important demographic, social, regional development and immeasurably significant function in preserving the country's sovereignty. Thanks to the exclusively domestic intelligence – the science, knowledge and expertise of mining, geological and related engineers educated at our schools, during that time 36 million tons of oil, 27 billion cubic meters of gas and 2.133 billion tons of solid mineral raw materials were produced, of which: 1.104 billion tons of coal, 0.754 billion tons of polymetallic ores of non-ferrous and precious metals and 275 million tons of non-metallic mineral raw materials.

Текст књиге прегледан, хармоничан, хронолошки структуриран, обухвата и обрађује развој рударства на простору Србије, од неолита до данас, у осам целина: Корени (Камено доба); Римска епоха; Средњи век; Период аустријске окупације; XIX век; Прва половина XX века; Друга половина XX века и Почетак XXI века.

Настајање оваквог дела подразумева широку образованост, неоспоран научни и стручни ауторитет, посвећеност струци, мотивисаност и истрајност, огромну акумулацију знања, упућеност у историографију, реконструкцију и корелацију историјски дистантних секвенци у трајању осам миленијума.

Значај монографије за рударство, геологију, историјску науку и друштвену заједницу, није само у аутентичности интегрисаног приказа историјске вертикале развоја рударства на простору Србије већ и у чувању од заборављања фактографије о српском рударству новијег доба.

Књига је издата уз помоћ Министарства науке, технолошког развоја и иновација, Рударског института д.о.о. Београд, Информатике а.д. Београд и Института за рударство и металургију Бор.

Приредила: др Јасмина Нешковић

The text of the book, reviewed, harmonious, and chronologically structured, encompasses and discusses the development of mining in Serbia, from the Neolithic to the present day, in eight parts: Roots (Stone Age); Roman Era; Middle Ages; Period of Austrian Occupation; 19th Century; First Half of the 20th Century; Second Half of the 20th Century and Beginning of the 21st Century.

The creation of such a work implies broad education, undisputed scientific and professional authority, dedication to the profession, motivation and perseverance, a huge accumulation of knowledge, familiarity with historiography, reconstruction and correlation of historically distant sequences spanning eight millennia.

The significance of the monograph for mining, geology, historical science and the social community lies not only in the authenticity of the integrated presentation of the historical vertical of mining development in Serbia, but also in preserving from oblivion the facts about Serbian mining in recent times.

The book was published with the assistance of the Ministry of Science, Technological Development and Innovation, the Mining Institute Ltd. Belgrade, Informatika a.d. Belgrade and the Institute of Mining and Metallurgy Bor.

Edited by dr Jasmina Nešković

ИДЕЈНА РЕШЕЊА ЗАВРШНОГ ИЗГЛЕДА ПОВРШИНСКИХ КОПОВА  
НЕМЕТАЛИЧНИХ МИНЕРАЛНИХ СИРОВИНА  
IDEAL SOLUTIONS FOR THE FINAL LAYOUT OF SURFACE MINES  
OF NON-METALLIC MINERAL RAW MATERIALS

Драган Милошевић / Dragan Milošević

РУДАРСКИ ИНСТИТУТ ДОО БЕОГРАД / MINING INSTITUTE LTD BELGRADE

ISBN 978-86-82673-25-5, DOI: 10.5937/MO2025.01, COBISS.SR-ID 170361353, 2025, (297)

У књизи су обрађена лежишта кречњака, доломитичних кречњака, доломита, доломитског мермера, мермера, мермерисаног кречњака, дијабаза, спилито – дијабаза, андезит – базалта, габра, дацита, гранита, глине, зеолитисаног туфа, песка и бентонита. Анализирани су геолошки, генетски, техничко – експлоатациони, технолошки, регионални, тржишни, еколошки, друштвено – економски фактори и природни показатељи. У сваком од поглавља описан је карактеристичан геолошки профил



The book covers deposits of limestone, dolomitic limestone, dolomite, dolomitic marble, marble, marbled limestone, diabase, spilite-diabase, andesite-basalt, gabbro, dacite, granite, clay, zeolitic tuff, sand and bentonite. Geological, genetic, technical-exploitation, technological, regional, market, ecological, socio-economic factors and natural indicators were analyzed. Each chapter describes a characteristic geological profile of the deposit. In addition to morphology, outlines of lithology, geological structure of

лежишта. Поред морфологије, дати су сижеи литологије, геолошке грађе лежишта, хидрографије, климатских прилика, могућности примене минералне сировине, начина експлоатационих активности и др. У скоро свим поглављима приказани су карактеристични прорачуни, какви се користе приликом израде техно – економске оцене, која се ради у оквиру елабората о резервама.

