

XI mednarodna konferencija
11th International Conference

**UGALJ I KRITIČNI
MINERALI**
**COAL AND CRITICAL
MINERALS**

CCM 2023

**Zbornik radova
Proceedings**



Zlatibor, 11-14. oktobar
Zlatibor, 11-14th October

**XI MEĐUNARODNA KONFERENCIJA
CCM 2023**

Zlatibor, 11-14. oktobar 2023.

**11th INTERNATIONAL CONFERENCE
CCM 2023**

Zlatibor, 11-14th October 2023

**ZBORNIK RADOVA
PROCEEDINGS**

XI MEĐUNARODNA KONFERENCIJA CCM 2023
ZBORNIK RADOVA

11th INTERNATIONAL CONFERENCE CCM 2023
PROCEEDINGS

Izdavač/Publisher

Jugoslovenski komitet za površinsku eksploataciju

Urednik/Editor

Prof. dr Vladimir Pavlović

Tehnička priprema/Technical preparation

Natalija Pavlović

Luka Crnogorac

Grafičko rešenje korica/Graphic design

Katarina Urošević

© Sva prava zadržava izdavač

ISBN - 978-86-83497-30-0

XI MEĐUNARODNA KONFERENCIJA

CCM 2023

11th INTERNATIONAL CONFERENCE

CCM 2023

ORGANIZATORI/ORGANIZERS

Jugoslovenski komitet za površinsku eksploataciju
Savez inženjera rudarstva i geologije Srbije
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

MEĐUNARODNI NAUČNI ODBOR

Prof. dr Vladimir Pavlović (Srbija)
Prof. dr Carsten Drebenstedt (Nemačka)
Prof. dr Božo Kolonja (Srbija)
Prof. dr Michael Karmis (SAD)
Prof. dr Dragan Ignjatović (Srbija)
Prof. dr Michael Galetakis (Grčka)
Prof. dr Nikola Lilić (Srbija)
Prof. dr Maria Lazar (Rumunija)
Prof. dr Vladislav Kecojević (SAD)
Prof. dr Tomislav Šubaranović (Srbija)
Prof. dr Pavol Rybar (Slovačka)
Prof. dr Ljuben Totev (Bugarska)
Prof. dr Monika Hardygora (Poljska)
Prof. dr Zoran Panov (Severna Makedonija)
Prof. dr George Panagiotou (Grčka)
Doc. dr Ivan Janković (Srbija)
Dr Larry Thomas (Velika Britanija)
Dr Cvjetko Stojanović (BIH, Republika Srpska)
Prof. dr Christos Roumpos (Grčka)

Zlatibor, 11-14. oktobar 2023.

SPONZORI KONFERENCIJE

Zlatni sponzor



Srebrni sponzor



Bronzani sponzori



Ostali sponzori



SADRŽAJ

ENERGETSKA EFIKASNOST ELEKTROMOTORA NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA	4
<u>Aleksandrović S., Jeftenić I.</u>	
METODOLOGIJA ODREĐIVANJA INDIKATORA ISKORIŠĆENOSTI I EFIKASNOSTI OSNOVNE I POMOĆNE RUDARSKE MEHANIZACIJE NA POVRŠINSKOM KOPU DRMNO	10
<u>Anđelić Z., Simić G., Todorović F.</u>	
PRIMENA DRENAŽNIH OBJEKATA U CILJU POBOLJŠANJA GEOTEHNIČKIH PARAMETARA PODLOGE UNTRAŠNJEG ODLAGALIŠTA POVRŠINSKOG KOPA DRMNO	20
<u>Čolaković V., Milošević D., Čanović V., Grujičić S., Ćorluka S.</u>	
HRONOLOŠKI PREGLED RAZVOJA POVRŠINSKE EKSPLOATACIJE LIGNITA U SRBIJI	23
<u>Dimitrijević B., Gaćina R., Vučković B.</u>	
ANALIZA DINAMIKE RAZVOJA EKSPLOATACIJE UGLJA U JUŽNOM DELU STANARSKOG BASENA (POVRŠINSKI KOP OSTRUŽNJA)	32
<u>Durović M., Božić B., Đermanović S.</u>	
EKSPLOATACIJA LEŽIŠTA MRKOG UGLJA RUDNIKA SOKO NA POVRŠINSKOM KOPU BILJKINA STRUGA.....	38
<u>Kokerić S., Aksentijević Z., Mitić S., Vukojanc A., Milković M., Fići Đ., Radivojević D.</u>	
RETKI I RADIOAKTIVNI METALI REPUBLIKE SRBIJE I NJIHOV ZNAČAJ	48
<u>Kovačević J., Rabrenović D., Mijatović P., Kokot J.</u>	
OTKOPAVANJE OTKRIVKE I UGLJA U ZONI JAMSKIH RADOVA NA PK KOP 3.....	55
<u>Lončar S., Rašović L., Lukić M., Božić B.</u>	
TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE, OTPREME I DEPONOVANJA PEPELA IZ TE STANARI UZ KONTROLU KVALITETA PEPELA	61
<u>Lončar S., Ilić M., Todorović M., Pijunović R.</u>	
REZULTATI ISPITIVANJA PARAMETARA ČVRSTOĆE I DINAMIČKIH SVOJSTAVA MERMERA I MOGUĆNOST NJIHOVE KORELACIJE	75
<u>Majstorović-Necković J., Čebašek V., Rupar V.</u>	
UTICAJ GEOLOŠKE NEIZVESNOSTI U RAZVOJU RUDARSKIH PROJEKATA	82
<u>Marković P., Stevanović D., Banković M.</u>	
METODOLOGIJA DEFINISANJA I RAZVRSTAVANJA KRITIČNIH MINERALNIH SIROVINA NA OSNOVU KVANTITATIVNE PROCENE.....	94
<u>Mijatović P.</u>	
PROJEKTNA REŠENJA SANACIJE I STABILIZACIJE UNUTRAŠNJIH ODLAGALIŠTA NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA	104
<u>Milošević D., Makar N., Čolaković V., Ćorluka S.</u>	
PRIMENA DIGITALNE FOTOGRAFIJE U RUDNIKU RUDNIK	109
<u>Mirković N., Crnogorac L., Urošević K.</u>	
INDEKSI KONTROLE ODRŽAVANJA I KORIŠĆENJA ROTORNOG BAGERA.....	121
<u>Mitrović J., Jovančić P., Ignjatović D., Đenadić S., Miletić F.</u>	

A CRITICAL LOOK AT RAW MATERIALS CRITICALITY	130
<u>De Oliveira, D. P. S.</u>	
LEVERAGING REGIONAL MINING ACTIVITIES FOR SUSTAINABLE AND JUST ENERGY TRANSITION AND DECARBONISATION	135
<u>Pagouni C., Pavloudakis F., Karlopoulos E., Roumpos C.</u>	
MINING EQUIPMENT MANAGEMENT AND UTILIZATION IN A CLOSURE PHASE OF CONTINUOUS SURFACE MINES. A CIRCULAR ECONOMY APPROACH	145
<u>Pavloudakis F., Triantafyllou M., Roumpos C., Pyrtses S., Pilalidis K.</u>	
USKLAĐENOST FMEA I V-FMEA METODA UPRAVLJANJA RUDARSKIM RIZICIMA U ODNOSU NA ISO 31000:2018 STANDARD	150
<u>Pavlović N., Šubaranović T., Ignjatović D., Pavlović V.</u>	
ANALIZA STABILNOSTI JUŽNE KOSINE POVRŠINSKOG KOPA POLJA E U ZONI INFRASTRUKTURNIH OBJEKATA	160
<u>Petrović B.</u>	
UGALJ KOSOVA I METOHIJE I NJEGOV EKONOMSKI ZNAČAJ	168
<u>Simić S., Ilić B., Vujić S., Rabrenović D.</u>	
ISKUSTVA I NEDOUMICE PRIMENE PREVENTIVNOG PRISTUPA ZAŠTITE PROSTORA U ZONAMA POVRŠINSKIH KOPOVA MINERALNIH SIROVINA U REPUBLICI SRBIJI	176
<u>Šljivančanin D., Radeka M.</u>	
INFLUENCE OF DESIGN CRITERIA ON POLLUTANT REMOVAL EFFICIENCY WITHIN CONSTRUCTED WETLANDS.....	182
<u>Stankovic N.</u>	
MODEL DEFINISANJA KAPACITETA POVRŠINSKIH KOPOVA UGLJA PO KRITERIJUMU STABILNOSTI PROIZVODNJE.....	191
<u>Stojanović C.</u>	
KARAKTERISTIKE SISTEMA ODVODNJAVANJA POVRŠINSKOG KOPA RADLJEVO I ZNAČAJ RETENZIJE KLADNICA.....	202
<u>Stojković N., Jakovljević I., Čolović M.</u>	
ADVANCES IN UNDERSTANDING OF TECHNOLOGIES IN PROCESSING OF CRITICAL MINERALS208	
<u>Stopic S., Dertmann C., Friedrich B.</u>	
ANALIZA VARIJANTNIH REŠENJA IZRADE EKRANA NA POVRŠINSKOM KOPU DRMNO	213
<u>Šubaranović T., Pavlović N., Janković I.</u>	
DEFINISANJE CILJEVA I EFEKTI PRIMENE IZMENJENOG ZAKONODAVNOG OKVIRA ZAKONA O RUDARSTVU I GEOLOŠKIM ISTRAŽIVANJIMA REPUBLIKE SRBIJE	219
<u>Tomić A.</u>	
HOW TO TRIGGER THE YOUNGSTERS' INTEREST IN THE RAW MATERIAL SECTOR AND IMPROVING PUBLIC ACCEPTANCE: THE ROLE OF EDUCATION	228
<u>Torreggiani A., Zanelli A., Lucentini R., Polo E., Forini L.</u>	
PRELIMINARNO RAZMATRANJE MINERALNE PROIZVODNJE KAO OSNOVE MINERALNE EKONOMIJE	234
<u>Tošović R.</u>	
NEKI ASPEKTI FINANSIJSKE POLITIKE U ODLUČIVANJU I POSLOVANJU PREDUZEĆA MINERALNOG	

SEKTORA	242
<u>Tošović R.</u>	
IZRADA DRENAŽNIH KANALA U PODINI POVRŠINSKOG KOPA DRMNO – ZAPUNA LOMLJENIM KAMENIM I POKRIVANJE GEOTEKSTILOM.....	249
<u>Vojnić M., Stevanović-Petrović N., Zdravković J.</u>	
HEAVY METALS (ZN, CU, PB) IN LIGNITE AND SOIL OF KOSTOLAC-KOVIN AND KOLUBARA COAL BASIN, SERBIA - COMPARATIVE ANALYSIS WITH SELECTED NEIGHBORROW SOIL AND CITIES IN SERBIA	253
<u>Vučković B.</u>	
ISKUSTVA PRIMENE DISKONTINUALNE MEHANIZACIJE PRI EKSPLOATACIJI UGLJA NA ISTOČNOM DELU RUDARSKOG BASENA KOLUBARA.....	265
<u>Živanović M.</u>	



ENERGETSKA EFIKASNOST ELEKTROMOTORA NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA

ENERGY EFFICIENCY OF ELECTRIC MOTORS IN OPENCAST MINES

Aleksandrović S.¹, Jeftenić I.²

Apstrakt

Merama racionalizacije potrošnje električne energije danas se posvećuje velika pažnja, jer se postizanjem energetski efikasnijih pogona može ostvariti smanjenje troškova proizvodnje i očuvanje životne sredine. Ove mere odnose se kako na upravljanje radom elektroenergetskog sistema i racionalnu potrošnju elektromotornih pogona, tako i na kompenzaciju reaktivne energije. U ovom radu ukazano je na neke mogućnosti povećanja energetske efikasnosti elektropogona u rudarstvu, uzimajući u obzir teorijsku i praktičnu analizu parametara efikasnosti elektromotora i svođenja energetske gubitaka na najmanju moguću meru.

Ključne reči: energetska efikasnost, električni motori, potrošnja, racionalizacija

Abstract

Today, a great deal of attention is given to the measures to rationalize the electric energy consumption, because by achieving more energy efficient plants, it is possible to achieve a reduction in production costs and the environment protection. These measures refer both to the electric power system management and the rationalization of electric motors energy consumption, as well as the compensation of reactive energy. This paper points to some possibilities for increasing the energy efficiency of electric drives in mining, taking into account theoretical and practical analysis of the electric motors efficiency parameters and minimizing energy losses.

Keywords: energy efficiency, electric motors, consumption, rationalization

1. Uvod

Produktivnost u korišćenju električne energije predstavlja danas centralnu temu ekonomije i industrijskog razvoja. Osim podsticanja korišćenja, odnosno ulaganja u obnovljive izvore energije, u osnovne zadatke strategije energetske razvitka, svakako se ubraja i optimizacija upotrebe energije u postojećim pogonima.

U savremenoj industriji, a naročito u rudarstvu, na površinskim kopovima, postoji konstantno povećanje potrebe za električnom energijom kao rezultat neprekidnog uvođenja nove mehanizacije, zbog čega se pri projektovanju i izvođenju sistema za prenos električne energije mora voditi računa ne samo o kontinualnom snabdevanju potrošača, već i o postizanju najvećeg mogućeg ekonomskog efekta. Postoji niz mera kojima je moguće pospešiti efikasniju distribuciju i potrošnju električne energije, a koje se odnose na [1]:

- upravljanje potrošnjom električne energije u industrijskim pogonima, korekcijama u upravljanju vršnim opterećenjem, bez uticaja na kvalitet procesa proizvodnje,
- energetski menadžment elektromotornih pogona i korišćenje novih tehnologija,
- kompenzaciju reaktivne energije.

¹Prof. dr Aleksandrović Snežana, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, snezana.aleksandrovic@rgf.bg.ac.rs

²Mr Jeftenić Ilija, Elektrotehnički fakultet, Beograd, jeftenic.ilija@gmail.com

Upravljanje potrošnjom električne energije ima za cilj smanjenje gubitaka i optimizaciju upotrebe energije u pogonima i obuhvata: planiranje, monitoring i merenje tokova energije od isporučioaca do potrošača, analizu korišćenja energije u obliku dijagrama opterećenja i normalizaciju podataka s obzirom na uticaj spoljnih faktora. Postizanje efikasnijeg korišćenja energije moguće je postići: smanjenjem vršnog opterećenja, kao i pomeranjem potrošnje od vršnih sati u dnevnom dijagramu opterećenja odnosno u sate kada je proizvodnja iz obnovljivih izvora velika [2].

Elektromotori su najveći potrošači električne energije u industrijskim postrojenjima, pa samim tim i na površinskim kopovima. Ušteda energije u elektromotornim pogonima često znači nekoliko puta veću uštedu energije goriva u elektrani [3, 4]. I pored toga što i standardni elektromotori imaju visoku efikasnost, zamena energetski efikasnim motorima dodatno povećava efikasnost za nekoliko procenata, čime se smanjuju troškovi rada mašine i štedi energija.

Kako su asinhroni motori najzastupljeniji potrošači električne energije u rudarskim postrojenjima, od pravilnog izbora motora i načina njihovog korišćenja u velikoj meri zavisi faktor snage celog postrojenja. Zbog toga je jako važno poznavati specifičnosti pogona koji se pokreću električnim motorima, jer je na taj način moguće odgovarajućom korekcijom faktora snage na strani potrošača poboljšati energetska efikasnost celog pogona ili grupe potrošača.

2. Pravilan izbor i korišćenje motora

Optimalnu ekonomičnost moguće je postići na osnovu najmanjih ukupnih troškova koji obuhvataju investicione troškove i troškove za utrošenu energiju u toku eksploatacije, pri čemu se podrazumeva pravilan izbor motora i njegovo održavanje. Investicioni troškovi najčešće su reda veličine nekoliko procenata ukupnih troškova u toku eksploatacije motora, dok su troškovi za utrošenu električnu energiju preko 90% eksploatacionih troškova. Na osnovu nekih analiza iz prakse, pokazalo se da je u slučaju primene energetski efikasnog motora, moguće ostvariti povraćaj troškova već nakon nekoliko stotina sati rada motora sa punim opterećenjem [5].

Efikasnost motora ($e_{\%}$) određuje se na osnovu izraza:

$$e_{\%} = \frac{P_n}{P_u} \cdot p_{\%} \quad (1)$$

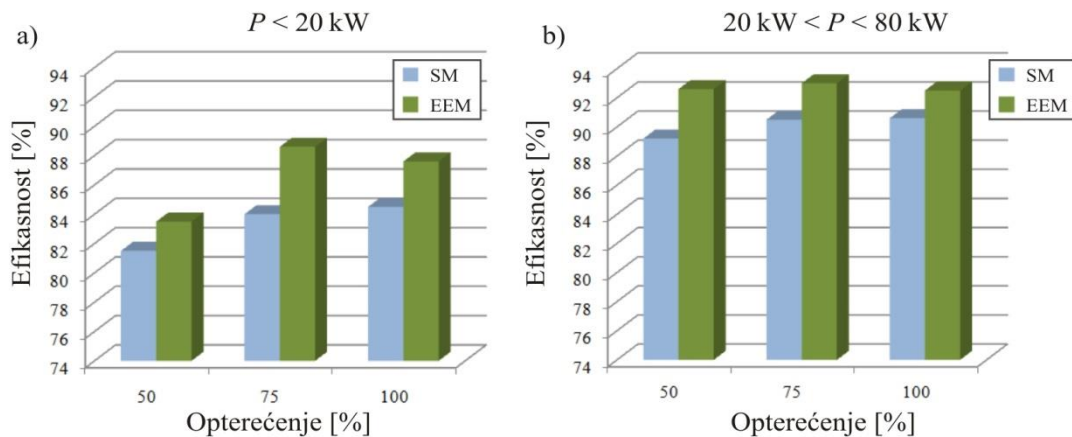
gde je: P_n - nazivna (mehanička) snaga motora, P_u - utrošena (električna) snaga motora, a $p_{\%}$ je procentualno opterećenje motora u odnosu na nazivno.

Razlika između električne snage koju motor uzima i korisne mehaničke snage predstavlja gubitke u motoru. Gubici kod asinhronih motora sastoje se od: mehaničkih gubitaka (usled trenja i ventilacije), magnetnih gubitaka (u gvožđu statora) i električnih gubitaka (koji se sastoje od gubitaka u bakru rotora i bakru statora, kao i od dodatnih gubitaka usled fluktuacije magnetnopobudne sile). Mehanički gubici su reda veličine od 5% do 12% i manji su kod motora sa manjom brzinom. Gubici u gvožđu statora proporcionalni su kvadratu napona i u slučaju konstantnog napona ne zavise od opterećenja. Gubici u bakru statora (od 25% do 40%) i gubici u bakru rotora (od 15% do 25%) postoje samo kod opterećenog motora i proporcionalni su kvadratu odgovarajuće struje. Dodatni gubici, koji nastaju usled promene magnetne reluktanse namotaja statora i rotora manji su od 20% ukupnih gubitaka i njihovu veličinu nije jednostavno kvantifikovati [6].

Poboljšanje efikasnosti motora postiže se: izradom od visokokvalitetnih materijala, korišćenjem više bakra u namotajima statora i rotorskim provodnicima, poboljšanom konstrukcijom statorskih žlebova, optimizacijom dužine vazdušnog zazora, ležajeva i geometrije ostalih delova mašine. Kod asinhronih motora nekih proizvođača [7] primenom jednostavnije i optimizovane konstrukcije, fleksibilnim dizajnom, korišćenjem tehnologije bakarnih umesto aluminijumskih rotora i poboljšanim procesom puštanja u rad, u odgovarajućim radnim uslovima, moguće je redukovati gubitke i do nekoliko desetina procenata.

S obzirom da su gubici u bakru statora motora procentualno najveći gubici u pogonu, ušteda električne energije direktno je povezana sa opterećenjem motora. Sigurnosni razlozi često diktiraju

predimenzionisanje motora, međutim, to često kao posledicu može imati smanjenu efikasnost, povećanu cenu same mašine i instalacije, manji faktor snage, kao i povećanje troškova u toku rada. Da bi se ostvario energetski efikasan pogon, neophodno je u svakom konkretnom slučaju ostvariti kompromis troškova ulaganja, održavanja i ostvarenja uštede energije u životnom ciklusu pogona. U tom cilju, na osnovu uporedne analize, na Slici 1 prikazana je zavisnost efikasnosti standardnih (SM) i energetski efikasnijih asinhronih motora (EEM) snage manje od 20 kW i snage u opsegu od 20 kW do 80 kW, brzine 1500 o/min i za tri različite procentualne vrednosti opterećenja (50%, 75% i 100%).



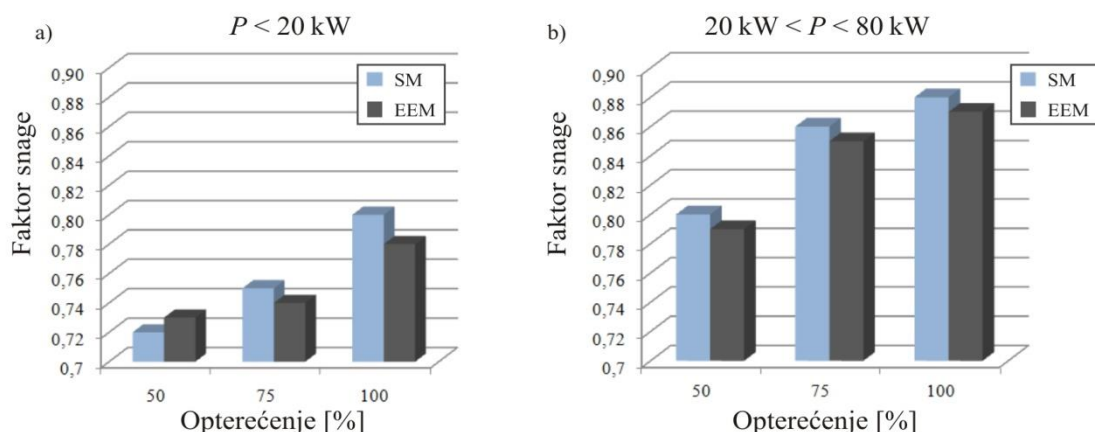
Slika 1. Efikasnost u zavisnosti od opterećenja, kod standardnih motora (SM) i energetski efikasnih motora (EEM), snage: a) manje od 25 kW i b) od 25 kW do 80 kW.

Primenom motora veće energetske efikasnosti i njihovim pravilnim izborom moguće je postići uštedu energije od 3% do 4% u odnosu na standardne motore. Jedan od načina povećanja efikasnosti pogona je i smanjenje gubitaka pri radu motora u praznom hodu. Međutim, izbegavanje rada motora u praznom hodu njegovim isključivanjem iz pogona često nije optimalno zbog ograničenog dozvoljenog broja startovanja, odnosno zaustavljanja motora. Na primer, prazan hod je čest režim rada kod motora za pogon rotacione opreme jer je to jedan od načina regulacije protoka fluida (na primer, kod kompresora), kada ovaj način regulacije treba izbegavati i koristiti druge mogućnosti povećanja efikasnosti rada.

Regulacijom brzine motora moguće je ostvariti dodatno smanjenje utroška energije, kao i smanjenje troškova održavanja. U aplikacijama kao što su ventilatori, pumpe i kompresori, utrošena energija je srazmerna kvadratu brzine, pa tako pogon koji radi sa polovinom brzine uzima manje od četvrtine procenata nominalne snage. Primenom pogona sa regulisanom brzinom, moguće je u velikoj meri smanjiti broj pokretanja/zaustavljanja mašine i tako produžiti radni vek mehanizacije. Primenom takozvanih soft-start i soft-stop uređaja smanjuju se naprezanja i udari mašine, a često je na ovaj način moguće smanjiti i nivo buke i vibracija u pogonu. Danas postoje i pristupačni su softverski alati za izračunavanje uštede troškova kod pogonskih sistema koji se napajaju iz frekventnih pretvarača u odnosu na one sa fiksnom brzinom, kao i za određivanje ekstra troškova kupovine novog ili zamene postojećeg elektromotornog pogona motorima veće efikasnosti [7, 8].

U pogonima sa delimično opterećenim motorima, odnosno sa promenljivim opterećenjem u različitim intervalima radnog režima, regulacijom brzine motora u funkciji trenutnog kapaciteta moguće je ostvariti dugotrajne periode rada sa brzinom manjom od nazivne, čime se smanjuje habanje delova mašine i produžava vek trajanja postrojenja. Kod višemotornih pogona, primenom odgovarajućeg sistema upravljanja, frekventni pretvarači, osim regulacije brzine, dobijaju i funkciju ravnomerne raspodele opterećenja u zavisnosti od karakteristika i potreba pogona [9].

Na dijagramima na Slici 2 prikazana je zavisnost faktora snage standardnih (SM) i energetski efikasnijih asinhronih motora (EEM) snage manje od 20 kW i snage u opsegu od 20 kW do 80 kW, brzine 1500 o/min i za tri različite procentualne vrednosti opterećenja (50%, 75% i 100%).



Slika 2. Faktor snage u zavisnosti od opterećenja, kod standardnih motora (SM) i energetski efikasnih motora (EEM), snage: a) manje od 25 kW, b) od 25 kW do 80 kW.

Faktor snage efikasnih motora u zavisnosti od opterećenja, često je manji u odnosu na odgovarajuće standardne motore. Međutim, faktor snage motora moguće je popraviti lakše i uz manja ulaganja u odnosu na efikasnost motora. Takođe se, poređenjem grafika na slikama 1 i 2, zaključuje da su i efikasnost i faktor snage povoljniji u slučaju motora većih snaga.

3. Popravka faktora snage

Induktivni potrošači u pogonu, u koje se ubrajaju i asinhroni motori, kao i nelinearni odnos između dovedenog napona i struje, odnosno postojanje viših harmonika, imaju kao rezultat loš faktor snage i gubitak korisne snage u distributivnom sistemu postrojenja. Mala vrednost faktora snage dovodi do povećane potrošnje, odnosno do povećanog pada napona sistema, smanjene efikasnosti, pregrevanja i skraćanja veka trajanja motora. Odgovarajućom korekcijom faktora snage, radni napon moguće je vratiti na nominalne vrednosti.

Procentualno smanjenje gubitaka korekcijom faktora snage moguće je predstaviti jednačinom:

$$\eta_{PF\%} = \left(1 - \frac{PF_1^2}{PF_2^2} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

gde je: PF_1 - faktor snage pre korekcije, a PF_2 - faktor snage nakon izvršene kompenzacije reaktivne energije. Uspešna popravka faktora snage može se ostvariti samo ako su poznati radni uslovi i specifičnosti pogona, odnosno pravilnim izborom i dimenzionisanjem motora. Asinhroni motori sa manjim brojem pari polova (samim tim i većom brzinom) imaju manju struju magnećenja, i kao rezultat, veći faktor snage. Motor koji radi sa opterećenjem ispod nazivne vrednosti ima manji faktor snage u odnosu na nominalno opterećen motor. Popravka faktora snage može se ostvariti: korišćenjem motora sa najvećom brzinom koju primena dozvoljava, pravilnim dimenzionisanjem motora i kompenzacijom reaktivne energije primenom kondenzatora.

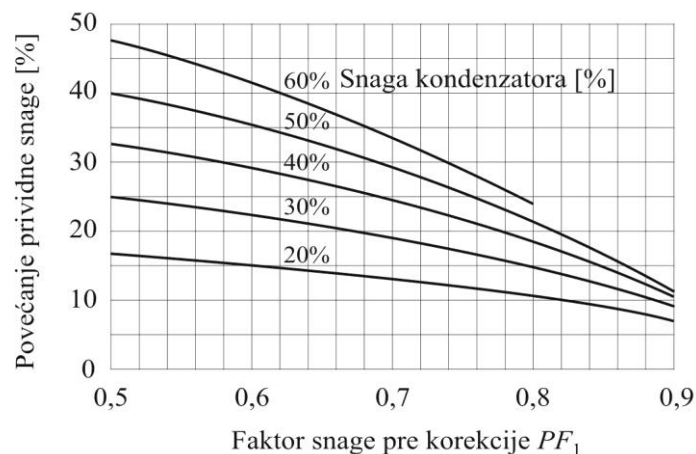
Kompenzacija reaktivne energije kondenzatorskim baterijama zavisi od tehničkih i ekonomskih parametara. Kod pogona sa nepromenljivim opterećenjem, popravka faktora snage jednostavno se može ostvariti primenom kondenzatorskih baterija i odgovarajućih prekidačkih elemenata. U uslovima brzih promena opterećenja primenjuje se dinamička kompenzacija reaktivne snage pomoću tiristorski kontrolisanih baterija i prigušnica. Primenom regulatora reaktivne energije sistema, faktor snage održava se najčešće na vrednosti 0,95 do 0,98. Potpuna kompenzacija faktora snage, primenom kondenzatorskih baterija velike snage, može izazvati stvaranje kapacitivnih struja pri delimičnom opterećenju i dovesti do suprotnih efekata od željenih.

Ukoliko su pogonski motori velike snage, rade sa približno konstantnim opterećenjem i velikim brojem pogonskih sati, ekonomično je primeniti pojedinačnu kompenzaciju reaktivne energije. Ova vrsta

kompensacije ostvaruje se direktnim spajanjem kondenzatora paralelno sa potrošačima, pri čemu nema uređaja za uključivanje i regulaciju kompensacije, kondenzacione baterije dimenzionišu se za punu snagu potrošača i njihovo dejstvo ogleda se u stalnom povišenju napona u priključnim tačkama, od praznog hoda do punog opterećenja napojnog voda. Kondenzatori se najčešće postavljaju na krajeve asinhronih motora i uključuju zajedno sa motorom, a njihova veličina određuje se tako da ne dovedu do preteranog porasta napona na motoru usled samopobuđivanja.

Kod postrojenja sa većim brojem motora manje snage, čije je opterećenje promenljivo i ukoliko svi motori ne rade istovremeno, povoljnije rešenje je kompensacija zajedničkim kondenzatorima za grupu motora. Karakteristike grupne kompensacije reaktivne energije su: manja ukupna snaga kondenzatorskih baterija u odnosu na lokalnu kompensaciju, postojanje uređaja za uključivanje kondenzatora, u delu priključnih vodova od mesta postavljanja kondenzatora do motora postoji reaktivna komponenta struje. Jednu ili više kondenzatorskih baterija moguće je, preko posebnog uređaja za uključivanje i regulaciju, priključiti i na sabirnice transformatorske stanice, odakle se vrši centralna kompensacija cele etaže pogona, odnosno svih potrošača koji se napajaju iz te stanice.

Na Slici 3 predstavljeno je procentualno povećanje aktivne snage u zavisnosti od faktora snage koji se koriguje i za različite veličine kondenzatora (date procentualno kao odnos reaktivne snage u odnosu na prividnu snagu sistema [10].



Slika 3. Povećanje aktivne snage primenom kondenzatorskih baterija za različite vrednosti faktora snage

Sa grafika na Slici 3 može se zaključiti da, na primer, za sistem sa faktorom snage pre korekcije 0,74 i čija je prividna snaga 1000 kVA, dodavanjem kondenzatorske baterije reaktivne snage od 400 kVAR moguće je ostvariti procentualno povećanje prividne snage od 20%, odnosno od 200 kVA.

U slučaju primene regulisanih pogona, frekventni ispravljači mogu se koristiti i kao aktivni kompenzatori reaktivne snage na sabirnicama. Za korekciju faktora snage danas se primenjuju tranzistorski ili aktivni pretvarači, koji rade na principu impulsno širinske modulacije i čija su rešenja praktično povoljnija u slučaju manjih napona, do nekoliko stotina volti.

4. Zaključak

Racionalizacija potrošnje električne energije, kao i smanjenje uticaja energetskog sektora na okolinu predstavlja imperativ u savremenim industrijskim postrojenjima, pa samim tim i u rudarstvu. Osim smanjenja ukupnih investicionih i proizvodnih troškova, poboljšanje efikasnosti postiže se i smanjenjem gubitaka aktivne električne energije u elektromotornim pogonima. U radu su razmotrene neke od mera za poboljšanje energetske efikasnosti asinhronih motora, s obzirom da oni predstavljaju skoro dve trećine potrošača električne energije na površinskim kopovima. Analizirane su karakteristike primene energetski efikasnih motora sa aspekta povećanja efikasnosti i faktora snage pogona, odnosno smanjenja reaktivne električne energije pogona.

Literatura

- [1] Aleksandrović, S., Jovančić P., Jeftenić I.: Rationalization of electrical energy consumption in mining plants, Proceedings of the 6th International Symposium Mining and Environmental Protection MEP 2017, 21-24 June, Vrdnik, Serbia, Center for Environmental Engineering, Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade, pp.144-148, 2017.
- [2] Loschi, H.J., Leon, J., Iano, Y., Filho, E.R., Conte, F.D., Lustosa, T.C. and Freitas, P.O, Energy Efficiency in Smart Grid: A Prospective Study on Energy Management Systems, Smart Grid and Renewable Energy, Vol.6, No.8, pp. 250-259, 2015.
- [3] Turner, W.C, Doty, S.: Energy management handbook, 6th. ed., Fairmont,2006.
- [4] Patterson, M.G.: What Is Energy Efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues, Energy Policy, Vol. 24, Issue 5, pp. 377-390, 1996.
- [5] Improving motor and drive system performance, A Sourcebook for Industry was developed for the U.S. Department of Energy's (DOE), Industrial Technologies Program (ITP).
- [6] Chukwuemeka, E. N.: Review of Energy Conservation using Energy Efficient Motor, International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology, Vol. 7, Issue XI, pp. 882-887, 2019.
- [7] Siemens AG, Simotics Low-Voltage Motors, Edition 07/2014 <http://www.thewinnerpart.com/upload/12695/SIEMENSMOTOR.pdf> (Accessed on 16 May 2023)
- [8] IEC 60034-31: Guide for the Selection and Application of Energy Efficient Motors Including Variable-Speed Applications. International Electrotechnical Commission, 2010.
- [9] Jeftenić, B., Bebić, M., Štakić, S.: Višemotorni električni pogoni, Akademska misao, Beograd, 2011.
- [10] Bonneville Power Administration, Industrial Power Factor Analysis Guidebook, US Department of Energy, 1995.



METODOLOGIJA ODREĐIVANJA INDIKATORA ISKORIŠĆENOSTI I EFIKASNOSTI OSNOVNE I POMOĆNE RUDARSKE MEHANIZACIJE NA POVRŠINSKOM KOPU DRMNO

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE UTILIZATION AND EFFICIENCY INDICATOR OF BASIC AND AUXILIARY MINING MECHANISM AT OPENCAST MINE DRMNO

Anđelić Z.¹, Simić G.², Todorović F.³

Apstrakt

U ovom radu je prikazan način praćenja učinka rada osnovne i pomoćne rudarske mehanizacije na površinskom kopu Drmno, kao i sprovođenje i kontrola konkretnih mera za unapređenje performansi i poboljšanja efikasnosti rada navedene opreme. Rad se bazira na praćenju ključnih indikatora učinka za sve službe koje direktno učestvuju u procesu proizvodnje otkrivke i uglja na površinskom kopu Drmno.

Ključne reči: *indikator iskorišćenosti, rudarstvo, mehanizacija*

Abstract

This paper presents the method of monitoring the performance of basic and auxiliary mining equipment at opencast mine Drmno, as well as the implementation and control of specific measures to improve performance and efficiency of the aforementioned equipment. The paper is based on the monitoring of key performance indicators for all services that directly participate in the overburden and coal production process at opencast mine Drmno.

Keywords: *utilization indicators, mining, mechanization*

1. Uvod

Proizvodnja uglja na površinskim kopovima bazira se na jednom veoma složenom sistemu u kome je zastupljen veći broj različitih službi, a čiji rad kao krajnji rezultat daje proizvedenu otkrivku i uglj. Iz tog razloga, svakako je potrebno pratiti efikasnost rada svih službi, iskorišćenost proizvodnih kapaciteta osnovne i pomoćne mehanizacije.

Proces proizvodnje obuhvata sledeće činioce:

- Bezbednost i zdravlje na radu;
- Službu proizvodnje;
- Službe održavanja (mašinska, elektro i vulkanizerska);
- Službu odvodnjavanja;
- Pomoćnu mehanizacija.

Na mesečnom nivou vrši se analiza oblasti neophodnih za proces eksploatacije uglja. U ovoj kraćem prikazu analize koriste se podaci sumirani na godišnjem nivou za period od 2016. do 2022. godine.

Treba napomenuti da bezbednost i zdravlje na radu nije slučajno stavljeno na prvo mesto, jer predstavlja

¹ Goran Anđelić, dipl. rud. inž. AD EPS, Ogranak TE-KO, Kostolac

² Goran Simić, dipl. rud. inž. AD EPS, Ogranak TE-KO, Kostolac

³ Filip Todorović, dipl. maš. inž. AD EPS, Ogranak TE-KO, Kostolac

polaznu osnovu za rad svih ostalih segmenata koji učestvuju u jednom složenom procesu rada površinskog kopa.

U daljem delu rada, dati su ukratko podaci sa kraćom analizom koji su prikupljeni i obrađeni u periodu od 2016. do 2022. godine za površinski kop Drmno.

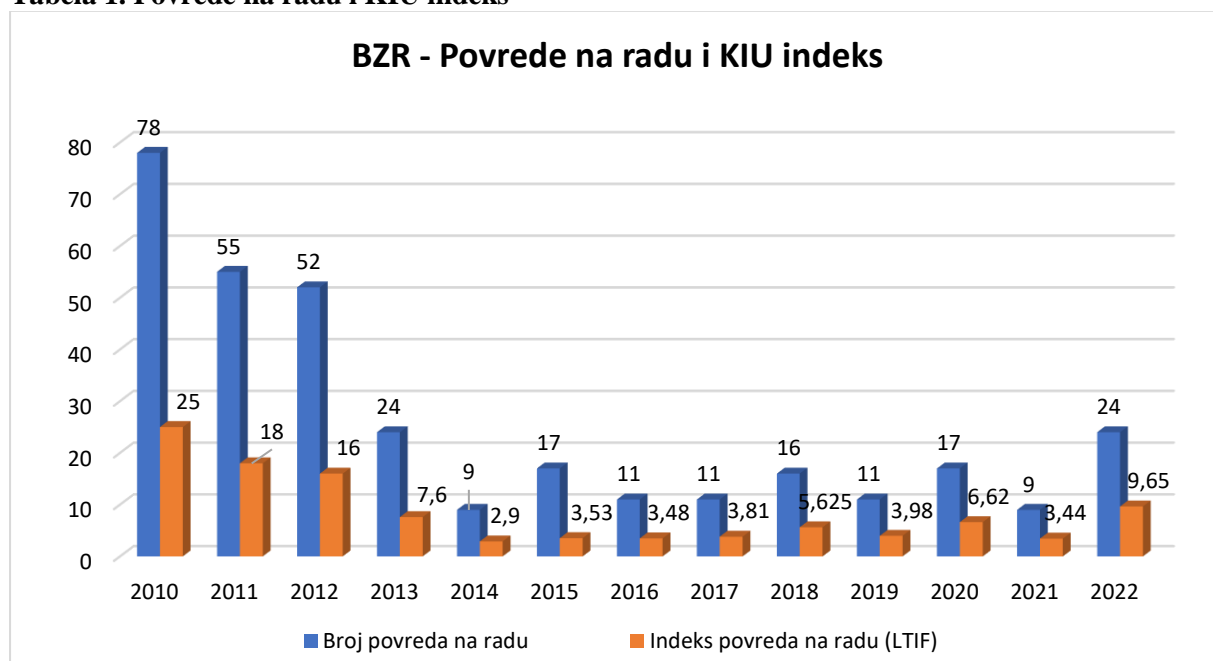
2. Bezbednost i zdravlje na radu

Jedan od najvažnijih zdravstvenih indikatora koji se koristi u svetskoj praksi je stopa učestalosti povreda i izgubljenog vremena (ili skraćeno LTIF). To predstavlja učestalost onesposobljavajućih povreda. Takođe predstavlja odnos broja slučajeva gubitka radnog vremena i ukupnog radnog vremena u organizaciji za posmatranu godinu, normalizovan na 1 milion ljudi/sat:

$LTIF = \text{ukupno radno vreme izgubljeno zbog povreda} * 1 \text{ milion radnih sati} / \text{ukupan broj radnih sati}$

Za oblast bezbednost i zdravlje na radu dostupni su podaci od 2010. godine, kada je broj povreda bio 78. Narednih godina broj povreda kontinuirano opada, da bi dostigao minimum 2014. godine - 9. Nakon toga oscilira od 11 do 17, da bi 2021. godine ponovo dostigao minimum - 9, a već 2022. godine povećava se na 24 (Tabela 1). Cilj je da koeficijent sigurnosti LTIF, koji je računat po standardima Evropske Unije, ne pređe vrednost 3.

Tabela 1. Povrede na radu i KIU indeks



3. Proizvodnja

U oblasti proizvodnje ključni indikatori učinka su vremensko iskorišćenje i prosečni ostvareni kapacitet. Analiziraju se transporteri sa trakom B-1800 mm i B-2000 mm, za II, III, IV, V i VI BTO sistem. *Ciljano vremensko iskorišćenje je 50% kalendarskog vremena.*

II BTO sistem

Ostvareno vreme rada ni jedne godine nije dostiglo ciljano, odnosno bilo je veće od planiranog 2019., 2021. i 2022. godine (Tabela 2). Otkopane mase su samo 2021. godine bile veće od planiranih (Tabela 3). Planirani kapacitet je 2.700 čm³/h i ostvaren je 2020. i 2021. godine, kada je na sistemu radio bager SRs-2000 32/5 (B2).

Tabela 2. Vreme rada II BTO sistema

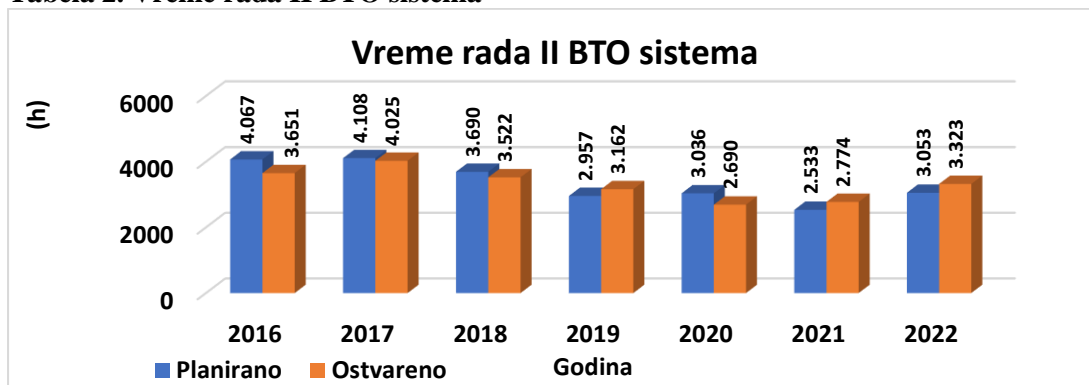
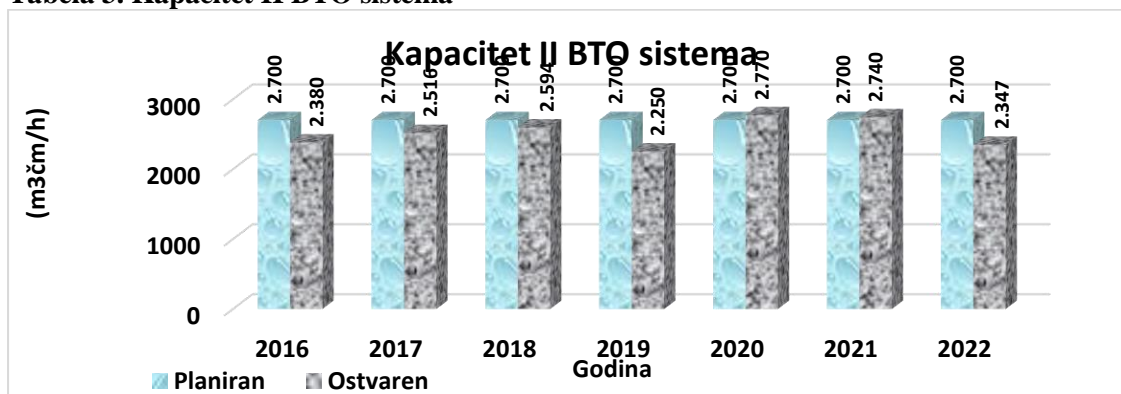


Tabela 3. Kapacitet II BTO sistema



III BTO sistem

Ostvareno vreme rada ni jedne godine nije dostiglo ciljano, ali je 2016. i 2021. godine dostiglo planirano (Tabela 4). Otkopane mase su 2020., 2021. i 2022. godine bile veće od planiranih. Planirani kapacitet je 2.400 m³čm/h i ostvaren je od 2019. do 2022. godine, kada je na sistemu radio bager SRs-2000 32/5 (B3) (pre toga radio je bager SRs-2000 28/3 (B1)) (Tabela 5).

Tabela 4. Vreme rada III BTO sistema

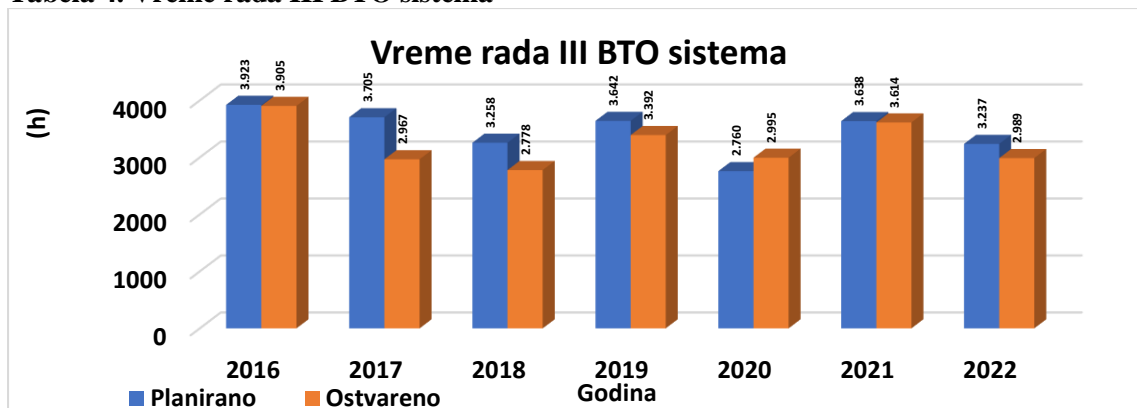
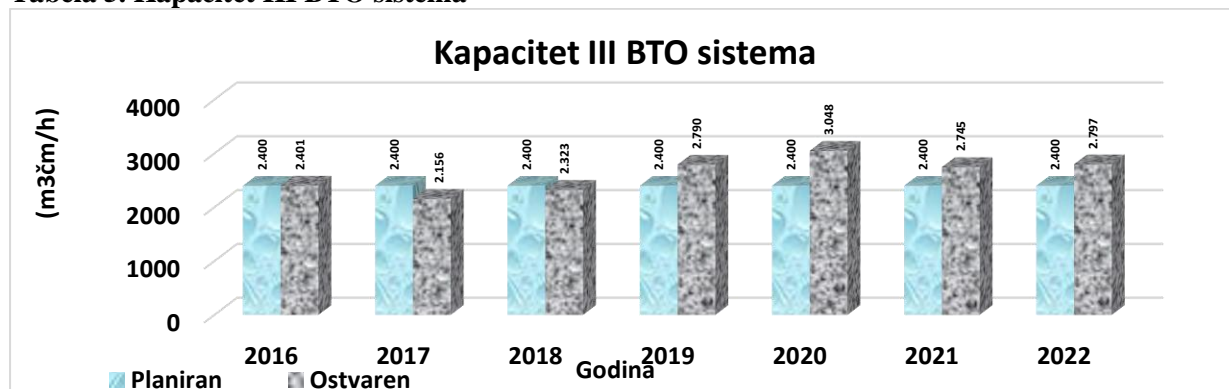


Tabela 5. Kapacitet III BTO sistema



IV BTO sistem

Ostvareno vreme rada dostiglo je ciljano 2016. i 2017. godine, a osim 2018., svih ostalih godina dostiglo je planirano (Tabela 6). Otkopane mase samo su 2017. godine bile veće od planiranih (Tabela 7). Planirani kapacitet je 1.500 m³cm/h i ni jedne godine nije ostvaren. Na sistemu konstantno radi bager SRs-1300.

Tabela 6. Vreme rada IV BTO sistema

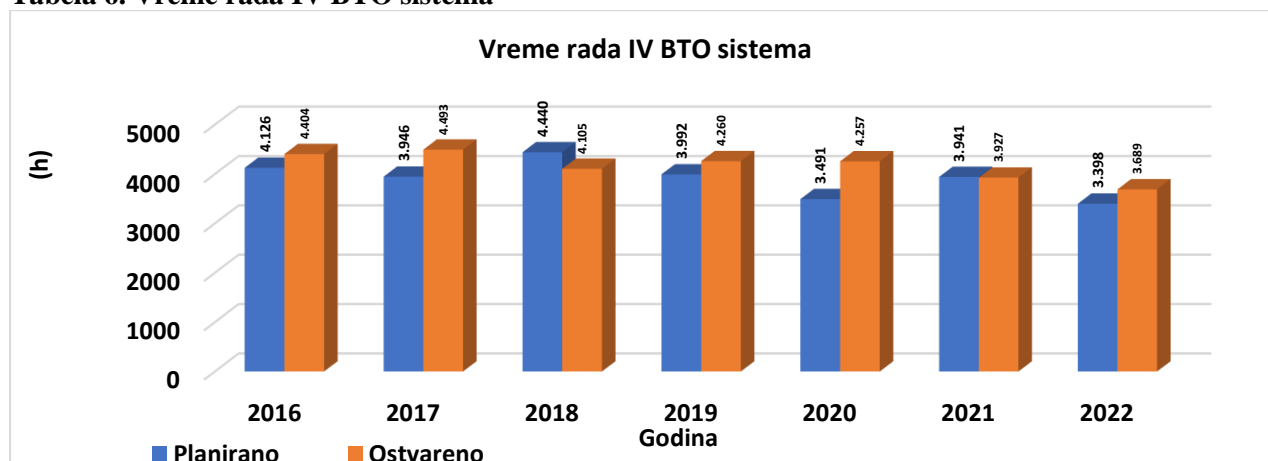
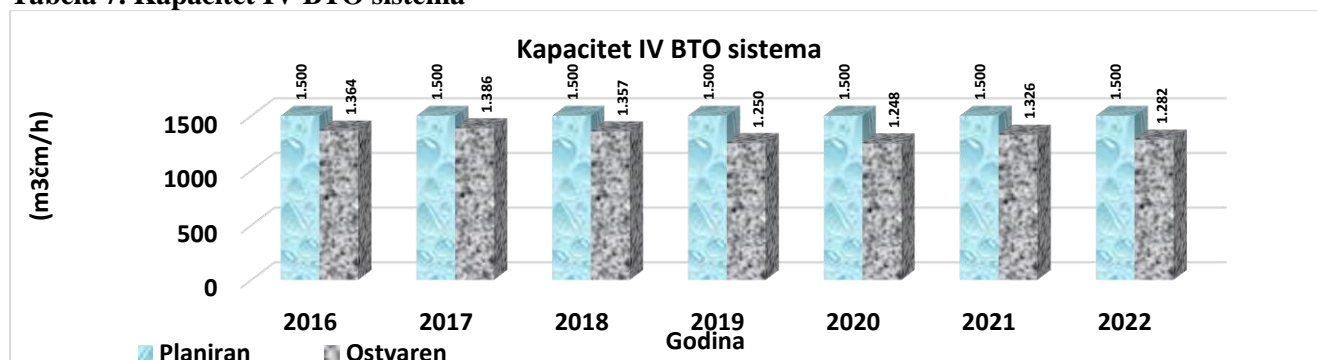


Tabela 7. Kapacitet IV BTO sistema



V BTO sistem

Ostvareno vreme rada ni jedne godine nije dostiglo ciljano, ali je 2021. godine dostiglo planirano (Tabela 8). Otkopane mase samo su samo 2016. i 2017. godine bile veće od planiranih (Tabela 9). Planirani kapacitet je 3.000 m³cm/h i ostvaren je 2016. i 2017. godine. Na sistemu je do 2018. godine

radio bager SRs-2000 32/5 (B3), a potom bager SRs-2000 32/5 (B2).

Tabela 8. Vreme rada V BTO sistema

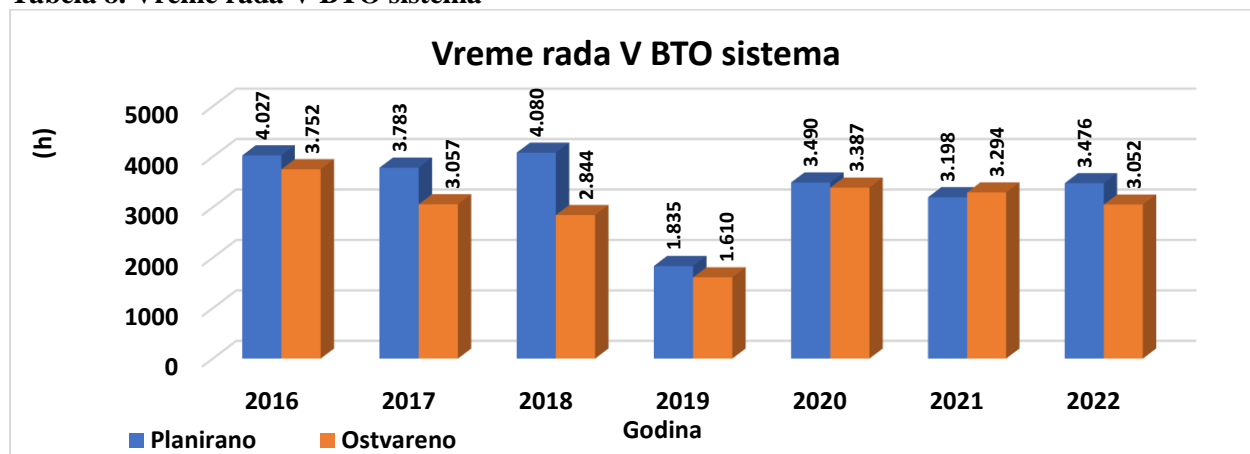
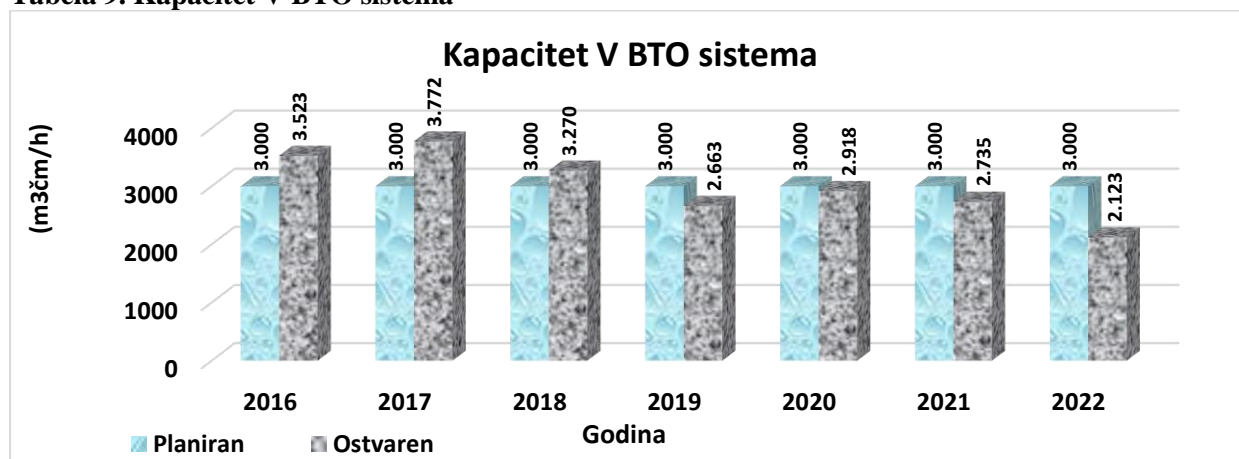


Tabela 9. Kapacitet V BTO sistema



VI BTO sistem

Ostvareno vreme rada ni jedne godine nije dostiglo ciljano, a ni planirano (Tabela 10). Otkopane mase samo su samo 2020. godine bile veće od planiranih. Planirani kapacitet je 3.000 čm³/h i ostvaren je od 2019. do 2021. godine (Tabela 11). Sistem sa radom počinje 2019. godine sa bagerom SchRs-1400. U 2021. godini dva meseca na sistemu radio je bager SRs-2000 28/3 (B1).

Tabela 10. Vreme rada VI BTO sistema

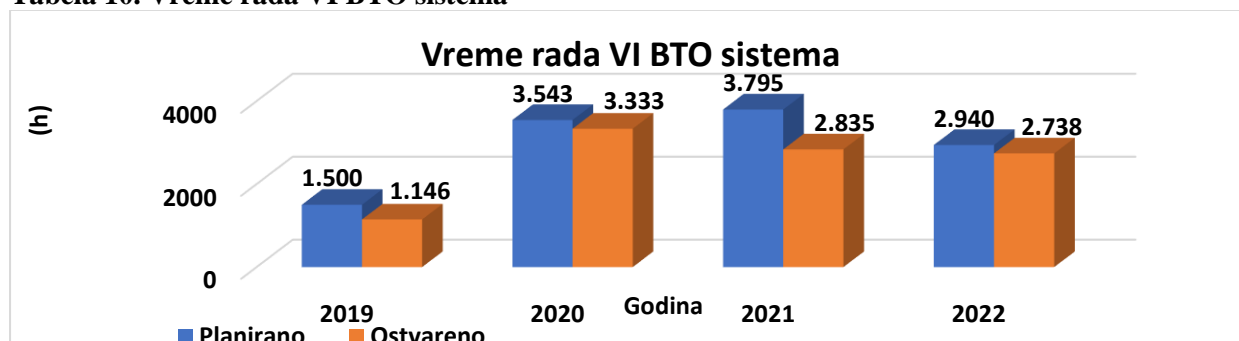
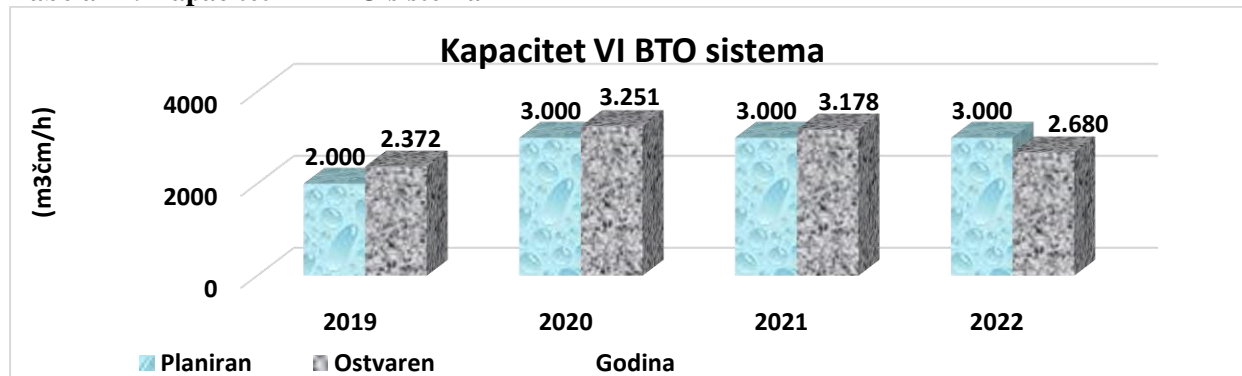


Tabela 11. Kapacitet III BTO sistema



4. Održavanje

Analiza održavanja podrazumeva dužinu trajanja neplanskih zastoja mašinske, elektro i vulkanizerske službe u odnosu na kalendarsko vreme. *Cilj je da pomenuti neplanirani zastoji održavanja ne pređu 13% kalendarskog vremena posmatranog perioda.*

Neplanirani zastoji mašinske službe:

- I BTO sistem - Minimalno zastoja bilo je u 2022. godini (692 h), a maksimalno 2018. godine (1.696 h) i taj trend se nastavio naredne tri godine.
- II BTO sistem - Minimalno zastoja bilo je u 2022. godini (659 h), a maksimalno 2019. godine (1.766 h), a približna vrednost je dostignuta 2021. godine.
- III BTO sistem - Minimalno zastoja bilo je u 2016. godini (706 h), a maksimalno 2018. godine (3.376 h) (od 06.11.2017. do 24.02.2018. godine bager stoji zbog oštećenja ležaja na dve koturače vitla 1, a od 10.04. – 12.11.2018. godine stoji zbog oštećenja veze reduktor - rotor (velika membrana), nakon čega je nastupio trend smanjenja neplaniranih zastoja.
- IV BTO sistem - Minimalno zastoja bilo je u 2017. godini (335 h), a maksimalno 2022. godine (1.524 h).
- V BTO sistem - Dužina neplaniranih zastoja oscilira, tako da je minimum bio 2018. godine (390 h), a maksimum 2019 godine (962 h).
- VI BTO sistem sa radom je krenuo 2019. godine. Maksimalno neplaniranih zastoja bilo je 2020. godine (1.132 h), koliko je približno bilo i 2021. godine, da bi minimalno zastoja bilo 2022. godine (734 h).
- BTD sistem - Minimalno zastoja bilo je 2016. godine (263 h). Trend rasta je nastavljen narednih godina, tako da je maksimum bio 2022. godine (686 h).
- Neplanirani zastoji elektro službe:
- I BTO sistem - Minimalno zastoja bilo je 2016. godine (205 h), a maksimalno 2021. godine (470 h).
- II BTO sistem - Minimalno zastoja bilo je 2016. godine (289 h), a maksimalno 2020. godine (669 h) (najviše zastoja bilo je na bageru SRs-2000/1 – 345 h) .
- III BTO sistem - Minimalno zastoja bilo je 2017. godini (190 h), a maksimalno 2019. godine (402 h), nakon čega sledi opadajući trend.
- IV BTO sistem - Dužina neplaniranih zastoja oscilira. Minimalno neplaniranih zastoja bilo je 2022. godine (275 h), a maksimalno 2017. godine (374 h).
- V BTO sistem - Zastupljen je rastući trend, tako da je minimum bio 2017. godine (296 h), a maksimum 2022. godine (441 h).

- VI BTO sistem - Minimalno zastoja bilo je 2021. godine (194 h), a maksimalno 2022. godine (284 h).
- BTD sistemu - Minimalno zastoja bilo je 2016. godine (280 h), a maksimalno 2018. godine (377 h), nakon čega sledi opadajući trend.
- Neplanirani zastoji vulkanizerske službe:
- I BTO sistem - Minimalno zastoja bilo je 2017. godine (14 h), a maksimalno 2022. godine (333 h). U 2022. godini na I BTO sistemu zamenjene su sledeće trake na bageru/odlagaču: ERs-710(j) (pohabana), SRs-470 (B12) (traka 1 – koš spoj, traka 2 – pohabana), A₂RsB-3500 (sve tri trake zbog pohabanosti).
- II BTO sistem - Minimalno zastoja bilo je 2018. godine (181 h), a maksimalno 2022. godine (952 h). U 2022. godini na II BTO sistemu zamenjene su sledeće trake na bageru/odlagaču SRs-2000 (B1): traka 1 nakon godinu dana - loš spoj, traka 2 nakon godinu dana - pohabana, traka 4 nakon godinu dana dva puta - pohabana. Na bageru SRs-470 (B12): traka 1 - loš spoj, traka 2 - pohabana. Na odlagaču A₂RsB-7200: traka 1 nakon sedam meseci - pohabana, traka 2 tri puta nakon devet, pet i četiri meseca - pohabana i popušta spoj, traka 3 nakon deset meseci - pohabana.
- III BTO sistem - Minimalno zastoja bilo je 2017. godini (12 h), a maksimalno 2022. godine (1.127 h). U 2022. godini na III BTO sistemu zamenjene su sledeće trake na bageru/odlagaču: SRs-2000 (B3) (traka 2 nakon dvadeset devet meseci - pohabana, traka 3 nakon osamnaest meseci - popustio spoj), A₂RsB-7200 (nije zamenjena ni jedna traka). Obrtni transporter (nakon četiri meseca - pohaba, nakon tri meseca - loš spoj i nakon sedam meseci - zamena bubnja).
- IV BTO sistem - Minimalno neplaniranih zastoja bilo je 2020. godine (202 h), a maksimalno 2021. godine (456 h). U 2021. godini na IV BTO sistemu zamenjene su sledeće trake na bageru/odlagaču: SRs-1300 (traka 1 nakon sedamnaest meseci - pocepana i nakon jedanaest meseci - pohabana, traka 3 nakon devet meseci - pohabana). A₂RsB-5500 (traka 1 nakon devet meseci - pohabana, nakon mesec dana prepravljn spoj, traka 2 nakon osam meseci - proboj, traka 3 nakon devet meseci - remont). Obrtni transporter (nakon jedanaest meseci - pohaban i nakon mesec dana - zamena bubnja).
- V BTO sistem - Zastupljen je rastući trend, tako da je minimum bio 2022. godine (196 h), a maksimum 2020. godine (223 h). U 2022 godini na V BTO sistemu zamenjene su sledeće trake na bageru/odlagaču: SRs-2000 (B2) (traka 2 nakon šest meseci - pohabana, traka 2 nakon osamnaest meseci - pohabana, traka 4 nakon dvadeset meseci - pohabana). ARs-2000 (traka 1 nakon trinaest meseci – pohabana, traka 2 nakon pet meseci - pohabana, traka 3 nakon devet meseci - remont).
- VI BTO sistem - Minimalno zastoja bilo je 2021. godine (194 h), a maksimalno 2020. godine (223 h). U 2020 godini na VI BTO sistemu zamenjene su sledeće trake na bageru/odlagaču: SRs-1400 (traka 2 godinu dana - pohabana, traka 4 nakon godinu dana - pohabana). PA 200-2000 (traka 1 nakon devet meseci - popustio spoj dva puta i nakon pet meseci - pohabana, traka 2 nakon godinu dana - popustio spoj i nakon mesec dana - loš rad trake).

Minimalni i maksimalni neplanirani zastoji po godinama za sve BTO sisteme dati su u Tabeli 12.

Tabela 12. Minimalni i maksimalni neplanirani zastoji po godinama

Sistem	Min / Max	Mašinski zastoji		Elektro zastoji		Vulkanizerski zastoji	
		Ukupno (h)	Godina	Ukupno (h)	Godina	Ukupno (h)	Godina
I	Min	692	2022	205	2016	14	2017
	Max	1696	2018	470	2021	333	2022
II	Min	659	2022	289	2016	181	2018
	Max	1766	2019	669	2020	952	2022
III	Min	706	2016	190	2017	12	2017
	Max	3376	2018	402	2019	1127	2022
IV	Min	335	2017	275	2022	202	2020
	Max	1524	2022	374	2017	456	2021
V	Min	390	2018	296	2017	196	2022
	Max	962	2019	441	2022	223	2020
VI	Min	734	2022	194	2021	194	2021
	Max	1.132	2020	284	2022	284	2022
BTD	Min	263	2016	280	2016	26	2017
	Max	686	2022	377	2018	181	2021

5. Pomoćna mehanizacija

Može se zaključiti da je broj ispravnih mašina 60% u odnosu na ukupan broj, dok je kod vozila ispravnost bolja i iznosi 75%. Problematika je uglavnom vezana za nedostatak rezervnih delova i jedan broj starijih mašina).

6. Odvodnjavanje

Analiza se odnosi na broj ispravnih bunara u odnosu ukupan broj i kreće se od 89% 2017. godine do 97% 2021. godine. *Cilj je 96 % ispravnih bunara.*

7. Električna energija - proizvodnja uglja/otkrivke

Ciljana vrednost za koeficijent potrošnje električne energije u eksploataciji uglja od 3,2 a u eksploataciji otkrivke je 2,7. Kada je eksploataciji uglja u pitanju, minimalni koeficijent bio je 2019. (1,42), a maksimalni 2017. godine (2,73). Kod eksploatacije otkrivke, minimalni koeficijent bio je 2019. (2,20), a maksimalni 2022. godine (3,43).

Prosečna potrošnja električne energije na površinskog kopa Drmno u odnosu na proizvedenu, odnosno isporučenu na mrežu, u periodu od 2016. do 2022. godine iznosi 2%.

8. Zaključak

Na osnovu svih gore navedenih podataka, koji su dati na godišnjem nivou, vrši se analiza na mesečnom nivou i kao rezultat se daje predlog za naredni period, koji za svaki segment daje preporuku:

1. Bezbednost i zdravlje na radu

Nastaviti sa evidentiranjem dosadašnjih parametara za analizu. Preduzeti mere za smanjenje broja povreda na radu, kako bi indeks sigurnosti (LTIF) bio manji od 3, što je cilj u ovoj oblasti. Vršiti redovnu kontrolu mašina i terena.

2. Proizvodnja

- U analizu ključnih indikatora učinaka potrebno je uvrstiti I BTO i BTD sistem, kao ključne za otkrivanje, odn. eksploataciju uglja, bez obzira na manje kapacitete.

- Ciljano vreme rada sistema, zbog različitog vremena trajanja tehnoloških zastoja, usvajati na osnovu Mesečnih operativnih planova (planirane aktivnosti), a ne na osnovu polovine kalendarskog vremena, po formuli:

$$\text{CILJANO VREME} = \text{KALENDARSKO VREME} - \text{VREME PLANIRANIH TEHNOLOŠKIH ZASTOJA} - \text{PLANIRANI ZASTOJI ODRŽAVANJA} - 30\% \text{ KALENDARSKOG VREMENA}$$

Ciljano vreme će biti veće od planiranog mesečnim planom, gde su ulazni parametri: tehnološki zastoji, planirani zastoji održavanja (servisi), planirana proizvodnja, kapacitet i rad bagera 15 h dnevno. Parametar 30% kalendarskog vremena je fleksibilan - podložan promeni, ali ova vrednost je najpribližnija trenutnoj situaciji na sistemima. Kada bude povećana pogonska spremnost sistema, odnosno, smanjeno vreme trajanja neplaniranih zastoja, biće dostignuto ciljano vreme rada bagera (sistema).

- Analizu vršiti na osnovu bagera koji trenutno radi na određenom sistemu i čiji je kapacitet zadat Mesečnim operativnim planom (obzirom da povremeno bageri menjaju mesto rada - sistem i dolaze u različite radne sredine, zbog čega je potrebno prilagoditi i planirani kapacitet).
- Kada je KIU u pitanju, kao što je slučaj na II BTO sistemu, analizira se bager sa najvećim kapacitetom.
- Ukupnu godišnju proizvodnju potrebno je uskladiti sa bilansnim masama, ali na mesečnom nivou može doći do povećanja/smanjenja proizvodnje / kapaciteta, tako da će to biti ažurirano i u KIU analizi.
- U neplanske zastoje uvrstiti i rudarske i ostale, zato što su vrlo zastupljeni.

3. Održavanje

Povećanje pouzdanosti rada sistema neposredno je vezano za detaljnu preventivnu kontrolu svih delova sistema, u svakoj smeni, sa pisanim dokazom (potvrda o obilasku / kontroli u vidu upisivanja u Dnevnik rada transportera sa trakom ili Dnevnik rada bagera/odlagača. Preventivnu kontrolu sprovode svi zaposleni na sistemu, svako na svom radnom mestu, kako bi se na vreme uočila pretnja po zastoj sistema. Preduslov je održavanje prohodnih puteva pored sistema. Prilikom trenutnog (planskog) zaustavljanja sistema zbog otklanjanja kvara, u cilju očuvanja opreme (mašinski elementi, pogonski motori trake, spojevi gume), poželjno je potpuno isprazniti trake. Kako to, zbog dužine transportera, dugo traje, trake isprazniti delimično, tako da materijal ostane u pogonskom delu transportera. Izraditi projekat u vezi oblika i napadnog ugla zuba kašika rotora bagera, kako bi se postiglo manje opterećenje pogona rotora i okreta i usporilo habanje zuba. Planiranje i nabavka rezervnih delova i opreme mora biti blagovremena.

4. Pomoćna mehanizacija

Redovno dostavljanje podataka o pogonskoj spremnosti, kako bi se mogla vršiti analiza. Za ovu analizu adekvatni su sledeći podaci:

- Ukupan broj mašina / vozila po grupama (buldozeri, cevopolagači i dr.);
- Vreme mašine u ispravnom stanju;
- Vreme angažovanja mašine (mašina može biti u ispravnom stanju, ali da nema raspored rada - nije angažovana);
- Broj ostvarenih radnih sati za vreme angažovanja.

5. Odvodnjavanje

Nastaviti sa dosadašnjom praksom. Analizi dodati i količine ispumpane vode u konturi kopa i van konture kopa. Uvesti raniju praksu reaktiviranja bunara.

6. Električna energija - proizvodnja uglja/otkrivke

Nastaviti sa dosadašnjom praksom, kada je u pitanju dostavljanje podataka. Što se potrošnje električne energije za rad sistema tiče, kontrolisati rad i zaustavljati sistem kada je izvesno da će zastoj duže trajati, kako sistem ne bi radio sa praznim trakama. Predlog je da ciljana vrednost za koeficijent potrošnje električne energije u eksploataciji uglja bude 2,5 (kWh/t), a u eksploataciji otkrivke je 3,0 (kWh/cm³).

Literatura

[1] Interna dokumentacija površinskog kopa Drmno, Ogranak TE-KO, Kostolac



PRIMENA DRENAŽNIH OBJEKATA U CILJU POBOLJŠANJA GEOTEHNIČKIH PARAMETARA PODLOGE UNTRAŠNJEG ODLAGALIŠTA POVRŠINSKOG KOPA DRMNO

APPLICATION OF DRAINAGE FACILITIES IN ORDER TO IMPROVE THE GEOTECHNICAL PARAMETERS OF THE SUBSOIL OF THE INSIDE DUMP OF OPENCAST MINE DRMNO

Čolaković V.¹ Milošević D.², Čanović V.³, Grujičić S.⁴, Ćorluka S.⁵

Apstrakt

U praksi nije retko da je klizanje terena posledica delovanja podzemne, slobodne vode duž tenzionih pukotina. Akcenat projektnog rešenja odnosi se na dreniranje podloge na kojoj se odlaže jalovina. U tom smislu, predviđena je izgradnja drenažnog sistema kanala, čija je uloga prikupljanje i kontrolisano odvođenje vode u glavni vodosabirnik. Treba naglasiti da je potrebna i sanacija postojećih vodosabirnika koja podrazumeva evakuaciju akumulirane vode (ispumpavanje), zapunu i njihovo međusobno povezivanje.

Ključne reči: *unutrašnje odlagalište, podzemna voda, klizište, drenaža*

Abstract

In practice, it is not uncommon that landslides are due to the action of groundwater. The emphasis of the project solution refers to the draining of the space on which the material is deposited. Therefore, it is necessary to create a drainage system of canals, the role of which is to collect and control the drainage of water to the main water collector. It is also necessary to edit the existing water collectors, which involves the evacuation of accumulated water (pumping), filling and their interconnection.

Keywords: *dump, groundwater, landslide, drainage*

1. Uvod

Na prostoru unutrašnjeg odlagališta površinskog kopa Drmno izražen je problem nestabilnosti odloženih masa kao posledica nedovoljno efikasnog rada sistema odvodnjavanja i odlaganja otkrivke. Gravitaciono oticanje voda sa površine odlagališta je sprečeno postojanjem brojnih depresija (*zabarenja*) iz kojih se akumulirana voda konstantno infiltrira u telo odlagališta. Odlaganje zavodnjene jalovine na podlogu koju većinom čine gline, prašinski i glinoviti peskovi, a koja nije adekvatno uređena i odvodnjena, čini da porni pritisci akumulirane vode u telu odlagališta predstavljaju stalni izvor nestabilnosti i klizanja odloženih masa. Mere koje smanjuju porni pritisak u kosini u zoni klizne ravni jedne su od najčešćih i najekonomičnijih mera sanacije.

Kada se radi o analizama uzroka pojave klizišta, one su u literaturi prisutne u zavidnom obimu, s tim da se retko može pronaći tehnološki postupak kako su klizišta sanirana kao i vrednost troškova za njihovu stabilizaciju. Mnoga klizišta na rudničkim odlagalištima ostala su neistražena, a neretko nema

¹ Čolaković Violeta, Rudarski institut, Beograd

² Milošević Dragan, Rudarski institut, Beograd

³ Čanović Vladan, Rudarski institut, Beograd

⁴ Grujičić Sanja, Rudarski institut, Beograd

⁵ Ćorluka Stevan, Rudarski institut, Beograd

preciznih podataka o izvršenim sanacionim merama.

2. Problematika

Na osnovu geotehničkih i hidrogeoloških istraživanja izvedenih 2021. izdvojene su dve zone najvećih rizika od neravnomernog, kaskadnog sleganja terena i pokretanja nestabilnih blokova [1].

Prva zona nestabilnosti se prostire u prednožičnom delu odlagališta gde se nalazi neotkopani ugallj ili glinoviti podinski sedimenti male nosivosti. Raskvašavanje podinskih sedimenata se javlja i usled priliva podzemnih voda iz podinskih peskova ispod glavnog, III ugljenog sloja.

Druga zona povećanog rizika je razvijena unutar centralnog i istočnog dela I, IV i III BTO sistema na najnižim kotama unutrašnjeg odlagališta PK Drmno. Uočena nestabilnost terena utiče na bezbednost transporterata i odlagača, ali i na eksploataciju lignita u njegovom prednožičnom delu.

Osnovni cilj izrade projektne dokumentacije je doći do što ekonomičnije i efikasnije stabilizacije odloženog, zasićenog prašinastog peskovitog tla u dinamičkim uslovima opterećenja i promenljivih vremenskih prilika unutar ograničenog prostora, nepravilnih kontura gde su aktivni rudarski radovi.

Pored navedenog, tokom obilaska i prikupljanja informacija sa terena, konstatovane su i sledeće činjenice:

- pojava pukotina je izraženija u vlažnim i kišovitim periodima godine;
- prilikom izrade vodosabirnika registrovan je priliv podzemnih voda;



Slika 1. Vodosabirnik u podinskoj etaži uglja, 29.11.2022. [2]

- na prostoru unutrašnjeg odlagališta, kako u podini tako i po etažama nisu izvedeni drenažni objekti predviđeni aktuelnom, važećom projektnom dokumentacijom;
- u podini uglja konstatovane su akumulacije vode;
- na otkopnom frontu III BTO sistema, uočljive su zavodnjene kosine, a odloženi materijal na odlagalištu u kosinama, nakon gubljenja vlage se zarušava.



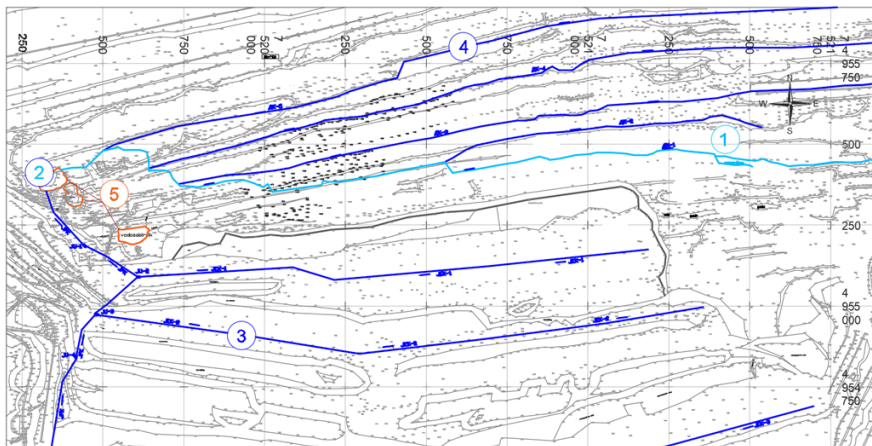
Slika 2. Sleganje odloženih masa, III BTO sistem, 29.11.2022. [2]

3. Tehnologija sanacije i stabilizacije unutrašnjeg odlagališta

Tehnološki postupak sanacije i stabilizacije zasnovan je na sagledavanju svih činjenica koje karakterišu

unutrašnje odlagalište i prilagođen je eksploatacionim aktivnostima koje se obavljaju na prostoru PK Drmno. Projektnim rešenjem predviđena je izgradnja sistema drenažnih kanala, koji bi prikupljali vodu i omogućili oticanje do glavnog vodosabirnika.

Na najnižoj niveleti, podini uglja, na prostoru odložene međuslojne jalovine potrebno je omogućiti gravitacijsko oticanje vode prema recipijentu, vodosabirniku koji je formiran na najnižoj koti (Slika 3). Projektno rešenje u početnoj fazi predviđa izgradnju drenažnog kanala DK-1, etažnih kanala JEK-1,2 i 3, a kasnije i preostalih drenažnih kanala, DK-2, 3, 4 i 5 u funkciji formiranja drenažnog sistema kanala u cilju dugoročnije sanacije i stabilizacije unutrašnjeg odlagališta PK Drmno. Izrada preostalih drenažnih kanala DK mora da bude usklađena sa dinamikom rudarskih radova.



1 – Projektovani drenažni kanal DK-1; 2 – Glavni vodosabirnik; 3 – Etažni kanali, JEK – 1, 2 i 3; 4 – Projektovani drenažni kanali, DK -2, 3, 4 i 5; 5 – položaj postojećih vodosabirnika

Slika 3. Drenažni sistem u podini unutrašnjeg odlagališta PK Drmno [2]

Veoma je važno da se definiše i oformi osmatračka mreža koju čine pijeometri, bunari, drenažni kanali, vodosabirnici i dr., koji treba da budu predmet detaljnih hidrogeoloških istraživanja, koji će u funkciji sa geotehničkim osmatranjima dati pouzdane podatke o uzroku nastanka klizišta, a naročito podataka o pojavi pukotina na radnim etažama nakon prestanka odlaganja jalovine.

4. Zaključak

Ležište uglja Drmno karakterišu složeni hidrogeološki uslovi koji bitno utiču kako na eksploataciju, tako i na stabilnost unutrašnjeg odlagališta. Veoma je važno da se mora prihvatiti činjenica da samo sa efikasnim predodvodnjavanjem i dobro pripremljenom i izdreniranom podlogom na kojoj će se otkopani sedimenti odlagati, može očekivati veći stepen sigurnosti u napredovanju rudarskih radova. Neophodno je formirati dobru drenažnu mrežu u podlozi odlagališta, izgraditi i održavati, kako to situacija dozvoljava, kako bi se omogućilo odvođenje površinske i podzemne vode u najkraćem, mogućem, vremenskom periodu.

Literatura

[1] Elaborat o izvedenim geotehničkim i hidrogeološkim istraživanjima za izbor metode stabilizacije unutrašnjeg odlagališta PK Drmno (Sveska I i II), JP EPS Beograd, Ogranak RB Kolubara, OC Projekt, Lazarevac, jun 2021.

[2] Milošević D., Tehnički rudarski projekat sanacije i stabilizacije unutrašnjeg odlagališta na površinskom kopu Drmno, Rudarski institut Beograd, 2023.



HRONOLOŠKI PREGLED RAZVOJA POVRŠINSKE EKSPLOATACIJE LIGNITA U SRBIJI

HRONOLOGICAL REVIEW OF LIGNITE SURFACE MINING DEVELOPMENT IN SERBIA

Dimitrijević B.¹, Gaćina R.², Vučković B.³

Apstrakt

U ovom preglednom radu dat je istorijski pregled razvoja površinske eksploatacije lignita na teritoriji Srbije, uz kratak osvrt na geološki nastanak i kvalitet i rezerve uglja, kao i mogućnosti korišćenja za dalju upotrebu. Kolubarski, Kostolački i Kovinski ugljeni baseni lignita u Srbiji, ne računajući Kosovsko-Metohijski i Drenički u sastavu AP Kosovo i Metohija po Rezoluciji 1244 UN, su ležišta najrasprostranjenijeg uglja - lignita u Srbiji koji se eksploatiše od druge polovine 20. veka na velikom broju površinskih kopova navedenih ugljonosnih basena, koji su obuhvaćeni odgovarajućom preglednom literaturom i drugim projektnim i fondovskim materijalom.

Ključne reči: *površinska eksploatacija uglja, lignit, Kolubara, Kostolac, Srbija*

Abstract

The paper provides a historical overview of the development of surface mining of lignite on the territory of Serbia, with a brief overview of the geological origin and quality and reserves of coal, and the possibilities of further use. The Kolubarski, Kostolački and Kovinski lignite basins are lignite deposits in Serbia not counting Kosovsko-Metohijski and Drenički in the AP Kosovo and Metohija according to UN Resolution 1244, are deposits of the most widespread coal - lignite in Serbia, which has been exploited since the second half of the 20th century on a large number of surface mines of the mentioned coal-bearing basins, which are included in the relevant overview literature and other project and fund materials.

Keywords: *coal mining, lignite, Kolubara, Kostolac, Serbia*

1. Uvod

Rezerve uglja u Srbiji su strateški važna energetska sirovina na kojoj će se i u skorijoj budućnosti zasnivati energetska razvoj Srbije. Najznačajnija ležišta uglja u Republici Srbiji su ležišta lignita (meki mrki ugalj). Geološke rezerve lignita u odnosu na geološke rezerve svih vrsta uglja u Republici Srbiji su 92%. Ostale vrste uglja (kameni, mrki i mrko lignitski ili čvrsti mrki ugljevi) predstavljeni su sa svega 7% geoloških rezervi Republike Srbije. Eksploatacija uglja u Srbiji se vrši površinskom, podzemnom i podvodnom eksploatacijom.

Površinska eksploatacija lignita se definiše kao skup radova koji se vrše na površini terena sa ciljem eksploatacije ležišta mineralne sirovine. Osnovna odlika površinske eksploatacije lignita je otkopavanje znatnih količina otkrivke u krovini i podini ležišta koja po nekom nepisanom pravilu premašuje količinu

¹ Prof. Dr Sci Bojan Dimitrijević, dipl. eng. mining, Faculty of Mining and Geology, Belgrade University, Serbia, bojan.dimitrijevic@rgf.bg.ac.rs

² M.Sc. Bogoljub Vučković, dipl. eng. geology, EPS Serbia, bogoljub.vuckovic@eps.rs

³ M.Ss Radmila Gaćina, Environmental engineer, Research assistant of the Faculty of Mining and Geology, Belgrade University, Serbia, radmila.gacina@rgf.bg.ac.rs

lignita.

Istorijski posmatrano, zaključuje se da su rudarska mehanizacija i oprema elementi bez kojih ne može da se zamisli savremena eksploatacija lignita. Danas, rudarska mehanizacija se sastoji iz niza mašina različitih vrsta i tipova, koja je opremljena sofisticiranom opremom za pružanje maksimalnog iskorišćenja.

Najveći energetska značaj, ali najlošiji kvalitet, imaju baseni i ležišta lignitskog uglja. Ležišta lignita osim razlika u pogledu rezervi u odnosu na druge tipove uglja bitno se razlikuju u pogledu povoljnih prirodnih uslova ležišta, kao jedne od najvažnijih pretpostavki za definisanje tehničko-tehnoloških uslova eksploatacije. Donja toplotna moć lignita u Srbiji je u opsegu od 4.000 KJ/kg do 10.000 KJ/kg.

Gotovo u svim basenima lignitskog uglja utvrđeno je postojanje nekoliko ugljenih slojeva, najčešće 2-3 (u jednom delu Kolubarskog basena čak do 15 ugljenih slojeva relativno malih debljina. U tom pogledu, ovi baseni i slojevi sa aspekta eksploatacije, su povoljni za masovnu proizvodnju uglja, koji se koristi uglavnom za sagorevanje u termoelektranama.

Ukupne rezerve i resursi lignita Republike Srbije su prikazane u Tabeli 1.

Tabela 1. Rezerve i resursi lignita za površinsku i podvodnu eksploataciju (Ministarstvo rudarstva i energetike Republike Srbije) [8]

Basen	Bilansne rezerve	Vanbilansne rezerve	Potencijalni resursi (C ₂)
Kolubarski	1.959.787.300	564.084.850	434.431.960
Kostolački	808.698.598	621.010.000	575.190.000
Kovinski	270.531.378	203.135.958	612.353.068
Ukupno	3.034.593.656	1.388.230.808	1.621.975.028

2. Istorijat

Otkopavanje uglja na više lokacija u Srbiji počinje u prvoj polovini XIX veka nakon oslobođenja od Turske, a u skladu sa bržim razvojem privrede. Prvi otvoren rudnik na teritoriji današnje Srbije bio je rudnik Vrdnik na Fruškoj gori, 1804. godine, čime je označen početak eksploatacije i pripreme uglja. Godine 1836., u selu Mlava kod Despotovca otvoren je prvi državni rudnik uglja, a godine 1846. i prvi privatni rudnik kamenog uglja Dobra na Dunavu. Na kraju XIX veka Srbija je imala 20 otvorenih rudnika uglja. Krajem druge polovine XIX veka u Srbiji je radilo desetak rudnika uglja, među kojima je nekoliko koji su aktivni do danas.

Ugalj je u to doba podzemno (jamski) eksploatisan. Površinska eksploatacija uglja u Srbiji počela je pred kraj Drugog svetskog rata (Kostolac), snažniji zamah dobija pedesetih godina XX veka i brzo već 1955. godine ona po obimu dostiže jamsku proizvodnju sa tendencijom velikog porasta.

Za razvoj privrede bila je neophodna veća proizvodnja uglja, koja je pred početak Drugog svetskog rata dostigla godišnji kapacitet od $7 \cdot 10^6$ t. Nakon Drugog svetskog rata, eksploatacija i proizvodnja uglja raste do 60-tih godina, kada u Jugoslaviji nafta počinje da potiskuje ugalj iz upotrebe i dolazi do zatvaranja većeg broja rudnika. Nakon 1975. godine, ugalj nalazi svoje mesto u energetska razvoju kao sigurno fosilno gorivo. Tada se intenzivira gradnja termoelektrana u okviru površinskih kopova lignita, gde postoje i najveće rezerve uglja u Srbiji.

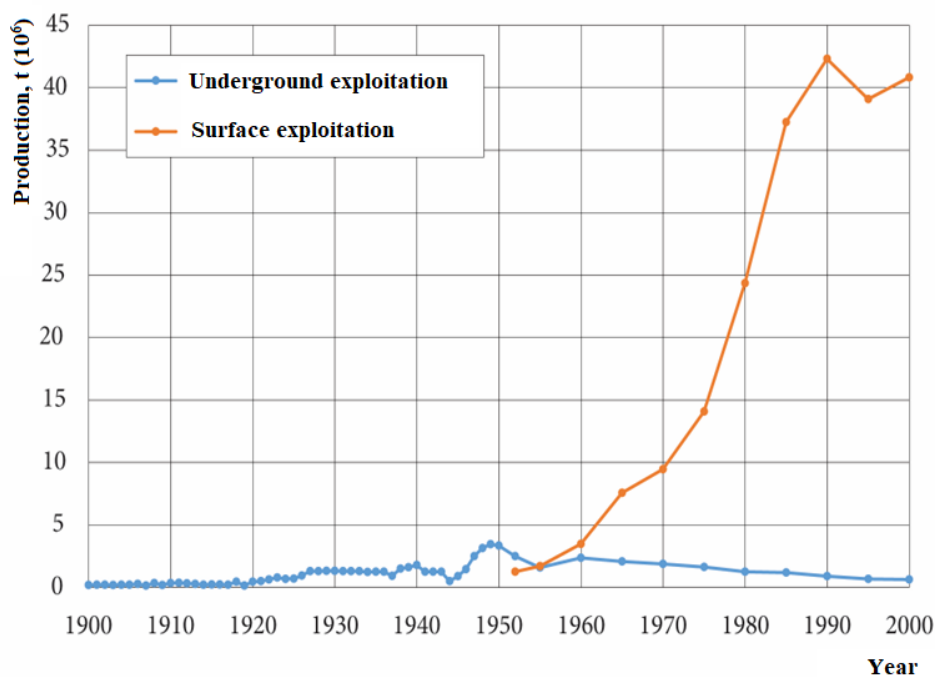
Odlukom Vlade NR Srbije iz decembra 1949. godine spojeni su rudnici Kolubara, Junkovac i Prkosava i formirano je novo rudarsko preduzeće Kolubarski rudnici lignita. To je bila osnova za gradnju tada jedne od najvećih termoelektrana u zemlji - TE Kolubare. 1950. godine, planirana je izgradnja modernog fabričkog postrojenja za oplemenjivanje uglja. Glavni razlog izgradnje fabrike za oplemenjivanje uglja, bio je nedostatak dovoljnih količina mrkog uglja u zemlji, da bi se odgovarajućim tehnološkim postupcima dobijao ugalj od oko 4.500 KCal/kg.

Veliki industrijski objekti u zemlji zahtevali su i znatno povećanje proizvodnje uglja u Kolubarskim rudnicima. U prvoj fazi zahtevana je proizvodnja od 2 miliona tona, sa kasnijim povećanje i do 4 miliona tona. Tako značajna proizvodnja uglja nije se mogla ostvariti bez otvaranja novih površinskih kopova i uvođenja savremene mehanizacije velikih kapaciteta.

Tokom 1950. godine, usledili su pripremni radovi na otvaranju površinskog kopa Polje A u Rudovcima. Za masovnu proizvodnju na novom kopu trebalo je angažovati bagere dreglajne sa zapreminom kašike od 6 m³ i rotorne bagere, lokomotive, vagoni i drugu rudarsku opremu. Ekonomisti su uradili analizu isplativosti eksploatacije uglja na površinskom kopu i izračunali da će tona uglja sa površinskog kopa biti 43 dinara, mnogo jeftinije spram tone uglja iz jame od 180 dinara.

Za istoriju rudarstva i energetiku Srbije posebno je značajna 1956. godina kada je završena prva faza izgradnje TE Kolubara sa po dva bloka, snage po 32 MW, a startovalo je i postrojenje za preradu uglja. Te iste godine, 20. oktobra, sa površinskog kopa Polje B proizvedene su prve tone uglja. Do kraja godine proizvedeno je 5.853 t.

Početak rada Polja B 1956. godine i otvaranje jame Kosmaj 1957. godine podigao je značaj kolubarske proizvodnje lignita u Srbiji i Jugoslaviji. U septembru 1956. godine, prve količine uglja usmeravaju se prema Sušari u Vreocima i termoelektrani Kolubara u Velikim Crljenima. Na Slici 1 prikazana je površinska i podzemna eksploatacija uglja u periodu od 1900. do 2000. godine.



Slika 1. Stogodišnji period površinske i podzemne eksploatacije uglja u Srbiji [6]

Prevod (legenda)slike:
 Underground exploitation Podzemna eksploatacija
 Surface exploitation Površinska eksploatacija
 Production t (10⁶) Proizvodnja t (10⁶)
 Year Godina

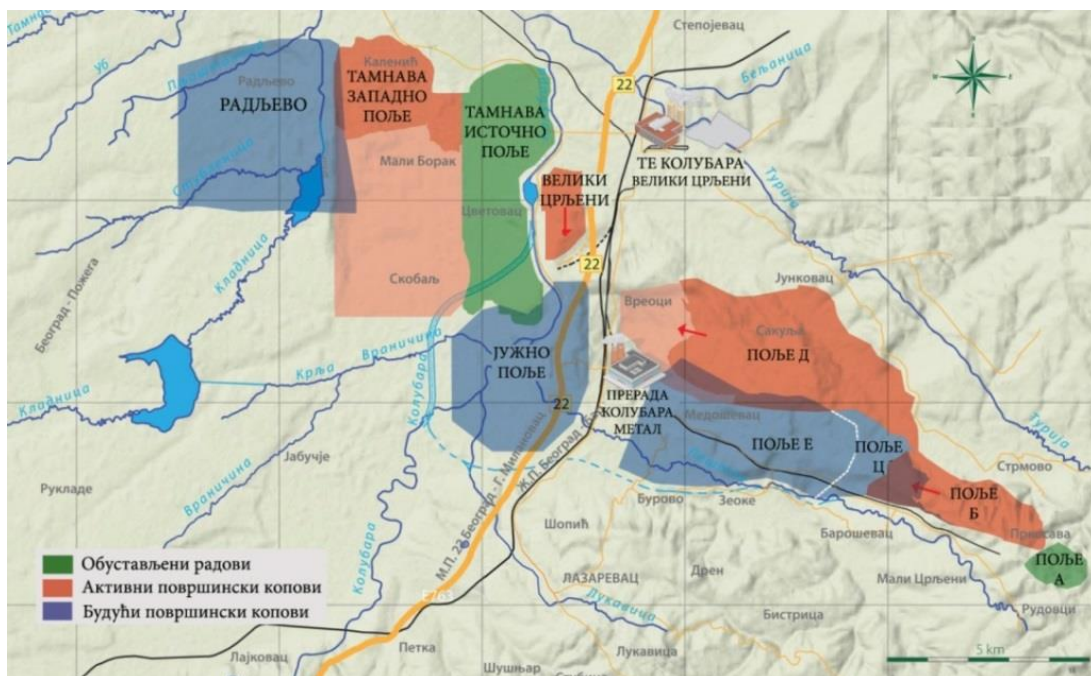
3. Sadašnje stanje

3.1. Kolubarski ugljeni baseni

Kolubarski ugljonosni basen je dobio ime po reci Kolubari koja ga deli na dva dela: istočni i zapadni. Ukupna površina basena je oko 600 km², od čega su na 200 km² debele naslage uglja gde se i vrši eksploatacija. Ukupne rezerve uglja bile su 4,1 milijarda tona, od čega je do 2022. godine otkopano 1,2 milijarde tona uglja. Preostale rezerve obezbeđuju eksploataciju u narednih 50 godina. U Istočnom delu basena je započela eksploatacija uglja 1952. godine na površinskom kopu Polje A sa konjskom vučom i malim vagonima. 1956. godine otvara se susedni površinski kop Polje B sa malim bagerima i železničkim transportom. 1960. godine otvara se najveći i najznačajniji površinski kop uglja na Balkanu Polje D. Koriste se veliki i savremeni rotorni bageri, sa transporterima sa trakom i odlagačima, tzv.

BTO sistemima. Do kraja eksploatacije 2015. godine Polje D je dalo 800 miliona tona uglja. Zamenski kopovi za Polje D su sada Polja C, E i G. Kop Veliki Crljeni je kratko radi od 2010. i nalazi se u fazi zatvaranja. U Zapadnom delu basena su kopovi Tamnava Istok (1982.-2005.), Tamnava Zapad (1992. i još uvek je u radu, Slike 5 i 6) i budući površinski kop Radljevo, koje je u fazi otvaranja, i koji će ubrzo započeti sa punom proizvodnjom.

Kolubarski ugljeni basen ima povoljan geografski položaj i odlične komunikacione veze. Rudarski basen Kolubara je deo Elektroprivrede Srbije - EPS, sada akcionarsko društvo 100% vlasništva Republike Srbije. Značaj Kolubare ogleda se u tome da je najveće rudarsko preduzeće u zemlji. Rudarski basen Kolubara je važan oslonac srpske energetike. Svaki drugi kilovat-čas električne energije u Srbiji proizveden je na bazi kolubarskog lignita. Osnovni zadatak ovog ugljenosnog basena je da obezbedi u kontinuitetu dovoljne količine uglja za termoelektrane TENT A i B u Obrenovcu, kao i da delimično zadovolji potrebe industrije i široke potrošnje. Na navedenim površinskim kopovima proizvodilo se i do 30 miliona tona uglja godišnje i otkopavalo i odlagalo i do 70 miliona m³ jalovine, a za industriju i široku potrošnju godišnje proizvelo oko 2 miliona tona uglja. Planirano je da Kolubara otkopava 30 miliona tona uglja, i to 28 miliona za termoelektrane TENT A i B i oko 2 miliona za široku potrošnju. Na Slici 2 prikazano je prošlo, sadašnje i buduće stanje na Kolubarskom ugljenosnom basenu.



Slika 2. Pregled položaja površinskih kopova Kolubarskog ugljenosnog basena

Površinska eksploatacija postaje dominantna tehnologija u masovnoj proizvodnji lignita i Kolubara je sva usmerena ka tome. Prekretnicu u razvoju površinske eksploatacije uglja predstavlja izgradnja površinskog kopa Polje D, koji je prikazan na desnoj fotografiji prvog reda (Slika 4).



Slike 3, 4, 5 i 6. Izabrani površinski kopovi Kolubarskog ugljonosnog basena: Polje B (levo), Polje D (desno), i Tamnava Zapadno Polje, (dole levo i desno) [6]

Do 2000. godine, proizvodnja uglja u Rudarskom Basenu Kolubara odvijala se na četiri površinska kopa: Polje D, Tamnava-Zapadno Polje, Tamnava-Istočno Polje i Polje B koje je prikazano na Slici 3. Do 2020. proizvodnja uglja se realizovala na šest površinskih kopova (Polje C, Polje D, Tamnava-Zapadno Polje, Veliki Crljeni, Polje G, Polje E) i ubuduće na Polju Radljevo).

Preuslovi za otvaranje novih površinskih kopova i rad postojećih, bili su izmeštanje Vrečkog i Medoševačkog groblja, izmeštanje rečnih tokova (Kolubare, Peštana), izmeštanje dela Ibarske magistrale, regionalnog puta Arandelovac-Vreoci, Baroševac-Stara Montaža, Kalenić-Radljevo i Borak-Skobalj, nabavka sistema za otkopavanje jalovine i uglja, završetak druge linije na drobilani tamnavskih kopova, eksproprijacija (Polje C, Polje E, Polje G, Radljevo i proširenje Polja D), izmeštanje pomoćne mehanizacije i pruge Beograd-Bar.

RB Kolubara raspolaže značajnim rezervama uglja, geološkim 2.986,9 miliona tona, odnosno bilansnim 2.291,3 miliona tona do sredine 21. veka. Tako ozbiljni dugoročni planovi zahtevali su rešavanje problema preseljenja sela Vreoci, Radljevo i delova nekih drugih sela, kao i izmeštanje delova i regulisanje vodotokova Kolubare, Peštana, Kladnice i manjih tokova i dislokacija dela Ibarske magistrale i železničke pruge Beograd-Bar radi otvaranja površinskog kopa Radljevo i proširenja postojećih i novih kopova. Zbog narušavanja životne sredine i prirodnog okruženja u Kolubari se već godinama unazad radi na rekultivisanju degradiranih odnosno narušenih površina i vraćanju njihovoj prvobitnoj nameni.

3.2. Kostolački ugljeni basen

Drugi veliki basen uglja u Srbiji je Kostolački. Reč je o jedinstvenom ugljonosnom basenu koji je

podeljen rekom Dunav na dva dela. Severno od reke Dunava je Kovinski, a južno Kostolački. Kostolačko-kovinski ugljonosni basen se prostire na površini od preko 400 km² i ima četiri ugljena sloja. Ukupne rezerve uglja iznose 5,5 milijardi tona, ali nisu sve eksploataбилne. Prva eksploatacija uglja je započela jamskim putem u Starom Kostolcu još pre prvog Svetskog rata. Naredne jame su bile Klenovnik i Ćirikovac. Jame su završile svoju eksploataciju krajem 60-tih godina 20. veka. Tada se otvaraju površinski kopovi Klenovnik i znatno veći Ćirikovac. Najznačajniji je površinski kop Drmno. Površinski kop je otvoren 1981. godine i još uvek radi. Kop na kome se planira otvaranje zamenskog kopa je Zapadni Kostolac.

U Kovinskom delu basena, koji je otkriven polovinom šezdesetih godina 20. veka, eksploatacija se vrši podvodnim otkopavanjem u manjem delu, Većim delom je u močvarnom području gde je eksploatacija diskutabilna. Kapacitet mu je bio 6 miliona tona uglja godišnje a sada je povećan na devet. Ima rezerve za još oko 20 godina rada. U blizini kopa Drmno je novo istražno Polje Zapadni Kostolac U ovom ležištu razvijena su četiri ugljena sloja lignita toplotne vrednosti do 8-8,5 KJ/kg. Na Slici 7, dat je pregled položaja važnijih objekata Kostolačkog ugljenog basena.



Slika 7. Kostolački ugljeni basen (1– Eksploataciono polje Klenovnik; 2– Kostolac; 3–Kanal; 4– Termoelektrana A; 5–Reka Dunav; 6–Reka Mlava; 7–Termoelektrana B; 8–Viminacijum; 9– Površinski kop Drmno; 10–Selo Drmno) [6]

Eksploatacija uglja se vrši u južnom delu basena površinskim putem. Za razliku od kopova Klenovnik i Ćirikovac, gde je eksploatacija uglja završena 2009. godine, u kopu Drmno slojevi uglja se nalaze 50-80 m ispod nivoa Dunava. Zbog specifičnosti odvodnjavanja, ubraja se u jedinstveni tehnološki sistem u zemlji i u Evropi. Treći ugljeni sloj prostire se između sela Bradarac, Drmno i Klenovnik. Kostolački ugljeni basen je podeljen je na tri dela basena. Krajnji istočni deo basena, Ćirikovac, Klenovnik i Drmno koji zahvataju centralni deo basena i zapadni deo Kostolačkog basena (Smederevsko Pomoravlje, od Velike Morave od granice sa ležištem Ćirikovac), koje zahvata krajnji zapadni deo basena.

U Kostolačkom basenu, u okviru pontijske ugljonosne serije, razvijena su tri ugljena sloja: prvi, drugi i treći ugljeni sloj. U ležištu Drmno na čitavom prostoru razvijen je samo treći ugljeni sloj, koji je nosilac do sada okonturenih bilansnih rezervi uglja. Sloj je uglavnom jedinstven i kompaktan, sa mestimičnim proslojcima ugljevitih glina debljine 0,5-2 m.

Bilansne geološke rezerve lignita u Kostolačkom basenu iznose 603 miliona tona, dok su vanbilansne rezerve iskazane sa 276,7 miliona tona. Grupisane su u ležištima Klenovnik, Ćirikovac, Drmno i Poljana. Na Slikama 8 i 9 predstavljene su foto panoramski izgledi površinskog kopa Drmno.



Slike 8 i 9. Površinski kop Drmno

Površinski kop lignita Kostolac je po neprekidnoj proizvodnji bio jedan od najstarijih ugljenokopa u Srbiji. Prvi rudnik u Kostolačkom ugljonosnom basenu sa jamskom eksploatacijom Stari Kostolac otvoren je 1870. godine, a od 1945. je bio u vlasništvu države. Od nekadašnjih rudnika sa jamskom eksploatacijom nastali su površinski kopovi Klenovnik i Ćirikovac. Površinski kop Klenovnik je otvoren nad prostorom nekadašnje jame Klenovnik sa diskontinualnom mehanizacijom, a eksploatacija uglja počela 1973. godine i do kraja 2009. godine, kada je obustavljena proizvodnja, iskopano je 8,99 miliona tona uglja.

Pre zatvaranja jame Ćirikovac 1973. godine, započeli su radovi na otvaranju površinskog kopa sa projektovanim godišnjim kapacitetom od 2,5 miliona t za potrebe novoizgrađenog termobloka od 210 MW. Površinski kop Ćirikovac je počeo da eksploatiše uglj 1976. godine i do prestanka rada 2009. godine, iskopano je 41,7 miliona tona uglja. Proizvodnja uglja je završena, a unutrašnje odlagalište se koristi za deponovanje pepela sa planiranom rekultivacijom. Izvršeno je prebacivanju rudarske mehanizacije na površinski kop Drmno. U jami rudnika proizvedeno je 4,5 miliona t, a za 36 godina površinske eksploatacije 41,7 miliona tona uglja.

3.3. Površinski kop Kovin

Istražni radovi na prostoru rudnika započeti su 1976. godine, a iskop uglja je otpočeo 1995. godine. Ugalj se vadi sa dna jezera koje je povezano sa Dunavom, i predstavlja jedinstvenu podvodnu površinsku eksploataciju uglja na svetu. Privredno društvo za podvodnu eksploataciju uglja izdvojeno je 1. jula 2005. godine iz sastava Elektroprivrede Srbije. Podvodna površinska eksploatacija uglja Rudniku Kovin je specifična i jedinstvena je u svetu. Slična tehnologija, sa ovim tipom bagera postoji u površinskoj podvodnoj eksploataciji rečnih, samo jezerskih nanosa i u priobaljima mora - *aluvijal mining*. Za sada, se u Rudniku Kovin eksploatiše više od 200.000 t komercijalnog uglja na godišnjem nivou, a u izradi je da se dostigne vrednost od 250 do 300.000 t uglja godišnje. Pored eksploatacije lignita na ovom podvodnom površinskom kopu se još eksploatišu i znatne količine peska i šljunka.



Slike 10 i 11. Podvodna eksploatacija na Rudniku Kovin - plovni rotorni bager (levo) i podvodno eksploataciono polje na pregrađenom delu Dunavu (desno) /foto dokumentacija Rudnika Kovin/

4. Strategija razvoja

Proizvodnja uglja u Republici Srbiji u prethodnom periodu iznosila je 37-38 miliona tona lignita, oko 400 hiljada tona uglja iz podzemne eksploatacije i oko 400 hiljada tona uglja iz podvodne eksploatacije (Kovin). Prerada uglja obuhvata proizvodnju oko 400 hiljada tona sušenog uglja. Jedan deo površinskih kopova (Drmno i Tamnava Zapadno Polje, Polje C, Polje E i Polje G) nalazi se u fazi pune eksploatacije, ali još uvek nisu realizovane investicije koje su bile planirane (nabavka opreme - bagera i samohodnih transportera, izrada objekata odvodnjavanja i slično). Deo kopova nalazi se u fazi investicione izgradnje - zamenski kapaciteti (Polje E i Radljevo) i na njima je realizovan tek deo planiranih investicija. U zavisnosti od usvojenog scenarija eksploatacije i novog ograničenja u površinskog kopa Drmno, zbog neplaniranog zaostatka u dinamici otkopavanja otkrivke, moguće otvaranje dopunskog i zamenskog površinskog kopa Zapadni Kostolac. Cilj je zamena i dopuna kapaciteta na kopu Drmno i poboljšanje kvaliteta za kostolačke termoelektrane. Površinski kop Polje G se nalazi u završnoj fazi eksploatacije i rezerve se iscrpljuju do kraja 2025. godine. U Tabelama 2 i 3 dat je detaljan pregled proizvodnje lignita u Kolubarskom i Kostolačkom ugljenom basenu u okviru EPS, jedinstvenog javnog preduzeća za proizvodnju i preradu uglja u električnu energiju, za 2021., 2022. godinu i prva dva kvartala 2023. godine u Srbiji, a prema zvanično objavljenim podacima resornog Ministarstva za rudarstvo i energetiku Republike Srbije.

Tabela 2. Proizvodnja uglja u EPS a.d. u 2021. i 2022. godini (t) [8]

NAZIV	Plan	Ostvarenje	Ostvarenje	%	%
	2022	2022	2021	4/3	4/5
Proizvodnja uglja	3	4	5	6	7
KOLUBARA	25,431,000	24,705,274	26,540,313	97.1	93.1
KOSTOLAC	9,798,000	9,908,172	9,393,439	101.1	105.5
UKUPNO					
KOLUBARA+KOSTOLAC	35,229,000	34,613,446	35,933,752	98.3	96.3

Tabela 3. Proizvodnja uglja u EPS a.d. za II kvartal 2023. godine (t) [8]

Ogranak	I Kvartal	II Kvartal	Ukupno I i II Kvartal
JP EPS OGRANAK RB Kolubara d.o.o.	5,652,192	4,214,313	9,866,505
JP EPS OGRANAK KO Kostolac d.o.o.	2,706,542	1,444,163	4,150,705
Ukupno JP EPS OGRANAK RB Kolubara d.o.o.+ JP EPS OGRANAK KO Kostolac d.o.o	8,358,734	5,658,476	14,017,210

5. Zaključak

Razvoj energetskog sektora u Republici Srbiji u doglednoj budućnost, a i dalje, zavisi od eksploatacije

lignita na površinskim kopovima Kolubarskog i Kostolačkog ugljenog basena (i podvodnog Kovinskog basena). Proizvodnja lignita u navedenim basenima vrši se površinskom eksploatacijom, pri čemu se u Kolubarskom ugljonosnom basenu, na četiri površinska kopa, godišnje proizvede oko 30 miliona tona lignita, a u Kostolačkom ugljonosnom basenu, na jedinom aktivnom površinskom kopu Drmno, blizu 9 miliona tona uglja godišnje. Radi se o ugljevima relativno niske toplotne moći, većina uglja pomenutih basna se iskoristi u bližoj okolini ležišta, za Termoelektrane Nikola Tesla - Obrenovac i Termoelektrane Kostolac, budući da bi transport na veće udaljenosti za takve vrste uglja bio neekonomičan. Izvesno vreme, izuzetno, zbog problema realizacije proizvodnje na kopovima Kolubarskog basene, uglj se ipak transportuje iz Kostolačkog basene uglja u TE Nikola Tesla.

Ovim radom je dat i istorijski pregled razvoja rudarske eksploatacije u Srbiji tokom 20. i 21. veka i sa aspekta podzemne i površinske eksploatacije. Takođe je prikazan pregled svih jama i kopova koji su bili aktivni, kao i onih koji to još uvek jesu, kao i analiza postojeće Strategije razvoja rudarskog i energetskog sektora u nas, u kojoj je aktivno učestvovao i Rudarsko-geološki fakultet sa svojim naučno-stručnim i nastavnim potencijalom.

Literatura

- [1] Dimitrijević B., Prezentacija - Površinska eksploatacija LMS u srpskom rudarstvu i geologiji 20 veka, Kolarčev Narodni Univerzitet, Beograd, 2014.
- [2] Dimitrijević B., Pregledna istorijska hronologija razvoja površinske eksploatacije u srpskom rudarstvu 20. veka i danas, Predavanja po pozivu za stručne prakse 3. i 4. godine Rudarskog inženjerstva i Modula za površinsku eksploataciju LMS Rudarsko-geološkom fakultet Univerziteta u Beogradu, školskih 2015/2023.
- [3] Dimitrijević B., Optimizacija upravljanja procesima rekultivacije površinskih kopova uglja, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2014.
- [4] Kostović N., Priprema uglja u Srbiji, pristupljeno dana 12.9.2023., dostupno na https://www.fmz.edu.rs/pages/05_arhiva/download/2011/kostovic.pdf;
- [5] Pavlović V., Tehnologija površinskog otkopavanja, Udžbenik, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, 1992.
- [6] Vujić S., Srpsko Rudarstvo i Geologija u drugoj polovini 20. veka, Enciklopedijska knjiga, Akademija inženjerskih nauka, Matica Srpska, Rudarski Institut Beograd, 2014.
- [7] EPS, Tehnička dokumentacija Rudarskog Basena Kolubara
- [8] <https://www.eps.rs/>
- [9] <https://www.mre.gov.rs/>
- [10] <http://www.rudnikkovin.rs/>



ANALIZA DINAMIKE RAZVOJA EKSPLOATACIJE UGLJA U JUŽNOM DELU STANARSKOG BASENA (POVRŠINSKI KOP OSTRUŽNJA)

THE ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT DYNAMICS OF COAL MINING IN THE SOUTHERN PART OF THE STANARI COAL BASIN (OPEN PIT OSTRUŽNJA)

Đurović M.¹, Božić B.², Đermanović. S³

Apstrakt

Dinamikom eksploatacije uglja i otkrivke u Stanarskom basenu, predviđeno je stvaranje uslova za otvaranje novog kopa površinskog kopa Ostružnja (PK Ostružnja), koje je planirano za 2025. godinu. Shodno tome, potrebno je izvršiti pripremne radnje, koje uključuju montažu novih transportera širine trake 1.600 mm, izradu i montažu mostova preko magistralnog puta i pruge, izradu pomoćnih objekata za održavanje (mašinske i elektro radionice i benzinske pumpe), kao i objekata za odvodnjavanje i vodosnabdevanje. Takođe je predviđena i izrada platoa za montažu novog rotornog bagera i odlagača (montaža nove opreme počinje 2024. godine). Sve pripremne radnje imaju za cilj da se obezbedi neometan početak rada BTO (bager-transporteri-odlagač) sistema na eksploataciji otkrivke na PK Ostružnja u 2025. godini, kako bi se ostvarila dinamika eksploatacije uglja i ne bi ugrozio normalan rad termoelektrane Stanari.

Ključne reči: PK Ostružnja, BTO sistem, rotorni bager, odlagač, transporter, dinamika, eksploatacija uglja.

Abstract

The dynamics of coal and overburden mining in Stanari basin are expected to create conditions for the opening of the new open pit Ostružnja, which is planned for 2025. Accordingly, it is necessary to carry out preparatory works, which include the assembly of new conveyors with a belt width of 1.600 mm, the construction and assembly of bridges over the main road and railway, the construction of auxiliary maintenance facilities (mechanical and electrical workshops and gas station), as well as drainage and water supply facilities. It is also planned to construct a platform for the installation of a new bucket-wheel excavator and spreader (new equipment installation will begin in 2024). All preparatory works are aimed at ensuring the smooth start of the BTO (excavator-conveyor-spreader) system for overburden exploitation at the open pit Ostružnja in 2025, in order to achieve the coal exploitation dynamics and not to jeopardize the normal operation of Stanari thermal power plant.

Keywords: Open pit Ostružnja, ECS (excavator-conveyor-spreader) system, conveyor, dynamics, coal exploitation

1. Uvod

Ugljonosni basen Stanari prostire se na površini maksimalne dužine oko 10 km u pravcu Z-I i širine oko 5 km u pravcu S-J. Reka Ostružnja deli basen na severni i južni ugljonosni blok. Severni deo basena,

¹Mirjana Đurović, EFT Rudnik i Termoelektrana Stanari d.o.o. Stanari, BiH-Republika Srpska. E-mail: mirjana.djurovic@eft-stanari.net

²Boban Božić, EFT Rudnik i Termoelektrana Stanari d.o.o. Stanari, BiH-Republika Srpska. E-mail: boban.bozic@eft-stanari.net

³Slobodan Đermanović, EFT Rudnik i Termoelektrana Stanari d.o.o. Stanari, BiH-Republika Srpska. E-mail: slobodan.djermanovic@eft-stanari.net

koji predstavlja površinski kop Raškovac (Slika 1), podeljen je na istočni, središnji i zapadni revir. Južni deo basena predstavlja celinu i predstavlja ležište Ostružnja.

Eksploatacija uglja u cilju snabdevanja TE Stanari i ostalih potrošača trenutno se odvija na površinskim kopovima Raškovac, Kop 1, Kop 2 i Kop 3. Završetkom eksploatacije uglja severnog dela basena, eksploatacija uglja će se u potpunosti prebaciti na južni deo basena gde će se otvoriti površinski kop Ostružnja. Početak otkopavanja uglja na ovom kopu planiran je za 2028. godinu, dok će na svim kopovima severnog dela basena (osim na Kopu 3) eksploatacija uglja biti završena.



Slika 1. Pregledna topografska karta šireg područja Stanara sa položajem eksploatacionog polja i rudnih polja Raškovac i Ostružnja (izvor: TK : Derventa 424-2-3, 424-2-4, 424-4-1 i 424-4-2)

Sve ove činjenice su uticale na potrebu definisanja dinamike izvođenja pojedinih radnji i načina i vremena uključenja u rad PK Ostružnja, dinamike nabavke diskontinualne opreme i opreme novog, II BTO sistema, kao i usklađivanje drugih aktivnosti kao što su: otkup zemljišta, izgradnja potrebnih komunikacija, infrastrukturnih objekata i pripremi lokacija za montažu nove opreme predviđene za rad na površinskom kopu Ostružnja.

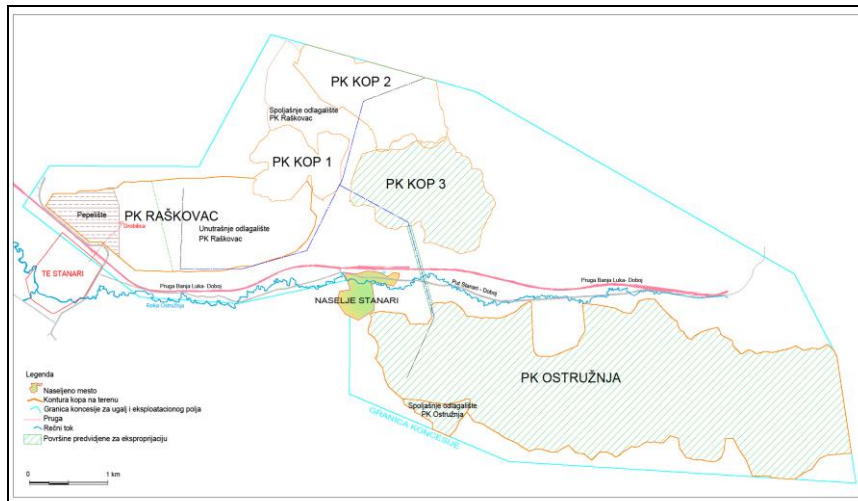
Postojećom projektnom dokumentacijom razvoj Stanarskog ugljenog basena je baziran na eksploataciju uglja prvenstveno namenjenog za snabdevanje termoelektrane Stanari sa količinom od 2,25 miliona tona godišnje i ostalim potrošačima sa količinom od 200.000 tona godišnje.

Osnovnim planom je planirano snabdevanje termoelektrane ugljem za period do 2055. godine, a snabdevanje ostalih potrošača, kao što su toplane, industrijska postrojenja i grejanje domaćinstava je planirano do 2029. godine. Ovakav plan je proizašao na osnovu ukupnih količina uglja u basenu i planiranog radnog veka termoelektrane od 40 godina.

2. Sadašnje stanje razvoja površinskih kopova stanarskog ugljenog basena

Prema geološkim prilikama u stanarskom ugljenom basenu, izdvojeno je pet zona za eksploataciju uglja i to:

- Površinski kop Raškovac
- Površinski kop Rašković 1
- Površinski kop KOP 2
- Površinski kop KOP 3
- Površinski kop Ostružnja



Slika 2. Prikaz eksploatacionih granica kopova u stanarskom ugljenom basenu

Sada su aktivni površinski kop Raškovac, površinski kop KOP 1, površinski kop KOP 2 i površinski kop KOP 3.

Ukupne mase otkrivke, uglja i međuslojne jalovine po kopovima prema Dopunskom rudarskom projektu 2021 - 2025. god. prikazane su u tabeli broj 1, dok je u tabeli broj 2 prikazana dinamika otkopavanja uglja i otkrivke u Stanarskom basenu.

Tabela 1. Ukupne mase otkrivke, uglja i međuslojne jalovine po kopovima prema Dopunskom rudarskom projektu za period od 2021.-2025. godine

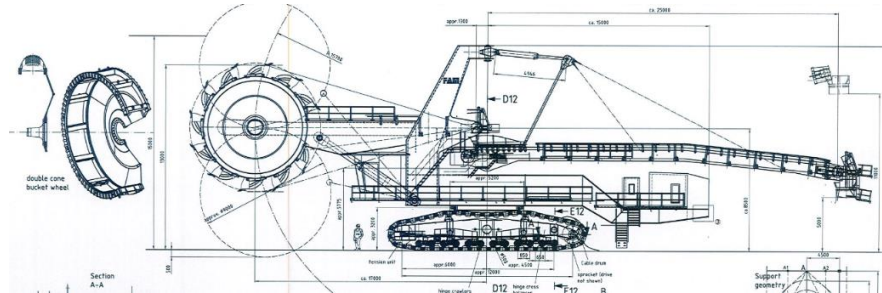
Kop	Otkrivka (m ³)	Ugalj (t)	Međuslojna jalovina (m ³)
Raškovac	0	4.550.000	1.305.000
KOP 1	8.000.000	2.100.000	135.000
KOP 2	36.300.000	6.580.000	16.380
Kop 3	40.837.000	5.350.000	488.102
Ostružnja	292.802.000	51.200.000	20.690.800
Ukupno	377.939.000	72.300.000	22.635.282

Tabela 2. Dinamika otkopavanja uglja i otkrivke u Stanarskom basenu

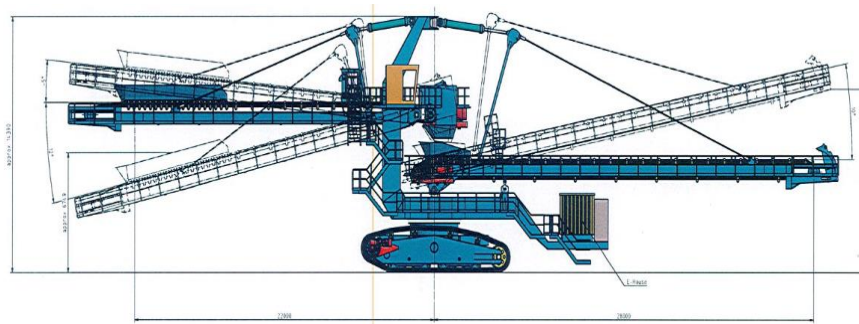
Godina	PK RAŠKOVAC		SEVERNI DEO LEŽIŠTA STANARI								PK OSTRUŽNJA				UKUPNO					
	Ugalj za ostale (t)	M.J. (m ³)	PK KOP 1		PK KOP 2		PK KOP 3		Otkrivka (m ³)			Ugalj za TE Stanari (t)	M.J. (m ³)	Ukupno ugalj (t)	Ukupno ugalj za TE Stanari (t)	Ukupno otkrivka i MJ (m ³)				
			Otkrivka (m ³)	Ugalj za ostale (t)	Ugalj za TE Stanari (t)	Otkrivka (m ³)	Disk.	Ugalj za TE Stanari (t)	Otkrivka disk. (m ³)	Ugalj za ostale potroš. (t)	Ugalj za TE Stanari (t)						I BTO (m ³)	II BTO (m ³)	Diskont. (m ³)	
2023	350	150	2,000	150	650	6,800	300	1,150	5,000	150	350					2,800	2,150	14,250		
2024	0	0	1,000	200	100	6,800	300	1,650	5,000	150	500			1,000		2,600	2,250	14,100		
2025						6,800	300	1,550	6,000	350	700			2,000	1,000	2,600	2,250	16,100		
2026						6,800	300	1,250	5,500	350	1,000			6,000	700	2,600	2,250	19,300		
2027						4,800	200	1,150	5,500	350	1,100			8,000	700	2,600	2,250	19,200		
2028									6,500	350	800			8,000	700	2,650	2,300	15,200		
2029									2,000		200			2,000	8,000	2,300	2,500	13,700		
2030														5,000	8,000	2,500	1,900	2,500	15,600	
2031														5,000	8,000	2,500	1,800	2,500	15,500	
2032														5,000	8,000	2,500	1,700	2,500	15,400	
2033														5,000	8,000	2,500	1,600	2,500	15,300	
2034														5,000	8,000	2,500	1,500	2,500	15,200	
2035														5,000	8,000	2,500	1,400	2,500	15,100	
2036														5,000	8,000	2,500	1,300	2,500	15,000	
2037														5,000	8,000	2,500	1,200	2,500	14,900	
2038														5,000	8,000	2,500	1,100	2,500	14,800	
2039														5,000	8,000	2,500	1,000	2,500	14,700	
2040														5,000	8,000	2,500	900	2,500	14,600	
2041														5,000	8,000	2,500	800	2,500	14,500	
2042														5,000	8,000	2,500	700	2,500	14,400	
2043														5,000	8,000	2,500	600	2,500	14,300	
2044														5,000	8,000	2,500	500	2,500	14,200	
2045														5,000	8,000	2,500	400	2,500	14,100	
2046														5,000	8,000	2,500	350	2,500	14,050	
2047														5,000	8,000	2,500	350	2,500	14,050	
2048															6,000	700	2,500	300	2,500	7,000
2049															700	1,500	300	1,500	1,500	1,000
2050																800	300	800	800	300
Ukupno	350	150	3,000	350	750	32,000	1,400	6,750	35,500	1,700	4,650	92,000	182,000	18,800	53,600	21,000	68,150	65,750	385,850	
Kolicine			3,000	1,100	750	33,400		6,750	35,500	6,350		92,000	182,000	18,800	53,600		68,150		385,850	

3. Nabavka i montaža nove opreme

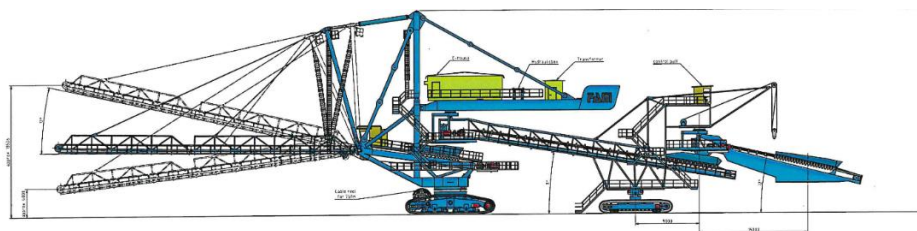
Ovakvim planom razvoja je pored izgrađene termoelektrane i svih pratećih objekata, izvršena i nabavka najvećeg dela opreme za eksploataciju uglja i otkopavanje otkrivke. Dinamički je planirano da se u periodu od 2022. do 2025. izvrši nabavka i puštanje u rad još jednog BTO sistema godišnjeg kapaciteta od 8 miliona cm^3 otkrivke, čime bi se proizvodni ciklus u potpunosti prilagodio potrebama redovnog kontinualnog snabdevanja termoelektrane ugljem iz Stanarskog ugljenog basena, kao i uslovima u ležištu uglja. Na Slikama 3, 4, 5 i 6 prikazan je izgled kontinuirane opreme, a u Tabeli 3 gantogram aktivnosti za njihovu montažu.



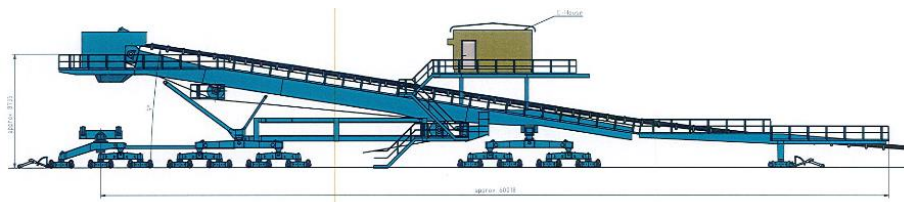
Slika 3. Rotorni bager SR 800 R7



Slika 4. Samohodni pretovarni transporter BW 1600.22/28 R



Slika 5. Odlagač ST 7700.55 R



Slika 6. Pretovarni voz TC 1600.9 K

Tabela 3. Gantogram za montažu nove opreme

GANTOGRAM AKTIVNOSTI ZA MONTAŽU NOVE OPREME U 2024 GODINI												
R.B	NAZIV AKTIVNOSTI	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
1	ROTORNI BAGER SR 800 R7											
1,1	Montaža čelične konstrukcije											
1,2	Montaža mašinske opreme											
1,3	Montaža elektro opreme											
2	BANDWAGEN BW 1600.22/28 R											
2,1	Montaža čelične konstrukcije											
2,2	Montaža mašinske opreme											
2,3	Montaža elektro opreme											
3	ODLAGAČ ST 7700.55 R											
3,1	Montaža čelične konstrukcije											
3,2	Montaža mašinske opreme											
3,3	Montaža elektro opreme											
4	PRETOVARNI VOZ TC 1600.9 K											
4,1	Montaža čelične konstrukcije											
4,2	Montaža mašinske opreme											
4,3	Montaža elektro opreme											
5	PROBNI RAD MAŠINA											

Pored ove opreme nabavljena su i četiri nova transporter sa trakom širine B = 1.600 mm. Njihova montaža je krenula u avgustu 2023. godine.

4. Izrada placeva i nadvožnjaka za prelaz transportera preko magistralnog puta i pruge

Pored nabavke nove opreme potrebno je uraditi pripremne radnje, kako bi se stvorili uslovi za montažu pomenute opreme. Pripremne radnje obuhvataju nasipanje placeva za montažu novog rotornog bagera i samohodnog pretovarnog transportera, placeve za montažu novog odlagača i pretovarnog voza, kao i izradu trase za montažu i postavljanje novih transportera B = 1.600 mm. Najviše aktivnosti će biti na veznom transporteru, koji prelazi preko magistralnog puta Stanari-Doboj i pruge Banja Luka - Doboj. U tu svrhu će se u najkraćem roku izraditi dva nadvožnjaka, koja će omogućiti bezbedan prelazak transportera preko magistralnog puta i pruge, bez ugrožavanja bezbednosti i normalnog odvijanja železničkog i drumskog saobraćaja (Slika 7).



Slika 7. Pozicija prelaska transportera preko magistralnog puta i pruge

5. Zaključak

Dinamika otkopavanja uglja i otkrivke u severnom delu Stanarskog basena diktira uslove za otvaranje novog kopa Ostružnja u južnom delu Stanarskog basena. Otvaranje PK Ostružnja koje je planirano za 2025. godinu je izuzetno važno, kako bi se obezbedio normalan rad termoelektrane Stanari.

Održavanje kontinuiteta u proizvodnji otkrivke i uglja iziskivalo je nabavku nove opreme, koja je uključivala novi rotorni bager, samohodni pretovarni transporter, odlagač, pretovarni voz i četiri nova transportera širine trake $B = 1.600$ mm.

Pre otvaranja površinskog kopa, veoma je bitno da se izvrše pripremne radnje, koje će omogućiti brzo i efikasno puštanje u rad nove opreme na otkopavanju otkrivke i uglja. Od pripremnih radova poseban akcenat je stavljen na izradu dva nadvožnjaka koji prelaze preko magistralnog puta i pruge.

Iz svega ovoga se može zaključiti, da će se sprovođenjem dinamike radova, poštovanjem zadatih rokova, dobrom organizacijom, ostvariti planirani cilj, a to je kontinuirano i stabilno snabdevanje ugljem termoelektrane Stanari.

Literatura

[1] Glavni rudarski projekat površinskog kopa Ostružnja - Stanari, Rudarski institut d.o.o. za projektno-konsultantsko-istraživačku delatnost, Banja Luka - jul 2023. godine

[2] Dopunski rudarski projekat eksploatacije severnog dela basena Stanari za period od 2021-2025 godine - Rudarski institut d.o.o. za projektno-konsultantsko-istraživačku delatnost Banja Luka - decembar 2020. godine

[3] Ugovor o nabavci nove opreme sa firmom FAM Minerals & Mining GmbH - Magdeburg Germany (contract on purchase of a bucket wheel excavator, belt wagon, spreader and tripper car) iz 2022. godine



EKSPLOATACIJA LEŽIŠTA MRKOG UGLJA RUDNIKA SOKO NA POVRŠINSKOM KOPU BILJKINA STRUGA

EXPLOITATION OF THE BROWN COAL DEPOSIT OF THE SOKO MINE AT THE BILJKINA STRUGA SURFACE MINE

Kokerić S.¹, Aksentijević Z.², Mitić S.³, Vukojanc A.⁴, Milković M.⁵, Fići Đ.⁶, Radivojević D.⁷

Apstrakt

RMU Soko bavi se primarno podzemnom eksploatacijom uglja, a u centralnom eksploatacionom polju u zoni isklinjenja otvoren je 2023. godine i površinski kop Biljkina Struga. Prema proračunatim geološkim rezervama i uslovima rada na kopu, procenjeno je da će površinski kop raditi narednih šest do sedam godina. U okviru prve godine očekuje se manja proizvodnja rovnog uglja, radovi su bazirani na otvaranju površinskog kopa, otkopavanju jalovine sa formiranjem odlagališta jalovine, kao i stabilnosti samih kosina kopa. Nakon prve godine, nastavljaju se radovi sukcesivno na otvaranju i eksploataciji uglja do projektovanog godišnjeg kapaciteta od 50.000 tona. Nakon otkopavanja proračunatih geoloških rezervi i potvrđivanja da na istom nema zaostalog ugljenog sloja, doći će do zatvaranja površinskog kopa i rekultivacije terena.

Ključne reči: *ležište mrkog uglja, površinska eksploatacija, istražni radovi, zasecanje i usecanje*

Abstract

RMU Soko primarily engages in underground coal exploitation, and in the central exploitation field within the outcrop zone, the Biljkina Struga surface mine was opened in 2023. based on calculated geological reserves and working conditions at the mine, it is estimated that the surface mine will operate for the next six to seven years. In the first year, a lower coal production is expected, with work focused on opening the surface mine, removing overburden and forming overburden disposal sites, and ensuring the stability of the pit slopes. After the first year, work will continue successively on opening and coal exploitation up to projected capacities of 50.000 tons of coal per year. After the excavation of the calculated geological reserves and confirmation that there is no remaining coal seam, the surface mine will be closed, and land reclamation will take place.

Keywords: *brown coal deposit, surface exploitation, exploration works, cutting and excavation*

1. Uvod

Površinski kopovi spadaju u grupu rudarskih objekata na kojima se eksploatacija mineralnih sirovina ostvaruje odmah nakon skidanja jalovog pokrivača, koji se deponuje na odlagalištu nedaleko od samog površinskog kopa. Eksploatacija ugljenog sloja sa površine terena prihvatljiva je i ostvarljiva tek onda kada se zadovolje određeni geološki uslovi, kao što su: debljina jalovog proslojka koja ne sme biti velika

¹ Mr Slobodan Kokerić, dipl. inž. rud., JP PEU Resavica - RMU Soko

² Zoran Aksentijević, dipl. inž. rud., JP PEU Resavica - RMU Soko

³ Slobodan Mitić, dipl. inž. rud., JP PEU Resavica - RMU Soko

⁴ Aleksandar Vukojanc, mast. dipl. inž. rud., JP PEU Resavica - RMU Soko

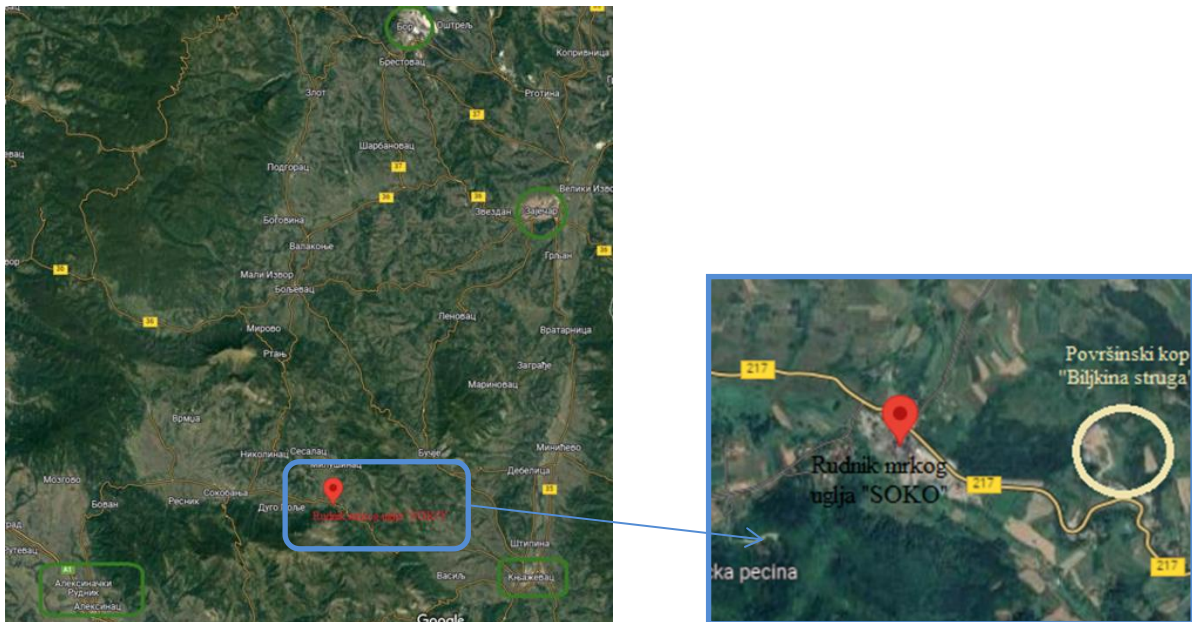
⁵ Miljana Milković, mast. dipl. inž. geol., JP PEU Resavica - RMU Soko

⁶ Đorđe Fići, mast. dipl. inž. geol., JP PEU Resavica - RMU Soko

⁷ Daniel Radivojević, mast. dipl. inž. geol., JP PEU Resavica - RMU Soko

zbog ekonomskih uslova, a geološke rezerve moraju biti unapred proračunate i potvrđene od strane Ministarstva Republike Srbije. U trenutku kada su geološki uslovi zadovoljeni, a eksploatacija se smatra ekonomski opravdana, pristupa se izradi glavnog rudarskog projekta otvaranja i eksploatacije kopa.

Površinski kop Biljkina Struga otvoren je 31.01.2023. godine, a nakon samo par meseci u maju iste godine započeta je eksploatacija mrkih ugljeva na samo par metara od površine brdovitog dela terena. Navedeni kop pripada rudniku mrkog uglja Soko, koji se pored površinske eksploatacije u osnovi bavi i podzemnom eksploatacijom mrkih ugljeva od 1898. godine. Površinski kop kao i sam rudnik Soko nalaze se na 12 km od Sokobanje u blizini sela Čitluk u centralnom delu istočne Srbije. Iako ne postoji autoput od samog rudnika do većih gradova u Srbiji, lokalnim putevima ostvaruje se saobraćajna i železnička veza sa većim gradovima i termoelektranama Republike Srbije. Na istoku Srbije ostvaruje se saobraćajna veza između rudnika i Knjaževca, a preko Sokobanje, koja se nalazi zapadno od rudnika Soko, ostvaruje se veza sa gradom Aleksinac ujedno i autoputem koji omogućava povezanost sa većim gradovima u Republici Srbiji. Severnije od rudnika, preko planine Rtanj moguće je doći do gradova Bor i Zaječar (Slika 1).



Slika 1. Lokacija površinskog kopa Biljkina Struga i njegova povezanost sa većim gradovima u Srbiji

Tokom geološke istorije došlo je do stvaranja sokobanjskog ugljonosnog basena krajem oligocena i početkom miocena, srednji miocen vezuje se za mrke ugljeve koji su stvarani na napred navedenom prostoru. Tvrdi mrki ugljevi rudnika Soko spadaju u energetske sirovine od sekundarnog značaja. U daljem radu detaljnije će se objasniti kvalitet mrkih ugljeva, proces njihovog stvaranja - geologija dela ležišta i površinski način eksploatacije ovog kopa.

2. Geološka građa ležišta

Neogeni sedimenti ispunjavaju tektonske potoline formirane posle izdizanja Karpatsko-Balkanskog planinskog venca. Ove potoline pripadaju perifernim (niški basen), intrakarpatskim uzdužnim (timočki basen) i poprečnim potolinama (sokobanjski i svrljiški basen). Sokobanjski basen izgrađuju sedimenti tercijarne starosti, po obodu ovog basena prisutni su različiti paleozojski i mezozojski litološki članovi. Sedimenti tercijarne starosti predstavljaju najmlađi deo ovog jezerskog kompleksa, koji je moguće raščlaniti na četiri serije [1]:

- Staropaleogena
- Čitlučka ugljonosna serija

- Vrmdžanska ugljunosna serija
- Završna klastična serija

Čitlučka ugljunosna serija

Čitlučka ugljunosna serija ograničena je sistemima raseda sa istočne, zapadne i južne strane, granica bilansnih rezervi ujedno predstavlja i granicu ležišta sa severne strane. Ležište obuhvata površinu od oko 363 ha, pitanje granica prema severu i zapadu su još uvek otvorene, ali se može pretpostaviti da je površina ležišta veća, što je ujedno i potvrđeno bušotinama koje se nalaze van granica eksploatacionih rezervi. Od ukupne površine koja je navedena, površinskom kopu Biljkina Struga pripada 8,90 ha. Površina je proračunata zahvaljujući granicama koje su omogućile proračun bilansnih rezervi. Granice kopa definisane su na osnovu istražno-informativnog bušenja i potvrđenosti ugljenog sloja na ovim prostorima.

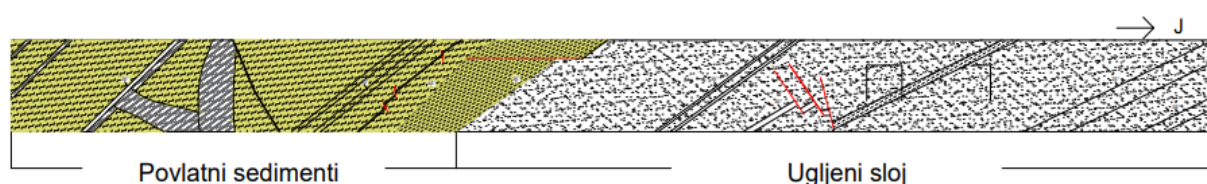
Na samo par metara, tačnije 25 m od površine terena pa sve do 100 m zaleže ugljeni sloj koji se, prema odrađenim laboratorijskim ispitivanjima i dobijenim rezultatima, kategoriše kao mrki ugalj. Ugalj iz ležišta Soko ima crnu boju, smolastu sjajnost i braon ogreb.

Makroskopski se mogu uočiti izvesne razlike uglja iz krovinskog, centralnog i podinskog dela glavnog ugljenog sloja. Krovinski deo se karakteriše strukturnim ksilitom u smeni sa proslojcima dopleritskog uglja debljine do 50 mm. U centralnom delu glavnog ugljenog sloja zastupljen je barski netrakasti i trakasti gelificirani litotip sa proslojcima doplerita i strukturnog ksilita debljine do 20 mm. Prisutna su i zrna karbonata sivo-bele boje veličine do 5 mm. Debljina ugljenog sloja varira, zbog zone isklinjenja i kreće se u granicama od samo par metara pa sve do 30 m. Pored debljine sloj ima i izrazito složenu geološku građu. Unutar navedenog sloja izdvajaju se dva proslojka, pepeljivac i laporac (tzv. srednjak), njihova debljina je promenljiva od milimetarskih do decimetarskih dimenzija. Podinski delovi ugljenog sloja imaju blaži pad od 25 do 30° u odnosu na samu krovinu ugljenog sloja, u kojoj se kartiranjem etaža uočava ubranost slojeva i nešto veće vrednosti padnih uglova. U samom ugljenom sloju prilikom otvaranja površinskog kopa na etaži E - 480 otvoren je i nekadašnji stari rudnik sa početka XX veka (Slika 2). U zoni isklinjenja ugljeni sloj u potpunosti prelazi u ugljevitu glinu i zaglinjeni ugalj.



Slika 2. Otvoren stari rad na etaži E - 480

Podinu glavnog ugljenog sloja izgrađuju laporovite i ugljevite gline, dok se preko ugljenog sloja deponuju sedimenti različite debljine. U povlatnom sloju prisutni su uslojeni laporci sa mnoštvo kongerija, što ujedno predstavlja i osnovnu razliku između povlatnih i podinskih sedimenata čitlučkog ugljenog sloja. Preko krovinskog laporca, naležu laporovite i delom ugljevite gline, kao i gline sivo-žute boje. Na etažama E - 485 i E - 490, detektovan je sloj peska debljine 3 do 4 m, smešten u glinama sive boje (Slika 3).



Slika 3. Profil lica etaže E - 480, nakon kartiranja izdvojeni su povlatni sedimenti i ugljeni sloj

3. Izvedeni istražni radovi na površinskom kopu

Prva istraživanja Centralnog eksploatacionog polja započeta su davne 1960. godine tačnije na jugoistočnom delu ovog polja, pod nazivom Biljkina Struga. Na prostoru budućeg površinskog kopa tih godina odrađene su dve bušotine B - 301 i B - 312. Jedna bušotina izvedena je u severnom, a druga u južnom delu ležišta, što je bilo dovoljno za potvrđivanje zone isklinjenja. Prilikom bušenja nabušen je ugljeni sloj male moćnosti i promenljive dubine zaleganja.

Na ograničenom prostoru površinskog kopa u periodu od 1998. pa sve do 2009. godine vršena su detaljna istraživanja navedenog dela ležišta. Istražno-informativno bušenje sa površine terena odrađeno je od strane ekipe rudnika mrkog uglja Soko, a za potrebe dubinskog bušenja korišćena je bušača garnitura Geomašina BA - 850.

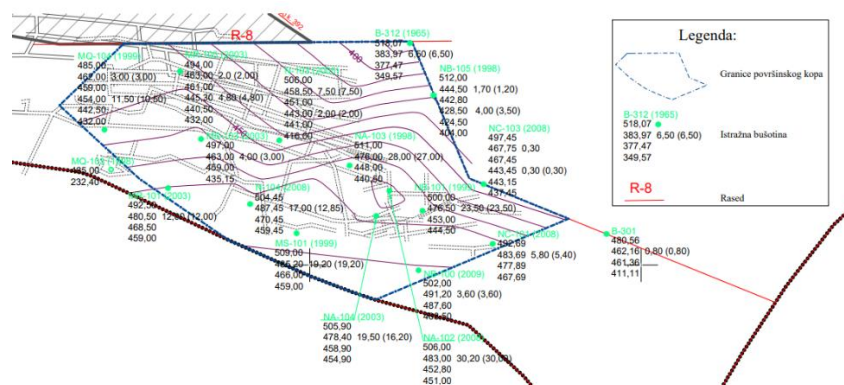
Ukupno je izbušeno 16 bušotina od kojih samo jedna bušotina nije bila pozitivna, a sve ostale su nabušile ugljeni sloj od decimetarskih do metarskih dimenzija. U toku istraživanja, jugoistočnog dela Centralnog eksploatacionog polja, nabušeno je ukupno 1.370,10 m materijala, od toga ugljenom sloju pripada 207,20 m. U Tabeli 1 dati su osnovni podaci istražno-informativnog bušenja, kao i broj uzetih uzoraka za laboratorijska ispitivanja.

Tabela 1. Osnovne karakteristike odrađenih bušotina u period od 1998. do 2009. godine na površinskom kopu

Osnovne karakteristike / naziv bušotine	Moćnost ugljenog sloja (m)	Debljina povlatnih i podinskih sedimenata (m)	Duubina bušotine (m)	Broj uzetih uzorka
MQ – 103	/	252,60	252,60	/
MQ – 104	3,00 i 11,50	38,50	53,00	/
MR – 101	12,00	21,50	33,5	/
MR – 105	2,00 i 4,80	55,20	62,00	/
MS – 101	19,20	30,80	50,00	Jedan uzorak
MS – 103	4,00	57,85	61,85	/
N – 103	7,50 i 2,00	80,50	90,00	/
N – 104	17,00	28,00	45,00	Ukupno je uzeto osam uzoraka iz povlatnih i podinskih sedimenata kao i iz ugljenog sloja
NA – 102	30,20	24,80	55,00	Ukupno je uzeto pet uzorka iz povlatnih sedimenata i ugljenog sloja
NA – 103	28,00	42,50	70,50	/
NA – 104	19,50	31,50	51,00	/
NB – 100	3,60	29,90	33,5	/
NB – 101	23,50	32,00	55,50	/
NB – 105	5,70	102,30	108,00	/
NC – 101	5,80	19,20	25,00	/
NC – 103	0,60	59,10	59,70	Dva uzorka iz povlatnih sedimenata

3.1. Granice površinskog kopa

Kao što je već napomenuto, ležište mrkog uglja pod nazivom Biljkina Struga eksploatiše se površinskim načinom zbog dubine zaleganja glavnog ugljenog sloja čitlučke ugljonosne serije. Površina kopa detaljno je istražena i na osnovu dobijenih rezultata kao i tektonike samog prostora definisane su granice površinskog kopa. Istočna granica površinskog kopa Biljkina Struga predstavljena je rasedom Suvog potoka, a rasedima R - 4 (najdominantniji je rased na čitavom prostoru ležišta uglja Soko, pružanja JI - SZ sa padnim uglom od 75° prema SI) i R - 8 severnu granicu dok je zapadna granica definisana starim radovima podzemne eksploatacije pod nazivom Stara jama. Rased koji se proteže od reke Izgare na zapadu pa sve do Suvog potoka na istoku, istovremeno predstavlja konturu kopa sa njegove južne strane. Granice kopa sa odrađenim istražnim-informativnim bušotinama sa površine terena prikazane su na Slici 4.



Slika 4. Karta sa granicama površinskog kopa i istražnim bušotinama

3.2. Rezultati istražnih radova i kvalitet ugljenog sloja

Na uzorcima uzetih iz bušotina u periodu od 1998. do 2009. godine odrađena su laboratorijska ispitivanja u laboratoriji rudnika Soko. Urađena je skraćena tehnička analiza uglja koja je podrazumevala definisanje sadržaja vlage, pepela, i sagorljivih materija, ali i najbitnije parametre kao što je gornja i donja toplotna vrednost.

Dobijeni rezultati kvaliteta uglja ukazuju da ugalj na ovom delu ležišta ima sve odlike mrkih ugljeva. Laboratorijskim ispitivanjima ustanovljeno je da se najveća donja toplotna vrednost vezuje za centralni deo ležišta, u delu gde je moćnost ugljenog sloja od 20 do 30 m. Najveća dobijena toplotna vrednost sagorevanja je na uzorku iz bušotine NB - 101 i iznosi 19.000 kJ/kg. Kako u tom trenutku površinski kop nije otvoren, već su se samo prikupljali podaci za dalju analizu i izradu projekta otvaranja površinskog kopa, bilo je moguće dobijene rezultate kvaliteta uglja uporediti sa ugljem iz jame. Upoređivanjem dobijenih parametara kvaliteta ovih ugljeva na različitim dubina u odnosu na površinu terena, zaključuje se da se sa povećanjem dubine zaleganja poboljšavaju i parametri kvaliteta uglja. Ugljeni sloj na većim dubina izložen je mnogo većim pritiscima i temperaturi, da bi kao takav opstao na toj dubini, bilo je neophodno da se prilagodi uslovima stvaranja, zato su dobijene vrednosti kvaliteta uglja znatno bolje od kvaliteta uglja na površinskom kopu. Vrednosti parametara tehničke analize uglja na uzorcima uzetih iz bušotina dat je u Tabeli 2.

Tabela 2. Vrednost parametara tehničke analize uglja na uzorcima uzetih iz bušotina

Bušotina/hemijska analiza	Dostavno stanje	Suvo bez vlage
Ukupna vlaga (%)	25,74	0,00
Pepeo (%)	18,35	20,62
Sagorljivo (%)	55,92	78,31
Isparljivo (%)	31,57	44,21
C - fix (%)	24,34	34,10
Koks (%)	42,69	55,79
Gornja toplotna vrednost (kJ/kg)	15.970 - 19.622	19.459 - 22.200
Donja toplotna vrednost (kJ/kg)	13.500 - 18.100	17.813 - 20.900

Nakon otvaranja ležišta, početka eksploatacije i prve prerade rovnog uglja, moguće je upoređivanje rezultata kvaliteta uglja iz bušotine i obrađenog uglja (komad, kocka, orah, grah i prah). Ugalj koji se trenutno eksploatiše i prerađuje nalazi se na dubini od 35 metara, a dobijene su visoke vrednosti za donju i gornju toplotnu vrednost u odnosu na vrednosti dobijene iz bušotina na mestu trenutne eksploatacije uglja. Napredovanjem eksploatacije ka centralnom delu ležišta (gde su laboratorijska ispitivanja na uzorcima iz bušotina potvrdila najveću vrednost donje i gornje toplote sagorevanja), očekuju se veće vrednosti parametara kvaliteta komercijalnog uglja.

4. Proračun geoloških rezervi uglja na istražnom prostoru

Sagledavanjem svih strukturno-geoloških, kvantitativnih i kvalitativnih parametara moguće je odrediti pripadnost ležišta grupi i podgrupi u skladu sa Pravilnikom o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi čvrstih mineralnih sirovina. Prema složenosti geološke građe i podeljenosti ležišta (na osnovu tektonskih karakteristika samog područja) na više manjih blokova sa slojevima nagnutim preko 25°, svi navedeni kriterijumi, ležište svrstavaju u II grupu i I podgrupu, zbog male izmenjenosti debljine ugljenog sloja na većem prostranstvu ležišta [1].

Deo rezervi uglja ležišta Soko na lokalitetu Biljkina Struga klasifikuje se kao bilansne rezerve B kategorije. Za proračun rezervi primenjene su dve metode, metoda *Geoloških blokova*, a kao kontrolna metoda, primenjena je *Metoda izohipsi*. Ukupna zapremina ugljenog sloja umanjena je za 8 % koliko iznosi prosečni procentualni sadržaj jalovine u sloju, tako da na ovim prostorima sračunatih geoloških rezervi ima oko 703.318 tona. Navedene rezerve definisane su u Elaboratu o rezervama uglja ležišta RMU Soko - Sokobanja [3], a geološke rezerve definisane u elaboratu potvrđene su od strane Ministarstva Republike Srbije.

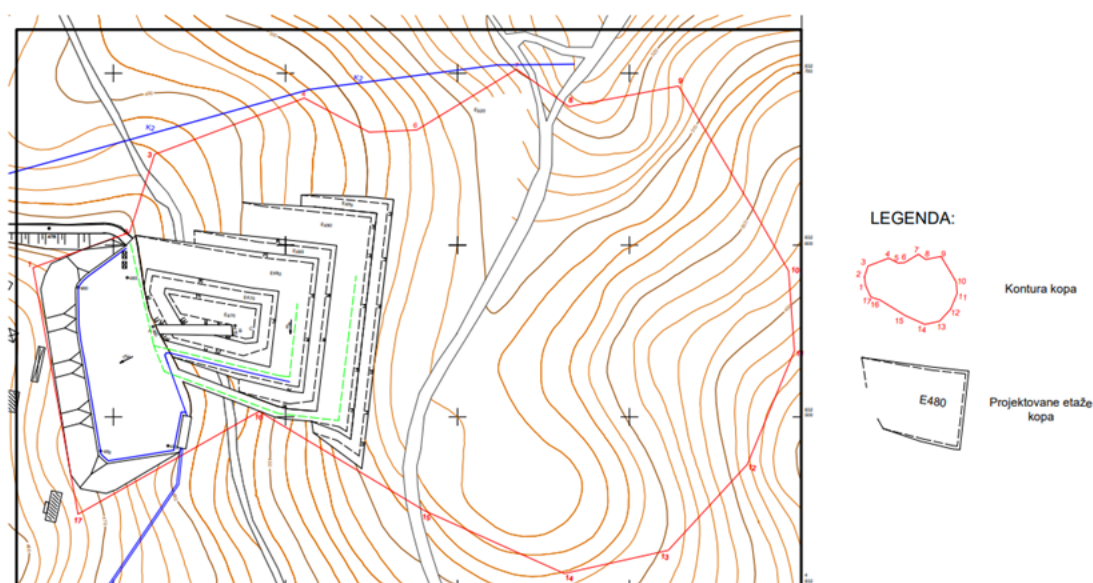
5. Otvaranje ležišta

Kao što je već napred objašnjeno, geološki uslovi povoljni su za sam površinski način eksploatacije, pored navedenih uslova potrebno je i neophodno da se obezbedi pristupni put i glavni transportni put, radni plato, otvaranje etaže E - 480 i na kraju otvaranje ležišta. Pristupni put je već odrađeni put koji povezuje Sokobanju i Knjaževac, a rudniku mrkog uglja Soko koristiće za povezivanje kopa sa već postojećim odlagalištem jalovine, kao i prevoz rovnog uglja sa kopa do rudnika. Glavni transportni put je osnovni objekat otvaranja površinskog kopa služi za povezivanje odlagališta sa radnim platoom na koti +480, tj. tačkom otvaranja površinskog kopa. Pre samog otvaranja ležišta potrebno je obezbediti radni plato na koti +480 m sa kojeg će početi radovi na izradi zaseka otvaranja.

Otvaranje površinskog kopa na etaži E - 480 izabrano je na osnovu ispunjenosti dva osnovna uslova. Prvi uslov je minimalna količina investicione otkrivke. Ulaskom u kop sa etaže E - 480 uklanja se 122.852,25 m³ investicione jalovine sa etaža od E - 470 do E - 495. U toku investicione izgradnje pored otkopavanja jalovine, otkopavaju se i prve tone ugljenog sloja, tačnije prema određenim proračunima 6.461,70 tona geoloških rezervi mrkih uglja. Drugi uslov je najbliža povezanost odlagališta sa mestom otvaranja površinskog kopa, na istoj koti nalazi se transportnim put, to omogućava najkraći vremenski period za prevoz jalovine i brži rad pri samom otkopavanju [2]. Situaciona Struga karta ležišta Biljkina sa projektovanim etažama, koje je potrebno izraditi u fazi otvaranja, prikazana je na Slici 5.

Situaciona karta ležišta "Biljkina struga" - faza otvaranja

1:1000



Slika 5. Situaciona karta ležišta Biljkina Struga - faza otvaranja

Zbog konfiguracije terena i pada sloja, radovi na otvaranju površinskog kopa počinju izradom zaseka na niveleti +480 m. Izradom zaseka u dužini od 40 m, radovi se nastavljaju izradom zaseka od 25 m na koti +485 m i dalje do kote +490 m. Na taj način formira se radni front u skladu sa radnom kosinom površinskog kopa. Kada radovi na otvaranju etaže E - 480, budu na oko 90 m od mesta otvaranja, pristupa se izradi veznog useka i etažnog useka za otvaranje etaže E - 470. Ležište mrkog uglja na površinskom koku je pretežno brdsko-planinskog tipa, s obzirom da je radni plato na etaži E - 480, potrebno je više delove terena otvarati zasecanjem, a niže delove terena usecanjem.

Da bi eksploatacija ugljenog sloja mogla da počne dolazi do skidanja jalovog proslojka i formiranja odlagališta jalovine na tri lokacije i to:

- prva lokacija je odlagalište u produžetku platoa na koti +480 m,
- druga lokacija je spoljašnje odlagalište (postojeće odlagalište jamske i separacijske jalovine) i
- treća lokacija odlagalište unutar samog kopa (unutrašnje odlagalište).

6. Tehnologija eksploatacije

S obzirom na geološku građu radne sredine, položaj ugljenog sloja, kao i konfiguraciju terena, ležište uglja Biljkina Struga, predisponirano je za selektivno otkopavanje diskontinuiranom tehnologijom rada. Prema fizičko-mehaničkim karakteristikama ugljenog sloja, povlatnih i podinskih sedimenata može se direktno pristupiti otkopavanju hidrauličnim bagerima. U slučaju da se otpor kopanja poveća do te mere da pređe reznu silu bagera pristupa se prethodnoj fragmentaciji koja se obavlja ripovanjem.

Kako je već napred pomenuto da je radni plato na koti +480 m i da se viši delovi terena otkopavaju zasecanjem, a niži usecanjem, potrebno je odrediti početnu i krajnju granicu kopa. Istražno-informativnim bušenjem sa površine terena potvrđeno je da uglja ima i na koti +430 m, a to znači da bi kop dostigao dubinu od oko 100 m. Geometrija ovog brdsko-planinskog dela terena nije u mogućnosti da podrži ovu dubinu, a i rezerve uglja na toj dubini su izrazito male, prosečna debljina ugljenog sloja je do tri metra i eksploatacija se do kote +430 metara ne smatra ekonomski isplativom. Iz tih razloga bilo je neophodno pored analiziranja geoloških uslova, analizirati i ekonomsku isplativost otvaranja površinskog kopa do određene kote. Analiziranjem svih napred pomenutih parametara, definisano je da

je završna kota eksploatacije na koti +455 m, što znači da će ukupno biti 14 etaža od po 5 m.

U toku same eksploatacije potrebno je voditi računa i o drugim bitnim stvarima, kao što je zaštita ugljenog sloja od požara, zaštita kopa od podzemnih i površinskih voda, klizanja i odronjavanja otvorenih etaža. Takođe je neophodno tokom same eksploatacije zaštititi okolinu od buke, štetnih gasova, prašine i dr.

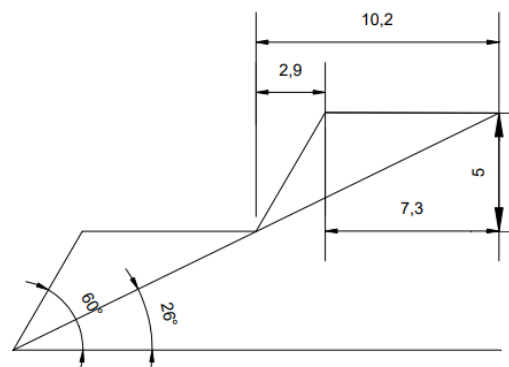
Tehnološki proces dobijanja uglja na površinskom kopu, sastoji se od sledećih tehnoloških operacija:

- Skidanje buldozerom humusnog pokrivača i skladištenje na posebnom delu odlagališta,
- Otkopavanje i utovar jalovine u kamione i odvoz do spoljašnjeg ili unutrašnjeg odlagališta,
- Otkopavanje i utovar uglja u kamione i odvoz do prihvatnog bunkera na separaciji u krugu rudnika Soko.

6.1. Analiza stabilnosti etaža i samog površinskog kopa

Na izbor visine etaža, kao i broj etaža utiče niz parametara, od kojih su najbitnije fizičko-mehaničke karakteristike radne sredine, primenjena oprema u tehnološkim operacijama, stanje radova na kopu, konfiguracija terena i dr. Posle detaljnih razmatranja svih faktora koji utiču na izbor visine etaža usvojena je visina etaža od 5 m. Ovakva visina omogućava veoma siguran rad i dobro iskorišćenje primenjene mehanizacije.

Kako se radi o samim kosinama na površini terena iste je potrebno obezbediti u pogledu stabilnosti na klizanje i odronjavanje. Posle detaljnih razmatranja svih faktora koji utiču na izbor visine etaža, usvojena je visina radnih etaža u uglju i na otkrivci od 5 m, nagiba radnih etaža od 60° i zaštitnih bermi širine 7,30 m. Ovakvi konstruktivni parametri su uobičajeni na kopovima ovog tipa i omogućavaju siguran rad i dobro korišćenje mehanizacije. Proračun stabilnosti kosina metodom Bishop, izvršen je za radne etaže i završnu kosinu od 26° , prema prethodno navedenoj geometriji površinskog kopa. Geometrijski elementi etaže prikazani su na Slici 6.



Slika 6. Geometrijski elementi etaže površinskog kopa Biljkina Struga

7. Tehno-ekonomska ocena

Kapacitet proizvodnje uglja na površinskom kopu Biljkina Struga uslovljen je tehničko-eksploatacionim, i tehnološkim faktorima. Eksploatacione rezerve uglja na površinskom kopu izračunate su metodom profila i metodom etažnih karata. Kao konačan rezultat eksploatacionih rezervi u obzir je uzeta vrednost od 342.919,56 tona, koja je dobijena metodom etažnih karata. U toku same eksploatacije dolazi do određenih gubitaka, tako da je navedenu vrednost eksploatacionih rezervi potrebno umanjiti za 10%, pa je kao konačan rezultat eksploatacionih rezervi dobijana vrednost od 308.627,60 tona uglja.

Komercijalni asortiman uglja sa površinskog kopa Biljkina Struga, sa granulacijom i toplotnim vrednostima, dat je u Tabeli 3.

Tabela 3. Cena komercijalnih asortimana uglja

Asortiman	Granulacija (mm)	Toplotna vrednost (kJ/kg)	Cena (RSD/t)
Komad, prani	60 – 150	19.150	10.469,85
Kocka, prana	30 – 60	19.205	10.900,90
Orah, prani	15 – 30	19.624	10.239,04
Grah, prani	10 – 15	18.796	9.387,02
Grah, prani	5 – 10	17.560	8.769,74
Sitan	0 – 15	16.200	8.090,54

Prilikom analiziranja novčane vrednosti koja je potrebna da se uloži u otvaranje površinskog kopa, njegovu razradu, kao i samu eksploataciju, dolazi se do zaključka da su ulaganja opravdana i da će postojati značajna dobit za JP PEU Resavica, kao i za energetska stabilnost Republike Srbije.

8. Prikaz trenutnog stanja

Period rada površinskog kopa Biljkina Struga, ogleda se kroz nekoliko faza rada kopa:

- faza investicione izgradnje, 3 do 5 meseci,
- period eksploatacije, 6 godina,
- period rekultivacije degradiranog terena koji će se izvoditi fazno: u drugoj godini rada površinskog kopa, rekultivacija spoljašnjeg odlagališta i odlagališta dela investicione otkrivke, u sedmoj godini (nakon prestanka eksploatacije uglja) rekultivacija unutrašnjeg odlagališta.

Površinski kop se u ovom trenutku nalazi u fazi investicione izgradnje, koja podrazumeva skidanje otkrivke i pripremanje kopa za prvu godinu eksploatacije od zapadnog ka istočnom delu površinskog kopa. Prvih par meseci u periodu od početka februara pa sve do kraja aprila pripremao se radni plato (kota +480 m) i mesto budućeg odlagališta otkrivke i jalovog materijala. Samo par dana u mesecu maju bilo je dovoljno da se skine humusni materijal, koji je male debljine, oko 0,50 m. Od maja meseca i danas aktuelni su radovi na skidanju otkrivke i dobijanju uglja.

Na samo par metara od površine terena na koti 493 m, skinut je prvi metar ugljenog sloja, samo par meseci nakon otvaranja kopa. Ugljeni sloj je u tim površinskim delovima bio dosta rastrešen i sadržao je ugljevit glinu, ali laboratorijskim ispitivanjima potvrđeni su parametri kvaliteta uglja, koji su dobijeni nekadašnjim laboratorijskim ispitivanjima na uzorcima uzetih iz bušotina. U Tabeli 4 dat je ukupni zbir skinutog humusa, otkrivke i uglja u periodu od početka otvaranja kopa do pisanja ovog rada.

Tabela 4. Količina skinutog materijala od početka otvaranja kopa do septembra meseca

Materijal	Humus	Otkrivka	Rovni ugallj
Količina (m ³)	20.340,00	233.185,00	17.494,50
Ukupno materijala (m³)	271.019,50		

9. Zaključak

Da bi se određeno ležište površinski eksploatisalo neophodno je da se istražnim-informativnim bušenjem sa površine terena potvrdi postojanost mineralne sirovine na maloj dubini od površine terena. Pored geoloških uslova od kojih se polazi potrebno je da i drugi faktori budu zadovoljeni, a zatim i da se sama eksploatacija ležišta smatra ekonomski isplativom.

Istraživanja na prostoru jugoistočnog dela Centralnog bloka započeta su davne 1960. godine, a površinski kop Biljkina Struga otvoren je tek 2023. godine. Terenskim i laboratorijskim istraživanjima i ispitivanjima definisano je da se na samo par metara od površine terena u zoni isklinjenja, nalazi ležište mrkih ugljeva. Mrki ugljevi čitlučkog ugljonosnog basena imaju visoke vrednosti parametara tehničke analize. Tektonski pokreti koji su vladali na ovom malom prostoru centralnog eksploatacionog polja uslovlili su definisanje prirodne eksploatacione granice. Sračunavanjem površine kopa i poznavanje

osnovnih parametara ugljenog sloja omogućilo se proračunavanje geoloških rezervi dvema različitim metodama. Proračunate geološke rezerve iznose 703.318 tona, dok eksploatacione rezerve iznose 308.627,60 tona.

Sagledavanjem geomorfoloških karakteristika područja na kojem se ležište nalazi, zatim osnovnih parametara ugljenog sloja i drugih faktora koji su u tom trenutku vladali na terenu omogućeno je otvaranje kopa sa zapadne strane. Završna kota eksploatacije je na 455 m i ukupno će se izraditi 14 etaža po 5 metara visine. Kako se radni plato nalazi na koti 480 m, više delove terena potrebno je otvoriti zasecanjem, a niže delove usecanjem. Radovi se odvijaju od juga ka severu u smeru pada ugljenog sloja. U prvoj godini eksploatacije otvaraju se sve projektovane etaže, kako bi se stvorio prostor za formiranje unutrašnjeg odlagališta.

Planirana je godišnja proizvodnja od 50.000 tona rovnog uglja, što znači da je vek eksploatacije samog kopa oko šest godina. Pre same eksploatacije, javlja se početna faza, faza investicija, a nakon eksploatacije i iskopavanja ugljenog sloja, sledi završna faza - rekultivacija prostora nekadašnjeg kopa.

Sve napred navedeno ne bi bilo odrađeno da Glavnim rudarskim projektom otvaranja i eksploatacije uglja na površinskom kopu Biljkina Struga RMU Soko - Sokobanja [2] nije potvrđena značajna dobit, koja se može ostvariti eksploatacijom uglja na ovim prostorima. Dodatna prednost ogleda se i u infrastrukturnim objektima kojima raspolaže RMU Soko i obučenosti radne snage na poljima geologije, rudarstva i pripreme mineralne sirovine.

Literatura

- [1] Milković M., Fići Đ., Radivojević D., Aksentijević Z., Kokerić S., Potencijalnost ležišta mrkog uglja SOKO - Sokobanja, Zbornik radova sa 14. simpozijuma sa međunarodnim učešćem - Održivi razvoj u rudarstvu i energetici Rudarstvo 2023, str. 151 - 162, Zlatibor, 2023.
- [2] Glavni rudarski projekat otvaranja i eksploatacije uglja na površinskom kopu Biljkina Struga RMU SOKO - Sokobanja, Ugalj projekt Beograd, 2018.
- [3] Elaborat o rezervama uglja ležišta Soko RMU Soko Sokobanja, Ugalj projekt Beograd, 2011.
- [4] Dokumentacija rudnika mrkog uglja Soko
- [5] GoogleMaps



RETKE I RADIOAKTIVNI METALI REPUBLIKE SRBIJE I NJIHOV ZNAČAJ

RARE AND RADIOACTIVE METALS OF THE REPUBLIC OF SERBIA AND THEIR SIGNIFICANCE

Kovačević J.¹, Rabrenović D.², Mijatović P.³, Kokot J.⁴

Apstrakt

U savremenom svetu više od 80% proizvoda (predmeta i objekata) sa kojima se susrećemo, a predstavljaju neophodnost civilizovanog sveta, vodi poreklo iz ležišta mineralnih sirovina.

Istraživanja, a zatim eksploatacija mineralnih sirovina na terenima Srbije započeta su još pre naše ere. Ta aktivnost se razvijala i gasila, donosila bogatstva, nekada seobe i stradanja, trajala vekovima. Ta mineralna bogatstva su okupljala ljude, svadala vođe i vojskovođe, podsticala i proslavljala naučnike i specijaliste. O istorijatu rudarenja na našim prostorima postoji dosta pisane i materijalne dokumentacije. Mnogi toponimi terena Srbije (Kopaonik, Rudnik, Zlatar, Rudna Glava, Zlot, Zlaticevo, Srebrna Glava, Veliki Majdan, Zlatokop, Železni potok i dr.) ukazuju na aktivnosti ili prirodno blago koje se tu nalazi.

U terenima Srbije dosadašnjim geološkim istraživanjima otkrivene su ležišta i registrovane pojave bakra, olova, cinka, antimona, molibdena, nikla, volframa, zlata, srebra, urana, bornih minerala, magnezita, fluorita, fosfata i dr. Otkrivene su značajne rezerve uglja, zatim sirovine za cementnu i ciglarsku industriju, rezerve tehničko-građevinskog i ukrasnog kamena. Pronađene su značajne rezerve bituminoznih škriljaca, mineralnih, termalnih i termomineralnih voda. Sve ove mineralne sirovine predstavljaju *prirodno blago*, ali samo pod jednim uslovom *da se koristi - prvenstveno Srbija*, i kao takvo služi za opšti razvoj naše zemlje.

Pod terminom *retki elementi* (Perelman, 1979) se podrazumeva grupa hemijskih elemenata čija je koncentracija u Zemljinoj kori ispod 0,01%. Zemlje Evropske Unije, za pojam retki metali, više koriste termin *kritične sirovine* gde ubrajaju one sirovine (elemente) koje imaju veliki ekonomski značaj za EU, ali i visok rizik snabdevanja. Cilj izrade ovog rada je da prikaže do sada registrovane pojave retkih elemenata kod nas, mogućnost iznalaženja novih, sa geoekonomskog, geokološkog i strateškog značaja.

Ključne reči: *retki i radioaktivne elementi, kritične mineralne sirovine, potencijalnost Republike Srbije*

Abstract

In the modern world, more than 80% of products which represent the necessity of the civilized world, originate from mineral deposits.

Exploration and mining of mineral raw materials on the territory of Serbia dates back to prehistoric times. That activity had its blooms and stagnation periods, brought wealth, sometimes migrations and suffering that lasted for centuries. Those mineral riches gathered people together, caused wars and different types of conflicts, but on the other hand, also encouraged and glorified scientists and specialists.

There is a lot of written and material documentation about the history of mining in our area. Many toponyms of Serbian terrain (Kopaonik, Rudnik, Zlatar, Rudna Glava, Zlot, Zlaticevo, Srebrna Glava, Veliki Majdan, Zlatokop, Zelezni potok, etc.) indicate past activities connected with raw materials

¹ dr Kovačević Jovan, Geološki zavod Srbije, Beograd, jovan.kovacevic@gzs.gov.rs

² Prof. dr Rabrenović Dragoman, Geološki zavod Srbije, Beograd, dragoman.rabrenovic@gzs.gov.rs

³ Mijatović Predrag, Geološki zavod Srbije, Beograd, predrag.mijatovic@gzs.gov.rs

⁴ Kokot Jelena, Geološki zavod Srbije, Beograd, jelena.kokot@gzs.gov.rs

found there.

Results of the geological research in the territory of Serbia have uncovered numerous deposits and registered occurrences of copper, lead, zinc, antimony, molybdenum, nickel, tungsten, gold, silver, uranium, boron minerals, magnesite, fluorite, phosphate... Significant coal reserves have also been discovered, as well as nonmetallic raw materials suitable for the cement and brick industry. Certain reserves of technical construction and decorative stone are also proven. Significant reserves of bituminous shale, minerals, thermal and thermo-mineral waters were found. All these mineral raw materials represent natural treasures and, as such, they serve for the general development of our country.

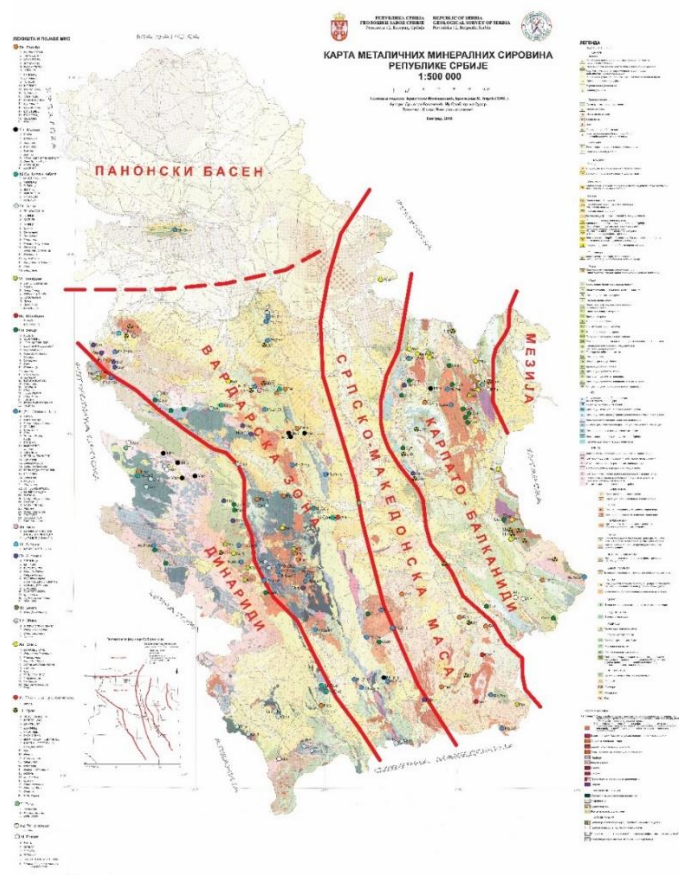
The term "rare elements" (Perelman, 1979) means a group of chemical elements whose concentration in the Earth's crust is below 0.01%.

The countries of the European Union, for the term rare metals, use the term "critical raw materials" where they include those raw materials (elements) that have great economic importance for the EU, but also a high risk of supply. The goal of this paper is to show the occurrences of rare elements registered in our country until today, and the possibility of finding new ones, with geo-economic, geo-ecological and strategic importance.

Keywords: rare and radioactive elements, critical mineral raw materials, potential of the Republic of Serbia

1. Potencijalnost Republike Srbije sa aspekta retkih i radioaktivnih metali

Sve metalne mineralne sirovine, retki i radioaktivni metali u Republici Srbiji, prema svojim metalogenetskim karakteristikama, prostorno su smeštene u okviru pet strukturno-tektonskih jedinica (Dimitrijević, 1995). Na Slici 1. Prikazana je pregledna geološka karta Srbije sa sledećim strukturno-tektonskim jedinicama: 1. Panonski basen, 2. Karpato-balkanidi, 3. Srpsko-makedonska masa, 4. Vardarska zona i 5. Dinaridi.



Slika 1. Pregledna geološka karta Srbije sa strukturno-tektonskim jedinicama

Složena geološka građa terena Srbije koji su izgrađeni od sedimentnih, magmatskih i metamorfnih stena, je i dobar preduslov za prisustvo i različitih mineralnih sirovina.

Radi preglednosti u Tabeli 1 prikazana je veza osnovnih litoloških članova prisutnih na terenima Srbije, sa mogućom vrstom i genetskim tipom mineralne sirovine.

Tabela 1. Genetska veze stena i mineralizacija

Litološki član –Stena	Gegetski tip -sirovina
Ultrabazične magmatske stene	Magmatski tip LMS: Fe, Cr, Ni, Co, Ti, V, Au, Ag, PGE
Bazične magmatske stene	Magmatski i postmagmatski tip LMS: Fe, Cr,Ni, Co, Cu, Ti, V, PGE
Intermedijarne magmatske stene	Postmagmatski tip LMS: Fe,Co, Bi, W, Sn, Cu, Mo, Pb-Zn, Sb, Hg, As, Au, Ag, U
Kisela magmatske stene	Postmagmatski tip LMS: Fe, Mn, Cr, Ti, V, Ni, Co, Bi, W, Sn, Cu, Mo, Pb-Zn, Sb, Hg, As, Au, Ag, U, Th
Sedimentnestene	SedimentniinfiltracionitipLMS: U, Th, Mo, Au, Ag, Cr, Ni, Ti, Bi, W, Sn, B, Li, PGE, TR
Metamorfnestene	MetamorfogenitipLMS: U, Fe, Mn, V, Ti, Ni, Cu, Au,

Iz gore prikazanih osnovnih podataka, može se govoriti o prisustvu relativno velikog broja pojava i ležišta raznovrsnih metalčnih mineralnih sirovina u Srbiji. Takođe, treba naglasiti da se skoro uvek radi o polimetalčnim mineralizacijama, gde je pored osnovnih elemenata, dokazano prisustvo i vrlo značajnih koncentracija drugih elemenata (retkih) koji su upravo i glavna tema ovog rada, pošto su oni često *zaboravljeni* od strane korisnika.

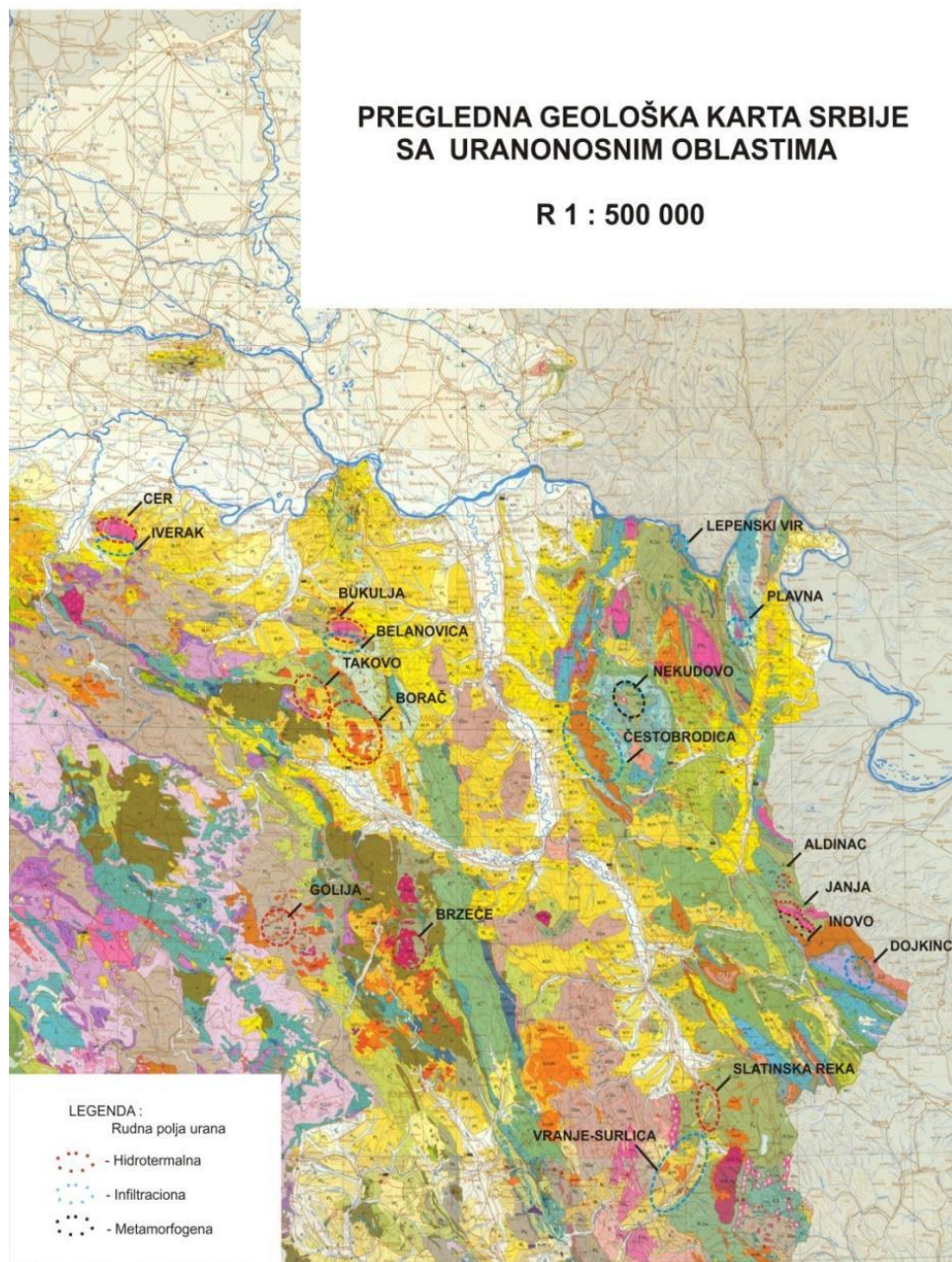
1.1. Poseban osvrt na uranonosna područja Srbije

U poslednjih 50 godina teritorija Srbije je sistematski izučavana u pogledu uranonosnosti. U ovom periodu su prikupljeni obimni podaci o distribuciji urana u različitim stenskim kompleksima i otkrivena ležišta i brojne pojave urana. Sistematskim regionalnim i detaljnim geološkim istraživanjima prekriveno je oko 50% potencijalno uranonosne teritorije Srbije. Kao perpekstivne za pronalaženje ležišta urana definisane su sledeće sredine:

- *Granitoidi** su sredine u kojima se nalazi najvaći broj pojava i ležišta urana. Najznačajniji od njih su Janjski granit (Stara planina) sa ležištima Mezdreja, Gabrovnica, Srneći Do, graniti Bukulje sa ležištima Paun Stena i Cigankulja, zatim i graniti Cera, Kukavice (Slika 1). Delovi granitoidnih kopleksa u kojima se rudna tela nalaze su intezivno polomljeni kataklazirani i hidrotermalno izmenjeni. Rudna tela su najčešće žinog, sočivastog i gnezastog oblika. Izgrađena su od pehblende kao dominantnog rudnog minerala. Osim čisto uranskih ležišta poznata su orudnjenja u kojima se uran javlja u asocijaciji sa Mo-Fe-Cu, Ni-Co-As i dr. Karakteristika za ove stene je i ta da su one najčešće služile kao glavni izvori urana koji je deponovan u sedimentima.

- *Kristalasti škriljci** složeni kompleks različitog litoliškog sastava i različitog stepena metamorfizma, po pravilu stariji od gornjeg karbona. Nalaze se na velikom prostoru u jugoistočnom delu Srbije. Značajne pojave urana u njima su: Nekudovo Resavica, Trepetljak, Klokočevac, Turija i Inovo u istočnoj Srbiji.

- *Vulkaniti* - prekretnosti kao i mlađe-tercijarne starosti. Za vulkanogene komplekse koji na teritoriji Srbije zauzimaju značajno rasprostranjenje, takođe su karakteristične brojne pojave radioaktivnih elemenata. U intenzivno tektoniziranim i hidrotermalno promenjenim vulkanitima, andezitskog, dacitskog riolitkog i dr. Sastava, mineralizacija urana je pretežno vezana za srednje i niskotemperaturni hidrotermalni stadijum obrazovanja orudnjenja. Pehblenda i mnogi sekundarni minerali urana (autunit, uranova čađa i dr.) su najzastupljenije mineralne komponente.



Slika 2. Perspektivne sredine za pronalaženje ležišta urana

- *Stari terigeni sedimenti* predstavljaju značajne nosioce uranskog orudnjenja u Srbiji. Značajno ležište, i veći broj pojava urana je otkriveno u permo-trijaskim sedimentima Stare Planine. U jurskim

sedimentima koji leže preko granitoida kod Plavne (severoistočna Srbija) otkrivena je vrlo interesantna uranska ninerilizacija koju prate povećani sadržaji Mo i lantanida.

- *Tercijarni sedimenti* su značajni nosioci uranskog orudnjenj, posebno manji izolovani baseni izgrađeni od klastičnih sedimenata miocenske do pliocenske starosti, koji se nalaze neposredno pored granitoidnih kompleksa. Takve mineralizacije urana su otkrivene na području Iverka, Belanovačkog i Vranjskog basena.

Osim nabrojanih registrovan je veliki broj pojava koje su ili nedovoljno istražene ili ne zaslužuju posebnu pažnju. Trenutno za nas su najznačajnija ležišta na područjima Stare Planine, Bukulje, Slatinske Reke i Iverka, kao i pojava Plavna.

Rude urana, kao i sve druge, spadaju u grupu prirodnih dobara koje čovek zavisno od potreba i mogućnosti koristi za opšte dobro. To prirodno dobro Srbija treba da koristi ili za svoje potrebe ili da bude predmet prodaje.

Upotreba prirodnih radionuklida i njihovih produkata pre svega kod nas treba sagledavati u proizvodnji energije, a zatim i primeni u savremenim tehnologijama, potom u naučnim disciplinama za određivanje starosti - geohronologiji i biomedicinskim naukama. Srbija nema ni potrebe ni mogućnosti da radionuklide koristi za nuklearno oružje. Srbiji je prvenstveno potrebna električna energija i ovu problematiku treba posmatrati u tom pravcu.

Ovom prilikom nećemo potezati i pitanje ekonomije. Umesto toga daćemo tabelu sa uporednim pokazateljima potrošnje goriva za elektrane od 1000 MW na ugalj, mazut, gas i nuklearno gorivo i sa potrošnjom kiseonika i proizvedenim otpadom (Tabela 2).

Tabela 2. Uporedni pokazatelji potrošnje goriva

Potrošnja goriva		Ugalj (t)	Mazut (t)	Gas (m ³)	Nuklearne P.W.R
Srednja dnevna potrošnja (t)		6 300	4 400	44x10 ⁶ m ³	75 kg obogaćenog U
Godišnja potrošnja		2.52x10 ⁶	1.52x10 ⁶	1.7x10 ⁹ m ³	27.2 t
Potrošnja kiseonika (10 ⁶ t)		6.5	4.8	4.6	-
Transport		23 000 vagona od 100 t	3 tankera od 500 000 t	20 gas. tankera od 125 000 t	Nekoliko kamiona
O T P A C I	CO ₂ (10 ⁶ t/god)	8.8	4.7	3.2	-
	SO ₂ t/god	39 800	91 000	2 640	-
	NO ₂ (t/god)	9 450	6 400	21 000	-
	Prašine sa filtracijom (t/god)	6 000	1 650	-	-
	Prašine bez filtracije (t/god)	383 000	4 700	340	-
	Pepeo (t/god)	377 000	Vrlo malo	-	3.75 m ³ vitrifikovanog otpada visoke i 500 m ³ niske radioaktivnosti
	Oslobodena radioaktivnost u krugu centrale (Ci/god)*	0.02 - 6	0.01	-	10 000 – 12 000

*1 Ci= 3.7 x 10¹⁰ Bq

2. Zaključak

Zbog sve većih društvenih i ekoloških troškova rudarstva, zemlje najveći izvoznici dolaze do velikog kapitala kroz rastuću potražnju. Na udaru su siromašne, manje razvijene zemlje, gde je radna snaga jeftina, a propisi praktično ne postoje ili se ne poštuju. Možda se upravo zbog takvog stanja i odnosa prema svojim rudnim bogatstvima, te zemlje i siromašne.

Pošto cena pojedinih proizvoda uvek zavisi od ponude i potražnje, nejasno je kakva će cena deficitarnih metala biti za neko kratko vreme.

Kada se govori o ekološkim parametrima o proizvodnji nuklearne energije ova problematika ne sme, i objektivno ne može biti predmet grupe ljudi koji su jednosmerno obrazovani, već je stvar multidisciplinarnog tima koji treba da se sastoji od osvedočenih eksperata iz različitih oblasti.

Uvek treba imati na umu, koje su ekološke i druge posledice otvaranje velikih ugljenih površinskih kopova i izgradnja teroelektrana koje su sada najveći proizvođači električne energije u Srbiji.

Trošenje ograničenih resursa i zagađivanje životne sredine moraju imati svoje granice. Sadašnje generacije moraju uskladiti ekonomski i ukupni razvoj sa tim ograničenjima tako da obezbede najmanje isti kvalitet životne sredine i za naredne generacije. Održivi razvoj kao domaćinsko poslovanje podrazumeva i usklađivanje razvoja sa principima socijalne pravde na lokalnom, nacionalnom i globalnom nivou, kao i prelaz sa tržišne na ekološku ekonomiju.

Literatura

- [1] Dangić A., Sudar S., Cei Bing - Hu, Zhu Wei, 1998: Izotopski sastav sumpora u sulfidima Pb - Zn rudnog ležišta Kiževak (Centralna Srbija), XIII kongres geologa Jugoslavije, s. 161 - 168, Herceg Novi
- [2] Gian Andrea Blengini, Cynthia EL Latunussa, Umberto Eynard, Cristina Torres de Matos, Dominic Wittmer, Konstantinos Georgitzikis, Claudiu Pavel, Samuel Carrara, Lucia Mancini, Manuela Unguru, Darina Blagoeva, Fabrice Mathieux, David Pennington. Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020) Final Report Publications OFFice of the European Union doi:10.2873/11619 ISBN 978-92-76-21049-8
- [3] Vlasov, K. A., 1966. Geochemistry and Mineralogy of Rare Elements and Genetic Types of their Deposits, II. Mineralogy of Rare Elements. Israel Program for Scientific Translation, Jerusalem
- [4] Jelenković Rade, Serafimovski Todor, 1996: Ležišta metaličnih mineralnih sirovina - Retki i radioaktivni metali, ISBN: 86-80887-84-6, str. 407, RGF Beograd
- [5] Jelenković Rade, Rončević Gojko, Kovačević Jovan 2020: Istraživanje nuklearnih mineralnih resursa Srbije, ISBN: 978-86-909343-7-9 str.298, Geološki Zavod Srbije
- [6] Janković Slobodan 1990: Rudna ležišta Srbije - Regionalni metalogenetski položaj, sredine stvaranja i tipovi ležišta, str. 760, RGF Beograd
- [7] Kovačević J., Ilić B.: Istraživanje i eksploatacija nuklearnih mineralnih sirovina, da ili ne sa stanovišta ekologije. Tehnika - Rudarstvo-geologija i metalurgija. Beograd (1996). 47, 11-12, str. 15-16
- [8] Kovačević J., Obrenović A.: Mineralne pojave lantanida u Srbiji, osobine i primena. Radovi Geoinstituta. Beograd (1996); knj. 33, str. 206-211
- [9] Kovačević J., Todorović M., Ćuk M., Papić P.: Geochemical study of U, Th and REE mineralization in Jurassic sediments and hydrochemical characterization of groundwaters in eastern Serbia - case study: Plavna area; Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences 2016, Vol. 11, No 2, p. 463-474
- [10] Jovan Kovačević, Dragoman Rabrenović, Predrag Mijatović, Jelena Kokot, Slobodanka Sudar, Nebojša Gavrilović; 2023 Retki elementi i njihov strateški značaj, Rudarstvo 2023, Zbornik radova, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, str 5-15, Zlatibor, 2023
- [11] Radošević B., Jović V., Kovačević J., Simić M.: Rudarska industrija - jedan od najtežih vidova kontaminacije životne sredine. Tehnologijamesa. Beograd (2000); vol. 41, br. 4-6, str. 169-180
- [12] Dragović S, Ćujić M, Kovačević J.: Environmental Radiological Impact of Uranium Mining and Milling Operations, In: Radionuclides: Sources, Properties and Hazards, J. Guillen Gerada (Ed.), Nova Science Publishers, Inc., (2012), ISBN 978-1-61942-753-2, New York, USA
- [13] Nikić; LJ. Letić; J. Kovačević; V. Nikolić: Stanje elemenata životne sredine u široj zoni bivših

rudnika urana u slivu Trgoviškog Timoka; Glasnik Šumarskog fakulteta, Beograd, 2013, 107, str. 163-174; DOI:10.2298/GSF120905003N

[14] Perelman A.I, 1979. Geochemistry, high school, Moscow. In Russian, 423p.

[15] Sudar S., 2001: Sadržaji i raspodela mikroelemenata u rudnim mineralima Pb-Zn ležišta Kiževak (Raška), magistarski rad, Rudarsko geološki fakultet, Beograd

[16] Sudar S., 2014: Sadržaji Li i B (B₂O₃) u miocenskim sedimentima (rekovački neogeni basen). The Li and B (B₂O₃) contents in the miocene sediments (Rekovac neogene basin), str.301-304, Zbornik radova XVI Kongresa geologa Srbije, Donji Milanovac, 2014



OTKOPAVANJE OTKRIVKE I UGLJA U ZONI JAMSKIH RADOVA NA PK KOP 3

OVERBURDEN AND COAL EXCAVATION AT THE UNDERGROUND MINING AREA AT THE OPEN PIT KOP 3

Lončar S.¹, Rašović L.², Lukić M.³, Božić B.⁴

Apstrakt

Eksploatacija uglja u Stanarskom ugljenom basenu odvija se na površinskom koku (PK) Raškovac, PK Kop 1 i PK Kop 2. Da bi se maksimalno iskoristio potencijal Stanarskog ugljenog basena, a nakon urađenih istražnih radova, ograničena je površina površinskog kopa Kop 3, u okviru kog će se eksploatacija vršiti i u zoni starih jamskih radova. Na području PK Kop 3 kvalitet uglja je zadovoljavajući, kako za Termoelektranu Stanari, tako i za tržište široke potrošnje. Ugalj će se otkopavati diskontinualno i preko primarne drobilice EFT Q = 300 t/h i transporterera sa trakom, transportovati do TE Stanari. Planiranje tehnologije otkopavanja otkrivke i uglja u zoni jamskih radova zahtjeva poseban pristup, zbog povećanih rizika u toku eksploatacije. Prema planiranoj dinamici eksploatacije na PK Kop 3, planirano je da se prvo završi eksploatacija u delu kopa u kome se nalaze jamske prostorije, zbog montaže novog BTO (Bager-Transporteri-Odlagač) sistema za eksploataciju otkrivke na PK Ostuznja, čiji vezni transporter prolazi kroz pomenutu zonu.

Ključne reči: površinski kop, ugalj, otkrivka, jamski radovi, snabdevanje TE.

Abstract

Coal mining in the Stanari coal basin takes place at open pit Raškovac, open pit Kop 1 and open pit Kop 2. In order to maximize the potential of the Stanari coal basin, and after conducting exploratory works, the area of the open pit Kop 3 was bordered, within which the exploitation shall also be carried out in the former underground mining area. The coal quality in the open pit Kop 3 area is satisfactory, both for Stanari Thermal Power Plant and the consumer market. The coal shall be excavated discontinuously and transported to TPP Stanari using the primary crusher EFT Q = 300 t/h and belt conveyors. The planning of overburden and coal excavation technology in the underground mining area requires a special approach, due to the increased risks during exploitation. According to the planned dynamics of exploitation at open pit Kop 3, it is planned to first complete the exploitation in the part of the mine where the (underground) mine shaft is located, due to the installation of a new BTO (excavator-conveyors-spreader) system for overburden exploitation at open pit Ostuznja, whose connecting conveyor passes through the above-mentioned area.

Keywords: open pit mine, coal, overburden, underground mining, TPP supply

1. Uvod

Ugljeni basen Stanari prostire se na površini oko 50 km², maksimalne dužine 10 km u pravcu Z-I i širine 5 km u pravcu S-J. Reka Ostruznja deli basen na severni i južni ugljonosni blok. Severni deo basena, koji predstavlja površinski kop Raškovac, podeljen je na istočni, središnji i zapadni revir. Južni deo

¹ Lončar Stevan, EFT Rudnik i Termoelektrana Stanari d.o.o. Stanari

² Lazar Rašović, EFT Rudnik i Termoelektrana Stanari d.o.o. Stanari

³ Milan Lukić, EFT Rudnik i Termoelektrana Stanari d.o.o. Stanari

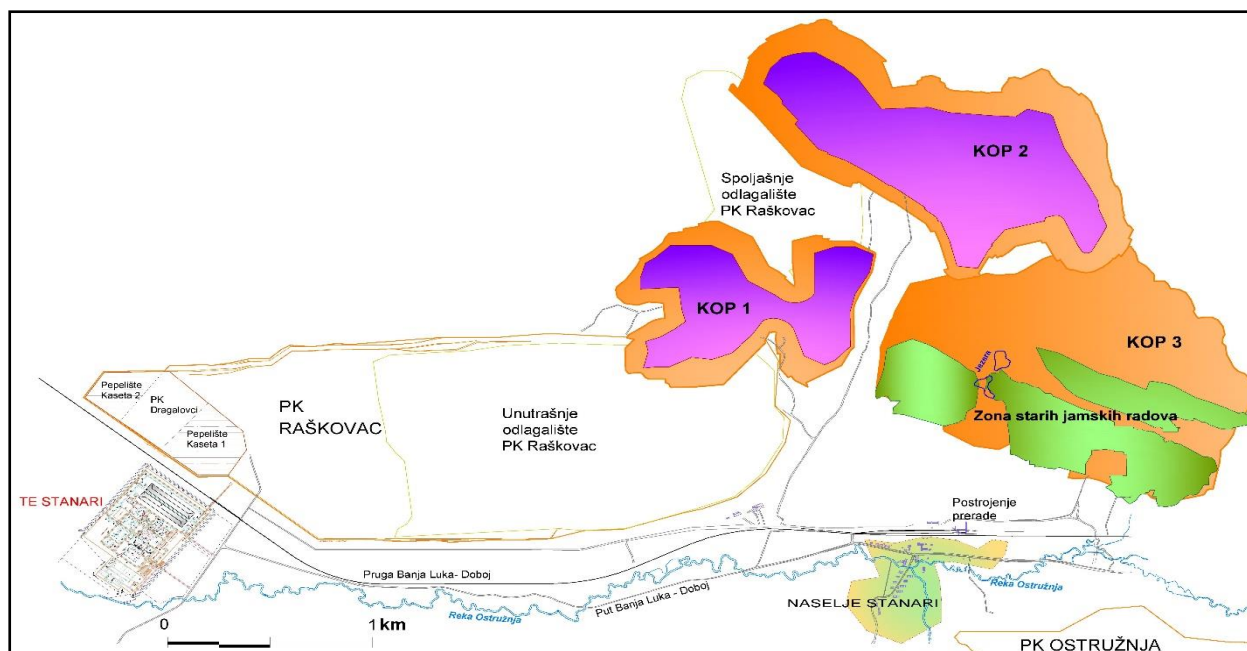
⁴ Boban Božić, EFT Rudnik i Termoelektrana Stanari d.o.o. Stanari

basena predstavlja celinu i predstavlja ležište Ostružnja.