Очигледна је жеља и замисао аутора књиге да читаоцима омогући што већи број илустрација површинске експлоатације лежишта неметаличних минералних сировина. На основу стечених сазнања и искуства, аутор је на обрађеним лежиштима приказао захвате геолошких резерви израдом идејног решења завршног изгледа површинског копа.

Вредности овог дела несумњиво је допринело велико лично професионално знање и искуство аутора у овој области. Комбинацијом теоријског знања и емпиријског искуства аутора представљен је својеврстан текст и графика намењени едукацији геолошких и рударских инжењера. Очито да је аутор уложио много труда у израду овог рукописа, који представља високопрофесионално и стручно дело које може послужити као драгоцен извор информација за све који су заинтересовани за ову област.

Приредила: др Јасмина Нешковић

the deposit, hydrography, climatic conditions, possibilities of application of mineral raw materials, methods of exploitation activities, etc. are given. Almost all chapters present characteristic calculations used in the preparation of a techno-economic assessment, which is carried out as part of a reserves study.

It is obvious that the author of the book wanted and intended to provide readers with as many illustrations as possible of the surface exploitation of non-metallic mineral deposits. Based on the acquired knowledge and experience, the author presented the geological reserves in the worked deposits by developing a conceptual solution for the final appearance of the open pit mine.

The value of this work has undoubtedly been contributed by the author's extensive personal professional knowledge and experience in this field. The combination of theoretical knowledge and empirical experience of the author presents a unique text and graphics intended for the education of geological and mining engineers. It is clear that the author has put a lot of effort into the preparation of this manuscript, which represents a highly professional and expert work that can serve as a valuable source of information for anyone interested in this field.

Edited by Dr Jasmina Nešković

ОДЕЉЕЊЕ РУДАРСКИХ, ГЕОЛОШКИХ И СИСТЕМСКИХ НАУКА АКАДЕМИЈЕ  
ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА СРБИЈЕ, САВЕЗ ИНЖЕЊЕРА РУДАРСТВА И ГЕОЛОГИЈЕ  
СРБИЈЕ, УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ – РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ  
DEPARTMENT OF MINING, GEOLOGICAL AND SYSTEM SCIENCES OF  
THE ACADEMY OF ENGINEERING SCIENCES OF SERBIA, ASSOCIATION OF MINING  
AND GEOLOGICAL ENGINEERS OF SERBIA, UNIVERSITY OF BELGRADE – FACULTY  
OF MINING AND GEOLOGY

Уредник Слободан Вујић / Editor Slobodan Vujić

ISBN 978-86-908506-0-0, COBISS.SR-ID 179646473, 2025, (213)

Непожељна особина присутна у људима је сумњичавост према аутобиографијама, самоказивањима и сличним записима, због сумње у прикривање личних особина, оправдавање и умањивање тежине извесних поступака, истицање непостојећег, улепшавање успомена, потискивање или брисање из сећања догађаја и људи који нису по вољи или идеализовање оних који су повлађени, због свесног или



An undesirable trait present in people is suspicion of autobiographies, self-narratives and similar records, due to suspicion of concealing personal characteristics, justifying and minimizing the severity of certain actions, emphasizing the non-existent, embellishing memories, suppressing or erasing from memory events and people that are not to their liking or idealizing those who are favored, due to conscious or sub-

подсвесног надгорњавања са мишљењем о себи, и у жељи да се сопствена слика ретушира и улепша.

С намером недавања разлога за било какву сумњичавост, свесни да је чин сећања наша обавеза, Одељење рударских, геолошких и системских наука (ОРГСН) Академије инжењерских наука Србије (АИНС) овом монографијом жели да чува сећање на живот и дело тридесет и једног преминулог колеге – члана Одељења. Сећање на њих је и део сагледавања и разумевања настајања и развоја АИНС и ОРГСН, важно не само данас, већ важније сутра, прекосутра, за време које долази и неминовно једе сећања. Рад на припреми и писању монографије, петнаест аутора, трајао је око три године. Пратиле су га тешкоће претежно због несређености биографске и оскудности фото-документације.

Материјалну и техничку подршку која је омогућила да монографија угледа светлост дана, пружили су: Факултет организационих наука Београд, Институт за водопривреду „Јаролав Черни” Београд, Савез инжењера рударства и геологије Србије и Рударско – геолошки факултет Београд.

conscious inflating one's opinion of oneself, and in the desire to retouch and embellish one's own image.