Eksploatacija uglja u cilju snabdevanja TE Stanari i ostalih potrošača, trenutno se odvija u severnom delu Stanarskog basena na PK Raškovac, PK Kop 1, PK Kop 2 i na PK Kop 3 (Slika 1).

Na površinskim kopovima Raškovac i Kop 1 eksploatacija uglja je u završnoj fazi gdje su preostale male količine uglja, dok je na površinskim kopovima Kop 2 i Kop 3 aktivna eksploatacija uglja sve do planiranog prelaska eksploatacije na južni deo basena čija će eksploatacija biti obuhvaćena razvojem površinskog kopa Ostružnja.

Otkopavanje otkrivke se vrši na 3 površinska kopa i to: Kop 2, Kop 3 i Ostružnja. Proizvodnja otkrivke na PK Kop 2 vrši se kontinualnom tehnologijom sa BTO sistemom, dok se trenutna proizvodnja otkrivke na PK Kop 3 i PK Ostružnja izvodi sa diskontinualnom tehnologijom. Zbog dinamičnog razvoja eksploatacije otkrivke za odlaganje se maksimalno koristi prostor na kome su iscrpljene rezerve uglja i time se maksimalno smanjuje degradacija dodatnih površina.

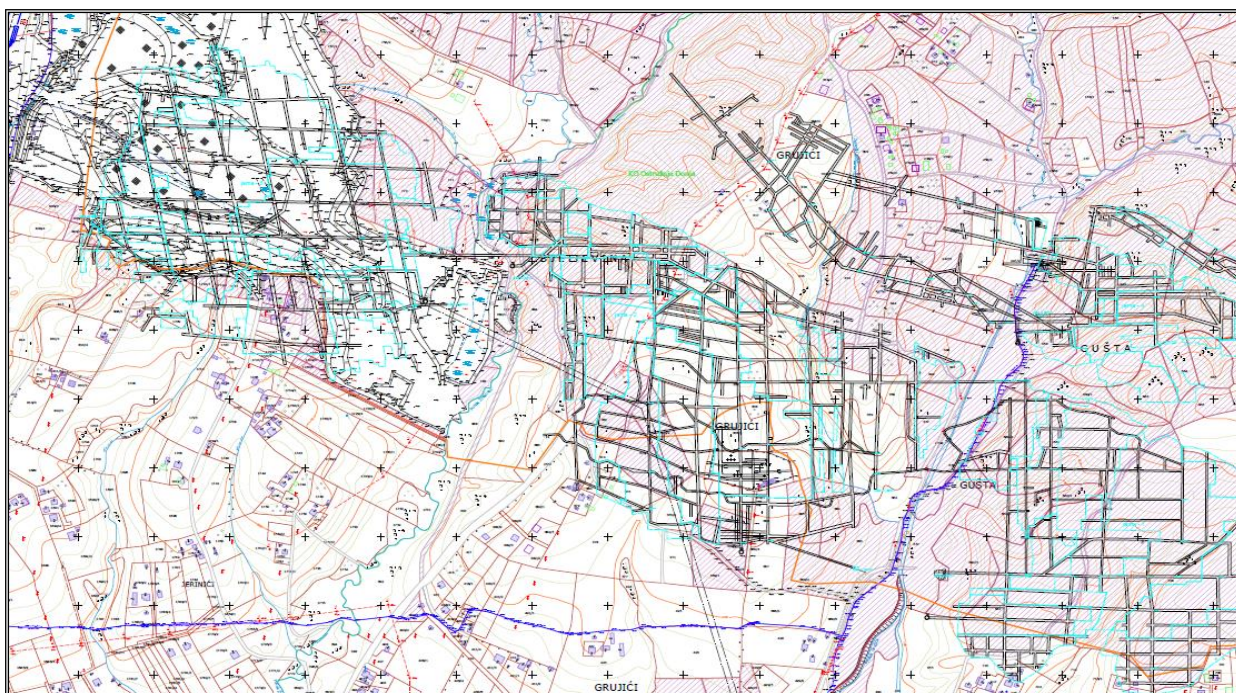


Slika 1. Prikaz površinskih kopova: Raškovac, Kop 1, Kop 2, Kop 3

Planiranom nabavkom novog BTO sistema, započelo se sa realizacijom otvaranja PK Ostružnja, gdje se u početnoj fazi izvode radovi na usjeku otvaranja i izradi nasipa za transportere sa trakom, čija trasa je planirana i preko južnog dela PK Kop 3. Planirani položaj transportera sa trakom preko južnog dijela PK Kop 3 zahteva eksploataciju toga dela ležišta, a zatim nasipanje trase transportera preko otkopanog prostora.

2. Stanje radova na PK Kop 3

Trenutno se eksploatacija otkrivke i uglja izvodi diskontinualnom tehnologijom. Specifičnost eksploatacije na PK Kop 3 je u tome, što će se u celoj južnoj polovini kopa odvijati u zoni starih podzemnih radova. Ova činjenica iziskuje poseban oprez pri odabiru načina otkopavanja, kako uglja, tako i otkrivke. Diskontinualna mehanizacija se mora nalaziti van zone mogućeg urušavanja usled prostiranja jamskih prostorija u pomenutom delu PK Kop 3. Karta jamskih prostorija na južnom delu PK Kop 3 prikazana je na Slici 2.

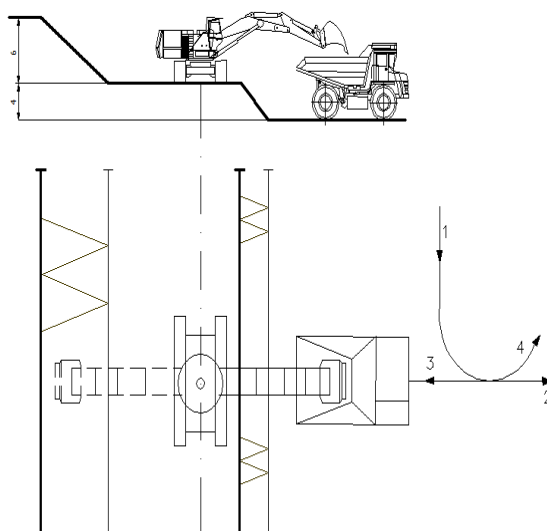


Slika 2. Šema jamskih prostorija

3. Otkopavanje otkrivke i uglja u zoni jamskih radova

3.1. Otkopavanje otkrivke

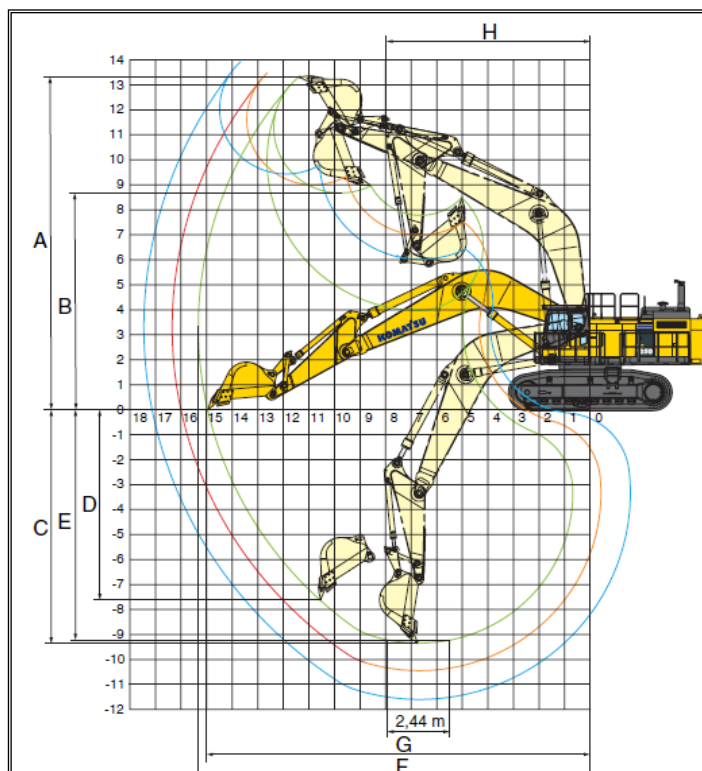
Otkopavanje otkrivke izvodi se sa hidrauličnim bagerima PC 1250 i PC 700, dok se otkrivka na unutrašnje odlagalište transportuje kamionima marke BELAZ 75473, zapremine korpe 26 m³ i nosivosti 45 t. Otkopavanje otkrivke na PK Kop 3, izvodi se u etažama visine do 10 m, a u toku razvoja kopa formirane su sledeće etaže: 210, 200, i 190 m. Etaža je podjeljena na dve podetaže visine 6 i 4 m. Minimalna širina (berma) etaže je 15 m, a radne 25 m, nagib radne kosine (čeone i bočne) iznosi maksimalno 60° (Slika 3).



Slika 3. Tehnološka šema otkopavanja otkrivke

Tehnologija otkopavanja otkrivke za etaže: 200 i 210 m se ne razlikuje od prikazane tehnološke šeme, sa postavljanjem hidrauličnog bagera na podetažu (stajalište) i utovarom belaza ispod nivoa stajanja hidrauličnog bagera.

Otkopavanje najniže etaže 190; izvodi se hidrauličnim bagerom i sa transportom kamionima na istom nivou stajanja, na maksimalnoj visini iznad krovine uglja, tj. maksimalnoj dubini kopanja hidrauličnog bagera PC 1250 od krovine uglja (Slika 4).

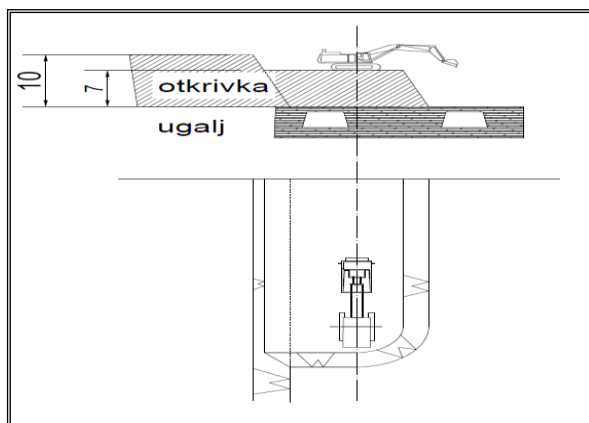


Slika 4. Geometrijske karakteristike hidrauličnog bagera PC-1250

Tabela 1. Tehničke karakteristike hidrauličnog bagera PC1250

Težina kg	110700
Snaga kw/hp	502/673
Motor	SAA6D170E-5
Visina kopanja m	13
Visina utovara m	8,45
dubina kopanja m	7,90
radijus kopanja m	14.070
Širina gusenica mm	700
Dužina gusenica mm	4995
Rezervoar za gorivo l	1360
Širina bagera mm	4965
Zapremina kašike m ³	6,7
Specifični pritisak na tlo	1,44 kg/cm ²

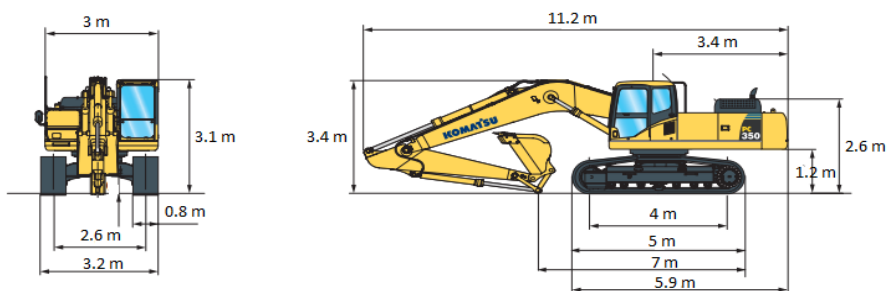
Maksimalna visina etaže od krovine uglja iznosi oko 7 m, što se u praksi dobro pokazalo iz ugla stabilnosti radne sredine. Specifična tehnološka šema otkopavanja otkrivke na etaži iznad jamskih prostorija prikazana je na Slici 5. U procesu rada potrebno je pratiti sve promjene na transportnom putu i na utovarnim pozicijama. Veliki dio jamskih prostorija nije urušen i postoji rizik od urušavanja i sleganja terena na transportnom putu.



Slika 5. Tehnološka šema otkopavanja otkrivke na etaži iznad jamskih prostorija

3.2. Otkopavanje uglja

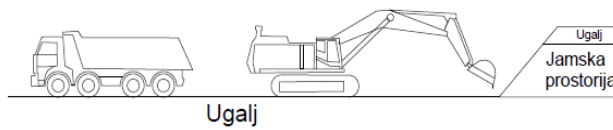
Ugljeni sloj na PK Kop 3 je prosječne moćnosti oko 6m, dok se u južnom delu kopa nalaze jamske prostorija sa većim sadržajem krovinskog peska i šljunkova. Pre otkopavanja uglja u ovoj zoni površinskog kopa, potrebno je detaljnije čišćenje krovine uglja i jamskih prostorija u pravcu napredovanja otkopavanja uglja, sa manjim hidrauličnim bagerima PC 360, zapremine kašike 2,3 m³ (Slika 6).



Slika 6. Dimenzije hidrauličnog bagera PC 360

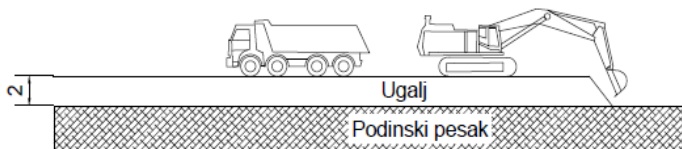
Da bi se uglj u zoni jamskih radova bezbedno eksploatisao, otkopavanje se izvodi u dve faze:

- Prva faza je otkopavanje uglja iznad nivoa donje ivice jamskih prostorija (Slika 7).



Slika 7. Otkopavanje iznad donje ivice jamskih prostorija

- Druga faza podrazumeva otkopavanje ispod donje ivice jamskih prostorija (Slika 8).

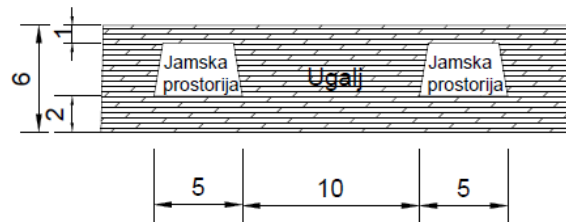


Slika 8. Otkopavanje ispod donje ivice jamskih prostorija

Uglj sa PK Kop 3 se kamionima Volvo transportuje do primarne drobilice EFT, odakle se dalje sistemom za dopremu uglja otprema za potrebe TE.

Jamski hodnici su pretežno visine 3 m i širine oko 5 m, dok se iznad jamskog hodnika nalazi oko 1 m krovine uglja (Slika 9). Debljina uglja koji se otkopava u drugoj fazi je oko dva metra. Rastojanje između jamskih hodnika je minimalno 10 metara. Metode podzemnog otkopavanja uglja razlikovale su se tokom eksploatacije ležišta, tako da je veliki broj jamskih prostorija planirano urušen, dok je istovremeno ostalo i kompletnih jamskih prostorija gdje je moguće urušavanje u toku eksploatacije.

Efikasnost eksploatacije ugljenog sloja u zoni jamskih radova na PK Kop 3 direktno zavisi od detaljnog čišćenja jamskih prostorija u kojima se pored obrušenog krovinskog peska nalaze i jamski alati, podgrada, šine, veznice i druga oprema, što može izazvati značajna oštećenja na sistemu za dopremu uglja. Čišćenje krovine uglja i jamskih prostorija vrši se sa hidrauličnim bagerima PC 350.



Slika 9. Poprečni presek ugljenog sloja sa jamskim prostorijama

4. Zaključak

Površinski kop Kop 3 sa rezervama od preko 5 miliona tona uglja, predviđen je za snabdevanje ugljem Termoelektrane Stanari. PK Kop 3 je specifičan po tome, što se u njegovoj južnoj polovini već izvodila podzemna eksploatacija uglja. Ova činjenica je doprinela tome, da se sa posebnom pažnjom moralo pristupiti planiranju otkopavanja otkrivke i preostalog uglja u pomenutoj zoni, zbog rizika od urušavanja najniže etaže na otkrivci usled postojanja jamskih prostorija, što bi moglo ugroziti bezbednost i ljudi i opreme, kao i zbog postojanja zaostalih jamskih alata, podgrada, šina i ostale opreme unutar jamskih prostorija, što može predstavljati veliki problem, pre svega za kontinualni sistem, kojim se uglj transportuje do TE Stanari.

Visina najniže etaže na otkrivci, koja je usvojena u skladu sa maksimalnom dubinom kopanja hidrauličnog bagera PC 1250 i iznosi 7 m, potpuno je ispunila sve zahteve po pitanju efikasnosti i bezbednosti otkopavanja otkrivke do same krovine uglja.

Detaljnim čišćenjem krovine bagerima manje težine i manje zapremine kašike, stvorili su se uslovi za prvu fazu otkopavanja uglja, pri kojoj se vrši utovar uglja sa bagerom u kamione na nivou stajanja (donja ivica jamske prostorije). Nakon završetka prve faze, detaljno se vrši čišćenje preostalog dela ugljenog sloja i zatim se dubinskim blokom otkopava do podine.

Sve ove preduzete mere i radnje na otkopavanju uglja u ovim vrlo specifičnim uslovima, doprinele su uspešnom ostvarenju predviđene dinamike eksploatacije.

Literatura

[1] Rudarski institut, Banja Luka, Dopunski rudarski projekat eksploatacije severnog dela basena uglja Stanari

[2] Studija izvodljivosti i razvoja eksploatacije uglja i otkopavanja otkrivke na površinskom kopu Ostružnja



TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE, OTPREME I DEPONOVANJA PEPELA IZ TE STANARI UZ KONTROLU KVALITETA PEPELA

TECNOLOGY FOR PRODUCTION, TRANSPORT AND DISPOSAL OF ASH WITH QUALITY CONTROL METHODS

Lončar S.¹, Ilić M.², Todorović M.³, Pijunović R.⁴

Apstrakt

U odnosu na ostale termoelektrane TE Stanari je prva termoelektrana u bivšoj Jugoslaviji koja sagorjeva izdrobljeni, a ne pulverizovani ugalj i koja sagorjeva ugalj u fluidizovanom sloju na nižoj temperaturi (850-870 °C) od temperature za pulverizovani ugalj. Iz tih razloga se od samog početka rada TE Stanari, pristupilo utvrđivanju osobina letećeg pepela koji se sakuplja na vrećastim filterima, a potom deponuje u silosu letećeg pepela i ukoliko se ne utovara direktno u cisternu za prodaju, otprema se kamionima na deponiju pepela.

Pored letećeg pepela, dio pepela koji se stvara je i pepeo sa dna kotla koji se specijalnim sistemom elevatora izvlači sa dna kotla, hladi i deponuje u silosu za pepeo sa dna kotla, prije nego se otpremi kamionima na deponiju pepela. Deponija pepela izgrađena je u obliku kasete u skladu sa svim evropskim standardima za zaštitu čovekove okoline i prirodne sredine. Prostor predviđen za odlaganje pepela je obuhvaćen izradom četiri kasete, a završna niveleta obuhvata kompletnu površinu i na njoj se vrši rekultivacija nakon nanošenja sloja humusa. Dinamika izrade kasete za pepeo je usklađena sa dinamikom eksploatacije uglja i dinamikom zapunjavanja kasete pepelom. Na prostoru predviđenom za odlaganje čvrstih ostataka sagorijevanja odlaže se kompletna produkcija pepela za sve vrijeme rada TE Stanari.

Ključne riječi: pepeo, otprema, deponovanje, kasete, kontrola kvaliteta

Abstact

TPP Stanari is the first thermal power plant in ex-YU combusting the crushed, not pulverized, coal and the first to combust the coal in fluidized layer at temperature (850-870°C) lower than pulverized coal temperature. The properties of ash have been monitored since the commencement of TPP Stanari. The ash is collected in bag filters and transported in fly ash silos. If not commercialized, it is subsequently transported to disposal area.

Apart from fly ash, TPP Stanari also generates the boiler bottom ash lifted from the bottom with elevators, cooled and disposed in silos for boiler bottom ash and transported to disposal area by trucks.

Ash disposal area is a landfill covered with folia (so-called cassette) prepared in compliance with all European standards for environmental protection. The area foreseen for ash disposal have four cassettes subject to reclamation process after enriching the soil with humus. Schedule for preparation of cassettes

¹Stevan Lončar, dipl.inž.rudarstva, EFT-Rudnik i termoelektrana Stanari d.o.o., Stanari, BiH-Republika Srpska, E-mail: stevan.loncar@eft-stanari.net

²Miloš Ilić, dipl.inž.rudarstva, EFT-Rudnik i termoelektrana Stanari d.o.o., Stanari, BiH-Republika Srpska, E-mail: milos.ilic@eft-stanari.net

³Milorad Todorović, dipl.inž.rudarstva, EFT-Rudnik i termoelektrana Stanari d.o.o., Stanari, BiH-Republika Srpska, E-mail: milorad.todorovic@eft-stanari.net

⁴Radoslava Pijunović, dipl.inž.tehnologije, EFT-Rudnik i termoelektrana Stanari d.o.o., Stanari, BiH-Republika Srpska, E-mail: radoslava.pijunovic@eft-stanari.net

is coordinated with the schedule for coal mining and cassette ash filling. Total ash generated throughout the TPP Stanari lifespan is disposed at the area foreseen for disposal of combustion solid residues.

Keywords: *ash, transportation, disposal, cassette, quality control*

1. Proces proizvodnje letećeg pepela

Leteći pepeo Termoelektrane Stanari predstavlja proizvod sagorjevanja uglja (lignita) u fluidizovanom sloju. U ovom procesu nema kosagorjevanja drugih ugljeva ili organskih derivata. Pepeo se prikuplja preko 4 lijevka ispod zagrijača vazduha kotla i 16 lijevaka vrećastih filtera za kotao.

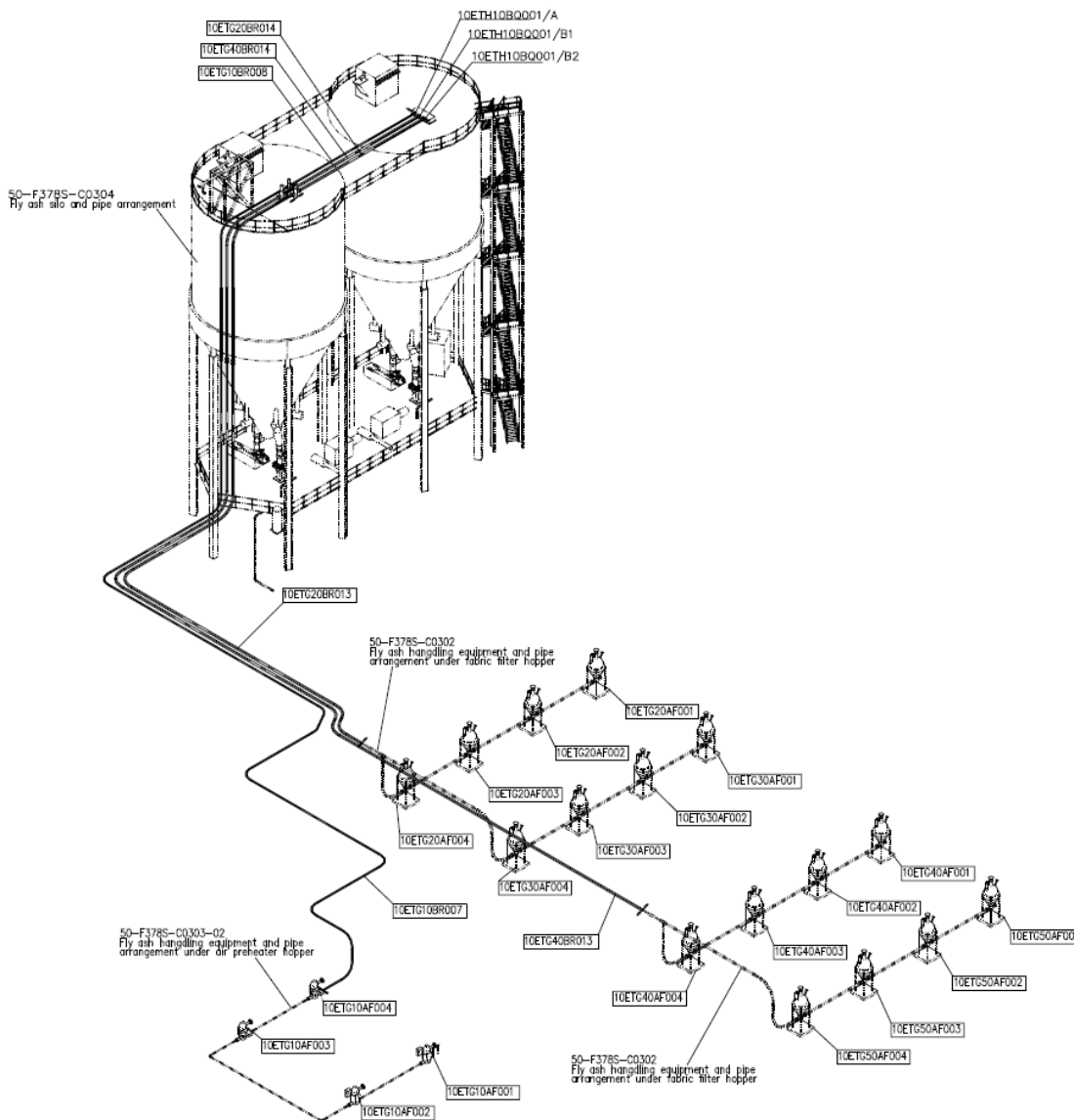
Granice sistema proizvodnje (prikupljanja) letećeg pepela su od izlaza lijevkovog zagrijača vazduha i lijevkovog vrećastih filtera kotla do izlaza iz silosa letećeg pepela kojim su obuhvaćeni: sistem za transport pepela, silosi, duvaljke za fluidizaciju, električni zagrijač vazduha, vrećasti filteri, električna dizalica, dvostruki lopatasti mješač/istovarač, priključak za ispuštanje suvog pepela, cjevovodi, ventili i ostala sitna oprema.

Za prikupljanje letećeg pepela se koristi se visoko pritisni vazdušni transportni sistem. Kapacitet sistema za prikupljanje letećeg pepela iznosi 70 t/h, što je oko 2,16 puta više od projektovane količine pepela u najboljim uslovima. Postoje četiri linije vrećastih filtera za pepeo, sa po četiri lijevka za svaku liniju. Pepeo se iz vrećastih filtera odnosno lijevkovog transportuje preko dva cjevovoda i to jedan za prvu i drugu liniju i drugi za treću i četvrtu liniju. Pored navedenog postoje četiri lijevka odvoda pepela ispod zagrijača vazduha kotla gdje se koristi jedan transportni cjevovod letećeg pepela. Leteći pepeo iz svakog lijevka pada u cevovod kroz ulazni ventil, da bi kasnije bio transportovan komprimovanim vazduhom do silosa letećeg pepela. Tok rada sistema transporta je pod kontrolom DCS sistema upravljanja, a nadziru ga Rukovalac filterskim posrojenjem i kompresorskom stanicom, kao i Rukovodilac smjene Termoelektrane.

Na postrojenju vrećastih filtera, prva i druga linija transporta pepela su spojene na zajednički cjevovod preko pregradnih ventila i naizmjenično koriste zajedničku cijev do prijemnog silosa. S obzirom da se istovremeno može transportovati pepeo samo jedne linije, rad dvije linije je naizmjeničan. Isto vrijedi za treću i četvrtu liniju. Kada se dostigne predviđeni nivo bilo kog lijevka za pepeo ili je istekao posljednji minimalni period ponavljanja, DCS sistem upravljanja će pokrenuti ciklus i uključiti liniju u transport. Ulazni i rasteretni sferni/kalotni ventili transportne posude te linije transporta se otvaraju i pepeo se gravitaciono ispušta u transportnu posudu. Tokom ispuštanja pneumatski pregradni ventili cjevovoda su zatvoreni. Nakon određenog vremenskog odgađanja ili dostizanja određenog nivoa pepela ulazni i odušni sferni ventili transportne posude se zatvori. Pregradni ventil na drugoj liniji je takođe zatvoren. Kada su svi ulazni i odušni sferni ventili transportne posude zatvoreni i zaptiveni, pneumatski pregradni ventil cjevovoda se otvara.

Za lijevke ispod vrećastih filtera predviđena je fluidizacija, koja uključuje dve fluidizacione duvaljke i dva električna grijača vazduha, jedan radni i jedan u stanju pripravnosti. Uloga ovog dela sistema je da omogućiti neometano pražnjenje pepela iz lijevka.

Ukupno postoje dva silosa letećeg pepela (čelična), a korisna zapremina svakog silosa iznosi 1.500 m³. Na krovu svakog silosa nalazi se jedan vrećasti filter za prečišćavanje vazduha. Za silose je izvedena fluidizacija u konusnom delu, koja uključuje dvije fluidizacione duvaljke i dva električna grijača vazduha, jedan radni i jedan u stanju pripravnosti. Ispod svakog silosa za leteći pepeo nalaze se dva izlaza. Leteći pepeo se može otpremati suv ili vlažan, oba procesa se pokrenuću/zaustavljaju od strane operatera u lokalnu. Za ispuštanje suvog pepela postoji nivo sklopka koja sprečava da se kamion prepuni i da se pepeo prosipa. Za ispuštanje vlažnog pepela lokalni operater mora da kontroliše proces na pravi način da bi se izbjeglo prepunjavanje i prosipanje pepela. Suv pepeo se transportuje auto cisternama do krajnjih korisnika (kupaca) ili se nakon miješanja i vlaženja prečišćenom otpadnom vodom transportuje kamionima do kasete na pepelištu (depnija pepela). Transport letećeg pepela je prikazan na Slici 1.



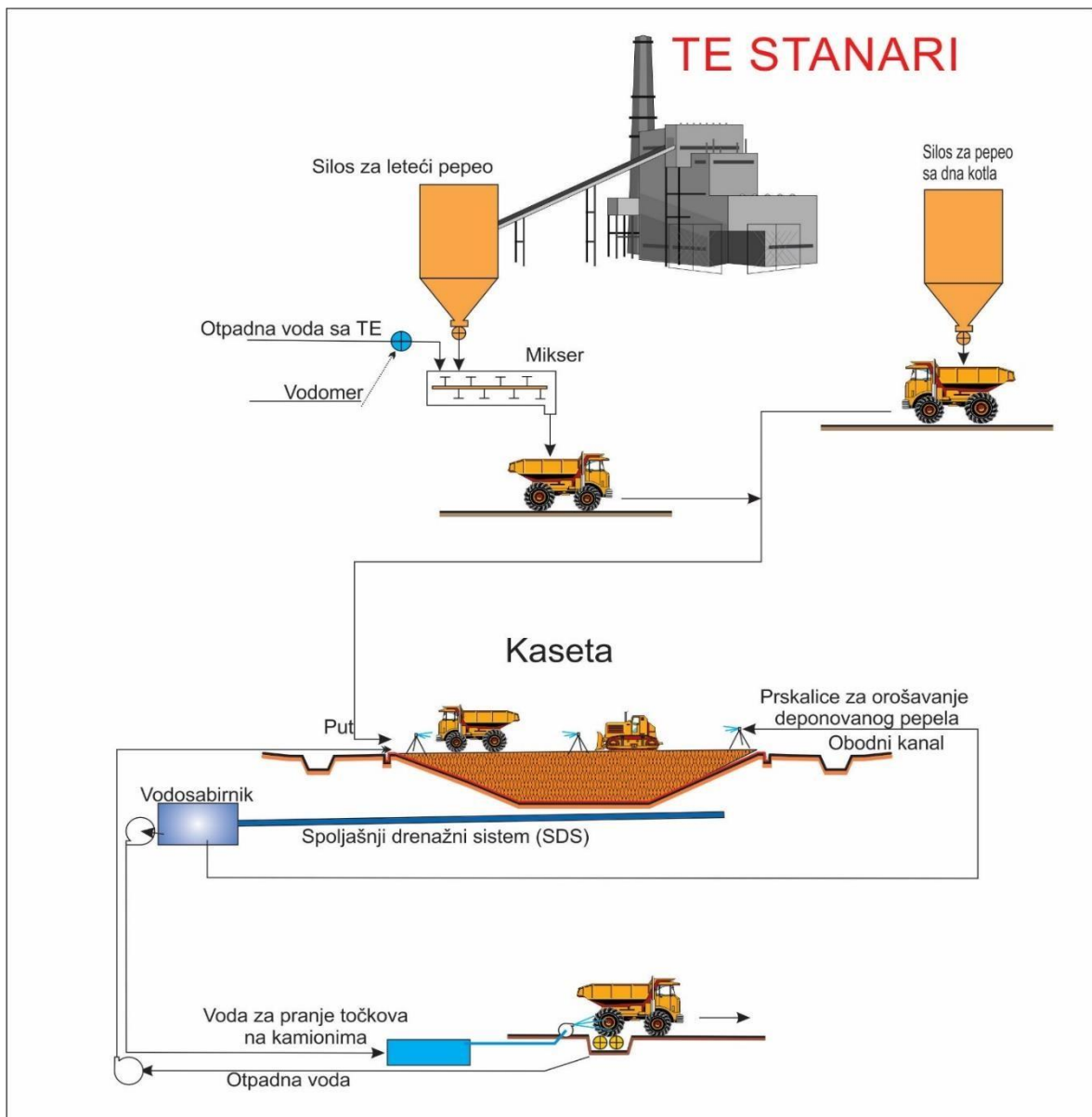
Slika 1. Šematski prikaz transporta letećeg pepela od lijevakova zagrijača vazduha i filtera do silosa

2. Tehničko-tehnološki opis postrojenja i opreme za transport i deponovanje pepela sa tehnološkom šemom

Na Slici 2 prikazana je principijelna tehnološka šema procesa utovara čvrstih ostataka sagorijevanja uglja u TE Stanari, transporta i deponovanja pepela. Kako se sa šeme vidi, postupak je sljedeći:

- Leteći pepeo izdvojen sa vrećastog filtera, deponuje se u silosu letećeg pepela, odakle se prilikom utovara u kamion, prazni ćelijskim dodavačem i sipa u mešać pepela i vode (mikser). Voda koja se dodaje pepelu je po pravilu prerađena otpadna voda iz TE i dodaje se kontrolisano, tako da se vlažan pepeo transportuje kamionom i time se sprečava emisija prašine i otpadna voda se preko pepela otprema u vodonepropusnu kasetu za deponovanje pepela. Dodavanje vode u mikser, mjeri se preko vodomjera, da bi se pratio dnevni bilans unosa vode i pepela u deponiju pepela.
- Pepeo izdvojen sa dna kotla je krupniji, i ne zahtijeva miješanje sa vodom, tako da se preko ćelijskog dodavača puni kamion za transport pepela do kasete.
- Dopremljeni pepeo se uvodi u kasetu rampom za kamione i pepeo se istovara prema dnevnom rasporedu, a potom se planira u nivou oko 1 metra debljine.

- Kasete za pepeo je vodonepropusna, što je ostvareno oblaganjem kasete po dnu i bokovima, vodonepropusnom HDPE geomembranom.
- Drenažna voda iz spoljašnjeg drenažnog Sistema (SDSa) prikuplja se u vodosabirniku odakle se koristi za orošavanje pepela i/ili za sistem pranja točkova.
- Na svim cjevovodima od pumpi drenažne vode, instalirani su ispusti za pražnjenje sistema cjevovoda u periodu mrazeva, kako bi se izbegle štete na hidrotehničkoj opremi.
- Za prskanje vode po deponiji u cilju isparavanja vode, a takođe i sprečavanja podizanja prašine sa površine deponije, koristi se laki prenosni sistem za prskanje.
- Za pranje točkova kamiona instaliran je uređaj *Moby Dick Junior*, koji je pored valjaka koji okreću točkove kamiona, opremljen i velikim brojem specijalno raspoređenih mlaznica za efikasno pranje točkova.



Slika 2. Tehnološka šema procesa utovara čvrstih ostataka sagorijevanja uglja, transporta do deponije pepela i deponovanja u kasetama za odlaganje čvrstih ostataka sagorijevanja

3. Tehnologija izrade i kapacitet kasete za deponovanje čvrstih ostataka sagorijevanja

Tehnologija izrade kasete prati tehnologiju otkopavanja uglja. Izrada kasete i nasipa vrši se diskontinualnom tehnologijom. Izuzetak predstavlja izrada nasipa na istočnoj strani kasete 4 koji će se izraditi radom kontinualnog BTO sistema za odlaganje otkrivke. Za izradu kasete i nasipa koristi se sva pomoćna mehanizacija koja se koristi i prilikom otkopavanja uglja i međuslojne jalovine. Za oslobađanje slobodnog prostora u zoni kasete angažuje se bageri Komatsu PC 1250 SP-8 kojima se otkopava ugajl.

Prostor predviđen za deponovanje ČOS (čvrstih ostataka sagorijevanja) iz termoelektrane do 2055. godine nepravilnog je oblika, sa dužom osom (maksimalno 950 m), na južnoj strani pruža se paralelno sa pružanjem puta i pruge, a na sjevernoj strani prati granicu otkopavanja uglja. Zbog nepravilnog oblika različite su i dimenzije planiranih kasete. Najveća širina kasete u rezervisanom prostoru je 350 m. Kote terena, duž koga se formiraju kasete za čvrste ostatke sagorijevanja su promjenljive i najniže kote su u zapadnom delu (165 m), dok su na jugoistoku kote terena najviše (178 m). Dubina kasete za deponovanje zavisi od podine otkopanog uglja i najveća dubina buduće deponije je na istočnoj strani kasete 4 (132,5 m), dok je u istoj kaseti na severnoj strani gdje ugajl isklinjava, dubina deponije je najplića (174 m). Ukupna površina rezervisanog prostora za deponiju je 453.037 m².

U ograničenom prostoru formiraju se kasete u skladu sa sledećim kriterijumima:

- Ugao nagiba završne kosine deponije pepela je 20°.
- Pristupni putevi pepelištu su pod nagibom od 6%.
- Pristupni putevi su dvosmjerni, širine minimalno 8 m, a maksimalno 10 m.
- Kako bi se obezbjedio potreban proctor, deponija se sastoji od dubinske i visinske etaže.

U završnoj konturi plato deponije (sa nadvišenjem) nalazi se na koti 190 m. Maksimalna visina od nivoa terena deponije je oko 10 m formira se duž cijele površine deponije. Odlaganje zadnje visinske etaže deponije izvršiće se sa napredovanjem od zapada prema istoku do zone etaža unutrašnjeg odlagališta otkrivke. Kapacitet odlagališta iznosi oko 10.590.000 m³ ili ako se preračuna u tone (pri čemu je $\gamma = 0,9 \text{ t/m}^3$) dobija se prostorni kapacitet odlagališta od 9.531.000 t. Upoređenjem sa ukupnim godišnjim kapacitetom (prosečno 260.000 t prema dosadašnjem iskustvu) vidimo da konstruisano odlagalište može da podrži proizvodnju do kraja trajanja koncesije 2055. godine.

Za proračun kapaciteta transporta pepela od TE Stanari do deponije, koriste se sljedeće vrijednosti kako je dato u Tabeli 1.

Tabela 1. Masa čvrstih ostataka sagorijevanja za transport na deponiju

	t/g	t/mes*	t/d	t/h
Masa čvrstog ostatka sagorijevanja, suvo	267.890	22.324,2	744,13	62.01

* t/mes dobijeno množenjem t/dan sa 30 dana.

Za navedenu proizvodnju čvrstog ostatka sagorijevanja TE Stanari, sa pretpostavljenim kvalitetom uglja i fondom godišnjih efektivnih sati rada TE Stanari od 7.500 h ostvauje se proizvodnja električne energije od 2.000.000 MWh. Izraženo po toni ČOS, to iznosi $2.000.000/267.890 = 7,466 \text{ MWh/t}$. Za potrebe obračuna troškova transporta i deponovanja pepela, pored iskazivanja troškova u €/t suvog ČOS, troškovi treba da se iskažu i po proizvedenom MWh električne energije, što bi na fiktivnom primeru izgledalo ovako: $1 \text{ €/t}/7.466 \text{ MWh/t} = 0,134 \text{ €/MWh}$.

4. Transport i deponovanje čvrstih ostataka sagorijevanja

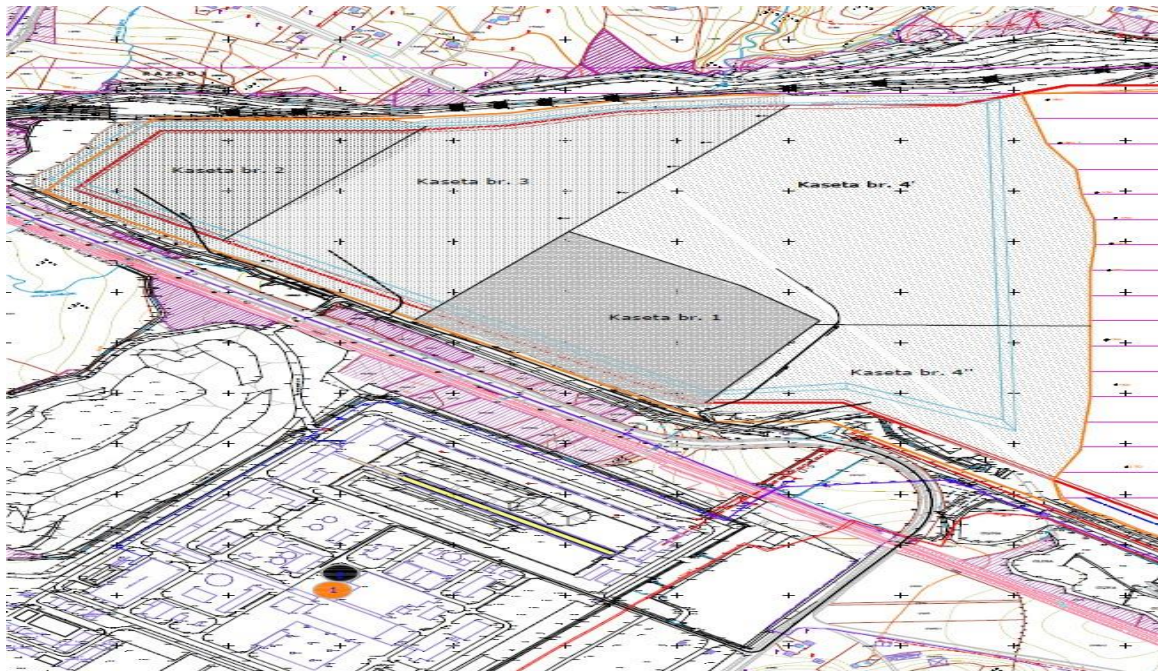
Na Slici 3 označen je položaj bunkera za čvrste ostatke sagorijevanja lignita Stanari i to: bunker čvrstih ostataka sa dna kotla (broj 1) i čvrsti ostaci letećeg pepela sa vrećastog filtera (broj 2). Transport čvrstih ostataka sagorijevanja izvodi se kamionima Volva, kapaciteta 15 t za leteći pepeo, a 20 t za pepeo sa dna kotla. Nakon punjenja, kamioni izlaze na glavnu saobraćajnicu u krugu TE (označena brojem 3) i napuštaju TE na raskrsnici (broj 4), uključujući se na javni put i skretanjem na levo idu prema lokaciji

kaseta na Dragalovcima, gdje se formira deponija čvrstih ostataka sagorijevanja iz TE.



Slika 3. Položaj bunkera pepela sa dna kotla (bottom ash-1) i letećeg pepela (fly ash-2), u krugu TE Stanari

Kamioni za ČOS se u krugu TE kreću po asfaltiranim saobraćajnicama u maksimalnoj dužini od 515 m, nakon izlaska iz kruga TE skreću lijevo i uključuju se na javnu saobraćajnicu kojom se kreće u dužini od 510 m. Isključuje iz javnog saobraćaja i ulazi u krug rudnika obavlja se u zoni proširenja puta sa desne strane saobraćajnice i nivou je sa javnim putem, nakon čega se kamioni kreću rudničkim putevima. Dužina deonica puta za odlaganje ČOS unutar zona deponije zavisi od lokacije kasete za ČOS (Slika 4). Najkraća deonica puta za ulazak u kasetu će biti prilikom rada u kaseti 4, kada je dužina puta oko 190 m, a najduže deonice puteva su prilikom deponovanja u kaseti 2, kada dužina puta iznosi 751 m. Prilikom rada sa nadvišenjem kompletne deponije ČOS najduži transportni put za pepeo je prilikom rada u krajnjem sjeverozapadnom dijelu deponije, a dužina deonice tada iznosi 918,5 m. Kamioni u povratku sa deponije po potrebi mogu da se usmjere na sekciju za pranje točkova kamiona.

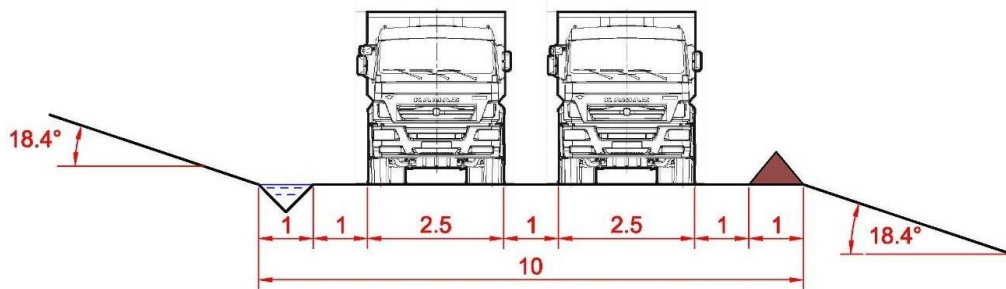


Slika 4. Trase saobraćajnica od mjesta utovara ČOS do mjesta deponovanja

Veći dio trase (najduža deonica je oko 1 km) kamioni se kreću duž rudničkih puteva, a kraćom deonicom se kreću putem za javni saobraćaj (Slika 4).

Pri konstrukciji puta u obzir su uzete tehničke karakteristike kamiona za transport ČOS, u skladu sa kojima su osvajani granični elementi trase. U tom smislu maksimalan nagib pojedinačnih deonica ne

prelazi $\max = 6\%$, i javlja se samo na mjestu rampe koju je neophodno konstruisati kako bi se izvršio silazak na donju osnovu kasete i prilikom formiranja visinskog dijela deponije. U svim ostalim slučajevima put je skoro uvijek horizontalan. Konstruisani radijusi krivina, znatno su veći od graničnih vrijednosti za usvojen kamion. Dimezije platoa, kao i širina novokonstruisanog rudničkog puta, definisani su tako da obezbjede nesmetan i siguran prolazak i transport. Za deonice duž transportne rampe usvojena je širina puta od 10 m, dok je za ostale deonice usvojena širina od 8 m. Generalni poprečni profil puta, duž transportne rampe, dat je na Slici 5.



Slika 5. Osnovni elementi poprečnog profila puta duž rampe

Povremeno je potrebno uređivanje i ravnanje saobraćajnice unutar konture deponije. Za te poslove su predviđene mašine grejder sa površinskog kopa i buldozer točkaš sa deponije uglja TE.

Dopremljeni pepeo se uvodi u kasetu rampom za kamione i pepeo se istovara prema dnevnom rasporedu kao što je prikazano na Slici 6.



Slika 6. Depovanovanje čvrstih ostataka sagorijevanja u kaseti

5. Kontrola kvaliteta pepela

Od samog početka proizvodnje TE praćen je i kvalitet pepela. Prva ispitivanja su urađena u institutima u regionu. Rađene su analize hemijskog sastava i topivosti (Rudarski institut Beograd), analize teških metala (Gradski zavod za javno zdravlje Beograd), radiološka ispitivanja (Institut za nuklearne nauke-Vinča), rengenska analiza (ITNMS Beograd) i ispitivanja Zavoda za gradbeništvo Slovenije. Sva ova ispitivanja su bila preduslov da se u zavisnosti od kvaliteta pepela krene u sertifikovanje pepela kao

dodatka betonu.

Analize Zavoda za gradbeništvo Slovenije su pokazale da pepeo može da se sertifikuje kao dodatak betonu prema standardu EN ISO 450-1.

Rezultati analiza pepela prikazane su u Tabeli 2.

Tabela 2. Analiza letećeg pepela i pepela sa dna kotla

PARAMETAR	HEMIJSKI SASTAV PEPELA*				
	Leteći pepeo				Pepeo sa dna kotla
	2016*	2018	2019	2021	2016
SiO ₂ %	53,70	51,75	49,85	52,77	83,68
Fe ₂ O ₃ %	7,76	7,98	7,98	4,99	1,70
Al ₂ O ₃ %	20,09	20,08	21,68	23,59	5,81
CaO %	7,50	10,40	11,00	11,60	4,63
MgO %	2,16	6,00	5,80	3,10	1,11
SO ₃ %	2,07	1,99	1,98	1,96	0,83
P ₂ O ₅ %	0,05	-			0,02
TiO ₂ %	1,38	0,35	0,20	0,20	0,37
Na ₂ O %	0,50	0,345	0,687	0,625	0,28
K ₂ O %	0,81	0,608	0,554	0,501	0,26
Gubitak žarenjem %	3,97	0,70			1,27
Reakcija pepela	Jako kisela				Jako kisela
TOPIVOST PEPELA*					
Vrsta promjene	Leteći pepeo				Pepeo sa dna kotla
	Temperatura °C				
Sinterovanje	1040		1290		1140
Omekšavanje	1180		1320		1250
polulopta	1240		1340		1300
razlivanje	1280				> 1350
NASIPNA MASA (kg/dm ³)*					
Rastresito stanje	0,473				1,491
Zbijeno stanje	0,681				1,615
RADIOAKTIVNOST PEPELA** (Bq/kg)					
radionuklid					
²³⁶ Ra	62±8				16±1
²³² Th	72±8				13±1
⁴⁰ K	220±30				79±6
¹³⁷ Cs	< 0,3				< 0,06
²³⁸ U	60±10				15±3
²³⁵ U	2,7±0,5				0,73±0,09
GAMA INDEKS**					
Enterijer	0,64				0,14
eksterijer	0,44				0,10
niskogradnja	0,26				0,06
Zaključak	Uzorci zadovoljavaju kriterijume Pravilnika i pepeo se može koristiti u visokoj gradnji za eksterijer i enterijer, i u niskogradnji.				
SADRŽAJ TEŠKIH METALA I METALOIDA (mg/kg)***					
	Leteći pepeo			Pepeo sa dna kotla	
Olovo, Pb	27,9			7,81	
Kadmijum, Cd	0,4			0,23	
Cink, Zn	37,5			23,9	
Bakar, Cu	69,2			12,4	
Nikl, Ni	675			220	
Hrom ukupni, Cr	409			143	

Arsen, as	16,3	5,0
Barijum, Ba	337	83
Berilijum, Be	2,33	0,63
Kobalt, Co	57,3	18,9
Molibden, Mo	1,0	0,53
Mangan, Mn	1033	273
Vanadijum, V	136	46,6
Titan, Ti	867	517
Zaključak	Na osnovu rezultata može se zaključiti da su nađene vrednosti ispod referentnih vrednosti poredeći sa međunarodno priznatim standardima i klasifikacijama kojima se karakteriše opasan otpad.	
REGENSKA ANALIZA ****		
Kvarc %	> 95	> 99
Karbonati %-kalcit	-	U tragu
Prateći minerali (olivini, granati, korund, apatit)	< 5	-

*analizu radio RI Beograd - br. Izveštaja 06/16 od 10.2.2016.

**analizu radio Institut za nuklearne nauke Vinča, izveštaji 1-93 I 1-94 od 19.2.2016.

***analizu radio Gradski zavod za javno zdravlje Beograd, br. Izveštaja 16-11-0065 i 16-11-55 od 22.2.2016.

****analizu radio ITNMS Beograd, izveštaj br. 7.3./1E/2016 od 18.2.2016.

Napomena: Prema nalazu Zavoda za gradbeništvo - Izveštaj br.124/16-480-1 o analizi letećeg pepela, rezultati su u skladu sa zahtjevima standarda SIS EN 450-1:2013 - Usklađenost elektrofilterskog pepela.

Na osnovu prvih analiza i potvrdom istih kroz vrijeme, pristupilo se dobijanju sertifikata o kvalitetu letećeg pepela, prema standardu BAS EN ISO 450-1.

U toku 2017. ispunjeni su uslovi kvaliteta tako da je leteći pepeo iz TE Stanari dobio sertifikat o usaglašenosti kao dodatak betonu tipa II, CE znak i izjavu o svojstvima.

Laboratorija EFT Rudnika i TE Stanari je u obavezi da svakodnevno uzorkuje i ispituje leteći pepeo na sledeće parametre: Gubirak žarenjem (BAS EN 196-2), Finoća mliva (BAS EN 451-2), Slobodni CaO (BAS EN 196-3).

Za parametre stalnost zapremine (BAS EN 196-3), indeks aktivnosti (BAS EN 450-1), reaktivni CaO (BAS EN 196-2), hloridi, sulfati (BAS EN 196-2) i gustina (BAS EN 1097-7), angažuju se eksterna sertifikovana laboratorija.

Primjer vrijednosti autokontrolnih ispitivanja prikazan je u Tabeli 3.

Tabela 3. Autokontrolna ispitivanja letećeg pepela TE Stanari

Datum	Gubitak žarenjem EN 196-2:2014	Finoća mliva BAS EN451-2:2002		slobodni CaO BAS EN 451-2:2002 ≤ 1.5 %	stalnost zap ASEN 196- ≤ 10 mm	indeks aktivnosti		reakt. CaO(%)	hloridi Cl(%)	sulfati SO4(%)	gustina čestica			
						28d	90d							
						≥ 75%	≥85%							
MAJ 2022.	1	/	/											
	2	/	/											
	3	0,80	0,64	24,85	26,39	1,63	1,34	1,00	90,2	93,7	9,43	0,01	1,98	2,5
	4	0,60		34,37										
	5	0,60		33,60										
	6	0,61		29,59										
	7	0,69		28,70										
	8	/		/										
	9	/		/										
	10	0,70		25,25		1,7		1						
	11	0,69		31,56										
	12	0,59		27,35										
	13	0,60		34,87										
	14													
	15	0,50		35,44										
	16	0,60		31,66		1,46								
	17	0,60		33,57										
	18	0,69		33,53										
	19	0,70		31,75										
	20	0,70		30,59										
	21	0,60		38,31										
	22	0,70		34,20										
	23	0,70		35,08					96,7	97				
	24	0,60		32,53										
	25	0,50		37,16										
	26	0,70		38,08										
	27	0,69		34,59										
	28	/		/										
	29	/		/										
	30	0,60		39,34		1,9		1						
	31	0,50		37,82										

6. Uticaj hemijskog sastava pepela sa dna kotla na rad bloka

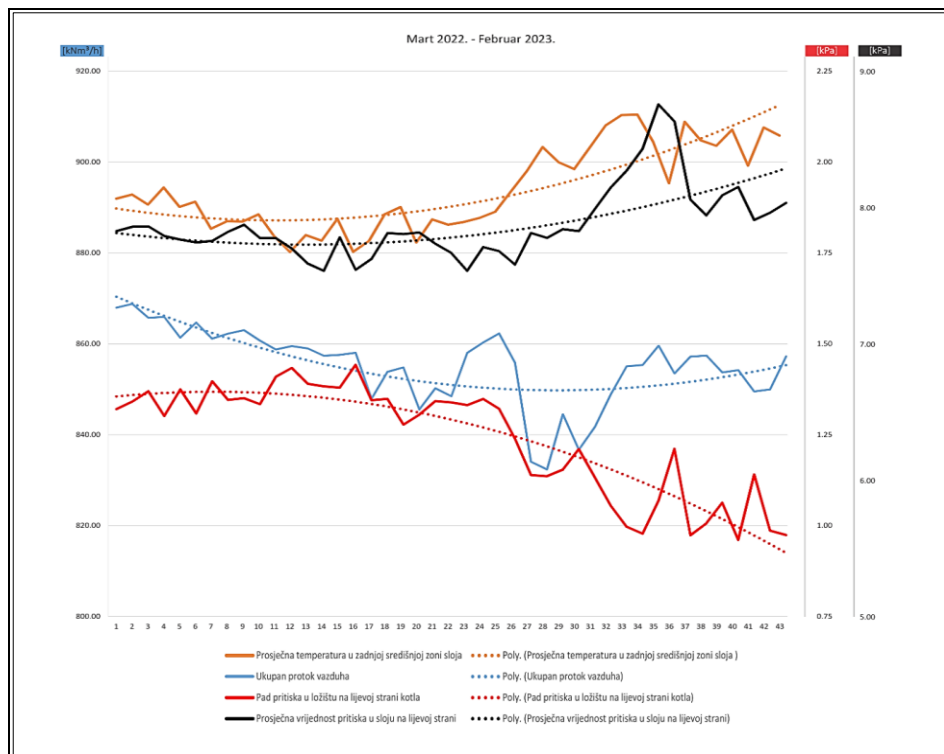
U toku rada TE najčešće varijacije DTV uglja bile su do ± 500 kJ/kg u odnosu na srednje projektovanu vrijednost od 9.000 kJ/kg, pri čemu ni vrednosti od 8.500 kJ/kg nisu predstavljale ozbiljniju prepreku za rad bloka na punoj snazi.

Napredovanjem otkopavanja uglja ulazi se u određene dijelove ležišta Raškovac čijim sagorjevanjem su uočene određene promjene i uticaj na rad kotla. Da bi se utvrdio koje to promjene dovode do određenih promjena intenzivirala su se ispitivanja pepela sa dna kotla, koji se koristi i kao materijal sloja u kotlu TE Stanari.

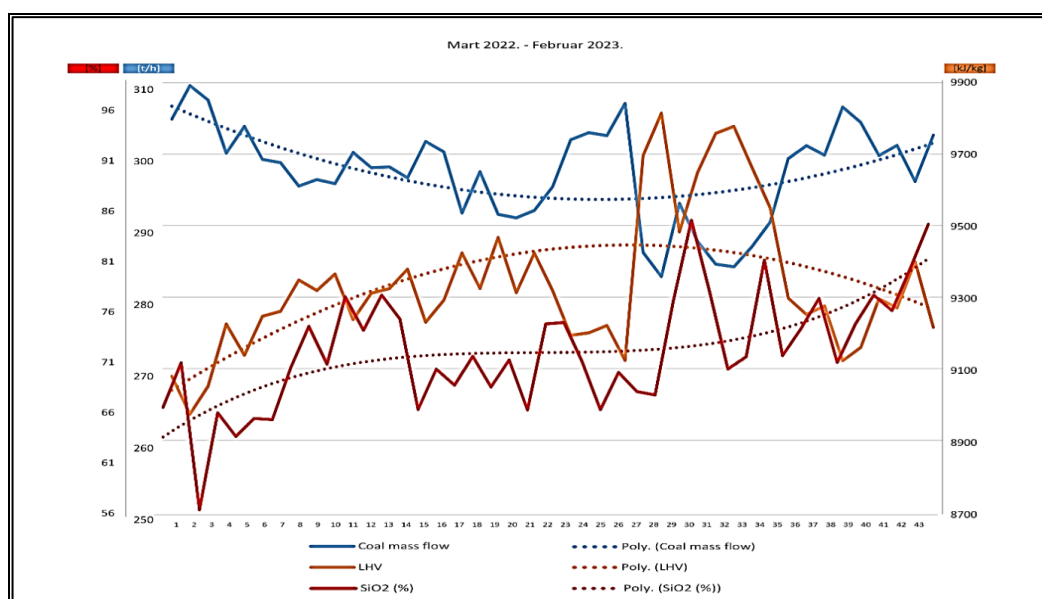
U vremenskom periodu mart 2022. - februar 2023. uočene su najveće varijacije u radu postrojenja i s tim u vezi je urađena analiza rada kotla za ovaj period. Period je podjeljen u dva vremenska dijela. Period I kao interval rekordnog vremena provedenog na mreži (180 dana) i period II, period nakon zastoja sa kojim se poklopilo i prelazak na nove dijelove ležišta Raškovac.

U nastavku su prikazani dijagrami sa karakterističnim parametrima sagorjevanja u kotlu, za koje možemo reći da su reprezentativni u kontekstu analize uticaja hemijskog sastava uglja na fenomen erozije izmjenjivačkih površina kotla. Posmatrane su prosječne satne vrijednosti parametara koje su predstavljene sedmičnim presjecima u periodu rada bloka.

U periodu I prosečna temperatura u sloju se kretala između 880°C i 890°C (Slika 7). Izvršeno je 20 merenja temperature u sloju, a kao reprezentativno merenje je izdvojena prosečna vrednost temperature u središnjoj zoni na zadnjoj strani ložišta. U ovom periodu je bilo moguće održavati relativno nizak pritisak u sloju uz kontrolisanje emisije zagađujućih materija u dozvoljenim granicama.



Slika 7. Prikaz parametara kotla pri sagorjevanju za period I



Slika 8. Maseni protok uglja, donja toplotna moć uglja i sadržaj silicijum dioksida u pepelu sa dna kotla

Tabela 4. Prikaz parametara za period I

U periodu II uočava se skoro konstantan rast temperature u sloju (između 895°C i 910°C). Dolazi konstantno do pada diferencijalnog pritiska u ložištu i porast prosečne vrednosti pritiska u sloju zbog otežane kontrole temperature u sloju.

Broj sedmica	Prosečna temperatura u zadnjoj središnjoj zoni sloja [°C]	Prosečna vrednost pritiska u sloju na levoj strani [kPa]	Pad pritiska u ložištu na levoj strani kotla [kPa]	Ukupan protok vazduha [kNm ³ /h]	Coal mass flow [t/h]	DTV [kJ/kg]	SiO ₂ (%)
1	892	7.83	1.32	868	305	9079	67
2	893	7.86	1.34	869	310	8973	71
3	891	7.86	1.37	866	308	9051	57
4	894	7.79	1.3	866	300	9225	66
5	890	7.77	1.37	861	304	9138	64
6	891	7.74	1.31	865	299	9246	65
7	885	7.76	1.4	861	299	9261	65
8	887	7.82	1.35	862	296	9348	70
9	887	7.87	1.35	863	296	9319	75
10	889	7.78	1.33	861	296	9364	71
11	884	7.78	1.41	859	300	9237	77
12	880	7.7	1.43	860	298	9311	74
13	884	7.59	1.39	859	298	9324	78
14	883	7.54	1.38	857	297	9378	75
15	888	7.78	1.38	858	302	9230	66
16	880	7.54	1.44	858	300	9291	70
17	883	7.62	1.34	848	292	9424	69
18	889	7.81	1.35	854	298	9324	72
19	890	7.81	1.28	855	292	9467	69
20	882	7.82	1.31	846	291	9312	71
21	887	7.73	1.34	850	292	9423	66
22	886	7.67	1.34	848	295	9319	75
23	887	7.54	1.33	858	302	9193	75
24	888	7.71	1.35	860	303	9200	71
25	890	7.65	1.32	863	303	9221	66
26	894	7.58	1.24	856	307	9123	70
27	898	7.81	1.14	834	286	9697	68

Tabela 5. Prikaz parametara kotla za period II

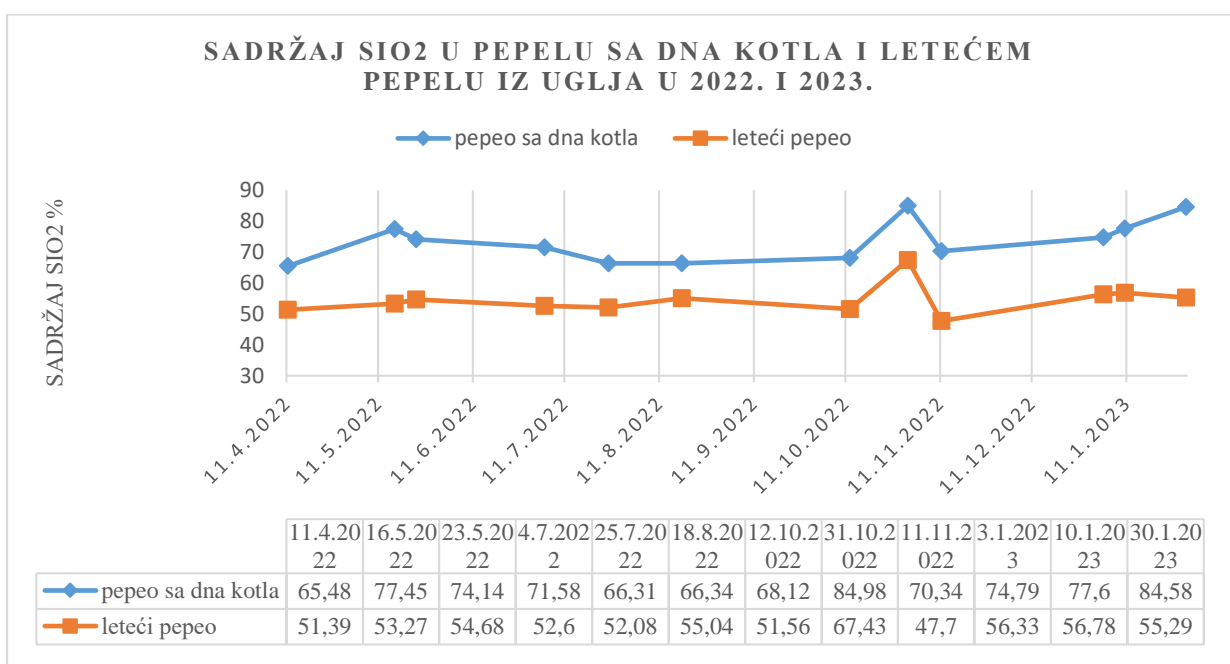
Broj sedmica	Prosečna temperatura u zadnjoj središnjoj zoni sloja [°C]	Prosečna vrednost pritiska u sloju na levoj strani [kPa]	Pad pritiska u ložištu na levoj strani kotla [kPa]	Ukupan protok vazduha [kNm ³ /h]	Coal mass flow [t/h]	DTV [kJ/kg]	SiO ₂ (%)
28	903	7.78	1.14	832	283	9814	68
29	900	7.84	1.15	845	293	9482	77
30	898	7.83	1.21	837	288	9648	85
31	903	7.99	1.13	842	285	9758	78
32	908	8.15	1.06	849	284	9777	70
33	910	8.27	1	855	287	9663	72
34	910	8.43	0.98	855	290	9550	81
35	904	8.76	1.07	860	299	9297	72
36	895	8.63	1.21	853	301	9251	74
37	909	8.06	0.97	857	300	9275	77
38	905	7.94	1.01	857	307	9122	71
39	904	8.09	1.06	854	304	9159	75
40	907	8.15	0.96	854	300	9295	78

41	899	7.91	1.14	850	301	9270	76
42	908	7.96	0.99	850	296	9399	80
43	906	8.03	0.97	857	303	9216	85

Poredeći navedene periode može se zaključiti da je u *periodu II* sagorjevao uglj izrazito nepovoljnih karakteristika sa aspekta erozije izmjenjivačke površine.

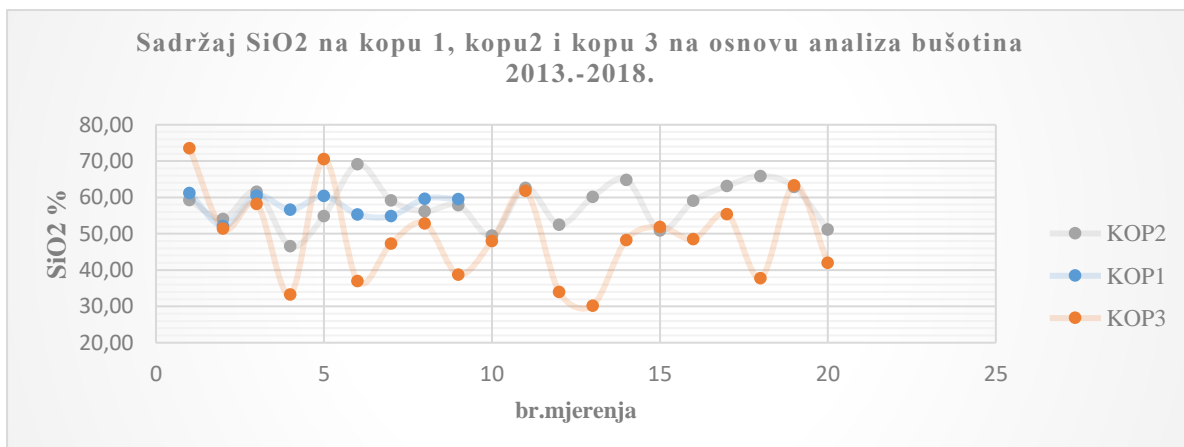
Upoređujući rezultate analiza uglja i pepela sa dna kotla i činjenice da je došlo do eksploatacije uglja sa novih ležišta (kop 1, kop 2 i kop 3) uočeno je povećanje sadržaja SiO₂ u ova dva perioda, pa se tako u pepelu sa dna kotla u *Periodu I* sadržaj SiO₂ kretao u granicama između 57% i 78%, a u *Periodu II* sadržaj SiO₂ se kretao između 68 i 85%.

Na Slici 9 je prikazan sadržaj SiO₂ u uzorcima pepela sa dna kotla i letećem pepelu rađenim u 2022. i januaru 2023 god., a nastao sagorjevanjem uglja iz proizvodnje TE. Iz analiza možemo zaključiti da je SiO₂ nakon sagorjevanja uglja u kotlu u pepelu sa dna kotla koncentrovaniiji i veći od sadržaja u uglju i u letećem pepelu i to za oko 15-20%, kao i rast sadržaja SiO₂ u *Periodu II*.



Slika 9. Sadržaj silicijum dioksida u pepelu sa dna kotla i u letećem periodu period 2022-2023

Ako uzmemo hemijski sastav uglja sa novih kopova i prikažemo ga grafički možemo uočiti širok interval u sadržaju SiO₂ koji je prikazan na Slici 10.



Slika 10. Sadržaj SiO₂ na novim kopovima ležišta Raškovac

Posmatrajući rezultate vezane za sadržaj SiO₂ možemo zaključiti sledeće:

- Na Kopu 1 je sadržaj SiO₂ ujednačeniji i kreće se u užem opsegu 52-61%.
- Na Kopu 2 ovaj opseg je širi i ujednačeniji opseg koji se kreće od 46,0-69,10% pri čemu 35% analiza ima sadržaj SiO₂ veći od 61%, 30% u intervalu 55-61%, a 35% ima sadržaj SiO₂ manji od 55%.
- Kop 3 ima još širi opseg i on se kreće od 30,22-73,54 %, pri čemu 21% bušotina ima sadržaj SiO₂ veći od 61 %, 10,5 % bušotina ima sadržaj u intervalu 55-61 %, a čak 68% ima sadržaj SiO₂ manji od 55%, pri čemu 31.6% u intervalu 46-55%, a 36,8 % bušotina ima sadržaj SiO₂ manji od 46%.

Na osnovu ovih analiza, i analiza rada kotla sa ugljem iz novih ležištaa, prilikom eksploatacije i homogenizacije uglja, trebalo bi uzeti u obzir i ove zaključke i kombinovati ugalj sa pozicija bušotina sa sadržajem SiO₂ većim od 61% sa ugljem sa pozicija bušotina koje imaju sadržaj SiO₂ manji od 55%, ukoliko tehničko-tehnološke mogućnosti dozvoljavaju.

7. Zaključak

Iz svega navedenog možemo zaključiti da se u EFT Rudniku i TE Stanari velika pažnja poklanja praćenju kvaliteta pepela u svrhu praćenja rada kotla i zaštiti životne sredine kako prilikom otpreme tako i prilikom deponovanju pepela.

Literatura

[1] Inspekt RGH, Kakanj (2013-2023), Izveštaji hemijske analize pepela

[2] Laboratorija TE Stanari (2020-2023.), Tehnički izveštaji analize uglja u toku ispitivanja rada TE Stanari

[3] Služba proizvodnje TE Stanari (maj 2023.), Analiza rada kotla TE Stanari za peiod mart 2022. - februar 2023. godine

[4] Fond stručne dokumentacije EFT-Rudnik i termoelektrana Stanari d.o.o., Stanari (2013. - 2018), Elaborati izvedenih detaljnih geoloških istraživanja u stanarskom basenu.

[5] Dopunski rudarski projekat odlaganja čvrstih ostataka sagorevanja iz TE Stanari (2019.)



REZULTATI ISPITIVANJA PARAMETARA ČVRSTOĆE I DINAMIČKIH SVOJSTAVA MERMERA I MOGUĆNOST NJIHOVE KORELACIJE

THE RESULTS OF TESTING THE PARAMETERS OF STRENGTH AND DYNAMIC PROPERTIES OF MARBLE AND THE POSSIBILITY OF THEIR CORRELATION

Majstorović-Necković J.¹, Čebašek V.², Rupar V.³

Apstrakt

Ispitivanja stena kao radne sredine, odnosno materijala sa kojim se gradi, na kome se gradi i u kome se gradi, svojom složenošću zahteva njeno svestrano izučavanje po velikom broju parametara. Zadatak Mehanike stena je da što bolje upozna ponašanje stenske mase i njenu otpornost na dejstvo pritiska, zatezanja i smicanja, kao i dinamičkih svojstava. Poznavanje navedenih parametara i njihova korelacija omogućavaju pouzdaniji izbor parametara za projektovanje danas sve zahtevnijih uslova kako podzemne, tako i površinske eksploatacije. U ovom radu su prikazani rezultati ispitivanja jednoosne čvrstoće na pritisak, zatezne čvrstoće i brzine prostiranja longitudinalnih elastičnih talasa uzoraka belog venčaćkog mermera izdvojenih iz bušotine BV-1. Stepenn korelacije između ispitivanih parametara je $r > 0,9$, odnosno, prema većini klasifikacija vrlo veliki.

Ključne reči: mermer, jednoosna čvrstoća na pritisak, čvrstoća na istezanje, brzina longitudinalnih elastičnih talasa, korelacija

Abstract

Rock tests as a rockmass, i.e. the material with which it is built, on which it is built and in which it is built, due to its complexity, requires its comprehensive study according to a large number of parameters. The task of rock mechanics is to better understand the behavior of the rockmass and its resistance to compression, tension and shear, as well as dynamic properties. Knowledge of the mentioned parameters and their correlation enable a more reliable choice of parameters for the design increasingly demanding conditions of underground and surface exploitation. This paper presents the results of uniaxial compressive strength tests, tensile strength and velocity of longitudinal elastic waves of samples of white Vencac marble extracted from the BV-1 borehole. The degree of correlation between the tested parameters is $r > 0.9$, that is, according to most classifications, very high.

Keywords: marble, uniaxial compressive strength, tensile strength, velocity of longitudinal elastic waves, correlation

1. Uvod

Najveće mase mermera (M) u oreolu bukuljskog granitoida, otkrivene su na Venčacu, a pripadaju najeksternijoj kontaktno-metamorfnoj zoni. Izdvojeni su kao posebna kartirana jedinica i pokazuju veći stepen metamorfizma od okoline. Mermeri se javljaju u izduženim telima promenljive širine (od nekoliko metara do više stotina metara). Pretežno su masivni ili bankoviti. Mikroskopskim analizama je utvrđeno da su izgrađeni od sitnih i ujednačenih zrna bližnjeg kalcita, veličine $0,10 \times 0,06$ do $0,19 \times 0,13$ mm. Mermeri imaju granoblastičnu do granoblastično-trakastu teksturu, kompaktni su i

¹ Majstorović Necković Jelena, Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, Beograd, jelena.majstorovic@rgf.bg.ac.rs.

² Prof. dr Vladimir Čebašek, Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, Beograd, vladimir.cebasek@rgf.bg.ac.rs.

³ Doc. dr Veljko Rupar, Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, Beograd, veljko.rupar@rgf.bg.ac.rs.

homogeni. Boje su bele, svetlo sive i vrlo retko rumeni [1]. Upravo zbog toga što su izgrađeni od sitnih i ujednačenih zrna kalcita beli venčački mermeri predstavljali su pogodan stenski materijal za istraživanja parametara čvrstoće i dinamičkih svojstava, kao i njihovu međusobnu korelaciju. Više od četiri decenije autori su ispitivali svojstva ove stenske mase. Obim ispitivanja je daleko prevazišao neophodna ispitivanja za potrebe projektovanja površinske eksploatacije. Tako veliki broj rezultata pružio je mogućnost da se razmišlja o promeni tehnologije i mogućnosti istovremenog površinskog otkopavanja i podzemne eksploatacije blokova.

2. Način ispitivanja

Jednoosna čvrstoća na pritisak je jedan od najvažnijih parametara kada je u pitanju procena kvaliteta radne sredine, a koristi se i za klasifikaciju stenske mase. Mnogobrojnim ispitivanjima utvrđena je čvrsta korelaciona veza sa drugim parametrima [2]. Jednoosna čvrstoća na pritisak stenskog materijala zavisi od mineraloškog sastava, veličine i oblika zrna, veze među zrnima, poroznosti, vlažnosti, prisustva prslina i pukotina. Krupnozrnije i poroznije stene imaju manju čvrstoću od sitnozrnih, kao i vlažne u odnosu na suve. Veći stepen metamorfizma utiče na rast vrednosti parametara čvrstoće. Čvrstoća zavisi i od brzine delovanja sile koja izaziva deformaciju.

Laboratorijsko određivanje jednoosne čvrstoće na pritisak u ovom slučaju obavljeno je prema standard JUS B.B7. 126, 1988. [3] na probnim telima izdvojenim iz istražne bušotine BV-1 sa odnosom visine i prečnika probnog tela, $h/d \cong 1,0$.

Određivanje čvrstoće na istezanje izvršeno je indirektnom metodom, brazilskim testom. Jugoslovensko društvo za mehaniku stena je 1988. godine usvojilo je da se od 1989. godine uvrsti u Jugoslovenske standarde sa obaveznom primenom, po preporuci Međunarodnog društva za mehaniku stena ISRM, određivanje zatezne čvrstoće indirektnom metodom sa oznakom JUS B.B7.127, 1988. [4]. U standardu je istaknuto da se rezultati ovih ispitivanja koriste u proračunu rudarskih i drugih radova koji se izvode u stenskom masivu, u izradi i primeni rudarske opreme, kao i kod naučno-istraživačkih radova.

Ovim standardom je definisan princip izvođenja ogleada, kojim se cilindrično probno telo opterećuje po izvodnicama omotača i konstatuje sila koja prouzrokuje lom probnog tela. Probna tela su dobijena izdvajanjem iz jezgra istražne bušotine BV-1. Odnos visine i prečnika probnog tela bio je $h/d \cong 1,0$.

Utvrđivanje dinamičkih svojstava, brzine longitudinalnih V_p i transverzalnih elastičnih talasa V_s , izvršeno je u Laboratoriji za mehaniku stena Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu instrumentom Sonic viewer, model 5210, tačnosti čitanja $0.10 \mu s$ [5]. Poznavanje ovih parametara omogućava izračunavanje dinamičkog modula elastičnosti E_{dyn} i dinamičkog Poisson-ovog koeficijenta μ_{dyn} . Brzina rasprostiranja elastičnih talasa (V_p i V_s) kroz stenu (bilo uzoraka ili stenske mase) zavisi od mineralnog sastava stene, strukturnih svojstava, poroznosti, ispucalosti, vlažnosti, naponskog stanja, temperature itd. Ispitivanje ultrazvukom posebno je značajno zbog činjenice da se ispitivanje vrši bez razaranja, čime je omogućeno da se na ispitivanom probnom telu odrede i neka druga svojstva. Pre ispitivanja parametara čvrstoće na svakom formiranom probnom telu iz istražne bušotine BV-1 utvrđena su dinamička svojstva. Ova ispitivanja omogućila su utvrđivanje korelacije dinamičkih svojstava sa drugim geomehaničkim parametrima.

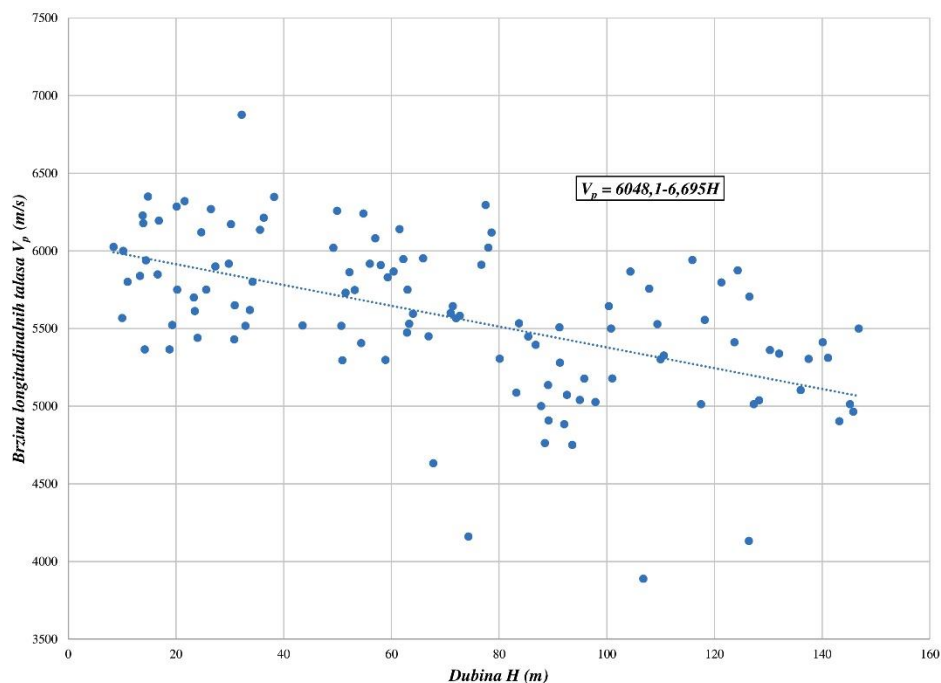
3. Rezultati ispitivanja

U procesu eksploatacije belog mermera površinskog kopa Venčac kod Arandelovca primećeno je da sa dubinom eksploatacije kvalitet blokova opada. Dostigavši dubinu od oko 100 m, količina blokova prve klase značajno se smanjila. Uzimajući u obzir fizičko-mehanička svojstva belog mermera, način i dubinu eksploatacije i izmenjeno naponsko stanje na etažama kopa i u izdvojenim blokovima prouzrokovano eksploatacijom, došlo je do pojave rasterećenja, a što je imalo za posledicu pojavu mikro pukotina i opadanja kvaliteta bloka mermera. Takvo obrazloženje potvrđeno je opsežnim ispitivanjima kvaliteta belog mermera, pored ostalog i brzine prostiranja longitudinalnih V_p i transverzalnih V_s elastičnih talasa. U radu su prikazani statistički parametri rezultata ispitivanja uzoraka izdvojenih iz istražne bušotine BV-1 (Tabela 1).

Tabela 1. Rezultati statističke analize ispitivanih parametara

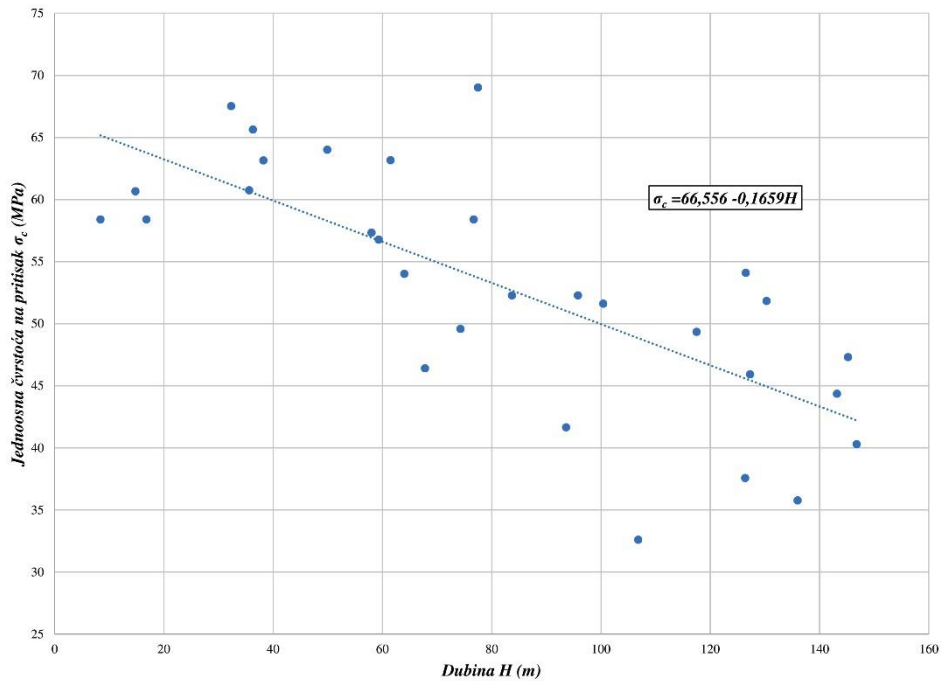
Oznaka bušotine BV-1 [146m']	Ispitivani parametri		
	Brzina longitudinalnih elastičnih talasa V_P [m/s]	Jednoosna pritisna čvrstoća σ_c [MPa]	Zatezna čvrstoća σ_t [MPa]
Broj ispitanih probnih tela	115	30	30
Srednja vrednost	5582	53,00	5,16
Minimum	3888	32,59	3,40
Maksimum	6877	69,02	6,90
Raspon	2989	36,43	3,50
Standardna devijacija	490,29	9,59	0,86
Koeficijent varijacije	8,78%	18,10%	16,69%

Na Slici 1 dat je grafički prikaz utvrđenih vrednosti u koordinatnom sistemu: dubina H [m] - brzina longitudinalnih elastičnih talasa V_P [m/s].

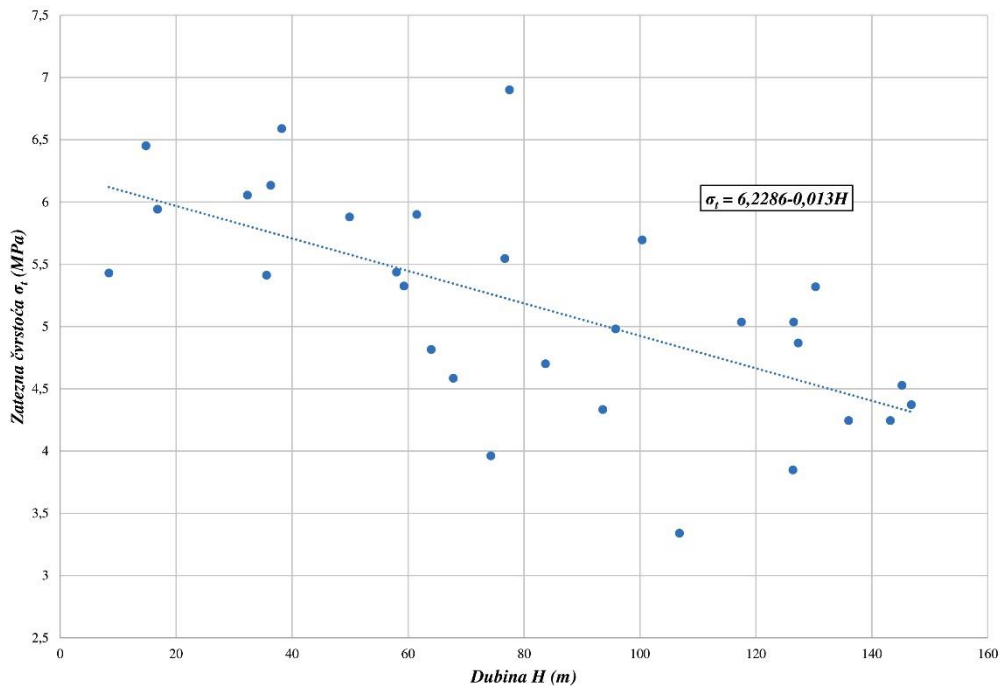


Slika 1. Grafički prikaz promene vrednosti V_P u funkciji dubine uzoraka izdvojenih iz BV-1

Na Slici 2 i Slici 3 dati su grafički prikazi promena vrednosti σ_c u funkciji dubine uzoraka izdvojenih iz BV-1.



Slika 2. Grafički prikaz promene vrednosti σ_c u funkciji dubine uzoraka izdvojenih iz BV-1

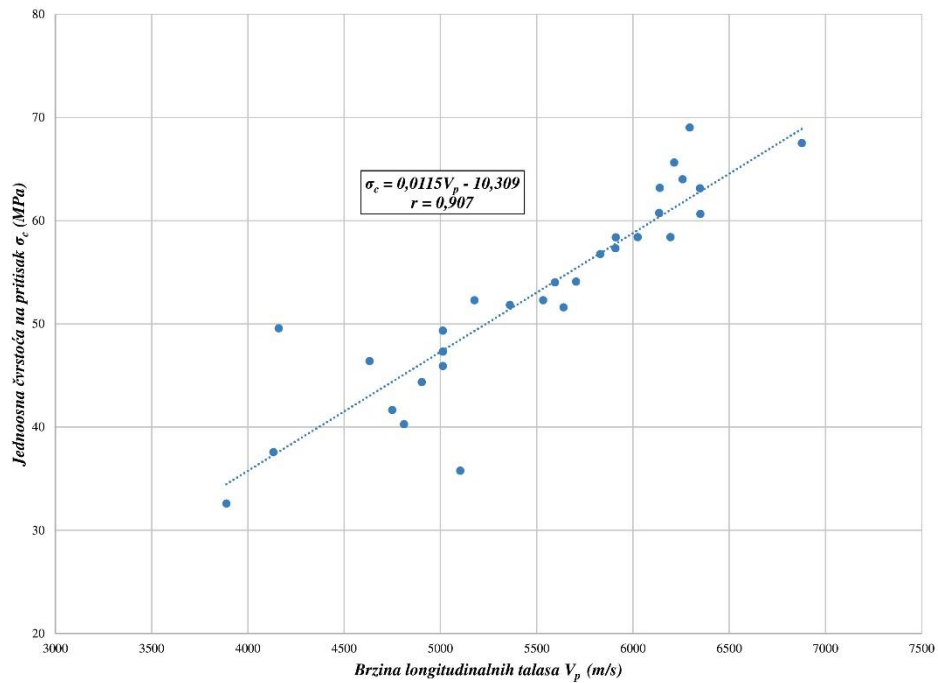


Slika 3. Grafički prikaz promene vrednosti σ_t u funkciji dubine uzoraka izdvojenih iz BV-1

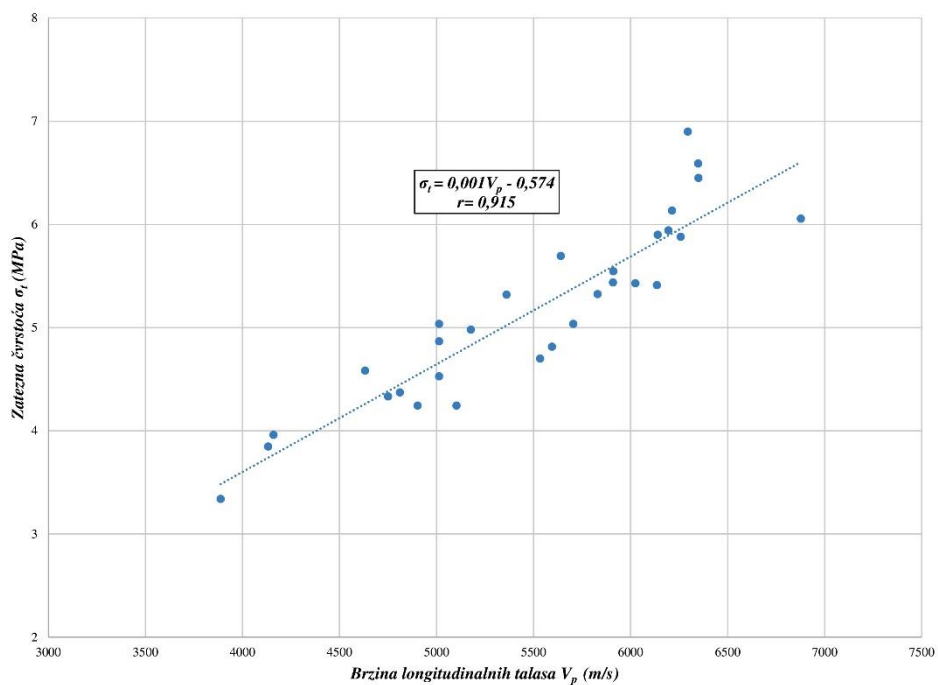
Nasuprot očekivanjima da će sa dubinom brzine parametri čvrstoće da rastu, analiza utvrđenih vrednosti ispitivanih parametara pokazala je suprotno. Opadanje vrednosti ispitivanih parametara na dubini većoj od 80 m posledica su relaksacije. Taj zaključak se podudara sa činjenicom da kvalitet bloka sa dubinom opada. Blokovi izdvojeni na većim dubinama su se takođe relaksirali, a što je dovelo do formiranja mikroprslina i smanjenja vrednosti ispitivanih parametara. Rezultati ovakvih ispitivanja mogu se iskoristiti za usmeravanje pravca eksploatacije, kako bi se izbegli delovi stenske mase nepovoljnih svojstava, a samim tim obezbedila ekonomičnija i sigurnija eksploatacija.

U nastojanju da se obezbede što pouzdaniji parametri za projektovanje, izvršena je linearna korelacija između ispitivanih svojstava metodom najmanjih kvadrata, i to:

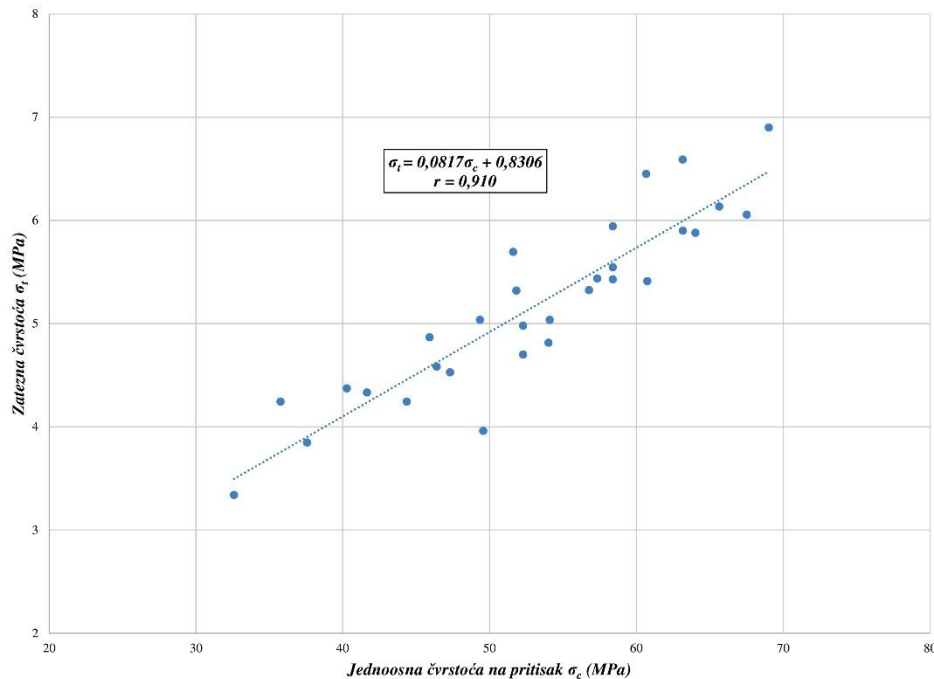
- korelacija između brzine longitudinalnih elastičnih talasa V_p i jednoosne čvrstoće na pritisak σ_c (Slika 4),
- korelacija između brzine longitudinalnih elastičnih talasa V_p i čvrstoće na istezanje σ_t (Slika 5) i
- korelacija između jednoosne čvrstoće na pritisak σ_c i čvrstoće na istezanje σ_t (Slika 6).



Slika 4. Korelacija vrednosti jednoosne čvrstoće na pritisak σ_c i brzine prostiranja longitudinalnih elastičnih talasa V_p



Slika 5. Korelacija vrednosti čvrstoće na istezanje σ_t i brzine prostiranja longitudinalnih talasa V_p



Slika 6. Korelacija vrednosti jednoosne čvrstoće na pritisak σ_c i čvrstoće na istezanje σ_t

Uvidom u rezultate analize utvrđeni su koeficijenti korelacije i to $r = 0,907$ za korelaciju $V_p - \sigma_c$ (slika 4), $r = 0,915$ za korelaciju $V_p - \sigma_t$ (slika 5) i $r = 0,910$ korelaciju $\sigma_c - \sigma_t$ (Slika 6). U Tabeli 2 prikazane su granične vrednosti koeficijenta korelacije.

Tabela 2. Koeficijent korelacije - klasifikacija [6, 7]

Koeficijent korelacije	Vrednost
vrlo mali	0.00 - 0.19
mali	0.20 - 0.39
srednji	0.40 - 0.59
veliki	0.60 - 0.79
vrlo veliki	0.80 - 1.00

Vrednosti koeficijenta korelacije r ukazuju na veoma značajnu korelaciju (Tabela 2, $r > 0,9$) između vrednosti tri analizirana parametra. Utvrđene korelacione veze omogućavaju da se izvrši procena mehaničkih svojstava stenskog materijala (belog mermera) na osnovu ispitivanja brzine prostiranja longitudinalnih (V_p) i transverzalnih (V_s) elastičnih talasa u stenskom materijalu, a što je posebno značajno zbog činjenice da se ova ispitivanja vrše bez razaranja stenskog materijala. Ispitivanja brzine prostiranja elastičnih talasa je moguće izvršiti i terenskim geofizičkim metodama, što u procesu eksploatacije belog mermera omogućuje utvrđivanja kvaliteta bloka stenskog materijala u samom ležištu. Zoniranjem ležišta po kvalitetu blokova značajno bi smanjilo troškove eksploatacije kvalitetnih blokova belog mermera.

4. Zaključak

Primena ispitivanja brzine prostiranja longitudinalnih (V_p) i transverzalnih (V_s) elastičnih talasa predstavlja značajan deo procedure u svim vidovima istraživanja stena za potrebe rudarstva i građevinarstva. Činjenica da je to način ispitivanja bez razaranja stenskog materijala je posebno značajna. Potrebno je istaći i da su ispitivanja čvrstoće na istezanje indirektnom metodom, brazilskim testom, manje zahtevna od ispitivanja direktnom metodom i samim tim omogućavaju ispitivanja na većem broju probnih tela. Cilj ovog rada da je da ukaže na mogućnost korelacije dinamičkih parametara (V_p i V_s) i parametara čvrstoće. Ovako visok stepen korelacije između ispitivanih parametara omogućava da se sa velikom verovatnoćom predvidi vrednost drugog ispitivanog parametra. Sa dijagrama

korelacije uočava se da promena jednog parametra utiče na promenu drugog u velikom stepenu. Ovakva ispitivanja omogućavaju visok stepen pouzdanosti parametara koji se koriste za projektovanje u rudarstvu, a samim tim i bezbedniju i ekonomski isplativu eksploataciju.

Literatura

- [1] Brković T., Radovanović Z., Pavlović., 1980., Tumač za list Kragujevac L 34-138, Savezni geološki zavod, Beograd
- [2] Lamprini Dimitraki, Basile Charstaras, Vassilios Marions, Maria Chatzangelou, Primena metoda merenja brzine prostiranja ultrazvučnih talasa za određivanje mehaničkih svojstava krečnjaka, Zbornik radova XV simpozijuma iz inženjerske geologije i geotehnike, 22-23.09.2016., pp. 340-350, ISBN 978-86-89337-02-0 Beograd
- [3] Jugoslovenski standardi JUS B.B7.126, Mehanika stena Ispitivanje fizičkih i mehaničkih svojstava, Metoda određivanja jednoosne pritisne čvrstoće, Određivanje zatezne čvrstoće indirektnom metodom, 1988.
- [4] Jugoslovenski standardi JUS B.B7.127, Mehanika stena Ispitivanje fizičkih i mehaničkih svojstava, Određivanje zatezne čvrstoće indirektnom metodom, 1989., p.p. 169-170
- [5] Majstorović J., Cvetković M., 2004., Neki rezultati ispitivanja stena kao radne sredine ultrazvukom, ECRBM'04 (Evropska konferencija o prirodnim građevinskim materijalima i uglju: Nove perspektive), Sarajevo
- [6] Singh T. N. et al., Efficient Multi-site Statistical Downscaling Model for Climate Change. Thesis (PhD), Motial Nehru National Institute OF Technology Allahabad Prayagraj, 2018.
- [7] Nangolo C. and Musingwini C., Empirical correlation of mineral commodity prices with exchange - traded mining stock prices, The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 111, pp. 459-468, 2011.



UTICAJ GEOLOŠKE NEIZVESNOSTI U RAZVOJU RUDARSKIH PROJEKATA

IMPACT OF GEOLOGICAL UNCERTAINTY IN THE DEVELOPMENT OF MINING PROJECTS

Marković P.¹, Stevanović D.², Banković M.³

Apstrakt

Rudarstvo je industrija koja se nosi sa različitim vrstama neizvesnosti i rizika zbog svoje prirode i specifičnosti. Neizvesnost u rudarstvu može poticati iz različitih izvora i uticati na različite aspekte rudarskih projekata. Kao jedan od dominantnih faktora, ističe se geološka neizvesnost. Geološka neizvesnost igra ključnu ulogu u rudarstvu i može značajno uticati na procenu resursa i rezervi, planiranje eksploatacije, ekonomsku isplativost i upravljanje rizicima. Ova neizvesnost se ne može eliminisati, ali se uz primenu adekvatnih standarda i zakona može umanjiti. Kroz ovaj rad prikazane su razlike u regionalnoj i stranoj praksi sa aspekta kategorizacije resursa i rezervi, kao i uticaj stepena pouzdanosti geoloških karakteristika ležišta na rezultate optimizacije granice kopa. Analiza je sprovedena na ležištu rude gvožđa, i bazira se na pretpostavljenoj neizvesnosti koja se može javiti u proceni sadržaja korisne komponente u rudi (sadržaja gvožđa u rudi). Rezultati su generisani u programskom paketu Whittle.

Ključne reči: *geološka neizvesnost, rizik, optimizacija kopa, planiranje*

Abstract

Mining is an industry that deals with different types of risks due to its nature and specificity. Uncertainty in mining can come from different sources and affect different aspects of mining projects. Geological uncertainty stands out as one of the dominant factors. Geological uncertainty plays a key role in mining and can significantly affect resource and reserve estimation, exploitation planning, economic profitability and risk management. This uncertainty cannot be eliminated, but with the application of adequate standards and laws, it can be reduced. Through this paper, the differences in regional and foreign practice from the aspect of categorization of resources and reserves, as well as the influence of the degree of reliability of the geological characteristics of the deposit on the results of the pit optimization, are shown. The analysis was carried out on an iron ore deposit and is based on the assumed uncertainty that may occur in the assessment of the content of the useful component in the ore (grade of iron in the ore). The results were generated in the Whittle software package.

Keywords: *geological uncertainty, risk, pit optimization, planning*

1. Uvod

Savremeno rudarstvo izloženo je stalnom trendu pogoršanja uslova poslovanja. Mogućnost ostvarenja ekonomskih i drugih ciljeva rudarskog projekta kompromitovana je stalnim pogoršanjem kvaliteta ležišta na kojima se vrši eksploatacija, kao i značajnoj dozi neizvesnosti povezane sa geološkim, ekonomskim i tehničkim parametrima proizvodnje (Stevanović D., 2015).

¹ Asistent Marković Petar, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

² Prof. dr Stevanović Dejan, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

³ Doc. dr Banković Mirjana, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Neizvesnost je sastavni deo rudarskih projekata, odnosno duboko je inkorporirana u samu prirodu praktično svakog elementa rudarske prakse. Imajući ovo u vidu, Royer (Royer PS., 2000) napominje da jedan od prvih koraka u procesu planiranja, treba da bude identifikacija i procena uticaja neizvesnosti. Samo na ovakav način može se pravilno upravljati rizicima poslovanja. Autor dalje navodi da je upravljanje rizicima kritična etapa projekta i najčešći razlog negativnog ishoda projekta leži u činjenici da su rizici bili zanemareni ili je njihov uticaj bio potcenjen. Takođe zanemarivanje neizvesne prirode elemenata u projektu za posledicu mogu imati i gubitak potencijalnih prilika za ostvarenje dodatnog profita ili ostalih benefita poslovanja (Stevanović D., 2015) (Snowden D. V., Glacken I. and Noppe M., 2002).

Neizvesnost u rudarstvu (koja je direktno povezana sa rizikom) može poticati iz različitih izvora i uticati na različite aspekte rudarskih projekata, od kojih su najznačajniji:

- *Geološka neizvesnost*: Neizvesnost u vezi sa stvarnom geološkom strukturom i karakteristikama ležišta.
- *Cenovna neizvesnost*: Cene mineralni sirovina često osciliraju na tržištu. Neizvesnost u vezi sa budućim cenama može značajno uticati na isplativost rudarskog projekta
- *Tehnička neizvesnost*: Tehnički izazovi kao što su izbor tehnologije, metoda eksploatacije, transporta i procesa prerade rude, takođe mogu doprineti neizvesnosti.
- *Ekološka i regulatorna neizvesnost*: Rudarski projekti su često podložni strogim ekološkim i regulatornim zahtevima. Promene u zakonodavstvu i regulatornom okruženju mogu dodatno komplikovati projekat.
- *Finansijska neizvesnost*: Osiguravanje finansijskih sredstava za rudarski projekt i upravljanje troškovima su ključni faktori. Neizvesnost u vezi sa finansijskim tržištima i dostupnošću kapitala može otežati razvoj projekta.
- *Vremenska neizvesnost*: Rudarski projekti često zahtevaju značajno vreme za razvoj i eksploataciju, a kašnjenja u izvođenju mogu uticati na planiranje i isplativost.
- *Socialno-ekonomska neizvesnost*: Lokalni faktori, kao što su odnosi sa zajednicom, politička stabilnost i socijalni faktori, takođe mogu doprineti neizvesnosti u rudarskim projektima.

Svi navedeni faktori mogu imati veći ili manji uticaj, ali ono što suštinski razdvaja rudarske projekte od projekata u ostalim poslovnim i industrijskim delatnostima, jeste postojanje geološke komponente i neizvesnosti koja je sa njom povezana.

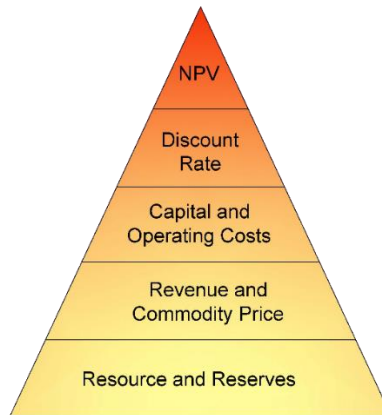
Geološka neizvesnost ima veliki uticaj tokom celokupno životnog veka rudnika, ali je od posebnog značaja za fazu projektovanja i planiranja (pre svega na proces optimizacije granice kopa i planiranje razvoja rudarskih radova). Kroz ovu fazu izražuje se odgovarajuća investiciona i projektna dokumentacija, na osnovu koje se donose odluke o daljem investiranju i implementaciji, te greške u ovoj fazi mogu prouzrokovati velike gubitke i projekat učiniti neuspešnim.

2. Geološka neizvesnost

Procena resursa na početku i eventualna procena rezervi, osnovna je podloga za finansijsku analizu rudarskog projekta. Za svaku procenu resursa i rezervi se može reći da je netačna, pri čemu su određene procene manje netačne od drugih (Rozman, L.I., 1998). S obzirom na konstataciju, može se zaključiti da je ekonomska analiza projekta u određenoj meri svakako netačna (Kolonja B., Stevanović D., Pešić-Georgiadis M., Banković M., Kolonja Lj., 2015). Uprkos ovoj činjenici, geološka neizvesnost koja se javlja u proceni resursa i rezervi se obično potpuno ignoriše u izradi rudarskih projekata.

Za razliku od drugih inputa koji se implementiraju u ekonomsku procenu projekta i koji imaju samo kvantitativne vrednosti, geološke komponente (procenjeni resursi i rezerve) imaju i kvantitativne i kvalitativne komponente, što ih čini posebno pogodnim za stvaranje nesigurnosti (Morley C., Snowden V., and Day D., 1999). Čak i u slučaju kada je procena rezervi i resursa, potpuno korektno izvršena primenom klasičnih determinističkih metoda, dobijeni rezultati se razlikuju u opsegu od $\pm 15\%$ rezultata

gde se uzima u obzir geološka nesigurnost. Ovu tvrdnju autori (Morley C., Snowden V., and Day D., 1999) potkrepljuju faznim dijagramom u analizi novčanih tokova (Slika 1). Dijagram na Slici 1 prikazuje piramidalnu strukturu za neto sadašnju vrednost (NPV) projekta. U osnovi piramide (Slika 1) je procena resursa i rezervi, a greške napravljene u ovoj (najnižoj fazi) prenose se na sve više nivoa isplativosti projekta. Struktura naglašava važnost tačne procene resursa i rezervi za ceo projekat. Imajući ovo u vidu, posledice potcenjivanja geološke neizvesnosti mogu imati veliki uticaj na ekonomsku procenu vrednosti projekta (Kolonja B., Stevanović D., Pešić-Georgiadis M., Banković M., Kolonja Lj., 2015) (Morley C., Snowden V., and Day D., 1999).



Slika 5. Faze u analizi novčanog toka projekta (Morley C., Snowden V., and Day D., 1999)

Procena mineralnih resursa/rezervi sprovodi se kroz sledeće četiri faze (Milensko Savić, Mile Bugarin, 2019):

- Prikupljanje, obrada i kontrola podataka,
- Geološka interpretaciju i modeliranje,
- Analiza i procena sadržaja, i
- Procena i kontrola rizika.

Procena resursa treba da bude kompletirana sa procenom rizika. Svi numerički modeli imaju višestruke značajne izvore rizika, vezane za podatke, geološku interpretaciju i modeliranje (procenu) sadržaja. Ocena rizika, vezana za promenljive koje čine bazu procene resursa je sastavni deo dobre prakse (Milensko Savić, Mile Bugarin, 2019).

3. Kategorizacija i klasifikacija resursa i rezervi

Mineralne sirovine se po stepenu poznavanja dele na dve različite kategorije, resurse i rezerve, od kojih se svaka deli na klase pouzdanosti. Resursi se dele na klase po stepenu pouzdanosti (proučenosti i poznavanju) na osnovu: fizičkih, hemijskih, statističkih, tehničkih i dr. parametara. Rezerve se takođe dele na klase po stepenu pouzdanosti, pri čemu se pored faktora koji opredeljuju klasu resursa uzimaju u obzir i tehno-ekonomski parametri vezani za utvrđivanje isplativosti eksploatacije, odnosno za analizu modifikujućih faktora (Milensko Savić, Mile Bugarin, 2019) (Edwards A.C., 2001).

Kriterijumi za klasifikaciju resursa su standardizovani, uzimajući u obzir: način bušenja, ispravnost procedure uzorkovanja i analize proba, rastojanje između istražnih bušotina i drugih istražnih radova, geološki kontinuitet ležišta, kontinuitet sadržaja, metodu procene i veličinu blokova u blok modelu, mogući način eksploatacije i period eksploatacije (Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code), 2012).

Klasifikacija rezervi mora da uzme u obzir klasifikaciju resursa po pouzdanosti, i rezerve dalje klasifikovati na osnovu ocene mogućnosti eksploatacije, razmatrajući sledeće faktore: granični sadržaj, procenjeni parametri iskorišćenja i gubitaka za rudarsku i metaluršku preradu, troškovi proizvodnje i faktori prihoda, tržišni uslovi i ostali faktori rizika po uspešnost eksploatacije kao što su ekološki,

socijalni, politički, i dr (Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code), 2012).

Klasifikacija resursa se po savremenim standardima sprovodi u dva koraka (Milensko Savić, Mile Bugarin, 2019) (Edwards A.C., 2001):

- *Ocena pouzdanosti procenjenih resursa*, kada se analiziraju raspoloživi podaci i njihova pouzdanost, i na bazi te ocene definišu delovi ležišta u kojima su ispunjeni uslovi za postojanje određenih klasa, i
- *Klasifikacija blokova u resurs modelu*, pri čemu se osim pouzdanosti uzima u obzir i varijabilnost sadržaja u ležištu.

Proces klasifikacije je očigledno multi-kriterijumski, u nekim delovima podložan subjektivnoj proceni kompetentnih lica.

Ocena pouzdanosti procenjenih resursa zasniva se na oceni pouzdanosti raspoloživih podataka koji čine osnovu procene resursa. Za ocenu pouzdanosti razmatraju se svi raspoloživi podaci, za ležište u celini ili po pojedinim njegovim delovima, i to su (Milensko Savić, Mile Bugarin, 2019) (Edwards A.C., 2001):

- Gustina istražnih radova (istražnih bušotina i dr.),
- Procenat iskorišćenja jezgra iz bušotina,
- Litološka interpretacija na osnovu istražnih radova,
- Kontrola kvaliteta pripreme podataka i laboratorijskih analiza,
- Metodologija modeliranja ležišta i procene sadržaja i
- Ocena mogućnosti i načina eksploatacije (srednji i granični sadržaji, i dr).

U svetskoj praksi razvijeno je nekoliko sistema za klasifikaciju i kategorizaciju resursa, od kojih su najznačajniji (Emery X., Ortiz J., Rodriguez J., 2006):

- JORC Code (Australian Joint Ore Reserves Committee)
- CIM Guidelines (CIM, 2000) and National Instrument 43-101 (CSA, 2001)
- SME Guide (Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, USA)
- PERC Code (Pan-European Reserves & Resources Reporting Committee) i
- UNFC (United Nations Framework Classification for Resources, 2009/2019)

Klasifikaciju mineralnih resursa i rezervi se u domaćoj praksi sprovodi se na osnovu *Pravilnika o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi čvrstih mineralnih sirovina i vođenju evidencije o njima (Službeni list SFRJ), broj 53 od 19. oktobra 1979*). Ovim pravilnikom predviđena je nešto drugačija klasifikacija rezervi u odnosu na svetske standardne koji su prethodno navedeni, i ima određene nedostatke.

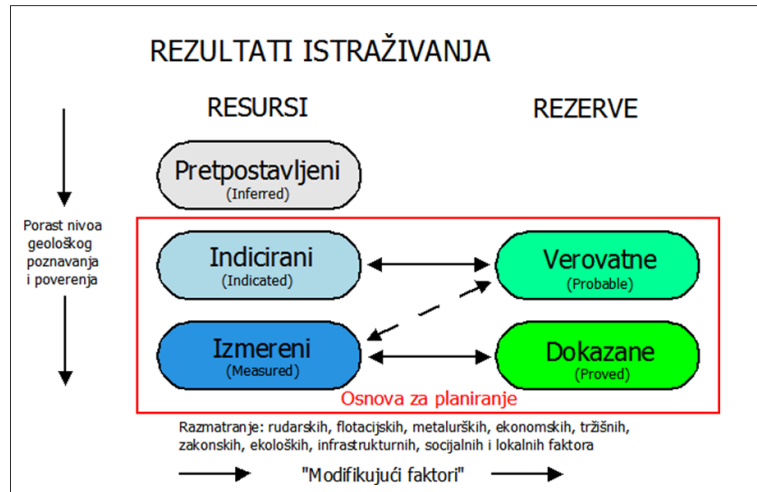
3.1. PERC Code (Pan-European Reserves & Resources Reporting Committee)

PERC Code predstavlja Evropski standard za izveštavanje o rezultatima geoloških istraživanja mineralnih resursa i rezervi. Razvijen je od strane Panevropskog komiteta za izveštavanje o resursima i rezervama, a izdanje iz 2021. godine je trenutno važeće (PERC Reporting Standard, 2021).

Zakon o rudarstvu i geološkim istaživanjima (Sl. glasnik RS, br. 101/2015, 95/2018 - dr. zakon i 40/2021), predviđa klasifikaciju i kategorizaciju upravo po vežećoj verziji ovog standarda, koji je veoma sličan u odnosu na ostale internacionalne standarde (JORC Code, NI 43-101, SME Guide). Svi ovi standardni imaju određena manje odstupanja, ali im je klasifikacija i kategorizacija resursa i rezervi jedinstavna.

Ovi standardi predviđaju da se prema stepenu geološke istraženosti, čvrsti mineralni resursi dele (klasifikuju) na: pretpostavljene, indicirane i izmerene. Da bi se mineralni resursi preveli u rezerve,

potrebno je da su provedene odgovarajuće procene i studije kojima je dokazana ekonomska isplativost eksploatacije, uzimajući u razmatranje sve *modifikujuće faktore* sa realistično pretpostavljenim rudarskim, metalurškim, ekonomskim, marketinškim (tržišnim), pravnim, ekološkim, društvenim i lokalnim (državnim) faktorima. Ove procene se odnose na vreme podnošenja izveštaja, u vreme kada je eksploatacija ekonomski isplativa. Rudne rezerve su klasifikovane u klase verovatne rudne rezerve i dokazane rudne rezerve (Slika 2) (Milensko Savić, Mile Bugarin, 2019) (PERC Reporting Standard, 2021).



Slika 6. Šema klasifikacije mineralnih resursa i rezervi (Milensko Savić, Mile Bugarin, 2019) (PERC Reporting Standard, 2021)

3.2. Pravilnik o klasifikaciji i kategorizaciji (SFRJ, 1979. god.)

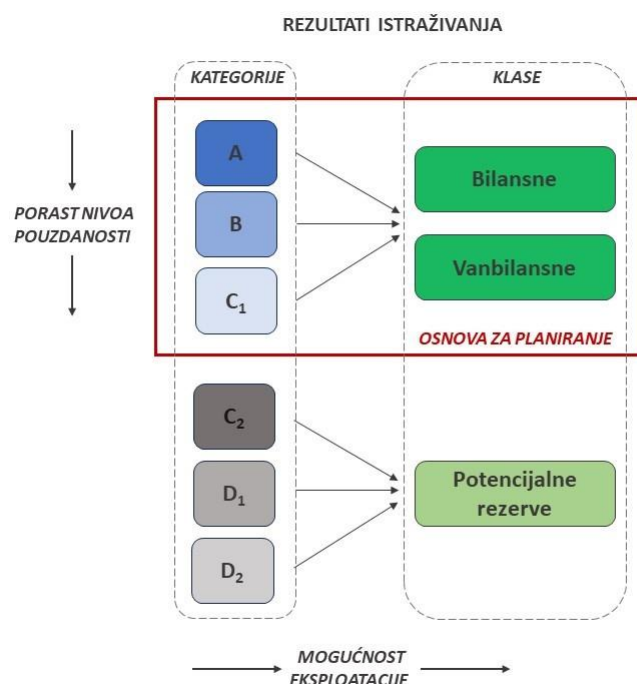
Tokom 2015. godine u Srbiji je usvojen *Zakon o rudarstvu i geološkim istraživanjima*, Službeni glasnik RS br. 101/2015, kojim se do tada važeći sistem za izveštavanje o istraživanjima mineralnih resursa i njihova klasifikacija (Pravilnik o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi čvrstih mineralnih sirovina i vođenju evidencije o njima (Službeni list SFRJ, broj 53 od 19. oktobra 1979.)), menja i usklađuje sa internacionalnim standardima i praksom. Međutim, veliki broj ležišta, aktivnih kopova i rudnika u Srbiji, poseduje upravo geološki elaborat u kome je klasifikacija i kategorizacija resursa i rezervi urađena po pravilniku iz 1979. godine.

Prema stepenu istraženosti i stepenu poznavanja kvaliteta sirovina, utvrđene mase rezervi čvrstih mineralnih sirovina razvrstavaju se, po pravilu, u kategorije A, B, C₁, C₂, D₁ i D₂ (Pravilnika o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi čvrstih mineralnih sirovina i vođenju evidencije o njima). Ova regulativa nije na isti način poznavala pojmove mineralni resursi i rezervi (iz svetskih standarda).

Rezerve čvrstih mineralnih sirovina kategorija A, B, C₁, zavisno od mogućnosti njihove eksploatacije, razvrstavaju se u bilansne i vanbilansne rezerve. Rezerve čvrstih mineralnih sirovina kategorija C₂, D₁ i D₂, smatraju se kao potencijalne i ne razvrstavaju se u klase (bilansne i vanbilansne) (Pravilnika o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi čvrstih mineralnih sirovina i vođenju evidencije o njima). Klasifikacija i kategorizacija rezervi prema pravilniku iz 1979. godine prikazana je na Slici 3.

Zakoni o rudarstvu i geološkim istraživanjima Srbije iz 2011. i 2015., i danas važeći *Zakon o rudarstvu i geološkim istraživanjima* iz 2021. godine, za razliku od prethodnih, prepoznaju pojmove i klase mineralnih resursa i rezervi, kompetentna lica i dr. (po uzoru na zapadne sisteme izveštavanja: JORC Code, NI 43-101, PERC Code i dr.), [11 (CIM Definition Standards For Mineral Resources and Mineral Reserves, 2014) (Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code), 2012)]. Na žalost, predmetni *Zakon* ove pojmove nije korelisao sa pojmovima ukupnih (geoloških), bilansnih i vanbilansnih rezervi iz ranije regulative i Pravilnika o kategorizaciji i klasifikaciji iz 1979. To je ostavljeno novom Pravilniku, koji treba da se izradi po uzoru na Pan-evropski standard izveštavanja (PERC Code) i potom usvoji. Posledica prethodnog je, da danas postoji evidentan jaz u korišćenju i primeni navedenih pojmova što negativno utiče na načine

izveštavanja o rezultatima geoloških istraživanja (Vukaš R., 2018).



Slika 7. Šema klasifikacije mineralnih resursa i rezervi

4. Studija slučaja - ležište rude gvožđa Buvač

Ležište rude gvožđa Omarska nalazi se u Omarsko-prijedorskom polju, oko 25 km jugoistočno od grada Prijedora, u neposrednoj blizini naselja Omarska. Ležište se sastoji od dva velika odvojena rudna tela: rudnog tela Buvač (aktivan kop) i rudnog tela Jezero (završena eksploatacija).

Rudno telo Buvač zauzima prostor dužine oko 1,600 m i širine oko 1,300 m. Srednja debljina rudnog tela je oko 20 m. Generalni pravac pružanja je jugozapad-severoistok sa tonjenjem prema severoistoku pod uglom od oko 10 stepeni. Na jugozapadnoj strani izbijaja skoro na površinu, dok na severoistočnoj strani tone do dubine od oko 240 m.

Rudno telo se sastoji od nekoliko velikih nepravilnih asimetričnih sočiva koje prati veći broj manjih nepravilnih sočiva. Sočiva su u pojedinim delovima jako zadebljana, i do 70 m debljine, a u drugim stanjena (pinch-and-swell oblik).

Istraživanje ležišta rude gvožđa Omarska - lokalitet Buvač, izvršeno je prospekcijsko-istražnim procesom sa svim etapama i stadijumima, od prethodne prospekcije do detaljnog istraživanja. Izvođenje istražnih bušotina sa jezgrovanjem je bilo organizovano u tri istražne kampanje, pri čemu je rastojanje između istražnih bušotina iznosilo za:

- regionalna istraživanja (400*400 m);
- pred detaljna istraživanja (100*100 m);
- detaljna istraživanja (70.5*70.5 m i 50*50 m - na nekim delovima rudnog tela).

Kategorizacija rezervi izvršena je prema *Pravilniku o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi čvrstih mineralnih sirovina i vođenju evidencije o njima* (Sl. glasnik Republike Srpske, 18/2023). Ovaj pravilnik se umnogome podudara sa Jugoslovenskim pravilnikom iz 1979. godine, odnsono prepoznaje iste kategorije i klase rezervi mineralnih sirovina.

U A kategoriju su svrstani samo delovi rudnog tela sa postojanim prostiranjem, oblikom i debljinom i bez značajne varijacije kvalitativnih svojstava, a koji su okontureni na osnovu istražnih bušotina u

kvadratnoj mreži sa udaljenošću bušotina do 50 m. Ekstrapolacija A kategorije nije dozvoljena.

Najveći de geoloških rezervi limonitne (62%) i karbonatne rude (48%) je svrstan u B kategoriju. U B kategoriju su uvršteni delovi rudnog tijela koji su okontureni na osnovu istražnih bušotina u kvadratnoj mreži sa udaljenošću bušotina do 75 m (izvedena istražna mreža je ~ 70.5*70.5 m) i po dijagonali ove mreže.

Na B kategoriju, do isklinjavanja rudnog tijela, nastavlja se C1 kategorija geoloških rezervi. Ekstrapolacija C1 kategorije zadovoljava propisane uslove i znatno je manja od dozvoljene (75 m za drugu grupu ležišta). Kao što je već navedeno, u ovu kategoriju su svrstana i manja rudna sočiva (zone) zbog male debljine, jalovinskih proslojaka, nepostojanosti prostiranja i varijacije kvaliteta, iako udaljenost istražnih radova zadovoljava uslove za B kategoriju.

Struktura bilansnih rezervi u konturi kopa po kategorijama je sledeća:

Limonit (Fe ≥ 32%) Karbonatna ruda gvožđa (Fe ≥ 10%)

A kategorija 43% A kategorija 22%

B kategorija 46% B katagorija 54%

C₁ kategorija 11% C₁ kategorija 24%

Procenjene eksploatacione rezerve ležišta Buvač, na dan 03.10.2022. godine prikazani su u Tabeli 1 (Elaborat, ArcelorMittal, 2023).

Tabela 1. Eksploatacione rezerve po kategorijama na dan 03.10.2022.

	<i>Bilansne rezerve (t)</i>	<i>Eksp. Gubitak (%)</i>	<i>Razblaženje (%)</i>	<i>Eksploatacione rezerve (t)</i>	<i>Fe (&)</i>
Limonit					
Kategorija					
A	4,686,072	1.5	1.0	4,662,642	48.92
B	4,944,732	1.5	1.0	4,920,008	43.95
C₁	1,170,143	1.5	1.0	1,164,292	43.28
Ukupno	10,800,947	1.5	1.0	10,746,942	46.03
Karbonatna ruda					
Kategorija					
A	399,148	1.5	1.0	397,152	38.98
B	970,716	1.5	1.0	965,862	32.07
C₁	417,703	1.5	1.0	415,614	30.94
Ukupno	1,787,567	1.5	1.0	1,778,629	33.35
Ukupno	12,588,514	1.5	1.0	12,525,571	44.23

5. Optimizacija kopa na bazi neizvesnosti sadržaja metala

Kao što je prethodno prikazano, ležište Buvač raspolaže sa 12,588,514 t bilansnih rezervi rude gvođa, koje su podeljene u tri kategorije prema stepenu pouzdanosti geoloških istaživanja. Prosečan sadržaj rude limonita u ovim rezervama iznosi 46.03% Fe, dok je prosečni sadržaj karbonatne rude gvožđa 44.23% Fe.

Proračunavanje rezervi čvrstih mineralnih sirovina vrši se primenom optimalnih metoda proračuna rezervi koje obezbeđuju dovoljnu tačnost i racionalnost proračuna, pri čemu se posebno mora voditi računa o obliku i razmerama ležišta, odnosno rudnog tjela, karakteru promjenljivosti kvantitativnih i kvalitativnih pokazatelja, kao i o tome kako je rudno telo obuhvaćeno istražnim radovima (raspored, gustina, vrsta istražnih radova).

Prema članu 24, *Pravilnika o klasifikaciji i kategorizaciji mineralnih sirovina* (Službeni glasnik Republike Srpske, broj 18., 2023. godina), najveća dozvoljena greška pri utvrđivanju rezervi kategorija A, B i C₁ i odgovarajuća verovatnoća utvrđivanja rezervi data je u Tabeli 2 (Pravilnika o klasifikaciji i

kategorizaciji mineralnih sirovina (Službeni glasnik Republike Srpske, broj 18., 2023. godina), 2023).

Tabela 2. Dozvoljena greška pri utvrđivanju rezervi i verovatnoća utvrđivanja rezervi

Kategorija	Dozvoljena greška %	Verovatnoća %
A	±15	85
B	±30	70
C ₁	±50	50

Kategorije rezervi su na ovaj način poređane prema pouzdanosti, pri čemu udeo bilansnih rezervi kategorija A i B, mora biti najmanje 60%, a od toga rezerve A kategorije ne mogu biti manje od 10% (Pravilnika o klasifikaciji i kategorizaciji mineralnih sirovina (Službeni glasnik Republike Srpske, broj 18., 2023. godina), 2023).

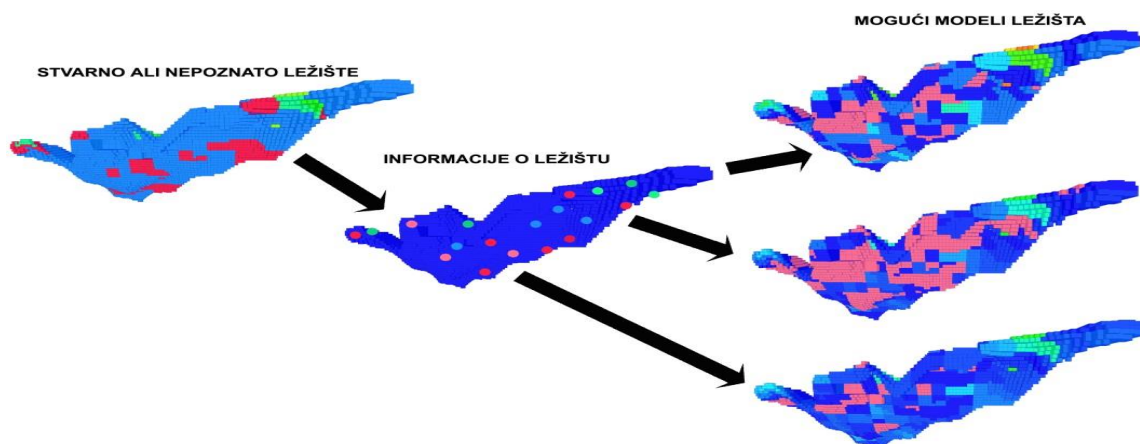
Sagledavanjem Tabele 2, jasno se može zaključiti da za svaku kategoriju rezervi postoji određena neizvesnost koja se odnosi na tačnost procene geoloških karakteristika ležišta, od kojih su najvažnije: prostorna interpretacija ležišta, zapreminska masa i sadržaj korisne komponente u rudi (u ovom slučaju sadržaj gvožđa). Za svaku od ovih karakteristika/parametara postoji mogućnost greške od 15-50%, u zavisnosti od kategorije utvrđenih rezervi.

U cilju plastičnog prikaza sa kojom dozom neizvesnosti se susreću rudarski projekti, u nastavku rada analizirana je potencijalna greška u proceni sadržaja gvožđa. Analiza je sprovedena u granicama dozvoljenih grešaka po kategorijama rezervi (Tabela 2), kroz proces optimizacije granice kopa. Konkretno, kroz proces optimizacije analizirana su tri slučaja:

- Originalna procena sadržaja u rudnim blokovima (procenjeni sadržaji po kategorijama koji su prikazani u Tabeli 1 - referentne vrednosti nakon izrade blok modela ležišta).
- Negativna greška u proceni sadržaja (sadržaj u rudnim blokovima je umanjen za 15%, 30% i 50% u zavisnosti od toga da li se radi o A, B ili C₁ kategoriji rezervi).
- Pozitivna greška u proceni sadržaja (sadržaj u rudnim blokovima je povećan za 15%, 30% i 50% u zavisnosti od toga da li se radi o A, B ili C₁ kategoriji rezervi).

Na ovaj način, analizom neizvesnosti procene sadržaja metala u rudi, moguće je utvrditi u kom opsegu će se kretati NPV rudarskog projekta, pod pretpostavkom da je geološka interperetacija ležišta adekvatna i da je zapreminska masa u blok modelu utvrđena sa velikom tačnošću.

Raspoloživost višestrukih jednako verovatnih modela ležišta, omogućuje rudarskim inženjerima (projektantima) da povežu osetljivost granica kopa i dugoročnog planiranja sa geološkom nesigurnošću (Slika 4). Ovakav pristup su razrađivali mnogi autori u poslednjih 20 godina (Dimitrakopoulos R., 2018) (Armstrong M. et al., 2021) (R. Goodfellow, R. Dimitrakopoulos, 2013) (G. Lagos et al., 2011) (Goodfellow R., Dimitrakopoulos R., 2016) (Benndorf, J., Dimitrakopoulos, R., 2013).



Slika 8. Neizvesnost u proceni resursa (Stevanović D., 2015)

Prilikom analize, u sva tri slučaja, zadržani su isti tehno-ekonomski parametri optimizacije granice kopa

(uglovi kosina, troškovi otkopavanja, rablaženje, iskorišćenje, troškovi prerade, prodajna cena koncentrata, godišnji kapacitet, diskontna stopa).

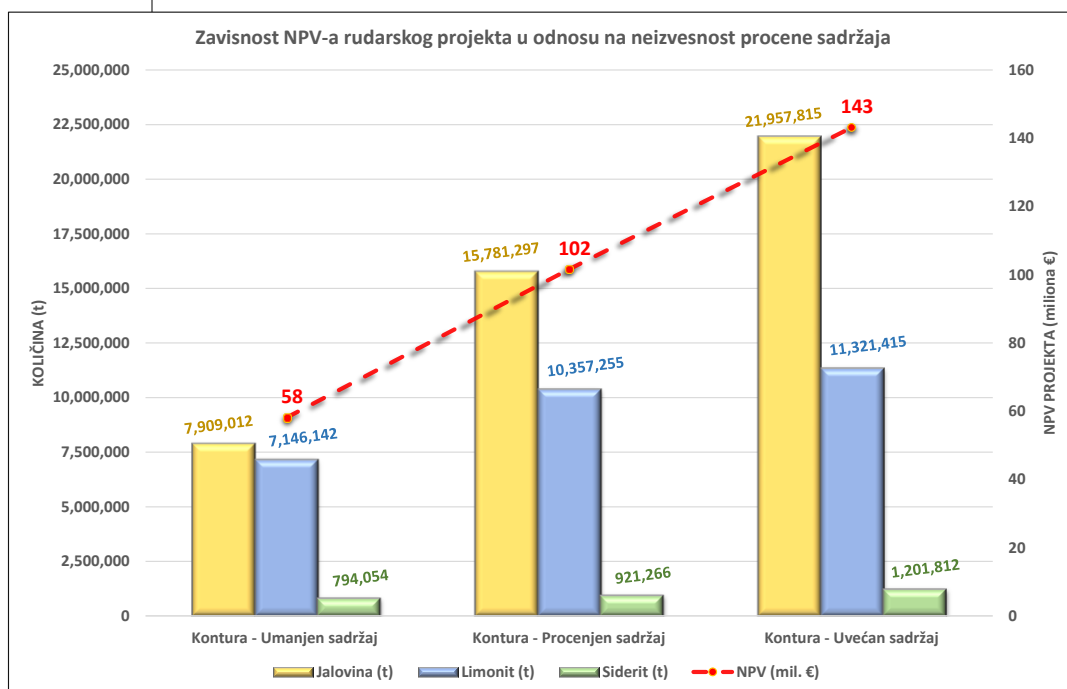
6. Rezultati i diskusija

Proces optimizacije granice kopa sproveden je na bazi tehno-ekonomskih parametara za tri karakteristična slučaja, korišćenjem originalno razvijenog modela ležišta i dva modela sa korigovanim sadržajima metala, u granicama dozvoljenih grešaka za svaku od kategorija rezervi.

Rezultati optimizacije prikazani su tabelarno u Tabeli 3 i grafički na Slici 5. Prikazani podaci se odnose na konture kopova sa *Faktorom prihoda=1 (Revenue Factor-RF)*. Ovo su konture koje generišu najveću diskontovanu vrednost NPV.

Tabela 4. Rezultati optimizacije sa generisanim NPV za analizirane slučajeve

<i>Analiziran slučaj optimalne konture</i>	<i>Iskopina (t)</i>	<i>Jalovina (t)</i>	<i>Ruda (t)</i>	<i>Fe %</i>	<i>Limoni (t)</i>	<i>Fe %</i>	<i>Siderit (t)</i>	<i>Fe %</i>	<i>NPV (mil. €)</i>
<i>Umanjen sadržaj</i>	15,849,208	7,909,012	7,940,196	39.4	7,146,142	39.3	794,054	34.1	58
<i>Procenjen sadržaj</i>	27,059,818	15,781,297	11,278,521	45.1	10,357,255	46.6	921,266	33.1	102
<i>Uvećan sadržaj</i>	34,481,042	21,957,815	12,523,227	54.1	11,321,415	56.7	1,201,812	34.3	143



Slika 9. Grafički prikaz rezultata optimizacije za analizirane slučajeve

Analizom rezultata koji su generisani za tri karakteristična slučaja, može se jasno zaključiti da neizvesnost u pogledu tačnosti procene sadržaja metala u rudi, ima uzuzetno veliki uticaj na ukupno generisani NPV (profit) rudarskog projekta.

U poređenju sa referentnom konturom (kontura dobijena na bazi originalnog modela), kontura sa umanjenim sadržajem metala (u granicama dozvoljene greške prema pravilniku) prikazuje rezultate koji bi bili generisani da se u određenoj meri procenio stvaran sadržaj u ležištu. Ovaka kontura imala bi značajne gubitke u količinama rude u odnosu na referentnu konturu, što je posledica nemogućnosti iskorišćenja određenog dela ležišta na ekonomičan način (deo rezervi je sa sadržajem ispod graničnog

cut off-a). Na ovaj način, NPV rudarskog projekta značajno opada, koji u konkretnom slučaju iznosi -44%.

Sa druge strane, kontura sa uvećanim sadržajem metala (u granicama dozvoljene greške prema pravilniku), prikazuje rezultate koji bi bili generisani da sa u određenoj meri podcenio stvaran sadržaj u ležištu. Kroz ovu konturu obuhvatila bi se nešto veće količine rude, koje nisu značajne u odnosu na referentnu konturu, ali bi sadržaj metala u rudi bio značajno veći. Na ovaj način, kroz proces prerade dobio bi se koncentrat sa znatno višim sadržajem, a kانسije i znatno veće količine čistog metala. S obzirom da je jedan od ulaznih paramtera optimizacije upravo prodajna cena sirovine izražena u €/t koncentrata, tj. €/t metala, ova kontura generisaće NPV koji je veći za +40%.

Rezultati ukazuju da greške u proceni sadržaja, koje su u dozvoljenim granicama, mogu uticati na smanjenje ili povećanje NPV za oko 40-45% u analiziranom slučaju. Ovo praktično znači da će se NPV kretati u rasponu od 58-143 miliona eura, što ukazuje na veliku neizvesnot sa kojom se susreće rudarski projekat.

7. Zaključak

Konvencionalni pristup planiranju podrazumeva planiranje na bazi jedne *najbolje* geološke interpretacije rudnog tela. Ta jedina interpretacija se nadalje tretira kao nepromenljiva činjenica. Takav pristup ne ukazuje da je to samo procena (makar ocenjena i kao najbolja), već i da interpretacija može biti pogrešna i da je moguća pojava različitih rezultata. Geolozi znaju da je njihovo poznavanje i tumačenje geoloških procesa u stvaranju ležišta koje leži u osnovi interpretacije, nepotpuno i neprecizno. Oni takođe znaju da su različita tumačenja moguća i validna ako mogu da objasne raspoložive podatke, i da su neka od njih verovatnija od drugih (Dimitrakopoulos R., 2018).

Rudarske odluke su u svakom slučaju bazirane na procenjenim vrednostima, međutim, rezultati otkopavanja su u svakom slučaju određeni stvarnim vrednostima.

Tradicionalno određivanje prostorne distribucije sadržaja u modelu nekog ležišta bazira se na geostatističkoj proceni. Glavni nedostatak tehnika procene, bilo ona geostatistička ili ne, da one ne mogu da reprodukuju lokalnu varijabilnost u prostoru kao izvedenu iz raspoloživih podataka. Ignorisanje tako značajnog izvora nesigurnosti ili rizika, može dovesti do nerealnog proizvodnog plana (Dimitrakopoulos, R., Farrelly, C. T., and Cheuiche Godoy, M., 2002).

Kao što je u radu i prikazano, optimizacija granice kopa i plan otkopavanja razvijeni na bazi jednostruke procene sadržaja u ležišta, su u značajnoj meri neizvesni. Ovo je dokazano kroz proces optimizacije nad geološkim modelima koji su produkt verovatne greške u proceni sadržaja metala (pozitivne i negativne).

Cilj ovog rada je ukaže na nedostatke tekuće procedure planiranja, i da pokaže da plan optimiziran za jedan zadati set polaznih podataka neizbežno postaje neizvestan sa promenom neke od usvojenih pretpostavki. Takav način planiranja vodi ka suboptimalnim rezultatima kako za vlasnike kapitala tako i za državu vlasnika ležišta.

Takođe, trebalo bi da ukaže potencijalnim investitorima, na značaj geoloških istraživanja kojima se povećava pouzdanost. Često vođene logikom smanjenja troškova, rudarske kompanije se trude da minimiziraju troškove geoloških istraživanja i svedu ih na minimalnu zakonski propisanu meru (npr. slučaj kada u ukupnim bilansnim rezervama A kategorija rezervi je minimalna ili ne postoji, a B i pogotovo C₁ kategorije su dominante). U ovakvim slučajevima kompanije treba da su svesne da prihvataju visok stepen geološke neizvesnosti i celokupan projekat izlažu značajnom riziku. Imajući u vidu opadajući kvalitet ležišta i sve složenije uslove eksploatacije (o čemu je na početku bilo reči) ovakva strategija je sve manje isplativa.

Na kraju, treba i napomenuti da je sa pravne strane, a posledično i za rudarsku praksu, posebno bitno, uskladiti važeće zakone sa pravilnicima.

Literatura

- [1] Armstrong M. et al. (2021). Adaptive open-pit mining planning under geological uncertainty. *Resources Policy* , 72.
- [2] (2012). Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code).
- [3] Benndorf, J., Dimitrakopoulos, R. (2013). Stochastic long-term production scheduling of iron ore deposits: Integrating joint multi-element geological uncertainty. *Journal of Mining Science* , 49, 68-81.
- [4] (2014). CIM Definition Standards For Mineral Resources and Mineral Reserves. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum.
- [5] Dimitrakopoulos R. (2018). *Advances in Applied Strategic Mine Planning*. Springer International Publishing.
- [6] Dimitrakopoulos, R., Farrelly, C. T., and Cheuiche Godoy, M. (2002). Moving forward from traditional optimization: Grade uncertainty and risk effects in open-pit design. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy* , 3, 82-88.
- [7] Edwards A.C. (2001). Mineral resource and ore reserve estimation : the AusIMM guide to good practice. Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
- [8] Emery X., Ortiz J., Rodriguez J. (2006). Quantifying Uncertainty in Mineral Resources by Use of Classification Schemes and Conditional Simulations. *Mathematical Geology* , 38 (4), 445-464.
- [9] G. Lagos et al. (2011). Robust planning for an open-pit mining problem under ore-grade uncertainty. *Electronic Notes in Discrete Mathematics* , 31, 15-20.
- [10] Goodfellow R., Dimitrakopoulos R. (2016). Global optimization of open pit mining complexes with uncertainty. *Applied Soft Computing* , 40, 292-304.
- [11] Kolonja B., Stevanović D., Pešić-Georgiadis M., Banković M., Kolonja Lj. (2015). Uncertainty in pit optimization. *Mining and Environmental protection*. Vrdnik, Serbia.
- [12] Milensko Savić, Mile Bugarin. (2019). Modeliranje ležišta sa procenom resursa i planiranjem otkopavanja na površinskim kopovima. Bor, Srbija: Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor.
- [13] Morley C., Snowden V., and Day D. (1999). Financial impact of resource/reserve uncertainty. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy* , 293-302.
- [14] (2021). PERC Reporting Standard. (PERC), The Pan European Reserves and Resources Reporting Committee.
- [15] (2023). Pravilnik o klasifikaciji i kategorizaciji mineralnih sirovina (Službeni glasnik Republike Srpske, broj 18., 2023. godina).
- [16] Pravilnik o klasifikaciji i kategorizaciji rezervi čvrstih mineralnih sirovina i vođenju evidencije o njima. Službeni list SFRJ", broj 53 od 19. oktobra 1979.
- [17] R. Goodfellow, R. Dimitrakopoulos. (2013). Algorithmic integration of geological uncertainty in pushback designs for complex multi-process open pit mines. *Mining Technology* , 122 (2), 67-77.
- [18] Royer PS. (2000). Risk Management: The Undiscovered Dimension of Project Management. *PM Network* , 14, 31-40.
- [19] Rozman, L.I. (1998). Measuring and managing the risk in resource and reserves. *Ore Reserves and Finance Seminar*. AusIMM. Sydney.
- [20] Snowden D. V., Glacken I. and Noppe M. (2002). Dealing With Demands of Technical Variability and Uncertainty along the Mine Value Chain. Paper presented at Value Tracking Symposium. Brisbane, Qld.

[21] Stevanović D. (2015). Optimizacija i planiranje površinskih kopova stohastičkim modelima. Begrade: Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet.

[22] Vukaš R. (2018). Prikaz podataka o kategorijama ukupnih (geoloških) rezervi urana u Srbiji u klasama mineralnih resursa iz aktuelne zakonske regulative. Tehnika - Rudarstvo, geologija i metalurgija, 69 (3), 356-363.

[23] (2021). Zakon o rudarstvu i geološkim istraživanjima. Sl. glasnik RS br. 101/2015, 95/2018 - dr. zakon i 40/2021.



МЕТОДОЛОГИЈА ДЕФИНИСАЊА И РАЗВРСТАВАЊА КРИТИЧНИХ МИНЕРАЛНИХ СИРОВИНА НА ОСНОВУ КВАНТИТАТИВНЕ ПРОЦЕНЕ

(методологија усвојена у САД)

Мијатовић П.¹

Апстракт

У овом раду представљено је објашњење појма Критичне минералне сировине у САД, као и методологија установљена у САД на основу које се утврђује листа Критичних минералних сировина. Прва дефиниција за Критичне минералне сировине постављена је од стране USGS и постала је саставни део Закона о енергетици САД из 2020. године. У ЕУ тренутно је у изради Закон о Критичним минералним сировинама. Методологија која је овде приказана (САД) заснована је на приступу који су развили Nassar и други (2020). Она дефинише ризик снабдевања као спој следећа три фактора: вероватноће поремећаја иностраног снабдевања, зависности америчког производног сектора од иностраних залиха, и рањивости америчког производног сектора на прекид снабдевања. Методологија ЕУ заснива се на два главна критеријума: Економски значај (EI) и Ризик снабдевања (SR). При томе вредности/прагови $EI \geq 2.8$ и $SR \geq 1.0$ остају заокружени на једну децималу. У САД су законом регулисали потребу да се листа Критичних минералних сировина ажурира сваке три године, а слично је и у ЕУ.

Кључне речи: *Критичне минералне сировине, дефиниција, методологија, критеријум, закон*

Abstract

This paper presents an explanation of the term Critical Mineral Resources in the USA, as well as the methodology established in the USA on the basis of which the list of Critical Mineral Resources is determined. The first definition for Critical Mineral Resources was set by the USGS and became an integral part of the US Energy Act of 2020. The Law on Critical Mineral Resources is currently being drafted in the EU. The methodology presented here (US) is based on the approach developed by Nassar et al (2020b). It defines supply risk as the combination of the following three factors: the likelihood of foreign supply disruptions, the dependence of the US manufacturing sector on foreign supplies, and the vulnerability of the US manufacturing sector to supply disruptions. The EU methodology is based on two main criteria: the criteria of Economic Importance (EI) and Supply Risk (SR), the values/thresholds of $SR \geq 1.0$ and $EI \geq 2.8$ remain rounded to one decimal place. The USA regulated by law that the list of Critical Mineral Resources must be updated every three years, and it is similar in the EU.

Keywords: *Critical minerals, definition, methodology, criteria, law*

1. Увод

Термин *Критичне минералне сировине* (у даљем тексту КМС)(енгл. CRM) највероватније је установљен као политички, геостратешки, војни термин, а не стручни или геолошки. До пре неколико година тај термин се није користио, већ се само описно говорило о проблематици везаној за одређене минералне сировине и потреба западних економија за њима. То се може закључити из бројних објављених стручних радова и анализа Геолошких Института САД,

¹ Предраг Мијатовић, Геолошки завод Србије

Канаде и институција ЕУ које се баве проблематиком геологије, рударства и трговине минералним сировинама (метала, неметала, природни и други материјали). Теме обрађиване у тим радовима односиле су се углавном на потребе тих водећих земаља запада за минералним сировинама неопходним за рад и развој индустрије. У међувремену како су се западне економије шириле и развијале и започињале освајање нових технологија и усвајањем нових Агенди ширио се и списак минералних сировина неопходних да подрже такав развој. У исто време у свету на глобалном плану дешавали су се различити крупни догађаји и промене које су западни аналитичари посебно пратили и анализирали могуће правце развоја будућих међународних односа. Њихов закључак је највероватније био да се међународни односи крећу неком не баш повољном путањом по њихове интересе и да могу настати велики проблеми у снабдевању њихових индустрија минералним сировинама, а поготову оних минералних сировина неопходних за развој нових технологија као и за прелазак на зелену енергију. Зато сматрам да је на основу ових чињеница у западним земљама и економијама успостављен нови термин који носи назив *Critical Raw Materials* или *Критичне минералне сировине (КМС)*.

2. Дефиниција појма, листе и произвођачи КМС

Организоване активности САД о сигурности снабдевања сировинама предузете су од стране федералне владе САД пре више од једног века. Најинтензивније активности биле су протекле деценије. Важну улогу у том периоду имао је Подкомитет за критичне минерале (СМС) Националног савета за науку и технологију (NSTC) у оквиру Канцеларије за науку и технолошку политику у Извршној канцеларији председника САД. Активности су се огледале у пружању савета и помоћи у вези са државним и јавним политикама, процедурама и плановима који се односе на идентификација и ревизију могуће угрожености система снабдевања САД минералним сировинама. Осим тога имао је и активности на успостављању флексибилније сарадње и координације међу Агенцијама у вези са акцијама које имају за циљ минимизирање ризика за Сједињене Државе (Национални савет за науку и технологију, 2016.; Министарство трговине САД, 2019.).

Резултат тих активности је и дефиниција, до сада једина преточена у закон, о томе шта су КМС и објављена је у Закону о енергетици из 2022. године.

Критичне минералне се дефинишу као минерали, елементи, супстанце или материјали који су:

- Од суштинског значаја за економску или националну безбедност Сједињених Држава;
- Чији је ланац снабдевања подложен поремећајима (укључујући ограничења повезана са спољнополитичким ризиком, наглим растом потражње, војним сукобом, насилним немирима, антиконкурентским или протекционистичким понашањем и другим ризицима у целом ланцу снабдевања); а у суштини су у функцији производње производа за: енергетске технологије, одбрану, валуту, пољопривреду, електронику широке потрошње и апликације везане за здравствену заштиту, а чије би одсуство имало значајне последице по економску или националну безбедност Сједињених Држава (Public Law 116–260, sec. 7002(c)(4)(A)).

Закон даље прецизира да израз *критични минерали* не укључује:

- Минерале за гориво;
- Воду, лед или снег;
- Уобичајене врсте песка, шљунка, камена, пловућца, пегла и глине.

На основу Наредбе Министарства трговине САД из 2019. године и Извештаја који је урађен по овој наредби *...утврђује се да се списак или листа КМС сваке две године прегледа и по потреби ажурира...*

2.1. Листе КМС

На основу усвојене методологије САД су методом квантитативне процене од 54 минералне

сировине издвојили 36 које су испуниле критеријуме квантитативног прага тј. да се нађу на листи КМС. Користећи друге критеријуме ЕУ је 2020. године утврдила своју листу од 30 КМС. Методологија ЕУ заснива се на два главна критеријума: критеријум Економског значаја (ЕИ) и Ризика снабдевања (SR), вредности/прагови $SR \geq 1.0$ и $EI \geq 2.8$ остају заокружени на једну децималу. Међутим ЕУ још увек није донела Закон о КМС, израда Закона је у току и ближи се финализацији.

САД - КМС (2020.): галијум, ниобијум, кобалт, неодимијум, рутенијум, родијум, диспрозијум, алуминијум, флуорит, платина, иридијум, празеодимијум, церијум, лантан, бизмут, итријум, антимон, тантал, хафнијум, волфрам, ванадијум, калај, магнезијум, германијум, паладијум, титан, цинк, графит, хром, арсен, барит, индијум, самаријум, манган и телуријум, литијум.

ЕУ је, поређења ради, у 2011 испитивала 41 сировину, 54 сировине у 2014, 78 сировина у 2017., и 83 сировине у 2020.

ЕУ - КМС (2020.): антимон, берилијум, борати, кобалт, угаљ за коксовање, флуорит, галијум, германијум, лаки и тешки ретки елементи, индијум, литијум, магнезијум, графит, ниобијум, платинска група метала, фосфати, силиција, волфрам, барит, боксит, хафнијум, природна гума (каучук), скандијум, тантал, титан, ванадијум, бизмут, фосфор, стронцијум.

Главни произвођачи и снабдевачи КМС на светском нивоу су: Кина (59%), САД (7%), Јужна Африка (5%), Аустралија (4%), Чиле (4%), Канада (3%), ДР Конго (3%), Турска (3%), Бразил – Француска – Грчка – Индија – Индонезија – Мексико – Португал – Русија – Шпанија – Тајланд (1%).

3. Методологија САД о разврставању минералних сировина као КМС

Методологија коришћена за развој прве листе КМС користила је два квантитативна индикатора концентрација производње на нивоу земље и ослањање на нето увоз у САД, и квалитативну процену значаја (Fortier и други, 2018.). Методологија која је овде коришћена заснована је на приступу који су развили Nassar и други (2020.), који дефинише ризик снабдевања као спој следећа три фактора: *вероватноћа поремећаја иностраног снабдевања, зависност америчког производног сектора од иностраних залиха, и рањивост америчког производног сектора на прекид снабдевања.*

3.1. Квантитативна процена

Ризик снабдевања, као резултат у распону од 0 (низак) до 1 (висок), израчунат је као геометријска средина три компоненте, на следећи начин:

$$SR_{i,t} = \sqrt[3]{DP_{i,t} \cdot TE_{i,t} \cdot EV_{i,t}}$$

где је за робу i и годину t :

SR - ризик понуде,

DP- потенцијал поремећаја,

TE- трговинска изложеност и

EV- економска рањивост.

Ове променљиве представљају три компоненте ризика: *опасност, изложеност и рањивост* (Crichton, 1999).

3.2. Потенцијал поремећаја

Срачунат је као збир квадрата удела сваке земље произвођача у глобалној производњи (изузев САД), пондерисан спремношћу или способношћу сваке земље произвођача да настави са снабдевањем, на следећи начин:

$$DP_{i,t}^{raw} = \sum_c \left(PS_{i,t,c}^2 \cdot \max(ASI_{i,c}, VSI_{i,c}) \right)$$

где је за робу i , годину t , и земљу c :

DP - је потенцијал за поремећај те земље,

PS - је удео те земље у глобалној производњи за ту робу,

ASI - је индекс способности те земље да снабдева и

VSI - је спремност те земље да испоручи индекс.

ASI се заснива на индексу перцепције политике успостављене од стране Института Фрејзер, где се процењује следеће: политичка стабилност земаља произвођача, безбедност, доступност радне снаге, развијеност инфраструктуре, трговинске баријере, прописи, порези, неизвесност у вези са заштићеним подручјима и спорним захтевима за земљиште и други фактори који могу утицати на привлачност за рударске активности (Stedman и други, 2020.).

VSI процењује трговинске, идеолошке и одбрамбене везе које земља произвођач има са САД да би се обезбедила замена за вероватноћу да она намерно поремети своје снабдевање америчким произвођачима. Детаље за оба индекса дали су Nassar и други (2020.).

Напомена: процена потенцијала поремећаја укључује мању модификацију у односу на ону коју су користили Nassar и други (2020.) у смислу да је квадрат удела у производњи пондерисан ASI или VSI (који је већи), а не и ASI и VSI. Ово се ради како би се одразило да може доћи до поремећаја у снабдевању ако земља произвођач није у стању или не жели (уместо да не може и не жели) да настави да снабдева САД.

Израчунати (или необрађени) резултати потенцијалних поремећаја за сваку минералну сировину (КМС) за сваку годину су нормализовани на скали од 0 до 1 на основу уочених минималних и максималних резултата за све производе и све године, како следи:

$$DP_{i,t} = \frac{DP_{i,t}^{raw} - DP_{min}}{DP_{max} - DP_{min}}$$

3.3. Изложеност трговини

Заснована је на нето ослањању на увоз (као проценат стварне потрошње) САД, те параметре је деценијама развијао и годишње ажурирао Геолошки завод САД (USGS) (Fortier и други, 2015.), а срачунато је преко обрасца:

$$TE_{i,t} = \frac{I_{i,t} - E_{i,t} + \Delta S_{i,t}}{AC_{i,t}}$$

где је за робу i и годину t :

TE - трговинска изложеност;

I - укупан амерички увоз применљивих трговинских кодова Хармонизованог тарифног распореда (ХТС),

E - укупан амерички извоз применљивих ХТС трговинских кодова,

ΔS - промене у америчкој индустрији и државним акцијама и

AC - привидна потрошња у САД.

3.4. Привидна потрошња је израчуната на следећи начин:

$$AC_{i,t} = PP_{i,t} + SP_{i,t} + I_{i,t} - E_{i,t} + \Delta S_{i,t}$$

где је за робу i и годину t :

AC - привидна потрошња у САД,

PP - примарна производња Сједињених Држава,

SP - секундарна (стари отпад) производња Сједињених Држава,

I - укупан амерички увоз применљивих трговинских кодова Хармонизованог тарифног распореда (ХТС),

E - укупан амерички извоз применљивих ХТС трговинских кодова и

ΔS - промене у америчкој индустрији и државним акцијама.

Све променљиве коришћене за израчунавање трговинске изложености и привидне потрошње засноване су на масовним количинама прилагођеним садржају повезаних минералних сировина. Трговинска изложеност тако процењује степен до ког се америчка потрошња заснива на страним изворима. Ограничен је на опсег од 0 за робу за коју су Сједињене Државе биле нето извозник до 1 за робу за коју су Сједињене Државе у потпуности зависиле од иностраних извора за своју потрошњу.

3.5. Економска рањивост

Да би се израчунала економска рањивост, употреба сваке минералне робе била је повезана са низом производних индустрија, како је дефинисано Северноамеричким системом класификације индустрије (NAICS), које су конзумирале ту робу. Робе за које су расходи били високи у индустријама са ниским оперативним профитом, али који су у великој мери допринели америчкој економији, добили су више оцене економске рањивости, према обрасцу:

$$EV_{i,t}^{raw} = \sum_j \left(\frac{VA_{i,j}}{GDP_t} \cdot \frac{EXP_{i,t,j}}{OP_{i,j}} \right)$$

где је за робу i , годину t и индустрију j :

EV - економска рањивост,

VA - додата вредност индустрије, то јест, њен допринос америчком бруто домаћем производу (БДП),

EKSP - потрошња индустрије на ту робу и

OP - оперативни профит индустрије.

Однос расхода и оперативног профита даје меру рањивости сваке индустрије на минералну робу, док однос додате вредности у бруто домаћем производу даје меру економског значаја те индустрије за укупну економију.

Образложење за компоненте економске рањивости произилази из идеје да индустрије са ограниченим профитом и већим издацима на робу имају мање флексибилности да се носе са поремећајем у снабдевању од индустрије са здравим профитом и минималним расходима.

Необрађени резултати економске рањивости су такође нормализовани у распону од 0 до 1, при чему виши резултати указују на већу рањивост, на основу уочених минималних и максималних резултата за све производе и године, како следи према обрасцу:

$$EV_{i,t}^{raw} = \frac{\ln(EV_{i,t}^{raw} \cdot 10^9) - \ln(EV_{min} \cdot 10^9)}{\ln(EV_{max} \cdot 10^9) - \ln(EV_{min} \cdot 10^9)}$$

Извори података, приступи и претпоставке коришћени за израчунавање сваке од ових компоненти за сваку минералну робу добијени су од Nassara и других (2020б). Ови подаци су ажурирани како би укључили ревидиране и нове информације до 2018. године (последња година за коју су потребни подаци били доступни) из новијих верзија истих извора података који су коришћени. У неколико случајева, у овој анализи коришћени су алтернативни извори података, приступи или претпоставке. Ови случајеви су детаљно описани у додатку 1 и укратко описани у наставку.

3.6. Измене и допуне

Измене у анализи су се углавном односиле на коришћење одређених HTS кодова за процену потрошње и ослањања на нето увоз, избор одређених NAICS кодова и извора података за секундарну производњу. За литијум и REE, процена корака прераде рафинације је укључена поред фазе рударења. Поред тога, овде је процењено неколико производа на тренутној листи (2020г) КМС које нису проценили Nasar и други (2020б). Ово укључује флуорит, хафнијум и синтетички графит, који је комбинован са претходно процењеним природним графитом. Коначно, поред модификације процене потенцијала поремећаја, у израчунавању VSI, листа земаља укључених у компоненту *Војна сарадња* VSI сада је ограничена на оне са којима Сједињене Државе имају активан уговор о сигурности снабдевања (Министарство одбране САД, 2020.), а то су: Аустралија, Канада, Финска, Италија, Холандија, Норвешка, Шпанија, Шведска и Уједињено Краљевство.

3.7. Критеријуми прага

Одређивање које минералне робе треба ставити на листу КМС на основу квантитативне процене захтева развој граничног прага. Да би се то постигло, утврђени су критеријуми прага за сваку компоненту ризика снабдевања појединачно, као што је описано у Табели 1.

Табела 1. Критеријуми прага за сваку компоненту ризика снабдевања[(ASI, индекс способности снабдевања; VSI, индекс спремности за испоруку)

	Компонента ризика за снабдевање		
	Потенцијал поремећаја	Изложеност трговине	Економска рањивост
Опис критеријума прага	Глобална производња робе ван САД била је концентрисана тако да је једна половина била из једне земље која је била мање способна или мање вољна да настави да снабдева САД од просечне земље (посебно дефинисана као 75% АСИ и ВСИ индикатори), или еквивалентну дистрибуцију производње која је резултирала истим нормализованим резултатом.	Половина америчке потрошње робе добијена је из страних извора.	Годишњи расходи на робу били су једнаки средњој робној потрошњи (преко свих роба и процењених година) у прерађивачкој индустрији која је имала исподпросечан (75 %) однос оперативног профита и додате вредности, или еквивалентан нормализовани резултат.
Нормализован резултат који одговара критеријумима прага (скала 0–1)	0.20	0.50	0.64

Приказујући нормализовани резултат ризика понуде који одговара роби која испуњава сваки од ових критеријума прага - геометријска средина нормализованих резултата критеријума прага три појединачне компоненте је 0.40. Робе са средњим ризиком понуде већим или једнаким овом прагу, без обзира на резултате појединачних компоненти, би се стога препоручиле за укључивање у CML на основу квантитативне процене.

Важно је да квантитативна процена ризика снабдевања обезбеђује континуитет резултата из којих се могу поредити различити минерални производи.

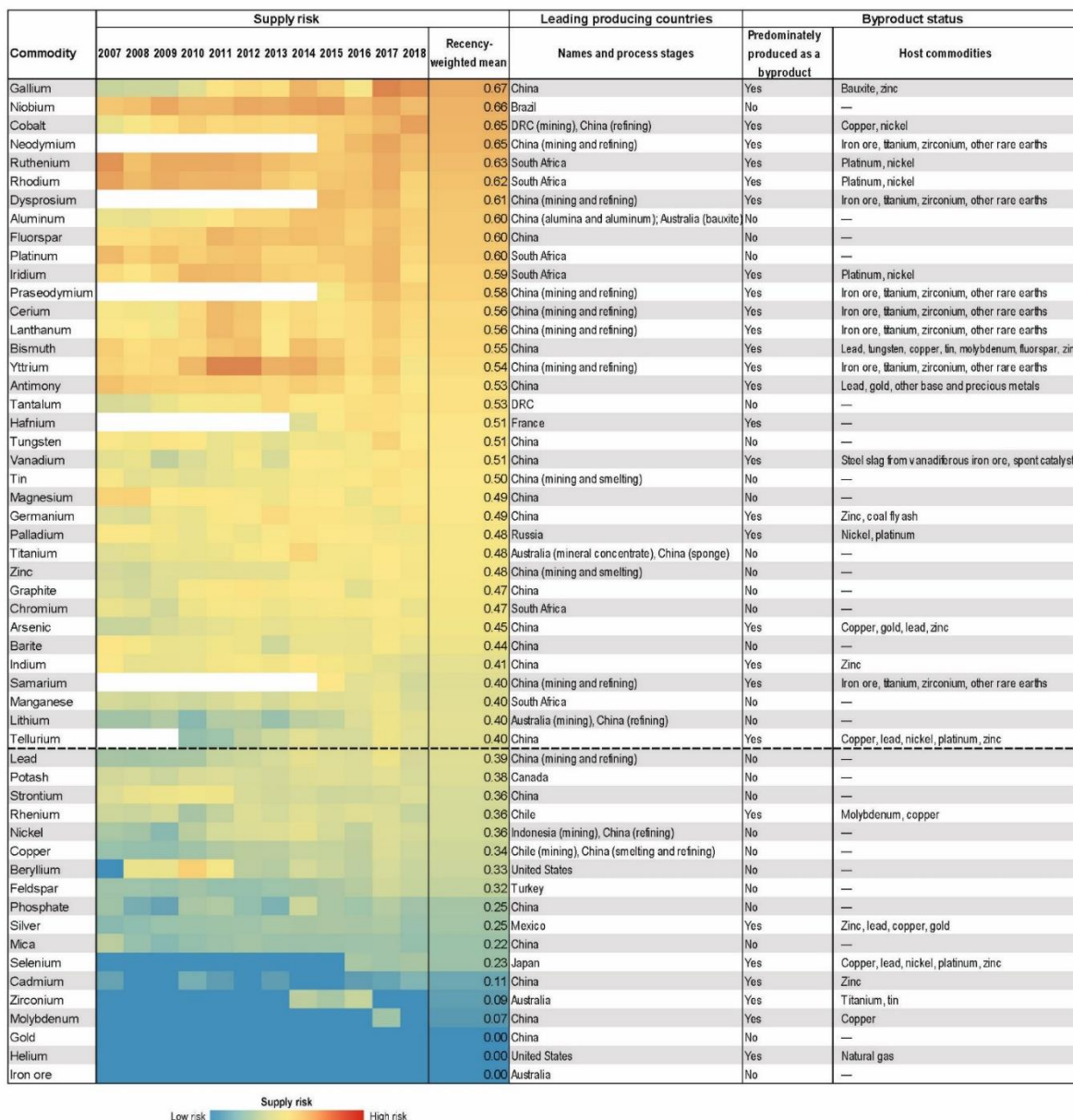
Заиста, квантитативна процена сугерише да је важније фокусирати се на робу која је на или близу врха листе, а не да се брине о томе да ли је било која појединачна роба скоро изнад или испод прага. Могу се развити и други механизми одређивања приоритета, као што је кластер анализа коју су користили Nassar и други (2020.), или категоризације засноване на рањивости специфичним за индустрију или ефикасности стратегија за смањење ризика у снабдевању.

3.8. Квалитативна евалуација

Због велике количине потребних података, нису сви минерални производи процењени коришћењем квантитативне процене. Конкретно, није било довољно података да би се квантитативно процениле следеће робе које се тренутно налазе на листи КМС: цезијум, рубидијум и скандијум. Поред тога, REE су категорисане на почетној листи КМС као група, али се у овој анализи процењују појединачно. Међутим, неколико REE - наиме европијум, гадолинијум, тербијум, холмијум, ербијум, тулијум, итербијум и лутецијум - нису анализирани појединачно због недостатка неопходних података. Треба напоменути да лежишта ретких земаља у природи обично садрже пун инвентар REE у већим или мањим количинама, у зависности од лежишта. Упркос недостатку применљивих података, корисно је поделити групу на појединачне елементе, у мери у којој је то могуће, пошто апликације за појединачне REE могу бити мање или више осетљиве на поремећаје у снабдевању. Закон о енергетици из 2020. године (Јавни закон 116–260) указује да се квалитативни докази могу користити у мери у којој је то неопходно ако су доступни подаци недовољни за квантитативну процену. Као такви, ови производи су квалитативно процењени на основу доступних информација.

3.9. Ризик снабдевања

У квантитативној процени, минерална роба за коју су Сједињене Државе биле нето извозник добила је оцену изложености трговини од 0, што је резултирало укупним ризиком понуде од 0. Као што су описали Nassar и други (2020.), статус нето извозника не мора нужно указују да је домаћа индустрија имуна на поремећаје у снабдевању. Сједињене Државе могу, на пример, бити само скроман нето извозник или може постојати само један домаћи произвођач. Ако тај појединачни домаћи произвођач постане неспособан да настави са радом или смањи производњу, Сједињене Државе могу постати нето увозник и бити изложене поремећајима иностраног снабдевања. Забринутост због ризика који проистичу из SPOF изражена је у Закону о гомилању стратешких и критичних материјала, са изменама и допунама (50 U.S.C. 98), који прописује развој стратешких и критичних залиха материјала како би се смањила *опасна и скупа зависност Сједињених Држава. Државе на страним изворима или на једној тачки проблема за снабдевање таквим материјалима у време националне ванредне ситуације* (50 U.S.C. 98(b)). У овој анализи, роба за коју је постојао домаћи SPOF аутоматски је препоручена за укључивање у листу КМС (Слика 1).



Слика 1. Топлотна мапа која приказује ризик снабдевања за све минералне производе испитиване за период од 2007. до 2018.

Топлије (од наранџасте до црвене) нијансе указују на већи степен ризика снабдевања.

4. Закључак

Сједињене Државе и ЕУ су веома зависне од увоза великог и све већег броја минералних сировина чија је производња концентрисана у неколико земаља. Овај висок степен ослањања на увоз излаже Сједињене Државе и ЕУ потенцијалним прекидима снабдевања ван својих граница што би могло имати несагледиве последице по индустрију и даљи развој. Користећи оквир за моделирање ризика, ови фактори су процењени квантитативно и, у одређеним случајевима квалитативно, да би се утврдило који ланци снабдевања минералним сировинама представљају највећи ризик снабдевања САД и ЕУ.

На основу ових критеријума САД и ЕУ, примењујући своје методологије, сваке две године праве нове листе КМС, а најновије имају следећи изглед:

САД листа за 2022. годину где се налази се 50 минерала: алуминијум*, антимоно, арсеник,

барит, берилијум, бизмут, церијум*, цезијум, хром, кобалт, *диспрозијум, ербијум, еуропијум, флуорит*, гадолинијум*, галијум, германијум, графит*, хафнијум, *холмијум*, индијум, иридијум, лантан*, литијум, *лутецијум*, магнезијум, манган, неодијум*, *никл, ниобијум, паладијум**, платина*, празеодијум*, родијум*, рубидијум, рутенијум*, самаријум*, сцандијум, тантал, телур, *тербијум, тулијум*, калај, титан, волфрам, ванадијум, *итербијум, итријум, цинк* и цирконијум.

Подебљане ставке недавно су додате (2022.), а ставке са звездицом измењене. Измене са претходне листе укључују:

- Алуминијум је раније био на листи алуминијума (боксит)
- Графит је раније био наведен као Графит (природни)
- *Хелијум, поташи, ренијум, стронцијум и уранијум су уклоњени са листе.* Уранијум је уклоњен јер је класификован као минерал за гориво.
- Метали из платинске групе: *иридијум, паладијум, платина, родијум, рутенијум и осмијум* су раније били наведени заједно као једна група. Они су раздвојени, а *иридијум и осмијум су уклоњени са листе.*
- Метали који припадају групи ретких земних елемената: *церијум, гадолинијум, лантан, неодимијум, празеодимијум и самаријум*, раније су заједно наведени као једна група. Сада су раздвојени.

ЕУ листа: алуминијум/боксит, коксујући угаљ, литијум, фосфати, антимон, *фелдспати*, LREE, скандијум, *арсеник*, флуорит, магнезијум, силицијум метал, барит, галијум, *манган*, стронцијум, берилијум, германијум, природни графит, тантал, бизмут, хафнијум ниобијум, титанијум, бор/борати, *хелијум*, PGE, волфрам, кобалт, HREE, фосфорити, ванадијум, *бакар** и *никл**.

На новој листи ЕУ, нове сировине означене су болдовано у Италик верзији слова. Осим бакра и никла са звездицом који не испуњавају критеријуме за стављање на листу КМС, али су ипак укључени као стратешке сировине.

С обзиром на сложеност глобалних ланаца снабдевања, такође је важно препознати да ниједна појединачна процена не може савршено да обухвати све замршености које могу утицати на ризик снабдевања робе. Ипак, две различите методологија, од које је ЕУ само назначена, пружају корисну, транспарентну и реалну основу за идентификацију и одређивање приоритета минералних сировина и утврђивању листе КМС на основу објективних мера. У наредном периоду требало би уложити више знања и енергије да се побољшају методологија за будуће процене како би се боље предвидео и ублажио ризик по економије САД и ЕУ.

Литература

[1] Nedal T. Nassar and Steven M. Fortier: Methodology and Technical Input for the 2021 - Review and Revision of the U.S. Critical Minerals List, Open-File Report 2021-1045, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey

[2] U.S. Department of Energy: Critical minerals and materials - U.S. Department of energy's strategy to support domestic critical minerals and material supply chains (FY2021 - FY 2031)

[3] Gian Andrea Blengini, Cynthia EL Latunussa, Umberto Eynard, Cristina Torres de Matos, Dominic Wittmer, Konstantinos Georgitzikis, Claudiu Pavel, Samuel Carrara, Lucia Mancini, Manuela Unguru, Darina Blagoeva, Fabrice Mathieux, David Pennington: Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020), Final Report, European Commission, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020

[4] European Commission, Directorate-General Joint Research Centre: Gian Andrea Blengini, Darina Blagoeva, Jo Dewulf, Cristina Torres de Matos, Claudia Baranzelli, Constantin Ciupagea, Patrícia Dias, Yildirim Kayam, Cynthia E.L. Latunussa, Lucia Mancini, Simone Manfredi, Alain Marmier, Fabrice

Mathieux, Viorel Nita, Philip Nuss, Claudiu Pavel, Laura Talens Peirò, Evangelos Tzimas, Beatriz Vidal-Legaz and David Pennington European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs: Milan Grohol, Alexis Van Maercke, Lidia Godlewska and Slavko Solar: Methodology for establishing the EU list of Critical Raw Materials, Raw materials - Guidelines, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017

[5] Milan Grohol, Constanze Veeh, DG GROW, European Commission: Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 - Final Report, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2023

[6] European Commission - Statement: Critical Raw Materials Act: Securing the new gas & oil at the heart of our economy, I Blog of Commissioner Thierry Breton, Brussels, 14 September 2022, Statement/22/5523



PROJEKTNA REŠENJA SANACIJE I STABILIZACIJE UNUTRAŠNJIH ODLAGALIŠTA NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA

PROJECT SOLUTIONS FOR REHABILITATION AND STABILIZATION OF INTERNAL LANDFILLS AT SURFACE MINES

Milošević D.¹, Makar N.², Čolaković V.³, Ćorluka S.⁴

Apstrakt

U poređenju sa razvojem i povećanjem potreba za sirovinama, površinski kopovi postaju sve veći i dublji a odlagališta kompleksnija. Usled heterogenosti i varijabilnosti odloženih masa, odlagališta se mogu posmatrati kao poseban litološki član za koga je specifična neizvesnost ponašanja formiranih etaža. Kosine tokom odlaganja, konsolidovanja i nakon toga treba da imaju dovoljnu sigurnost da neko od graničnih stanja ne bi bilo premašeno. U slučaju pojave klizanja, pristupa se merama sanacije i stabilizacije. Kad su utvrđeni uzroci, mehanizam klizanja i potrebni parametri analize stabilnosti, može se izvršiti izbor metode. Najčešće primenjivani postupci su preraspodela masa, površinsko i dubinsko dreniranje, kao i postupci izrade potpornih konstrukcija i sl.

Ključne reči: odlagalište, klizanje, stabilnost

Abstract

Along with the development and increase in the need for raw materials, surface mines are becoming bigger and deeper, and landfills are becoming more complex. Due to the heterogeneity and variability of deposited masses, landfills can be viewed as a separate lithological member for which the uncertainty of the behavior of the formed layers is specific. Slopes during storage, consolidation and afterwards should have sufficient security that one of the limit states would not be exceeded. In the event of slipping, rehabilitation and stabilization measures are taken. When the causes, mechanism of sliding and the required parameters of the stability analysis have been determined, the choice of method can be made. The most frequently applied procedures are mass redistribution, surface and deep drainage, as well as the procedures for making support structures, etc.

Keywords: dump, sliding, stability

1. Uvod

U rudarskoj praksi vrlo su skromne informacije o načinu sanacije klizišta i po pravilu su uopštenog karaktera, nisu u dovoljnoj meri analizirana i publikovana i tretiraju ona klizišta gde je bilo nastradalih. Stiče se utisak, a slična je situacija i u svetskoj praksi, da su mnoga klizišta na rudničkim odlagalištima ostala neistražena, a na mnogima su izostale sanacione mere. Tokom prethodnih godina, neminovno, kao prateća pojava prilikom eksploatacionih aktivnosti, bila je prisutna pojava nestabilnosti na prostoru unutrašnjih odlagališta. Neophodno je istaći da su obilne padavine u kratkim vremenskim intervalima imale posebnog uticaja na uslove na terenu i otežano izvođenje radova kako na otkopavanju tako i na odlaganju. Pojave nestabilnosti, klizišta, odroni, crpljenje akumuliranih voda, kao i nastale vododerine

¹ Milošević Dragan, Rudarski institut, Beograd

² Makar Nenad, Rudarski institut, Beograd

³ Čolaković Violeta, Rudarski institut, Beograd

⁴ Ćorluka Stevan, Rudarski institut, Beograd

i brazde na etažama i kosinama zahtevale su mere, kojim bi se konstatovane posledice sanirale i obezbedili uslovi za nastavak eksploatacije.

2. Identifikacija uslova na odlagalištu

Da bi se našla odgovarajuća rešenja, koja zadovoljavaju i tehničku i ekonomsku stranu problema, treba pre svega da se odrede glavni uzroci nedovoljne stabilnosti. Oni mogu da budu različiti, a najčešće su sledeći: kosina je strma ili visoka, tlo ima malu čvrstoću, porni pritisci su visoki i spoljno opterećenje deluje nepovoljno. Navedeni uzroci mogu da deluju pojedinačno, a mogu da budu i međusobno povezani. Od načina njihovog delovanja zavisi i izbor sanacionih mera, drenažne mere, potporne promene geometrije kosine, konstrukcije i armiranje tla. Kada su u pitanju površinski kopovi onda se često postavljaju tri ključna pitanja:

- Kolika stabilnost se zahteva?
- Za koji vremenski period se zahteva stabilnost?
- Koliko je pri stabilizaciji kosine važna cena?

Ova tri pitanja predstavljaju osnovni problem, kako u građevinarstvu tako i na površinskim kopovima, a njihovo rešavanje predstavlja kompromis između sigurnosti, cene i vremena. Za razliku od građevinskih objekata, koji se izvode kao statični, dinamika napredovanja površinskog kopa uslovljava da se radne kosine etaža i završne kosine površinskog kopa konstantno izvode u promenljivim uticaja atmosferskih padavina, uticaja prisustva i porasta podzemnih voda, izmenjena litološka struktura (nevedentirani proslojci). Kontinualna proizvodnja na svim svojim pozicijama u svim prilikama zahteva stabilnost kojom se štiti sigurnost zaposlenih i rudarska oprema.

3. Projektna rešenja sanacije i stabilizacije podloge

U savremenoj praksi primenjuje se modifikovanje inženjerskih svojstava problematičnih predela podložnih likvifikaciji, prostora prekrivenih mekom glinom i organskim tlom, područja sa klizištima ili zagađenim zemljištem. Kao alternativa napuštanju problematičnog tla, zamene tla ili prilagođavanja projekta stanju na lokaciji, vrši se stabilizacija tla koja se postiže: mehaničkim metodama (vibracijom, sabijanjem, odvodnjavanjem, ugradnjom geomreža, geotekstila, raznih barijera i sl.) i hemijskim metodama (solidifikacijom nevezanih tla cementnim materijalima - cement, kreč, leteći pepeo, bitumen ili kombinacijom).

Projektna rešenja za sanaciju i stabilizaciju uključuju različite tehnološke mere, kojima se povećava propustljivost i/ili poboljšavaju čvrstoće i deformaciona svojstva temeljnog tla. U cilju stabilizacije slabo nosivih tla ili učvršćivanja masa koje su pokrenute klizištem u svetu i kod nas primenjena su neka od opisanih projektnih rešenja.

Primena solidifikacije tla: tehnološki postupak solidifikacija može biti vlažan i suv. Vlažna metoda je pogodnija u mekim glinama, muljevima i sitnozrnim peskovima sa nižim sadržajem vode i u slojevitom tlu sa naizmeničnim mekim i čvrstim slojevima. Suva metoda je pogodnija za meka tla sa veoma visokim sadržajem vlage, pa je stoga pogodna i za mešanje sa suvim vezivima.

Vlažno duboko mešanje: primena vlažnog dubokog mešanja uključuje vezivo pretvoreno u suspenziju, koje se ubrizgava u tlo preko mlaznica koje se nalaze na radnom organu. Metoda koristi alat za mešanje, nalik na lančanik sa mešalicom, da bi se cementno vezivo in situ umešalo u tlo i stvorio zemljano-cementni zid.

Suvo mešanje: praškasto vezivo se pod pritiskom ubrizgava u meko tlo uz istovremeno rotiranje radnog alata čime se stvara očvršli stubovi i kolone u tlu. Širok opseg čvrstoće može se dobiti regulacijom količine i vrste veziva. Ova metoda ima široku primenu kod stabilizacije nasipa, stabilizacije kosina, poboljšanja temelja i smanjenja vlage.

Masovna stabilizacija: masovna stabilizacija je metoda plitke do duboke stabilizacije u kojoj se ceo volumen mekog tla može stabilizovati na propisanoj dubini. Tehnika je relativno nova i izuzetno

pogodna za stabilizaciju tla sa visokim sadržajem vlage, poput glinovitog tla, vlažnog organskog tla i zagađenih sedimenata. Radni točak se rotira i istovremeno pomera vertikalno i horizontalno tokom mešanja tla u blokovima. Obično se tlo stabilizuje u nizu blokova koji je definisan kao radni opseg mašine.

Dubinsko zbijanje tla sa površine: dinamička stabilizacija vrši se dinamičkim učinkom odgovarajućih mašina na tlo. Pogodna je za organska tla, zasićena sitnozrna tla i odlagališta jalovine. Pod ovim pojmom se podrazumeva posebni način zbijanja tla sa površine. Radi se o slobodnom padanju tega sa visine, koji visi na streli dizalice. To je relativno jeftin način da se poboljšaju svojstva površinskih slojeva tla. Primena je efikasna za zbijanje sitnozrnog peska i prašina odnosno za zbijanje starih nasipa i odlagališta.

Dinamička stabilizacija vibriranjem ispod površine i vibroflotacija: ovaj način poboljšanja temeljnog tla je efikasniji od zbijanja sa površine. Vrlo je koristan za tla sklona likvefakciji (peskovi jednakog granulometrijskog sastava), kao i za ojačanje hidrauličkih nasipa, nastalih refuliranjem peska. Može se izvoditi bez ili sa dodavanjem nekoherentnog tla u podtemeljno tlo. Postupak se bazira na pobudi čestica nevezanog tla, koje se premeštaju iz manje zbijenog u zbijeniji položaj. Na taj se način postiže veća relativna zbijenost i poboljšavaju fizičko-mehanička svojstva tla. U novoj strukturi je povećan ugao unutrašnjeg trenja i smanjen porozitet. Smanjena je pokretljivost čestica.

Mehaničko poboljšanje, zbijanje pomoću eksploziva: postupak se sastoji u tome da se u tlu izvedu bušotine u koje se ugradi eksploziv, a zatim se prostor prekrije određenom količinom šljunka tako da nakon eksplozije šljunak utone u novonastali prostor. U koherentnom tlu nije moguće izazvati flotaciju i pomicanje čestica. Tu se mikrominiranje može koristiti za izvođenje peščanih drenova. Za to je potrebno površinu, na kojoj se izvodi poboljšanje tla, prekriti nasipom od peska proverene granulacije da zadovolji filtersko pravilo. U trenutku miniranja pesak puni nastali prostor u koherentnom tlu i oblikuje uspravni dren koji uslovljava radialno dreniranje.

Poboljšanje sitnozrnog materijala bez dodavanja aditiva elektro-osmoza: koristi se kao tehnički postupak za konsolidaciju i ojačanje mekog glinovitog vodom zasićenog tla. U tlo se pobiju dve metalne elektrode i kroz njih se pusti jednosmerna struja. Prvi pozitivan efekat ovog procesa je pojava filtracionih sila u određenom smeru, a drugi je delimično uklanjanje vode iz tla. Ako se obezbedi dreniranje odvijaće se proces konsolidacije.

Preraspodela masa: preraspodelom masa, uklanjanjem materijala sa vrha kliznog tela i nasipanjem u nožici, kod rotacijskog se klizanja smanjuje moment težine kliznog tela obzirom na središte rotacije i time povećava faktor sigurnosti. Preraspodelom masa treba postići da za kritičnu kliznu ravan faktor sigurnosti bude zadovoljavajuće veličine. Kod translatornog klizanja preraspodela masa praktično nema učinka.

Površinsko i dubinsko dreniranje: mere koje smanjuju porni pritisak u kosini u zoni klizne ravni jedne su od najčešćih i najekonomičnijih mera sanacije. Među te mere spada površinsko dreniranje i uređenje kosina odnosno izrada drenažnih rovova i cevastih drenova.

Dreniranje tla iglo-filterima: iglofilteri su posebno konstruisani, redno bušeni, *cevni bunari*. Povezani su posebnim pumpama koje imaju i usisni i potiskujući način rada. Prvo se u iglofiltere pumpa voda pod pritiskom, čime se olakšava prodor *igle* u tlo usled ispiranja materijala oko vrha filtera. Zatim, kada se iglofilteri postave na traženu dubinu, crpe procedenu vodu iz dna filtera. U slučaju primene iglofiltera u najsitnijem pesku ili peskovitoj glini primenjuje se vakum postupak crpljenja iz iglo-filtera pomoću posebnih vakum pumpi. Kompresor se postavlja na površinu odlagališta usisava vazduh i ostvaruje vakum u bunarima.

Poboljšanje sitnozrnog materijala bez dodavanja aditiva termička stabilizacija: dva su osnovna tipa termičke stabilizacije. Prvi je zagrevanje tla. Porastom temperature povećava se sleganje gline pod datim opterećenjem. Nakon hlađenja dolazi do termalne prekonsolidacije gline. Drugi je smrzavanje tla. Metod veštačkog zamrzavanja se koristi za privremeno ojačanje tla kod podzemnih iskopa. Može se primeniti na sve tipove tla.

Poboljšanje tla sa dodacima - stabilizacija pepelom: u zavisnosti od vrste uglja dobija se pepeo klase

C koji ima samovezujuća svojstva (potrebna je samo voda za početak reakcije) i pepeo klase F koji ima samo-pucolanska svojstva (potrebna je voda i aktivator). Optimalan sadržaj je u zavisnosti od vrste tla i pepela. Efekti stabilizacije su to što se povećava čvrstoća i nosivost, smanjuje se indeks plastičnosti i bubrenje.

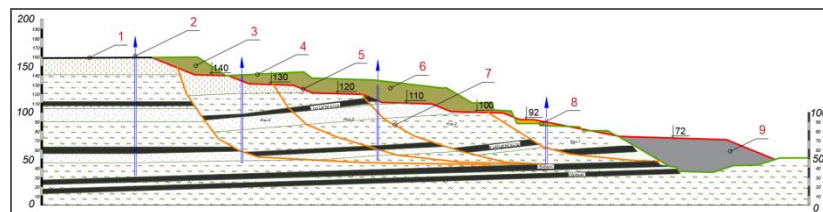
Poboljšanje tla sa dodacima - dubinsko mešanje (mlazno cementiranje): osnovne karakteristike su to što se može primeniti za sve vrste tla, mlaz cementnog maltera pod pritiskom razbija tlo i meša se sa njim i integrisanjem nastalih stubova formira se masa koja ima visoku čvrstoću i malu vodopropusnost.

Stabilizacija tla upotrebom geomaterijala: geomaterijali se primjenjuju u sledećim slučajevima: povećanje nosivosti slabo nosivog tla, temeljenje nasipa, osiguranje stabilnosti kosina, potporni zidovi, zaštita od erozije, sanacija klizišta, armiranje asfaltnih konstrukcija, tuneli, drenaže, zaštita obala i dna vodotoka, regulacija vodotoka, luke i marine, nasute brane, sanacija hidrotehničkih građevina, uređenje odlagališta otpada, zaštita voda i tla od mogućeg zagađenja, izolacija zagađenih područja, uređaji za pročišćavanje otpadnih voda, ozelenjivanje površina, zaštita od odrona i dr. Vrlo široku primenu stekli su geomaterijali, koji su zbog svojih dobrih tehničkih svojstava dobro prihvaćeni kod rešavanja različitih geotehničkih problema: geotekstil, geomreže, geomembrane, geokompozita, geosintetici, biotehnička stabilizacija kosina.

Na Slikama 1, 2, 3 i 4 prikazani su neki od primera projektnih rešenja sanacije i stabilizacije klizišta.

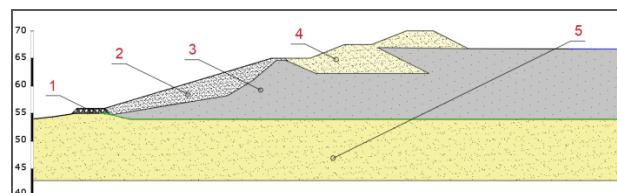


Slika 1. Vršna etaža na severnoj kosini PK Ćirikovac (pre i nakon sanacije) [1]



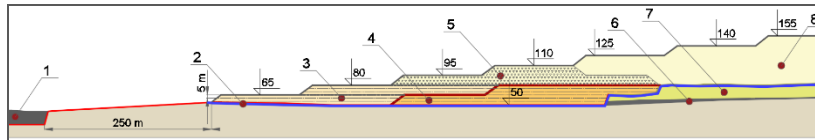
1 – Izolinija terena pre klizanja; 2 – Istražne bušotine; 3 – Vršna etaža; 4 – Izolinija terena nakon klizanja; 5 – Projektovane etaže; 6 – Mase u pokretu; 7 – Klizna ravan; 8 – Prostor za popunjavanje; 9 – Potporni nasip

Slika 2. Poprečni presek severne kosine PK Ćirikovac [1]



1 – Lomljeni kamen; 2 – Šljunak; 3 – Odloženi pepeo; 4 – Nasip od zemljanog materijala; 5 – Odložena jalovina

Slika 3. PK Ćirikovac, pregradni nasip [2]



1 – Neotkopani ugalj; 2 – Drenažni sistem 3 – Nadogradnja inicijalnog nasipa; 4 – Inicijalni nasip; 5 – Nadvišenje inicijalnog nasipa; 6 – Zaostali proslojci uglja; 7 – Prethodno odložena jalovina-postojeće odlagalište; 8 – Nadvišenje postojećeg odlagališta;

Slika 4. Idejno rešenje stabilizacije unutrašnjeg odlagališta PK Polje B i C [3]

4. Zaključak

Usaglašenost eksploatacionih aktivnosti i realizacija projektnih rešenja, konceptualno i tehnološki se moraju iskoordinirati tako da bi se obezbedila održivost proizvodnih kapaciteta. Pored toga, pre uvođenja izmena u smislu tehnologije odlaganja, odvodnjavanja, konstruktivnih elemenata i dr., potrebno je sagledati da li su ostvareni projektovani parametri.

Pre izbora sanacionih i stabilizacionih rešenja, potrebno je uraditi istraživanja, analize i modulacije, kako bi se usvojilo projektno rešenje.

Činjenica koja se ne sme zanemariti je da se sanacija klizišta veoma bitno odražava na ekonomiju, tako da se mora voditi računa o troškovima, jer osnov svake poslovne politike predstavlja dobit.

Uvođenjem monitoringa nakon primene sanacionih i stabilizacionih rešenja obezbediće se kontrola uspešnosti izvedenih radova, a istovremeno i mogućnost da se predviđanjem, upozoravanjem i pravovremenim intervencijama spreče ili barem umanje moguće štete [4].

Literatura

- [1] Makar N.: Uprošćeni rudarski projekat sanacije klizišta na otkopnom frontu PK Ćirikovac II faza, Rudarski institut Beograd, 2011.
- [2] Pavlović T.: Tehnički rudarski projekat sanacije i pretvaranja pregradnog nasipa između kasete 1 i 2 u obodni nasip na deponiji pepela i šljake Ćirikovac, Rudarski institut Beograd, 2014.
- [3] Milošević D.: Studija stabilizacije unutrašnjih odlagališta prostora Polja B/C za potrebe odlaganja otkrivke sa PK Polje E, Rudarski institut Beograd, 2020.
- [4] Milošević D.: Tehnički rudarski projekat sanacije i stabilizacije unutrašnjeg odlagališta na PK Drmno, Rudarski institut Beograd, 2023.



PRIMENA DIGITALNE FOTOGRAMetriJE U RUDNIKU RUDNIK

APPLICATION OF DIGITAL PHOTOGRAMMETRY IN THE RUDNIK MINE

Mirković N.¹, Crnogorac L.², Urošević K.³

Apstrakt

Digitalna fotogrametrija, lasersko skeniranje i virtuelizacija sve više pronalaze aktivne uloge u rudarstvu, prvenstveno zbog svoje široke mogućnosti primene. Laserskim skeniranjem i fotogrametrijom snimaju se i kreiraju 3D modeli otkopa, jamskih hodnika, površinskih kopova, površinskih objekata (zgrada, spomenika, predmeta), a vrši se skeniranje celih rudnika koji se rekonstruišu u 3D digitalne modele. Fotogrametrija predstavlja proces fotografisanja objekata pomoću fotoaparata i daljom obradom fotografija u različitim softverskim alatima kreiraju se realne kopije 3D modela objekata ili predmeta u digitalnoj formi. Za razvoj kvalitetnih 3D modela neophodno je obezbediti laserske skenere vrhunskog kvaliteta, kao i prateću računarsku opremu (hardver i softver) koja može brzo da obradi ogromnu količinu podataka i formira oblake tačaka visoke gustine. Nabavka takve opreme predstavlja relativno visok finansijski izdatak i u manjim rudnicima se smatra nepotrebnim troškom. Za potrebe ovog rada, korišćena je oprema kojom kompanija Rudnik i flotacija Rudnik doo već raspolaže i pojedini softverski paketi koji su otvorenog pristupa. Rezultati dobijeni u ovom istraživanju pokazali su da se korišćenjem najosnovnije opreme (koja ne zahteva dodatne finansijske investicije kompanije) mogu dobiti 3D modeli podzemnih prostorija koji su na zadovoljavajućem nivou za potrebe geološkog kartiranja u jami, uvida menadžmenta i inženjera u stanje jamskih prostorija i ocene kvaliteta izvedenih rudarskih radova. Pored pomenutog, razvijeni 3D modeli podzemnih prostorija i mehanizacije mogu se koristiti u edukativne svrhe, kao pomoć prilikom obuke đaka, studenata i novih zaposlenih u rudniku i za potrebe muzeja kao arhivski prikazi rudnika dostupn široj javnosti.

Ključne reči: digitalna fotogrametrija, prostorna vizuelizacija, rudarski objekti, podzemna eksploatacija

Abstract

Digital photogrammetry, laser scanning and virtualization are increasingly finding active roles in mining, primarily due to their wide application possibilities. With laser scanning and photogrammetry, 3D models of excavations, underground roadways, open-pit mines, surface objects (buildings, monuments, objects) are photographed and created, and whole mines are scanned and reconstructed into 3D digital models. Photography is the process of photographing objects using a camera and by further processing the photos in various software tools, realistic copies of 3D models of objects or tools are created in digital form. For the development of high-quality 3D models, it is necessary to provide top-quality laser scanners, as well as supporting computer equipment (hardware and software) that can quickly process a huge amount of data and form high density point clouds. The acquisition of such equipment represents a relatively high financial expenditure and is considered an unnecessary expense in smaller mines. For the purpose of this paper, the equipment that the company Rudnik and flotation Rudnik doo already has and some software packages that are open source were used. The results obtained in this research showed that by using the basic equipment (which does not require additional

¹Nikola Mirković, Rudnik i flotacija Rudnik doo Rudnik, Rudnik; e-mail: nmirkovic@contangorudnik.rs

²Luka Crnogorac, Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet, e-mail: luka.crnogorac@rgf.bg.ac.rs;

³Katarina Urošević, Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet, e-mail: katarina.urosevic@rgf.bg.ac.rs

financial investments of the company), 3D models of underground spaces can be obtained that are at a satisfactory level for the needs of geological mapping in the mine, insight of management and engineers into the state of underground spaces and quality assessment of performed mining works. In addition to the above, the developed 3D models of underground spaces and mechanization can be used for educational purposes, as an aid during the training of high school and university students and new employees in the mine and for the needs of the museum as archival displays of the mine available to the public.

Keywords: *digital photogrammetry, spatial visualization, mining facilities, underground exploitation*

1. Uvod

Digitalna fotogrametrija, lasersko skeniranje i virtuelizacija se sve više uveliko primenjuju u rudarstvu. Laserskim skeniranjem [1, 2] i fotogrametrijom snimaju se i kreiraju 3D modeli rudarskih radova i objekata, a vrši se i skeniranje celih rudnika koji se rekonstruišu u 3D digitalne modele. Smatra se da je fotogrametrija nastala u isto vreme kada i fotografija [3] i da od tada kreće razvijanje ove tehnike. Poslednjih decenija, sa razvojem digitalnih fotoaparata, ova tehnika našla je veliku primenu u mnogim industrijama i njen potencijal se sve više širi razvijanjem virtuelnih tehnologija (Proširene stvarnosti, Pomešane stvarnosti i Virtuelne stvarnosti) [4, 5]. Kombinacijom ovih tehnika i tehnologija, kao i određenih softvera, kreiraju se „digitalno realni svetovi“. Mogu se vršiti analize stabilnosti jamskih prostorija, kreirati razni scenariji (kriznih situacija, obuka itd.), vršiti različiti proračuni (zapremina, površina), kreirati umetnički radovi. Virtuelizacijom se omogućava posmatraču da se preko određenih softverskih i hardverskih alata oseća kao da se fizički nalazi u blizini tih objekata ili u njima samima, dok je on zaista na sasvim drugom mestu. Primenom digitalne fotogrametrije u rudarstvu, moguće je određivati sisteme pukotina za potrebe upravljanja stenskim masivom, merenja deformacija jamskih prostorija, određivanja zapremina otkopanih prostora, kartiranje geoloških struktura stena kroz koje se izrađuju jamske prostorije [3]. Od posebnog je značaja primena ovih tehnika i tehnologija u slučajevima nailaska na stare radove koji se mogu snimiti i dokumentovati u trajnom digitalnom formatu i tako virtuelizovati.

Da bi se dobili kvalitetniji 3D modeli potrebno je imati kvalitetne foto-aparate (kamere), a s obzirom na to da su 3D modeli koji su obrađeni u ovom radu pretežno iz podzemnog rudnika, neophodno je obezbediti i kvalitetno osvetljenje. Fotografisanje jamskih prostorija izvršeno je u rudniku podzemne eksploatacije Rudnik kod Gornjeg Milanovca u Republici Srbiji. Rudnik se nalazi u jugozapadnom delu Šumadije i predstavlja jedan od najstarijih rudnika Evrope [6]. U pitanju je rudnik koji se bavi eksploatacijom ruda bakra, olova, cinka i srebra. Fotografisanje je izvršeno sa ciljem da se sagleda i oceni perspektiva upotrebe digitalne fotogrametrije u kombinaciji sa standardnim softverskim alatima koje koristi Rudnik za potrebe čuvanja i obrade podataka za potrebe rudarstva i geologije.

2. Digitalna fotogrametrija

Fotogrametrija predstavlja tehniku kojom se realni objekti kao što su predmeti, prostorije, zgrade itd., uz korišćenje određenih softverskih i hardverskih alata mogu kreirati kao realni 3D digitalni modeli [1, 7-10]. Proces kreiranja modela sastoji se iz prethodnog fotografisanja objekata. Fotografisanje se može vršiti spoljnim putem tako što će se objekat fotografisati sa svih strana, tako da model bude u centru i unutrašnjim putem, kada se objekat fotografiše iz unutrašnjosti (fotografisanjem unutrašnjosti zgrada, jamskih prostorija, komora itd.) da bi se dobila digitalna forma unutrašnjosti objekata. Nakon fotografisanja, fotografije se uvoze u određene softverske alate (Reality Capture, Agisoft, Sirovision itd.) pomoću kojih se kreiraju oblaci tačaka koji predstavljaju 3D digitalne modele. Oblaci tačaka nastaju preklapanjem fotografija i da bi se dobio što realniji model potrebno je da preklapanje slika bude od 60% pa naviše, mada u nekim slučajevima mogu da se dobiju modeli i sa manjim procentom preklapanja. Da bi preklapanje bilo što približnije mogu se postaviti markeri preko kojih će se lakše vršiti preklapanje. Loše osvetljenje, kao i vrlo malo preklapanje fotografija, može dovesti do remećenja 3D modela (nastanka šupljina i kreiranja nepravilnih oblika) prilikom obrade u softverskim alatima. Triangulacijom dobijenih oblaka tačaka i kreiranjem tekstura modela, dobijaju se realni 3D digitalni modeli koji predstavljaju stvarne objekte, predmete. Da bi se dobili očekivani modeli neophodno je da

fotografije budu odgovarajućeg, što boljeg, kvaliteta.