With the intention of not giving reason for any suspicion, aware that the act of remembering is our obligation, the Department of Mining, Geological and Systems Sciences (DMGSS) of the Academy of Engineering Sciences of Serbia (AESS) wishes to preserve the memory of the life and work of thirty-one deceased colleagues - members of the Department with this monograph. Remembering them is also part of observing and understanding the emergence and development of AESS and DMGSS, important not only today, but more importantly tomorrow, the day after tomorrow, for the time that is coming and inevitably eats memories. The work on preparing and writing the monograph, fifteen authors, lasted about three years. It was accompanied by difficulties mainly due to the disorganization of the biographical and scarcity of photo documentation.

The material and technical support that enabled the monograph to see the light of day was provided by: the Faculty of Organizational Sciences Belgrade, the Institute for Water Management "Jaroslav Černi" Belgrade, the Association of Mining Engineers and Geologists of Serbia and the Faculty of Mining and Geology Belgrade.

НАУЧНИ И СТРУЧНИ СКУПОВИ / SCIENTIFIC AND PROFESSIONAL  
MEETINGS

Најава / Announce

РУДАРСТВО И ГЕОЛОГИЈА ДАНАС  
MINING AND GEOLOGU TODAY

IV МЕЂУНАРОДНИ СИМПОЗИЈУМ / IV INTERNATIONAL SYMPOSIUM

26-27. 11. 2026.



ОРГАНИЗАТОР / ORGANIZER



РУДАРСКИ ИНСТИТУТ ДОО БЕОГРАД / MINING INSTITUTE LTD BELGRADE

У намери успостављања делотворног дијалога о актуелним проблемима, научним, стручним, иновационим, производним токовима и трендовима у рударству и геологији, Рударски институт д.о.о. Београд, традиционално, организује IV међународни научни скуп „Рударство и геологија данас”. Жеља нам је да симпозијум остане постојана спона повезивања стручњака како балканских тако и других земаља, као и прилика за оцену стања, представљање резултата, размену искустава и знања, упознавања идеја и иновација у рударству и геологији. Ови циљеви су остварљиви само заједничком интеракцијом, те вас са задовољством позивамо да нашу визију подржите учествовањем у раду, а компаније позивамо да постану партнери симпозијума.

With the aim of establishing an efficient dialogue on current problems, scientific, professional, innovative, manufacturing developments and trends in mining and geology, the Mining Institute Ltd. Belgrade, traditionally organizing the IV International scientific symposium “Mining and Geology Today”. Our wish is that the Symposium will remain a permanent link connecting experts from the Balkan and other countries, as well as an opportunity for assessing the state, presenting results, exchanging experiences and knowledge, introducing ideas and innovations in mining and geology. These goals can only be achieved through joint interaction, so we are pleased to invite you to support our vision by participating in the work, and we invite companies to become partners of the Symposium.

ИНФОРМАЦИЈЕ / INFORMATION  
е-пошта / e-mail: [rgd@ribeograd.ac.rs](mailto:rgd@ribeograd.ac.rs)



ЈЕДИНСТВЕНА ИДЕНТИФИКАЦИЈА АУТОРА  
OPEN RESEARCH AND CONTRIBUTOR ID (ORCID)

Срећко Стопић / Srećko Stopić.....	0000-0002-1752-5378	стр./р. 51
Душко Костић / Duško Kostić .....	0000-0002-4115-8571	стр./р. 51
Митар Перушић / Mitar Perušić .....	0000-0001-9335-1405	стр./р. 51
Florian Wegmann / Florian Wegmann.....	0000-0001-7093-187X	стр./р. 51
Ненад Николић / Nenad Nikolić.....	0000-0002-5730-7391	стр./р. 51
Bernd Friedrich / Bernd Friedrich.....	0000-0002-2934-2034	стр./р. 51
Vítázoslav Krúpa / Vítázoslav Krúpa .....	0009-0004-5030-0914	стр./р. 63
Mária Bali Hudáková / Mária Bali Hudáková .....	0000-0002-3897-4762	стр./р. 63
Edita Lazarová / Edita Lazarová .....	0000-0003-4682-6433	стр./р. 63
Pavol Vavrek / Pavol Vavrek.....	0000-0002-1125-1361	стр./р. 63
Alexander Kiovský / Alexander Kiovský.....	0009-0002-7278-0360	стр./р. 63
Lucia Ivaničová / Lucia Ivaničová .....	0000-0003-3844-9703	стр./р. 63
Иван Стевовић / Ivan Stevović .....	0000-0003-4729-9241	стр./р. 77
Diana Mihaela Țîrcă / Diana Mihaela Țîrcă.....	0000-0001-9155-9616	стр./р. 77
Драган Милошевић / Dragan Milošević.....	0000-0003-3714-1950	стр./р. 97
Драго Аћимовић / Drago Aćimović.....	0000-0001-8476-9869	стр./р. 97
Раде Шарац / Rade Šarac.....	0000-0003-2163-9631	стр./р. 97, 153
Жељко Праштало / Željko Praštalo .....	0000-0001-5459-4076	стр./р. 153