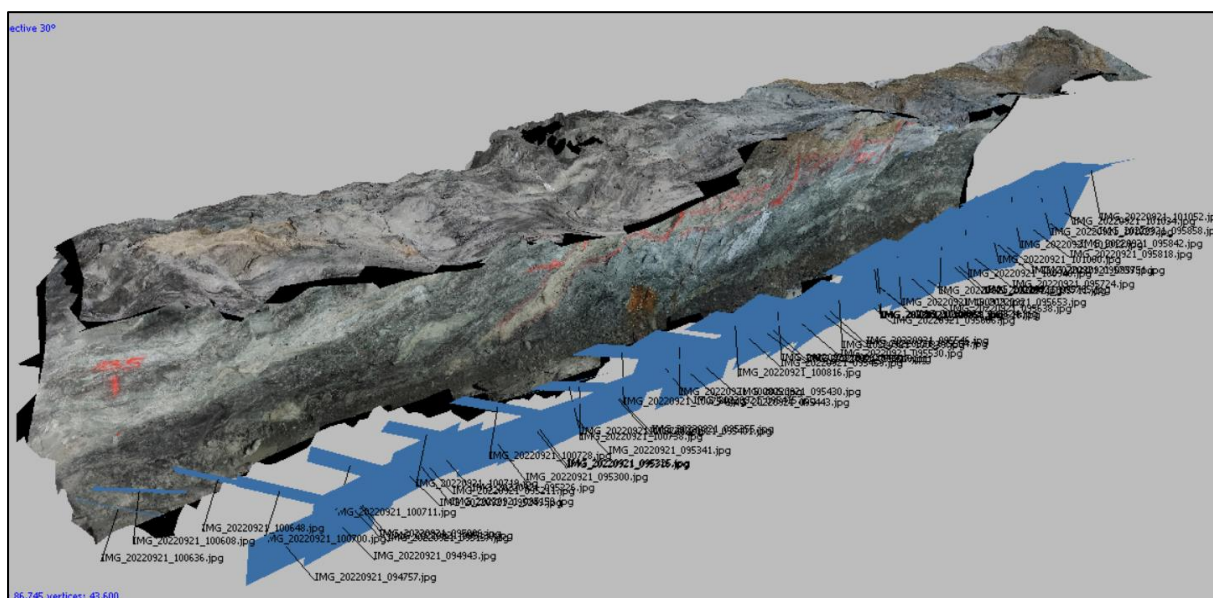
Primer softverskog alata koji primenjuje fotogrametriju je Sirovision. Softver se koristi za kreiranje 3D modela od više fotografija koji potom generiše sisteme pukotina i mapiranja strukture svetlosti na površinama radi automatskog određivanja njihovih svojstava, automatskog detektovanja sistema pukotina, analize rizika od urušavanja i povećanja produktivnosti i sigurnosti u rudnicima [11].

Prilikom fotografisanja jamskih prostorija rudnika Rudnik, korišćena su dva modela mobilnih telefona (Xiaomi Redmi Note 10 – model kamere M2101K6G, Xiaomi Redmi Note 9 – model kamere M2003J15SC) i fotoaparata NIKON D3400. Karakteristike kamera korišćenih aparata date su u Tabeli 1 [12-14].

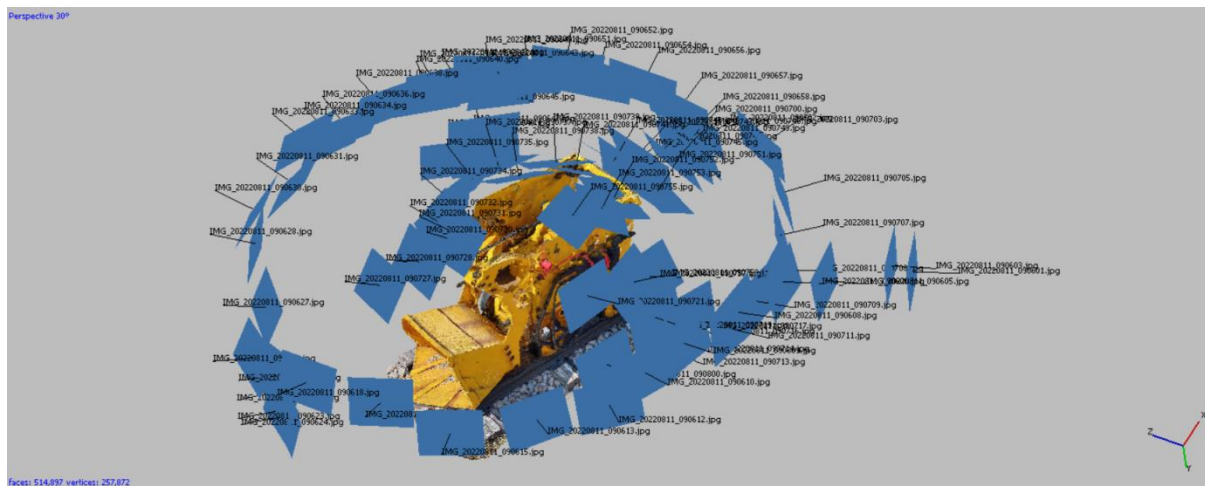
Tabela 5. Karakteristike aparata korišćenih za fotografisanje jamskih prostorija.

Proizvođač	NIKON Corporation	Xiaomi	Xiaomi
Tip kamere	NIKON D3400	M2003J15SC	M2101K6G
Žižna daljina	18 mm	5 mm	6 mm
Otvor blende	f/3.5	f/1.8	f/1.9
35mm fokal	27	28	0
Vreme ekspozicije	1/60 sec.	1/14 sec.	1/10 sec.
Vrsta blica	Flash, auto, strobe return	No flash, compulsory	No flash, compulsory
Maksimalan otvor blende	3.6	0	1.85

Kako su se snimanja (fotografisanja) izvodila u uslovima slabe vidljivosti, u rudniku podzemne eksploatacije, bila je neophodna upotreba dodatnih izvora svetlosti, odnosno: standardne rudarske lampe, jedan ručni reflektor od 500 lm i dve ručne svetiljke od 200 lm. Fotografisanje jamskih prostorija vršeno je iz sredine jamskih prostorija i prvo je fotografisan jedan bok, u celoj dužini definisanoj za snimanje, zatim krovina, potom drugi bok i na kraju podina prostorije, s tim što se imalo u vidu da se fotografije što više preklapaju jedna na drugu. Prikaz pozicija fotografisanja dat je na Slikama 1 i 2. Na Slici 1 prikazane su pozicije fotografija u istražnom hodniku GIH-200/JI, dok su na Slici 2 prikazane pozicije fotografija prilikom fotografisanja rudarske mašine (utovarač).



Slika 1. Pozicije fotografija prilikom fotografisanja istražnog hodnika GIH-200/JI.



Slika 2. Pozicije fotografija prilikom fotografisanja utovarača.

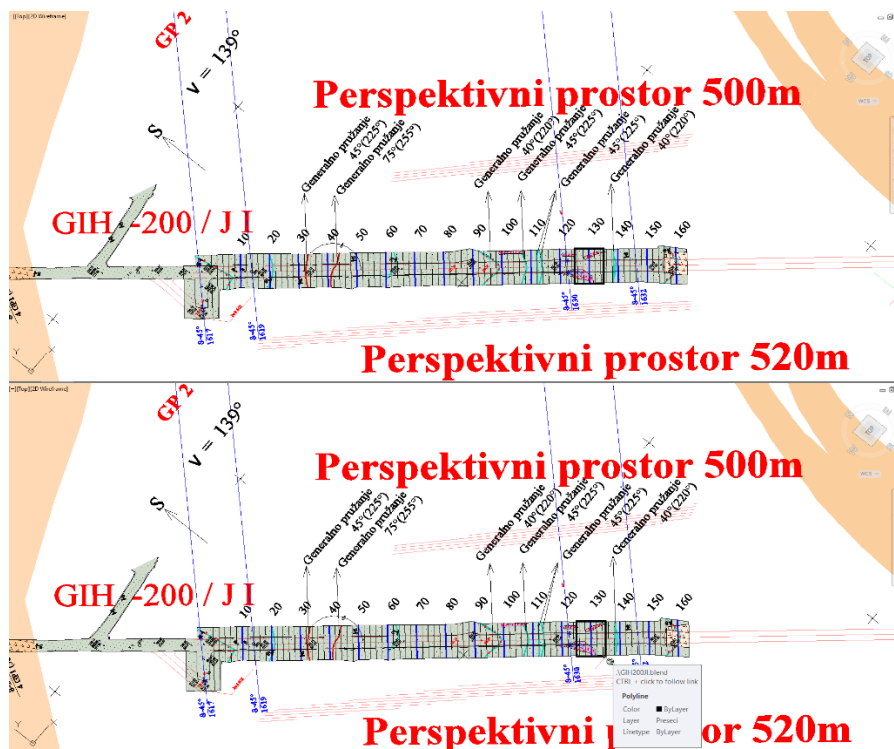
Nakon završenog fotografisanja jamskih prostorija, fotografije su obrađene u programu Agisoft [15] i dobijeni su oblaci tačaka koji predstavljaju 3D digitalne modele. Kako se u zavisnosti od podešavanja programa za rad mogu kreirati oblaci sa više miliona tačaka, obrada ovakvih modela zahtevala bi računare sa skupocnim komponentama i veoma dug proces obrade koji može trajati i više dana. Prema tome, sva podešavanja prilikom uvoza slika u program stavljena su na minimalne vrednosti kako bi se pojednostavio rad (prilikom obrade podataka korišćen je računar sledećih komponenti: 8 GB RAM-memorije, Intel Core I3 6006U CPU 2.00GHz-procesor, 1 TB interne memorije i QUAD CORE broj jezgara, dok je preporučljivo da računar sadrži 32 GB RAM-memorije, 4 TB-interne memorije i 8/16 CORE-broj jezgara) [16]. Georeferenciranje tačaka nije vršeno. Nakon kreiranja oblaka tačaka, povećana je gustina tačaka čime se dobilo na kvalitetu dobijenih modela. Potom je izvršena izrada „mreža“ koje predstavljaju izvršenu triangulaciju tačaka i na osnovu njih su dobijeni 3D digitalni modeli sa kojim je mnogo lakše upravljati. Kako je izvršena triangulacija, odnosno izrada „mreža“, kreirana je tekstura kojom su modeli dobili konačni izgled. 3D modeli se mogu čuvati u više formata (.FBX, .DXF, .OBJ itd.) i kao takvi uvoziti u različite programe kao što su AutoCad, Surpac, Blender i mnoge druge. Za potrebe dalje obrade prikazane u ovom radu, modeli su čuvani u formatima .FBX i .OBJ.

Za pregled kreiranih 3D digitalnih modela u programu Agisoft korišćen je program sa otvorenim pristupom Blender [17]. Ovaj program omogućava posmatranje digitalnih modela tako što se oni nalaze u centru rotacije ili tako što se može kroz njih prolaziti takozvanim „letenjem“, odnosno kretanjem u modelu. Kretanje u modelu odnosi se na kretanje na način kao što se krećemo kroz realnu jamsku prostoriju, po podu prostorije. Virtualizacija se postiže primenom hardverskih alata (virtuelnih naočara) [18] kao što su HTC Vive, Oculus Quest. Blender omogućava dodatnu interakciju sa modelima pa je moguće izvršiti unos teksta u cilju obeležavanja interesantnih zona, dimenzionisanja (ukoliko je georeferenciran model i u realnim dimenzijama), uklapanje više modela i razvoj različitih scenarija.

3. Primena fotogrametrije i prostorne vizuelizacije na rudniku Rudnik

Rad rudnika podzemne eksploatacije Rudnik dosta zavisi od aktivnih geoloških istraživanja, koja se uglavnom vrše jamskim putem, odnosno, izrađuju se jamske prostorije (rampe, hodnici, komore) u i prema zonama od interesa. Nakon izrade prostorija one se peru od prašine (po zahtevu geološke službe rudnika), koja nastaje od rada dizel opreme, ventilacije, miniranja, a zatim se vrši kartiranje (obeležavaju se geološke karakteristike sredina kroz koje se prostorije izrađuju).

Prikupljeni podaci sa terena prebacuju se u softver AutoCAD i na taj način se digitalizuju u 2D formatu. Na Slici 3. prikazan je deo kartiranog hodnika GIH-200/JI sa obeleženom i hiperlinkovanom zonom koja je fotografisana i potom kreiran 3D model hodnika Slika 4.



Slika 3. Prikaz kartiranog dela istražnog hodnika GIH-200/JI (gornji deo slike), obeležen i hiperlinkovan islikani deo hodnika (donji deo slike).

Kartirani podaci na bokovima jamskih prostorija se vremenom gube, usled izvođenja miniranja u neposrednoj blizini može doći do otkidanja stenskih blokova sa oznakama. Uticaj jamske atmosfere takođe ima negativan uticaj na oznake u jamskim prostorijama. Trajni podatak ostaje samo u grafičkoj dokumentaciji rudnika, u 2D digitalnoj formi u AutoCAD ili u vidu slika. Ukoliko bi se nakon izrade ovih prostorija i kartiranja, one fotografisale i obradile na način da se dobiju 3D digitalni modeli, „digitalni blizanci“ realnih objekata (fotogrametrijom), ovim bi se znatno poboljšao kvalitet grafičke dokumentacije rudnika i olakšali određeni poslovi. Podaci bi trajno bili sačuvani u digitalnom formatu (oksidacija, prašina i urušavanje blokova ne bi uticalo na tačnost podataka), moglo bi da se izbegne stalno obilaženje ovih objekata ukoliko bi bilo potrebe videti kakva je i koja je sredina kroz koju su radovi prošli. Jednostavnim pokretanjem modela na računaru u jako kratkom vremenskom roku imao bi se uvid u željene delove rudnika. Kombinacija osnovnog programa (AutoCAD) sa kojim se trenutno radi na rudniku i programa Blender (otvorenog koda, javno dostupnog svima), mogla bi da uštedi na vremenu koje bi iziskivalo obilaženje ovih prostorija. AutoCAD omogućava hiperlinkovanje objekata kao što su linije, polilinije, krugovi itd., sa skoro svim podacima koji se nalaze u računaru, na internetu. Sa ovim se omogućava povezanost sa Blender-om i drugim programima.

Rudarske objekte možemo fotografisati i tako kao slike čuvati, ali to bi zahtevalo ogroman broj slika i bilo bi potrebno više vremena pronaći potreban podatak koji nam treba, ali takođe bi uštedelo i na memoriji. Kreiran 3D model sa Slike 4 islikan je u dužini od 12 m i visine 3.5 m i tako sačuvan u Blender-u zauzima oko 10 MB prostora, dok samo 10 slika koje su uslikane zauzimaju oko 25 MB. Na ovaj način štedimo memoriju.

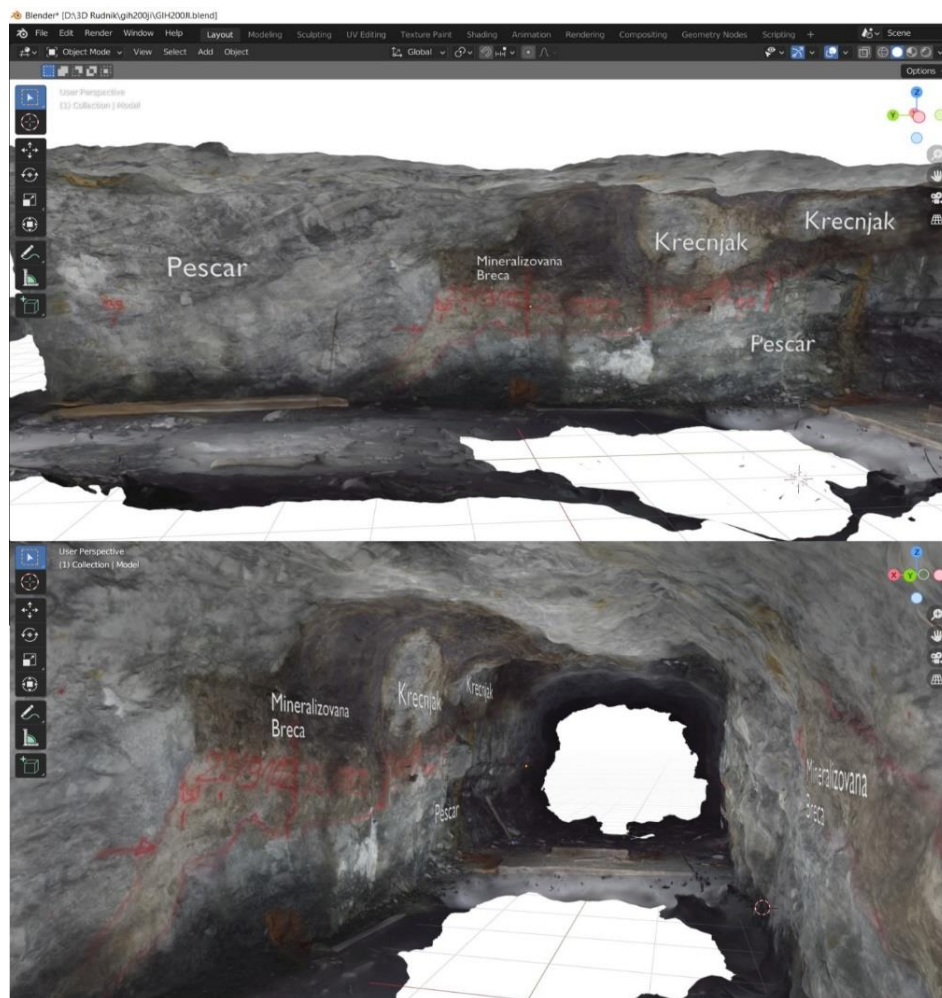
Na Slici 3 je obeležen deo kartiranog hodnika koji je fotografisan i hiperlinkovan. Fotografisanje ovog dela hodnika vršeno je u dva navrata: Prvi put nakon izrade hodnika (Slika 4), a drugi put nakon izvršenog istražnog bušenja (Slika 5).

Za prvi model ukupno je napravljena 61 fotografija telefonom Xiaomi M2101K6G, koje su potom iskorišćene za obradu, a za drugi model 303 fotografije telefonom Xiaomi M2003J15SC (Tabela 1). Vreme obrade zavisio je od broja slika, parametara koji su podešavani u programu i naravno karakteristika računara na kome su modeli obrađivani. Za prvi model trebalo je više vremena, s obzirom na to da su podešavanja postavljana na kvalitetniju obradu i proces obrade podataka trajao je više sati.

Drugom modelu postavljeni su minimalni parametri. Razlog je prethodno iskustvo sa izradom prvog modela, kao i broj slika koji je unet, pa je na osnovu toga za drugi model utrošeno značajno manje vremena za obradu.



Slika 4. Modelovani deo hodnika GIH-200/JI nakon izrade i kartiranja.



Slika 5. Modelovani deo hodnika GIH-200/JI nakon istražnog bušenja.

Kako je rečeno Slike 4 i 5 predstavljaju isti deo istražnog hodnika koji je u dva navrata fotografisan i modelovan. Posmatrajući ove dve slike, jasno se vidi šta se dešava sa bokovima hodnika pre i posle izvršenja određenih radova. Na ovom delu hodnika vršeno je istražno bušenje mašinom na dizel pogon.

Prilikom rada mašine došlo je do ispuštanja izduvnih gasova koji su se delom lepili za bokove i vremenom ih prekrivali, takođe je došlo i do oksidacije s obzirom na to da su površine bokova hodnika slobodne i pod uticajem su vode i vazduha. Određeni uticaj na kvalitet kreiranih modela ima i to što su slike fotografisane sa dva telefona različitih karakteristika kamere (Tabela 1).

Sa Slike 4 i 5 vidimo da je oksidacija dosta uticala na vizuelnu promenu. Kao primer uzmimo mineralizovanu breču. Sa Slike 4 vidimo da je mineralizovana breča pretežno žuto-braonkaste boje i da oksidacija nije mnogo uticala na njenu promenu, jer je hodnik fotografisan ubrzo nakon izrade. Sa Slike 5 jasno vidimo promenu mineralizovane breče oksidovanjem, iz žuto-braonkaste boje prešla je, većim delom u tamno teget-ljubičastu boju. Do ove promene je došlo jer je ovaj deo hodnika bio izložen spoljnim faktorima duži period, ali i radu istražnog bušenja.

Uticaj vremena i spoljašnjih faktora uticao je i na peščare, iako razlike nisu toliko izražene kao što je to slučaj sa mineralizovanom brečom. Spoljašnji faktori ipak nisu uticali na obeležene oznake (crvena farba) koje označavaju zonu kartiranja, oznaku proba i granice interesantnih delova hodnika.

Model hodnika sa Slike 4 fotografisan je i razvijen u septembru 2022. godine, dok je model hodnika sa Slike 5 fotografisan i izrađen u martu 2023. godine (šest meseci razlike). Kao što vidimo period od šest meseci je dovoljan da dođe do vizuelnih promena geoloških formacija uticajem spoljašnjih faktora na stenski masiv.

Na sledećem modelu prikazan je izgled podgrade niskozasvođenog profila (Slika 6), sa kojom se nekada podgrađivalo u rudniku Rudnik. Fotografisano je i iskorišćeno 149 slika za obradu. Postavke programa su unete tako da se za što kraće vreme obradi model. Za fotografisanje korišćen je fotoaparatus NIKON D3400 (Tabela 1).



Slika 6. Prikaz fotografisanog i razvijenog modela dela hodnika IH R podgrađenog niskozasvođenom čeličnom podgradom.

Model pruža uvid u stanje jamske podgrade. Na Slici 7 prikazan je isti deo hodnika i jasno se vidi da su podgradni okviri deformisani, i da je cela deonica trenutno neadekvatno podgrađena. Deformacije podgrade mogu biti posledica loše izvedenih radova na podgrađivanju - postavljanju okvira, nepažnjom rukovaoca samohodne dizel mehanizacije i udara prilikom prolaza ili jednostavno dugoročnog izlaganja podgradnih okvira uticaju podzemnog pritiska. Uticaj jamske atmosfere na drvene zalagače je takođe vidljiv na više mesta (nijanse žute boje koje se javljaju na drvenim zalagačima predstavljaju delove koji su u fazi truljenja).

Na obeleženom delu podgrade, na Slici 7, vidljiv je lom drvenih zalagača. Do loma je došlo verovatno zbog toga što drveni zalagači vremenom trule i drvo gubi svoje konstruktivne karakteristike.

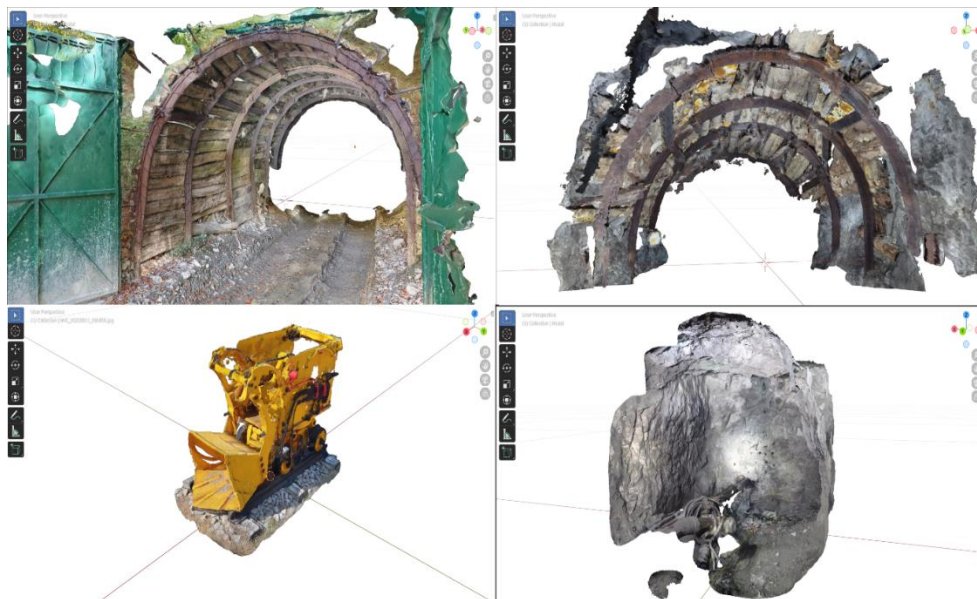


Slika 7. Prikaz dela podgrade na kojem se vidi oslabljena zona.

Pokazalo se da fotogrametrija, sa najosnovnijim foto-aparatom i softverskim paketima može da ima ulogu u praćenju stanja podzemnih prostorija i grubom praćenju razvoja deformacija metalnih okvira. Za veći efekat u smislu praćenja deformacija neophodno je izvršiti georefenciranje modela.

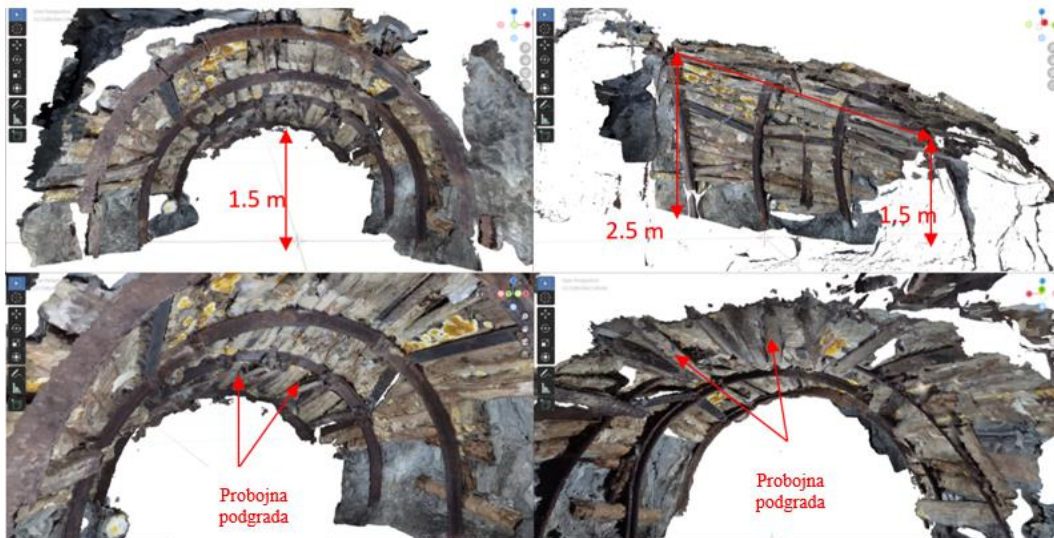
Prethodno opisani model svakako može biti od velike koristi za razne vidove obuke uz pomoć fotogrametrije i virtuelne stvarnosti. Razvojem više ovakvih modela gde su prisutne različite vrste podgrade, pravilno i nepravilno postavljene, može se formirati baza koje bi poslužila kao edukativni materijal za nove zaposlene ili đake i studente.

Na Slici 8 prikazani su još neki modeli koji su razvijeni u rudniku Rudnik i koji se mogu iskoristiti za analiziranje.



Slika 8. 3D modeli hodnika i mašina.

Na Slici 9 prikazan je deo hodnika iz više uglova koji prikazuje podgrađenu zonu u kojoj se javljaju veliki pritisci iz krovine i na taj način dolazi do smanjenja slobodne visine hodnika. Deo hodnika je prošao kroz glinovitu radnu sredinu i usled bubrenja je počeo da utanja usled izloženosti velikoj vrednosti podzemnog pritiska. Probojnom podgradom pokušano je da se stabilizuje deo hodnika, ali pritisci su toliko veliki da je i ona počela da popušta. Probojnu podgradu u ovom primeru čini kombinacija metalnih lučnih okvira sa šinama uz zalaganje drvenim zalagačima. Na Slici 9 obeležen je deo gde je postavljena probojna podgrada kao i visinsko smanjenje hodnika uzrokovano podzemnim pritiskom.



Slika 9. Model dela hodnika sa ugrađenom probojnom podgradom.

Hodnik je neaktivan i njime se ne kreće mehanizacija i ljudstvo, prema tome vrlo je verovatno da će u narednom periodu doći do još većeg popuštanja podgrade i utanjjanja, a samim tim zatvaranja ovog dela hodnika.

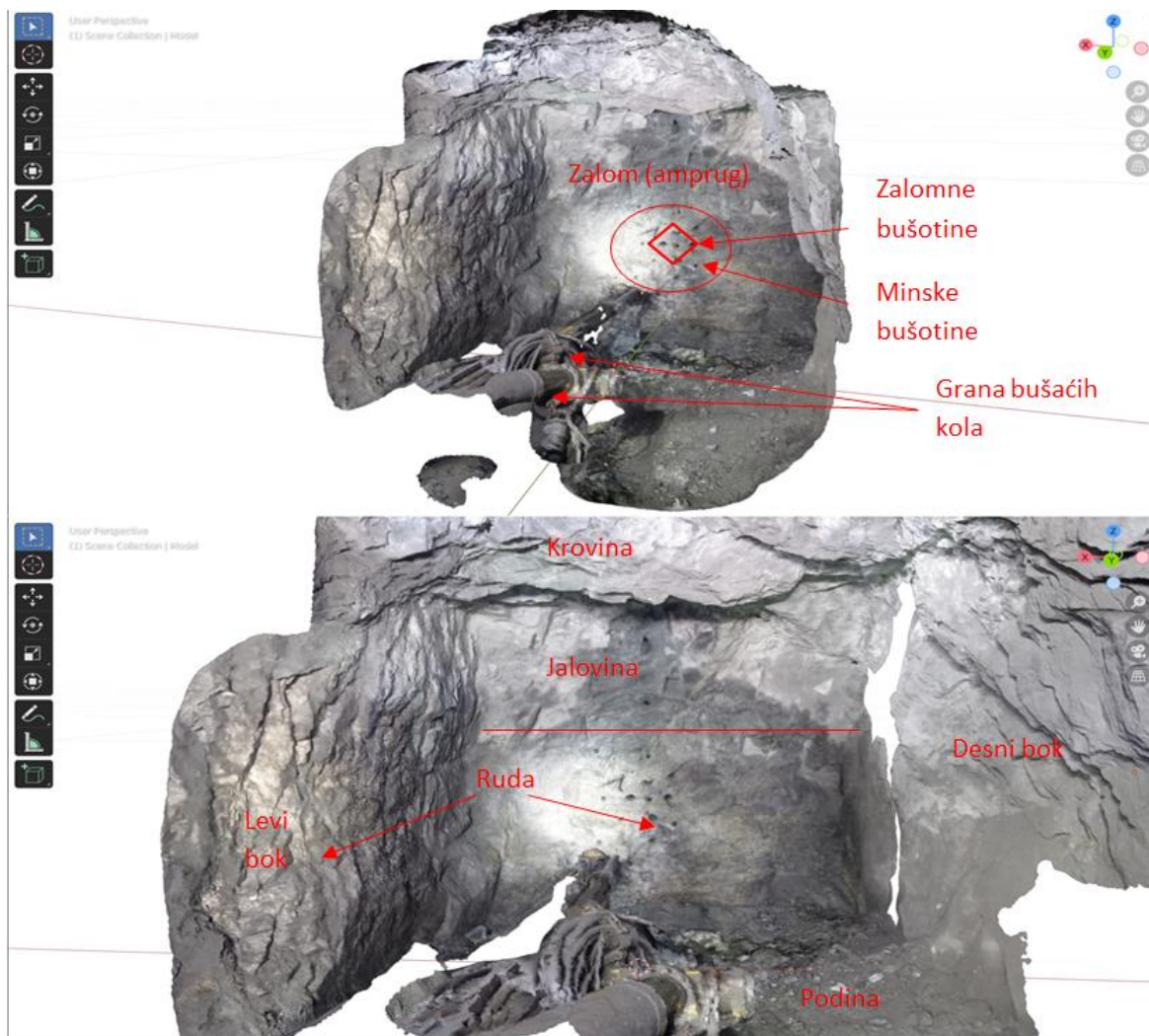
Na Slici 10 vidimo portal potkopa horizonta „-50“ (rudnik Rudnik čine 3 osnovna horizonta „±0“, „-50“ i „-150“ i nekoliko međuhorizontata). Ovaj 3D model predstavlja najkvalitetniji razvijeni 3D model uzimajući u obzir nivo vidljivih detalja i da skoro uopšte nema delova koji se ne poklapaju i šupljina. Razlog kvaliteta 3D modela prvenstveno se ogleda u dovoljnoj osvetljenosti odnosno izloženosti fotoaparata dnevnoj svetlosti.



Slika 10. 3D model dela potkopa na horizontu „-50“

Sledeći model prikazuje rad bušačkih kola na napadnom čelu jednog od otkopa u jami rudnika Rudnik. Na Slici 11 su obeleženi delovi otkopnog hodnika, pa tako možemo videti da je u gornjoj polovini slike označen i obeležen zalom. Odnosno, izbušene zalomne bušotine koje služe da stvore novu slobodnu površinu kako bi se izvršilo što efikasnije miniranje. U ovom slučaju vidimo 4 zalomne bušotine većeg prečnika (64 mm) koje su raspoređene u obliku zarotiranog kvadrata pod uglom od 45° (tip paralelnog

zaloma) i koje ostaju prazne. Vide se i minske bušotine (45 mm) koje se pune eksplozivom tipa Amonex ili Demulex. Na Slici 11 se vidi i grana bušačih kola Boomer (T1D) na kojoj se nalazi bušači čekić COP 1838. Na donjoj polovini Slike 11 vidimo obeležene delove hodnika i napadni front (čelo radilišta) na kom su razgraničene crvenom linijom zone sa rudom i jalovinom.



Slika 11. 3D model čela otkopnog hodnika.

Prilikom izrade modela fotogrametrijom treba imati u vidu da voda dosta utiče na kvalitet modela i to na način da delovi modela na kome ima vode obično budu prikazani kao šupljine, kao što se može videti na donjoj levoj strani hodnika.

Jedini 3D model koji je napravljen, a da se nalazio na površini, prikazan je na Slici 12. Takođe, jedini je model koji je fotografisan tako da se on nalazio u sredini, dok su fotografije urađene po kružnoj putanji usmerene ka modelu i na različitim visinama.

Ovakav model mogao bi da se koristi u kombinaciji sa pomešanom stvarnošću [5]. Princip bi bio, kameru mobilnog telefona usmeriti ka stvarnoj mašini i onda bi mogli da se ispišu određeni detalji na ekranu mobilnog telefona koji bi predstavljali naziv mašine, opis mašine, sastavne delove mašine, njenu namenu itd. Ovde je prikazan samo moguć primer upotrebe fotogrametrije u kombinaciji sa virtualizacijom.



Slika 12. 3D model utovarača.

4. Zaključak

Modeli su izrađeni sa namerom da se sagleda moguća primena fotogrametrije u rudarstvu na ovim prostorima. Posmatrajući kreirane modele vidimo da fotogrametrija, iako se već uveliko primenjuje u rudarstvu u svetu, ima veoma veliki potencijal. Primenu fotogrametrije imamo za potrebe analiza stabilnosti rudarskih radova, merenja i beleženja deformacija rudarskih radova, volumetrijskih merenja itd. Za kvalitetne i složene analize neophodno je koristiti visoko kvalitetnu opremu poput laserskih skenera i specijalno razvijenih kamera za snimanje u uslovima podzemne eksploatacije, čije cene se kreću i po više desetina hiljada evra pa su za manje rudnike, u smislu troškova, nepristupačni. Modeli prikazani u ovom radu razvijeni su korišćenjem foto-aparata koji su dostupni skoro svakom pojedincu, a samim tim i svakoj kompaniji. Pokazalo se da i sa nisko budžetnom opremom, manji rudnici poput rudnika Rudnik, mogu efikasno primenjivati nove tehnologije i tehnike. Sa primera ovih modela, moguća je primena u vidu skladištenja podataka i analiziranja u kombinaciji sa standardnim softverima koje rudnik koristi, u ovom slučaju AutoCAD za potrebe geologije i rudarstva. Ovakvi 3D modeli pružaju mogućnost pregleda jamskih prostorija bez potrebe silazaka u jamu i najbitnije od svega svakome može biti dostupno. Veoma značajnu ulogu imali bi i u konzervaciji rudnika za muzeje, gde bi trajno ostale zabeležene jamske prostorije kojim bi virtuelno mogle pristupiti buduće generacije. Osim rudarskih kompanija i muzeja, obrazovne ustanove, korišćenjem fotogrametrije u kombinaciji sa virtuelnom stvarnošću, imale bi velike koristi za obuke učenika i studenata kreiranjem različitih scenarija [19, 20, 21]. Primena fotogrametrije u korelaciji sa proširenom ili pomešanom stvarnošću daje još veći efekat. Povezanost sa „game engine“ softverima kao što su Unity3D [18] i slični znatno mogu upotpuniti sadržaje ovih modela i razvijati ih, kao i kreiranje realnih modela rudnika u Metaverse-u.

Literatura

- [1] Torkan, M., Janiszewski, M., Uotinen, L., & Rinne, M. (2023). Method to obtain 3D point clouds of tunnels using smartphone LiDAR and comparison to photogrammetry. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1124, No. 1, p. 012016). IOP Publishing
- [2] Gligorić, Z., Ganić, A., Milutinović, A., Cvijović, Č., Beljić, Č., Tokalić, R., Gluščević, B., Grozdanović, I., Lutovac, S., Gojković, Z., Gligorić, M. (2015) Tehničko rešenje: Monitoring i prognoza stanja podzemnih prostorija, Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet
- [3] Slaker, B. (2015). Monitoring underground mine displacement using photogrammetry and laser scanning (Doctoral dissertation, Virginia Tech), Chapter 2, page 28, 2015.
- [4] VIRTUALMINE (2023) – Website Accessed [10.07.2023.], Available online

[<https://virtualmine.net/index.html>] - as a modeling tool for Wider Society Learning

[5] Janeras, M., Roca, J., Gili, J. A., Pedraza, O., Magnusson, G., Núñez-Andrés, M. A., & Franklin, K. (2022). Using Mixed Reality for the Visualization and Dissemination of Complex 3D Models in Geoscience - Application to the Montserrat Massif (Spain). *Geosciences*, 12(10), 370

[6] Petar Jovanović (2007) *Rudarstvo na tlu Srbije - prva knjiga*, Jugoslovenska inženjerska akademija JINA, Beograd

[7] Slaker, B. A., Westman, E. C., Fahrman, B. P., & Luxbacher, M. (2013). Determination of volumetric changes from laser scanning at an underground limestone mine. *Mining Engineering*, 65(11)

[8] Slaker, B., & Westman, E. (2014). Identifying underground coal mine displacement through field and laboratory laser scanning. *Journal of Applied Remote Sensing*, 8(1), 083544-083544

[9] Slaker, B., Westman, E., Ellenberger, J., & Murphy, M. (2016). Determination of volumetric changes at an underground stone mine: a photogrammetry case study. *International Journal of Mining Science and Technology*, 26(1), 149-154

[10] B. A. Slaker, E. C. Westman (2015) *Monitoring underground mine displacement using photogrammetry and laser scanning* (Doctoral dissertation, Virginia Tech), Chapter 6, Time-Lapse Photogrammetric Monitoring of an Artificially Loaded Standing Roof Support

[11] CSIRO (2023) CSIRO Mining Geoscience, Sirovision, Website. Accessed [20.07.2023.], Available online [research.csiro.au/msci/projects/mining/sirovision]

[12] NIKON (2023) Website, catalogue. Accessed [21.07.2023.], Available online [www.nikonusa.com/en/nikon-products/product-archive/dslr-cameras/d3400.html]

[13] GSMARENA (2023a) Website, catalogue. Accessed [21.07.2023.], Available online [https://www.gsmarena.com/xiaomi_redmi_note_9-10192.php]

[14] GSMARENA (2023b) Website, catalogue. Accessed [21.07.2023.], Available online [https://www.gsmarena.com/xiaomi_redmi_note_10-10247.php]

[15] AGISOFT (2023) AGISOFT PhotoScan Professional software User Manual. Website. Accessed [25.07.2023.], Available online [<https://www.agisoft.com>]

[16] PIX-PRO (2023) Website, Accessed [01.08.2023.], Available online [<https://www.pix-pro.com/blog/post/photogrammetry-pc>]

[17] BLENDER (2023) BLENDER Software User Manual. Website. Accessed [25.07.2023.], Available online [<https://www.blender.org/>]

[18] Bellanca, J. L., Orr, T. J., Helfrich, W. J., Macdonald, B., Navoyski, J., & Demich, B. (2019). Developing a virtual reality environment for mining research. *Mining, metallurgy & exploration*, 36, 597-606

[19] Tichon, J., & Burgess-Limerick, R. (2011). A review of virtual reality as a medium for safety related training in mining. *Journal of Health & Safety Research & Practice*, 3(1), 33-40

[20] Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., & DeFanti, T. A. (2023). Surround-screen projection-based virtual reality: the design and implementation of the CAVE. In *Seminal Graphics Papers: Pushing the Boundaries*, Volume 2 (pp. 51-58)

[21] Orr, T. J., Mallet, L. G., & Margolis, K. A. (2009). Enhanced fire escape training for mine workers using virtual reality simulation. *Mining Engineering*, 61(11), 41



INDEKSI KONTROLE ODRŽAVANJA I KORIŠĆENJA ROTORNOG BAGERA

INDEXES FOR MAINTENANCE AND OPERATION CONTROL OF A BUCKET WHEEL EXCAVATOR

Mitrović J.,¹ Jovančić P.,² Ignjatović D.,³ Đenadić S.,⁴ Miletić F.⁵

Apstrakt

Razvoj površinske eksploatacije se u velikom stepenu zasniva na svestranjoj mehanizaciji rudarskih radova. Kako bi se zadovoljili potrebni kapaciteti, neophodna je primena savremene mehanizacije, velikih kapaciteta i pouzdanosti u radu. Naime, sa stepenom povećanja mehanizovanosti radova smanjuje se broj zaposlenih radnika, povećava produktivnost rada, smanjuju troškovi po jedinici proizvoda, a samim tim i povećava ekonomičnost površinske eksploatacije. Predmet istraživanja su rotorni bageri SRs 1200 koji predstavljaju samohodne mašine kontinuiranog dejstva namenjene za otkopavanje jalovine i korisne supstance na površinskim kopovima. U ovom radu korišćeni su indeksi kontrole održavanja rotornih bagera i indeksi korišćenja rotornih bagera, na osnovu kojih je izvršeno rangiranje rotornih bagera metodom TOPSIS koja se zasniva na konceptu da odabrana alternativa treba imati najkraću udaljenost od pozitivnog idealnog rešenja, odnosno najveću udaljenost od negativnog idealnog rešenja.

Ključne reči: rudarstvo, rotorni bager, indeksi održavanja, indeksi korišćenja, TOPSIS

Abstract

The development of surface mining relies heavily on versatile mechanization of mining operations. To meet the required capacities, the application of modern machinery with high capacity and reliability in operation is essential. Namely, as mechanization levels increase, the number of employed workers decreases, productivity rises, costs per unit of production decrease, thus enhancing the economic efficiency of surface mining. The research subject is the SRs 1200 bucket wheel excavators, which represent self-propelled continuous action machines designed for excavation of overburden and valuable substances in surface mines. This paper employs maintenance control indices and usage indices of bucket wheel excavators, based on which a ranking of the excavators is conducted using the TOPSIS method, which is based on the concept that the selected alternative should have the shortest distance to the positive ideal solution and the farthest distance from the negative ideal solution.

Keywords: mining, bucket-wheel excavator, maintenance indexes, usage indexes, TOPSIS

1. Uvod

Rudarska proizvodnja predstavlja toplotnu i sirovinsku bazu savremene industrije. Razvoj površinske eksploatacije se u velikom stepenu zasniva na svestranjoj mehanizaciji rudarskih radova. Naime, sa stepenom povećanja mehanizovanosti radova smanjuje se broj zaposlenih radnika, povećava produktivnost rada, smanjuju troškovi po jedinici proizvoda, a samim tim i povećava ekonomičnost

¹ Jovana Mitrović, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

² Predrag Jovančić, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

³ Dragan Ignjatović, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

⁴ Stevan Đenadić, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

⁵ Filip Miletić, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

površinske eksploatacije. Rotorni bager predstavlja samohodnu mašinu kontinuiranog dejstva, namenjenu za otkopavanje jalovine i korisne mineralne sirovine na površinskim kopovima. Veličina, oblik i konstrukcija rotornog bagera zavise posebno od zahtevanog kapaciteta, načina utovara materijala, i specifičnih uslova rada na kopu. U ovom radu analizirani su indeksi kontrole održavanja i korišćenja rotornih bagera klase SRs 1200. Svih 5 bagera nalaze se u kolubarskom basenu, na površinskim kopovima Polje B/C i Polje D. Proračunom indeksa izvršeno je rangiranje bagera primenom višekriterijumske metode TOPSIS, u kojoj odabrana alternativa treba da ima najkraće rastojanje od pozitivnog idealnog rešenja, a najdalje rastojanje od negativnog idealnog rešenja.

2. Rotorni bageri SRs1200

Objekat istraživanja su 5 rotornih bagera koji se nalaze na PK Polje B/C i PK Polje D, a to su:

- SRs 1200.22/2 (G-1)
- SRs 1200.24/4 (G-3)
- SRs 1200.24/4 (G-4)
- SRs 1200.24/4 (G-5)
- SRs 1200.24/4 (G-6)

Ovi bageri su nemačke proizvodnje, odnosno kompanije TAKRAF. Počeli su da rade u okviru kolubarskog basena i to: SRs 1200.22/2 (G-1) od 1967. godine; SRs 1200.24/4 (G-3) od 1968. godine; SRs 1200.24/4 (G-4) od 1975. godine; SRs 1200.24/4 (G-5) od 1976. godine; SRs 1200.24/4 (G-6) od 1976. godine; Prosečna starost ovih bagera je preko 50 godina.

3. Definisane ulaznih parametara

Ulazni parametri, koji su dobijeni višegodišnjim praćenjem rada analiziranih rotornih bagera odnose se na:

- ostvarenu proizvodnju,
- vreme rada,
- trajanje mašinskih, elektro i vulkanizerskih zastoja,
- masu bagera,
- teoretski kapacitet,
- instalisanu snagu pogona rotora,
- jediničnu snagu,
- koeficijente vremenskog i kapacitetnog iskorišćenja,
- vreme trajanja servisa i remonta.

U daljoj analizi korišćeni su podaci u periodu od 2008. do 2018. godine.

U Tabeli 1 dati su podaci o ukupnom i prosečnom vremenu trajanja servisa i remonta, dok su u Tabeli 2 dati podaci za koeficijente vremenskog i kapacitetnog iskorišćenja i odnos R_{eta} . U Tabeli 3 dati su ukupni troškovi održavanja, a u Tabeli 4 je data ukupna proizvodnja.

Tabela 1. Vremenski resursi servisnih i remontnih aktivnosti

Basen	Bager	Period	Servis		Remont	
			Ukupno [h]	Prosek [h/god]	Ukupno [h]	Prosek [h/god]
Kolubara	SRs 1200.22/2 (G1)	2008-2018	1038	87	7408	741
	SRs 1200.24/4 (G3)	2008-2018	1381	126	6884	688
	SRs 1200.24/4 (G4)	2008-2018	1702	155	4507	451
	SRs 1200.24/4 (G5)	2008-2018	1511	126	11283	1128
	SRs 1200.24/4 (G6)	2008-2018	1134	95	9526	953
Prosek			1353	118	7922	792

Tabela 2. Vremenski resursi remontnih aktivnosti

Basen	Bager	Prosek trajanja remonta T_R	Koeffcijent iskorišćenja		Ukupno iskorišćenje $\eta_{TQ} = \eta_T \cdot \eta_Q$	Odnos $R_{eta} = T_R / \eta_{TQ}$
			η_T	η_Q		
Kolubara	SRs 1200.22/2 (G1)	741	0.326	0.257	0.083	10048
	SRs 1200.24/4 (G3)	698	0.412	0.380	0.157	4592
	SRs 1200.24/4 (G4)	451	0.507	0.353	0.179	2760
	SRs 1200.24/4 (G5)	1128	0.443	0.295	0.131	8473
	SRs 1200.24/4 (G6)	953	0.431	0.287	0.124	7548

Tabela 3. Ukupni troškovi održavanja [novčana jedinica / evro]

Godina	Analizirani rotorni bageri				
	SRs.1200 (G1)	SRs.1200 (G3)	SRs.1200 (G4)	SRs.1200 (G5)	SRs.1200 (G6)
2008	954241	350926	236532	538905	606585
2009	689596	747624	117558	348661	325665
2010	370326	314326	253264	419844	353555
2011	288420	710796	663894	471635	512478
2012	152583	610057	291608	193657	344194
2013	141640	228302	264241	149967	0
2014	206593	251792	236643	82208	0
2015	233740	427623	303455	129116	307782
2016	0	551407	293334	380715	179500
2017	0	304807	508819	153454	388927
2018	261530	444002	396664	261182	87131
Ukupno	3298668	4941662	3566014	3129342	3105816

Tabela 4. Ukupna proizvodnja [m^3 , t]

Godina	Analizirani rotorni bageri				
	SRs.1200 (G1)	SRs.1200 (G3)	SRs.1200 (G4)	SRs.1200 (G5)	SRs.1200 (G6)
2008	7104452	5813180	6899038	6339336	5324872
2009	5824274	5187650	4361643	4203610	4457998
2010	883662	5437832	5385246	4295272	4076235
2011	4800584	3735634	3850739	4749320	3829687
2012	3514701	1426811	3547178	3265442	4145487
2013	1377879	5517981	5079242	3743978	4269624
2014	780929	4737408	4654674	4001637	3591069
2015	435721	1080000	3060646	2785132	2408629
2016	1639090	680790	3432780	2460599	3119934
2017	0	3476883	4871807	3229441	3306380
2018	1.224.059	2.756.702	4637821	1196456	1.629.759
Ukupno	27585351	39850871	49780814	40270223	40159674

4. Indeksi kontrole održavanja

Menadžment održavanja koristi različite pristupe za merenje funkcije efikasnosti održavanja. Često se koriste indeksi za upravljanje i kontrolu održavanja. Ovi indeksi pokazuju trend na osnovu istorijata, odnosno starih podataka, koji predstavljaju referentnu tačku za poređenje. U organizaciji održavanja koriste se različiti indeksi za merenje efikasnosti održavanja jer ne postoji nijedan indeks koji može precizno da definiše ukupne performanse aktivnosti održavanja.

Postoje dve grupe indeksa kontrole održavanja, a to su opšti i specifični indeksi. Opšti indeksi ukazuju

na preference u vezi sa održavanjem, a specifični indeksi na performanse u nekoj oblasti održavanja. Od značaja za dalju analizu biće samo opšti indeks I_2 koji predstavlja odnos između ukupnih troškova održavanja i ukupne proizvodnje.

$$I_2 = \frac{UTO}{UPj}$$

gde je:

UTO – ukupni troškovi održavanja [novčana jedinica],

UPj – ukupna proizvodnja [m^3, t, MW].

U indekse kontrole održavanja spadaju i parametri održavanja, a to su mašinski, elektro i vulkanizerski zastoji, kao i tehnička raspoloživost. Takođe, može se svrstati i Reta, koji predstavlja odnos između prosečnog vremena trajanja remonta i ukupnog koeficijenta iskorišćenja.

5. Indeksi korišćenja rotornog bagera

Indeksi korišćenja rotornog bagera svrstavaju se u tri grupe: *Tehnički parametri*, *Radni parametri* i *Ekonomski parametri*. Tehnički parametri i jednačine za njihov proračun date su u Tabeli 5.

Tabela 5. Tehnički parametri rotornog bagera

Gartner 3	$\frac{G}{Q_t * (L_k + L_p)}$
Lauchheimer	$\frac{G}{Q_t * (H_k + H_d)}$
Odnos težine prema kapacitetu	$\frac{G}{Q_t}$
Odnos težine i snage pogona točka	$\frac{G}{N_{rt}}$
Odnos instalisane snage i težine	$\frac{N_{ins}}{G}$
Odnos instalisane snage i kapaciteta	$\frac{N_{ins}}{Q_t}$

U eksploataciono–radne parametre spadaju:

- Prosečni koeficijent vremenskog iskorišćenja i
- Prosečni koeficijent kapacitetnog iskorišćenja.

Sa aspekta ekonomskih parametara, razmatrana je specifična potrošnja električne energije.

6. Izračunavanje indeksa održavanja

Indeks koji se odnosi na ukupne troškove održavanja u odnosu na proizvodnju od strane preduzeća. Povoljnije je da je ovaj indeks što manji, tako da najbolje karakteristike pokazuje bager G4 (Tabela 6).

Tabela 6. Indeks koji se odnosi na ukupne troškove održavanja u odnosu na ukupnu proizvodnju

	G1	G3	G4	G5	G6
<i>UTO</i>	3298668	4941662	3566014	3129342	3105816
<i>UP</i>	27585351	39850871	49780814	40270223	40159674
<i>I₂</i>	0,120	0,124	0,072	0,078	0,078

U Tabeli 7 nalaze se podaci o vremenu rada i vremenu trajanja zastoja. Stavljanjem u odnos vreme rada i zbir vremena rada, mašinskih, elektro i vulkanizerskih radova dobija se raspoloživost. Raspoloživost je povoljnija što je bliža jedinici. Od analiziranih 5 bagera, najveću raspoloživost ima bager **G4**, a najmanju bager G6.

Tabela 7. Parametri održavanja rotornih bagera SRs1200

	G1	G3	G4	G5	G6
Vreme rada	34511	42991	56952	53027	52229
Mašinski zastoji	5118	6759	6397	7365	9805
Elektro zastoji	2711	2480	3807	3048	3702
Vulkanizerski zastoji	2658	3283	4849	6904	8521
Prosečni mašinski zastoji	366	520	492	526	265
Prosečni elektro zastoji	194	215	393	218	700
Prosečni vulkanizerski zastoji	190	298	373	493	609
Raspoloživost	0.767	0.774	0.791	0.754	0.703

U Tabeli 8 izvršeno je rangiranje prema kriterijumu uspešnosti remonata. Najbolje rangiran bager ima najmanji odnos R_{eta} .

Tabela 8. Rangiranje bagera po kriterijumu uspešnosti remonata

Bager	Prosek trajanja remonta T_R	Odnos $R_{eta} = T_R/\eta_{TQ}$	Rang
SRs 1200.24/4 (G4)	451	2760	I
SRs 1200.24/4 (G3)	698	4592	II
SRs 1200.22/2 (G1)	741	10048	V
SRs 1200.24/4 (G6)	953	7548	III
SRs 1200.24/4 (G5)	1128	8473	IV

7. Izračunavanje indeksa korišćenja

Tehnički parametri rotornih bagera izračunavaju se prema jednačinama datim u Tabeli 5. Rezultati analize prikazani su u Tabeli 9.

Tabela 9. Tehnički parametri rotornih bagera

	G1	G3	G4	G5	G6
Gartner 3	4,680	4,752	4,752	4,752	4,752
Lauchhammer	0.168	0.154	0.154	0.154	0.154
Odnos težine prema kapacitetu	4.029	4.326	4.326	4.326	4.326
Odnos težine i snage pogona točka	2,387	3,820	3,820	3,820	3,820
Odnos instalisane snage i težine	0.129	0.105	0.105	0.105	0.105
Odnos instalisane snage i kapaciteta	0.522	0.456	0.456	0.456	0.456

U Tabeli 10 nalaze se podaci o prosečnoj proizvodnji, radnom vremenu i koeficijentima vremenskog i kapacitetnog iskorišćenja. Najbolje eksploataciono-radne parametre ima bager G4.

Tabela 10. Eksploataciono-radni parametri rotornih bagera

	G1	G3	G4	G5	G6
Prosečna proizvodnja, [miliona tona, m ³]	3,73	5,13	5,65	5,14	5,14
Prosečno radno vreme, [h]	3481	4094	4421	4348	4274
Prosečni koeficijent vremenskog iskorišćenja	0,511	0,520	0,469	0,554	0,481
Prosečni koeficijent kapacitetnog iskorišćenja	0,369	0,355	0,369	0,360	0,321

Specifična potrošnja električne energije predstavlja jedini ekonomski parametar koji će se ući u analizu (Tabela 11). Predstavlja odnos između proizvoda vremena rada i proizvodnje i vremena rada.

$$SPECIFIČNA\ POTROŠNJA\ ELEKTRIČNE\ ENERGIJE = \frac{N_{jed} * VREME\ RADA}{PROIZVODNJA}$$

Tabela 11. Specifična potrošnja električne energije razmatranih bagera

	G1	G3	G4	G5	G6
Specifična potrošnja električne energije, [kWh/m ³]	1,182	0,883	0,865	0,936	0,920

8. Zbirni pokazatelji rada rotornih bagera

Nakon izvršenog proračuna indeksa održavanja i korišćenja rotornih bagera, dobijene rezultate potrebno je rangirati, od najbolje do najgore alternative. Rangiranje se vrši primenom višekriterijumske metode TOPSIS, kod koje odabrana alternativa treba da ima najkraću udaljenost od pozitivnog idealnog rešenja, a najveću udaljenost od negativnog idealnog rešenja. Zavisno o vrsti podataka, idealno rešenje može imati karakteristike maksimuma (max) ili minimuma (min). Prednost ove metode je što se poredenje vrši prema najboljoj vrednosti iz razmatranog skupa, što značajno smanjuje subjektivnost donosioca odluka. Algoritam metode se sastoji iz sledećih koraka:

Korak 1 – formiranje matrice M koja se sastoji od m alternativa i n kriterijuma:

$$M_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

Korak 2 – Normalizacija matrice (r_{ij}):

gde x_{ij} (za $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$) predstavlja rangiranje i -te alternative prema tom kriterijumu.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n$$

Korak 3 – Dodela težinskih vrednosti normalizovanim vrednostima pomoću koeficijenata koji predstavljaju izlazne vrednosti:

$$p_{ij} = W_i \cdot r_{ij}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n$$

Korak 4 – Izbor pozitivnog idealnog i negativno idealnog rešenja (A^+ , A^-) iz težinskih vrednosti (p_{ij}) u skladu sa definisanim preferencijama (max/min):

$$A^+ = ({}^{MAX}_{i \neq 0} p_{ij} | j \in J'), ({}^{MIN}_{i \neq 0} p_{ij} | j \in J'') = \{p_1, p_2, \dots, p_j, \dots, p_n\}$$

$$A^- = ({}^{MIN}_{i \neq 0} p_{ij} | j \in J'), ({}^{MAX}_{i \neq 0} p_{ij} | j \in J'') = \{p_1, p_2, \dots, p_j, \dots, p_n\}$$

Korak 5 – određivanje udaljenosti za svaku alternativu od pozitivno idealnog i negativno idealnog rešenja:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_{ij} - p_j^+)^2}$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_{ij} - p_j^-)^2}$$

Korak 6 – Računanje relativne blizine (C_i) alternative prema idealnom rešenju. Vrednost (C_i) je u rasponu od 0 do 1. Što je vrednost (C_i) bliža 1, to je veći prioritet i -te alternative.

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+}, 0 \leq C_i \leq 1$$

Korak 7 – Rangiranje alternativa prema vrednosti (C_i) od najviše do najniže.

Rang vrednost C_i poređanih u opadajući niz (od najveće do najmanje vrednosti) odgovara rang u alternativa A_i (od najbolje do najlošije).

9. Rezultati analize

Ocena efikasnosti ispitivanih sistema će obuhvatiti period od 10 godina, uz primenu unapred definisanih kriterijuma. U Tabeli 12 prikazana je M matrica sa n kriterijuma i m alternativa. Alternative

predstavljaju rotorni bageri, a kriterijume proračunati parametri. Svaki kriterijum ima svoju preferenciju, koja može biti maksimalna i minimalna. Relativna blizina i rang alternativa dati su u Tabeli 13.

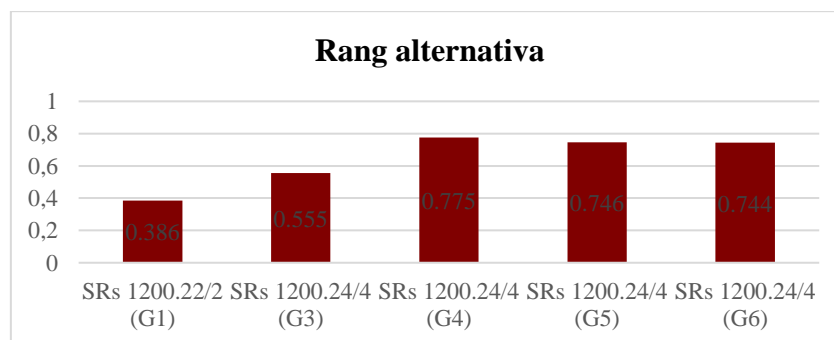
Tabela 12. Vrednosti tehničkih, radno–eksploatacionih i parametara održavanja

Pokazatelji	Preferencije	Bageri				
		G1	G3	G4	G5	G6
I_2	MIN	0.120	0.124	0.072	0.078	0.078
Raspoloživost	MAX	0.767	0.774	0.791	0.754	0.703
Odnos <i>Reta</i>	MIN	10048	4592	2760	8473	7548
Gartner 3	MIN	4.680	4.752	4.752	4.752	4.752
Lauchhammer	MIN	0.168	0.154	0.154	0.154	0.154
Odnos težine prema kapacitetu	MIN	4.029	4.326	4.326	4.326	4.326
Odnos težine i snage pogona točka	MIN	2.387	3.820	3.820	3.820	3.820
Odnos instalisane snage i težine	MIN	0.129	0.105	0.105	0.105	0.105
Odnos instalisane snage i kapaciteta	MIN	0.522	0.456	0.456	0.456	0.456
Prosečni koeficijent vremenskog iskorišćenja	MAX	0.511	0.520	0.469	0.554	0.481
Prosečni koeficijent vremenskog iskorišćenja	MAX	0.369	0.355	0.369	0.360	0.321
Specifična potrošnja električne energije, [kWh/m ³]	MIN	0.182	0.883	0.865	0.936	0.920

Tabela 13. Relativna blizina i rang alternativa

Bager	C_i	Rang
SRs 1200.22/2 (G1)	0.386	5
SRs 1200.24/4 (G3)	0.555	4
SRs 1200.24/4 (G4)	0.775	1
SRs 1200.24/4 (G5)	0.746	2
SRs 1200.24/4 (G6)	0.744	3

Na Slici 1 dat je grafički prikaz rangiranja analiziranih rotornih bagera.



Slika 1. Rangiranje rotornih bagera primenom TOPSIS metode

10. Zaključak

U radu su analizirane tehničko-tehnološke karakteristike rotornih bagera, sa posebnim osvrtom na rotorne bagere klase 1200. Korišćeni su indeksi kontrole održavanja kao što je indeks I_2 koji se odnosi na ukupne troškove održavanja u odnosu na proizvodnju od strane preduzeća, vreme rada, prosečni mašinski, elektro i vulkanizerski zastoji i indeksi korišćenja u koje spadaju tehnički i radno-eksploatacioni indeksi korišćenja, na osnovu kojih je izvršen proračun ostvarenih parametara održavanja i korišćenja.

Na osnovu primenjene metodologije, analizom proračunatih indeksa, izvršeno je korišćenjem višekriterijumske metode TOPSIS, koja se zasniva na konceptu da odabrana alternativa treba imati najkraću udaljenost od pozitivnog idealnog rešenja, odnosno najveću udaljenost od negativnog idealnog rešenja, rangiranje bagera klase SRs 1200. Rezultati analize pokazali su da rotorni bager SRs 1200.24/4 (G4) ima najbolje pokazatelje, a zatim bager SRs 1200.24/4 (G5). Najlošije pokazatelje ima bager SRs 1200.22/2 (G1).

Literatura

- [1] Ignjatović D., Skripta iz predmeta Mašine za površinsku eksploataciju - I deo, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko–geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2021.
- [2] Ignjatović D., Skripta iz predmeta Mašine za površinsku eksploataciju - II deo, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko–geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2020.
- [3] Ignjatović D., Skripta iz predmeta Rudarske mašine - predavanje broj 7, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko–geološki fakultet, 2019.
- [4] Studija izvodljivosti unapređenja procesa održavanja rudarske mehanizacije uvođenjem sistema agregatne zamene, Mašinski fakultet i Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 2021.
- [5] Jovančić P., Održavanje rudarskih mašina, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko–geološki fakultet, 2014.
- [6] Savkovic, S., Jovancic, P.D., Djenadic, S., Tanasijevic, M., Miletic, F. (2022) Development of the hybrid MCDM model for evaluating and selecting bucket wheel excavators for the modernization process. *Expert Systems with Applications*, 201, 117199.
- [7] Ignjatović D., Đenadić S. (2023), Rudarske mašine, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko–geološki fakultet
- [8] Đenadić, S.; Jovančić P.; Ignjatović D.; Tanasijević, M.; Miletić, F. Effectiveness analysis of different bucket-wheel excavators. In *Proceedings of the 8th International Conference Mining and Environmental Protection, Sokobanja, Srbija, 22-25 Septembar 2021*.
- [9] Đenadić, S.; Jovančić P.; Ignjatović D.; Miletić, F.; Janković, I. Analysis of the application of multi-criteria methods in optimizing the selection of hydraulic excavators on open-cast coal mining. *Tehnika*, 2019, 70(3), pp. 369-377. <https://doi.org/10.5937/tehnika1903369D>
- [10] García-Cascales, M. S.; Lamata, M. T. On rank reversal and TOPSIS method. *Mathematical and Computer Modelling*, 2012, 56(5-6), pp. 123-132. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2011.12.022>
- [11] Krohling, R.A.; Pacheco, A.G.C. A-TOPSIS - An Approach Based on TOPSIS for Ranking Evolutionary Algorithms. *Procedia Computer Science*, 2015, 55, pp. 308–317. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.054>
- [12] Singh, R. K.; Benyoucef, L. Fuzzy Logic and Interval Arithmetic-Based TOPSIS Method for Multicriteria Reverse Auctions. *Service Science*, 2012, 4(2), pp. 101-117. <https://doi.org/10.1287/serv.1120.0009>



A CRITICAL LOOK AT RAW MATERIALS CRITICALITY

De Oliveira. D. P. S.^{1, 2}

Abstract

In the eve of the proposed Critical Raw Materials Act published in March of 2023, Europe has realized that even with already predicted exponential growth in raw materials supply, the situation remains critical with regards provision of these (critical) raw materials (CRM). The various initiatives led by the EU Commission starting with the Raw Materials Initiative in 2008, the various CRM lists (2011, 2014, 2017, 2020 and 2023), the launch of several dedicated CRM task forces (e.g., ERECON), alliances (E.G., ERMA) and the objectives of the EU Green Deal mean that in a few short years, 7 in fact, the EU needs to find new sources for CRM. An impossible task.

Keywords: *Criticality, Raw Materials, EU Initiatives*

1. Introduction

Mineral raw materials are vital for economic and technological development, are essential for the sustainable functioning of modern societies, and are increasingly important for the competitiveness of industry, for innovation and for the transition to a low-carbon, circular economy. When the supply of these raw materials is in question, the concept of raw material or mineral criticality steps in. By definition, a critical mineral is therefore, a metallic or non-metallic element that has two fundamental characteristics: a. it is essential for the functioning of our modern technologies, economies or national security and, b. there is a risk that its supply chains could be disrupted.

Mineral criticality refers to the degree of importance and vulnerability of certain minerals or elements to supply disruptions, which can realized lead to higher costs and economic instability. Factors affecting criticality are often due to geopolitical instability, limited availability, or high demand in various industries. Mineral raw materials criticality impacts economies, national security, technology, and the environment. Understanding, mapping and managing the criticality of minerals is crucial for ensuring a sustainable and resilient future.

Mineral raw materials are vital for economic and technological development, are essential for the sustainable functioning of modern societies, and are increasingly important for the competitiveness of industry, for innovation and for the transition to a low-carbon, circular economy instead of a linear economy. Additionally, raw materials are the key enablers of many critical sectors of the economy, such as the automotive, electronic, and manufacturing industries [1-2]. In general, criticality is important because of: a. Economic Significance; b. National Security; c. Energy Transition; d. Innovation and Technology; e. Environmental Concerns; f. Supply Chain Resilience; g. International Trade; h. Future Resource Availability; i. Social and Ethical Concerns; and j. Policy and Investment.

This study investigates the evolution of critical minerals and what we have achieved to minimize dependency and what still needs to be done in that aspect.

¹ De Oliveira, Daniel P. S., Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Lisbon, Portugal, daniel.oliveira@lneg.pt

² Mineral Resources Expert Group, EuroGeoSurveys, Brussels, Belgium, daniel.oliveira@lneg.pt

2. EU initiatives on criticality

The EU is continually taking steps to address the issue of critical raw materials (CRM) supply security. The EU has developed a list of CRM and strengthened the cooperation between industry, research institutions, and public authorities by establishing a European Raw Materials Alliance (ERMA) to address the strategic challenges of securing a sustainable and competitive supply of CRM. The EU is also investing in research and innovation to develop new technologies and processes that reduce the use of CRMs and improve recycling and recovery.

The criticality of raw materials and the successively published lists of the critical raw materials (CRM) [3-7] and the proposed Critical Raw Materials Act [8-9] are an excellent guide for knowing the latest trends in mineral intelligence needs in Europe. They provide targets for specialized research on sourcing these mineral raw materials.

Figure 1 shows the chronology of the most important initiatives by the EU Commission with regards to mineral criticality and sustainability.

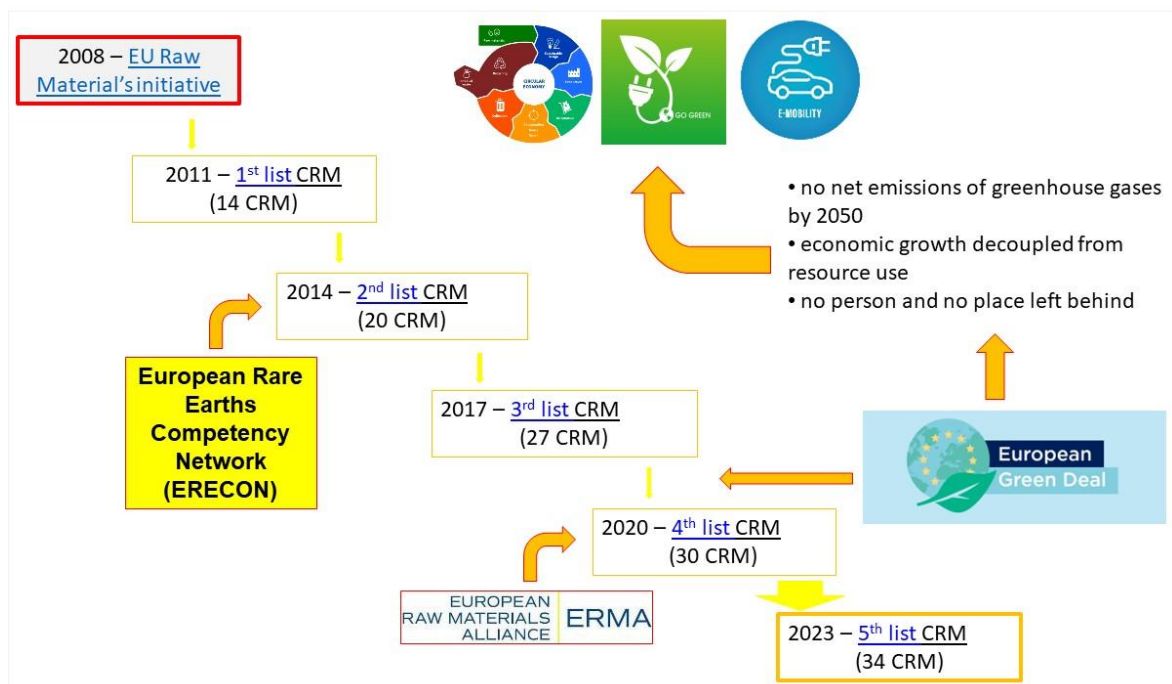


Figure 1. Diagram showing the chronology of initiatives by the EU Commission to combat criticality. The proposed Critical Raw Material Act is not shown here as it is not yet final and adopted as legislation.

2.1. The list of critical raw materials

The first list of Critical Raw Materials was published in 2011 and successive lists have since then been published almost every three years resulting in a total of 5 lists; the last having been published in the first quarter of 2023 [3-7]. Figure 1 shows that the number of recognized CRM has grown from 14 to 34. Most listed CRM repeat from list to list and the practical result is that in the dozen years since the list has been published, only two CRM have left the list: chromium and indium.

2.2. ERECON

The „E-concerns“ by the EU Commission dealing with rare earth elements, permanent magnets and motors, were precursored by the European Rare Earths Competency Network (ERECON), which was made up of three groups tackling the following issues: a. opportunities and roadblocks for primary supply of rare earths in Europe; b. European rare earths resource efficiency and recycling and c. European end-user industries and rare earths supply trends and challenges [10].

2.3. The EU Green Deal

The European Green Deal is a comprehensive and ambitious set of policy initiatives and strategies developed by the EU to address climate change, promote environmental sustainability, and foster economic growth and innovation. It was boldly officially introduced by the EU Commission in December 2019 as a central pillar of the EU's agenda for the next decade. The European Green Deal aims to transform the European Union into a climate-neutral, green, and circular economy by 2050. Measures accompanied with an initial roadmap of key policies range from ambitiously cutting emissions, to investing in cutting-edge research and innovation, to preserving Europe's natural environment [11].

2.4. The Critical Raw Materials Act

While demand for critical raw materials is projected to increase drastically, Europe heavily relies on imports, often from quasi-monopolistic third country suppliers. The EU needs to mitigate the risks for supply chains related to such strategic dependencies to enhance its economic resilience, as highlighted by shortages in the aftermath of the Covid-19 and the energy crisis following Russia's invasion of Ukraine. This can put at risk the EU's efforts to meet its climate and digital objectives. In 2023, the Commission proposed a comprehensive set of actions to ensure the EU's access to a secure, diversified, affordable and sustainable supply of critical raw materials [9].

The Regulation and Communication on critical raw materials adopted aims to leverage the strengths and opportunities of the Single Market and the EU's external partnerships to diversify and enhance the resilience of EU critical raw material supply chains. The Critical Raw Materials Act (CRMA) also improves the EU capacity to monitor and mitigate risks of disruptions and enhances circularity and sustainability. In specific targets, the CRMA aims to: a. at least 10% of the EU's annual consumption for extraction, b. at least 40% of the EU's annual consumption for processing, c. at least 15% of the EU's annual consumption for recycling, and d. not more than 65% of the Union's annual consumption of each strategic raw material at any relevant stage of processing from a single third country.

2.5. ERMA

In 2020 the EU launched the European Raw Materials Alliance (ERMA), which aims to build resilience and strategic autonomy for Europe's rare earth and magnet value chains. It will identify barriers, opportunities and investment possibilities in the raw materials value chain, while also addressing sustainability and social impact. Specifically, the alliance addresses the challenge of securing access to sustainable raw materials, advanced materials, and industrial processing know-how. By 2030, ERMA's activities will increase the production of raw and advanced materials and address circular economy by boosting the recovery and recycling of critical raw materials. More specifically, the alliance will a. bolster the creation of environmentally sustainable and socially equitable innovations and infrastructure; b. implement a Circular Economy of complex products like electric vehicles, clean tech, and hydrogen equipment; c. support Europe's raw materials industry capability, to extract, design, manufacture and recycle materials and d. promote innovation, strategic investment, and industrial production across specific value chains [12].

3. Discussion and conclusions

In today's interconnected and rapidly evolving world, securing a sustainable and reliable supply of critical raw materials has become a strategic imperative for Europe. Critical raw materials are essential elements and minerals that are fundamental to the continent's economic growth, technological innovation, and environmental sustainability. As Europe advances towards a greener and more digitalized future, the significance of mining critical raw materials within its borders cannot be overstated.

Our aim in identifying CRM lists is, surely, to ensure that we remove as fast as possible, raw materials from those lists. To do this it is necessary that new EU sources of these raw materials be found and exploited.

There is no doubt that to achieve any of the proposed goals outlined by the EU, consumption of raw materials is going to increase exponentially; a fact recognised in several European and rest-of-the-world fora.

To reduce greenhouse gas emissions by 55% means that ever increasing number of batteries. In the same manner, the EU electric penetration of 7 to 8 million cars annually, more batteries and more magnets will be needed to power this extra e-mobility. Lithium demand must therefore also increase, especially as the announced battery giga factories [e.g., 13-14] will predictably come on line.

According to the CRMA, by 2030 10% of the Union's consumption must be mined in the EU. Given that 2030 is a just a few, very short, 7 years away and it takes anything from 10-15 years to bring a mine into production and further adding the fact that only approximately 1% of newly discovered mineral deposits will become a producing mine, where is the EU going to fetch all the raw materials needed and achieve the 10% target?

Increasing the degree of self-sufficiency from 2-3% to 10% in 2030 means a 300-400% increase in domestic production in 7 years, which is the time that it takes to get an exploration permit. Therefore, massive efforts and an increase in investment in exploration to at least an equivalent degree are required if we are to even come close to that degree of self-sufficiency. It stands to reason that the EU cannot only focus on its primary raw materials. The secondary raw materials are going to play an ever-increasing role in combating criticality of raw materials.

Secondary raw materials have the advantage that they are sourced from (brownfield) places that have had mining before and there likely to have less social resistance to mining. However, much research needs to be carried out into the secondary raw materials. A few EU-funded projects (e.g., ProSUM [15], START [16]).

Mining critical raw materials within Europe is not merely a matter of economic expediency; it is a strategic imperative for the continent's long-term prosperity and resilience. As Europe charts a course toward a greener, more digitalized future, the importance of securing a stable supply of these materials cannot be overstated. It empowers the continent to drive economic growth, foster technological innovation, mitigate climate change, strengthen national security, and create a more sustainable and resilient future for all Europeans. Through responsible mining practices, environmental stewardship, and strategic investment, Europe can position itself as a global leader in ensuring the availability of critical raw materials for generations to come.

References

[1] European Commission (2008): COM (2008) 699 final, COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL. The raw materials initiative - meeting our critical needs for growth and jobs in Europe.

[2] European Commission (2018): EIP on Raw Materials, Raw Materials Scoreboard 2018, 118p.

[3] European Commission (2011): COM/2011/0025 final, COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS: Tackling the Challenges in Commodity Markets and on Raw Materials.

[4] European Commission (2014): COM/2014/0297 final, COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS: On the review of the list of critical raw materials for the EU and the implementation of the Raw Materials Initiative.

[5] European Commission (2017): COM/2017/0490 final, COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS: On the 2017 list of Critical Raw Materials for the EU.

- [6] European Commission (2020): COM/2020/474 final, COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS: Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability.
- [7] Grohol, M., Veeh, C. (2023): Study on the critical raw materials for the EU 2023 - Final report, Publications Office of the European Union, 2023, <https://data.europa.eu/doi/10.2873/725585>
- [8] European Commission (2023): COM (2023) 165 final, COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS A secure and sustainable supply of critical raw materials in support of the twin transition.
- [9] European Commission (2023): COM (2023) 160 final. Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) 168/2013, (EU) 2018/858, 2018/1724 and (EU) 2019/1020
- [10] ERECON (2014): Strengthening the European Rare Earths Supply-Chain. Challenges and policy options, 102p.
- [11] European Commission (2019): COM/2019/640 final COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS: The European Green Deal.
- [12] https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/industrial-alliances/european-raw-materials-alliance_en (consulted 11/09/2023).
- [13] https://www.lemonde.fr/en/economy/article/2023/05/15/battery-gigafactories-are-flourishing-across-europe_6026710_19.html (Consulted 11/09/2023)
- [14] <https://www.ipanovia.com/gigafactory-investments/> (Consulted 11/09/2023)
- [15] <https://www.prosumproject.eu/> (Consulted 11/09/2023)
- [16] <https://www.start-heproject.com/> (Consulted 11/09/2023)



LEVERAGING REGIONAL MINING ACTIVITIES FOR SUSTAINABLE AND JUST ENERGY TRANSITION AND DECARBONISATION

Pagouni C.¹, Pavloudakis F.⁵⁷, Karlopoulos E.², Roumpos C.³

Abstract

As the global community tries to address the challenges of climate change and achieve sustainable development goals, energy transition and decarbonization have emerged as critical imperatives. Both necessitate a comprehensive approach that considers not only the environmental aspects but also the social and economic implications, particularly in regions heavily reliant on traditional energy industries. This article presents a case study focusing on the Western Macedonia, a historically lignite-dependent region of Greece, and explores the potential for mitigating the impacts of energy transition through the diversification of mining activities. This approach capitalizes on the regional advantages, including access to raw materials and established mining operations. By expanding mining activities beyond lignite, Western Macedonia can contribute to the development of sustainable supply chains for key sectors of the national economy, such as construction. Moreover, the diversification of mining operations will foster employment opportunities, skill retention, and economic stability.

Keywords: *Industrial minerals, critical minerals, rare earths, secondary materials*

1. Introduction

To ensure a smooth and successful energy transition of its regions that were dependent on coal/lignite mining and power generation, the EU has established a number of agreements, strategies, rules and plans. The most important of these are the European Green Deal, the New Industrial Strategy for Europe, the Critical Raw Materials Action Plan, the Circular Economy Action Plan, and the Just Transition Mechanism.

The region of Western Macedonia, Greece for more than six decades had focused on lignite mining, which was the main domestic energy source of Greece. At the same time, minerals and ores such as chromite, asbestos, marble, quartz, olivine, attapulgite, dolomite, lignite (for non-electric purposes), and aggregates were mined in this area on a smaller scale. Although these raw materials had considerable economic value, not only for the domestic markets but also for exports, they have never been treated equally in relation to lignite (Melfos & Voudouris, 2022).

Moreover, secondary materials, such as lignite fly ash, desulfurization gypsum and boiler slag, were produced. Limited volumes were sold to the cement industry while most of them were disposed of in the mines.

Nowadays, the phase-out of the lignite-fired power plants is expected to lead to a reduction or even cessation of business activity and a decrease of employment in the Western Macedonia region, especially in the Kozani and Florina Regional Units (RUs), where all mining and power generation activities are located. The decrease of employment, in turn, may result not only in population movements, but also in the relocation of businesses outside the region's or even the country's borders. Particularly the businesses that interact with lignite mines operations are expected to be transformed

¹ Mineral Resources Engineering Department, University of Western Macedonia, Greece

² Chemical Processes & Energy Resources Institute, Centre for Research and Technology Hellas, Ptolemaida, Greece

³ Department of Mining Engineering & Closure Planning, Public Power Corporation, Athens, Greece

and diversified, so that they can adequately adapt to the new demands that will arise during the transition. The sectors that are expected to be transformed are the following: (i) earth-moving contractors, (ii) suppliers of raw materials and machinery related to lignite mining, (iii) repair and maintenance workshops of excavation and haulage equipment, and (iv) transportation companies (Pavloudakis et al., 2023:1).

The aforementioned developments may exacerbate the demographic problem in Western Macedonia and negatively affect the labor force indicators, leading to a disruption of social cohesion. In this context, the support of 'green' investments for the exploitation of the wind and solar potential of Western Macedonia should contribute to keep the energy sector the main pillar of regional economy, as it was since the beginning of the systematic exploitation of lignite deposits 60 years ago. However, taking into account the comparative advantages that exist in Western Macedonia concerning the know-how of the local workforce and the availability of infrastructure and equipment, the possibility of intensifying the exploitation of other mineral raw materials besides lignite is worth investigating.

Western Macedonia is offered a way out by exploiting its mineral resources and investing in their exploitation. At the same time, there is an opportunity to use the lignite for non-electric purposes and the secondary materials from the combustion of lignite (Pavloudakis et al., 2023:2) as well as the materials of Excavation, Construction and Demolition Wastes (ECDW). This is favored by the urgent need of the EU and the international community to increase the mining of metals and minerals, which makes Western Macedonia one of the most valuable transitional regions for the exploration, search and exploitation of raw materials.

The article provides an overview of the institutional changes that the EU intends to promote in order to ensure the supply of European industry. It then epigrammatically presents the deposits of mineral resources identified in Western Macedonia, regardless of whether they have been exploited to date. Finally, the article discusses possible benefits, challenges, and ways to successfully implement this strategy in Western Macedonia. It discusses the need for collaboration among stakeholders, including government agencies, industry partners, research institutions, and local communities, to create a supportive environment for sustainable mining activities. It also highlights the importance of effective environmental management practices to ensure responsible resource extraction and minimize environmental impacts.

2. Data sources and methodology

This article analyses the European policies related to the exploitation of mineral resources and secondary materials, as well as the new action plans developed to avoid the turn of the EU's dependence on fossil fuels into a dependence on raw materials. Moreover, numerous reports published by companies and authorities regarding proved, probable, and possible reserves and the recent mining and quarrying activities in the Western Macedonia region were reviewed. The spatial distribution of the relevant deposits and mines was determined based on the submitted activity reports (AR). The non-electrical uses of lignite and the potential utilization of both secondary materials produced from steam power plants and ECDW were also evaluated.

The data processing was completed using the geodata of the Mineral & Aggregate Resources Division of the Greek Ministry of Environment, Energy and Climate Change. This database includes the "Quarry Areas" in Greece, the registration, categorization and digital visualization of the polygons of aggregates, marble, slate, and industrial minerals quarries for the year 2021.

Finally, a SWOT analysis was conducted, examining all economic, social, and environmental factors that affect the perspectives of extractive industry in the Western Macedonia region during and after the energy transition.

3. European Union strategies for raw materials

The *European Green Deal* aims to transform the EU into a just and prosperous society with a competitive and resource-efficient economy that has net zero greenhouse gas emissions by 2050 and

whose economic growth is decoupled from resource use. One of the preconditions for this transition is securing supplies of sustainable raw materials, particularly those critical raw materials needed for green technologies, digital transitions, as well as for defense and space, by diversifying supplies from both primary and secondary sources (COM (2019)640).

As European industry changes to carbon neutrality, there is a risk that dependence on fossil fuels will be replaced by dependence on non-energy feedstocks. Since the EU does not produce all the raw materials needed to meet demand within its borders, the EU industry competes globally for access to raw materials and green energy. Therefore, the raw materials sector is one of the six strategic sectors on which the *New industrial strategy for Europe* is depended. Demand for raw materials is expected to double by 2050, making diversification of sources essential to increase Europe's security of supply (COM (2020)102).

The *Critical Raw Materials Action Plan* points out that access to resources and sustainability are key to the EU's resilience in the raw materials sector. Achieving resource security requires action to diversify supply from both primary and secondary sources, reduce dependence, and improve resource efficiency and circular economy, including sustainable product design. This applies to all raw materials, including base metals, industrial minerals, aggregates, and biomaterials. However, it is even more necessary when critical raw materials are involved.

For critical raw materials, actions are proposed firstly to build resilience and open up strategic autonomy for the rare earth and magnet value chain, and then extend to other raw materials. Additional actions aim at the development of sustainable financing criteria for the mining and processing sectors and research for waste processing and mapping the potential supply of secondary materials. These actions should be focused on coal mining areas, developing expertise and skills and promoting responsible mining practices (COM (2020)474).

The *Circular Economy Action Plan* proposes the creation of an orderly EU market for secondary materials. Secondary materials face certain challenges compared to primary raw materials, related not only to their safety but also to their performance, availability, and cost. A number of measures envisaged in the Action Plan, in particular the introduction of recycled content requirements for products, will help prevent a mismatch between supply and demand for secondary materials, ensure the expansion of recycling sectors in the EU and limit Europe's dependence on primary raw materials (COM(2020)98).

The *Just Transition Mechanism (JTM)* is a crucial tool to ensure that the transition to a carbon-neutral economy is done in a fair way and that no one is left behind. Support will be available in all member states, with a focus on regions with the highest carbon intensity or with the most people employed in the fossil fuel sector. Member States can gain access by establishing territorial plans for a just transition for the period up to 2030, identifying which areas should receive the most support. The mechanism provides targeted support through three pillars: the Just Transition Fund, the InvestEU Special Equitable Transition Scheme, and the new public sector lending mechanism for additional leveraged investments through the European Investment Bank (EC, 2020).

4. Mineral resources and secondary materials produced in Western Macedonia region

4.1. Quarries

Table 1 presents the distribution of the 43 mines and quarries that were operating in the Western Macedonia region in 2021 according to the material produced, while in Table 2 concerns particularly the industrial minerals, presenting the mining companies that are active and the total area occupied by mining activities (Lampou, 2021; MEECC, 201; Melfos & Voudouris, 2022). Moreover, Figure 1 depicts the geographical distribution of the mineral deposits in the Region of Western Macedonia.

Attapulгите: Four quarries located in Knidi, Grevena RU, are operated by GEOHELLAS SA, producing 32,000 tons (2022) of material with specifications that meet the quality standards for use as pet sand, filter, oil absorbent, and soil amendment.

Olivine: Two quarries are located in Skoumtsa, Grevena RU and Chromion, Kozani RU, both in the mount of Vourinos, where an underground chromite mine operated until the early '90s. The excavated

olivine is sold for the production of refractories.

Table 1: Active mines and quarries in Western Macedonia region in 2021 (MEECC, 2021; Lampou, 2021)

Raw Materials	Operating Mines / Quarries	Mining area/Acreage m ²
1 Marbles	8	182,264.39
2 Aggregates Materials	8	-
3 Industrial Minerals	12	2,699,773.48
4 Slate Plates	4	97,065.85
5 Mineral ores	5	
6 Lignite	<u>6</u>	<u>192,000,000</u>
Total	43	

Chudite Hydromagnesite: The quarry is located in Lefkara (Municipality of Servia). In 2020, it produced 19,000 tons of raw and 5,600 tons of processed material, which is a mixture of chudite 60% and hydromagnesite 40% and is used as filler, flame retarder an extender of TiO₂ in paint and coatings industry.

Quartz: The exploitation of the deposit, which is located in Meliti, nearby the borders of Greece and North Macedonia, is carried out by METE SA and the entire production is exported for further processing and production of silicon metal. A processing plant for size reduction and shortening is also in operation in the same area.

Quartz sand: The quarry is in the municipality of Voio.

Marble: The quarries are located near the villages Tranovalto (Municipality of Servia) and Polymilos (Municipality of Kozani). The marble produced in Tranovalto is fine-grained, calcitic, white with yellow-white banded veins or semi-white with agglomerates and gray-colored banded veins, while in Polymilos I medium to fine grained, calcitic - dolomitic, semi-white with a breccia like texture and light-grey gravels. Due to the implementation of obsolete methods of planning and quarrying, the six companies that are still active are not capable of competing the well-organized companies of Eastern Macedonia.

Slate: The quarries are located in the municipalities of Kozani and Voio. The products are used for buildings decoration and pavements construction.

Dolomite-limestone: The quarry is located nearby the village of Kilada, Kozani RU.

Aggregates: The quarries are located in the RUs of Kozani, Florina, and Grevena. Their products are used mainly for buildings and road construction but also for the production of construction materials.

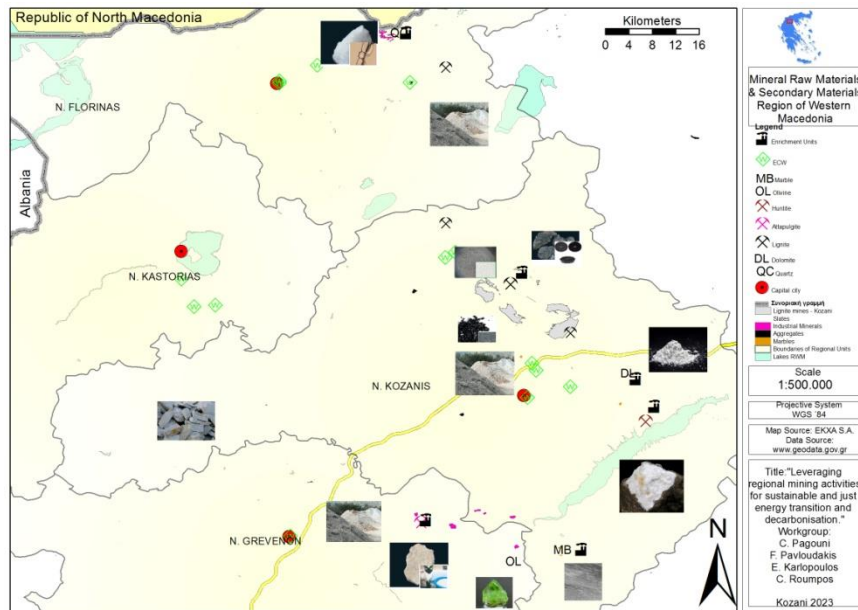


Figure 1: Geographical depiction of the mineral deposits in the Region of Western Macedonia

Table 2: Industrial minerals produced in Western Macedonia region, companies that are active and total acreage of the mining area (MEECC, 2021)

a/a	Raw Materials	Regional Unit	Company	Mining area (m ²)
1	Attapulgitite - Saponite Clays	Grevena	GEOELLAS SA	1,180,460.65
2	Hundite-Hydromagnesite	Kozani	SIBELCO HELLAS SA	
3	Olivine	Grevena	THERMOLITH SA	248,255.62
		Kozani	Bourkas Quarries SA	200,000.00
4	Quartz	Florina	METE SA	971,943.00
5	Quartz sand	Kozani	Papadopoulos Elias GP	15,628.00
6	Marbles	Kozani	Atlas LP, Quarries Ltd, Theodoropoulos Bros. GP, C. Ternenopoulou & Sons GP, APG Hellenic Marbles SA, I. Papatymopoulos GP	182,264.39
7	Dolomite-limestone	Kozani	Powder Ltd, Quarries Ltd	83,900.21
8	Slate	Kozani	Zygoura Anastasia, Thomas Stamopoulos, Euthymiadis Ioannis, Quarries Ltd	97,065.85
9	Aggregates	Kozani	Technobeton SA, Bourkas Quarries SA, Quarries of Eordaia PC	-
		Florina	Lithos P.C., Ergon SA	
		Grevena	Pasayianni Bros. GP	

4.2. Mines

Lignite: Public Power Corporation produced 10.5 million tons of lignite in 2022. The two private companies that are still active in the region produced 0.92 million tons. Although PPC is focused on the optimal planning and closure of the remaining lignite mines, mine land reclamation, and exploitation of reclaimed mine land for the development of renewable energy sources and for other purposes, the private companies try to find new markets for continuing their mining activities.

Laterite deposits: They are located in three areas near the village of Ieropigi in Kastoria RU; the two of them are mined systematically. The mines are owned by LARCO GMMSA, the major nickel-producing company of Greece, and have crushing, screening and ore processing facilities. The annual production is approximately 300,000 tons of high nickel grade ore.

Chromite: The deposits are located in the mount Vourinos ophiolite complex, in Kozani and Grevena RUs. The mining and processing of chromite ore were carried out by Hellenic Ferroalloys (ELSI) but have ceased for 25 years. Since 2018, ELLIMET-Hellenic Mines SA has restarted the exploitation of chromite deposits on an area of 10.8 ha.

4.3. Secondary Materials

The following types of wastes produced in the Western Macedonia are used (or may be used) as secondary materials by other industries:

Fly Ash: 10% of the fly ash collected by the electrostatic precipitators of lignite-fired power plants is used by the Greek cement industry as weak pozzolanic material. The remaining 90% is disposed of in the dumps of the nearby located mines, contributing to the stability of the slopes. Fly ash can be also used in roads and dams construction, production of synthetic zeolites and building materials, and as an absorbent for toxic elements in waste disposal plants. In 2019, the production of fly ash from the PPC power plants amounted to 3.4 million tons.

Desulfurization Gypsum: It is produced in the flue gas desulfurization unit of the thermal power plants and is an important raw material to produce construction materials, such as cement boards. The annual gypsum production at the Florina thermal power plant is about 300,000 tons with a solids content of 90%, while the annual production of the new thermal power unit "Ptolemaida V" will be 200,000 tons.

Bottom ash: Lignite combustion also produces sedimented bottom ash (slag), but in smaller quantities than fly ash. It is used as abrasive material for sandblasting, for bricks and flexible tiles production, as a lightweight aggregate in concrete, and as a slip-resistant and waterproof material. In 2019, the production of slag from the PPC power plants amounted to 44,000 tons.

Excavation, construction, and demolition waste (ECDW): They include solid waste generated by construction works (construction, demolition, renovation, and repair of buildings), engineering infrastructure projects (roads), excavations, and natural disasters. In the region of Western Macedonia, there are landfills where 15 ECDW plants offer recycled materials for sale in collaboration with enterprises responsible for collection, transport, temporary storage, reuse, processing and utilization of ECDW (the so-called Collection Systems for Alternative Management-CSAM). The products resulting from the management of ECDW are paving material, aggregates, gravel, crushed stone, sand, clean soil, embankment soil and ceramic embankment materials. The waste volume processed through CSAM for the year 2022 in Western Macedonia amounted to 425,759 tons, of which 306,344 tons were materials recovered (DIADYMA, 2022).

4.4. Occurrences of metallic minerals

Fe-Ni mineralization is located in the eastern part of Vourinos (Paleochori, Grevena RU). It includes the saprolite belts and the ferruginous mantle. The main mineral of the ferruginous mantle is magnetite, which forms a solid layer. Ni is present in particularly high concentrations. The longest contact is 300 m long; it has an average thickness of 5 m and an average Ni content of 1.4%. In general, the area is of high mining interest and further exploration is aimed at discovering new ore-bearing bodies, as the area is largely covered by molasse sediments.

Bauxite deposits there are in the Florina RU. They are small and not mineable under the current economic conditions. Bauxite is the main but energy intensive source of aluminum. Thus, in the EU 85% of the aluminum used comes from recycling. The increasing use of photovoltaics as part of the energy transition will lead to an increase in demand for aluminum in the near future, as will copper and zinc.

Alluvial gold is found in the alluvial sediments of all rivers in northern Greece. The most notable deposits in Western Macedonia are in the basin of the municipality of Servia, in the Kozani RU. Alluvial gold in the area of Aliakmon was already known since the Ottoman period, and the processing of the sediments for gold extraction by the locals is mentioned by the French traveler François Pouqueville in 1806.

In the Aliakmon River, mainly in the middle of the river course discovered for the first-time grains of *platinum group minerals* (platinum (Pt), palladium (Pd), thorium (Rh), ruthenium (Ru), iridium (Ir), and osmium (Os)) and in particular Os-Ir-Ru, Pt-Fe, Os-Ir-Rh, and Os-Ir-Pt alloys (Charistos, 2010). The occurrences of these minerals are rare, therefore there is no economic interest for their exploitation.

4.5. Critical Raw Materials and Rare Earth Elements

The recent years exploration gave promising results regarding the occurrences of Critical Raw Materials, such as Cobalt and Gallium, and Rare Earth Elements in Western Macedonia (Melfos and Voudouris 2022). However, further exploration is required to assess the mineability of the deposits that have been detected.

Cobalt: It occurs in the Paleochori settlement in the R.U. of Grevena up to 0.14% and in the R.U. of Kastoria up to 0.22%. It is used as a pigment in the glass and porcelain industry. It is one of the critical metals due to its unique applications in lithium-ion batteries, superalloys, green energy systems and magnets.

Gallium: The highest concentrations have been found in the Vegora sedimentary basin, RU of Florina, where Gallium reaches up to 16 g/t in phosphate rock. In general, the largest deposits of Gallium are associated with phosphate ores, while it is also recovered as a by-product of bauxite processing and from zinc processing residues.

Rare Earth Elements: They have been detected in beech plutonite at the RU of Kastoria where high grades of Lanthanum (up to 190 g/t), Cerium (up to 220 g/t) and Neodymium (up to 76 g/t) were found in monazite.

Uranium: It was detected in two areas in the sedimentary rocks of the Achlada lignite mine, RU of Florina, with up to 356 g/t U_3O_8 and in the village Oxya igneous rocks, RU of Kastoria, with up to 253 g/t U_3O_8 and up to 2,200 g/t Th.

4.6. SWOT Analysis

The prospects of the extractive industry to exploit raw and secondary materials produced in the Western Macedonia region are examined based on a SWOT analysis (Table 3). Numerous factors are considered concerning the impacts of mining on local societies, economic development, employment, environmental quality and quality of life in general. The internal environment consists of the mining companies that are active in the area, the Strengths & Weaknesses of them directly affect the perspectives of development, while the regional stakeholders and the global market of raw materials are considered as the external environment, which provides new opportunities but also threats, mainly due to the competition with alternative raw material resources. The findings of this SWOT analysis are discussed in the following section.

Table 3: Analysis of the Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats of the mining industry of Western Macedonia region in the post lignite era

<p>Strengths</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diversity of Mineral Resources and secondary materials • Sufficiency of reserves • Adequate quantities of secondary materials • Ongoing exploration projects • Scattered deposits of mineral raw materials • Large number of mining companies and earth moving contractors • Qualified labor force • Many years of experience • Use of lignite in non-electrical uses to manufacture products for various uses in different sectors 	<p>Weaknesses</p> <ul style="list-style-type: none"> • Environmental impacts of mining and processing minerals and metals • Increased investment costs • Lack of documentation of technological and economic benefits • Lack of sufficient information on the use of secondary materials from the domestic market <ul style="list-style-type: none"> • Lack of local companies engaged in the extraction of raw materials and secondary materials • Possible reduction in the available quantities of secondary materials due to the shutdown of the power plant • Lack of documentation of the cost-benefit analysis
<p>Opportunities</p> <ul style="list-style-type: none"> • Huge demand for Mineral Raw Materials from the global market • Acquaintance of local communities with mining activities • High selling prices • Institutional framework of the EU • Financial tools for investment in transition regions • Plenty of studies on the utilization of secondary materials by PPC, University institutions and Research centers 	<p>Threats</p> <ul style="list-style-type: none"> • Absence of a Special Spatial Plan for Mineral Raw Materials. • Absence of Regional Spatial Plan of Western Macedonian Region • Time-consuming mining license procedures • Intensive research to discover new deposits worldwide • Reduced interest in investments in secondary materials • Weather conditions • The relief of the district • Orientation of RES investments

5. Discussion

The abundant mineral wealth of Western Macedonia is a huge advantage for the region that has entered an extended period of decarbonization and energy transition. Numerous mining companies are successfully operating in the region, contributing to its economic development. At the same time, there are several occurrences of minerals, which, according to the current economic conditions, may not be exploitable. However, they can be turned into exploitable due to the global growth of the minerals demand that are crucial for the development of "green technologies". In addition, the secondary materials that have been produced in the area for years, constituting a sizable percentage of waste dumped in the mines' waste heaps, are now gaining value and may attract investments relevant to the production of building materials. Finally, the exploitation of lignite in non-electric uses may provide an attractive multitude of options to companies that wish and can take advantage of the financial incentives that are available in the context of the just transition.

Environmental impacts due to the mining and processing of minerals and metals will still exist and the area will continue to show a similar picture to that of the lignite mining period, with the difference that

mining activities will not be developed to the greatest extent in an area but there will be a dispersion in all RUs. In addition, the economic impact will affect local businesses more, which will be asked to adapt to the new conditions. These companies will either be forced to stop their activities or evolve from PPC S.A. satellite companies to those directly involved in the extraction and/or utilization of secondary materials. This will be in part the big gamble for the region as mineral raw materials and ore mining activities requires large financial resources, skilled personnel and good knowledge of mineral raw materials markets.

All the involved stakeholders must collaborate closely to accelerate decision-making procedures relevant to the decisive modifications in the legal and regulatory framework for the extraction and processing of mineral raw materials, the utilization of lignite in non-electric uses, and the processing and marketing of secondary materials. The absence of a National Special Spatial Plan (SSP) for Mineral Raw Materials and a Regional Spatial Plan (RSP) for Western Macedonia are partly responsible for the delays in investments in the minerals sector, since it causes conflicts similar to those faced in the last years with the installation of RES parks.

6. Conclusions

Taking advantage of the European mechanism for just transition, which provides toolkits for environmental rehabilitation and repurposing but also for sustainable employment and welfare, the decarbonization process in Western Macedonia offers unique opportunities to leverage the existing expertise, infrastructure, and equipment prevalent in the region. By tapping into the diverse range of mineral resources available, such as marble, quartz, olivine, attapulgitite, chudite, lignite (for non-electric uses) and secondary materials like lignite fly ash, gypsum, and marble powder, it becomes possible to facilitate a smooth transition while simultaneously generating new economic prospects. This approach aims to harness the region's mining know-how and adapt it to emerging industries that align with circular economy principles and sustainability.

References

- [1] Charistos, V. (2010), Study of alluvial gold in the area of Servia Kozani and the rivers Aliakmon and Axios, PhD Thesis, Dept. of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 382p. (in Greek)
- [2] COM (2019) 640 final, The European Green Deal, Communication from the Commission to the European Parliament, The European Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Brussels, 11.12.2019, 24p.
- [3] COM (2020) 98 final, A new circular economy Action Plan for a cleaner and more competitive Europe, Communication from the Commission to the European Parliament, The European Council, The European Economic & Social Committee and the Committee of the Regions, Brussels, 11.3.2020, 20p.
- [4] COM (2020) 102 final, A New Industrial Strategy for Europe, Communication from the Commission to the European Parliament, The European Council, The European Economic & Social Committee and the Committee of the Regions, Brussels, 10.3.2020, 17p.
- [5] COM (2020) 474 final, Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability, Communication from the Commission to the European Parliament, The European Council, The European Economic & Social Committee and the Committee of the Regions, Brussels, 3.9.2020, 24p.
- [6] DIADYMA (2022), Excavation, Construction and Demolition Waste of Western Macedonia - Annual Report 2022, Waste Management of Western Macedonia (DIADYMA SA), Kozani 2022, 3p. (in Greek)
- [7] EC (2020), Territorial Just Transition Plan Western Macedonia, C (2022)3943, Brussels, 16.6.2022, 21p.
- [8] Lampou, M. (2021), Mining and Quarrying Activity in Greece - Annual Report 2021, Department

of Development & Analysis Policies, Ministry of Environment & Energy, 41p. (in Greek).

[9] MEECC (2021), Greek industrial mineral mines of 2021, Greek Ministry of Environment, Energy and Climate Change, General Secretariat for Energy and Climate Change, Mineral & Aggregate Resources Division, GIS Open data, latomet.gr. (in Greek)

[10] Melfos, V., Voudouris, P. (2022), Ore Deposits of Greece, Kallipos - Open Academic Editions. <https://dx.doi.org/10.57713/kallipos-32>, 270p.

[11] Pavloudakis, F., Karlopoulos, E., Roumpos, C. (2023), Just transition governance to avoid socio-economic impacts of lignite phase-out: The case of Western Macedonia, Greece, *The Extractive Industries and Society*, Vol. 14, 2023, 101248, ISSN 2214-790X.

[12] Pavloudakis, F., Karlopoulos, E., Pagouni, C. (2023), The Emergence of Non-Energy Uses of Coal and the Future of Lignite Mining in a Region of Low Carbon Footprint, a Case Study. *Mining Revue*, 29(1), 63-78.



MINING EQUIPMENT MANAGEMENT AND UTILIZATION IN A CLOSURE PHASE OF CONTINUOUS SURFACE MINES. A CIRCULAR ECONOMY APPROACH

Pavloudakis¹ F., Triantafyllou M.², Roumpos C.³, Pyrtses S.², Pilalidis K.²

Abstract

The adaptation of circular economy principles can help establish new production systems that will be able to combine profitability with the achievement of sustainable development goals and the practice of entrepreneurship in an environmentally and socially responsible way. This is particularly true in the case of regions that used to host large-scale coal mining and power generation activities and are now facing the impacts of the transition to the zero-carbon emissions era. In this context, this contribution presents an approach to managing the equipment of coal mines that enter the ageing phase of their operation in such a way as to maximize the beneficial utilization of the machinery through repair, refurbishment, reuse, replacement, dismantling and recycling. Examples of these practices from their application in the lignite mines of Western Macedonia, Greece, are presented, focusing on the use of explosives for the demolition of equipment before dismantling and material recycling.

Keywords: *Surface mining, lignite, reuse, repair, recycle, sustainability*

1. Introduction

The transition from fossil fuels to renewable energy sources is the main target of European energy policy. In this framework, Greece plans to achieve zero lignite consumption for power generation purposes by the end of 2028. This decision has a huge impact on the Greek surface lignite mines, which must accelerate the closure and land reclamation and repurposing procedures considering environmental protection and sustainable development targets.

Lignite extraction projects are usually complex and long-lasting due to the enormous size of the deposits. In the case of the Western Macedonia Lignite Centre (WMLC), the mining operations began 65 years ago, while the total area occupied by mine pits and waste heaps is 17,000 ha. The exploitation of the entire deposit has been divided into several mines that were developed in various periods according to the following phases: exploration, development, maturity, ageing, closure, and post-closure. The simultaneous operation of mines that are in different phases of their development allowed many synergies between them, mainly the use of old mine voids for the dumping of overburden excavated and transported from active mines. Therefore, the overall operational efficiency and environmental impacts of a complex of surface mines must be assessed based on a holistic, life cycle analysis (LCA) approach (Pavloudakis et al, 2021, Erkayaoglu & Demirel, 2016).

Mining equipment management is crucial for the extractive industry since one of the main factors which affect the viability of mining operations is the efficient utilization of mining equipment (Liu et al., 2022). The lignite mines of WMLC, in their full operation were equipped with 42 bucket wheel excavators (BWE), 17 spreaders and more than 230 km of belt conveyors. In addition, more than 1,000 pieces of diesel-engine equipment were used for the excavation and haulage of hard rock formations as well as for auxiliary activities. Regarding continuous mining equipment, all systems remain in the mines either in or out of operation. The BWE theoretical capacity varies from 2,000 to 11,100 m³/h, and their weight from 400 to 5,120 tn. This is an indication of the amount of metal scrap that will be produced from equipment dismantling carried out during the mines' closure phase unless BWE are sold to other

¹ Mineral Resources Engineering Department, University of Western Macedonia, Kozani, Greece

² Western Macedonia Lignite Centre, Public Power Corporation, Ptolemaida, Greece

³ Department of Mining Engineering & Closure Planning, Public Power Corporation, Athens, Greece

mining companies.

In this context, the research questions of this article are related to the main challenges of mining equipment management and utilization in continuous surface mining complexes that entry in their ageing and closure phases, which are the following: (i) How the circular economy principles can be applied for the optimal utilization of mining equipment? (ii) What is considered an optimal utilization during the ageing and closure phases? Are the increase of productivity, reliability, and safety and the decrease of operational cost still priority targets or optimal land-use planning, minimizing environmental impact, and decrease of costs of equipment on an LCA basis are now more important targets? (iii) What decision-making analysis and optimization methods can be applied for the efficient utilization of mining equipment?

2. Management options and characteristic cases

Considering the numerous interrelated operational units of surface mining projects, there are many opportunities for achieving sustainable development goals based on circular economy models (Pavloudakis et al., 2022). In this context, a mining equipment management system applicable in surface mines that enter the ageing phase of their operation is presented in Figure 1. This system is proposed after a thorough analysis of the monthly operational efficiency report of the WMLC mines, taking also into account the experience in implementing a solid and hazardous waste management scheme for more than 20 years, which achieved ferrous metals recycling rates of more than 7,000 tn per year.

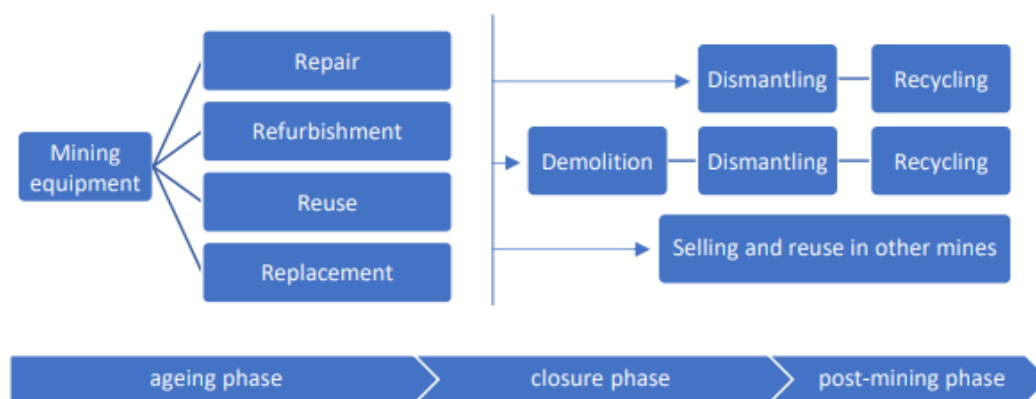


Figure 1: Mining equipment management system applicable in surface mines that enter the ageing phase of their operation

Some characteristic cases of implementation of the equipment management system presented in Figure 1 are the following:

Repair: Equipment repair can extend its operating life span and reduce costs for purchasing new machinery. Especially for coal and lignite mining complexes equipped with a large number of equipment, the existence of in-house repair workshops can be proved particularly advantageous in terms of economies of scale. Thus, in the case of the WMLC, each mine has separate mechanical and electrical repair and maintenance departments, while larger-scale repair works are made in central workshops, and only specialized works are assigned to subcontractors (usually the equipment manufacturer). For instance, the booms of two back-hoe excavators CAT 6040 were repaired in-house within 100 days at a cost of 30,000 euros, when the cost of purchasing a new boom was 180,000 euros with a delivery time of 6 months. The excavators continue to operate normally from 2018 and 2020, respectively.

Refurbishment: A BWE TAKRAF SRs2000 was reconstructed after the collapse of the bucket wheel and counterweight booms. Further to the restoration of the damage, improvements were made to the entire mechanical construction as well as a complete upgrade of the electrical equipment and automatic control systems of the BWE. The project began in 2017, and in 2023 the machine returned to normal operation on the 3rd bench of the South Field Mine. The total cost approached 10 million euros, and most of it is expected to be amortized until the mine closure (2028). Moreover, two O&K shovels that

had been out of service for a long time due to large cracks in their body frame were refurbished within a period of three months at a cost of 20,000 euros per unit. The extension of their service life after refurbishment is estimated at ten years.

Reuse: In the general case, equipment reuse can be achieved by optimizing the sequence of operations between mines so that mine equipment completing a particular operational phase in one mine is transferred to a neighboring mine at the beginning of that phase. The reuse of equipment obviously contributes to saving resources but also to protecting the environment. In the case of mines with a short remaining lifetime, reuse helps to avoid the purchase of new equipment, which will never be depreciated. In this context, BWE and spreaders were moved from the Kardia mine to the neighboring mines of South Field and Main Field. From the Amynteo mine, which is located 20 km away from the complex of the other mines, all the diesel-engine equipment, conveyor belt heads and conveyor heads transport trucks, as well as a series of spare parts of BWE and spreaders and equipment of buildings (e.g., air-conditioning and, heating systems) were transferred to the South Field and Main Field mines.

Replacement with flexible non-continuous equipment: In cases where the repair of continuous mining equipment is not feasible, the replacement of it with conventional diesel-engine mining equipment is an option that allows the mine to continue to operate at a certain production rate without spending a huge amount of money for purchasing new BWE or spreaders. Especially in cases where diesel-engine equipment is provided by sub-contractors in the framework of a short-term contract, the investment cost for equipment replacement is zero.

Dismantling and Recycling: Although the sale of equipment is considered the optimal management option after the closure of a mine, finding a buyer for used continuous mining machinery is a very difficult task since equipment selection is an integral part of mine planning and design (Burt & Caccetta, 2014). At the same time, the dismantling of BWE and spreaders is a high-cost process that requires special support systems and the rental of large mobile cranes for a long period. For the above reasons, the demolition of this type of equipment before dismantling and recycling is considered the best alternative. Controlled blasting demolition is an option that offers considerable advantages. An initial pilot demolition blasting of a bucket-wheel excavator in the Amynteo mine was decided to be carried out to accumulate knowledge, experience and all the information necessary for deciding further course of action (Figure 2).

The pilot project was undertaken using exclusively internal resources (studies, personnel, use of the same type of explosives as for hard-rock formations blasting, etc.). The total blasting points were 12 (six for each side of the BWE). The total explosives quantity for each point was verified based on empirical formulas proposed in the literature (ISEE, 2010). Then, pre-cuts were applied to two of the main pillars of the BWE structure in order to reduce the charging weights. However, the pre-cuts length was limited due to the lack of knowledge of the BWE frame static behavior. The decision to select commercial explosives (slurries and gelatine dynamites) instead of specialized plastic explosives (shaped charge) was due to their availability in the market (shaped charge explosives are not available in Greece for non-military purposes), considerably lower cost (plastic-shaped charges cost 50-80 times higher) and ease to apply. On the other hand, the relative effectiveness factor for commercial explosives is at least four times lower, resulting in an increase in the total quantity of commercial explosives in order to reach the required power factor.

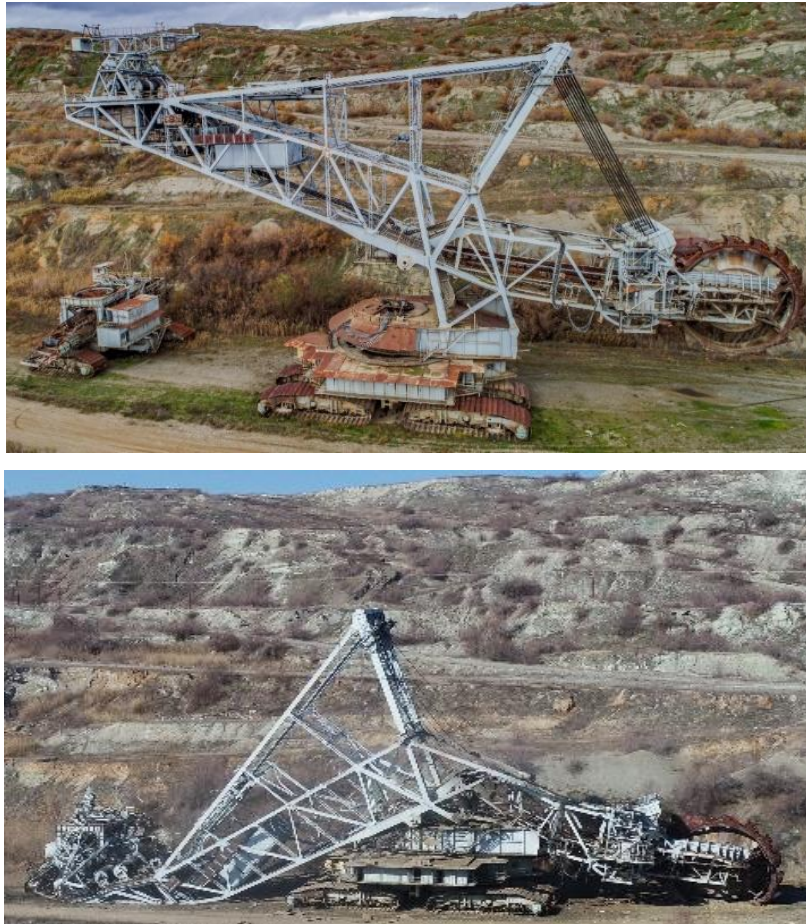


Figure 2: BWE Takraf SRs2000 before and after controlled blasting demolition, ready for dismantling and materials recycling

3. Results and discussion

Circular economy principles can be effectively applied to equipment management in surface mines' closure projects. From the so-called 'R' practices proposed by the literature, these of repair, refurbishment, reuse, replacement, and finally, recycling can enhance the overall technical, economic, and environmental performance of the mine closure plan. The research carried out in this field demonstrates several tools that can be utilized for effectively repairing and reconstructing BWE in field conditions (Bosnjak et al., 2009).

Moreover, for coal and lignite mines, the circular economy approach of equipment management contributes to the achievement of targets for equipment productivity and reliability that directly affect the operating costs. The reduction of operating costs, in turn, is crucial for the viability of coal and lignite mining projects due to the continuously increased cost resulting from the implementation of the EU emissions allowance scheme.

Focusing on the results of the controlled blasting demolition of equipment, these were exactly what was expected, allowing all the involved parties to be persuaded in favor of the controlled blasting demolition as a quite considerable alternative, if not the best one. Key parameters that differentiate the conventional dismantling and the controlled blasting demolition and dismantling methods are the following:

Cost evaluations: Based on data from the financial records of WMLC, the cost of the conventional dismantling method is five to ten times higher than the cost of the controlled blasting demolition method. The cost of control blasting should be further reduced if a schedule for the demolition of many pieces of equipment for the next two years and the studies for the static analysis of each type of BWE and spreader were available. The cost is closely related to the time needed for the application and

completion of the controlled blasting, which is less than one month when with conventional dismantling practices is at least 6 months per BWE or stacker.

Safety: The safety levels of equipment dismantling after controlled blasting demolition are increased. Most works are performed without having the BWE frame components under stress.

Environmental impacts: Controlled blasting demolition is a procedure that lasts a few seconds and if properly designed, the impacts to the surrounding area in terms of ground vibration, air blast, and dust emissions are negligible. In this direction, before controlled blasting, all parts and materials (electric motors, conveyor belts, lubricants, etc.) installed on each machine are dismantled and reused or disposed of as hazardous waste.

Nevertheless, the planning and implementation of circular economy processes in a mine closure project is a complex process of scheduling the use of various resources, including equipment, materials, and personnel (Savkovic et al., 2022). For this purpose, methods such as LCA (covering the whole life cycle of the projects), decision analysis techniques (with emphasis on multi-criteria decision analysis), reliability analysis operations research and optimization models, all combined with suitable economic analysis tools, can be applied for determining the optimal solution regarding mining equipment management.

4. Conclusions

Circular economy principles provide an effective and secure framework for planning and executing productive projects in the energy transition period. Repair, refurbishment, reuse, replacement, and recycling practices may contribute significantly to the achievement of sustainable development goals regarding the management of equipment in surface mines that are in the ageing and closure phase of their operation. The experience of WMLC mines toward the decarbonization of the Greek power generation sector in 2028 shows that mining operations are possible to continue effectively till the closure of mining activities without reducing their productivity standards while, at the same time, equipment demolition, dismantling, and recycling works can be carried out whenever required based on safe processes that minimize environmental risk.

References

- [1] Bosnjak, S., Petkovic, Z., Zmic, N., Simic, G., Simonovic, A., 2009. Cracks, repair and reconstruction of bucket wheel excavator slewing platform. *Engineering Failure Analysis* 16, 1631-1642, doi:10.1016/j.engfailanal.2008.11.009.
- [2] Burt, C. N., Cacetta, L., 2014. Equipment selection for surface mining: A review. *Interfaces*, Vol. 44, No 2, 143-162, <http://dx.doi.org/10.1287/inte.2013.0732>.
- [3] Erkayaoğlu, M., Demirel, N., 2016. A comparative life cycle assessment of material handling systems for sustainable mining. *Journal of Environmental Management* 174, 1–6, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.03.011>.
- [4] International Society of Explosives Engineers (ISEE), *Blaster's Handbook TM*, 18th Edition. ISEE, Cleveland, Ohio, U.S.A., 2010.
- [5] Liu, S. Q., Lin, Z., Li, D., Li, X., Kozan, E., Masoud, M., 2022. Recent Research Agendas in Mining Equipment Management: A Review. *Mining* 2, 769–790, <https://doi.org/10.3390/mining2040043>.
- [6] Pavloudakis, F., Roumpos, C., Spanidis, P.-M., 2022. Optimization of surface mining operation based on a circular economy model. Stefanakis A. & Nikolaou I. (editors), *Circular Economy & Sustainability*, Vol.2, Chapter 23, 395-418, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821664-4.00005-4>.
- [7] Savkovic, S., Jovancic, P., Djenadic, S., Tanasjevic, M., Miletic, F., 2022. Development of the hybrid MCDM model for evaluating and selecting bucket wheel excavators for the modernization process. *Expert Systems with Applications* 201, 117199, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117199>.



USKLAĐENOST FMEA I V-FMEA METODA UPRAVLJANJA RUDARSKIM RIZICIMA U ODNOSU NA ISO 31000:2018 STANDARD

COMPLIANCE OF FMEA AND V-FMEA RISK MANAGEMENT METHODS IN RELATION TO THE ISO 31000 STANDARD

Pavlović N.¹, Šubaranović T.¹, Ignjatović D.¹, Pavlović V.²

Apstrakt

Vrednovanje rizika je od izuzetnog značaja u rudarstvu i posebno u površinskoj eksploataciji mineralnih sirovina. Principi, okvir i proces upravljanja rizikom dati su u međunarodnom standardu ISO 31000:2018 koji pruža opšte smernice za dizajn, implementaciju i održavanje procesa upravljanja rizicima u celoj rudarskoj organizaciji tokom svih faza razvoja rudnika, bez obzira da li se odnose na ekonomski, tehničko-tehnološki, ekološki ili društveni aspekt. Za praktičnu primenu procene rizika u sektoru rudarstva široko je prihvaćena tradicionalna polu-kvantitativna metoda FMEA, a u novije vreme se sve više koriste i kvantitativne metode nastale modifikacijom tradicionalne FMEA metode, kakva je i vrednosna metoda V-FMEA. U radu je prikazana usklađenost procene rizika metodom V-FMEA (*Value-Failure Mode and Effect Analysis*) sa kvantifikovanim vrednosnim utvrđivanjem rizika RPV (*Risk Priority Value*) sa FMEA metodom i standardom ISO 31000:2018, za specifične uslove u rudarskom sektoru.

Ključne reči: risk, metode vrednovanja, standard, okvir, principi, procesi

Abstract

Risk assessment is extremely important in mining and especially in the surface mining of mineral raw materials. The principles, framework and process of risk management are given in the international standard ISO 31000:2018 which provides general guidelines for the design, implementation and maintenance of risk management processes throughout the mining organization during all phases of mine development, regardless of whether they relate to economic, technical-technological, ecological or social aspects. For the practical application of risk assessment in the mining sector, the traditional semi-quantitative FMEA method is widely accepted, and more recently, quantitative methods created by modifying the traditional FMEA method, such as the value method V-FMEA, are increasingly used. The paper shows the compliance of the risk assessment with the V-FMEA (*Value-Failure Mode and Effect Analysis*) method with the quantified RPV (*Risk Priority Value*) risk assessment with the FMEA method and the ISO 31000:2018 standard, for specific conditions in the mining sector.

Keywords: risk, evaluation methods, standards, framework, principles, processes

1. Uvod

Savremene poslovne organizacije, a posebno iz rudarskog sektora, rade u uslovima turbulentnog okruženja u prostoru i vremenu i suočene su sa sve većim pritiskom da unaprede konkurentnost poštujući principe održivog razvoja i zaštite interese zainteresovanih strana. Istovremeno, organizacije iz rudarskog sektora izložene su značajnim rizicima, kako poslovnim tako i tehničko-tehnološkim i prirodnim. Od suštinskog značaja je da sagledaju kojim su rizicima izložene i na koji način ti rizici utiču

¹ Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

² Centar za površinsku eksploataciju

na ostvarivanje njihovih poslovnih ciljeva kako bi sa njima mogle da upravljaju. Ovo je svakako dovoljan razlog da upravljanje rizikom sve više postaje prihvaćeno kao standardna procedura u rudarskoj industriji. U novije vreme, rudarska industrija je napravila značajan i pozitivan napredak u razvoju svesti o rizicima, pa je danas kultura upravljanja rizicima ključna faza u svim aspektima rudarske prakse.

Iako rizici poslovanja postoje od kada postoje i same poslovne organizacije, upravljane rizikom posebno je došlo do izražaja u poslednjim decenijama prošlog veka - naročito u doba naftne krize. Od tada su sve više u upotrebi termini kao: RM (*Risk Management*), IRM (*Integrated RM*), ERM (*Enterprise RM*) itd. Reč je o različitim konceptima/modelima sa istim ciljem, upravljanje rizikom u organizacijama. Tokom devedesetih godina prošlog veka formiraju se organizacije i udruženja koje uspešno inoviraju teoriju i praksu upravljanja rizikom i koja donose odgovarajuće, pre svega nacionalne standarde.

Krovni, opšteprihvaćeni međunarodni standard ISO 31000 je rezultat najbolje prakse u području upravljanja rizicima, koji je promovisan novembra 2009. godine. Zasnovan je na australijsko-novozelandskom standardu za upravljanje rizikom iz 2004. godine. Iz ovog standarda je preuzet i zahtev da upravljanje rizikom, kao funkcija, treba da bude ugrađena i u druge aktivnosti menadžmenta, i da se ne koristi kao izdvojena, samostalna aktivnost. Okvir za upravljanje rizikom, koji definiše ISO 31000 standard, pomaže organizacijama da efikasno upravljaju rizicima kroz primenu procesa upravljanja rizikom na različitim nivoima i u specifičnim procesima organizacije [17, 18]. Standard IEC ISO 31010 [17] je smernica podržana standardom ISO 31000, koja prikazuje primenljivost tehnika za vrednovanje rizika i uputstva o vršenju procene rizika i pomaže pri odlučivanju o izboru najboljeg pristupa kod sprovođenja procene rizika, dok *ISO Guide 73:2019 Vocabulary* kao rečnik [18] daje definicije opštih pojmova u vezi sa upravljanjem rizikom prema standardu ISO 31000.

Poslednje izdanje modifikovanog i unapređenog standarda ISO 31000:2018 objavljeno je 2018. godine sa odgovarajućim uputstvima [17, 18].

U Tabeli 1 dat je prikaz okvira međunarodnog standarda za upravljanje rizicima ISO 31000:2018.

Tabela 1. Međunarodni standardi za upravljanje rizicima

Naziv	Svrha/opis	Delokrug
ISO 31000:2018: Risk Management <i>ISO 31000: Upravljanje rizicima</i>	ISO 31000:2018 pruža principe i opšte smernice o upravljanju rizicima. Odnosi se na bilo koju vrstu rizika, bez obzira na njegovu prirodu. Primena je dobrovoljna.	Odnosi se na sva javna, privatna ili društvena preduzeća, asocijacije, grupe ili pojedince.
ISO/IEC 31010: Risk Management - Risk Assessment Techniques <i>ISO/IEC 31010: Upravljanje rizicima - Tehnike procene rizika</i>	ISO 31010 pomaže organizacijama u implementaciji načela menadžmenta rizicima i smernica koje je objavio ISO 31000 (dopunjen sa ISO Guide 73) i bavi se konceptima procene rizika, procesima procene i izborom tehnika procene rizika. Ovaj standard nije namenjen za sertifikaciju, regulatorne ili ugovorne primene.	Odnosi se na sva javna, privatna ili društvena preduzeća, asocijacije, grupe ili pojedince.
ISO/IEC Guide 73: Risk Management Guidelines <i>ISO/IEC Guide 73: Priručnik za upravljanje rizicima</i>	Ovaj priručnik pruža definicije opštih pojmova vezanih za menadžment rizicima. Ima za cilj da podstiče uzajamna i dosledna shvatanja usklađenog pristupa i opisa aktivnosti koje se odnose na upravljanje rizicima, kao i korišćenje jedinstvene terminologije upravljanja rizikom u poslovnim procesima.	Odnosi se na one koji se bave upravljanjem rizicima, one koji su uključeni u aktivnosti ISO i IEC i na one koji razvijaju nacionalne ili specifične standarde, priručnike, procedure i pravila postupanja u vezi upravljanja rizicima.

2. Okvir međunarodnog standarda za upravljanje rizicima ISO 31000:2018

Okvir međunarodnog standarda za upravljanje rizicima ISO 31000 čine:

- ISO 31000:2018 (Principi i smernice za implementaciju) uključujući i Risk management - Guidelines [17, 18],
- ISO/IEC 31010:2009 (Tehnike procene rizika) [19] i

- ISO Guide 73:2019 Vocabulary (Priručnik i rečnik upravljanja rizikom) [20].

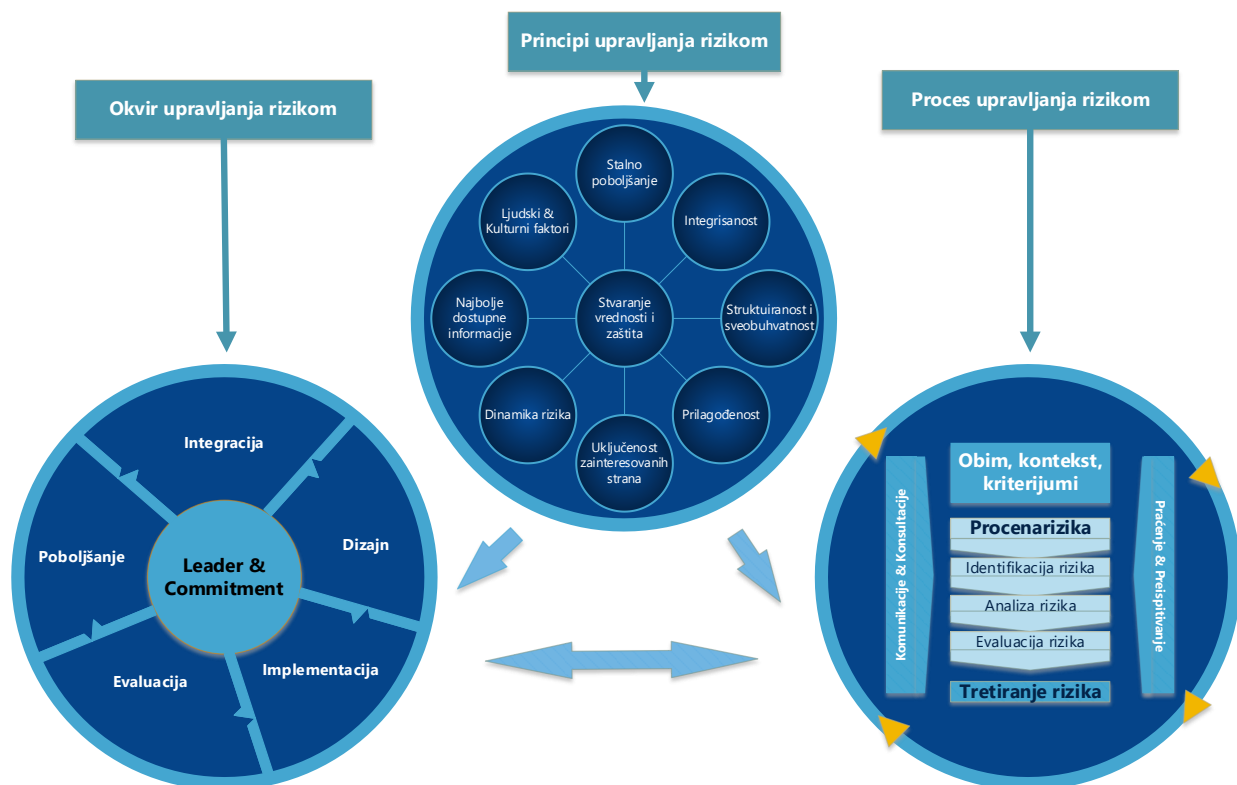
Ovako koncipiran okvir za upravljanje rizikom pomaže organizacijama da efikasno upravljaju rizicima na različitim nivoima i u specifičnim kontekstima organizacije.

ISO 31000:2018

U standardu ISO 31000:2018 rizik se definiše kao delovanje nesigurnosti na ciljeve organizacija sa dopunjenim detaljima datim u ISO 31000:2018 priručnicima [17, 18] uz terminološki rečnik [20]. Ta nesigurnost realizacije ciljeva može imati za posledicu odstupanje (pozitivno i/ili negativno) od očekivanih rezultata. U odnosu na rudarske organizacije ciljevi mogu biti različiti: društveni, poslovni, tehničko-tehnološki, bezbednost i zdravlje, zaštita okoline, zaštita ležišta i tako dalje, a mogu se primeniti na celu organizaciju, različita područja njenog delovanja, na različitim nivoima kao i na posebne funkcije, procese i projekte. Rizik se često opisuje odnosom mogućih događaja (pojava ili promena posebnog skupa okolnosti) i posledica (rezultatima događaja koji utiču na ciljeve), ili njihovom kombinacijom. On se često izražava kao kombinacija posledica nekoga događaja (uključujući promene u okolnostima) i procenjene verovatnoće njegove pojave.

Rudarske organizacije, svih vrsta i veličina, posebno u domenu površinske eksploatacije u kontinuitetu se suočavaju sa unutrašnjim i spoljašnjim uticajima koji ih čine nesigurnima. Ta nesigurnost ima kao posledicu rizik za ciljeve organizacije. Zbog toga, rudarske organizacije moraju da uspostave proces upravljanja rizicima kako bi mogle da u kontinuitetu nadziru, kritički ocenjuju i sprovode aktivnosti na eliminaciji ili smanjenju rizika na prihvatljiv nivo. Takav sistemski i logički proces detaljno opisuju međunarodna norma ISO 31000 standard, odnosno, standard ISO 31000:2018 kao poslednja verzija.

Osnovu modela ISO 31000:2018 čine precizno definisani *Principi upravljanja rizikom*, *Okvir za upravljanje rizikom* i *Proces upravljanja rizikom*. Model standarda ISO 31000:2018 prikazan je na Slici 1.



Slika 1. Model (principi, okvir, proces) upravljanja rizicima po standardu ISO 31000:2018 [15, 16]

Sa aspekta rudarskih organizacija, standard ISO 31000:2018 se može smatrati krovnim standardom za

definisanje sistemskog pristupa upravljanja rizicima kvaliteta poslovnih procesa, kontinuiteta poslovanja, bezbednosti informacija, zdravlja na radu, životne sredine i svih drugih posebnosti rudarskog sektora. Ovo potvrđuje i činjenica da je Evropski komitet za standardizaciju (CEN) identifikovao približno 60 standarda koji se odnose na upravljanje rizicima, a koji su usklađeni sa standardom ISO 31000 ili su u procesu usklađivanja u budućim verzijama (neki primeri su: ISO 9001: Sistemi upravljanja kvalitetom, ISO 14001: Upravljanje životnom sredinom, ISO 22301: Kontinuitet poslovanja, ISO 27001: Sistem upravljanja bezbednošću informacija, ISO 45001: Upravljanje bezbednošću i zdravljem na radu i tako dalje).

Postavljeni model standarda ISO 31000:2018 (Slika 1) se može primeniti za sve rudarske organizacije, bez obzira na veličinu. Standard obuhvata *osam principa* koje organizacije treba da obuhvate pri uspostavljanju svog *okvira u pet koraka*, za efektivnu i efikasnu realizaciju *procesa upravljanja rizikom*. Svrha principa upravljanja rizikom datih ISO 31000:2018 standardom je da se poveže *okvir i proces upravljanja rizikom* sa strateškim ciljevima organizacije.

Doslednom primenom standarda, rudarske organizacije dobijaju dobro osmišljen i implementiran *okvir upravljanja rizikom*, koji treba da osigura da *proces upravljanja rizikom* bude deo svih aktivnosti u celoj organizaciji, uključujući donošenje odluka, tako da promene u spoljašnjem i unutrašnjem okruženju budu adekvatno obuhvaćene. Ovakav pristup omogućava organizacijama da kontinualno poboljšavaju usklađenost, primerenost i efektivnost okvira za upravljanje rizikom i način integrisanja procesa upravljanja rizikom.

Konačan cilj standarda je da proces upravljanja rizikom bude sastavni deo upravljanja i odlučivanja sa integriranjem u strukturu, poslovanje i procese organizacije. Uspostavljanje upravljanja rizikom u organizaciju je dinamičan ponavljajući proces koji nema univerzalnu formulu, već ga je potrebno prilagoditi potrebama i kulturi organizacije.

ISO Guide 73

ISO Guide 73: Vocabulary [20] daje definicije opštih pojmova u vezi sa upravljanjem rizikom. Ima za cilj da precizira shvatanje opšteg pristupa i opisa aktivnosti koje se odnose na upravljanje rizicima, kao i korišćenje jedinstvene terminologije upravljanja rizikom u poslovnim procesima i okvirima koji se bave upravljanjem rizicima.

ISO 31010

Standard ISO 31010 *Risk management - Risk assessment techniques* (Upravljanje rizikom - Tehnike procene rizika), daje prikaz tehnika i uputstava za vršenju procene rizika [19]. ISO 31010 nije namenjen za sertifikaciju ili regulatornu upotrebu, već obuhvata proces i koncept osnova procene rizika i tehnike za sprovođenje procene rizika. Postavljen je da bude integrisan sa drugim aspektima ukupnog upravljanja rizikom. Obezbeđuje specifične smernice za izbor odgovarajuće tehnike za procenu rizika u zavisnosti od poslovnih potreba, uključujući i uspostavljanje prioriteta, izbor metodologije, pravilno identifikovanje rizika i zadovoljenje specifičnih regulatornih zahteva. U ovom dokumentu dat je prikaz 41 tehnika koje su široko primenljive i većina ih potiče iz tehničkog domena [19]. Neke tehnike su slične po konceptu, ali imaju različite nazive i metodologije koje odražavaju istoriju razvoja u različitim sektorima.

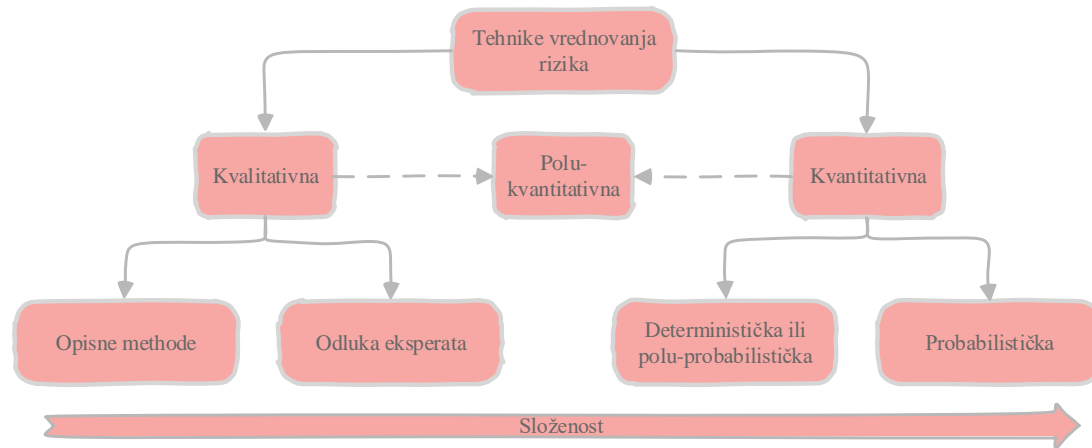
Generalno, sve prikazane tehnike u standardu mogu se podeliti na:

- Kvalitativne, u kojima se verovatnoće i posledice rizika prikazuju na opisnoj skali;
- Polu-kvantitativne, gde se određuju numeričke vrednosti za opisivanje skale, a brojevi se koriste kako bi se kvantifikovali faktori rizika;
- Kvantitativne, u kojima se verovatnoći i posledici rizika pripisuje apsolutna vrednost.

Na Slici 2 prikazana je podela tehnika za vrednovanje rizika.

Tehnike prikazane u standardu uglavnom se primenjuju na deo procesa upravljanja rizicima, a standardom su samo dve od pobrojanih, preporučene za primenu kroz ceo proces upravljanja rizicima. Jedna od njih je polu-kvantitativna FME(C)A, (*Failure Mode, Effect & (Criticality)*)

Analysis) tehnika. Tehnike su se razvijale tokom vremena i nastavljaju se razvijati, a mnoge se mogu koristiti u širokom rasponu situacija izvan njihove izvorne primene. Tehnike se mogu modifikovati, prilagoditi, kombinovati i primeniti na nove načine ili proširiti kako bi se zadovoljile sadašnje i buduće potrebe. Standard predstavlja osnovu za korišćenje prikazane tehnike i daje pregled moguće primene, prednosti i ograničenja.



Slika 2. Podela tehnika za vrednovanje rizika

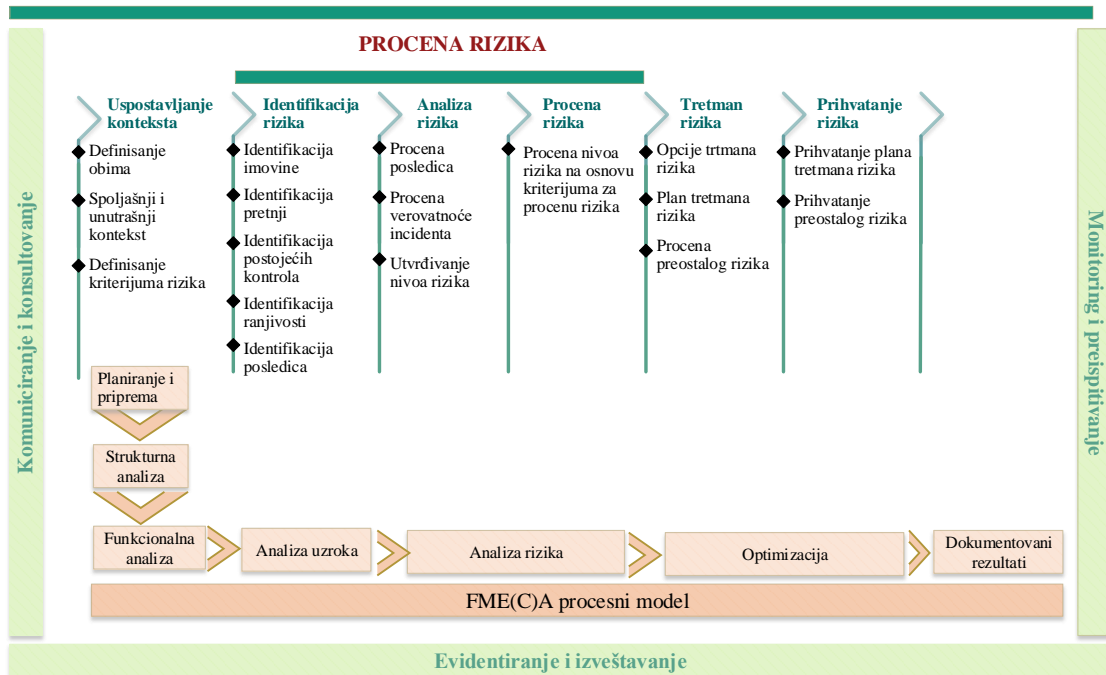
3. FME(C)A metoda za analizu i ocenu rizika

FME(C)A (*Failure Mode, Effects & (Criticality) Analysis*) je metoda za analizu načina rada i efekata otkaza, pomoću koje mogu da se identifikuju i procene potencijalni otkazi, odnosno, da se otkriju uzroci njihove pojave kao i posledice koje ti otkazi mogu izazvati, kao i da se predlože rešenja za smanjenje i otklanjanje posledica otkaza. FME(C)A metoda se može koristiti i preventivno i korektivno, s tim što je mnogo povoljnije da se, kada to uslovi dozvoljavaju, koristi preventivno.

Danas je metoda FME(C)A deo tehnika za upravljanje rizicima datih međunarodnim ISO 31000 standardom i kao takva nalazi široku primenu, tako da je postala standardna praksa u najvećem broju industrija širom sveta.

FMEA je kvalitativna metoda za ocenu rizika gde se rang rizika prikazuje najčešće preko matrica rizika, a polu-kvantitativna FME(C)A metoda je modifikovana FMEA, kod koje se rizici kvantifikuju i prikazuju kao broj prioriteta rizika [5, 6, 9].

Na Slici 3 prikazana je usklađenost FME(C)A procesnog modela sa ISO 31000:2018 procesnim modelom upravljanja rizicima.



Slika 3. Usklađenost FME(C)A procesnog modela sa ISO 31000:2018 procesnim modelom upravljanja rizicima

FME(C)A metoda u rudarskoj industriji se koristi za analizu potencijalnih otkaza i njihovih posledica, odnosno, to je sistematska metoda za identifikaciju i sprečavanje otkaza pre nego što oni nastanu, u sistemima, procesima, aktivnostima i kvalitetu proizvoda rudarske industrije. Obzirom da je izvorno osmišljena je kao induktivna metoda (ono što važi za pojedine članove skupa (situacije) važi i za ceo skup), koja ima primenu u oblasti održavanja i pouzdanosti sistema otuda i termin otkaz u njenom nazivu [13, 14, 15]. Prema referentnom izvoru [8], FME(C)A metoda je usmerena na prevenciju odstupanja, poboljšanje sigurnosti i povećanje efikasnosti organizacije, pa se i termin otkaz može šire posmatrati kao bilo koja vrsta odstupanja.

Metoda omogućava jednostavan proces identifikacije i procene rizika od otkaza na nivou analiziranog rudarskog sistema u celini ili njegovih podsistema do pojedinačnih elemenata. Međutim, konvencionalna FME(C)A ima i mnogo kritika u stručnoj i naučnoj javnosti, koje se posebno odnose na standardno primenjivanu metodu polu-kvantitativnog rangiranja rizika preko RPN broja. Za rudarsku ali i svaku drugu industriju je važno da primenjena metoda upravljanja rizicima bude ne samo alat jednostavan za korišćenje i razumevanje, već kvantitativni alat izgrađen na probablističkim osnovama, kojim može pouzdanije da se upravlja rizicima u različitim situacijama i okruženjima. FME(C)A metoda ima veoma ozbiljan potencijal da kroz modifikacije i poboljšanja bude moćan alat za procenu i upravljanje rizicima u domenu rudarske industrije [12, 13].

4. Usklađenost V-FMEA i FMEA metode procene rizika

I pored toga što je FME(C)A u aktivnoj upotrebi nekoliko decenija, stručna i naučna javnost identifikovala je neke nedostatke i ograničenja koja su publikovana u brojnim radovima. FME(C)A se sprovodi timski ispunjavanjem unapred definisane forme FME(C)A izveštaja i proračunom tradicionalnog broja prioriteta rizika, u literaturi poznatijeg kao RPN. Tradicionalni RPN se dobija množenjem tri indeksa S, O i D, kao što je prikazano jednačinom (1):

$$RPN = S \cdot O \cdot D \quad (1)$$

gde je:

S - indeks ozbiljnosti otkaza

O - indeks učestalosti pojave otkaza

D - indeks sposobnosti otkrivanja uzroka otkaza

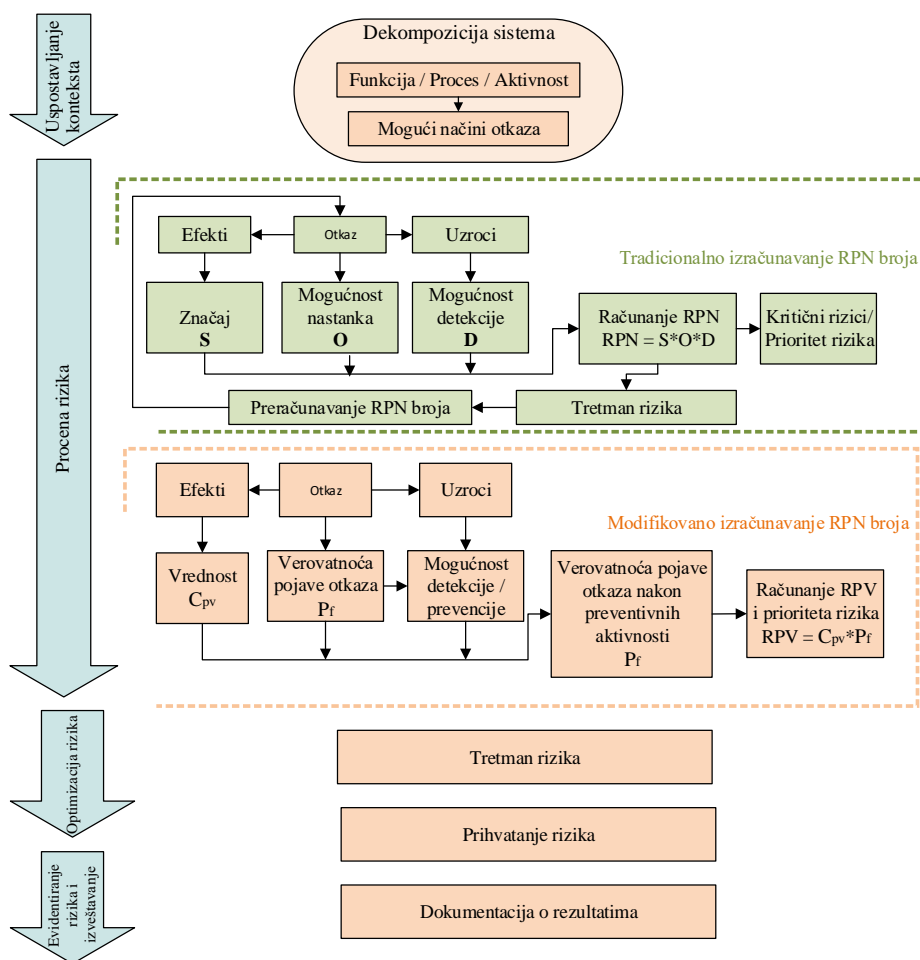
Prema literaturi, najčešće se za svaki od tri navedena indeksa uzimaju vrednosti u intervalu od 1 do 10, ređe u manjem intervalu. RPN se može kretati u intervalu od 1 do 1000 u zavisnosti od raspona intervala S, O i D indeksa.

Najveći nedostaci i ograničenja FME(C)A metode vezani su za metodološki pristup definisanja S, O i D indeksa i izračunavanje RPN broja. Ovi nedostaci dokumentovani su u preglednoj studiji [7] u kojoj je analizirano oko 75 naučnih radova. Tradicionalna FME(C)A metoda je u osnovi polu-kvantitativna metoda procene rizika, koja je u praksi veoma kritikovana jer se ne podudara sa matematičkim pravilima, nema mogućnost da precizno definiše matematički model rizika i relativno rangira rizike.

Zbog toga se može zaključiti da RPN broj, koji se koristi u tradicionalnoj FME(C)A metodi, ne dovodi do zadovoljavajuće procene rizika u potpunosti. Drugim rečima, RPN broj je ozbiljno ograničen u pogledu mogućnosti poređenja, rasponu intervala i integrisanja svih informacija o riziku [5].

U odnosu na proces upravljanja rizicima, modifikovana V-FMEA metoda sadrži identične procesne aktivnosti i procesni tok, kao i FME(C)A metoda, pa je u tom smislu u potpunosti usklađena i sa procesnim modelom procene rizika datom u ISO 31000:2018 standardu (Slika 3).

V-FMEA (Value-FMEA) metoda je, u odnosu na konvencionalnu FME(C)A metodu, modifikovana u domenu kvantifikacije rizika i korišćenju RPV (*Risk Priority Value*) broja, a njihova usklađenost prikazana je na Slici 4.



Slika 4. Usklađenost V-FMEA i FME(C)A metode procene rizika

Za kvantifikaciju rizika u V-FMEA metodi je primenjen probabilistički pristup i matematički model baziran na teoriji pouzdanosti [1-4, 10, 11, 13, 15]. Rizik (R) se može postaviti kao slučajni proces, i metodološki se zasniva se na osnovnom i dobro poznatom principu, po kome je definisan kao proizvod ukupne verovatnoće otkaza (P_f) prema eksponencijalnom zakonu, u zavisnosti od mogućnosti detekcije i uspešne prevencije, i posledica nastalih zbog otkaza (C_{PV}) koje utiču na funkcionisanje i ekonomiju površinske eksploatacije, izraženih preko sadašnje ukupne novčane vrednosti (PV - *Present Value*) [11, 15].

Verovatnoća otkaza neke procesne aktivnosti ili praktično mogućnosti pojave događaja koji će imati negativne vrednosne posledice na rad površinskog kopa koristi se izraz (2):

$$P_f = 1 - \exp(-a(t_a - t_d - (t_p - t_d))) = 1 - \exp(-a(t_a - t_p)) \quad (2)$$

gde je:

$a = 1/T_s$, gde je T_s - srednje vreme do otkaza

t_a - odabrano vreme analize

t_d - srednje vreme okončanja moguće detekcije negativnog događaja

t_p - srednje vreme uspešno izvršenih preventivnih ili korektivnih aktivnosti

Sadašnja ukupna novčana vrednost posledica obuhvata sa povratnom stopom (r), u trenutku odabranog vremenu analize (t_a), ukupne troškove (C) organizacije i sanacije posledica, obnavljanja opreme i objekata i gubitaka u proizvodnji i zdravlja (3):

$$C_{PV} = C/(1+r)^{t_a} \quad (3)$$

Prioritet u realizaciji preventivnih i korektivnih aktivnosti za otklanjanje ili smanjenje posledica rizika (RPV) novčano se vrednuje kao proizvod verovatnoće otkaza i sadašnje vrednosti troškova posledica negativnog događaja (4):

$$RPV = P_f * C_{PV} \quad (4)$$

Tako se za kvantifikaciju rizika u V-FMEA metodi koristi RPV (*Risk Priority Value*) broj sa vrednošću rizika koji predstavlja apsolutni nivo (rang) rizika otkaza.

U Tabeli 2 prikazane su ključne razlike konvencionalne FME(C)A i modifikovane V-FMEA metode procene rizika koje se odnose samo na domen procene rizika.

Tabela 2. Ključne razlike konvencionalne FME(C)A i modifikovane V-FMEA metode procene rizika

Podela	Konvencionalna FME(C)A - O, S, D	Modifikovana V-FMEA - T_s , a , t_a , t_p , P_f , C_{PV}
Parametar rizika	Stručna intuicija i iskustvo Relativna važnost između O, S i D Relativnost RPN broja Ograničen raspon brojeva za O, S i D Praznine u intervalima raspona RPN broja Ponavljanje RPN brojeva na intervalima Visoka osetljivost RPN broja na male promene indeksa O, S i D	Verovatnoća otkaza ($1 - \exp(-a(t_a - t_p))$) i analiza ukupnih troškova $C_{PV} = C/(1+r)^{t_a}$ Nema ograničenja raspona
Mera rizika	Kvalitativno, Polu-kvantitativno Subjektivno, ne postoji matematički model rizika Vrednost prioritet relativnog rizika $RPN = O * S * D$	Kvantitativno Definisan matematički model rizika Vrednosni iznos rizika $RPV = P_s * C_i$

5. Zaključak

U ovom radu prikazana je V-FMEA (*Value-FMEA*) metoda, koja je u odnosu na konvencionalnu FME(C)A metodu modifikovana u domenu kvantifikacije rizika. Za kvantifikaciju rizika u V-FMEA

metodi se predlaže RPV (*Risk Priority Value*) broj, baziran na novčanoj vrednosti i teoriji verovatnoće, koji održava jednostavnost FME(C)A metode, a istovremeno eliminiše kritikovane nedostatke konvencionalnog RPN. Sa aspekta dosadašnjih istraživanja, V-FMEA metoda daje obećavajuće rezultate uzimajući u obzir specifične zahteve rudarske industrije u domenu upravljanja rizicima i eliminiše ili smanjuje određene nedostatke konvencionalne FME(C)A metode.

Literatura

- [1] Cox D. R., Miller H. D., *The Theory of Stochastic Processes*, Chapman and Hall: London, 1993
- [2] Todinov M. T., *In Risk-Based Reliability Analysis and Generic Principles for Risk Reduction*, Elsevier Science & Technology Books, 2006
- [3] Hyeon-Ae Jang, Seungsik Min., Time-Dependent Probabilistic Approach of Failure Mode and Effect Analysis, *Appl. Sci.* 2019, 9, 4939
- [4] Hyeon Ae Jang, Min Koo Lee, Sung Hoon Hong, Hyuck Moo Kwon, Risk Evaluation Based on the Hierarchical Time Delay Model in FMEA, *Journal of Korean Society for Quality Management* 2016, Volume 44
- [5] Kmenta S., and Ishii K. (2004), Scenario-based failure modes and effects analysis using expected cost, *Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME* Vol. 126, No. 6, pp. 1027-1035
- [6] Kulcsár E., Csiszér T., Abonyi J., Pairwise comparison based failure mode and effects analysis (FMEA), Elsevier 2020, *MethodsX*
- [7] Liu H. C., Liu L., & Liu N., Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review, *Expert systems with applications* 2013, 40(2), 828-838
- [8] McDermott R., Mikulak R., Beauregard M., *In The basics of FMEA, 2nd Edition (First Published 2008, eBook Published 30 September 2017)*, Taylor & Francis, New York, 2017
- [9] Montgomery T. A., & Marko K. A. (1997, January). Quantitative FMEA automation. In *Reliability and Maintainability Symposium. 1997 Proceedings, Annual* (pp. 226-228), IEEE
- [10] Pavlovic N., Ignjatovic, D. Pavlovic, V. Assessment of social and environmental risks on open cast coal mines, *Int. J. Mining and Mineral Engineering* 2019, Vol. 10, Nos. 2/3/4, 2019 271
- [11] Pavlovic N., Petrovic B., Subaranovic T., Jakovljevic I. Internal Dump Slope Stability Risk Assessment on Opencast Coal Mine Tamnava-West, 10th International Geomechanics Conference, Proceedings, Bulgaria, 2022.
- [12] Pavlovic N., Ivos V., Korakianiti M., Application of FMEA analysis method and evaluation of Sociological and ecological risks of sustainable development of coal exploitation in the open pit Radljevo in the Kolubara Basin, 13th International Conference OMC2018, Proceedings, Serbia, 2018
- [13] Pavlovic N., Subaranovic T., Impact of climate change on risks of opencast mining dewatering, 9th International Conference COAL2019, Proceedings, Serbia, 2019
- [14] Pavlovic N., Petrovic B., Subaranovic T., Pavlovic V., Opencast coal mine field E overall slope failure risks analysis, Presented at 15th International Symposium for Continuous Surface Mining (ISCSM2023), TU Bergakademie Freiberg, Germany, 2023
- [15] Pavlovic N., Petrovic B., Subaranovic T., Evaluation Methodology of Open Pit Mine Overall Slope Failure Risks, Presented at International Conference on Raw Materials and Circular Economy, Athens, Greece, 2023
- [16] Tubis A., Werbinska-Wojciechowska S., Adam Wroblewski A., Risk Assessment Methods in Mining Industry - A Systematic Review, *Appl. Sci.* 2020
- [17] ISO 31000:2018 Risk management - Guidelines

- [18] IRM - A Risk Practitioners Guide to ISO 31000:2018
- [19] ISO 31010 Risk management - Risk assessment techniques
- [20] ISO Guide 73: Vocabulary



ANALIZA STABILNOSTI JUŽNE KOSINE POVRŠINSKOG KOPA POLJA E U ZONI INFRASTRUKTURNIH OBJEKATA

OPENCAST MINE FIELD E SLOPE STABILITY ANALYSIS OF IN THE ZONE OF INFRASTRUCTURE OBJECTS

Petrović B.¹

Apstrakt

Nastavak eksploatacije uglja u istočnom delu RB Kolubara nakon završetka rada površinskog kopa Polje D, odvijaće se na prostoru novog kopa Polje E. Veoma složena geološka struktura, posebno u južnom i severnom delu površinskog kopa, kao i velika zavodnjenost, osnovne su karakteristike ležišta uglja u tom prostoru. Tokom 2022. godine i početkom 2023. godine došlo je do zarušavanja etaža u južnoj kosini kopa tako da je eksploatacija u tom delu kopa zaustavljena. Neposredno do ivice kopa, nalazilo se postrojenje za preradu vode i trafostanica, koji su zbog svoje ugroženosti morali biti izmešteni. Takođe, u blizini te zarušene zone nalaze se infrastrukturni objekti Pomoćne mehanizacije kao i prostor predviđen za izgradnju montažnog placa na kome je planirana montaža novih bagerskih kapaciteta. U ovom radu su prikazani rezultati analize stabilnosti južne kosine kopa Polje E u zoni infrastrukturnih objekata, kao i predlog za nastavak započete eksploatacije.

Ključne reči: etaža, faktor sigurnosti, koeficijent pornog pritiska, eksploatacija

Abstract

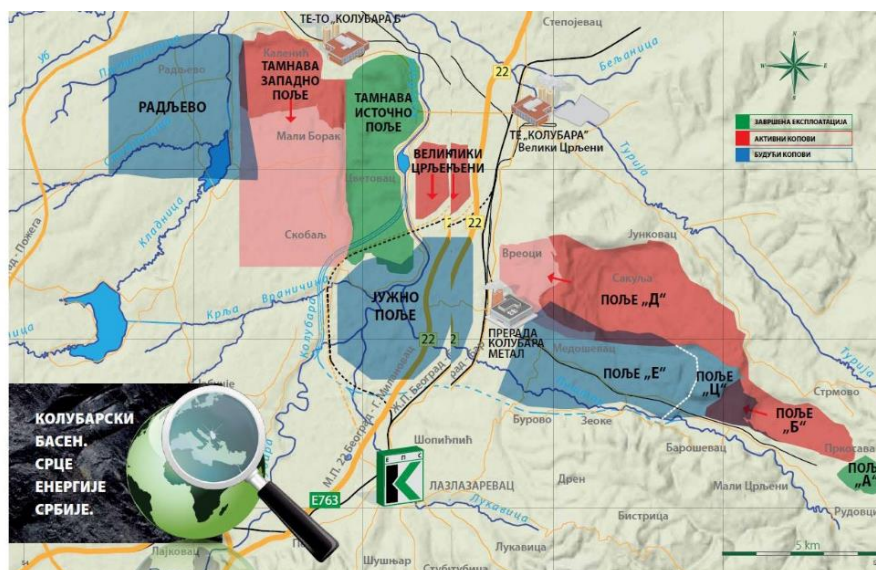
Continuation of coal mining in the eastern part of the Kolubara deposit after the completion of the opencast mine Field D, will take place in the area of the new mine Field E. A very complex geological structure, especially in the southern and northern parts of opencast mine, as well as high water content, are the basic characteristics of coal deposit in that area. During 2022 and the beginning of 2023, the benches in the southern slope of the mine collapsed, so mining in that part of the mine was stopped. Right next to the edge of the mine, there were a water treatment plant and substations, which had to be relocated due to their vulnerability. Also, in the vicinity of that ruined zone, there are infrastructure facilities of auxiliary machinery, as well as the space intended for the construction of the assembly site. This paper presents the results of the analysis of the stability of the southern slope of the Field E mine in the zone of infrastructural facilities, as well as a proposal for the continuation of mining.

Keywords: slopes, the safety factor, coefficient of pore pressure, mining

1. Uvod

Površinski kop Polje E nalazi se u krajnjem jugoistočnom delu Kolubarskog ugljonosnog basena. Sa severne strane graniči se sa kopom Polje D, sa istočne kopom Polje C, sa zapadne strane budućim kopom Polje F, dok je sa južne strane određen granicom prirodnog isklinjenja slojeva uglja. Na Slici 1 prikazana je pregledna karta Kolubarskog ugljonosnog basena sa položajem otkopnih polja.

¹dr Branko Petrović, dipl. inž. rud., EPS Beograd, RB Kolubara, Lazarevac, Srbija, branko.petrovic@eps.rs



Slika 1. Pregledna karta Kolubarskog ugljonosnog basena

Planirani kapacitet ovog kopa je 12 miliona tona uglja godišnje. Ugljeni slojevi se prostiru u kontinuitetu sa generalnim pravcem pružanja severozapad-jugoistok (Slika 2).



Slika 2. Pregledna karta Kolubarskog ugljonosnog basena, geološki profili A-B i C-D

Na prostoru budućeg površinskog kopa Polje E, na njegovom krajnjem istoku, nalaze se infrastrukturni objekti Pomoćne mehanizacije (radionički i magacinski prostor), kotlarnica, trafostanica, skladište goriva, prostor namenjen za montažni plac, a sve u blizini izmeštenog puta Vreoci-Arandelovac i izmeštenog korita reke Peštan (Slika 3).

Tokom 2022. godine i početkom 2023. godine došlo je do zarušavanja južne kosine kopa tako da su trafostanica i postrojenje za preradu vode morali biti izmešteni kako ne bi došlo do njihovog oštećenja. Pošto su i nabrojani infrastrukturni objekti blizu tih zarušenih etaža neophodno je bilo ispitati da li su i oni ugroženi i šta treba učiniti da bi se blagovremeno intervenisalo kako ne bi došlo do neželjenih

eksczesnih situacija. U tom kontekstu urađena je analiza stabilnosti kosine u zoni tih objekata. Rezultati analize prikazani su grafički i tabelarno.



Slika . Položaj infrastrukturnih objekata na južnoj kosini kopa

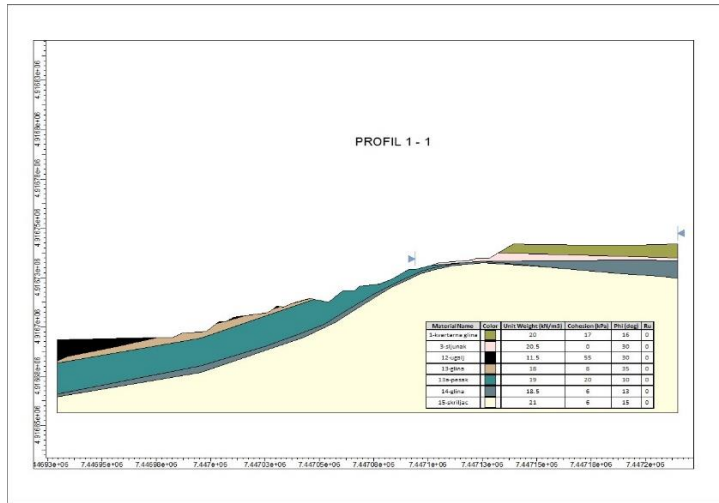
2. Analiza stabilnosti južne kosine

Analiza stabilnosti južne kosine urađena je za parcijalne kosine, sisteme kosina i generalne kosine i to za pet profila. Položaj analiziranih profila prikazan je na Slici 4.

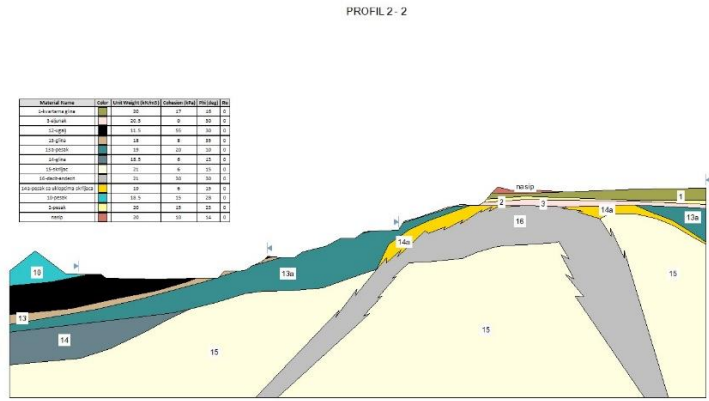


Slika 4. Položaj analiziranih profila

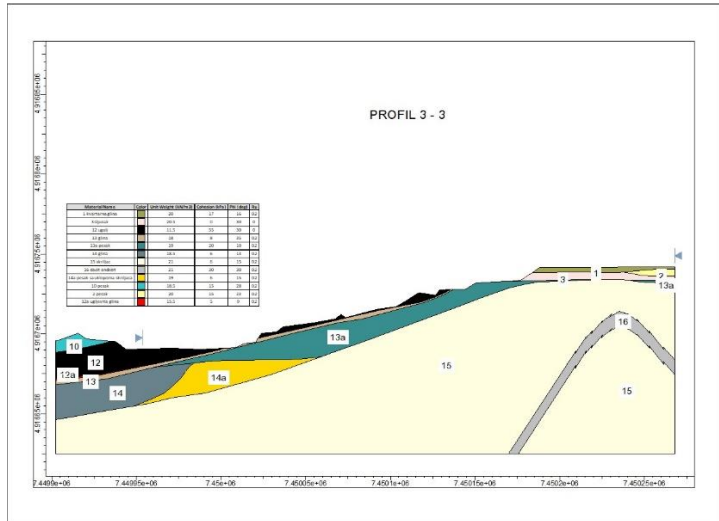
Poprečni presezi analiziranih profila dati su na Slikama 5, 6, 7, 8 i 9.



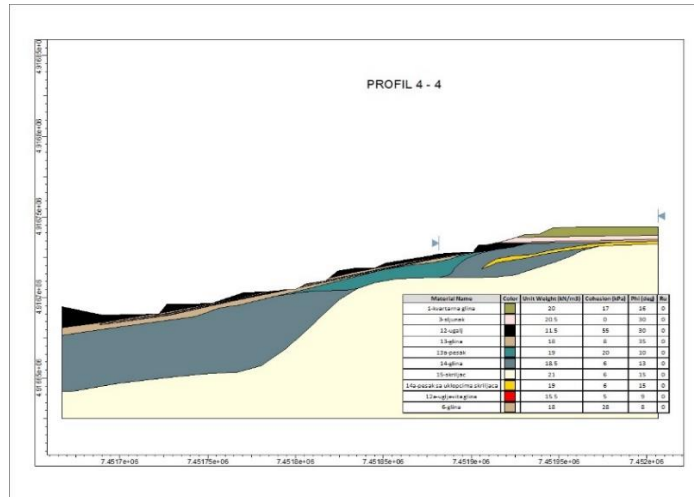
Slika 5. Poprečni presek Profila 1-1



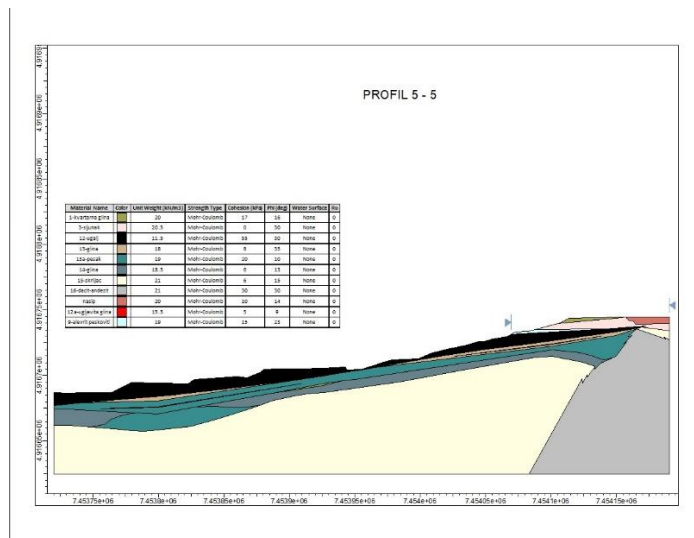
Slika 6. Poprečni presek Profila 2-2



Slika 7. Poprečni presek Profila 3-3



Slika 8. Poprečni presek Profila 4-4



Slika 9. Poprečni presek Profila 5-5

Rezultati analize prikazani su tabelarno na Slikama 10, 11 i 12.

(Profil 1 - 1)

ETAŽA	r _i	F _s
I	0.0	1.55
	0.2	1.32
	0.3	1.17
	0.5	0.94
II	0.0	0.98
	0.2	/
	0.3	/
III	0.0	1.25
	0.2	1.09
	0.3	1.00
GENERALNA KOSINA	0.0	0.80
	0.2	1.01
	0.3	0.84
	0.5	/

(Profil 2 - 2)

ETAŽA	r _i	F _s
I	0.0	1.13
	0.2	0.96
	0.3	/
	0.5	/
II	0.0	1.08
	0.2	0.92
	0.3	/
GENERALNA KOSINA	0.0	0.99
	0.2	/
	0.3	/
	0.5	/

Slika 10. Vrednosti faktora sigurnosti (Fs) za profile 1-1 i 2-2

(Profil 3 - 3)

ETAŽA	r_i	F_s
I	0.0	1.53
	0.2	1.36
	0.3	1.23
	0.5	1.00
II	0.0	1.34
	0.2	1.17
	0.3	1.06
	0.5	0.83
GENERALNA KOSINA	0.0	1.10
	0.2	0.90
	0.3	/
	0.5	/

(Profil 4 - 4)

ETAŽA	r_i	F_s
I	0.0	1.34
	0.2	1.14
	0.3	1.06
	0.5	0.84
II	0.0	1.36
	0.2	1.11
	0.3	0.99
	0.5	/
GENERALNA KOSINA	0.0	1.26
	0.2	1.01
	0.3	0.90
	0.5	/

Slika 11. Vrednosti faktora sigurnosti (F_s) za profile 3-3 i 4-4

(Profil 5 - 5)

ETAŽA	r_i	F_s
I	0.0	2.54
	0.2	2.21
	0.3	2.00
	0.5	1.71
II	0.0	1.39
	0.2	1.17
	0.3	1.05
	0.5	0.80
GENERALNA KOSINA	0.0	1.52
	0.2	1.32
	0.3	1.23
	0.5	0.93

Slika 12. Vrednosti faktora sigurnosti (F_s) za profil 5-5

Uvidom u dobijene rezultate može se konstatovati da faktori sigurnosti (F_s) uglavnom imaju nezadovoljavajuće vrednosti, bilo za parcijalne kosine, bilo za generalne, što samim tim iziskuje korekciju geometrije etaža. To je veoma bitno iz razloga što usled njihovog zarušavanja infrastrukturni objekti, koji se nalaze u toj zoni, mogu biti ugroženi.

Nakon određivanja novih geometrija prethodno analiziranih etaža, urađena je njihova provera na stabilnost za vrednosti koeficijenta pornog pritiska $r_u = 0.3$ i $r_u = 0.5$. Dobijeni rezultati faktora sigurnosti (F_s) korigovanih etaža prikazani su na Slikama 13 i 14.

REZULTATI ANALIZE STABILNOSTI JUŽNE KOSINE POLJE E
(zona kod bagera G-VII)

(Profil 1 - 1)

ETAŽA	r _i	F _s
1	0.3	/
	0.5	1.55
2	0.3	/
	0.5	3.39
3	0.3	/
	0.5	1.51
4	0.3	/
	0.5	1.31
5	0.3	/
	0.5	1.23
6	0.3	/
	0.5	1.36
7	0.3	/
	0.5	1.73
8	0.3	/
	0.5	1.98
9	0.3	/
	0.5	2.22
sistem kosina I - VI	0.3	/
	0.5	1.40
sistem kosina IV - IX	0.3	1.59
	0.5	1.18
generalna kosina	0.3	1.62
	0.5	1.20

REZULTATI ANALIZE STABILNOSTI JUŽNE KOSINE POLJE E
(zona kod bagera G-VII)

(Profil 2 - 2)

ETAŽA	r _i	F _s
1	0.3	/
	0.5	2.25
2	0.3	/
	0.5	1.43
3	0.3	/
	0.5	1.83
4	0.3	/
	0.5	2.00
5	0.3	/
	0.5	1.71
6	0.3	/
	0.5	1.71
7	0.3	/
	0.5	1.93
8	0.3	/
	0.5	2.77
9	0.3	/
	0.5	3.41
10	0.3	/
	0.5	3.37
11	0.3	/
	0.5	3.76
sistem kosina 1-4	0.3	/
	0.5	1.27
sistem kosina 1-8	0.3	/
	0.5	1.48
sistem kosina 6-11	0.3	/
	0.5	1.33
generalna kosina	0.3	1.86
	0.5	1.27

Slika 13. Vrednosti faktora sigurnosti (F_s) za profile 1-1 i 2-2 (nova geometrija etaža)

REZULTATI ANALIZE STABILNOSTI JUŽNE KOSINE P
(zona kod bagera G-VII)

(Profil 3 - 3)

ETAŽA	r _i	F _s
1	0.3	/
	0.5	1.49
2	0.3	/
	0.5	2.92
3	0.3	/
	0.5	2.74
4	0.3	/
	0.5	3.08
5	0.3	/
	0.5	2.60
6	0.3	/
	0.5	1.37
7	0.3	/
	0.5	1.30
8	0.3	/
	0.5	1.35
9	0.3	/
	0.5	1.37
10	0.3	/
	0.5	2.07
11	0.3	/
	0.5	2.87
12	0.3	/
	0.5	1.79
13	0.3	/
	0.5	1.81
sistem kosina I - IX	0.3	/
	0.5	1.47
sistem kosina X - XIII	0.3	1.49
	0.5	1.15
generalna kosina	0.3	1.48
	0.5	1.07

REZULTATI ANALIZE STABILNOSTI JUŽNE KOSINE P
(zona kod bagera G-VII)

(Profil 5 - 5)

ETAŽA	r _i	F _s
1	0.3	/
	0.5	1.24
2	0.3	/
	0.5	1.89
3	0.3	/
	0.5	1.43
4	0.3	/
	0.5	1.25
5	0.3	/
	0.5	1.32
6	0.3	/
	0.5	2.08
7	0.3	/
	0.5	1.66
8	0.3	/
	0.5	1.37
9	0.3	/
	0.5	1.34
10	0.3	/
	0.5	1.82
11	0.3	/
	0.5	2.20
12	0.3	/
	0.5	2.08
13	0.3	/
	0.5	2.64
14	0.3	/
	0.5	1.90
15	0.3	/
	0.5	2.16
sistem kosina I - IX	0.3	1.60
	0.5	1.23
sistem kosina X - XV	0.3	1.49
	0.5	1.18
generalna kosina	0.3	1.62
	0.5	1.18

Slika 14. Vrednosti faktora sigurnosti (F_s) za profile 3-3 i 5-5 (nova geometrija etaža)

Faktori sigurnosti (F_s) analiziranih etaža imaju zadovoljavajuće vrednosti tako da treba što pre uraditi korekciju južne kosine shodno dobijenim rezultatima, kako bi eksploatacija mogla da se nastavi. Jasno je da pozicija za predviđeni montažni plac mora da se menja, da se odredi nova lokacija, imajući u vidu

vrstu i obim poslova koji na njemu treba da se obave. To potvrđuje i položaj gornje ivice novoformirane završne kosine (Slika 15) koja se prostire duž sredine te zone placa. Pored toga, bez odvodnjavanja ovog dela kopa, takođe je nemoguće obezbediti dovoljnu sigurnost za rad, tako da na to treba prvenstveno obratiti pažnju.



Slika 15. Položaj gornje ivice novodimenzionisane etaže (granice kopa)

3. Zaključak

Površinski kop Polje E, sa godišnjom proizvodnjom od 12 miliona tona, u budućnosti treba da bude nosilac proizvodnje uglja u RB Kolubara. Prethodno odvodnjavanje kopa kao i tačno dimenzionisanje etaža nakon sprovedenih geomehaničkih analiza uslov su bez koga kop neće moći raditi u punom kapacitetu i bez čega će sigurnost radnika i mehanizacije biti ugrožena. U početnoj fazi otvaranja kopa, u zoni južne kosine, usled pogrešno određenih parametara etaža i pogrešne tehnologije rada, došlo je do zarušavanja jednog dela kosine tako da je eksploatacija u tom delu kopa bila onemogućena, a pojedini objekti su morali biti izmešteni usled njihove ugroženosti.

Da bi proizvodnja mogla da se nastavi u ovom delu površinskog kopa, prvenstveno je neophodno odvodniti taj prostor, a zatim dimenzije etaža prilagoditi rezultatima iz sprovedenih analiza stabilnosti kosina (rezultati prikazani na Slikama 13 i 14).

Literatura

[1] Stručna i fondovska dokumentacija RB Kolubara



УГАЉ КОСОВА И МЕТОХИЈЕ И ЊЕГОВ ЕКОНОМСКИ ЗНАЧАЈ COAL OF KOSOVO AND METOHIA AND ITS ECONOMIC SIGNIFICANCE

Симић С.¹, Илић Б.², Вујић С.³, Рабреновић Д.⁴

Апстракт

Лигнитски угаљ у Србији је водећи ресурс у производњи електричне енергије са учешћем од 70%, остатак чине хидроенергија и обновљиви извори. Многе европске земље, услед рата у Украјини, вратиле су се производњи електричне енергије сагоревањем угља јер је једини ресурс који обезбеђује стабилну и континуирану производњу. Судаћи по актуелној геополитичкој ситуацији у Европи, угаљ ће и даље бити актуелан као незаменљив ресурс у производњи струје. Лигнитски угљоносни басени на простору Србије са најзначајнијим резервама угља су колубарски, костолачки и басени на Косову и Метохији. У раду су приказани геолошко-економски подаци угљоносних басена на Косову и Метохији. На основу позитивних резултата геолошких истраживања угља на подручју Косова и Метохије, финансијским средствима некадашње СФРЈ, односно Републике Србије, отворани су рудници и површински копови, постројења за припрему и прераду угља, изграђене су термоелектране, постројења за гасификацију угља, гасовод. На простору Косова и Метохије развијена су три угљоносна басена: косовски, метохијски и дренички. Процењене резерве угља збирно за сва три басена износе сигурно преко 10 милијарди тона.

Кључне речи: угаљ, Косово и Метохија, површински коп, термоелектране, инвестиције

Abstract

Lignite coal in Serbia is the leading resource in the production of electricity with a share of 70%, the rest is made up of hydropower and renewable sources. Many European countries, due to the war in Ukraine, returned to the production of electricity by burning coal because it is the only resource that ensures stable and continuous production. Judging by the current geopolitical situation in Europe, coal will continue to be relevant as an irreplaceable resource in the production of electricity. The lignite coal-bearing basins on the territory of Serbia with the most significant coal reserves are the Kolubara, Kostolac and Kosovo and Metohia basins. In the paper, we will present the geological and economic data of coal-bearing basins in Kosovo and Metohia. Based on the positive results of geological research of coal in the area of Kosovo and Metohia, mines and surface mines, coal preparation and processing plants, thermal power plants, coal gasification plants, and gas pipelines were opened with the financial resources of the former SFRY, i.e., the Republic of Serbia. On the territory of Kosovo and Metohia, three coal-bearing basins have been developed: Kosovo, Metohia and Drenica. Estimated coal reserves collectively for all three basins are certainly over 10 billion tons.

Keywords: coal, Kosovo and Metohia, opencast mine, thermopower plants, investments

1. Увод

Угаљ је у Србији водећи ресурс у производњи електричне енергије (70%). Хидроенергија и

¹ Светлана Симић, Геолошки завод Србије, Београд, svetlana.simic@gzs.gov.rs

² Бранко Илић

³ Проф. др Слободан Вујић, Рударски институт Београд,

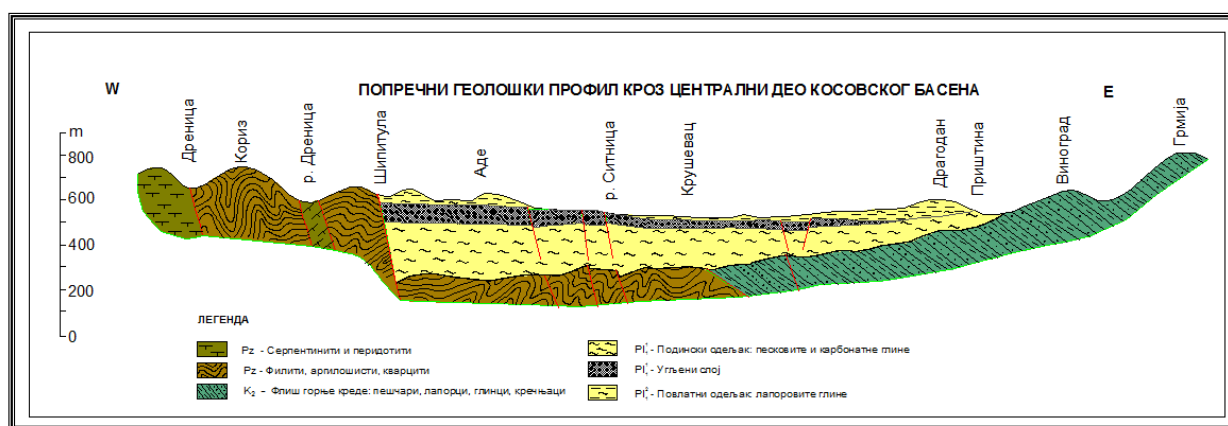
⁴ Проф. др Рабреновић Драгоман, Геолошки завод Србије, Београд, dragoman.rabrenovic@gzs.gov.rs

km) окружену планинама Копаоник, Козница, Лисац, Жеговац, Чичевица, Голеш, Кукуљица и Шар-планина. Све воде Косова дренира река Ситница која тече средином басена.

Косовски басен има облик благе асиметричне синклинале са осом пружања ССЗ-ЈЈИ и благим падом ка центру басена (до 10^0). Радијална тектоника у језерској и постјезерској фази условила је паркетну структуру неогених наслага са скоковима од 15 m до 30 m. Ерозиони процеси су, на ободним деловима басена, а местимично и у централним, условили разарање угљоносне серије [4, 8].

Подлогу и обод басена чине палеозојски кристаласти шкриљци, мермери, мермерисани кречњаци, кварцити, седименти тријаса (услојени мермерисани кречњаци), јурски офиолитски меланж, кредни конгломерати, пешчари, кречњаци [4, 9].

Најнижи члан неогеног комплекса чине базални конгломерати и песковите глине горњег миоцена који дискордантно леже преко старије подлоге. Поступно прелазе навише у угљоносну, литолошки неуједначену, плиоценску серију, дебљине до 600 m. Плиоценска серија је издељена, литолошки, на три одељка: подински одељак, угљени слој и повлатни одељак (Слика 2) [1, 4, 8].



Слика 2. Попречни геолошки профил кроз централни део косовског басена (М.Атанацковић, 1959)

Подински одељак изграђен је од песковитих и карбонатних глина и пешчара са прослојцима угљевите глине и угља. Укупна дебљина подинског одељка је око 300 m. Угљени слој - развијен је један угљени слој комплексне грађе, средње дебљине од 50 до 60 m, са прослојцима глине, који, ка периферним деловима басена повећавају свој удео и раслојавају јединствени слој на више банака. Повлатни одељак граде лакустријске сиве глине са прослојцима и сочивима кречњака, средњезрних пескова, шљункова. Укупна дебљина најмлађег одељка је до 300 m.

Угљоносност косовског басена представљена је једним слојем угља, сложене грађе са прослојцима глине [4,7]. У доњем делу угљеног слоја, удео глине се повећава тако да га раслојавају на више огранака. Глине су обично угљевите, сиво-зелене, местимично бентонитске. Дебљина угљеног слоја варира од 15 m (јужни део басена, Липљан), у северном делу код Сибовца износи 30 до 40 m, док у централном делу басена иде и до 100 m (Доброшевац, јужно од Белаћеваца). Слој угља је скоро хоризонталан са благим падом (10^0) ка центру басена, осим уз сам обод басена где износи 25^0 . Дубина појављивања угљеног слоја креће се од 0 m (ревер Добро Село) до 140 m (Белаћевац).

Угаљ косовског басена припада меким мрким угљевима (средња рефлексивност хуминита износи $0,29 \pm 0,03\%$ Rr) са уделом влаге (45%), пепела (17,04%), сумпора (1,03%), испарљивих материја (63,29%) и вредношћу доње топлотне вредности од 7,8 MJ/kg.

2.2. Метохијски басен - географски положај, геолошка грађа, угљоносност

Метохијски угљоносни басен је тектонска потлина у западном делу Косова и Метохије. Заузима површину од око 1.700 km². Окружују је планине Проклетије, Кужељ, Мокра и Сува Гора, а

средином котлине тече река Бели Дрим. Метохијски басен је тектонска потолина настала степенчастим спуштањем дуж трансверзалних раседа у зони унутрашњих Динарида [9]. Централни део депресије спуштен је за 600 m у односу на обод. Неогене наслага имају благ центриклиналан пад. Радијални покрети условили су интензивна раседања и настанак блоковске грађе у појединим деловима басена (Тучепо). Раседи су правца пружања СИ -ЈЗ или СЗ-ЈИ, са скоковима од неколико до више десетина метара [4, 8]. Тектонска грађа је сложенија у северном делу басена.

Обод метохијског басена изграђен је од шкриљаца (серицитски и хлоритски), филита, аргилошиста, сочива мермера, метаморфисаних пешчара млађег палеозоика [4, 7]. Творевине тријаса представљене су метаморфисаним пешчарима, кварцитима, глинцима, кварцним конгломератима, мермерисаним кречњацима. Јурски комплекс представљен је дијабаз-рожном формацијом, а кредни разноврсним кречњацима (спрудни, слојевити, банковити, доломитични, пелашки, лапоровити, рудистни и др.). Неогене наслага представљене су угљоносним седиментима миоцена, плиоцена и квартера [4, 2].

Економски интересантне творевине плиоцена представљене су доњоплиоценским, средњеплиоценским и горњоплиоценским седиментима [4, 8]. У оквиру *доњоплиоценских* угљоносних наслага издвајају се: *подински одељак* изграђен од базалних конгломерата и песковито-шљунковитих седимената, укупне дебљине до 200 m; *угљоносни хоризонт*, дебљине до 60 m, представљен угљем и угљевитим глинама и *повлатни одељак* у чији састав улазе глине и меки лапори, дебљине до 35 m. *Средњеплиоценске* наслага изграђене су од песковитих глина, пескова, шљункова, угљевитих глина и неколико слојева угља максималне дебљине до 1 m. Повлату чине лапоровите и песковите глине. *Горњоплиоценске* наслага су, у подинском делу, изграђене од шљункова, пескова и песковитих глина, затим следе угљевите глине са неколико слојева угља, дебљине од 3 m до 7 m. Повлатни седименти представљени су лапоровитим и песковитим глинама и заглињеним песковима. Укупна дебљина горњоплиоценских наслага износи 190 m.

У метохијском басену развијено је више угљоносних серија различите старости. Економски значај има само угљоносна серија доњег плиоцена, у којој је развијен један слој сложене грађе, дебљине до 60 m. Серија пада ка центру басена под углом од 5° до 7° . Слој је хомогеније грађе у централном него у ободним деловима басена. Раслојеност може бити толика да је јужни обод (јужно до Клине) издвојен као неексплоатибилни део лежишта. На основу геолошко-економских карактеристика угљоносне серије у метохијском басену издвојена су четири угљоносна поља: Тучепо, Б-Ц, А и Јужно Поље.

2.3. Дренички басен, географски положај, геолошка грађа, угљоносност

Дренички басен је лоциран између метохијског и косовског басена. Дужина басена износи око 30 km, а ширина не прелази 10 km. У тектонском смислу, дренички басен има облик благе синклинале са осом пружања север-југ. Присутно је више раседа правца пружања исток-запад, са скоковима од 10 m до 40 m. Услед интензивних ерозионих процеса, као и дејства радијалних покрета, у Дреничком басену јасно су издвојена два угљоносна поља: Србичко и Глоговачко-глобарско поље. Обод и подлога дреничког басена изграђени су од кредног флиша (западни обод) и палеозојских шкриљаца, кварцита, серпентинита и кредних кречњака (источни обод). Појаве угља везане су за удубљења у палеорељефу.

У оквиру неогених наслага издвајају се: *подински одељак*, који лежи трансгресивно и дискордантно преко старије подлоге, дебљине од 20 m до 140 m; изграђен од слабевезаних конгломерата, зеленкастих глиновитих пескова са карбонатним конкрецијама, песковитих глина; *угљени слој* - развијен је један угљени слој, дебљине до 40 m са прослојцима јаловине у горњем или доњем делу слоја; појаве угља везане су само за удубљења у палеорељефу која нису могла бити захваћена ерозионим процесима и *повлатни одељак* представљен глиновито-лапоровитим седиментима (глине, лапоровите глине, лапорици, пескови) дебљине до 20 m (овако мала дебљина последица је ерозионих процеса). Фацијални развој дреничког басена је истоветан као и код басена који га окружују, метохијском и косовском. Присутне су алувијално-

пролувијалне творевине (подински одељак), тресетно-мочварне (угљени слој) и језерске творевине (повлатни одељак) [4, 2, 3].

Развијен је један угљени слој сложене грађе са прослојцима јаловине (угљевите глине) у горњем или доњем делу слоја. Удео чистог угља у укупној дебљини слоја може да варира од 40% до 80% [4,8]. У Србичком пољу дебљина угљеног слоја варира од 5 m до 27 m, просечно 17 m. Јалови прослојци су присутнији у подинском делу слоја угља него у повлатном. У глоговачко-глобарском пољу подински део слоја угља је компактнији од повлатног, у коме су бројни јалови прослојци. Просечна дебљина угља у овом пољу износи 10 m. Ово поље је мање од србичког, а угљени слој је више редукован ерозијом него у србичком пољу. Дубина појављивања угљеног слоја креће се од 1,5 m до 35 m. У србичком пољу већи део резерви налази се на дубини од 15 m, што је веома повољно за површинску експлоатацију.

2.4. Квалитет и резерве угља у косовском, метохијском и дреничком басену

Угаљ у косовском, метохијском и дреничком басену припада меким мрким угљевима, лигнитима, ксилитске до земљасте структуре, светло до тамно браон боје. Параметри квалитета одређени хемијско-техничком анализом приказани су у Табели 1.

Табела 1. Параметри квалитета угља одређени хемијско-техничком анализом у косовском, метохијском и дреничком басену, допуњено [4, 8]

Параметри анализе (са укупном влагом)	Косовски басен	Метохијски басен	Дренички басен
Влага (%)	48,80	38,50	37,90
Пепео (%)	12,28	21,56	19,25
Сумпор укупан (%)	0,74	0,84	1,58
Сумпор у пепелу (%)	0,62	/	/
Сумпор сагорљив (%)	0,12	/	/
Кокс (%)	28,15	38,50	32,92
C-fix (%)	15,87	16,10	11,93
Испарљиво (%)	23,05	23,80	22,00
Сагорљиво (%)	38,92	40,00	33,99
ГТЕ (KJ/kg)	9.623,0	/	/
ДТЕ(KJ/kg)	7.950,0	7.390,0	7.100,00

Процењене резерве угља у косовском басену износе од 6 до 10 милијарди тона [4, 8], у метохијском преко 2 милијарде тона [4, 2] и дреничком око 25 милиона тона угља [4, 6, 3].

Према последњем овереном Елаборату о резервама угља који је урађен од стране Електропривреде Србије и Рударско-геолошког факултета 1995. године, обрачунате резерве угља за косовски и метохијски басен износе 14 милијарди тона.

Основна метода истраживања угља у Косовском басену била је метода вертикалних пресека, односно истражно бушење са језгровањем по квадратној мрежи са циљем дефинисања геолошко-економских параметара (количине и квалитета угља, морфологије слоја, дебљине слоја угља и јаловине и др.) структурних, стратиграфских, генетских, минералошко-петролошких, хидрогеолошких, инжењерско-геолошких и других карактеристика лежишта. Истражно бушење извођено је по мрежи димензија 1.000*1.000 m, резерве А категорије мерене су по мрежи 62,5*62,5 m. О интензивности геолошких истраживања у косовском басену сведочи и податак да је у периоду од 1952. до 1957. године избушено 1.079 бушотина укупне дужине 160 km. Угљоносност је износила 41,3 t/m².

3. Историјат финансијских улагања у геолошка и пратећа истраживања угља на Косову и Метохији

Припреме за покретање површинске експлоатације угља и подизање термоелектрана завршене су 1956. године [4, 5]. Први блок термоелектране Косово А снаге 65 MW пуштен је у рад 1962. године, а Косово Б снаге 2*339 MW пуштен је 1977. године. Развојем првобитног Комбината за

прераду и експлоатацију косовског лигнита Обилић основаног 1959. године, преко Рударско-енергетско-металуршко-хемијског комбината Косово Приштина и каснијим интегрисањем у Електропривреду Србије, настала су јавна предузећа за производњу, прераду и транспорт угља, Површински копови Косово и Обилић, јавна предузећа за производњу термо-електро енергије (Термоелектране Косово, Обилић). У оквиру Комбината и касније јавних предузећа значајно место заузимала су и постројења за прераду угља. Површински копови Добро Село и Белаћевац су у структури система имали и термоелектрану ТЕ Косово I, II, III, IV и V снаге 800 MW, постројења за припрему угља (шест постројења), две сушаре капацитета сушеног лигнита $1,2 \cdot 10^6$ t годишње, топлану капацитета 260 t паре/час, гасификацију угља капацитета $480 \cdot 10^6$ m³ годишње и азотару капацитета $360 \cdot 10^3$ t ђубрива. Градња постројења за гасификацију отпочела је 1965. године и чиниле су га следеће јединице: јединица за производњу гаса, постројење за пречишћавање гаса, постројење за производњу кисеоника и азота и постројење за пречишћавање воде. Изграђен је гасовод до Железаре у Скопљу, на који се касније прикључила и градска топлана у Приштини.

О првим званичним подацима о рудним резервама лигнитског угља на територији КиМ постоје две занимљиве две краће и истините приче (обележавале су ондашња социјалистичка времена) [5].

Према првој причи и сећању дипломираног рударског инжењера Милана Драговића, извештаји о резултатима геолошких и рударских истраживања на Косову и Метохији били су строго поверљиви. Тадашњи Министар рударства Светозар Вукмановић Темпо изразио је дубоку сумњу у прорачунате количине угља, сматрајући да су претеране. Наравно, каснијих година се и сам уверио у истинитост добијених података.

Друга прича говори о Саветовању о косовско-метохијском орудњењу, које је одржано 1952. године у Ајвалији, а на коме су стручно оцењиване студије о угљу, металичним и неметаличним минералним сировинама на КиМ. Саветовању су присуствовали директори рудника, управници, бројни геолози, чак и висококвалификовани радници, руководиоци бушаћих гарнитура. Један од непосредних руководилаца бушаћих гарнитура које су биле ангазоване на истраживању угља на КиМ, био је и Марко Лазовић (радници су га звали Гар-Марко), родом из Боке Которске, који је после изношења детаљних података и резултата истраживања угља у Косовском басену, прокоментарисао: *Ове циновске подземне црне мараме, које као да симболизују погибију српских витезова и јунака 1389. год., чине велико подземно благо. У блиској будућности биће извор светлости, али може донети велике невоље народу овог краја.* Настао је тајац и нека чудна атмосфера. Пошто је вођен записник (записничар је био аутор овог текста, Бранко Илић), убрзо, после краће паузе, записничару је дискретно пришао повереник УДБ и тихо рекао: *Немој овај део Маркових речи уносити у записник, што је и учињено.* Иначе, записник је у саставу пословне документације басена Ајвалија, односно Кишничко-новобрдских рудника, био сачуван све до 1991. године, када је заједно са осталом обимном и разноврсном документацијом, са техничким и економским подацима, завршио у липљанској Лепенки.

3.1. Процена садашње вредности угља на Косову и Метохији

Геолошким истраживањима утврђено је да је налазиште угља на просторима КиМ (сва три басена)

међу највећим у Европи. Иако су у научним круговима постојале извесне несугласице у проценама

које се односе на количину угља, пажња јавности је више окренута финансијској процени вредности налазишта, односно могућностима експлоатације. Из тих разлога многе домаће и иностране компаније, институти и агенције бавиле су се проценом вредности налазишта угља на АП КиМ.

Процену садашње вредности, услед немогућности да Влада Републике Србије оствари увид у производњу и стање објеката, веома је тешко дати. Могу се, међутим, сасвим поуздано изнети подаци о средствима која су уложена у њихову изградњу, тако да се може констатовати да би за

изградњу енергетских објеката таквих капацитета било потребно више милијарди евра [5]. Министарство енергетике Републике Србије 2009. године проценило је вредност дела имовине државе Србије (процена се само делимично односи на објекте термоелектране, појединих погона, копова, механизације и др.), противправно отете на КиМ, износи преко 1,5 милијарди долара [5]. У министарству је тада речено Тањугу да би вредност тог богатства износила преко 100 милијарди евра, када се узме у обзир перспектива и износ који би се добио експлоатацијом и претварањем тог енергетског богатства у електричну енергију [5].

Према речима др Михаила Станишића, који је имао поуздана сазнања са разних страна света, само резерве косовског лигнита вреде око 500 милијарди долара. Том податку, постепено се приближава вредност коју је проценио Wall Street Journal [5]. У јулу 2012. године Wall Street Journal објавио је вест да је изасланик светског финансијског магната Џорџа Сороса био пет пута на КиМ и то у друштву албанског милијардера Сахита Мује, с којим Сорос хоће да експлоатише косметски лигнит који су проценили на вредност већу од 300 милијарди долара [5].

Својевремено је и УНМИК правио процену вредности, која је из јасних политичко-економских разлога умањена и приказана као десетоструко нижа од стварне вредности. До ове поражавајуће ниске вредности дошло се тако што је тона лигнита процењена на око један долар, што свакако није у складу са разумном економском проценом [5].

Како би се имао увид у количине новчаних средстава у производњи угља, приказане су упоредне номиналне вредности у остварењу и резервама угља (Табела 2).