## УПУТСТВО АУТОРИМА INSTRUCTION FOR AUTHORS

### Подношење чланака

Сва кореспонденција, укључујући подношење чланака и поступак рецензије, обавља се путем е-поште главног и одговорног уредника.

**Чланци се разврставају у категорије** у складу са Правилником о категоризацији и рангирању научних часописа („Службени гл. РС”, бр 80/24, 85/25 и 110/25, Прилог 1) и то као:

#### *Научни чланци*

Оригиналан научни рад  
Прегледни рад  
Претходно саопштење  
Научна критика

#### *Стручни чланци*

Стручни рад  
Информативни прилог  
Приказ  
Стручна критика

### Припрема радова

Часопис Рударски гласник нема ограничења у дужини чланака, али исти не би требало да буду краћи од 5 страница. Чланке треба писати на српском (ћирилицом) и енглеском језику, са следећом структуром: наслов, имена и презимена аутора, назив установе аутора (афилијације), е-маил аутора за кореспонденцију, ORCID број свих аутора

### Submission of articles

All correspondence, including the submission of articles and the requests for revisions, will be done through the e-mail address of editor in chief.

**Types of Contribution** (Pravilnik o kategorizaciji i rangiranju naučnih časopisa „Službeni gl. RS”, br 80/24, 85/25 i 110/25, Prilog 1):

#### *Scientific articles*

Original Scientific Paper  
Review  
Preliminary Report  
Critical Review

#### *Expert articles*

Expert Paper  
Informative article  
Expert Review  
Expert Criticism

### Preparation of articles

Journal Bulletin of Mines has no restrictions on the length of the articles, but articles should not be shorter than 5 pages. Articles should be written in Serbian (Cyrillic) and English, with the following structure: title, authors, affiliations, e-mail of corresponding author, ORCID number of all authors (if they have), abstract, key words, main text, acknowledgements (option), references. In main text use no numbered

(уколико их имају), сажетак, кључне речи, текст чланка, захвалница (уколико постоји) и литература. У тексту чланка не користити нумерисане наслове за следећа поглавља као што су: увод, експериментална истраживања, резултати, дискусија и закључак.

Радове треба припремити на стандардном А4 формату (210×297 mm). Све маргине треба подесити на 25 mm (горња, доња, лева и десна).

Текст рада писати у Times New Roman fontu, 12 pt, justified, проред један ред (single). Размак пре и после пасуса подесити на 6 pt. Сажетак не би требало да прелази 200 речи. За опис садржаја рада, испод сажетка, треба навести највише пет кључних речи.

Све табеле и илустрације (слике и графиконе) треба да имају одговарајући назив и да буду нумерисане редоследом појављивања у тексту, уз обавезно позивање на њих у тексту. Нумерације и називе табела писати увек изнад табела. Нумерације и називе илустрација (слика) писати увек испод илустрација (слика). Уколико илустрација (слика) није изворни допринос аутора обавезно је навођење извора (ако је илустрација већ објављена), односно аутора од којег је преузета (ако илустрација још није објављена).

Обавезно је позивање на литературу у тексту чланка по редоследу појављивања у тексту, наведене у угластим заградама, нпр. [1, 3]. Литературе се не преводе на језик рада. Наслови цитираних домаћих часописа дају се у оригиналном, пуном или скраћеном, али никако у преведеном облику.

Листу литературе треба припремити за различите врсте референци на следећи начин:

- [1] Аутор, А. Б., Аутор, Б. Ц, Наслов чланка, Наслов часописа, 48 (1), 2024, 10-20. <https://doi.org/XXX>
- [2] Аутор, Ц, Наслов чланка, Назив конференције, Град, Држава, ISBN Зборника, 2024, 21-41. <https://doi.org/XXX>
- [3] Аутор, Д, Наслов књиге, бр. издање, Издавач, Град, 2020, стр., ISBN књиге

headings for the following sections: introduction, experimental, results, discussion and conclusions.