Табела 2. Бруто номинална вредност у остварењу и резервама угљарске индустрије и енергетике Србије у XX и XXI веку [5]

Носиоци производње и начин експлоатације	Б. Н. В. у Еурима			Б. Н. В. у Динарима			
	Остварено		Укупне резерве	Укупне резерве			
	У 10 ³ Еура	Учеш. у %	Учеш. у %	У 10 ³ Еура	Учеш. у %	У 10 ³ Еура	Индекс
1. Колубарски	60.989,54	61,16	16,01	7.562.703	61,16	24.930.863	329,65
2. Костолачки	12.453,94	12,49	8,02	1.544.289	12,49	12.493.663	809,02
3. Косовски	18.624,36	18,68	70,05	2.309.421	18,68	109.116.720	4.724,85
I Укупно	92.067,84	92,33	94,08	11.416.413	92,33	146.541.246	1.283,60
II Подземна експ.	7.199,84	7,22	4,86	892.780	7,22	7.579.128	848,94
III Подвод. експ.	449,82	0,45	1,06	55.788	0,45	1.646.875	
A Свега	99.717,50	100,00	100,00	12.364.981	100,00	155.767.249	1.259,75
Б Србији без КиМ (1+2+III)	81.093.140	81,32	29,95	10.055.560	81,32	46.650.529	463,93

На основу свега што је Електропривреда Србије и Држава Србија у целини улагала у косовско-метохијске угљенокопе, не би се требало никако одрицати коришћења сопствених богатстава.

Литература

- [1] Атанацковић М. (1959): Плиоцен Косовског басена, Геолошки гласник, III, Титоград
- [2] Бокчић П. (1983): Неогена угљена лежишта североисточног дела метохијског басена, Расправе Завода за геолошка и геофизичка истраживања, књига XX, број 1-62, 1983.
- [3] Вујисић Љ., Бокчић П. (1969): Прилог познавању геологије дреничког угљоносног басена, Весник Завода за геолошка и геофиз. истраживања, Сер. А, књ. 27, Београд
- [4] Вујић С. и сарадници (2021): Минерално-сировински комплекс Косова и Метохије, Рударски институт Београд, Београд, 332
- [5] Илић Б.: Записи о производњи минералних сировина на Косову и Метохији, рукописи са састанака, непубликован материјал
- [6] Николић П. и Димитријевић Д. (1981): Угаљ Југославије, Монографија, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 417

- [7] Николић П. и Д. Димитријевић (1996): Међусобна условљеност развоја енергетике и потенцијалности мрког угља у Србији, РГФ, Институт за регионалну геологију и палеонтологију, Београд, 232.
- [8] Николић П. и Пантић Р. (1997): Сировински потенцијали и могући развој угљарства Србије, Наука, Београд, 225.
- [9] Павић А. et al. (1983): Тумач за лист Урошевац К 34-55, ОГК 1:100.000, Фонд ГЗС, Београд
- [10] Euracoal Annual report 2022 <https://public.euracoal.eu/download/Public-Archive/Library/Annual-Reports/EURACOAL-Annual-Report-2022-rev04-WEB.pdf>
- [11] <https://www.dw.com/sr/koliko-dugo-%C4%87e-srbija-smeti-da-koristi-ugalj-za-proizvodnju-struje/a-66091778>



**ISKUSTVA I NEDOUMICE PRIMENE PREVENTIVNOG PRISTUPA ZAŠTITE
PROSTORA U ZONAMA POVRŠINSKIH KOPOVA MINERALNIH SIROVINA U
REPUBLICI SRBIJI**

**EXPERIENCES AND DOUBTS OF THE APPLICATION OF THE PREVENTIVE
APPROACH TO THE PROTECTION OF SPACE IN THE ZONES OF SURFACE MINING
OF MINERAL RAW MATERIALS IN THE REPUBLIC OF SERBIA**

Šljivančanin D.¹, Radeka M.²

Apstrakt

Aktiviranje područja za koje se prethodnim detaljnim geološkim istraživanjima utvrde i overe rezerve mineralnih sirovina, bazira se na obimnoj planskoj, projektnoj i studijskoj dokumentacionoj osnovi. Dugotrajna procedura od početka razvoja projekata zona površinskih kopova mineralnih sirovina do konačnog ishodovanja odobrenja za eksploataciju, zahteva koordinisane aktivnosti između nosioca projekta, obrađivača neophodne dokumentacione osnove uz institucionalni okvir na lokalnom/republičkom nivou i participaciju zainteresovane javnosti. Imajući u vidu potencijalne rizike na stanje životne sredine i osetljivost razvoja projekata površinskih kopova po lokalnu zajednicu, neophodno je na sistematičan i javnosti prijemčiv način predstaviti mogućnosti preventivnog pristupa zaštite prostora i životne sredine u zonama površinskih kopova mineralnih sirovina. U radu su prezentovana određena iskustva, nedoumice i predlozi ka unapređenju metodološkog okvira i načina uključivanja zainteresovane javnosti prilikom izrade projektne, planske i studijske dokumentacije neophodne za razvoj površinskih kopova, sa aspekta zaštite prostora i životne sredine.

Ključne reči: *projekat, preventivni pristup, zaštita prostora, površinski kopovi mineralnih sirovina*

Abstract

The activation of areas for which reserves of mineral raw materials have been determined and verified by previous detailed geological research is based on extensive planning, project and study documentation. The long-term procedure, from the beginning of the development of surface mining projects of mineral raw materials to the final obtaining of approval for exploitation, requires coordinated activities between the project holder, the processor of the necessary documentation base on the institutional framework at the local/republican level and the participation of the interested public. Bearing in mind the potential risks to the state of the environment and the sensitivity of the development of surface mining projects to the local community, it is necessary to present the possibilities of a preventive approach to the protection of space and the environment in the zones of surface mining of mineral resources in a systematic and receptive manner. The paper present certain experiences, doubts and suggestions for improving the methodological framework and ways of involving the interested public in the preparation of design, planning and study documentation necessary for the development of surface mines, from the aspect of space and environmental protection.

Keywords: *project, preventive approach, protection of space, surface mining of mineral raw materials*

¹ Msr Dušan Šljivančanin, dipl. prostorni planer, TERRAGOLD&CO, Beograd, e-mail: d.sljivancanin@terrargold.co.rs

² Msr Milica Radeka, dipl. geograf iz oblasti zaštite životne sredine, TERRAGOLD&CO, Beograd, e-mail: m.radeka@terrargold.co.rs

1. Uvod

Eksploatacija neobnovljivog rudnog bogatstva, odnosno mineralnih sirovina, nedvosmisleno je nužan preduslov egzistencije današnje civilizacije. Dalji privredni rast, kao pokazatelj društvenog i ekonomskog razvoja, zahteva sve veće količine mineralne sirovine. Posledica ove činjenice je da rudarska delatnost kao nosilac upravljanja mineralnim resursima, u kontekstu energetske nezavisnosti zemlje i daljeg ekonomskog i privrednog rasta, nije stvar odabira, nego neminovnost. Mogućnost izbora nudi se tek pri određivanju modaliteta, odnosno, načina na koji će se taj nužan preduslov normalnog funkcionisanja današnjeg društva osigurati.

Standardni odgovor rudarske delatnosti na ove zahteve je racionalno upravljanje mineralnim resursima u kontekstu održivog upravljanja celokupnim prostorom sa svim njegovim komponentama. Pri tome je osnovni cilj zadovoljenje potreba za sirovinom, uz stalno nastojanje da rudarska delatnost istovremeno bude pozitivni činilac, obzirom na njen ukupni uticaj na životnu sredinu i druge sadržaje u prostoru (*Nacr Strategije upravljanja mineralnim resursima Republike Srbije do 2030. godine*).

Površinski kopovi, kao predmet rada, predstavljaju rudarske objekte u kojem se vrši eksploatacija mineralnih sirovina putem prethodnog otkrivanja i premeštanja jalovinskog pokrivača na određeno mesto. Ovaj tip rudarstva se razlikuje od eksploatacionih metoda koje zahtevaju kopanje podzemnih prostorija u zemlji. Površinski kopovi se koriste kada su zalihe komercijalno upotrebljivih mineralnih sirovina ili stena pronađene blizu površine, u slučajevima gde je naslaga otkrivke (površinski materijal koji pokriva vredne naslage rude) relativno tanka ili je željeni materijal nepogodan za podzemnu eksploataciju (kao što je na primer pesak ili šljunak). Površinski kopovi koji proizvode građevinski materijal se uglavnom nazivaju i *kamenolomi*. Površinski kopovi se uglavnom proširuju sve dok se mineralni resursi istroše ili zbog povećanog koeficijenta otkrivke i jalovine u odnosu na mineralnu sirovinu koji čini sam proces površinske eksploatacije neekonomičnim.

Sagledavajući prostorne i ekološke implikacije aktiviranja novih zona površinskih kopova mineralnih sirovina, neophodno je od samog početka realizacije projektnih aktivnosti integralno sagledati više aspekata predmetne problematike, kao što su: rentabilnost projekta, socijalno okruženje, uticaj na ekološke sisteme, mogućnost rešavanja imovinskih odnosa, projektno-tehnološka ograničenja i dr. Navedeni aspekti su u određenim dinamičkim fazama realizacije projekata u uzročno-posledičnim vezama i odnosima, te se ne mogu sagledavati nezavisno od celokupnog sistema.

U današnjem periodu intenzivnog privrednog razvoja, ali i istovremeno borbom za očuvanje prirodnih resursa u što većoj meri, relativizacija konfliktnih interesa na relaciji rudarstvo - zaštita životne sredine predstavlja složen i komplikovan proces, koji se u nekim slučajevima i ne može razrešiti na višestranu korist svih zainteresovanih strana. Otvaranje novih zona površinskih kopova prouzrokuje zauzimanje manjih ili većih površina poljoprivrednog i/ili šumskog zemljišta, izmenu saobraćajne mreže na lokalnom nivou i eventualno snižavanje nivoa podzemnih voda u okolini kopova. Prostorne posledice aktiviranja ovakvih područja mogu biti sagledive višedecenijski, uz trajnu ili delimičnu prenamenu prostora u dugogodišnjem periodu. Iz navedenih razloga, primena koncepta održivosti rudarskih projekata jedan je od glavnih izazova naučno-istraživačke delatnosti i prakse kako kod nas, tako i u svetskim okvirima.

2. Preventivni pristup zaštite prostora u zonama površinskih kopova - normativni kontekst

Ishodovanje odobrenja za eksploataciju mineralnih sirovina regulisano je Zakonom o rudarstvu i geološkim istraživanjima (Sl. glasnik RS, br. 101/2015, 95/2018 - dr. zakon i 40/2021) [1]. Vezu Zakona o rudarstvu i geološkim istraživanjima sa zakonskom regulativom iz oblasti zaštite životne sredine po pitanju odobrenja za upotrebu rudarskih objekata pronalazimo kroz odredbe Zakona o proceni uticaja na životnu sredinu (Sl. glasnik RS, br. 135/04 i 36/09).

Prema članu 31. Zakona o proceni uticaja na životnu sredinu (Sl. glasnik RS, br. 135/04 i 36/09) [2] koji reguliše proveru ispunjenosti uslova iz saglasnosti na procenu uticaja, navodi se sledeće:

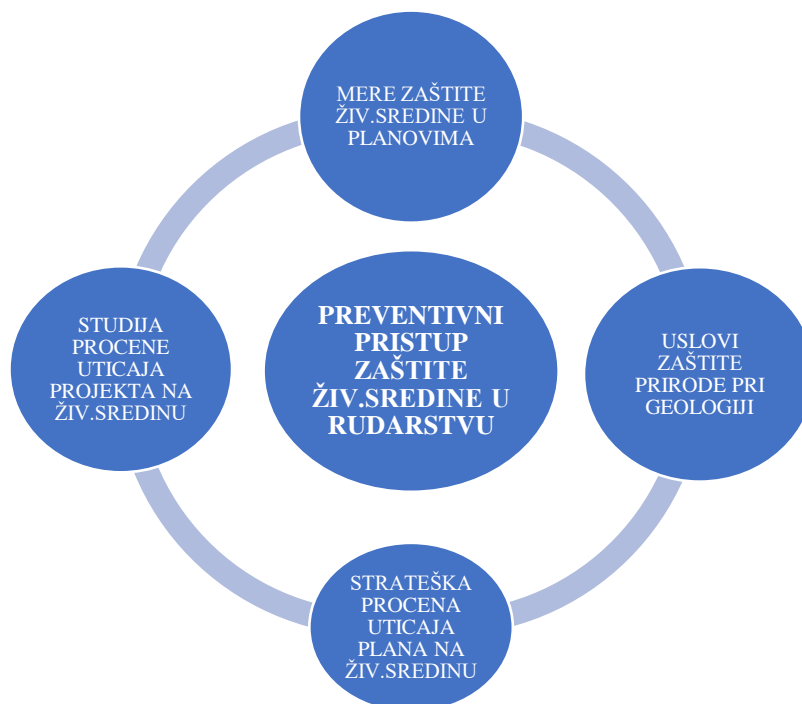
U postupku tehničkog pregleda za projekte za koje je data saglasnost na Studiju o proceni uticaja

utvrđuje se da li su ispunjeni uslovi iz odluke o davanju saglasnosti na studiju o proceni uticaja, u skladu sa zakonom kojim se uređuje izgradnja objekata. Nadležni organ koji je vodio postupak procene uticaja imenuje lice koje učestvuje u radu komisije za tehnički pregled. Lice iz stava 2. ovog člana može biti zaposleno ili postavljeno u nadležnom organu, odnosno u drugom organu i organizaciji ili nezavisni stručnjak koji poseduje dokaze o kvalifikaciji za učešće u radu tehničke komisije iz člana 22. ovog zakona. Upotrebna dozvola ne može se izdati ako lice iz stava 2. ovog člana ne potvrdi da su ispunjeni uslovi iz odluke o davanju saglasnosti na studiju o proceni uticaja.

Takođe, članovima 77. i 103. Zakona o rudarstvu i geološkim istraživanjima, prilikom podnošenja Zahteva za odobrenje za eksploataciju, odnosno za izgradnju i izvođenje rudarskih objekata, neophodno je, između ostalog, dostaviti i *akt organa nadležnog za poslove zaštite životne sredine kojim se daje saglasnost na studiju o proceni uticaja eksploatacije na životnu sredinu.*

U pogledu procedure izrade planskih dokumenata, odnosno u slučaju potrebe izrade prostornih ili urbanističkih planova za zone površinskih kopova, pored uslova i mera zaštite životne sredine, prirodnih i kulturnih dobara koji su Zakonom o planiranju i izgradnji (Sl. glasnik RS, br. 72/2009, 81/2009 - ispr., 64/2010 - odluka US, 24/2011, 121/2012, 42/2013 - odluka US, 50/2013 - odluka US, 98/2013 - odluka US, 132/2014, 145/2014, 83/2018, 31/2019, 37/2019 - dr. zakon, 9/2020, 52/2021 i 62/2023) [4] definisani kao sastavni deo dokumenata prostornog i urbanističkog planiranja, detaljnije sagledavanje odnosa rudarstva i zaštite životne sredine, elaborira se u okviru Izveštaja o strateškoj proceni uticaja Plana na životnu sredinu, a na osnovu Zakona o strateškoj proceni uticaja na životnu sredinu (Službeni glasnik RS, br. 135/2004 i 88/2010) [2]. Na taj način, predmetna problematika razmatra se već na strateškom nivou čime se daju polazni inputi o potencijalnim problemima i načinima mogućeg rešavanja istih, a pre izrade projektne dokumentacije, odnosno Studije o proceni uticaja na životnu sredinu.

Prilikom pripreme projektne dokumentacije za potrebe geoloških istraživanja i elaborata kojim se utvrđuju i overavaju bilansne rezerve mineralnih sirovina na određenom području, što prethodi izradi dokumentacije iz oblasti rudarstva, ishoduju se i uslovi zaštite prirode od nadležnog Zavoda za zaštitu prirode kojim se definišu već na početnim faza projektne dokumentacije ograničenja i mogućnosti realizacije projekta sa aspekta zaštite životne sredine.



Slika 1. Osnovni elementi primene preventivnog pristupa zaštite prostora u zonama površinskih kopova

3. Iskustva i nedoumice u praksi pripreme i ishodovanja dokumentacije iz oblasti rudarstva sa aspekta zaštite životne sredine

Pri proizvodnji mineralne sirovine podzemnom eksploatacijom praktično nema uticaja na životnu sredinu, jer se primenom odgovarajućih metoda eksploatacije mogu eliminisati eventualna sleganja terena. Negativni uticaj površinske eksploatacije nastaje kroz zauzimanje i uništavanje plodnog zemljišta, zagađenje vazduha prašinom (prašina usled atmosferskog razlaganja otkrivke i jalovine na prostorima koji nisu rekultivisani), remećenje režima podzemnih voda u delu kopa u eksploataciji usled odvodnjavanja i zasipanja površina jalovinom, narušavanje estetskih odlika okoline i pojave buke usled rada mehanizacije i vršenja miniranja. Po završetku eksploatacije površinski kop može biti rekultivacijom, uz prihvatljive troškove, pripremljen za druge funkcije i namene. Samim tim nabrojani negativni uticaji najvećim delom imaju privremeno dejstvo, a njihov prostorni domet zavisi od specifičnosti svakog površinskog kopa.

Iskustva i nedoumice u praksi pripreme i ishodovanja dokumentacije iz oblasti rudarstva sa aspekta zaštite životne sredine sa kojim su se suočavali autori radnog tima, sistemski se mogu klasifikovati u okviru četiri problemske celine koje su navedene u nastavku rada.

3.1. Problem 1: Poštovanje zakonskih rokova

Da bi investitor Ministarstvu rudarstva i energetike podneo kompletnu dokumentaciju radi ishodovanja odobrenja za eksploataciju, pre svega, potrebno je da pribavi mišljenja i saglasnosti od nadležnih institucija (Republička direkcija za vode, Zavod za zaštitu prirode Srbije, Zavod za zaštitu spomenika kulture, Organi uprava jedinice lokalne samouprave i dr.). Zakonski rok za donošenje rešenja je do mesec dana od dana podnošenja zahteva. Međutim, svedoci smo da u praksi to nije uvek slučaj, odnosno da se na rešenje čeka duže od zakonom predviđenog roka. Ovim se dodatno usporava rad na izradi projektne tehničke dokumentacije. Na žalost, sami investitori često nemaju razumevanja da obrađivači potrebne dokumentacije ne mogu da utiču na dinamiku rada relevantnih institucija.

3.2. Problem 2: Bliža saradnja usko povezanih pojedinih ministarstava i poznavanje međusobnih zakonskih odredbi

Zakon o rudarstvu i geološkim istraživanjima odredbama članova 77 i 103 propisuje da Nosioc projekta ima rešene imovinsko-pravne odnosa na parcelama predviđenim za eksploataciju u toku prvih 10 godina u skladu sa dinamikom radova prema Glavnom ili Dopunskom rudarskom projektu. Sa druge strane, Zakon o proceni uticaja nema te odredbe što nije sprečavalo u praksi da se dokaz o imovinsko-pravnim odnosima traži od investitora. Preciznije rečeno, zahtevalo se da Nosilac projekta u obavezi da za sve parcele Ministarstvu zaštite životne sredine dostavi dokaz o vlasništvu, ili ugovor o zakupu sa vlasnicima za predmetnu delatnost - projekat eksploatacije.

Naime, dokazi o vlasništvu i/ili Ugovori o zakupu katastarskih parcela između investitora i vlasnika katastarskih parcela nisu relevantni za potrebe Studije o proceni uticaja na životnu sredinu, niti su propisane kao obaveza zakonskom i podzakonskom regulativom koja reguliše proceduru izrade Studije o proceni uticaja na životnu sredinu. Dokazi o pravu svojine ili pravu korišćenja na kojoj se planira eksploatacija i izvođenje rudarskih radova, nosilac projekta je dužan da ih pribavi prilikom podnošenja Zahteva za izdavanje odobrenja za eksploataciju, prema članu 77. i 103. Zakona o rudarstvu i geološkim istraživanjima (Sl. glasnik RS, br. 101/2015, 95/2018 - dr. zakon i 40/2021) [1].

3.3. Problem 3: Zahtevanje specifičnih dozvola/saglasnosti

U praksi smo imali situaciju da je Ministarstvo zaštite životne sredine u postupku ocene Studije o proceni uticaja zahtevalo pribavljanje dozvole od Ministarstva unutrašnjih poslova (MUP) za miniranje na budućem površinskom kopu. Budući da je dozvola MUP za miniranje na površinskom kopu procedura koja se odvija tek u periodu eksploatacije površinskog kopa, čiji početak u tom postupku nije vremenski izvestan, te se ista ne može priložiti Ministarstvu, već se samo može formulirati kao sugestija i implementirati u Studiju kao jedna od obaveza nosioca projekta. Ishodovanje pojedinih rešenja investitor može hronološki dobiti tek nakon dobijanja Saglasnosti na Studiju o proceni uticaja na

životnu sredinu i Odobrenja za eksploataciju.

3.4. Problem 4: Usaglašenost zone eksploatacije sa važećim prostornim/urbanističkim planom

Za najveći deo prostora predviđenih za eksploataciju mineralnih sirovina, neophodna je izrada odgovarajućeg prostornog/urbanističkog plana, s obzirom da mnoge lokacije nisu Prostornim planovima opština prepoznate kao pogodne za eksploataciju (a u međuvremenu su geološkim istraživanjima na predmetnim lokacijama utvrđene značajne rezerve mineralnih sirovina), kao i da su u zonama predviđenim za šumsko/poljoprivredno zemljište. Nakon donošenja odgovarajućeg urbanističkog plana (u najčešćem slučaju - Plan detaljne regulacije), Opštinske službe katastra bi trebalo da po službenoj dužnosti u roku od 15 dana izvrše sve izmene promene namene zemljišta potrebne za odvijanje rudarskih aktivnosti, u skladu sa planskim dokumentom. Nažalost, u praksi se to skoro nikada ne realizuje u zakonskom roku, što prouzrokuje značajan problem prilikom dokazivanja usaglašenosti Ministarstvu rudarstva i energetike da je planirana zona eksploatacije u skladu sa važećim prostornim/urbanističkim planom.

Sagledavajući navedene probleme iz prakse, dati su i određeni predlozi ka unapređenju metodološkog okvira i načina uključivanja zainteresovane javnosti prilikom izrade projektne, planske i studijske dokumentacije neophodne za razvoj površinskih kopova:

- Izradu projektne, planske i studijske dokumentacije bilo bi poželjno organizovati sinhronizovano u istom vremenskom periodu. Na taj način, obezbeđuje se sigurnost usaglašenosti dokumentacije na svim nivoima detaljnosti. U suprotnom, prevremeni završetak određene dokumentacije može prouzrokovati neplanirane probleme prilikom izrade ostalih dokumenata (naknadno usaglašavanje namene zemljišta, izmena konceptijskih i tehničko-tehnoloških rešenja i dr.), što može predstavljati dodatni trošak investitora Projekta;
- S obzirom na nedovoljnu razvijenu mrežu monitoringa osnovnih elemenata životne sredine u Republici Srbiji, a za potrebe izrade Studija o proceni uticaja projekta na životnu sredinu, od velikog značaja za kvalitetniji prikaz Studija, bilo bi organizovanje i prikazivanje rezultata *nultog* stanja životne sredine. Utvrđivanje baznog stanja kvaliteta životne sredine omogućava kvalitetno praćenje promene parametara u toku perioda eksploatacije mineralne sirovine;
- Mere zaštite životne sredine definisane planskom i studijskom dokumentacijom trebalo bi da budu istovetne, s obzirom da će u fazi sprovođenja najvećim delom biti obaveza Investitora Projekta;
- Radi preciznijeg kvantifikovanja potencijalno negativnih uticaja prašine i buke, kao dominantnih izvora zagađenja na površinskim kopovima, za potrebe izrade Studija o proceni uticaja na životnu sredinu, izvršiti modelovanje zagađenja bukom i prašinom korišćenjem odgovarajućih i raspoloživih softverskih paketa;
- Neophodna je dodatna edukacija zainteresovane javnosti u pogledu nivoa detaljnosti dokumenata koji se izlažu u proceduru javnog uvida - za sada u praksi susrećemo se sa priličnim nerazumevanjem sadržaja i značaja Strateške procene uticaja na životnu sredinu, planova, strategija i programa i Studija o proceni uticaja projekata na životnu sredinu. Iz toga proizilaze da podnete primedbe i sugestije ne prate nivo detaljnosti određenih dokumenata, čime dolazi do zabune i među samom javnošću, koja je većinom mišljenja da potvrđivanjem ovih dokumenata, investitor automatski dobija i odobrenje za eksploataciju, što je zakonski nemoguće i neostvarivo.

4. Zaključak

Sagledani problemi i određeni predlozi ka unapređenju metodološkog okvira i načina uključivanja zainteresovane javnosti su posebno usloženi kada je u pitanju odnos energetske politike i politike zaštite životne sredine kada se mora postići kompromis, imajući u vidu da su praktično svi energetske izvori i postrojenja imaju veći ili manji uticaj na okolinu. Ipak, činjenica je da su mineralni resursi jedne zemlje njena razvojna šansa i potencijal za prosperitet društva. Srbija spada u red srednje razvijenih zemlja sa

značajnim mineralnim resursima i bogatim nasleđem rudarske aktivnosti na njoj teritoriji. Trenutno u Srbiji je aktivno oko 350 privrednih društava u rudarskom sektoru koja zapošljavaju gotovo 30.000 radnika, a indirektno mnogo više. Učešće rudarskog sektora u BDP zemlje je oko 1,5% sa mogućnošću i višestrukog rasta. Globalna tražnja za određenim mineralnim sirovinama raste iz godine u godinu i to predstavlja razvojnu šansu srpskog rudarstva. Ne zanemaruje se ni činjenica da je investicije potrebno takođe usmeriti i na bolje očuvanje životne sredine. Integralnim razmatranjem pitanja zaštite životne sredine još na početku (a i tokom) izrade planske i projektne dokumentacije, postiže se konsenzus između planiranih razvojnih aktivnosti u rudarstvu i održavanja ekološke ravnoteže na odabranim lokacijama. Sa druge strane, da bi se propisane mere zaštite životne sredine realizovale u prostornom okruženju, neophodna je konstantna interakcija između Nosioca projekta, okolnog stanovništva, nadležnih institucija i inspeksijskih službi.

Literatura

- [1] Zakon o rudarstvu i geološkim istraživanjima (Sl. glasnik RS, br. 101/2015, 95/2018 - dr. zakon i 40/2021)
- [2] Zakon o proceni uticaja na životnu sredinu (Sl. glasnik RS, br. 135/04 i 36/09)
- [3] Nacrt Strategije upravljanja mineralnim resursima Republike Srbije do 2030. godine
- [4] Zakon o planiranju i izgradnji (Sl. glasnik RS, br. 72/2009)



INFLUENCE OF DESIGN CRITERIA ON POLLUTANT REMOVAL EFFICIENCY WITHIN CONSTRUCTED WETLANDS

Stankovic N.¹

Abstract

Constructed wetlands are alternative systems that mimics natural processes to purify the waste water. There are different types of constructed wetlands and in this research two are used, surface and subsurface flow constructed wetlands. Design criteria influence the performance of constructed wetlands such mass loading rates. This design criteria is investigated in order to predict its impact on the biochemical oxygen demand, total suspended solids, ammonium nitrogen and nutrient's removal efficiency such as total nitrogen and phosphorous. The research is based on the quotative summary, literature research and Meta-analysis. Regression analysis has been used to predict statistically significant correlation between design criteria and respective pollutants. This parameter has significant statistical correlation with biochemical oxygen demand and the efficient removal of total suspended solids for surface and subsurface flow constructed wetlands. This is also the case for removal of nutrients (nitrogen and phosphorous) in the surface flow constructed wetland, whereas for subsurface flow constructed wetlands, it is only the case for phosphorous removal. For biochemical oxygen demand and suspended solids this parameter has positive correlation in case of surface and subsurface flow constructed wetland, in contrast to ammonium, total nitrogen and phosphorous removal efficiency.

Keywords: *surface and subsurface flow constructed wetlands, mass loading rates , pollutant removal efficiency*

1. Introduction

Water is one of the most important ecosystem goods [1]. Access to water is a basic human right [2] and it is a vital element for obtaining other human rights. Today, there is a huge and unsustainable use of water which results in its overconsumption and high pollution. Pollution occurs because waste water can contain many kinds of pathogenic microorganisms, suspended particles, organic and inorganic substances that can have a major impact on human health. Therefore, the treatment of all types of waste water is vitally important. One of the current proposals is highlighted, which is waste water treatment by using aquatic plants in specially constructed wetlands. Constructed wetland is a complex bioreactor with different physical, chemical and biological processes [3]. This is a biological waste water treatment method that is based on complex assemblage of the following elements: water, substrate, litter, microorganisms and plants [4].

Today, methods of constructed wetlands have found wide use in Europe, primarily in Germany, Sweden, Denmark, Italy, Netherlands, Czech Republic, France, Slovenia, Hungary and so on. Moreover, today there are different types of constructed wetlands and their application can be questionable in way of which type of constructed wetlands is the most suitable for the specific waste water. Free water surface constructed wetlands have good removal performance for some of pollutants. Organic compounds are removed by the microbial activity and this process is determined by the balance between oxygen supply and carbon load [5]. Nitrogen is removed by the process of nitrification and

¹Nikola Stanković, EPS

denitrification and ammonia volatilization under higher pH values cause by algal photosynthesis. [6, 7]. There are aerated zones within free water surface constructed wetlands which are near the surface because of atmospheric diffusion and anoxic or anaerobic zones in and near the sediments.

There are two basic types of subsurface flow constructed wetlands: horizontal flow and vertical flow constructed wetlands [4]. Subsurface flow constructed wetlands can be described as a grave marsh, root-zone, reed bed, rock/plant filter and gravel-based emergent macrophyte systems [8]. The medium which waste water has to pass through usually is made of gravel or soil [9]. The bed depth is usually between 0.6 and 1.0 m and the bottom of the bed is sloped to avoid the overland of water flow [10]. In this work the influence of certain design criteria, especially mass loading rate was considered in order to analyse pollutant removal efficiency of mentioned constructed wetlands.

2. Research objectives and hypotheses

Moreover, research is need in a matter of mechanisms by which pollutants are removed and chemical transformations of the pollutants which are going on in these systems during the process of purification. In general, there is a lack of knowledge on the removal pathways for the organic pollution [10]. Additionally, there are still a lot of unknowns related to constructed wetlands performance, diverse driving operations, and nitrogen constraints [11]. In this case it is needed to better understand complex interactions between different parts of constructed wetland such as soil, plants and waste water.

According to the literature research there are discussions and gaps of knowledge about which factors can influence the final efficiency of constructed wetlands. One of the gaps is related to the design of constructed wetlands. So, further research is needed to help to optimize the design criteria, to figure out long-term performance capabilities and operational problems [9]. Additionally, there is a lack of information on how to design constructed wetlands for better denitrification process [12]. The system configuration in case of the length-width ratio and its influence to final performance still requires studying in order to determine the optimal length-width ratio for satisfactory performance [4]. As one of the problems in operational terms of constructed wetlands clogging has been observed in several studies [13]. Clogging seems to be complex process and mechanisms by which this process is occurred still represent the lack of knowledge and there are not so clear. Therefore, it is needed to discover which factors influence the clogging and how clogging can be stopped and prevented in different types of constructed wetlands. Therefore, mass loading rates or just loading rates for different pollutants and its influence to final efficiency has been investigated. This parameter incorporates influent concentration for respective pollutants, flow and area requirements. The focus will be on mass loading rates of organic and nutrients pollution and their influence on removal efficiency for different constructed wetlands. Nevertheless, the analysis has been done for other pollutants such as suspended solids and ammonium in order to get a good overview of how mass loading rate of these pollutants can affect removal efficiency for different pollutants. Therefore, process design criteria have been covered in order to see their influence on the removal efficiency in case of different pollutions and for different constructed wetlands.

Hypotheses: With high mass loading rates, removal efficiency for biochemical oxygen, total suspended solid and ammonium demand should increase. On the other hand, nutrients and ammonium removal efficiency should decrease with high mass loading rates.

3. Method

The first step for this research was clear definition of aims of a work and research goals. The literature research about the topic has been done in order to specify aims and hypotheses. According to defined goals and hypothesis the criteria for data collection has been made. Data has been collected based on types of constructed wetlands and response parameters such as biochemical oxygen demand, total suspended solids, ammonium, total nitrogen and total phosphorous. Average values for response parameters have been collected. Also, the data which have negative removal efficiency have been excluded from the work.

Two types of constructed wetlands have been included: free water surface constructed wetlands with

emergent macrophytes and subsurface flow constructed wetlands (horizontal and vertical flow). The data for the horizontal and vertical flow constructed wetlands has been merged in one group as a subsurface flow constructed wetlands. By trying to find the data in different electronic browsers typical words have been applied. These words are: constructed wetlands, performance of constructed wetlands, types of constructed wetlands, use of constructed wetlands, and etc. Open online sources which have been used are: Web of Science, ScienceDirect, Wiley online library, Springer Link, Mendley etc. Also, all electronic sources and literature which are available in the libraries of the University of Bayreuth have been explored. So, data which have been published in books, articles or other publications have been employed in this research.

This work is based on the quantitative summary and Meta-analysis for different types of constructed wetlands. Meta-analysis is a “statistical and analytical method which combines and synthesizes various independent studies and integrates the results into a common result” [14]. Therefore, the aim of the Meta-analysis is to summarize the results from different studies for one topic and finally to provide a common result. For the hypothesis, mass loading rate has been calculated. Regression analysis between independent variables (removal efficiency for each pollutant) and loading rates has been done. Logarithmic transformation has been used to transform data for mass loading rates. Analysis has been done in software R version 2.13.0. Equation which is given in literature in order to calculate mass loading rate is [15]:

$$MLR = \frac{Ci \times HLR}{1000} \quad (1)$$

where:

MLR is mass loading rate ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$);
 HLR is hydraulic loading rate ($\text{L m}^{-2} \text{d}^{-1}$);
and Ci inflow concentration (mg/l).

According to the given data for this research mass loading rate for each pollutant has been calculated in $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ by converting area (m^2) into (ha) and incoming pollution for all parameters from (mg/l) into (kg/m^3).

The relative numbers, percentages, have been taken into consideration for these three parameters.

$$RR(\%) = \frac{Ci - Ce}{Ci} \times 100\% \quad (2)$$

where:

RR is removal rate;
 Ci and Ce are the inflow and outflow concentration in mg L^{-1} [15].

$$HLR = \frac{Q}{Aw} \quad (3)$$

where:

HLR is hydraulic loading rate (cm d^{-1});
 Q is the flow (L d^{-1} ; $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$) of wastewater through the constructed wetland;
 Aw is the total area (m^2 ; ha) of the constructed wetland [15].

4. Results

4.1. Mass loading rates and removal efficiency

4.1.1. Surface flow constructed wetlands

Linear regression analysis has been made in order to see the correlation between mass loading rates and removal efficiency for each pollutant. For surface flow (SF) constructed wetlands linear model shows that there is a statistically significant ($p < 0.05$) correlation between mass loading rates for biochemical oxygen demand and biochemical oxygen demand removal efficiency. The linear line indicates that with high loading rates removal efficiency increases (Figure 1) which confirms stated hypothesis.

Nevertheless, R^2 value as a coefficient of determination shows that approximately 6% of the variation of biochemical oxygen demand removal efficiency can be explained by explanatory variable, in this case organic loading rates. In the case of total suspended solids there is also statistically significant ($p < 0.05$) correlation between mass loading rates and removal efficiency for this pollution. As well as for biochemical oxygen demand there is low R^2 value for total suspended solids removal efficiency of 5%. The linear model has positive character which means that with high mass loading rates there is high removal efficiency (Figure 2). For ammonium removal efficiency there isn't any statistically significant correlation between the variables and this correlation has negative sign (Figure 3). Additionally, for nutrients removal efficiency in the case of total nitrogen removal there is statistically significant ($p < 0.05$) correlation between mass loading rate for this parameter and removal efficiency. Also, 10% of the variation of total nitrogen removal efficiency can be explained by variation of mass loading rates for this pollution. But, this correlation has a negative trend which means that with high mass loading rates removal efficiency for total nitrogen will decrease (Figure 4). High R^2 value is indicated for phosphorous removal efficiency of 30% and there is high statistically significant correlation ($p < 0.001$) between mass loading rate and removal efficiency for total phosphorous. This indicates great influence of this parameter to phosphorous removal in surface flow constructed wetlands. As for total nitrogen the correlation between mass loading rates and phosphorous removal has negative trend (Figure 5) which proves given hypothesis.

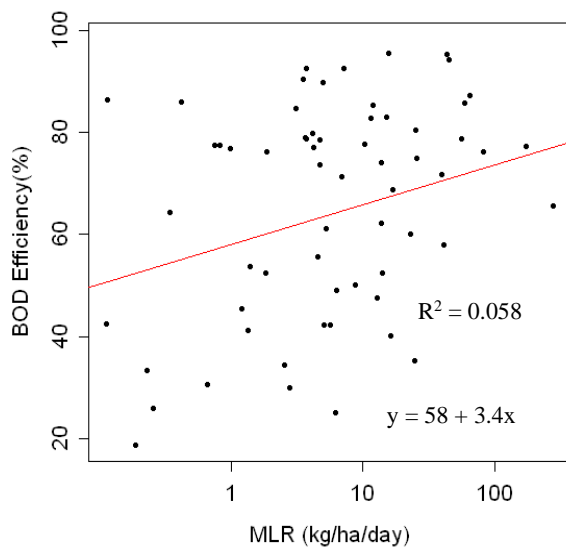


Figure 1. Regression line between biochemical oxygen demand (BOD) removal efficiency and biochemical oxygen demand (BOD) mass loading rate for surface flow (SF) constructed wetlands

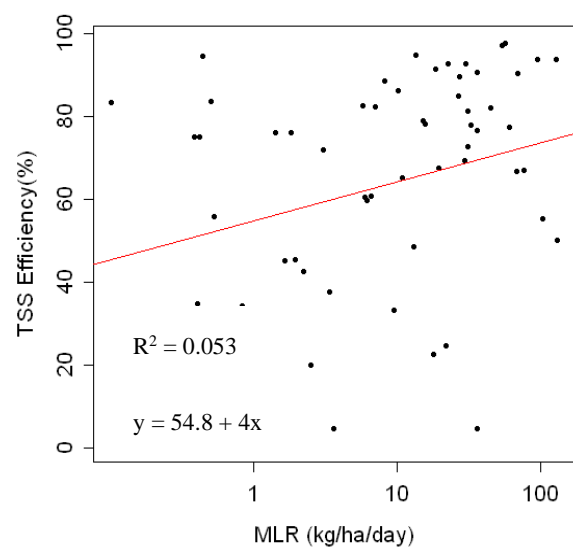


Figure 2. Regression line between total suspended solids (TSS) removal efficiency and total suspended solids (TSS) mass loading rate for surface flow (SF) constructed wetlands

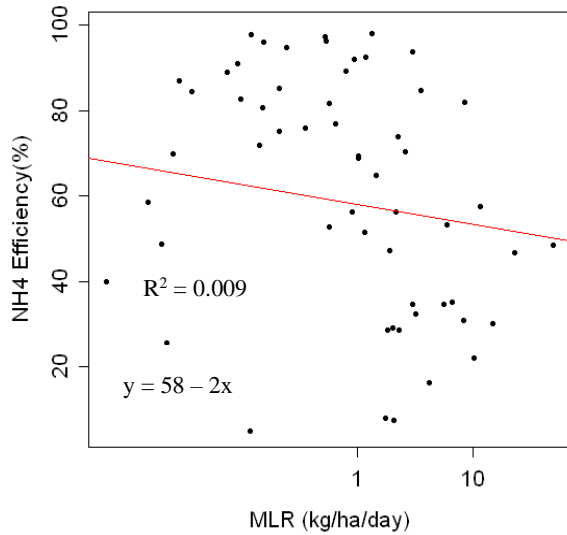


Figure 3. Regression line between ammonium (NH₄) removal efficiency and ammonium (NH₄) mass loading rate for surface flow (SF) constructed wetlands

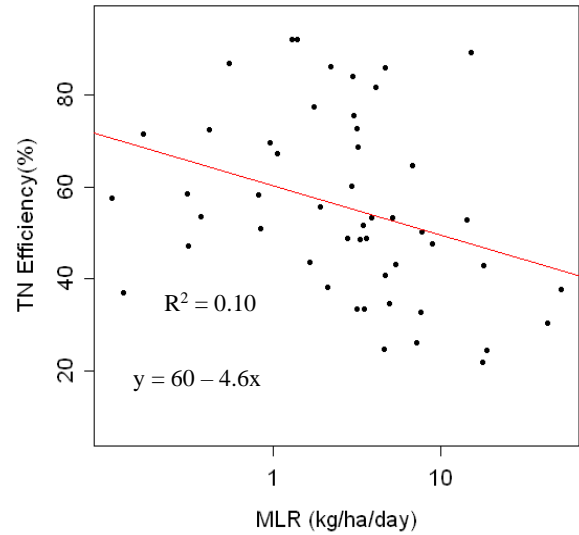


Figure 4. Regression line between total nitrogen (TN) removal efficiency and total nitrogen (TN) mass loading rate for surface flow (SF) constructed wetlands

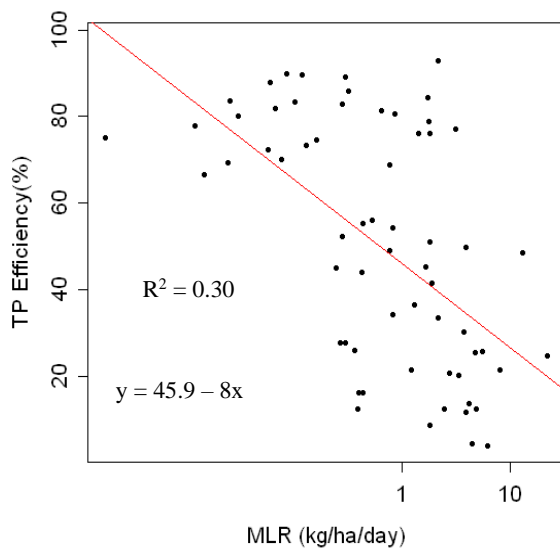


Figure 5. Regression line between total phosphorous (TP) removal efficiency and total phosphorous (TP) mass loading rate for surface flow (SF) constructed wetlands

4.1.2. Subsurface flow constructed wetlands

Linear regression analysis has been done in order to see correlation between mass loading rates and removal efficiency for each pollutant. In the case of subsurface flow (SSF) constructed wetlands there is a high statistical ($p < 0.001$) correlation between mass loading rates and removal efficiency for biochemical oxygen demand and total suspended solids. R^2 values show that approximately 14% of variation of biochemical oxygen demand removal efficiency can be explained by variation of mass loading rates of organic pollution which is even higher for total suspended solids removal efficiency

with 19%. For both pollutants there is a positive relationship between explanatory variable and response parameters which means that with high mass loading rate there will be high removal efficiency for biochemical oxygen demand or total suspended solids, respectively (Figures 6 and 7). This shows that given hypothesis is confirmed. In the case of ammonium and total nitrogen removal there isn't any statistically significant correlation between mass loading rates and removal efficiency. This correlation has negative trend which is shown on Figures 8 and 9. As it was the case with surface flow constructed wetlands removal efficiency for total phosphorous, in the case of subsurface flow constructed wetlands, is statistically significantly ($p < 0.05$) related to mass loading rates. This correlation has a negative sign which indicates that with high mass loading rates removal efficiency for total phosphorous, in the case of subsurface flow constructed wetlands, will decrease (Figure 10), which is in correlation with given hypothesis. The R^2 as the coefficient of determination in the case of phosphorous removal efficiency has lower value in comparison with surface flow constructed wetlands.

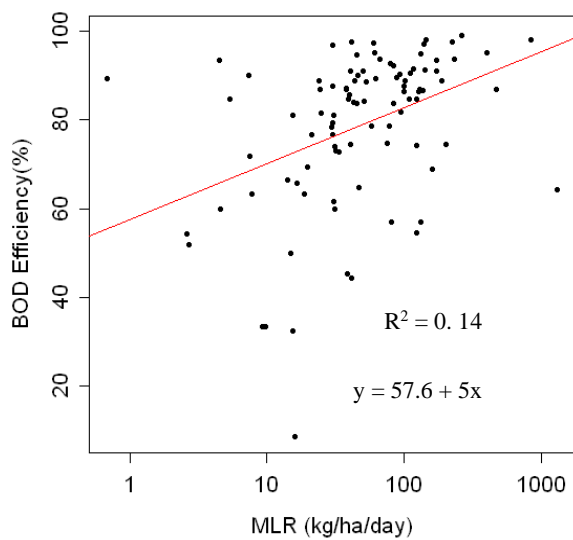


Figure 6. Regression line between biochemical oxygen demand (BOD) removal efficiency and biochemical oxygen demand (BOD) mass loading rate for subsurface flow (SSF) constructed wetlands

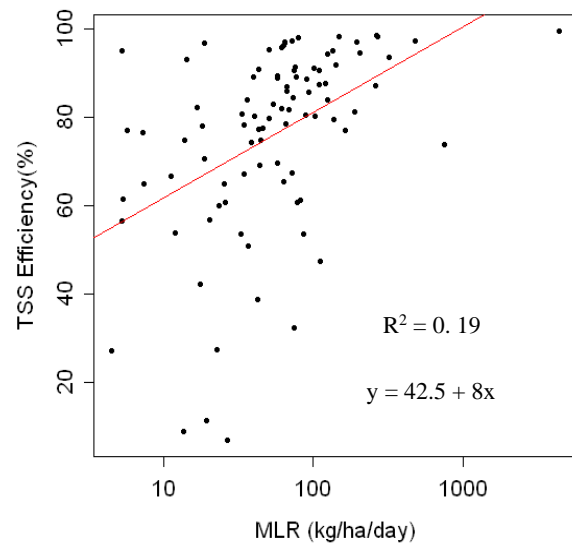


Figure 7. Regression line between total suspended solids (TSS) removal efficiency and total suspended solids (TSS) mass loading rate for subsurface flow (SSF) constructed wetlands

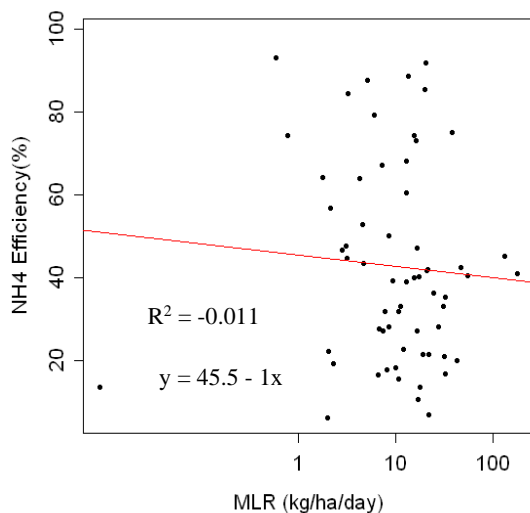


Figure 8. Regression line between ammonium (NH4) removal efficiency and ammonium (NH4) mass loading rate for subsurface flow (SSF) constructed wetlands

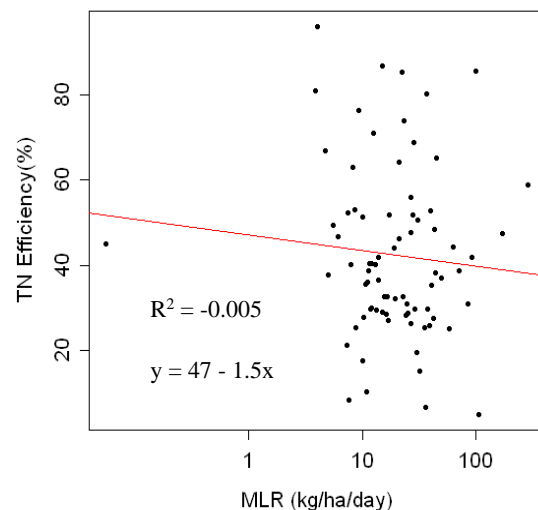


Figure 9. Regression line between total nitrogen (TN) removal efficiency and total nitrogen (TN) mass loading rate for subsurface flow (SSF) constructed wetlands

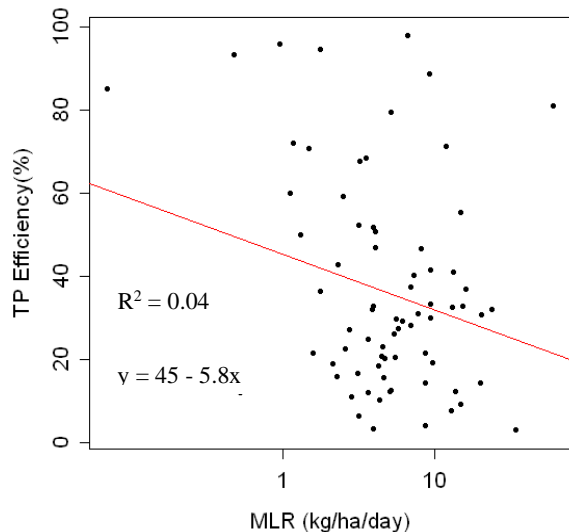


Figure 10. Regression line between total phosphorous (TP) removal efficiency and total phosphorous (TP) mass loading rate for subsurface flow (SSF) constructed wetlands

5. Discussion

One of the factors which can affect the final performance of constructed wetlands is the movement or direction of the waste water through the constructed wetland. Bearing in mind that the effective removal of pollution from waste water through constructed wetlands depends on soil-waste water contact, indicates that the flow of the waste water can influence removal efficiency. Surface flow constructed wetlands are usually basins with emergent macrophytes and with free water surface where the depth of the water is between 30-40 cm [16]. Here waste water is spread through a large area of shallow water and emergent vegetation [17]. On the other hand, horizontal flow constructed wetlands have no water on the surface and waste water should horizontally pass through a medium which is made of either soil or gravel. Waste water for vertical flow constructed wetlands is led on the surface and then percolates through a medium, which is usually sand, up to the drainage part. Moreover, good operation of constructed wetlands is influenced by water level and flow rate which can affect hydraulic and pollutants' loading rate [3]. The rate of hydraulic loading is one of the factors which can influence the rates of nitrification and denitrification [3]. It is one of the factors for improving the removal efficiency of constructed wetlands [15].

Additionally, it could be said that the efficiency of constructed wetlands depends on the time which is necessary for waste water to pass through the system [18]. Another factor which should be considered for better performance of these systems is the lifespan of constructed wetlands. Therefore, long term performance capabilities of constructed wetlands and operational problems for a longer period of time have to be taken into consideration for proper work and maintenance of these systems [9]. As it is already mentioned for certain pollutants constructed wetlands have time limits and after certain period of time a reconstruction needs to be done. In this case phosphorous retention is crucial point in construction and design process which determines the longevity of the system [19].

In this research the influence of design parameter has been analyzed. Process design criteria for constructed wetlands are characterized by several parameters. Usually, the parameters which are used to describe the capacity of the system are: organic loading (BOD5 ha⁻¹ d⁻¹), hydraulic loading (cm d⁻¹), detention time (days), water depth (m), media (type of stones), media depth (m), porosity, for some systems it is important to have slope (%), aspect ratio (length: width), pre-treatment and finally plants which are used in the system.

Type of media which is used to build constructed wetlands has several functions. It helps to evenly distribute the flow of water from inlet to outlet part, they are rooting material for vegetation, provide surface area for the microbial growth and filter and trap particles [20]. The size and type of media is important for the proper functioning of constructed wetlands and in that sense for removal of pollutants. The media in the inlet and outlet zones should be between 40-80 mm in diameter to minimize clogging and in the treatment zone the average media between 20-30 mm has been recommended [20]. In case of phosphorous removal media which has more iron and aluminium content should be used to enhance this process [20].

Design parameter which can influence removal efficiency is the mass loading rate. As a design parameter, it is usually valued for organic loading rates but its influence on removal efficiency can be evaluated against other pollutants. In the case of nutrient removal, the lower the nutrient loading rate, the higher the efficiency [15]. This is in relation with the given hypothesis. In the case of biochemical oxygen demand and the removal efficiency of suspended solids for subsurface flow constructed wetlands under high loading rates show good removal efficiency [3]. It is also shown in this research that removal efficiency, for subsurface flow constructed wetlands as well as for surface flow systems, in the case of biochemical oxygen demand and total suspended solids increases with high mass loading rates.

6. Conclusion

Mass loading rates is important parameter for comparison of constructed wetlands for different pollutants. This parameter includes inflow concentration, area and flow of waste water. For organic pollution and suspended solids this parameter has positive correlation in case of surface and subsurface flow constructed wetland, in contrast to ammonium, total nitrogen and phosphorous removal efficiency. Moreover, this parameter has significant statistical correlation with biochemical oxygen demand and the efficient removal of total suspended solids for surface and subsurface flow constructed wetlands. This is also the case for removal of nutrients (nitrogen and phosphorous) in the surface flow constructed wetland, whereas for subsurface flow constructed wetlands, it is only the case for phosphorous removal. Based on this it can be said that there is a need for careful planning in terms of design of constructed wetland in order to achieve its final purpose and application. Actually, this factor is important point for a longer lifespan of a constructed wetland, its proper maintenance, good operation and removal efficiency performances.

Literature

- [1] Ahmed, M. T., 2011. Life Cycle Analysis in Wastewater: A Sustainability Perspective, in: Barcelo, D., Petrovic, M. (Eds.). *Waste Water Treatment and reuse in the Mediterranean Region. The Handbook of Environmental Chemistry*. Springer. Berlin Heidelberg, pp. 125-154.
- [2] Scanlon, J., Cassar, A., Nemes, N., 2004. Water as a human right? IUCN Environmental policy and law paper No.51.
- [3] Lee, C., Fletcher, T.D., Sun, G., 2009. Nitrogen removal in constructed wetland systems. *Engineering in Life Sciences*. 9 (1), 11–22.
- [4] Davis, L., 1995. *Handbook of Constructed Wetlands-A guide to creating wetlands for: Agricultural waste water, domestic waste water, coal mine drainage, storm water in the Mid-Atlantic Region: Volume 2*. Natural Resources Conservation Service and the US Environmental Protection Agency.
- [5] Kadlec, R.H., Knight, R. H., Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P., Haberl R., 2000. *Constructed wetlands for pollution control: processes, performance, design and operation*. IWA specialist group on use of macrophytes in water pollution control. Scientific and technical Report No. 8, IWA Publishing, London, UK, 156 pp.
- [6] Vymazal, J., 2008. *Constructed wetlands for wastewater treatment: A Review*. Proceedings of Taal 2007: The 12th World Lake Conference. 965-980.

- [7] Vymazal, J., 2010. Constructed wetlands for wastewater treatment. *Water Open Access*. 2, 530-549.
- [8] Steiner, G.R., Freeman, R. J., 1989. Configuration and substrate design considerations for constructed wetlands waste water treatment, in Hammer, D. A. (Ed.) *Constructed wetlands for waste water treatment*. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, pp. 363-377.
- [9] Brix, H., 1994a. Use of constructed wetlands in water pollution control: Historical development, present status, and future perspectives. *Water Science and Technology*. 30 (8), 209-223.
- [10] Haberl, R., Grego, S., Langergraber, G., Kadlec, R. H., Cicalini, A-R., Dias, S. M., Novais J. M., Aubert, J., Gerth, A., Hartmut, T., Hebner, A., 2003. Constructed Wetlands for the Treatment of Organic Pollutants. *Journal Solis and Sediments*. 3 (2), 109-124.
- [11] Mayo, A.W., Bigambo, T., 2005. Nitrogen transformation in horizontal subsurface flow constructed wetlands I: Model development. *Physics and Chemistry of the Earth*. 30, 658–667.
- [12] Cooper, P., 2001. Nitrification and denitrification in hybrid constructed wetlands, in: Vymazal, J. (Ed.), *Transformations of nutrients in natural and constructed wetlands*, Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, pp. 257-270.
- [13] Lianfang, Z., Wei, Z., Wei, T., 2009. Clogging processes caused by biofilm growth and organic particle accumulation in lab-scale vertical flow constructed wetlands. *Journal of Environmental Sciences*. 21, 750–757.
- [14] Ilic, I., 2009. Meta-Analiza. *Acta Medica Medianae*. 48, 28-31.
- [15] Chang, J., Zhang, X., Perfler, R., Xu, Q-S., Niu, X-Y., Ge, Y., 2007. Effect of Hydraulic Loading Rate on the Removal Efficiency in a Constructed Wetland in Subtropical China. *Fresenius Environmental Bulletin*. 16(9a), 1082-1086.
- [16] Brix, H., 1994b. Functions of macrophytes in constructed wetlands. *Water science and technology*. 29 (4), 71-78.
- [17] Vymazal, J., 2001. Types of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Their Potential for Nutrient Removal, in: Vymazal, J. (Ed.), *Transformations of nutrients in natural and constructed wetlands*, Backhuys Publishers, Leiden, the Netherlands, pp. 1-93.
- [18] Shutes, R.B.E., 2001. Artificial wetlands and water quality improvement. *Environment International*, 26, 441-447.
- [19] Drizo, A., Comeau, Y., Forget, C., Chapuis, R.P., 2002. Phosphorus saturation potential: a parameter for estimating the longevity of constructed wetland systems. *Environmental Science and Technology*. 36, 4642-4648.
- [20] United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1988. *Design Manual: Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment*. EPA/625/1-88/022, Cincinnati, Ohio.



MODEL DEFINISANJA KAPACITETA POVRŠINSKIH KOPOVA UGLJA PO KRITERIJUMU STABILNOSTI PROIZVODNJE

MODEL OF DEFINING CAPACITY OF COAL OPEN PIT MINE BY CRITERUM OF PRODUCTION STABILITY

Stojanović C.¹

Apstrakt

Definisanje kapaciteta površinskih kopova uglja po kriterijumu stabilnosti proizvodnje predstavlja kompleksan tehnički problem za čije rješavanje je neophodno detaljno poznavanje karakteristika radne sredine i tehničko-tehnoloških parametara osnovne opreme objedinjenih u kompleksan sistem površinske eksploatacije. Prirodni uslovi eksploatacije, iskazani kroz karakteristike radne sredine i tehničko-tehnološki parametri opreme za eksploataciju predstavljaju ograničenja i definišu granice dopuštenih stanja sistema površinskog kopa.

Korišćenje savremenih metoda projektovanja i modeliranja znatno skraćuje vrijeme rada, omogućava veći broj mogućih rješenja, veću tačnost, te izbor optimalne varijante.

U radu su opisane osnovne aktivnosti i faze izrade modela kojima su tretirani svi bitni procesi prilikom rješavanja naslovne problematike na primjeru površinskog kopa uglja Bogutovo Selo-Ugljevik.

Ključne riječi: *Stabilnost proizvodnje, kapacitet proizvodnje, kvalitet uglja, sistemi eksploatacije, kompjuterske tehnologije.*

Abstract

Defining the capacity of opencast coal mines according to the criteria of stability of production is a complex technical problem whose solution demands a detailed knowledge of the working environment characteristics and the technical and technological parameters of the basic equipment combined into a complex system of opencast mining. The natural conditions of mining, expressed through the characteristics of the working environment and the technical and technological parameters of the mining equipment, represent limitations and define the limits of the permissible conditions of the surface mining system.

The use of modern design and modeling methods significantly shortens work time, enables a greater number of possible solutions, greater accuracy, and the selection of the optimal variant.

The paper describes the basic activities and phases of model development, which treated all important processes when solving the title problem using the example of the Bogutovo Selo-Ugljevik opencast coal mine.

Keywords: *Production stability, production capacity, quality of coal, mining systems, computer technology.*

1. Uvod

Kapacitet proizvodnje na površinskim kopovima, kao dominantnom vidu eksploatacije čvrstih

¹Stojanović Cvjetko, ZP Rudnik i termoelektrana Ugljevik a.d. Ugljevik, Bosna i Hercegovina

mineralnih sirovina, najviše zavisi od usklađenosti opreme za eksploataciju sa parametrima radne sredine u realnom prostoru površinskog kopa. Kad je u pitanju godišnji kapacitet, površinskog kopa isti se, prije svega, utvrđuje prema mogućnostima plasmana otkopane korisne mineralne sirovine dok se vrijednost godišnjeg kapaciteta proizvodnje verifikuje preko tehničko-tehnoloških i ekonomskih kriterijuma.

Stabilnost proizvodnje posmatrana u realnom vremenu i realnom prostoru radne sredine, površinskih kopova uglja, podrazumijeva realizaciju proizvodnog procesa usaglašenu sa planiranim i utvrđenim vrijednostima koje su definisane projektnom i investiciono-tehničkom dokumentacijom. To se, prije svega, odnosi na kapacitet proizvodnje i kvalitet otkopanog uglja kao osnovne karakteristike proizvodnje, bilo da je riječ o kontinualnim, diskontinualnim ili kombinovanim sistemima eksploatacije na površinskim kopovima.

Regulacijom pozicije i intenziteta rada opreme preko položaja, pravca i smijera napredovanja otkopnih frontova i saglasno tome izborom odgovarajućih tehnoloških parametara otkopavanja, navedene osnovne karakteristike proizvodnje održavaju se na planiranom nivou. Time se postiže stabilnost proizvodnje koja istovremeno predstavlja kriterijum i pokazatelj kvaliteta upravljanja proizvodnim procesima.

2. Uloga informacionih tehnologija kod projektovanja i modeliranja

Metode savremenog projektovanja i modeliranja zasnivaju se na integraciji informacionih tehnologija (IT) sa rudarskim aktivnostima. U razvijenim zemljama metode savremenog projektovanja i modeliranja koriste se već tridesetak godina, dok se u zemljama jugoistočne i istočne Evrope, uglavnom zasnivale na tradicionalnim metodama. Tradicionalne metode projektovanja i modeliranja površinskih kopova i rudnika sa podzemnom eksploatacijom, zasnovane su na ručnim proračunima rudarskih parametara i ručnoj grafičkoj interpretaciji situacionih i etažnih karata, kontura površinskog kopa, odlagališta, deponija. Osnovu ove metode čini duži vremenski period za obradu podataka i projektovanje optimalnog rešenja, čime se rad značajno komplikuje.

Primjenom IT u rudarstvu, došlo je do razvoja novih metoda projektovanja površinskih kopova i rudnika sa podzemnom eksploatacijom, koje se bitno razlikuju od tradicionalnih metoda. Nazvane su *savremenim metodama projektovanja i modeliranja*, a osnovna pretpostavka za njihovu primjenu je da mora biti formirana odgovarajuća baza geoloških i rudarskih podataka, kao i model ležišta [1, 4, 6, 9].

Kao najčešće korišćene metode su Lerchsa-Grossmanova metoda (LG), Floating Cone Method - metoda *plutajuće kupe* i dinamičko programiranje. LG metoda ima vodeću ulogu u odnosu na ostale metode projektovanja. U osnovi digitalni geološki modeli mogu se podijeliti na:

- geološke modele zasnovane na miniblokovima, i
- geološke modele zasnovane na gridovima.

Geološki modeli zasnovani na miniblokovima (blok modeli) karakteristični su za ležišta sa veoma kompleksnim oblikom (metalna ležišta). Osnovni princip kod ovakvog modela je diskretizacija ležišta na veliki broj mini blokova. Blok je nosilac jedinstvenih informacija za zapreminu koju obuhvata u trodimenzionalnom (3D) prostoru. To znači da svaki blok posjeduje svoju lokaciju u prostoru (X, Y, Z), veličinu i kvalitativne karakteristike (atribute) u 3D prostoru. Blokovi unutar modela imaju osnovnu veličinu (standardne dimenzije) ali zbog bolje interpretacije u geološki kompleksnim zonama mogu biti i manji (podblokovi). Većina vodećih komercijalnih softvera, specijalizovanih za rudarstvo, zasnovani su za rad sa blok modelom (Dassault Systèmes® Surpac™, Gems™, Whittle™).

Kad su u pitanju rudnici u Bosni i Hercegovini, posljednjih godina nailazimo na priličan broj primjera uspješne primjene savremenih softverskih alata namijenjenih za dizajniranje i planiranje površinskih kopova. U većini slučajeva to je upotreba softvera kompanije Geovia-Dassault Systèmes® softveri Surpac™, Minex™ i Whittle™. Neki od rudnika na kojima su se kroz projektnu dokumentaciju i istraživačke radove koristili savremeni softveri su: Ležište uglja Kongora, površinski kop uglja Delići kod Ugljevika, površinski kop uglja Bogutovo Selo i Ugljevik istok 1 u Ugljeviku, površinski kop uglja Gračanica u Gackom, površinski kop uglja Mošćanica kod Zenice kao i metalno ležište Buvač rudnik

Omarska kod Prijedora [2].

3. Algoritam istraživanja

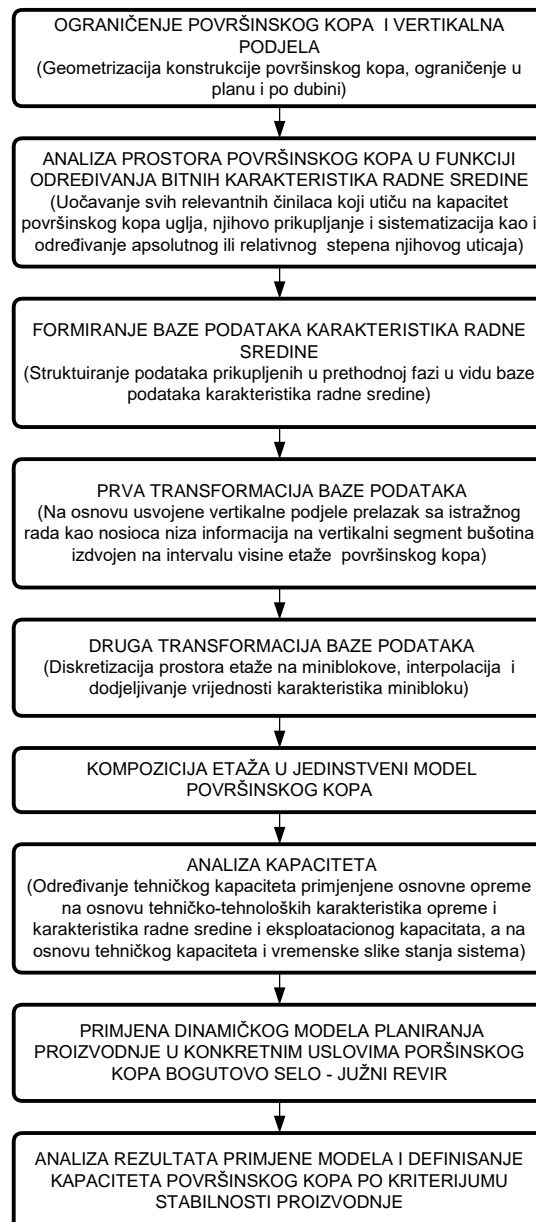
Izuzetno brz razvoj kompjuterske tehnologije i računarski podržano projektovanje površinskih kopova omogućilo je da se za veoma kratko vrijeme izvrši postavljanje zadatka, njegov cilj kao i formiranje baza podataka, njegova eksploatacija, a potom i razrada velikog broja varijantnih rješenja. Analiziranjem dobijenih rezultata iz pojedinih varijanti dolazi se do kvalitetnih pokazatelja koji nas opredjeljuju za prihvatanje ili odbacivanje razmatrane varijante, a samim tim i do određenih optimalnih rješenja.

U posljednje vrijeme, sve više je prisutna praksa korišćenja višekriterijumskih metoda odlučivanja kao što su; AHP, PROMETHEE, ELECTRE, TOPSIS itd., pogotovo u situacijama kada je prisutan veći broj konfliktnih kriterijuma. Upravo ta činjenica predstavlja značajan korak ka realnijem sagledavanju problema koji se metodama višekriterijumskog odlučivanja mogu rješavati, za razliku od klasične optimizacione metode koja koristi samo jedan kriterijum pri odlučivanju, čime se drastično umanjuje i realnost problema koji se može rješavati.

Sagledavajući dostupnu stranu stručnu literaturu iz oblasti primene višekriterijumskih metoda odlučivanja kod donošenja odluka rudarskoj industriji, nailazimo na radove autora kao što su Bitarafan i Ataei, koji su koristili različite fazi metode u cilju grupisanja kriterijuma pri procesu donošenja odluka u rudarstvu. Osim toga, mnogi autori (Yazdani i dr. 2010) su kombinovali dve različite metode, Fuzzy AHP i Fuzzy TOPSIS, kod izbora najpovoljnije alternative u mnogim oblastima [3, 10].

Domaći autori, su koristili integrisani AHP I PROMETHEE pristup kod izbora metode otkopavanja za ležište Čoka Mari, podzemnog rudnika bakra u Srbiji [3].

Kao primjer definisanja kapaciteta površinskog kopa prema uslovu stabilnosti proizvodnje u ovom radu urađena je analiza za površinski kop Bogutovo Selo-Ugljevik. Osnovne aktivnosti i faze kod izrade modela kojima su tretirani svi bitni procesi u cilju definisanja kapaciteta u funkciji postizanja stabilnosti proizvodnje predstavljeni su u vidu algoritma na Slici 1.



Slika 1. Algoritam istraživanja [4, 6].

4. Opšte o karakteristikama sistema

U opštem smislu stabilnost sistema može se definisati kao održavanje karakteristika sistema u određenim granicama. Stanje sistema određuje se skupom vrijednosti promjenljivih veličina koje definišu ponašanje sistema [5].

Osnovne karakteristike sistema površinske eksploatacije su kapacitet proizvodnje i kvalitet otkopane mineralne sirovine, jer predstavljaju direktan odraz prirodnih i rudarsko-geoloških uslova u ležištu i primjenjenih tehničko-tehnoloških rješenja, a imaju neposredan uticaj na ekonomske pokazatelje proizvodnje [6, 8].

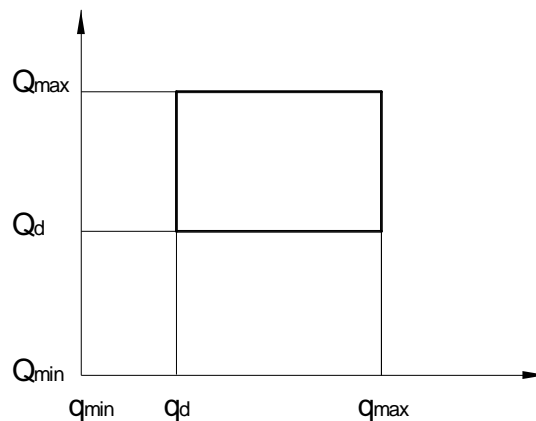
Prevedeno na uslove stabilnosti proizvodnje na površinskim kopovima, to znači da osnovne karakteristike proizvodnje treba da ostanu u definisanim granicama. Kako se ovdje radi o sistemu površinske eksploatacije, kao najznačajnije promjenljive veličine koje definišu ponašanje sistema mogu se uzeti kapacitet proizvodnje i kvalitet otkopane mineralne sirovine [8].

Za prikazivanje stanja sistema koristi se prostor stanja sistema koji je određen brojem karakteristika

kojima se opisuje ponašanje sistema. Navedene karakteristike, odnosno kapacitet proizvodnje i kvalitet otkopane mineralne sirovine mogu se posmatrati u rasponu pojavljivanja (Slika 2).

Za kvalitet mineralne sirovine to su minimalne i maksimalne registrovane vrijednosti (q_{\min} , q_{\max}), a za kapacitet proizvodnje to su vrijednosti od minimalne kada nema protoka materijala do maksimalne vrijednosti kapaciteta u idealnim uslovima rada (Q_{\min} , Q_{\max}). Rasponi pojavljivanja karakteristika proizvodnje sistema definišu oblast mogućih stanja sistema. Kada se karakteristike stanja sistema, odnosno kapacitet proizvodnje i kvalitet mineralne sirovine definišu u određenim granicama dobija se prostor dopuštenih stanja sistema (Q_d , q_d) [6, 8]. Prostor dopuštenih stanja sistema može biti višedimenzionalan u zavisnosti od broja karakteristika koje ga opisuju. U konkretnom slučaju to je dvodimenzionalan prostor dopuštenih stanja sistema i gornju-desnu granicu predstavljaju maksimalne, a donju-lijevu granicu predstavlja kombinacija minimalnih vrijednosti kapaciteta proizvodnje i kvaliteta otkopane mineralne sirovine.

Količine i kvalitet mineralne sirovine su osnova za obračun dobiti i tu se stabilnost proizvodnje u ekonomskom smislu nalazi u obrnuto proporcionalnom odnosu kapaciteta proizvodnje i kvaliteta mineralne sirovine. U tehničkom smislu stabilnost proizvodnje najčešće je definisana zahtjevima da isporuka bude ujednačena po količinama i kvalitetu mineralne sirovine u određenim vremenskim intervalima. Konkretno, sa aspekta stabilnosti proizvodnje, prostor dopuštenih stanja je domen u okviru koga treba tražiti optimalno rješenje (Slika 2).



Slika 2. Oblast mogućih i dopuštenih stanja Sistema

Oznake na dijagramima su sledeće: Q_{\max} , Q_{\min} , q_{\max} , q_{\min} - moguća stanja sistema za kapacitet i kvalitet, Q_d , q_d - dopuštena stanja sistema za kapacitet i kvalitet.

5. Polazne osnove za definisanje godišnjeg kapaciteta površinskog kopa Bogutovo Selo-Ugljevik

Proizvodni sistem u konkretnom slučaju ima dinamički karakter kao posledicu promjene stanja sistema u realnom prostoru površinskog kopa i realnom vremenu rada.

Prilikom definisanja kapaciteta površinskog kopa, po kriterijumu stabilnosti proizvodnje, polazi se od nekoliko parametara. Prioritetni potrošač uglja sa površinskog kopa je termoelektrana Ugljevik čija je instalisana snaga 300 MW, tako da se kapacitet površinskog kopa i kvalitet otkopanog uglja definiše prema potrebama termoelektrane. Sledeći ograničavajući faktor je kapacitet pratećih postrojenja, kao što su mlinska postrojenja čiji je godišnji kapacitet 2.160.000 tona uglja.

Na osnovu karakteristika kotlovskeg postrojenja ugalj, koji se isporučuje termoelektrani, treba da bude u sledećim granicama, izraženo kroz donju toplotnu vrijednost:

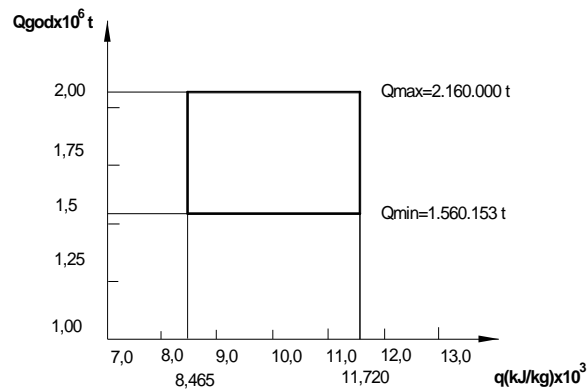
- minimalna 8.372 KJ/kg
- garantovana 11.465 KJ/kg

- maksimalna 11.720 KJ/kg

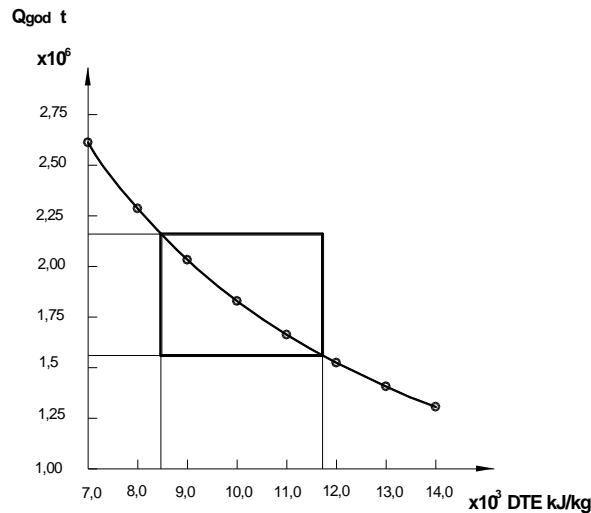
Za blok instalisane snage od 300 MW i specifičnu potrošnju toplote od 11.500 kJ/kWh, a za godišnji fond sati rada elektrane od 6.000 h, uz prosječno opterećenje bloka od 265 MW, i sa prosječnom donjom toplotnom vrijednošću uglja od 10.500 kJ/kg, potreban godišnji kapacitet površinskog kopa iznosi 1.750.000 t uglja (Slika 3).

Na osnovu ovih parametara i kapaciteta mlinskih postrojenja proizilaze i osnovna ograničenja stanja sistema na površinskom koku, pa tako za ugalj, sa ponderisanim kvalitetom od 8.372 kJ/kg, potreban kapacitet površinskog kopa je 2.184.066 tona uglja godišnje, što prelazi godišnje kapacitete pratećih postrojenja kao što su mlinovi. Na osnovu ovog ograničenja može se utvrditi minimalna prosječna Donja toplotna vrijednost (DTE) uglja koja za godišnji kapacitet mlinova od 2.160.000 t, iznosi 8.465 kJ/kg (Slika 4). Za ugalj sa ponderisanim kvalitetom od 11.720 kJ/kg, potreban kapacitet površinskog kopa na uglju je 1.560.153 t/god. (Slika 5).

Na osnovu proračunatih vrijednosti može se definisati prostor (oblast) dopuštenih stanja sistema proizvodnje na površinskom koku Bogutovo Selo.

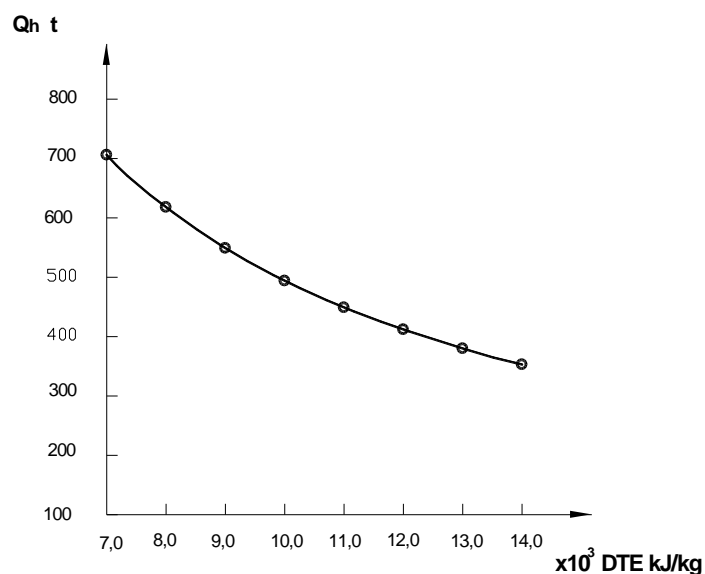


Slika 3. Oblast dopuštenih stanja sistema na površinskom koku Bogutovo Selo



Slika 4. Godišnji kapacitet i oblast dopuštenih stanja u funkciji DTE

Oznake na dijagramima su sledeće: Q_{god} - godišnja proizvodnja uglja, DTE - Donja toplotna vrijednost uglja, Q_h - časovni kapacitet na proizvodnji uglja.



Slika 5. Dijagram zavisnosti časovnog kapaciteta u funkciji DTE

Ujednačavanje količina i kvaliteta uglja kod isporuke može se postići i na deponijama za homogenizaciju uglja. Deponije predstavljaju posebne objekte sa sopstvenom infrastrukturom i opremom, tako da svojim učešćem povećavaju ukupne troškove proizvodnje. Zbog toga je prisutna stalna težnja da se direktno na površinskom kopu u toku proizvodnje obezbijedi potrebna ujednačenost količina i kvaliteta uglja. Kada su deponije neophodne zbog obezbjeđenja određenih rezervi u kapacitetu proizvodnje i kontinuitetu isporuke, ujednačen kvalitet uglja sa površinskog kopa smanjuje obim radova na deponovanju i homogenizaciji, a time i ukupne troškove proizvodnje.

U sledećem koraku na izdvojenim etažnim ravnima postavlja se front radova otkopavanja. Na osnovu pravca i smjera napredovanja fronta radova za svaki položaj bagera na osnovu konkretnog uticaja fizičko-mehaničkih karakteristika proračunava se kapacitet bagera primjenom modela simulacije [7]. Na istom mjestu preuzimaju se podaci o kvalitetu otkopane mineralne sirovine.

Dobijeni kapacitet proizvodnje i kvalitet otkopane sirovine daju presjek koji se unosi u prostor stanja sistema kao reprezentativna tačka. Raspored reprezentativnih tačaka u prostoru dopuštenog stanja sistema ukazuje na nivo stabilnosti proizvodnje u odnosu na postavljene zahtjeve.

Navedena procedura sprovodi se primjenom modela planiranja proizvodnje [8], tako da se vrlo efikasno može ispitati više mogućih varijanti položaja, pravca i smjera napredovanja fronta radova. Na osnovu položaja rada bagera, u svakoj varijanti dobijaju se reprezentativne tačke u prostoru dopuštenog stanja sistema. Raspored ili koncentracija reprezentativnih tačaka duž ose obrnute proporcionalnosti ukazuje na ekonomsku stabilnost proizvodnje, a koncentracija u centralnom dijelu dopuštenog stanja sistema ukazuje na stabilnost proizvodnje u tehničkom smislu. Na taj način, više analiziranih varijanti omogućava definitivan izbor i usvajanje projektnog rješenja prema postavljenim zahtjevima.

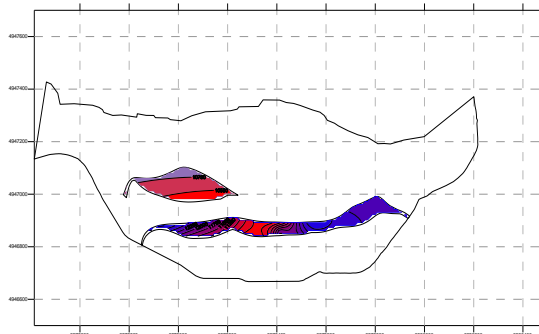
5.1. Interpolacija i sklapanje baze etaže (ili sloja)

Interpolacija, za konkretan slučaj Južnog revira površinskog kopa Bogutovo Selo, izvršena je korišćenjem programa SURFER 8 (Golden Software, Inc. Golden, Colorado), gdje se prethodno formirana datoteka preuzima i koristi za interpolaciju svih karakteristika.

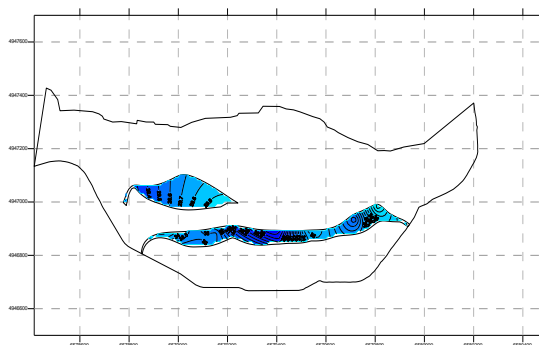
Interpolacija se može vršiti korišćenjem i drugih postojećih matematičkih programa, ali je veoma važno da se vrši na istoj mreži diskretizacije sloja u horizontalnoj projekciji ili etažne ravni takođe u horizontalnoj projekciji u slučaju da gornja i donja površina etažne ravni nisu horizontalne. Diskretizacijom se sloj ili etažna ravan dijeli na miniblokove i dalji nosioci niza informacija su težišta miniblokova. Veličina miniblokova po X i Y osi, i koordinate težišta moraju biti iste za svaku interpolovanu karakteristiku uglja. To znači da se za svaku interpolaciju daju iste vrijednosti raspona Xmin, Xmax i Ymin i Ymax i dimenzije miniblokova, tako da ukupan broj miniblokova etaže (ili sloja)

mora biti isti za svaku interpolovanu karakteristiku. Najviše zastupljene metode interpolacije su Metoda inverznog rastojanja sa težinskim faktorom (Inverse Distance to a Power) i Krigovanje (Kriging).

Sklapanje baze vrši se programom koji se zove Baze i koji za vrijednosti X i Y, odnosno težišta miniblokova grupiše sve interpolovane vrijednosti karakteristika kvaliteta. Konkretno, baza je sklopljena tako što su za sve miniblokove povezane vrijednosti za; Zapreminsku masu (t/m^3), Debljinu ugljenog sloja sa razblaženjem (m), Debljinu jalovine za selektivno otkopavanje (m), DTE (kJ/kg), Pepeo (%), Vlagu (%) i Razblaženje (%). Primjer nekih interpolovanih karakteristika za ležište Bogutovo Selo prikazan je na Slikama 6 i 7.



Slika 6. Karta DTE (kJ/kg) krovinskog i glavnog ugljenog sloja na Etaži-214



Slika 7. Karta sadržaja ukupne vlage (%) krovinskog i glavnog ugljenog sloja na Etaži-214

6. Primjena dinamičkog modela planiranja proizvodnje u konkretnim uslovima

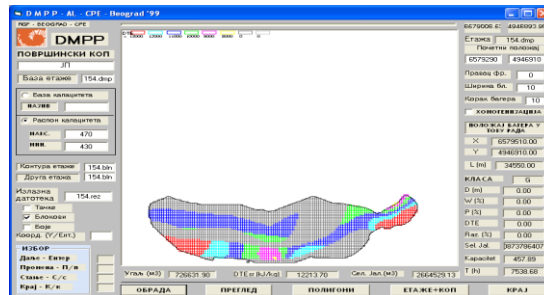
Dinamičko planiranje zauzima važno mjesto u procesu proizvodnje na površinskim kopovima jer se njime obezbjeđuju uslovi za realizaciju stabilne proizvodnje, kako u pogledu kvaliteta otkopane mineralne sirovine, tako i u pogledu kapaciteta, obzirom da se eksploatacija vrši u veoma složenim uslovima koje odlikuju česte i nepredviđene promjene strukturnih, fizičko mehaničkih, hidrogeoloških i drugih karakteristika radne sredine 4.

Sistemi površinske eksploatacije, obzirom na kretanje u realnom prostoru i realnom vremenu, nesumnjivo imaju dinamički karakter, tako da je formulisan dinamički model proizvodnje (DMPP), razvijen na Katedri za površinsku eksploataciju čvrstih mineralnih sirovina RGF-Beograd, koji je po svojoj strukturi koncipiran na funkcijama predstavljanja i pretraživanja i organizovan je na tri nivoa. Prvi nivo obuhvata predstavljanje osnovnih-izvornih podataka o radnoj sredini, opremi proizvodnog sistema za eksploataciju i podataka o vremenskim parametrima rada sistema, u formi baza podataka koje se dobijaju pripremom i unošenjem podataka [8].

Drugi nivo razrade modela realizuje se na osnovu prethodno formiranih baza podataka i usmjeren je na domen, odnosno prostor pretraživanja. U realnom prostoru površinskog kopa, koji je izdvojen za analizu, vrši se interpolacija utvrđenih karakteristika radne sredine, formiraju se pravila za izbor tehnoloških parametara rada i vremenska slika stanja ponašanja proizvodnog sistema u realnom vremenu. Navedena razrada modela izražava se takođe u formi baza podataka. Treći nivo modela sadrži mehanizam, odnosno proceduru zaključivanja koja integriše pripremljene baze podataka

pretraživanjem [8].

Na Slici 8 prikazana je forma za pregled etaže ili sloja koji se analizira i to na dva načina: sa tačkama i blokovima i sa bojama kojima su popunjeni blokovi.



Slika 8. Forma za pregled etaže ili sloja koji se analizira

U prvom koraku unose se podaci za lijevu stranu forme koji omogućavaju da se izvrši uvid u raspored različitih kvaliteta na etaži ili sloju, a zatim se na desnoj strani forme unose podaci koji se odnose na položaj bagera u toku rada. Nakon toga se unose podaci za pravac fronta kojim se kreće bager.

Širina bloka je širina bloka bagera kao tehnološki parametar ili dimenzija bloka za pretraživanje. Korak bagera je dubina bloka bagera ili druga dimenzija za pretraživanje. To praktično znači da se po poligonu sa miniblokovima može simulirati kretanje bagera koji vrši otkopavanje radom u blokovima ili jednostavno pretraživanje etaže ili sloja zapreminom koja je ekvivalentna bloku bagera. Dužina kretanja, vrijeme ili otkopane količine predstavljaju kriterijume za presjeke stanja sistema.

Ovi položaji registruju se u izlaznoj datoteci i mogu se posebno analizirati. Izlazna datoteka registruje sve parametre sistema u toku kretanja bagera i na kraju daje kumulativan i pojedinačan zbir. Kumulativan za sve položaje bloka bagera, a pojedinačan zbir daje za položaje između dva stanja. Kapacitet i vrijeme rada bagera dobijaju se na osnovu podataka za kapacitet primjenom modela simulacije rada bagera za karakteristične slučajeve.

7. Defisanje optimalnog pravca razvoja rudarskih radova u funkciji stabilnosti proizvodnje

Karakteristični slučajevi radne sredine u suštini su način zajedničkog i istovremenog predstavljanja grupa parametara radne sredine koje je neophodno analizirati za utvrđivanje kapaciteta proizvodnje i kvaliteta otkopanog materijala, radi definisanja tehnoloških parametara rada opreme, a zatim i radi utvrđivanja pravca i smjera napredovanja fronta rudarskih radova. Kod planiranja razvoja rudarskih radova jedan od uslova je da se obezbijedi ujednačen kapacitet površinskog kopa u toku cijelog eksploatacionog vijeka.

Za potrebe planiranja razvoja rudarskih radova neophodno je imati na raspolaganju što veći broj karakteristika kako radne sredine tako i tehničko-tehnoloških parametara primjenjene opreme. U tu svrhu urađen je Model za Južni revir površinskog kopa Bogutovo Selo, čija je forma predstavljena na sledećoj slici, koji omogućava kombinaciju raspoloživih i poznatih karakteristika saglasno prirodi radne sredine i ostalim zahtjevima. Model je baziran na osnovu programa klase kvaliteta.

U prvom koraku definišu se ulazni parametri, u ovom slučaju to je potrebna količina energije za 6.000 sati rada termoenergetskog bloka, sa prosječnom snagom na pragu elektrane od 268 MW uz prosječan normativ toplote od 11.500 kJ/kWh električne energije. Na osnovu ulaznih podataka proračunom se dolazi do potrebne količine toplotne energije od $18.500 \cdot 10^9$ kJ godišnje.

Kako je efektivno vrijeme rada rudarske opreme 3.700 sati godišnje dolazi se do izlaznih podataka o potrebnim kapacitetima na uglju i otkrivci, o ukupnim količinama uglja, selektivne jalovine, otkrivke, vremena potrebnog za realizaciju, te ostalih parametara kvaliteta uglja.

Obradeni primjer dat je na Slici 9. Nakon obrade ulaznih parametara dobijeni su izlazni podaci koji su predstavljeni u donjem dijelu forme iz kojih se mogu vidjeti potrebni kapaciteti na uglju i otkrivci,

potrebno vrijeme za realizaciju, te srednji parametri kvaliteta uglja u prostoru izdvojenom za analizu.

Slika 9. Forma Modela za definisanje kapaciteta u funkciji količina energije

U praksi je najčešće prisutna težnja da se postavi takav front rudarskih radova koji će obezbijediti ujednačene količine i kvalitet otkopanog uglja, odnosno ujednačen eksploatacioni koeficijent otkrivke za sve faze rada površinskog kopa. Prikazani Model omogućava kombinaciju više različitih varijanti razvoja rudarskih radova nakon kojih se bira ona koja pokaže najbolje rezultate.

U cilju izbora optimalnog pravca razvoja rudarskih radova razmatrano je sedam varijanti sa različitim položajem fronta rudarskih radova, i sa pravcem razvoja od uglja 90° do uglja 0° i korakom od 15°. Rezultati analiziranih varijanti prikazani su u sledećim tabelama.

U Tabeli 2 prikazani su srednji koeficijenti otkrivke po godinama eksploatacije i standardna devijacija koeficijenta otkrivke, kao mjerilo odstupanja vrijednosti. Na osnovu prethodnih analiza, ako se kao kriterijum uzme ujednačen koeficijent otkrivke u toku eksploatacije, najpovoljnija je prva varijanta kod koje je pravac fronta radova 90°, a pravac napredovanja fronta radova 0°, a u Tabeli 2 dat je prikaz srednjih koeficijenata otkrivke po godinama eksploatacije i varijantama.

Tabela 2. Srednji koeficijenti otkrivke po varijantama

Godina/varijante	V.1	V.2	V.3	V.4	V.5	V.6	V.7
1	7.38	7.65	8	8.7	10.26	12.15	11.68
2	3.96	4.06	4.32	4.64	4.41	5.14	3.42
3	3.03	3.19	2.99	2.51	3.44	1.78	3.79
4	2.82	2.82	3.16	3.81	2.99	1.44	2.91
5	5.92	5.58	5.01	3.85	2.15	2	2.11
6	2.94	2.7	2.48	2.39	2.67	3.03	1.6
Stand. odstup.	1.89	1.94	2.03	2.31	3.00	4.09	3.72

U Tabeli 3 prikazani su potrebni tehnički kapaciteti na otkopavanju uglja po godinama eksploatacije i standardna devijacija tehničkih kapaciteta kao mjerilo odstupanja vrijednosti. Ukoliko se kao kriterijum uzme ujednačen tehnički kapacitet na otkopavanju uglja u toku eksploatacije najpovoljnija je varijanta 7 (pravac fronta radova: 0°, pravac napredovanja fronta radova: 270°).

Tabela 3. Rezultati analize svih varijanti prema potrebnim tehničkim kapacitetima

Godina	Varij. 1	Varij. 2	Varij. 3	Varij. 4	Varij. 5	Varij. 6	Varij. 7
1	1201	1217	1222	1235	1266	1274	995
2	646	641	654	685	776	911	822
3	594	620	637	674	640	577	923
4	714	704	689	612	564	530	638
5	799	775	743	720	616	516	532
6	419	416	427	447	509	563	462
Stan. Odstup.	264.243	267.761	264.627	266.192	278.170	305.214	217

Kod izbora optimalne varijante, i ako je u prvoj varijanti standardno odstupanje prema srednjim koeficijentima otkrivke po godinama eksploatacije najmanje, akcenat je stavljen na definisanje

potrebnih kapaciteta na uglju, imajući u vidu mogućnost ujednačavanja koeficijentata otkrivke po otkopnim poljima, odnosno revirima. Na taj način se kapaciteti na otkrivci definišu na osnovu potrebnih kapaciteta na uglju uz maksimalno uvažavanje kriterijuma ujednačavanja srednjeg eksploatacionog koeficijenta po revirima, odnosno otkopnim poljima, a sve u funkciji uravnoteženja tekućeg koeficijenta otkrivke, čime se postiže i najbolje iskorišćenje kapaciteta raspoložive opreme.

8. Zaključak

Prikazana i primjenjena metodologija utvrđivanja kapaciteta površinskog kopa dovodi do optimalnog rješenja za konkretne uslove eksploatacije, i primjenljiva je u uslovima prethodno definisanog kompleksa osnovne opreme ili za slučajeve kada se na osnovu rezultata sprovedene analize usvaja osnovna oprema odgovarajućih tehničko-tehnoloških karakteristika. Korišćena metodologija se u prvom redu zasniva na mogućnostima primjene modela radne sredine i modela tehnoloških procesa koji putem odgovarajućih procedura obuhvataju sve bitne elemente i prikazuju stanja i ponašanje realnih sistema sa dovoljnom tačnošću. U konkretnom slučaju primjenjeni su modeli dinamičkog planiranja proizvodnje u smislu definisanja parametara radne sredine i ponašanja sistema, simulacioni model rada bagera kašikara i model sistema bager - kamioni u smislu utvrđivanja tehničkog kapaciteta bagera u selektivnom radu, odnosno eksploatacionog kapaciteta navedenog sistema.

Obrazloženi postupak, sa usvojenim rješenjem može se primjeniti kao normativni model upravljanja u konkretnim uslovima proizvodnje čime se obezbjeđuje usaglašenost projektovanog i planiranog rješenja sa izvedenim radovima. Primjenom date metodologije i prikazane i razvijene programske podrške na računarima može se automatizovati projektovanje dinamike razvoja površinskih kopova i kasnije u toku eksploatacije, primjenom iste procedure, može se direktno ili automatski optimalno upravljati proizvodnjom.

Literatura

- [1] Miladinović, M., Čebašek, V., Gojković, N. (2011). Računarski programi za projektovanje i modeliranje u rudarstvu Rudarsko-geološki fakultet Beograd, Podzemni radovi 19
- [2] Osmanović, D., Ibrišimović, A., Brašnjčić, B. (2018). Definisane kvaliteta krečnjaka primjenom blok modela ležišta, Glasnik Rudarsko-geološko-građevinskog fakulteta Tuzla, 6/2018
- [3] Stojanović, C. (2015). Model upravljanja investicionim projektima otvaranja površinskih kopova uglja, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- [4] Stojanović, C. (2007). Definisane kapaciteta površinskih kopova uglja po kriterijumu stabilnosti proizvodnje, Magistarski rad, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- [5] Pavlović, V. (1998). Sistemi površinske eksploatacije, Rudarsko-geološki fakultet, Beogra
- [6] Lazić, A. (1998). Projektovanje površinskih kopova sa modeliranjem sistema eksploatacije,
- [7] Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- [8] Lazić, A., Klačar, R., Bošković, S. (2004). Selektivno otkopavanje uglja na površinskim kopovima, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd.
- [9] Lazić, A. (2004). Dinamički model planiranja proizvodnje (DMPP), Centar za površinsku eksploataciju, Beograd
- [10] Dokumentacioni fond preduzeća Rudnik i termoelektrana Ugljevik
- [11] Bitarafan M. R. and Ataei M. (2004). Mining method selection by multiple criteria decision making tools, The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, (2004), p. 493-498
- [12] Bogdanović i dr. (2012.). Mining method selection by integrated AHP and PROMETHEE method Anais da Academia Brasileira de Ciências 84(1): 219-233



KARAKTERISTIKE SISTEMA ODVODNJAVANJA POVRŠINSKOG KOPA RADLJEVO I ZNAČAJ RETENZIJE KLADNICA

CHARACTERISTICS OF THE DEWATERING SYSTEM OF THE SURFACE MINE RADLJEVO AND THE SIGNIFICANCE OF KLADNICA RETENTION

Stojković N.¹, Jakovljević I.², Čolović M.³

Apstrakt

Kolubarski ugljonosni basen, sa svojih približno 600 km², od kojih je 130 km² sa mogućnosti eksploatacije, jedan je od najvećih basena u Republici Srbiji, predstavljen kroz više istražno eksploatacionih polja, među kojima je i površinski kop Radljevo. Eksploatacijom uglja na površinskim kopovima Kolubara obezbeđuje se ostvarenje elektro-energetskog bilansa Republike Srbije, te je neophodno izvršiti uspešnu površinsku eksploataciju mineralne sirovine i kvalitetnu zaštitu površinskog kopa od podzemnih i površinskih voda. U ovom radu je prikazan značaj rekonstrukcije retenzione brane Kladnica nakon poplava 2014. godine. Ova rekonstrukcija je od izuzetnog značaja jer predstavlja glavni objekat zaštite površinskog kopa Radljevo, u cilju smanjenja i upravljanja rizikom površinskih i podzemnih voda koje se uspešno evakušu iz radne zone površinskog kopa.

Ključne reči: odvodnjavanje površinskih kopova, kanali, bunari, retenziona brana Kladnica

Abstract

The Kolubara coal-bearing basin, encompassing an area of approximately 600 square kilometers, with an exploitable portion of 130 square kilometers, ranks as one of the largest basins within in the Republic of Serbia. This geological formation is host to several exploration and exploitation fields, notably including the Radljevo surface mine. The exploitation of coal within the Kolubara surface mines plays a pivotal role in ensuring the equilibrium of electric energy supply and demand within the Republic of Serbia. Therefore, it becomes imperative to conduct proficient surface mining of mineral resources while concurrently implementing robust measures to safeguard the surface mine against the ingress of both underground and surface water. This paper underscores the paramount significance of reconstructing the retention dam known as Kladnica, a task that emerged as a critical imperative following the devastating floods of 2014. This reconstruction holds exceptional importance as the Kladnica dam serves as the principal protective structure for the Radljevo surface mine. Its successful rehabilitation is instrumental in mitigation and managing the potential hazards posed by surface and underground water infiltration, this ensuring the affective evacuation of such waters from the operational zones of the surface mine.

Keywords: surface mines dewatering, channels, wells, retention dam Kladnica

1. Uvod

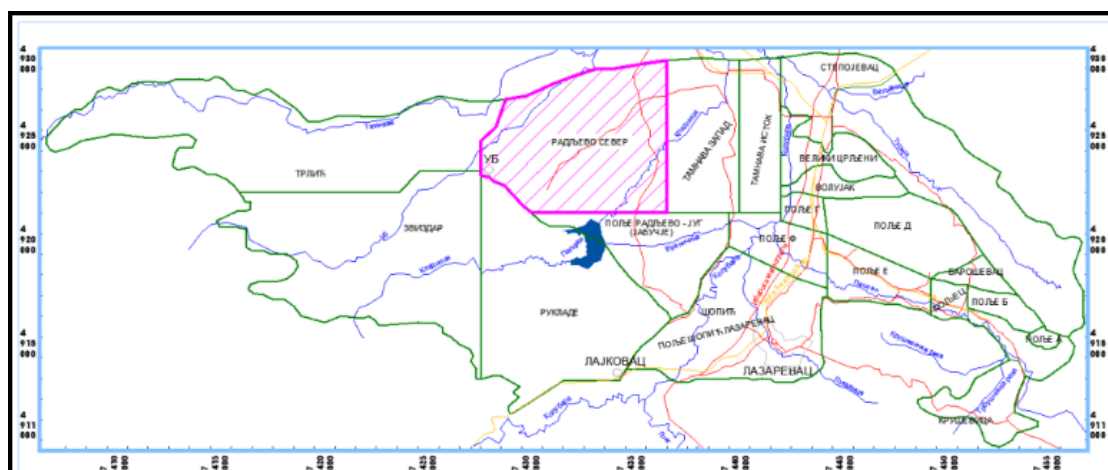
Na osnovu opšte prihvaćene podele Kolubarski basen je podeljen na istočni i zapadni deo, čiju granicu predstavlja tok reke Kolubare. Istočni deo basena obuhvata devet ugljonosnih polja: A, B, C, D, E, F, G, Veliki Crljeni i Šopić-Lazarevac. Zapadni deo basena obuhvata četiri ugljonosna polja: Tamnava-Istok, Tamnava-Zapad, Radljevo i Zvizdar [1]. Na Slici 1. prikazana je pregledna karta Kolubarskog

¹ Nevena Stojković, Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica, Kosovska Mitrovica, nevena.stojkovic@pr.ac.rs

² Doc. dr Ivica Jakovljević, Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica, Kosovska Mitrovica, ivica.jakovljevic@pr.ac.rs

³ Dr Miloš Čolović, asistent, Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica, Kosovska Mitrovica, milos.colovic@pr.ac.rs

basena sa istražno-eksploatacionim poljima.