The articles should be prepared on the standard A4 format (210×297 mm). All the margins should be set at 25 mm (top, bottom, left and right).

Text of the article should be written in Times New Roman, 12 pt, justified, single line spacing. Spacing before and after paragraphs 6 pt. The Abstract should not exceed 200 words. A maximum of five key words should be indicated below the abstract to describe the content of the article.

All tables and figures should have an appropriate title and be numbered in the order of appearance in the text, with mandatory reference to them in the text. Table numbers and titles are always above the tables. The numbering and titles of the pictures are always below the pictures. If the figures is not the original contribution of the author, it is mandatory to cite the source (if the figures has already been published), or the author from whom it was taken (if the figures has not yet been published).

References to literature in the text of the article must be cited in the order of their appearance in the text, listed in square brackets, for example [1, 3]. References to literature are mandatory in the text of the article. References are not translated into the language of the paper. Titles of cited domestic journals are given in the original, full or abbreviated form, but never in translated form.

Reference list should be prepared for different types of references, as follows:

- [1] Author, A.B., Author, B.C, Article title, Journal title, 48 (1), 2024, 10-20. <https://doi.org/XXX>
- [2] Author, C, Article title, The name of the Conference, City, Country, Proceedings ISBN, 2024, 21-41. <https://doi.org/XXX>
- [3] Author, D, Book title, No. Edition, Publisher, City, 2020, pages, ISBN of the book

- [4] Аутор, Е. Наслов поглавља, Наслов књиге (Е. Уредник), Издавач, Град, 2022, 17-29, ISBN књиге
- [5] Аутор, Е. Наслов дисертације, Универзитет, Град, Држава 2022, стр.
- [6] Аутор, Ф. Наслов извештаја, 2021, линк веб страница, (датум приступа).

Од аутора се тражи да наведу да је достављени чланак оригиналан рад или проширени конференцијски рад.

Уколико се ради о проширеном раду са конференције, аутори треба да дају резиме који објашњава примењена побољшања у верзији чланка за часопис. Рад треба проширити до величине истраживачког чланка са најмање 30% новог садржаја. Одговарајући рад са конференције треба цитирати и забележити на првој страни проширеног чланка. Моле се аутори да уз достављени чланак приложе и свој релевантни, раније објављени рад.

### Обавештење

Часопис Рударски гласник излази једанпут у годину дана као двоброј. Чланци се објављују на српском и енглеском језику, а објављивање је бесплатно.

Пристигле чланке прегледају рецензенти који су стручњаци у датој области. Обавештење о прихватању чланка, аутори добијају од стране уредника.

Чланак који је већ објављен у неком од часописа не може се објавити у часопису Рударски гласник.

Радови, у Рударском гласнику, ће се штампати у изворном облику, аутори су одговорни за презентоване податке у радовима.

- [4] Author, E, Chapter title, Book title (E. Editor), Publisher, City, 2022, 17-29, ISBN of the book
- [5] Author, E, Dissertation title, University, City, Country 2022, pages
- [6] Author, F, Report title, 2021, link of web pages, (accessed date).

Authors are asked to disclose that the submitted article is original work or extended conference paper.

If it is extended conference paper, authors should be provide summary explaining the improvements made in the journal version. The article should be expanded to the size of a research article with at least 30 % of new data. The conference paper should be cited and noted on the first page of the submitted article. Authors are requested to attach to the submitted articles their relevant, previously published paper.

### Notification

Journal Bulletin of Mines is published as a double-issue, once a year. Articles will be published in Serbian and English, publication is free of charge.

Submitted articles will be reviewed by reviewers who are experts in the given area of research. Authors will be notified of the acceptance of the article by the editor.

A article that has already been published in one journal cannot be published in journal Bulletin of Mines.

The papers in the Mining Bulletin will be printed in their original form, and the authors are responsible for the data presented in the papers.

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

622+55

**РУДАРСКИ гласник** = Bulletin of mines / главни и одговорни уредник Јасмина Нешковић. - 1962, бр. 1- .  
- Београд : Рударски институт, 1962- (Београд : Klik commerce). - 30 cm

Годишње. - Текст на срп. (ћир.) и енгл. језику.  
Прекид у излажењу од 2000 - 2013. год. - Наставља традицију часописа «Рударски гласник» из 1903.  
Друго издање на другом медијуму: Рударски гласник (Online) = ISSN 2956-2457  
ISSN 0035-9637 = Rudarski glasnik  
COBISS.SR-ID 4226050



E-ISSN 2956-2457



ISSN 0035-9637