Slika 1. Pregledna karta Kolubarskog ugljonosnog basena sa istražno-eksploatacionim poljima [1]

Kontura površinskog kopa Radjevo je na Slici 1 označena ljubičastom šrafurom. Preciznije, ležište Radljevo se nalazi u zapadnom delu Kolubarskog ugljonosnog basena, gde severna granica prati prirodnu konturu Kolubarskog basena i predstavljena je iskljucenjem ugljene serije, dok su ostale granice veštačke. Površina pod ugljem iznosi oko 33 km². Prostor ovog ležišta, u geomorfološkom aspektu je pretežno ravničarski, sa blago zatalasanim terenom aluvijalne ravni rečnih dolina, na nadmorskoj visini od 90 do 160 m.

Hidrogeološki uslovi na celokupnom prostoru Kolubarskog basena su jako složeni. Glavni vodotoci ležišta Radljevo su predstavljeni rekama: Kladnica, Stublenica i Pljoštanica. Reka Kladnica obuhvata jugoistočni deo ležišta Radljevo, dok reka Stublenica obuhvata jugozapadni, centralni i krajnje istočni deo, a reka Pljoštanica krajnji severni deo ležišta. Sve prethodno spomenute reke gravitiraju ka dolini reke Kolubare, ali uz klimatske karakteristike područja i oblika sliva, uslovljavaju bujični karakter reka. Morfološke, hidrogeološke i klimatske prilike Kolubarskog ugljonosnog basena su relativno povoljne za rudarsku aktivnost, ali vode nekih površinskih tokova direktno ugrožavaju rad na površinskim kopovima. Iz tog razloga je neophodan dobro odabran sistem zaštite površinskog kopa od površinskih i podzemnih voda.

Ležište Radljevo je geološki istraživano u više faza radi utvrđivanja položaja ugljenog sloja i kvaliteta uglja. Step en istraženosti ležišta je određen razvrstavanjem rezervi po kategorijama shodno Pravilniku o klasifikaciji i kategorizaciji (Sl. List SFRJ br. 53/79), tako da je ležište svrstano u I grupu i II podgrupu [2].

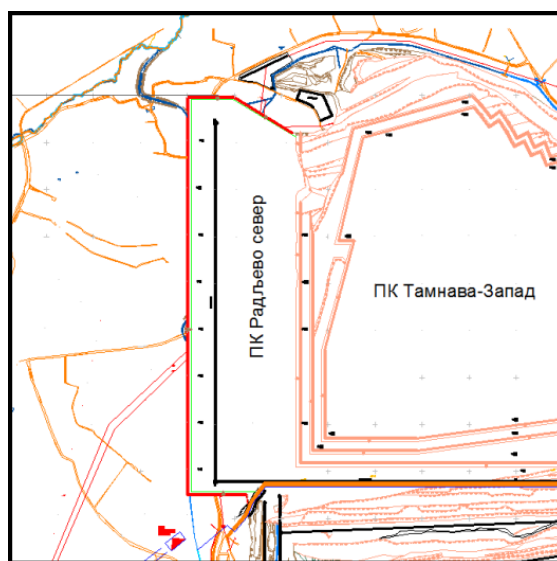
U toku izvođenja osnovnih i detaljnih geoloških istraživanja, izvođena su i hidrogeološka istraživanja. Na osnovu velikog broja podataka, utvrđen je veliki broj vodonosnih slojeva, njihova uzajamna veza, prehranjivanje, pražnjenje i njihove hidrogeološke i hidrodinamičke karakteristike. Razvijeni su hidrološki kolektori formirani u aluvijalnim peskovima i šljunkovima, gornje ponskim, donje ponskim peskovima, a izolatori su predstavljeni kvartnim glinama, alevritima, ugljenom serijom i laporcima.

2. Odbrana površinskog kopa od površinskih i podzemnih voda

Površinske i podzemne vode mogu direktno ugrožavati površinski kop potapanjem rudarske mehanizacije i indirektno delovati na karakteristike stena u ležištu i neposrednoj okolini. Odabrane metode sa svojim objektima odvodnjavanja u cilju zaštite površinskog kopa moraju obezbediti funkcionalnost i ekonomičnost, uz sigurno izvođenje tehnološkog procesa eksploatacije.

Ležište Radljevo definisano je kao najraslojenije ležište u okviru Kolubarskog basena i podeljeno na dva dela, Radljevo-Sever i Radljevo-Jug. Shodno situaciji i novoj konturi kopa zbog podele ležišta Radljevo, izvršeno je otvaranje površinskog kopa Radljevo-Sever sa istoka od površinskog kopa Tamnava-Zapadno Polje ka zapadu.

Na Slici 2 prikazano je otvaranje površinskog kopa Radljevo-Sever.



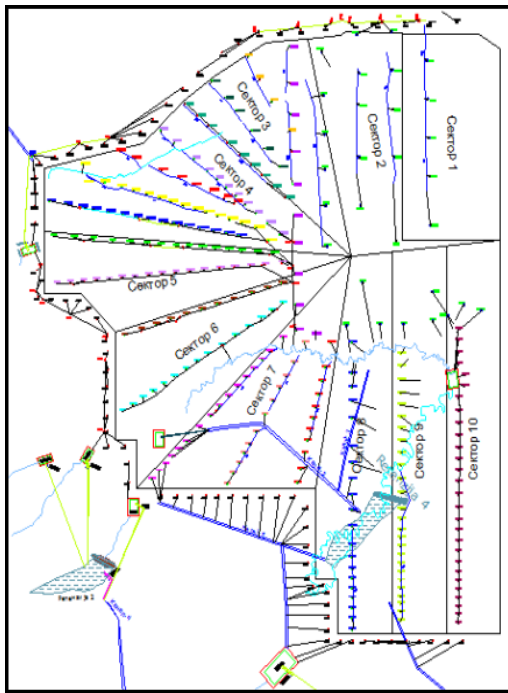
Slika 2. Otvaranje površinskog kopa Radljevo-Sever [1]

Koncepcijsko rešenje odbrane površinskog kopa od površinskih voda, sastoji se iz objekata odvodnjavanja koji su predstavljeni obodnim kanalima, sistemima etažnih i sabirnih kanala, vodosabirnicima i pumpnim stanicama. Retenziona brana Kladnica koja je izgrađena 2004. godine, duži vremenski period predstavlja glavni objekat zaštite površinskog kopa od površinskih voda. Vodu sa slivnih površina južne strane prihvataju korita reka Kladnica i Stublenica. Voda se sakuplja u retenziji Kladnica gde se kasnije potisnim cevovodima prepumpava do korita Dubokog Potoka. Sa istočne strane površinskog kopa je Tamnava-Zapadno Polje čime je rešena zaštita od voda, dok teren sa severne strane kopa pada od površinskog kopa i iz tog razloga nisu potrebni odvodni kanali. Sa zapadne strane kopa izgrađuju se obodni kanali koji prate dinamiku radova, prikupljaju i sprovode vodu do vodosabirnika. Sistemi etažnih kanala formiraju se na etažama i na dnu površinskog kopa, kao i na etažama unutrašnjeg odlagališta, kako bi prikupljali atmosfersku i podzemnu vodu i sprovodili do glavnog vodosabirnika koji se nalazi na najnižoj koti površinskog kopa. Prikupljena voda iz glavnog vodosabirnika, pumpnim postrojenjima preko potisnih cevovoda se sprovodi do korita reke Pljoštanice. Radi sprečavanja prodiranja vode u radnu zonu površinskog kopa na koritu reke Pljoštanica izgrađuju se vodosabirnici pomoću kojih se voda prepumpava do odvodnog gravitacijskog cevovoda. Napredovanjem rudarskih radova ka zapadu pomeraju se i objekti odvodnjavanja do trenutka kada se radovi na površinskom kopu približe retenziji Kladnica, te je potrebno izgraditi novu branu.

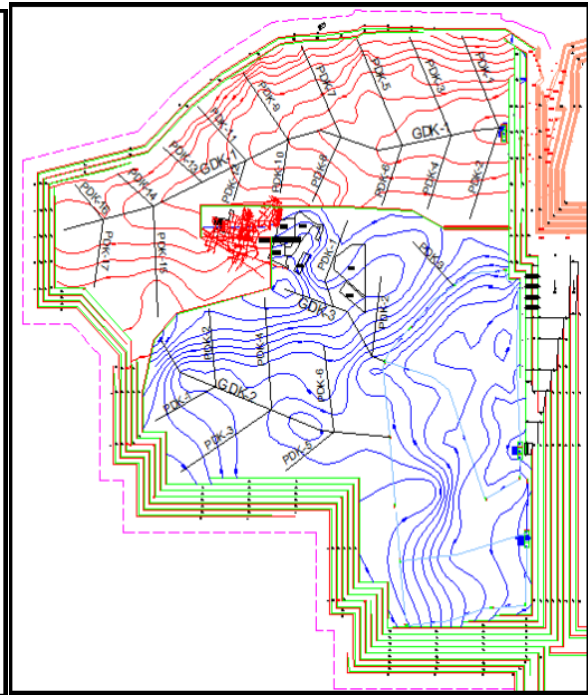
Sistem zaštite površinskog kopa Radljevo od podzemnih voda sastoji se iz drenažnih bunara, odvodnih gravitacijskih cevovoda, etažnih kanala, vodosabirnika i pumpnih stanica. Izdvojen je krovinski kolektor koji se odvodnjavanja sa drenažnim bunarima i etažnim kanalima, koji dreniraju izdan u šljunkovima i peskovima. Izdvojeni su i međuslojni i podinski kolektori za čije odvodnjavanje se koriste drenažni bunari koji mogu drenirati i krovinske naslage.

Glavnim rudarskim projektom predviđena je izgradnja 23 linije bunara sa različitim kapacitetima (ЛБ-1 do ЛБ-22 i obodna linija ОВ).

Na Slici 3 prikazana je lokacija linija bunara po sektorima do kraja eksploatacije.



Slika 3. Lokacija linija bunara po sektorima do kraja eksploatacije [3]



Slika 4. Lokacija drenažnih kanala do kraja eksploatacije [3]

Pre otvaranja površinskog kopa Radljevo u rad su pušteni bunari linije ЛБ-1, gde se prikupljena voda prepumpava do kanala K-1, potom u rečno korito Pljoštanice. U prvih pet godina eksploatacije izgrađen je prvi deo odvodnog gravitacijskog cevovoda do reke Pljoštanice i novi bunari linija ЛБ i ОБ. Radi zaštite unutrašnjeg odlagališta koriste se drenažni kanali.

Na Slici 4 prikazana je lokacija drenažnih kanala do kraja eksploatacije.

Sistem odvodnjavanja je sinhronizovan sa napredovanjem rudarskih radova na površinskom kopu Radljevo.

3. Značaj retenzione brane Kladnica

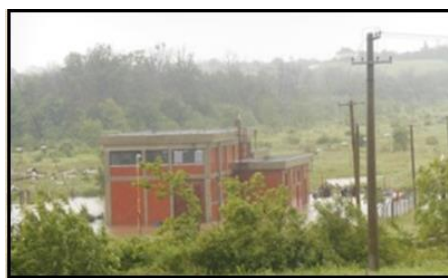
Retenziona brana Kladnica koja pregrađuje dolinu reke Kladnice, izgrađena je 2004. godine sa funkcijom zaštite površinskog kopa Tamnava-Zapadno polje sa zapadne strane kopa. Uz retenziju Kladnica izgrađeni su crpna stanica, potisni cevovod i vezni kanal. Simića Potok je prilikom poplave u maju 2014. godine poplavio crpnu stanicu i oštetio je. Rekonstrukcija brane je izvršena u periodu april - septembar 2015. godine.

Nakon prodora vode, oštećena retenzija je prestala sa radom. Početak sanacija lokacije proboja podrazumevao je dreniranje kanala, ugradnju glinovitog materijala u slojevima, nasipanje servisnog puta, zasipanje čeličnih cevi peskom, ugradnju filterskog sloja i drenažnog kamena u nožici brane na mestu proboja, ugradnju blindiranih ventila u zoni aeracione cevi i iskop temeljne jame ankeri kojima su fundirana čelična užad aeracione cevi [3]. Izvršena je i potpuna regulacija Simića Potoka i njegov uliv u retenziju Kladnica.

Slike 5, 6, 7, 8 i 9 prikazuju izgled objekata odvodnjavanja pre i nakon poplave 2014. godine.



Slika 5. Izgled brane nakon poplava 2014. godine



Slika 6. Plavljenje crpne stanice Kladnica



Slika 7. Uređen Simića Potok i njegov uliv u retenziju Kladnica



Slika 8. Brana, retenzija i crpna stanica Kladnica nakon poplava 2014. godine



Slika 9. Brana, retenzija i crpna stanica Kladnica 2023. godine

4. Zaključak

Projektom geoloških istraživanja ležišta uglja polja Radljevo, koji je za cilj imao istraživanje uglja i pratećih korisnih nemetaličnih mineralnih sirovina iz 2008. godine, dolazi se do podatka da ležište Radljevo ima oko 530 miliona tona uglja. Obzirom na veličinu i značaj ležišta i same potrebe njegove eksploatacije, 2007. godine je izrađeno idejno rešenje otvaranja i rada površinskog kopa po kome se izvode radovi. Zbog velike zavodnjivosti, zaglinjenosti materijala, prisustva glina, peskova i delova ugljenih slojeva u projektovanim kosinama površinskog kopa, neophodno je stalno praćenje funkcionisanja sistema odvodnjavanja i stabilnosti kosina za potrebe daljeg projektovanja i kasnije same pune planirane eksploatacije uglja.

Pravilan izbor zaštite površinskog kopa od površinskih i podzemnih voda zavisi od poznavanja prirodnih i rudarsko-tehnoloških faktora. Velike količine krovinskog, delom i podinskog peska, utiču

na uslove odvodnjavanja kopa. Rekonstrukcijom retenzione brane je omogućena zaštita radne zone površinskog kopa od severozapadnih površinskih voda, regulacijom Simića potoka direktnim ulivom u retenziju Kladnica sprečava se njegovo izlivanje i plavljenje drugih objekata, dok se izradom preliva omogućava evakuacija velikih voda na brani Kladnica i vrši njena zaštita.

Površinski kop Radljevo, uz selektivan i izuzetno precizan rad, u narednim godinama treba da obezbedi kontinuitet proizvodnje uglja, uz eksploataciona polja Polje E i Polje Tamnava-Zapad.

Literatura

[1] Glavni rudarski projekat površinskog kopa Radljevo-Sever, Knjiga 3, Sveska 1, Tehnički rudarski projekat odbrane kopa od površinskih voda, Centar za površinsku eksploataciju doo Beograd, Beograd, 2016.

[2] Projekat geoloških istraživanja ležišta uglja polja Radljevo-Kolubarski ugljonosni basen, Knjiga 1, Kolubara-projekt, Lazarevac, 2008.

[3] Glavni rudarski projekat površinskog kopa Radljevo-Sever, Knjiga 3, Sveska 2, Tehnički rudarski projekat odbrane kopa od podzemnih voda, Centar za površinsku eksploataciju doo Beograd, Beograd, 2016.

[4] Stručna i fondovska dokumentacija RB Kolubara

[5] Pavlović V., Šubaranović T., Polomčić D., Sistemi odvodnjavanja površinskih kopova, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2012.

[6] Pavlović V., Šubaranović T., Pouzdanost, optimizacija i upravljanje sistemima odvodnjavanja površinskih kopova, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2012.



ADVANCES IN UNDERSTANDING OF TECHNOLOGIES IN PROCESSING OF CRITICAL MINERALS

Stopic S.¹, Dertmann C., Friedrich B.

Abstract

Critical minerals are essential components in clean energy technologies - from wind turbines and electricity networks to electric vehicles (EV). Rare earth elements are most important for permanent magnets that are vital parts in wind turbines and EV motors. The demand for critical minerals will grow quickly as clean energy transitions gather pace. U.S. Geological Survey (USGS) has released a list of 50 mineral commodities that are critical to the U.S. economy and national security. Rare earth elements group (Cerium, Gadolinium, Lanthanum, Neodymium, Praseodymium and Samarium) were listed to the critical minerals. Eudialyte, Bastnasite, Monazite, Steenstrupine, and Xenotime belonging to the most important minerals of rare earth elements. Treatment of critical minerals is based on hydrometallurgical and pyrometallurgical treatment. Reprocessing, a relatively new practice, is crucial to reducing environmental damages, obtaining valuable critical minerals from mining and metallurgical waste and acid mine drainage water.

Keywords: *critical minerals, rare earth elements, hydrometallurgy, pyrometallurgy, molten salt electrolysis*

1. Introduction-Rare earth elements and minerals

Rare earth elements (REE) are known as ‘industrial vitamins’. They are vital components in the fields of metallurgy, military, petrochemical, glass, ceramics, agriculture and new materials science [1, 2]. The main REE sources in nature contain the minerals such as bastnasite, monazite, xenotime and eudialyte as well as ion-absorption clays, as shown in Figure 1.





Mineral	Chemical composition in ore
Bastnasite	 $(Ce, La, Y)CO_3F$
Monazite	 $(Ce, La, Nd, Th)PO_4$
Xenotime	 YPO_4
Eudialyte	 $Na_{12}Ca_2(Fe,Mn)_2Zr_3SiO(O,OH,H_2O)_3(Si_3O_9)_2(Si_9O_{27})_2(OH,Cl)_2$

Figure 1: List of the most important minerals of rare earth elements

The other minerals are steenstrupine, ion-absorption clays and loparite. Eudialyte, as an unconventional REE resource, is one of the most potentially economic raw materials for REE production because of

¹Srecko Stopic, Christian Dertmann, Bernd Friedrich, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, RWTH Aachen University, Germany

the large amounts of these deposits, low radioactivity and high chemical activity [2] in contrast to radioactive minerals such as bastnasite, xenotime, monazite and steenstrupine. Many eudialyte mineral deposits have been reported around the world, which include the Lovozero deposit in Russia, Greenland, Ilímaussaq complex in South Greenland, Mont Saint-Hilaire deposit in Canada, Norra Kärr alkaline complex in Sweden, Paschim Banga nepheline complex in India and Pajarito deposit in New Mexico [3]. The REE content in these deposits is 1–3%, including a high heavy REE (HREE) proportion, at a little over 50% [4].

A set of mature technologies for REE extraction from these minerals have been developed in recent decades [5–9]. However, European countries do not possess enough high-grade deposits and have to import or search for alternatives for raw materials and sustainable technologies. In this preview paper we will point out a successful strategy of hydrometallurgical treatment of the eudialyte concentrate producing rare earth carbonate.

2. Hydrometallurgical treatment of critical minerals containing rare earth elements

A complete hydrometallurgical treatment of a eudialyte concentrate from TANBREEZ, Greenland (1.6 % REE) was successfully carried out at the IME Process Metallurgy and Metal Recycling of the RWTH Aachen University in Germany in cooperation with MEAB Chemie Technik GmbH, Aachen, as shown at Figure 2.

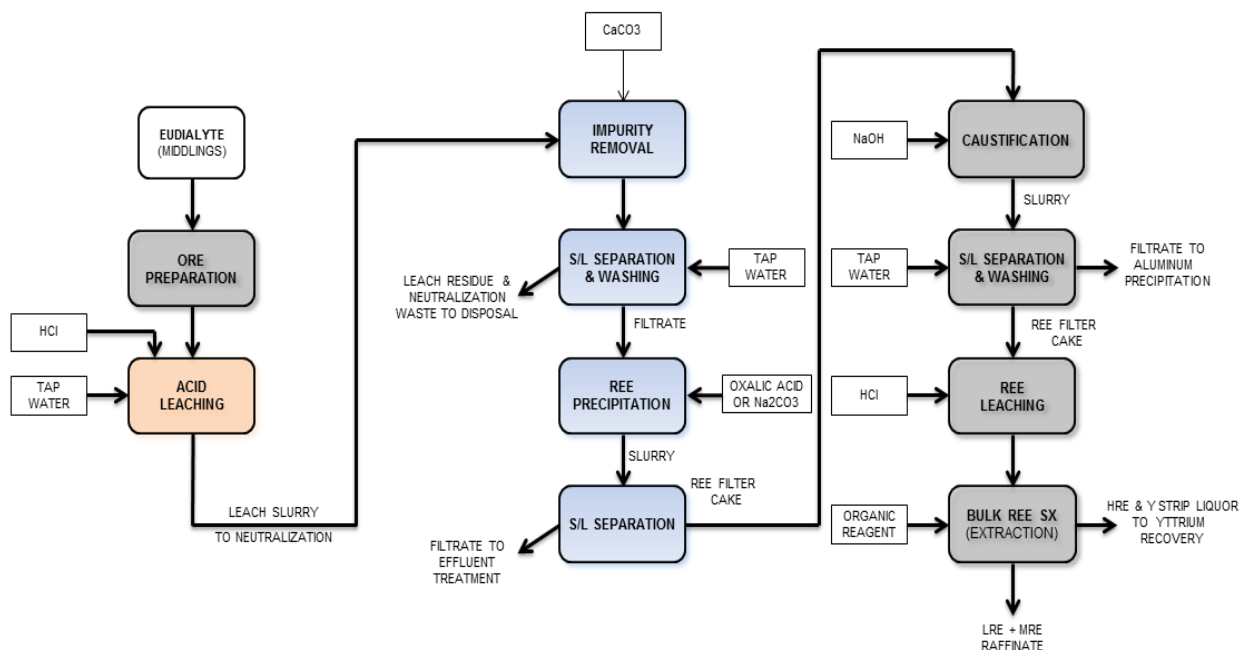


Figure 2: Hydrometallurgical strategy for preparation of purified solution based on REE

The following hydrometallurgical operations are combined: dry digestion, leaching, neutralisation, precipitation, solvent extraction and filtration, in order to produce rare earth carbonate as shown at Figure 3 [10].

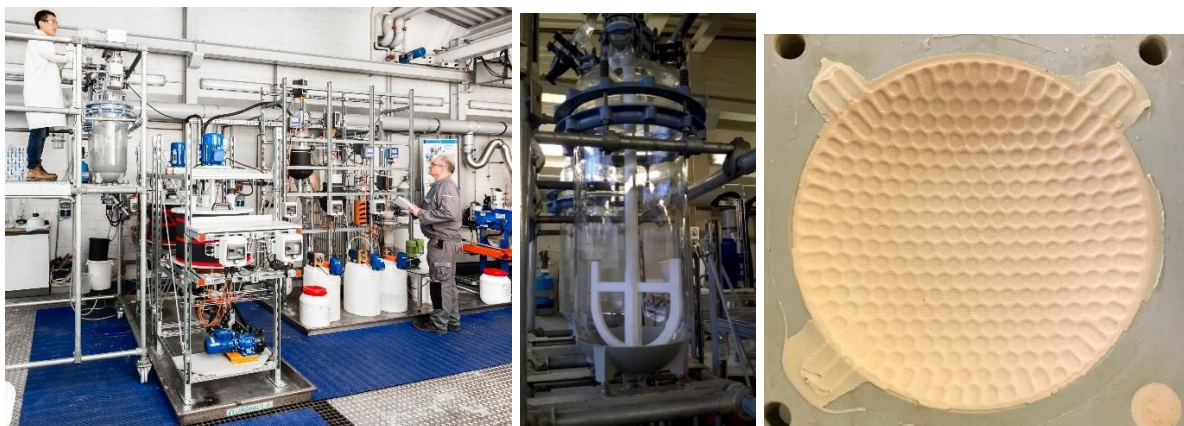


Figure 3: a) Demonstration pilot plant at the IME Process Metallurgy and Metal Recycling, RWTH Aachen, Germany, b) dry digester reactor (glas reactor), c) produced REE-carbonate (33 % REE)

The flowchart proposed was capable of achieving high REE recovery, avoiding silica gel formation and lowering operation costs (no external heating). The optimal parameters were: HCl:concentrate ratio of 1.25:1 (l:kg), water:concentrate ratio of 2:1 (l:kg), dry digestion, time 40 min, leaching temperature 20–25°C (room temperature) and leaching time 30 min. Under these conditions, a high REE extraction efficiency of 88.8% was obtained. By taking advantage of the dry digestion process with high concentrated acid in order to prevent silica gel formation, the leaching time and leaching temperature were found to have no significant influence on REE extraction. In purification step, pH was adjusted to the optimum (~4.0) with CaCO_3 , which led to a preliminary impurity removal and met the requirement of filter pressing at the demonstration plant when scaling up. Using the optimal parameters, the upscaling test, preceding future industrial application, was conducted to verify the feasibility and efficiency of this REE extraction process. Some operational considerations were also recognised in the upscaling test. The final product, REE carbonate (up to 30.0 wt% total REE) was produced from the REE enriched solution by adding Na_2CO_3 . New improvement in construction of dry digestion reactor was shown at Figure 4.

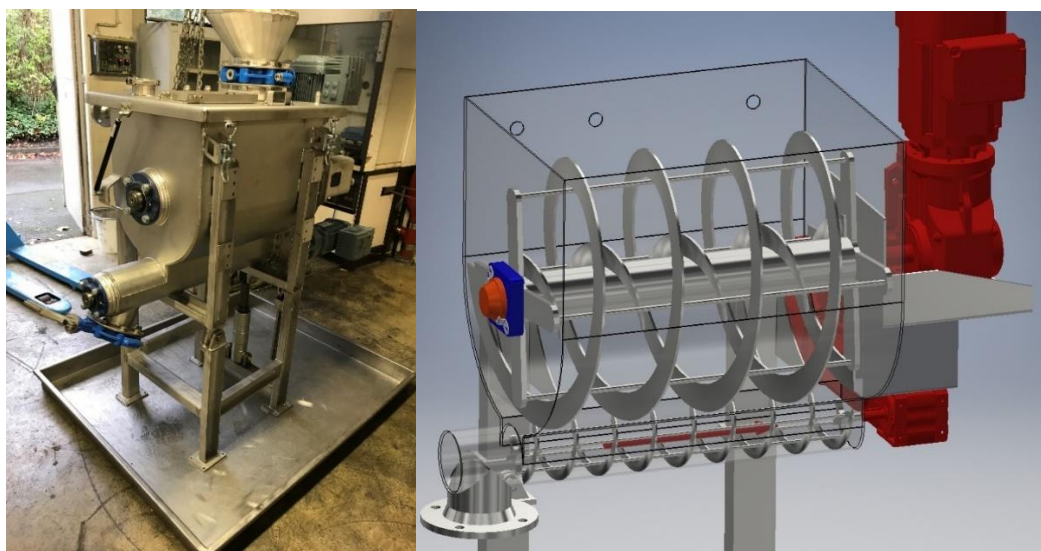


Figure 4: New dry digestion reactor made by Konzept GmbH; Düren and RWTH Aachen

This improved system has the next characteristics: volumen (L): 100 L, 2) Weight of solid (kg): 40 kg, 3. Nozzle system for water injection, 4. Ayger system for mixing of an eudialyte concentrate.

The reaction parameters for dry digestion of are shown in Table 1.

Table 1: Reaction parameter for treatment of eudialyte

Parameter	Unit	Value
Weight of initial sample	(kg)	20
Concentration of used sulfuric acid	(%)	96
Concentration of sulfuric acid solution	Mol/L	12
Solid/Liquid ratio (Dry digestion)	-	1/2
Concentration of sulfuric acid solution	mol/L	12
Solid/Liquid ration (leaching with water)	-	1/5
Duration of dry digestion	min	120
Duration of leaching with water	min	60

This system was tested for the leaching of an eudialyte concentrate at the room temperature showing high efficiency for rare earth elements (for La, Ce, Nd and Y higher than 90%). The concentration of Si was minimal in new obtained solution (101 mg/l). Therefore, silica gel formation was prevented, as shown in Table 2.

Table 2: Analysis of Si-concentration before and after leaching

Sample (Eudialyte)	Chemical composition (%) 25.1 Si, 8.92Al; 3.62 Fe; 1.59 Ca; 0.13 Ti; 0.77 Zr; 0.14 Ce; 0.09 Y; 0.065 Nd, 0.05 La
Initial mass (kg)	20.0
Si in initial mass (g)	5020.0
C _{Si} in Solution (mg/l)	101.3
Si in solution (g)	10.13
Efficiency (%)	0.20

3. Conclusion

Hydrometallurgical strategy is successfully performed for a dissolution of eudialyte using different unit operations in metallurgy such as dry digestion, leaching, precipitation, neutralization filtration and solvent extraction. Using the optimal parameters, the upscaling test, preceding future industrial application, was conducted to verify the feasibility and efficiency of this REE extraction process. During scale up operation rare earth carbonate with 33 % rare earth elements was obtained from eudialyte concentrate containing 1.6 % REE. Successful Scale up experiments using dry digestion process were tested in new 100L dry digester reactor constructed in cooperation between Konzept GmbH and RWTH Aachen University. The obtained results at room temperature have reached more than 90 % leaching efficiency of La, Nd, Ce and Y preventing silica gel formation.

References

- [1] N. Krishnamurthy and C. K. Gupta, The Rare Earths, in Extractive Metallurgy of Rare Earths, 2nd Edn., Ch. 1, Taylor and Francis Group LLC, Boca Raton, USA, 2016, pp. 1–84
- [2] K. M. Goodenough, J. Schilling, E. Jonsson, P. Kalvig, N. Charles, J. Tuduri, E. A. Deady, M. Sadeghi, H. Schiellerup, A. Müller, G. Bertrand, N. Arvanitidis, D. G. Eliopoulos, R. A. Shaw, K. Thrane and N. Keulen, Ore Geol. Rev., 2016, 72, (1), 838
- [3] M. Sadeghi, G. A. Morris, E. J. M. Carranza, A. Ladenberger and M. Andersson, J. Geochem. Explor., 2013, 133, 160
- [4] J. Schilling, F.-Y. Wu, C. McCammon, T. Wenzel, M. A. W. Marks, K. Pfaff, D. E. Jacob and G. Markl, Mineral. Mag., 2011, 75, (1), 87
- [5] Ma, Y., Stopic, S., Gronen, L., Obradovic, S., Milivojevic, M., Friedrich, B., (2018), Neural Network Modeling for the Extraction of Rare Earth Elements from Eudialyte Concentrate by Dry Digestion and Leaching, Metals, 8 (4), 267

- [6] Stopic, S., Friedrich, B, 2018. Leaching of rare earth elements with sulfuric acid from bastnasite ores. *Military Technical Courier* 2018, 66(4), pp.757-770.
- [7] Yun, Y., Stopic, S., Friedrich, B: (2020): Valorization of Rare Earth Elements from a Steenstrupine Concentrate via a Combined Hydrometallurgical and Pyrometallurgical Method, *Metals*, 10, 3, 248
- [8] Kilicarslan, A, Voßenkaul, D., Stoltz S, Stopic, S, Nezihi, M, Friedrich, B: (2017):, Selectivity Potential of Ionic Liquids for Metal Extraction from Rare Earth containing Slags - a QEMSCAN assisted approach, *Hydrometallurgy*, 169; 59-67
- [9] Davris, P., Stopic, S., Balomenos, E, Panias,D., Paspaliaris, I., Friedrich, B (2017): Leaching of rare earth elements from Eudialyte concentrate by supressing silicon dissolution, *Minerals Engineering*, 108, 115-122
- [10] Ma, Y., Stopic, S., Friedrich, B. (2019), Hydrometallurgical Treatment of a Eudialyte Concentrate for Preparation of Rare Earth Carbonate, *Johnson Matthey Technology Review*, 63 (1) 2-13



ANALIZA VARIJANTNIH REŠENJA IZRADE EKRANA NA POVRŠINSKOM KOPU DRMNO

ANALYSIS OF VARIANT SOLUTIONS FOR THE CUT-OFF WALL CONSTRUCTION AT THE OPENCAST MINE DRMNO

Šubaranović T.¹, Pavlović N.², Janković I.³

Apstrakt

Izbor lokacije ekrana na površinskom kopu Drmno zavisi, pre svega, od izbora završne konture površinskog kopa, a zatim i od lokacija postojećih zaštitnih kanala na terenu. Od izabrane dubine i dužine ekrana, zavisi i broj bunara koji će biti izrađen. Od njegove lokacije u odnosu na površinski kop zavisi i njegova stabilnost, kao i stabilnost završnih kosina kopa. Analizom tih parametara dobijena je varijanta izrade ekrana koja zadovoljava sa aspekta sigurnosti, a ujedno je i ekonomski najpovoljnija.

Ključne reči: površinski kop, Drmno, lignit, odvodnjavanje, podzemne vode, ekran

Abstract

The choice of the cut-off wall location at the Drmno opencast mine depends firstly on the selection of the final mine boundary, and then on the location of the existing protection channels on the ground. The number of wells that will be created also depends on the selected depth and length of the cut-off wall. Its stability depends on its location in relation to the opencast mine, as well as the stability of the final slopes of the mine. The analysis of these parameters resulted in a variant of cut-off wall construction that is satisfactory from the aspect of safety, and at the same time is the most economically advantageous.

Keywords: opencast mine, Drmno, lignite, dewatering, groundwater, cut-off wall

1. Uvod

Površinski kop uglja Drmno se nalazi u blizini tri velike reke: Dunava, Velike Morave i Mlave. Granice površinskog kopa Drmno sa severne strane prema reci Dunav, kao i sa zapadne strane dugo nisu bile potvrđene. Međutim u poslednjih 13 godina izvršena su obimna geološka istraživanja, pa je na osnovu njihovih rezultata moguće sagledati i odrediti pomenute granice kopa.

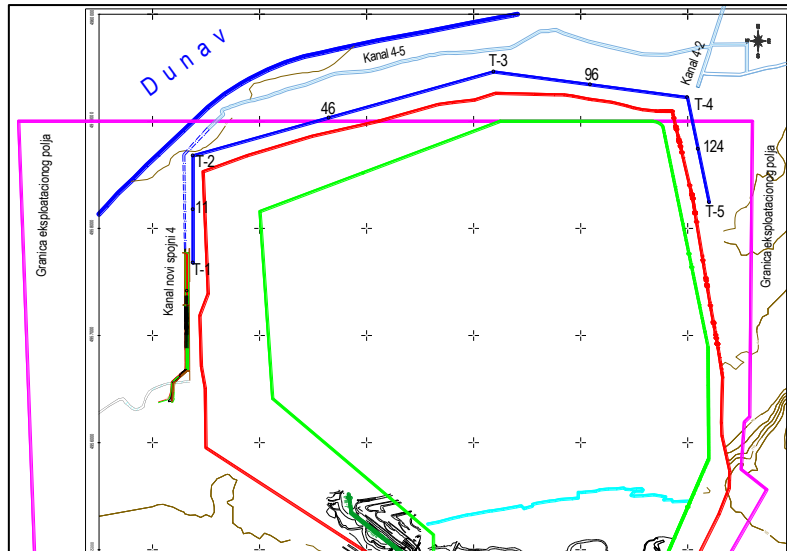
Od konture površinskog kopa zavisi i sama lokacija ekrana. Kao ograničenje na prvom mestu je lokacija zaštitnog kanala 4-5 (na severnoj strani kopa u blizini nasipa Dunava) koji sprovodi prikupljenu vodu do crpne stanice Zavojska.

Nakon sagledavanja i analize svih parametara, izdvojile su se dve moguće konture površinskog kopa Drmno, i to: kontura po postojećoj studiji izvodljivosti (Slika 1) i kontura koja je izabrana na osnovu novih geoloških istraživanja (Slika 2).

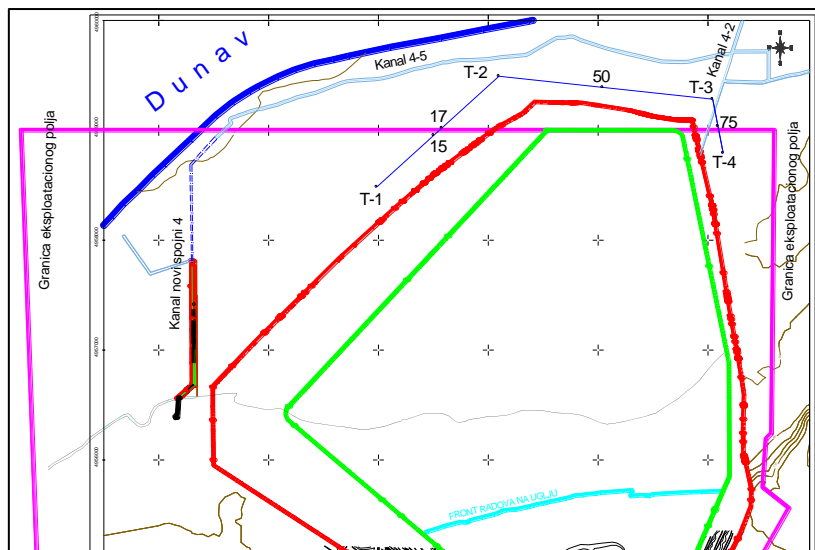
¹ Tomislav Šubaranović, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

² Natalija Pavlović, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

³ Ivan Janković, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet



Slika 1. Kontura površinskog kopa Drmno prema postojećoj studiji izvodljivosti



Slika 2. Kontura površinskog kopa Drmno na osnovu novih geoloških istraživanja

Izabrane lokacije ekrana za obe konture površinskog kopa su izabrane u odnosu na lokaciju zaštitnog kanala 4-5, odnosno ekran mora biti ispred kanala, kao i ispred konture kopa (slike 1 i 2).

Na obe lokacije ekrana moguće su po dve varijante i to:

Lokacija 1 (prema studiji izvodljivosti) - ekran je u dužini od 6.782,4 m i sastoji se iz 4 deonice (Slika 1) i ima dve varijante:

- Varijanta 1-1 - izrađuje se ekran sa uklinjenjem od 1,5 m u II ugljeni sloj ili 2 m u prašinate sedimente gde nema II ugljenog sloja.
- Varijanta 1-2 - izrađuje se ekran sa uklinjenjem od 1,5 m u III ugljeni sloj ili 2 m u prašinate sedimente gde nema III ugljenog sloja.

Lokacija 2 (prema novim geološkim istraživanjima) – ekran je u dužini od 4.457 m i sastoji se iz 3 deonice (Slika 2) i ima dve varijante:

- Varijanta 2-1 - izrađuje se ekran sa uklinjenjem od 1,5 m u II ugljeni sloj ili 2 m u prašinate sedimente gde nema II ugljenog sloja.

- Varijanta 2-2 - izrađuje se ekran sa uklinjenjem od 1,5 m u III ugljeni sloj ili 2 m u prašinate sedimente gde nema III ugljenog sloja.

Za sve varijante ekrana odrađena je i provera stabilnosti na translatorno pomeranje i rotaciju oko nožice ekrana na četiri karakteristična profila. Proračuni bočnih pritisaka za aktivno i pasivno stanje su sprovedeni u programskom paketu GEO 5 (GeoStructural Analysis - Earth Pressures) i odrađeni su prema Rankinu.

Kako uz svaku varijantu ekrana ide i određeni broj drenažnih bunara, odrađeni su i hidrodinamički proračuni koji su realizovani u nestacionarnom režimu strujanja, uzimajući u obzir i zadavajući sve dominantne parametre režima podzemnih voda površinskog kopa Drmno. Proračuni su urađeni u programskom paketu MODFLOW-USG. Za sve varijante potreban kapacitet drenažnih bunara na kraju 2025. godine iznosi 1.200,85 l/s. Početak izrade ekrana po svim varijantama je 2025. godina.

Takođe, urađena je i provera stabilnosti završnih kosina površinskog kopa Drmno u odnosu na varijante ekrana. Analiza stabilnosti završnih kosina izvršena je metodom A. W. Bishopa. Za ove potrebe korišćen je programski paket Slide2 verzija 9.016 kompanije Rocscience Inc. Analiza je izvršena na ukupno dva karakteristična profila za svaku varijantu ekrana.

2. Analiza varijantnih rešenja izrade ekrana

Kod svih varijanti izrađivao bi se ekran sa usekom i zapunom gde bi se koristila kontinualna oprema za kopanje, odnosno radni organ za kopanje bio bi freza. Jedino bi se razlikovao broj mašina za kopanje. Za zapunu bi se koristila bentonitsko-cementna smesa sa koeficijentom filtracije od 10^{-8} cm/s, čvrstoćom na pritisak od 500 do 1.500 kN/m² i modulom elastičnosti od 2.000.000 do 5.000.000 kN/m².

Pod izradom ekrana podrazumevaju se radovi na izradi izvođačke projektne dokumentacije, na izvođenju pomoćnih radova, na izradi montažnog placa i montaži i demontaži opreme, na izradi uvodnice za ekran, kao i sama izrada ekrana (iskop useka i zapunjavanje useka smešom od bentonita i cementa).

2.1. Lokacija 1

Na Lokaciji 1 (Slika 1) moguća je izrada dve varijante ekrana, i to ekran sa uklinjenjem u II ugljeni sloj i ekran sa uklinjenjem u III ugljeni sloj. U obe varijante dužina ekrana bi iznosila 6.782,4 m.

2.1.1. Varijanta 1-1

U ovoj varijanti deo ekrana u dužini od 2.311 m imao bi širinu od 1,0 m, dok bi preostali deo ekrana u dužini od 4.471,4 m imao širinu 0,8 m. Ukupna površina ovog ekrana iznosila bi 229.716,2 m². Na izradi ekrana radile bi 2 mašine. Sa radom u dve smene, vreme potrebno za izradu ovog ekrana iznosilo bi 29 meseci. Troškovi izrade ovog ekrana iznosili bi 100.200.000 €.

Rezultati proračuna stabilnosti ekrana na translatorno pomeranje kreću se u granicama od 3,216 do 4,214, dok se rezultati stabilnosti ekrana na njegovu rotaciju oko nožice kreću u granicama od 3,355 do 4,486. Ovi rezultati ukazuju da su dobijeni faktori sigurnosti na svim presecima zadovoljavajući.

Hidrodinamičkim proračunom je utvrđeno da je u ovoj varijanti na kraju 2030. godine potreban rad 122 drenažna bunara ukupnog kapaciteta 309,3 l/s, na kraju 2035. godine potreban je rad 21 drenažnog bunara sa ukupnim kapacitetom od 24,5 l/s. Na kraju eksploatacije potreban je rad 27 bunara sa ukupnim kapacitetom od 114 l/s. Za izradu bunara po ovoj varijanti potrebno je izdvojiti 53.197.083 €.

U Varijanti 1-1 faktor sigurnosti po profilu P1 iznosi 1.556, što znači da je završna kosina u odnosu na ekran po profilu P1 stabilna. Na profilu P2 faktor sigurnosti iznosi 1,158, što znači da završna kosina nije stabilna.

2.1.2. Varijanta 1-2

U ovoj varijanti deo ekrana u dužini od 3.068,4 m imao bi širinu od 1,2 m, dok bi deo ekrana od 1.715,4

m imao širinu 1,0 m, a deo ekrana od 1.998,6 m imao bi širinu 0,8 m. Ukupna površina ovog ekrana iznosila bi 467.465,4 m². Na izradi bi radile 3 mašine. Sa radom u dve smene vreme potrebno za izradu ovog ekrana iznosilo bi 40 meseci. Troškovi izrade ovog ekrana iznosili bi 205.285.000 €.

Rezultati proračuna stabilnosti ekrana u ovoj varijanti na translatorno pomeranje kreću se u granicama od 2,901 do 4,214, dok se rezultati stabilnosti ekrana na njegovu rotaciju oko nožice kreću u granicama od 3,032 do 4,486. Ovi rezultati ukazuju da su dobijeni faktori sigurnosti na svim presecima zadovoljavajući.

Hidrodinamičkim proračunom je utvrđeno da je u ovoj varijanti od 2030. godine pa do kraja eksploatacije nije potreban ni jedan drenažni bunar. Za izradu bunara po Varijanti 1-2 potrebno je izdvojiti 35.113.000 €.

U Varijanti 1-2 po profilu P1 faktor sigurnosti iznosi 1.490, što znači da je završna kosina u odnosu na ekran po Profilu P1 stabilna. U istoj varijanti po profilu P2 faktor sigurnosti iznosi 1,190, što ukazuje da završna kosina po profilu P2 nije stabilna.

2.2. Lokacija 2

Na Lokaciji 2 (Slika 2) moguća je izrada dve varijante ekrana, i to ekran sa uklinjenjem u II ugljeni sloj i ekran sa uklinjenjem u III ugljeni sloj. U obe varijante dužina ekrana bi iznosila 3.959 m.

2.2.1. Varijanta 2-1

U ovoj varijanti deo ekrana u dužini od 400 m imao bi širinu od 1,0 m, dok bi preostali deo ekrana u dužini od 3.559 m imao širinu 0,8 m. Ukupna površina ovog ekrana iznosila bi 110.275 m². Na izradi bi radile 2 mašine. Sa radom u dve smene vreme potrebno za izradu ovog ekrana iznosilo bi 24 meseci. Troškovi izrade ovog ekrana iznosili bi 51.940.000 €.

Rezultati proračuna stabilnosti ekrana u ovoj varijanti na translatorno pomeranje kreću se u granicama od 3,407 do 4,663, dok se rezultati stabilnosti ekrana na njegovu rotaciju oko nožice kreću u granicama od 3,170 do 4,746. Ovi rezultati ukazuju da su dobijeni faktori sigurnosti na svim presecima zadovoljavajući.

Hidrodinamičkim proračunom je utvrđeno da je u ovoj varijanti na kraju 2030. godine potreban rad 123 drenažna bunara ukupnog kapaciteta 858,9 l/s, dok je na kraju eksploatacije potreban rad 89 bunara sa ukupnim kapacitetom od 651,4 l/s. Za izradu bunara po Varijanti 2-1 potrebno je izdvojiti 51.355.667 €.

U Varijanti 2-1 po profilu P2 faktor sigurnosti iznosi 1.751, što znači da je završna kosina u odnosu na ekran po profilu P2 stabilna. U istoj varijanti po profilu P3 faktor sigurnosti iznosi 1,318, što znači da je završna kosina u odnosu na ekran po profilu P3 stabilna.

2.2.2. Varijanta 2-2

U ovoj varijanti deo ekrana u dužini od 850 m imao bi širinu od 1,2 m, dok bi deo ekrana od 1.650 m imao širinu 1,0 m, a deo ekrana od 1.458 m imao bi širinu 0,8 m. Ukupna površina ovog ekrana iznosila bi 203.822 m². Na izradi bi radile 3 mašine. Sa radom u dve smene vreme potrebno za izradu ovog ekrana iznosilo bi 30 meseci. Troškovi izrade ovog ekrana iznosili bi 93.480.000 €.

Rezultati proračuna stabilnosti ekrana u ovoj varijanti na translatorno pomeranje kreću se u granicama od 3,036 do 4,196, dok se rezultati stabilnosti ekrana na njegovu rotaciju oko nožice kreću u granicama od 3,226 do 4,435. Ovi rezultati ukazuju da su dobijeni faktori sigurnosti na svim presecima zadovoljavajući.

Hidrodinamičkim proračunom je utvrđeno da je u ovoj varijanti na kraju 2030. godine potreban rad 104 drenažna bunara ukupnog kapaciteta 877,4 l/s, dok je na kraju eksploatacije potreban rad 43 bunara sa ukupnim kapacitetom od 392,6 l/s. Za izradu bunara po Varijanti 2-2 potrebno je izdvojiti 45.289.250 €

U Varijanti 2-2 po profilu P2 faktor sigurnosti iznosi 1.753, što znači da je završna kosina u odnosu na ekran po profilu P2 stabilna. U istoj varijanti po profilu P3 faktor sigurnosti iznosi 1.329, što znači da je završna kosina u odnosu na ekran po profilu P3 stabilna.

3. Zaključak

Za analizu varijantnih rešenja izrade ekrana na moguće dve lokacije, izdvojeno je 10 parametara, koji su dati u Tabeli 1.

Tabela 1. Parametri za analizu varijantnih rešenja izrade ekrana

Parametar	Lokacija 1		Lokacija 2	
	Varijanta 1-1	Varijanta 1-2	Varijanta 2-1	Varijanta 2-2
Površina (m ²)	229.716,2	467.465,4	110.275	203.822
Broj mašina na izradi (kom)	2	3	2	3
Vreme izrade (mes)	29	40	24	30
Cena izrade ekrana (€)	100.200.000	205.285.000	51.940.000	93.480.000
Faktor sigurnosti na translatorno kretanje	zadovoljavajući	zadovoljavajući	zadovoljavajući	zadovoljavajući
Faktor sigurnosti na rotaciju oko nožice	zadovoljavajući	zadovoljavajući	zadovoljavajući	zadovoljavajući
Potreban broj bunara na kraju 2030. godine	122	0	123	104
Potreban broj bunara na kraju eksploatacije	27	0	89	43
Cena izrade bunara do kraja eksploatacije (€)	53.197.083	35.113.000	51.355.667	45.289.250
Stabilnost završne kosine u odnosu na ekran	nestabilna	nestabilna	stabilna	stabilna

Na osnovu analize svih datih parametre prikazanih u Tabeli 1, zaključeno je sledeće:

- Lokacija 1, Varijanta 1-1 zadovoljava samo sa aspekta stabilnosti ekrana, odnosno samo sa aspekta dva parametra;
- Lokacija 1, Varijanta 1-2 zadovoljava sa aspekta stabilnosti ekrana i zaštite od prodora podzemnih voda u radnu konturu površinskog kopa, pri čemu je potreban najmanji broj bunara, ali ne zadovoljava sa aspekta stabilnosti završnih kosina u odnosu na ekran i za nju je potrebno najviše novca. Za izradu ovog ekrana je potrebno najmanje vremena. Ova varijanta je povoljna sa aspekta 5 parametara;
- Lokacija 2, Varijanta 2-1 zadovoljava sa aspekta stabilnosti ekrana, zaštite od prodora podzemnih voda (ali je potreban najveći broj bunara) i stabilnosti završnih kosina u odnosu na ekran. Za ovu varijantu je potrebno izdvojiti najmanje novca, i ona je najpovoljnija sa aspekta 7 parametara.
- Lokacija 2, Varijanta 2-2 zadovoljava sa aspekta stabilnosti ekrana, zaštite od prodora podzemnih voda i stabilnosti završnih kosina.

Analizirajući sve parametre (hidrograđevinske, hidrodinamičke, geomehaničke i ekonomske), kao najsigurnije i najisplativije izdvajaju se Varijanta 2-1 i Varijanta 2-2. Obe varijante izrade ekrana su vezane za Lokaciju 2 sa konturom površinskog kopa Drmno na osnovu novih geoloških istraživanja (Slika 2). Kao najpovoljnija varijanta izdvojena je Varijanta 2-1.

Literatura

[1] Šubaranović T., Polomčić D., Pavlović V., Janković I., (2021), Preliminarni sistem odvodnjavanja površinskog kopa Drmno od podzemnih voda, Zbornik radova X Međunarodne konferencije Ugalj 2021, str. 126-131, ISBN: 978-86-83497-28-7, Zlatibor

[2] Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, (2022), Studija izvodljivosti eksploatacije uglja na PK Drmno - Aktualizacija, Beograd

[3] Stevanović D., Ignjatović D., Šubaranić T., Banković M., Marković P., (2022), Komparativna analiza završnih kontura površinskog kopa Drmno, Zbornik radova XV Međunarodne konferencije o površinskoj eksploataciji OMC 2022, str. 172-185, ISBN: 978-86-83497-29-4, Zlatibor



**DEFINISANJE CILJEVA I EFEKTI PRIMENE IZMENJENOG ZAKONODAVNOG
OKVIRA ZAKONA O RUDARSTVU I GEOLOŠKIM ISTRAŽIVANJIMA
REPUBLIKE SRBIJE**

**DEFINING THE GOALS AND EFFECTS OF IMPLEMENTING THE AMENDED
LEGISLATIVE FRAMEWORK OF THE LAW ON MINING AND GEOLOGICAL
SURVEYS OF THE REPUBLIC OF SERBIA**

Tomić A.¹

Apstrakt

Mineralni resursi su značajan faktor ukupnog ekonomskog i društvenog razvoja Republike Srbije. Zakonom o rudarstvu i geološkim istraživanjima nije definisan pojam *rudno bogatstvo*. Za potrebe bavljenja eksploatacijom rudnog bogatstva podrazumeva se eksploatacija mineralnih sirovina. Državna Revizorska Institucija, nakon izrade Izveštaja o svrsishodnosti Efikasnost nadzora nad eksploatacijom rudnog bogatstva za 2016., 2017. i 2018., donela je mere na osnovu kojih je uspostavljen bolji nadzor nad eksploatacijom rudnog bogatstva, bolji prihodi za budžet Republike Srbije, ali i inicijative za unapređenje zakonodavnog procesa. Definisani su sveobuhvatni ciljevi koje je trebalo postići izmenama i dopunama Zakona o rudarstvu i geološkim istraživanjima. Predlog izmena, na osnovu definisanih ciljeva, obuhvata i efekte koje daju promene, kao što su zaštita investicija, otvaranje novih radnih mesta i povećanje rudarske aktivnosti uz odgovorno ponašanje prema ekološkoj i socijalnoj dimenziji tih aktivnosti, tj. najviši standard zaštite zdravlja ljudi i životne sredine. Efekti donošenja ovih zakonskih promena su veća kontrola, ubrzanje procedura, veća uključenost lokalnih samouprava u ove procese i nova uloga Geološkog zavoda. Danas već treba razmišljati o novim rešenjima s obzirom na inovacije i nove trendove u ovoj oblasti. Može se zaključiti da dobro definisani ciljevi izmene zakona, direktno utiču na same procese iz godine u godinu i daju određene pozitivne efekte ali i prate tendencije u svetu.

Ključne reči: *izmena zakona o rudarstvu i geološkim istraživanjima, definisanje ciljeva, efekti primene zakona, ekonomski napredak i zaštita životne sredine*

Abstract

Mineral resources are a significant factor in the overall economic and social development of Serbia. The Law on Mining and Geological Surveys does not define the term "mineral wealth". For the purposes of dealing with the exploitation of mineral wealth, we mean the exploitation of mineral raw materials. The State Audit Institution, after preparing the report on the expediency *Efficiency of supervision over the exploitation of mineral wealth* for 2016, 2017, and 2018, adopted measures on the basis of which better supervision over the exploitation of mineral wealth was established, better revenues for the budget of the Republic of Serbia, but also initiatives to improve the legislative process. Comprehensive goals were defined that should be achieved by amendments to the Law on Mining and Geological Surveys. The proposal for changes, based on the defined goals, also includes the effects of the changes, such as protection of investments, creation of new jobs and increased mining activity with responsible behavior towards the environmental and social dimensions of those activities, i.e., the highest standard of human health and environmental protection. The effects of the adoption of these legal changes are

¹Tomić Aleksandra, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Inovacioni centar, Beograd i Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, aleksandra.tomic@rgf.bg.ac.rs

greater control, acceleration of procedures, greater involvement of local governments in these processes and a new role for the Geological Survey. Today, we need to think about new solutions in view of innovations and new trends in this area. It can be concluded that the well-defined goals of amending the law directly influence the processes themselves from year to year and give certain positive effects, but also follow trends in the world.

Keywords: *amendment of the law on mining and geological research, definition of goals, effects of the application of the law, economic progress and environmental protection*

1. Uvod

Zakonom o rudarstvu i geološkim istraživanjima nije definisan pojam *rudno bogatstvo*. Pod eksploatacijom rudnog bogatstva podrazumeva se eksploatacija mineralnih sirovina. Eksploatacija rezervi mineralnih sirovina obuhvata izvođenje rudarskih radova na pripremi, otvaranju, razradi, otkopavanju, transportu, odlaganju, odvodnjavanju, provetravanju i pripremi mineralnih sirovina kao i izvođenje drugih rudarskih radova u zemlji i na njenoj površini. Eksploatacijom mineralnih sirovina smatra se i izvođenje radova u eksploataciji nafte i prirodnih gasova i radovi na separaciji nafte i gasa, pripremi nafte i gasa za transport i uskladištenje, izdvajanje prirodnih tečnih gasova (etan, propan, butan i prirodni gazolin) u degazolinažama i sličnim postrojenjima na eksploatacionom polju, kao i transport ovih sirovina sabirnim naftovodima i gasovodima kada su u tehnološkoj vezi sa eksploatacionim poljima. Mineralne sirovine podrazumevaju koncentracije mineralnih materija, organskog i neorganskog porekla, koje se pri određenom stepenu razvoja tehnike i tehnologije, mogu ekonomično koristiti, bilo u prirodnom stanju ili nakon odgovarajuće prerade.

Obuhvataju sve vrste uglja i uljanih glinaca (škrljaca), ugljovodonike u tečnom i gasovitom stanju (nafta i gas) i ostale prirodne gasove, radioaktivne mineralne sirovine, metalne mineralne sirovine, uključujući plemenite i retke metale, nemetalne mineralne sirovine, uključujući i sirovine za dobijanje građevinskog materijala, drago i poludrago kamenje, sve vrste soli i sonih voda, podzemne vode iz kojih se dobijaju korisne mineralne sirovine i geotermalna energija, podzemne vode vezane za rudarsku tehnologiju i gasovi koji se sa njima javljaju i tehnogene mineralne sirovine.

Prihodi države od rudnog bogatstva po osnovu naknada za eksploataciju rudnog bogatstva u 2018. godini iznosili su šest milijardi dinara, dok je dug početkom 2019. godine prema budžetu Srbije iznosio 2,6 milijardi dinara, što je utvrdio Izveštaj Državne revizorske institucije (DRI). Povodom predstavljanja izveštaja o Efikasnosti nadzora nad eksploatacijom rudnog bogatstva u periodu od 2016. do 2018. godine, i konstatacije da firme koje se bave tom delatnošću same obračunavaju i dostavljaju podatke o količini eksploatisanih mineralnih sirovina, prihodima od prodaje, kao i da se iznos naknade ne izmiruje prema budžetu Srbije u roku. Nadležni organi nisu u dovoljnoj meri kontrolisali količinu eksploatisanih mineralnih sirovina, prihode od prodatih količina i naknadu za korišćenje, zbog čega postoji rizik da su finansijske obaveze potcunjene, a nad nosiocima eksploatacije nije vršena adekvatna kontrola, što stvara rizik od neracionalnog korišćenja rudnog bogatstva.

Državni revizor je utvrdio da naplata naknada nije efikasna i da se ne primenjuje prinudna naplata, zbog čega postoji mogućnost da se ne ostvare planirani prihodi budžeta. Od 30% do 60% subjekata koji se bave eksploatacijom između 2016. i 2018. godine nisu dostavljali ili nisu redovno dostavljali dokumentaciju o finansijskim obavezama, a Poreska uprava nije vršila kontrolu obračuna i plaćanja naknade za korišćenje mineralnih sirovina. Od 2,6 milijardi dinara duga, kamate čine 1,9 milijardi dinara, a nad 99% tog duga obveznika nadzor obavlja Ministarstvo rudarstva i energetike Srbije. Dug za naknade je bio veći, u ukupnom iznosu od oko 8 milijardi dinara, da 2016. godine RTB Boru nije otpisano potraživanje od oko 5,3 milijarde dinara.

Inače, kako se dodaje, učešće rudarstva u BDP Srbije iznosi 2%. U Srbiji se eksploatacijom rudnog bogatstva bavi oko 200 firmi, a 90% te proizvodnje čine uglj, nafta, gas i bakar. Nadležni organi za nadzor nisu primenjivali kaznene odredbe propisa, osim inspekcije u pojedinim slučajevima. Pokrajinski inspektori su podneli dve prijave za privredni prestup i jednu krivičnu prijavu. Najveće prihode od naknade za eksploataciju rudnog bogatstva u periodu od 2016. do 2018. godine ostvarile su opštine Lajkovac (887 miliona dinara) i grad Kikinda (635 miliona dinara). Mnoge lokalne samouprave

nisu znale da li se na njihovoj teritoriji eksploatišu mineralne sirovine ili ko to radi, uprkos tome što im pripada prihod od naknade. Na osnovu ovih informacija, kao jedan od razloga za izmene zakona se sam nametnuo, što je predstavljalo početak detaljne analize.

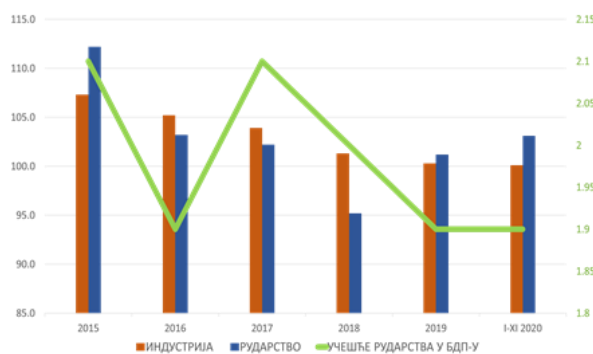
2. Glavni razlozi za izmenu Zakona o rudarstvu i geološkim istraživanjima

Zakon o rudarstvu i geološkim istraživanjima u Srbiji tehnički je izmenjen, ali suštinski je to novi zakon koji je doveo pravni okvir u ovom domenu do internacionalnog standarda, konstatovano je na Lajkovaće panelu održanom u okviru 11. Međunarodne konferencije o mineralnim resursima. Poslednja diskusija ove internacionalne manifestacije održane u Beogradu, bila je na temu novog srpskog Zakona o rudarstvu i geološkim istraživanjima, kako bi se predstavile zakonske regulative koje treba da rudarstvo i ekologiju u našoj zemlji podignu na viši nivo.

Glavni razlozi za izmenu Zakona o rudarstvu i geološkim istraživanjima su:

- donošenje modernog, transparentnog propisa,
- veća sigurnost za investicije, kroz jasno definisane procedure,
- sigurnost i održivost aktivnosti istraživanja i eksploatacije,
- posebna pažnja mora se posvetiti zdravlju, bezbednosti i zaštiti životne sredine,
- obezbediti neophodne baze za proizvodnju u domaćoj industriji,
- održivo korišćenje mineralnog bogatstva Republike Srbije, čija vrednost je procenjena na više milijardi,
- usklađivanje sa domaćim pravnim aktima i pravnim aktima Evropske Unije,
- veći prihodi za državu i kvalitetne investicije u rudarstvo,
- uvođenje e-uprave, tj. e-rudarstva,
- brže, efikasnije i transparentnije procedure,
- poboljšanje položaja i veće učešće Geološkog zavoda Srbije, kao institucije Republike Srbije koja se bavi osnovnim geološkim istraživanjima,
- osnivanje rudarsko-geološke komore i
- značajno povećanje učešća rudarstva u sektoru industrije.

Navedeni razlozi su nastali kao rezultat analiza indeksa industrijske proizvodnje u Srbiji, kao i razlika koja se javlja kod naplate naknade i izdatih odobrenja za istraživanje i eksploataciju od 2015. do 2020. godine.



Slika 1. Indeksi industrijske proizvodnje i rudarstva sa učešćem rudarstva u BDP Republike Srbije za period 2015.-2020. godina

Po strukturi oko 90% učešća u procenjenih oko 2% BDP čine energetske mineralne sirovine (ugalj, nafta i prirodni gas) i bakar kao metalna mineralna sirovina. Ostatak od 10% po strukturi čine proizvodnja olova i cinka i nemetalne mineralne sirovine, uglavnom kameni agregat, pesak i šljunak i sirovine za cementnu industriju. Indeksi proizvodnje prikazani su na Slici 1.

Tabela 1. Uporedni prikaz izdatih odobrenja za istraživanje i eksploataciju i naplaćenih naknada za period od 2015. do 2020. godine

	ВАЖЕЋА ОДОБРЕЊА ЗА ИСТРАЖИВАЊА МИНЕРАЛНИХ СИРОВИНА	НОВА ИЗДАТА ОДОБРЕЊА ЗА ИСТРАЖИВАЊА МИНЕРАЛНИХ СИРОВИНА	НОВА ИЗДАТА ОДОБРЕЊА ЗА ЕКСПЛОАТАЦИЈУ МИНЕРАЛНИХ СИРОВИНА	НАКНАДА ЗА ИСТРАЖИВАЊЕ	НАКНАДА ЗА ЕКСПЛОАТАЦИЈУ
2015.	74	31	13	46.860.740	4.550.748.398
2016.	101	40	13	41.610.391	4.050.905.414
2017.	139	45	14	54.627.427	5.180.265.265
2018.	170	41	24	61.643.254	6.030.851.516
2019.	163	61	28	64.761.085	6.375.799.708
2020.	187	60	34	58.467.467	6.101.615.317

Ministarstva rudarstva i energetike je uradilo uporedni prikaz odnosa odobrenja i naknada za istraživanje i eksploataciju rudnog bogatstva što je prezentovano u PKS 4. februara 2021. godine prilikom javne rasprave oko predloga izmena zakona o rudarstvu (Tabela 1).

3. Ciljevi izmene sveobuhvatnog zakonskog okvira

3.1. Definisane ciljeva

- Stavljanje Geološkog Zavoda Srbije na poziciju koja mu pripada kao instituciji od integriteta iz oblasti geoloških istraživanja (proširenje nadležnosti i veća vidljivost u sektoru rudarstva).
- Pravna sigurnost i predvidivost za investitore (praćenje predmeta elektronskim putem, od podnošenja zahteva do izdavanja rešenja).
- Efikasno upravljanje mineralnim bogatstvima Republike Srbije (povećanje investicija, porast proizvodnje i zaštita strateških mineralnih sirovina).
- Ubrzavanje procedura i E-rudarstvo (uvođenje e-uprave i elektronsko poslovanje; procedura izdavanja odobrenja, koje treba da skрати rokove sa sadašnjih 150 dana u proseku, na 30 dana).
- Povećanje udela u rudarstva u BDP Republike Srbije (povećanje sa 1,9% na 3,5-4% u naredne tri godine).
- Sigurnost započetih investicija i stečenih prava su obezbeđeni. Svi do donošenja novog zakonskog rešenja, započeti projekti, biće završeni, a stečena prava nosioca odobrenja ostaće na snazi prema postojećem zakonu, dok će se nove investicije sprovesti prema predloženim izmenama i dopunama zakona.
- Odgovorno upravljanje mineralnim bogatstvom Republike Srbije ide sledećom procedurom: nakon završenih istraživanja i potvrđivanja rezervi strateških mineralnih sirovina, pravo prečeg ugovaranja sa Vladom Republike Srbije u vezi s budućom eksploatacijom ima ona kompanija koja je vršila istraživanja. Ako kompanija kojim slučajem odustane, tj. ne postigne se sporazum, predviđeno je sprovođenje procedure u skladu sa zakonom koji reguliše oblast javno-privatnog partnerstva i koncesija. Preciznije je definisano korišćenje strateških mineralnih sirovina, i urana, nikla i kobalta, uz veću kontrolu države u ovom procesu u cilju zaštite državnih ekonomskih interesa. Zbog loših primera iz prošlosti, a ne želeći da se dozvoli ugrožavanje životne sredine i zdravlja ljudi, predviđeno je da se eksploatacija urana, nikla i kobalta vrši uz

prethodnu saglasnost Vlade Republike Srbije.

- Obuhvatanjem svih glavnih razloga i ciljeva ovog zakona postiže se sledeće:
- zaštita sigurnosti investicija,
- obezbeđenje dodatne vrednosti rudarskih projekata: korišćenje ruda u srpskoj industriji i
- razvoj rudarskih aktivnosti uz odgovorno ponašanje prema ekološkoj i socijalnoj dimenziji tih aktivnosti - najviši standard zaštite zdravlja ljudi i životne sredine.

3.2. Izmene prema oblastima

Najznačajnije izmene **E-rudarstva** podrazumevaju sledeće:

- Elektronsko podnošenje svih zahteva i razmena prateće dokumentacije u skladu sa zakonom koji uređuje elektronsko poslovanje. Pravilnikom se precizno definiše elektronsko poslovanje u oblasti rudarstva i geologije.
- Podnosiocima zahteva, ali i državnom organu, obezbeđuje se efikasno, transparentno i sigurno postupanje.
- Na ovaj način se višestruko ubrzavaju procedure izdavanja svih dozvola i investitorima omogućava da elektronski prate svoje zahteve.

U punom kapacitetu e-rudarstvo pruža sledeće funkcionalnosti:

Za stranke:

- Dostavljaju zahteve i drugu dokumentaciju u elektronskom obliku.
- Pregled i praćenje podnetih zahteva.
- Pregled dugovanja i propisanih rokova po izdatim odobrenjima.
- Dobijaju odobrenja po podnetim zahtevima u kraćem roku.

Za ministarstvo:

- Rešava zahteve brzo i efikasno.
- Baza svih zahteva na jednom mestu.
- Analiza zahteva, investicija, rokova, itd.
- Praćenje rezultata istraživanja i eksploatacije.
- Rešavanje predmeta van radnog mesta.

Za oblast zaštite životne sredine Republika Srbija ima postavljene ciljeve klimatski neutralnog razvoja do 2050. godine. U važećem zakonskom rešenju definisana je odredba koja se odnosi na geološka istraživanja u cilju izdvajanja povoljnih geoloških formacija i struktura, kao i iscrpljenih ležišta mineralnih sirovina za skladištenje CO₂. U predlogu izmena i dopuna zakona preciznije je definisana prethodno navedena odredba u smislu da se u pogledu uslova i načina kontrole i praćenja koncentracije gasova sa efektom staklene bašte u atmosferi primenjuju propisi iz oblasti zaštite životne sredine, a u pogledu uslova i načina izgradnje postrojenja za skladištenje CO₂ primenjuju se propisi iz oblasti izgradnje objekata.

Licence iz oblasti geologije i rudarstva prema: Starim zakonom predviđeno je izdavanje licenci iz oblasti geologije i rudarstva. Od stupanja na snagu zakona iz 2015. godine do 2021., nije donet pravilnik kojim bi bio uređen sam postupak izdavanja licenci, te samim tim iste nisu postojale, što je dovelo u pitanje kvalitet projekata, samog izvođenja radova, izgradnje i sl. u prethodnom periodu. Prema predlogu u realizovano je osnivanje Rudarsko-geološke komore, koja ima nadležnosti nad izdavanjem licenci. Nadležnosti komore su definisane posebnim pravilnikom koji precizira donošenje licenci, kao i ispunjenost uslova za izdavanje istih.

Komisija za overu resursa i rezervi mineralnih sirovina je bila predviđena zakonom, ali je formiranje radne grupe za overu resursa i rezervi mineralnih sirovina, koja u dosadašnjem radu nije imala pravilnik kojim bi se bliže definisali način rada, vreme održavanja sednica, izbor članova radne grupe i revidenata. Izmenama i dopunama zakona predviđeno je formiranje komisije za overu resursa i rezervi mineralnih sirovina, koja će biti stručno profesionalno telo, a način formiranja i rad iste biće jasno definisani pravilnikom, kao i neophodne stručne kompetencije članova koji mogu da učestvuju u njenom radu, čime će značajno unaprediti njen rad i efikasnost pri odlučivanju.

Proširene su nadležnosti Geološkog zavoda Srbije, čime se stvara preduslov da država u većem kapacitetu i na odgovoran način podrži razvoj Geološkog zavoda Srbije, a koji će sa druge strane obezbediti neophodne informacije, podloge i dr. za realizaciju svih onih strateških ciljeva u oblasti rudarstva. Izmene su predviđene u sledećem:

- Daje mišljenje na studije opravdanosti i generalne projekte za kapitalne objekte od interesa za Republiku Srbiju.
- Daje mišljenja Ministarstvu u vezi s realizacijama odobrenih geoloških istraživanja.
- Ministarstvo ustupa informacije i podatke dobijene primenjenim geološkim istraživanjima Geološkom zavodu Srbije u cilju izrade različitih geoloških karata i unapređenja sveobuhvatnog geološkog znanja teritorije Republike Srbije.
- U okviru odobrenog istražnog ili eksploatacionog polja Geološki zavod Srbije može nesmetano vršiti osnovna geološka istraživanja bez saglasnosti nosioca odobrenja za primenjena geološka istraživanja ili eksploatacionog polja u cilju osnovnih istraživanja za potrebe države.

Definiše se najmanja površina za istraživanje, pored do sada postojeće najveće površine, definisana je kao minimalna površina na kojoj se mogu vršiti geološka istraživanja. Cilj je da se smanji mogućnost da se podnese zahtev za istražni prostor koji nije stručno ni ekonomski opravdan.

Skraćenje trajanja istražnih prava kroz istražne rokove koji će se sa maksimalnih osam godina (3+3+2) smanjiti na pet godina (3+2).

Sprečava se duže zauzimanje prostora od strane lica koje u određenom periodu nije iskazalo ozbiljnu nameru za ostvarivanje investicije u geološka istraživanja i eksploataciju mineralnih sirovina i geoloških resursa.

Sigurnost za investitora i za državu odražava se kroz:

- Bankarsku garanciju.

Podnosilac zahteva za istraživanje dostavlja i bankarsku garanciju za dobro izvršenje posla u roku od 30 dana od dobijanja odobrenja za istraživanje. Na ovaj način investitor iskazuje ozbiljnost u svojim namerama, a takođe država obezbeđuje novčana sredstva u slučaju kada investitor ne ispuni svoje obaveze iz odobrenja za istraživanje.

- Povećane nadležnosti inspekcije.

Geološki i rudarski inspektor ima ovlašćenje da nadležnom pravosudnom organu podnese krivičnu prijavu, prijavu za privredni prestup i zahtev za pokretanje prekršajnog postupka, kao i druge radnje i mere propisane zakonom.

- Sprečavanje eksploatacije bez odobrenja.

Definisan je postupak obračuna vrednosti mineralnih sirovina koje se eksploatišu bez potrebnih odobrenja.

3.2.1. Uzimanje građevinskog materijala za objekte od posebnog značaja

Pri realizaciji projekata izgradnje i rekonstrukcije linijskih infrastrukturnih objekata od posebnog značaja za Republiku Srbiju, organ koji je nadležan za izgradnju tih objekata obaveštava Ministarstvo o uzimanju materijala za izgradnju, bez potrebe za dobijanjem odobrenja za istraživanje i eksploataciju.

Uzimajući u obzir važnost ovih objekata za državu, neophodno je u vrlo kratkom roku obezbediti sirovine za potrebe gradnje istih. Sprovođenje starih procedura istraživanja i eksploatacije građevinskih mineralnih sirovina za ove namene značajno je usporavalo investicije i realizaciju projekata. Novim zakonom su ispunjeni i zakonski propisi za bržu izgradnju infrastrukturnih objekata od posebnog značaja za Republiku Srbiju, čime se doprinosi sveukupnom razvoju države.

3.2.2. Sanacija i rekultivacija degradiranog zemljišta

U slučaju da nosilac odobrenja za izvođenje rudarskih radova uđe u proces likvidacije ili stečaja, sredstva za rekultivaciju degradiranog zemljišta i troškovi sanacije podmiruju se iz stečajne, odnosno likvidacione mase. Praksa je pokazala da u slučaju kada nosilac odobrenja uđe u postupak likvidacije ili stečaja, ne obezbeđuju se neophodna sredstva za rekultivaciju degradiranog zemljišta. Visina ovih sredstava utvrđena je rudarskim projektom. Ovom izmenom Ministarstvo ima mogućnost da se obezbede sredstva koja su neophodna u cilju zaštite životne sredine, i to prijavom iznosa sredstava koji je neophodan za sanaciju i rekultivaciju nadležnom organu. Ova obaveza se utvrđuje unapred pripremljenim planom reorganizacije.

Izmena Zakona o rudarstvu i geološkim istraživanjima usvojen je na sednici koja je održana 20. aprila 2021. godine, gde je Narodna skupština Republike Srbije, u okviru reformi u oblasti rudarstva, usvojila i Zakon o izmenama i dopunama Zakona o rudarstvu i geološkim istraživanjima (*Zakon*) kao sastavni deo seta tzv. *zelenog paketa* Zakona o energetske tranziciji. Do tada je bio na snazi Zakon o rudarstvu i geološkim istraživanjima (Sl. glasnik RS, br. 101/2015 i 95/2018 - dr. zakon) iz 2015. godine.

Zakon o izmenama i dopunama Zakona o rudarstvu i geološkim istraživanjima stupio je na snagu 30. aprila, a najznačajnije izmene se odnose na usklađivanje sa zakonskom regulativom iz oblasti zaštite životne sredine i uvođenje e-poslovanja u ovoj grani privrede. Zakonom je previđeno da se razvrstavanje resursa i rezervi mineralnih sirovina vrši u skladu sa aktuelnom verzijom Panevropskog kodeksa za izveštavanje rezultata istraživanja mineralnih resursa i rezervi.

4. Efekti primene izmena i dopuna zakona

Kada se sagledaju sve promene koje su date novim zakonom, postiže se sledeće:

- ***Veća kontrola i briga Republike Srbije*** nad istraživanjem i eksploatacijom rezervi mineralnih sirovina i geoloških resursa - podzemnih voda i geotermalnih resursa, što se ogleda u boljoj kontroli i naplati naknade kao budžetski prihod.
- ***Ubrzavanje procedure izdavanja odobrenja***, ali i mogućnost da stranke dostavljaju podatke, akte i dokumentaciju elektronskim putem, što predstavlja uštedu novca i vremena strankama (procedura izdavanja odobrenja će se skratiti sa sadašnjih 150 dana u proseku, na 15 dana). Ovo se može videti na osnovi izveštaja međunarodnih institucija o podizanju stepena efikasnosti rada državne uprave i na osnovu priliva SDI, koje se uvećavaju svake godine od 2021. do danas.
- ***Samo ozbiljne kompanije*** sa ozbiljnim kapitalom i interesom mogu postati nosioci odobrenja za primenjena geološka istraživanja i eksploataciju metalnih mineralnih sirovina. Pored svih političkih prepreka, konkurentskih lobiranja, ipak su svetske kompanije u ovoj oblasti prisutne ovde.
- ***Uključivanje jedinica lokalne samouprave*** u sam postupak izdavanja odobrenja za geološka istraživanja pokazuje se kroz izdavanje dozvola od strane organa lokalne samouprave ali i prisutnost i informisanost lokalnog stanovništva na javnim raspravama po pitanju standarda zaštite životne sredine.
- ***Proširivanje nadležnosti Geološkog zavoda*** i mogućnost da mu se ustupi određena geološka dokumentacija, pokazuje se kroz dobijanje adekvatne dokumentacije za odobrenje pri istraživanju.

5. Zaključak

Nezavisnost jedne zemlje, pored svih političkih, ekonomskih, obrazovnih i kulturnih aktivnosti, sa posebnim akcentom na mineralne sirovine, ogleda se da na održiv način ih obezbedite eksploatacijom rudnog bogatstva. Mineralni resursi su značajan faktor ukupnog ekonomskog i društvenog razvoja Srbije. Zakonom o rudarstvu i geološkim istraživanjima nije definisan pojam *rudno bogatstvo*. Za potrebe bavljenja eksploatacijom rudnog bogatstva podrazumeva se eksploatacija mineralnih sirovina. Prema podacima Zavoda za statistiku Republike Srbije iz 2018. godine učešće rudarstva u bruto domaćem proizvodu je u prethodnom periodu od 2015. do 2020. godine iznosilo oko 2,0% BDP.

Državna Revizorska Institucija, nakon izrade Izveštaja o svrsishodnosti za 2016., 2017. i 2018., donela mere i na osnovu koga je uspostavljen bolji nadzor nad eksploatacijom rudnog bogatstva, bolji prihodi za budžet Republike Srbije, ali i inicijative za unapređenje zakonodavnog procesa. To pokazuju uporedne analize za period od 2015. do 2020. godine. Tada su postavljeni sveobuhvatni ciljevi koje je trebalo postići izmenama i dopunama Zakona o rudarstvu i geološkim istraživanjima.

Novim zakonom, pored formiranja Komisije za overu resursa i rezervi mineralnih sirovina, koja treba da obezbedi bolju koordinaciju procesa nadzora i naplatu naknada, povećane su nadležnosti inspekcije, povećane nadležnosti Geološkog Zavoda Srbije, uvodi se praćenje predmeta elektronskim putem, od podnošenja zahteva do izdavanja rešenja, uvodi se e-uprava i elektronsko poslovanje. Ovim se postiže zaštita investicija, otvaranje novih radnih mesta i pospešuje rudarska aktivnost uz odgovorno ponašanje prema ekološkoj i socijalnoj dimenziji tih aktivnosti tj. najviši standard zaštite zdravlja ljudi i životne sredine. U radu su i sagledani efekti donošenja ovih zakonskih promena, kao što su veća kontrola, ubrzanje procedura, veća uključenost lokalnih samouprava u ove procese i nova uloga Geološkog zavoda.

Na osnovu svega navedenog, može se zaključiti da dobro definisani ciljevi izmenjenog zakona, direktno utiču na same procese iz godine u godinu i daje određene efekte ali i prate tendencije u svetu. Efekti usvajanja novog zakonodavnog okvira u 2021. godini pokazani su kroz višestruke benefite za oblast ekonomskog razvoja Srbije, naročito kada je u pitanju rudarstvo i zaštita životne sredine. Ovo ne znači da već danas ne treba razmišljati o novim rešenjima s obzirom na inovacije i nove trendove u ovoj oblasti.

Literatura

- [1] Augustine Avwersuo Chokor: Chemical Assessment of Heavy Metals Contaminated Soil: A Review of Evaluation Indices, American Journal of Environmental Protection, 2019, 7(2):34-40
- [2] Amponsah-Dacosta, F. (2015): A field-scale performance evaluation of erosion control measures for slopes of mine tailings dams. In Presented at the 10th international conference on acid rock drainage and IMWA annual conference. Santiago: Gecamin
- [3] Javna rasprava: Izmene i dopune zakona o rudarstvu i geološkim istraživanjima, Ministarstvo rudarstva i energetike, Privredna Komora Srbije, april 2021.
- [4] Perry S. G., Cimorelli A. J., Paine R. J., Brode R. W., Weil J. C., Venkatram A., Wilson R. B., Lee R. F., Peters W. D., AERMOD: a dispersion model for industrial source applications. Part II: model performance against 17 field study databases Journal of Applied Meteorology, 44 (2005), pp. 694-708
- [5] Projekat: NIP 08M07: Istraživanje novih tehnologija i metoda eksploatacije, opreme i upravljačkih sistema u cilju racionalnog iskorišćenja energetskih mineralnih sirovina
- [6] Ristović I.: Environmental Risks to Air, Water and Soil Due to the Coal Mining Process, Understanding and Managing Threats to the Environment in South Eastern Europe, NATO science for peace and security series (2), pp.251-264. SPRINGERLINK Ljubljana, Slovenia 2011.
- [7] Ristović I.: Energy Mining And Sustainable Development, Proceedings of 3rd International Symposium ENERGY MINING ER 2010, pp. 1-6. FMG, Belgrade Serbia 2010 ISBN:978-86-7352-215-9

[8] DRI: Izveštaj o reviziji svrsishodnosti poslovanja, Efikasnost nadzora nad eksploatacijom rudnog bogatstva, Broj: 400-1108/2019-06/61, Beograd, 2019.

[9] Zakoni:

- Izmene i dopune Zakona o rudarstvu i geološkim istraživanjima (Službeni glasnik RS, br. 69/2021)
- Zakon o rudarstvu i geološkim istraživanjima (Službeni glasnik RS, br. 101/2015)
- Zakon o utvrđivanju nadležnosti Autonomne pokrajine Vojvodine (Sl. glasnik RS br.99/2009 i 67/2012 - odlika US)
- Zakon o republičkim administrativnim taksama
- Zakon o naknadama za korišćenje javnih dobara (Službeni glasnik RS br. 95/18)

[10] Uredbe:

- Uredba o visini naknade za korišćenje nemetaličnih sirovina za dobijanje građevinskog materijala za 2016. godinu
- Uredba o visini i načinu plaćanja naknade za primarna geološka istraživanja i naknade za zadržavanje istražnog prostora za 2016. godinu
- Uredba o načinu plaćanja naknade za korišćenje mineralnih sirovina i geotermalnih resursa za 2016. godinu
- Uredba o načinu plaćanja naknade i uslovima odlaganja plaćanja duga po osnovu naknade za korišćenje mineralnih sirovina i geotermalnih resursa
- Uredba o visini naknade za korišćenje nemetaličnih sirovina za dobijanje građevinskog materijala za 2017. godinu
- Uredba o načinu plaćanja naknade i uslovima odlaganja plaćanja duga po osnovu naknade za korišćenje mineralnih sirovina i geotermalnih resursa
- Uredbu o uslovima i postupku izdavanja dozvole za upravljanje otpadom, kao i kriterijumima, karakterizaciji, klasifikaciji i izveštavanju o rudarskom otpadu
- Uredba o visini naknade za korišćenje nemetaličnih sirovina za dobijanje građevinskog materijala za 2018. godinu



HOW TO TRIGGER THE YOUNGSTERS' INTEREST IN THE RAW MATERIAL SECTOR AND IMPROVING PUBLIC ACCEPTANCE: THE ROLE OF EDUCATION

Armida Torreggiani¹, Alberto Zanelli², Riccardo Lucentini³, Eleonora Polo⁴, Lorenzo Forini⁵

Abstract

Accessible raw materials (RMs), such as rare-earth-elements, lithium, platinum group metals, etc., are essential in technologies, and allow the transition towards a low-carbon economy. A huge rise in demand for critical minerals raises questions about whether this growth can be reliably sustained, and whether the environmental and social consequences associated with mineral production can be properly managed. In fact, the RMs industries are facing increasing skills shortage and mining operations are often limited by poor acceptance by the public.

Without understanding the importance of mineral resources, and how and from these resources are obtained, public approval of mining activities cannot be reached. It is then important that all citizens, and in particular youngsters, gain more knowledge of the importance of metals and minerals for the EU value chains and ecosystems. But how to successfully introduce these knowledges in secondary schools, where these topics are rarely addressed? Some learning paths for pupils from 10 to 18 years old were developed by a European project, Raw Matters Ambassadors @Schools involving 18 EU countries and funded by the European Institute for Innovation and Technology (EIT). The pathways are oriented towards the common goal of becoming Young RM Ambassadors (science communicators) and create a “product” to be communicated outside of their classes. By doing this, students increase their knowledge in the RM-related sectors and develop 21st century learning skills such as creativity, critical thinking, awareness of responsibility, and teamwork.

Keywords: *raw materials, education, public acceptance, schools*

1. Introduction

Our modern way of life is heavily dependent on mining because accessible raw materials (RMs) are fundamental for many technological sectors, i.e., automotive, electronic, and manufacturing industries. In addition, mining activities are a major source of employment for many people around the world and of economic activities in a lot of nations, thus reducing poverty and providing some empowerment. The positive contribution of mining to everyday activities, to manufactured goods consumption, to innovation and green technology is often overlooked as shown by the monitoring of public acceptance in Europe, performed in 2016, showing that the majority perceives mining activities as the most unwanted business in Europe. Thus, a mine may have positive regional economic impacts, but actual and perceived negative environmental impacts may mask the economic benefits generated by the mine, and mining operations can be limited by the low social acceptance, seen as approval, consent, and expectations from the local community and other stakeholders in relation to specific local projects. In fact, environmental impacts have caused concerns in many mining locations, and mining has been associated with a negative image amongst European citizens and worldwide. For mining firms, failure

¹National Research Council of Italy (CNR) – Institute for Organic Synthesis and Photoreactivity (ISOF) – armida.torreggiani@isof.cnr.it

² National Research Council of Italy (CNR) – Institute for Organic Synthesis and Photoreactivity (ISOF)

³ National Research Council of Italy (CNR) – Institute for Organic Synthesis and Photoreactivity (ISOF)

⁴ National Research Council of Italy (CNR) – Institute for Organic Synthesis and Photoreactivity (ISOF)

⁵ External Consultant of ISOF-CNR

to engage local communities increases the socio-political risks associated with mineral projects, giving rise to delays or closures of projects [1].

The lack of social acceptance can be a potential bottleneck in the process of securing EU production of raw materials because mining industry needs the ongoing approval and broad acceptance of the society. Improving the social sustainability of the raw materials sector is therefore a relevant objective, especially in view of gaining trust and acceptability [2].

Information and knowledge play an important role in how mining activities are perceived, because lack of information often increases doubts and concerns about them.

The improvement of public acceptance is a long process that requires years to be achieved, and it is necessary to continue to insist of the strategic importance of raw materials for Europe and its industries, and on the necessity to become more and more independent from imports outside its territories. According to the French investigative journalist Guillaume Pitron [3], besides the obvious economic advantages, bringing back mining in the West would be positive also for the environment, because the actual relocation of our dirty industries has helped keep Western consumers in the dark about the true environmental cost of our lifestyles and has given other nations free rein to extract and process minerals in worse conditions and without the slightest regard for the environment.

The effects of returning mining operations to the West would be positive because we have better laws to protect both the workers and the environment. Furthermore, we will be more determined in containing pollution that we would speed up the transition towards circular economy models, and mitigate the damages of our actual consumers' habits. A virtuous circle that could positively "infect" other countries.

Education and social awareness are, of consequence, mandatory elements in increasing the level of social acceptance for mining operations and the Raw Materials Industry should ensure that society knows, understands and has awareness of the short and long-term benefits of the Metals and Minerals sector within Europe.

2. Key role of education

Acceptance is the key to social change, and acceptance comes through knowledge which can be reached by education. "*Education is the most powerful weapon which you can use to change the world*"¹ and it is a primary agent of societal transformation and a mind-set change in young people, because it has the power to transform individuals and societies. Education shapes the world we live in by developing the knowledge, skills, attitudes, and values on which societies rely, it is the best way of overcoming resistance to changes and to adopt some social innovation, and it can play a key role to increase a thorough understanding of the industrial activities and the new developments.

In education there are formal, non-formal and informal learning processes. Formal education in institutional settings is and will remain the most privileged space for human learning at least for the near future, while recognizing the importance of non-formal and informal learning in shaping the attitude and values of young people. Schools play a strong role in the shaping of society. Some of the most important lessons of human life and living are learned in schools; collaboration and competition, discipline, dealing with diversity, and, of course, the skills of engaging with society at large. Almost everywhere in the world, leading agents of change in all sectors are the result of the formal education system.

But how can the RMs uses and importance be successfully introduced in schools, where they are rarely part of education? Some learning paths for pupils from 10 to 18 years old have been developed by a European project, Raw Matters Ambassadors @Schools, as well as some educational tools aimed to raise the knowledge of youngsters in the RM-value chains. [4-5]

¹ Nelson Mandela

3. Raw MatTERS Ambassadors at Schools

Raw MatTERS Ambassadors at Schools (RM@Schools) is an innovative program to make science education and careers in raw materials attractive for youngsters. It involves partners with expertise in the fields of raw materials and education from 18 EU countries, under the coordination of the Italian National Research Council, and it is funded by the European Institute for Innovation and Technology (EIT), the largest consortium in the RMs sector worldwide [6]. By end of 2022 the European RM@Schools Network was composed by 181 Schools, 30 Companies, 11 Museums, 26 Universities and Research Institutes from 18 EU Countries (Fig. 1).

In the project name, “Raw MatTERS”, “Raw Mat” carries the key message that “raw materials” are the focus, whatever is their origin, and “Tackling European Resources Sustainably (TERS)” underlines that it is necessary to actively face the challenge before us. Sustainability and the efficient use of natural resources are of central importance in everything we do. Achieving this vision really matters to us.

RM@Schools aims to increase among youngsters the understanding of how RMs are needed in modern society, and to make careers in RM-related sectors attractive. [7-8]

Through the cooperation of the three sides of the knowledge triangle – research, education, and business – were set up and developed for middle and high schools’ attractive activities and learning pathways to foster students’ interest in circular economy and RM-related topics.



Figure 1. The RM@Schools European Consortium

The RM@Schools learning pathways cover the entire RMs value chain from exploration & mining to electronic waste management, and use different educational approaches with a modular structure (Lesson, Activity, Study-visit, Create/Communicate, Society) but the core element of the RM@Schools approach is to empower students to communicate with peers and wider society about critical concepts related to raw materials and their use. Students are guided to become Young RM Ambassadors (science communicators) and create a “product” to be communicated outside of the class [7-8]. Science communication can offer successful engagement strategies to reignite interest to science education [9] and student engagement is an important predictor of choosing science-related careers [10]. Moreover, by acting as science communicators, students develop 21st century learning skills [11] such as creativity, critical thinking, perception of responsibility and teamwork, and are engaged in promoting the awareness about the RMs importance among society. Teachers were also trained to become future RM Ambassadors in their schools, and selected groups of students were involved in activities suitable to be proposed during Public Events in collaboration with RM Ambassadors.

Other important activities are the international summer camps with study-visits in some place of interest such as open mines, and local competitions for awarding the best communication. Among them we can recall the very successful two editions (years 2022 and 2023) of the International Summer Camp in

Bosnia & Herzegovina (“Materials without borders”), where the pupils had the chance of learning and understanding the value of mining and processing activities and to visit an open mine (Fig. 2 left). This initiative had a lot of success and is very promising as orienting career action towards youngsters and to increase the general knowledge about the importance of the European mining industry.

In addition, each year, a European Conference with delegates from European schools (students and teachers) is annually organized in Bologna (IT) (Fig. 2 right) and has involved more than 4000 participants in the last two years also thanks to the streaming [12].



Figure 2. (left) International summer camp 2022 in Bosnia & Herzegovina; (right) VII European Conference of RM@Schools, October 25 2022, Bologna (IT) [12].

3.1. Educational Materials

Twenty toolkits and the corresponding supporting materials to encourage an active learning at school have been developed by the consortium’s experts and, in some cases, in collaboration with students who developed the lab activities [13-14]. The toolkits focus on scientific and technological raw materials issues and are designed for students from 10 to 19 years old (see individual description of toolkits for targeted age) (Fig. 3 and Table 1).



Figure 3. Examples of educational toolkits developed for schools of different types: educational games, digital and experimental lab activities.

Table 1. Some toolkits available under the theme Exploration and Mining

Toolkit	Target age (years)	Learning objectives	Content	Subject links
MineralCheck	10-19	Students learn what minerals are and how to identify them, how they move between biotic and abiotic systems.	Lab activity to test different types of minerals and identify them.	Geology; Geography; Chemistry; Magnetism
RockCheck	10-19	Students understand the relationship between minerals and rocks, learn the rock cycle, identify different rock types.	Computer app and detailed information on rocks and rock cycle.	Geology; Geography; Chemistry; Magnetism
RockGame – rock the rock cycle	10-19	Students connect minerals and rocks with raw mineral resources.	Board game: board template and cards provided: need to print out and prepare.	Geology; Geography; Chemistry; Magnetism
RawMatCards	14-19	Students appreciate the role of minerals in modern technologies.	Detailed information for each critical element provided for the teacher in pdf form, printable cards provided.	Geology; Geography; Technology; Economics
RAWsiko – Materials around us	12-19	Students understand the relationship between CRMs and their distribution in the world, and the CRMs' strategic importance for many applications.	Digital game: it provides information on why CRMs are economically and strategically important for the European economy and have a high risk associated with their supply.	Geography; Economics Technology;
RM@Art- Colouring with minerals	8-15	Students learn about the usage of ores and minerals in everyday life and in particular as pigments.	Lab activity to learn about the different properties of minerals and to make their own colors for painting.	Geology; Art

Some lab activities drive students to test directly how it is possible to transform a waste material in new resources by using the curricular knowledge in a simulation of production or recycling processes. For example, acid-base and redox reactions are part of every chemistry curriculum and, if a chemistry laboratory is available, they are practiced on artificial samples. These activities make students feel like doing something useful and practical, that can also be of industrial interest, while giving a hands-on experience in how much work is needed to recover a metal from a device.

4. Conclusions

Education and awareness of the RMs uses can lead to changes in governance as far as the values and the voice of citizens are heard. Thanks to the effort of the European consortium, every year RM@Schools involves a huge number of students and teachers from Schools (in 2022, more than 8000 students were involved in the RM@Schools learning paths) and more than 26.000 persons were reached in two years through the organization of about 120 public events, so contributing to raise the awareness about RMs importance among society.

Therefore, by bringing minerals and mining closer to society, the RM@Schools methodology could be helpful in shifting the common perceptions about RMs from “indifference” to “involvement and responsibility” as well as for ensuring a next generation of well educated, innovative and multidisciplinary experts so much needed in XXI century industry.

Fundings & Acknowledgements

This activity has received funding from the European Institute of Innovation and Technology (EIT), a body of the European Union, under the Horizon Europe Framework Programme, in the framework of the European project RM@Schools4.0 (PA no. 20069 - <http://rmschools.eu/>).

References

- [1] Leigh Browne A., Stehlik D., Buckley A. (2011): Social licenses to operate: for better not for worse; for richer not for poorer? The impacts of unplanned mining closure for “fence line” residential communities in *Local Environment*, 16, 707-725
- [2] Mancini L., Sala, S. (2018): Social Impact Assessment in the Mining Sector: Review and Comparison of Indicators Frameworks in *Resources Policy*, 57, 98-111
- [3] Pitron G., *The Rare Metals War: the dark side of clean energy and digital technologies*, Scribe Publications, Melbourne, London, 2021
- [4] RM@Schools, <http://rmschools.eu/>
- [5] Torreggiani A., Zanelli A., Canino M., Sotgiu G., Benvenuti E., Forini L., Aluigi A., Polo E., Lapinska-Viola R., Degli Esposti, A. (2020): RM@Schools: Fostering Students' Interest in Raw Materials and a Sustainable Society in 10th International Conference The Future of Education Virtual Edition, Firenze (Italy), 446 – 452
- [6] <https://eit.europa.eu/>
- [7] Torreggiani A., Zanelli A., Degli Esposti, A, Polo E., Dambruoso, P., Lapinska-Viola R., Forsberg K., Benvenuti, E. (2021): How to Prepare Future Generations for the Challenges in the Raw Materials. In *Rare Metal Technology*, Azimi G. et al., (eds.), The Minerals, Metals & Materials Series, Springer Nature Switzerland, Basel (Switzerland), 277-287.
- [8] Canino M., Zanelli A., Seri M., Degli Esposti A, Torreggiani A. (2021): Young raw matters ambassadors: high school students act as science communicators, in *Frontiers in Education* 6, 2021, 690294 DOI: 10.3390/biom11081194
- [9] Baram-Tsabari A., Osborne J. (2015): Bridging science education and science communication research in *Journal of Research in Science Teaching*, 52, 135–144
- [10] Shirazi, S. (2017): Student experience of school science in *International Journal of Science Education* 39 (14), pp. 1891–1912]
- [11] Entrepreneurial Skills Pass, <https://www.wko.at/site/bildungspolitik/entrepreneurial-skills-pass.pdf>
- [12] <https://www.youtube.com/watch?v=5Ik1gx7NkcA>
- [13] Torreggiani A., Zanelli A., Canino, M., Degli Esposti A., Benvenuti E., Lapinska-Viola, R., Forini L., Turinetto, M. (2021): RAWsiko-Materials around us: A Digital Serious Game to Teach about Raw Materials' Importance for the Transition towards a Low-Carbon Economy, in 10th International Conference New Perspectives in Science Education 2021, 322-328, DOI 10.26352/F318_2384-9509
- [14] Francioso O., Zanelli A., Murgia M., Forini L., Torreggiani A. (2021): Learning Circular Economy by Hands-on Experiments: A Case-Study on Phosphorus Recovering from Wastewater at School, in *The Future of Education* 11th Edition, pp 312-317 DOI 10.26352/F701_2384-9509.



PRELIMINARNO RAZMATRANJE MINERALNE PROIZVODNJE KAO OSNOVE MINERALNE EKONOMIJE

PRELIMINARY CONSIDERATION OF MINERAL PRODUCTION AS THE BASIS OF THE MINERAL ECONOMY

Tošović R.¹

Apstrakt

Mineralnu proizvodnju, kao oblik materijalne proizvodnje odlikuje niz specifičnosti, koje se odražavaju na obeležja proizvodnje u odgovarajućim segmentima proizvodnje, raspodele, razmene i potrošnje odgovarajućih mineralnih proizvoda. U ekonomiji zemlje u savremenim uslovima tehničko-tehnološkog razvoja posebno se ispoljava ekonomski značaj bazične mineralne proizvodnje. Od nje materijalno-procesno zavisi širok spektar privrednih aktivnosti u brojnim pratećim privrednim granama. Osim strukture mineralne proizvodnje posebno je značajno definisanje potrebnog proizvodnog kapaciteta, odnosno obima proizvodnje, koji se u ekonomskim razmatranjima posebno analizira kroz ukupnu, marginalnu i prosečnu proizvodnju. U uslovima delovanja tržišnih, ali i ekoloških kriterijuma u mineralnoj proizvodnji, neophodno je dodatno razmatranje alternativnih proizvodnih mogućnosti, vezanih za jednu ili više mineralnih sirovina u mineralnim ležištima, koja se eksploatišu. U konačnom određivanju efekata proizvodne funkcije vrši se razmatranje ekonomskih kriterijuma uspešnosti mineralne proizvodnje i doprinosa funkcionisanju mineralne ekonomije.

Ključne reči: mineralna proizvodnja, mineralne rezerve, mineralni sektor, mineralna ekonomija

Abstract

Mineral production, as a form of material production, is characterized by a number of specificities, which are reflected in the characteristics of production in the corresponding segments of production, distribution, exchange and consumption of the corresponding mineral products. In the country's economy, in the modern conditions of technical-technological development, the economic importance of basic mineral production is particularly evident. A wide range of economic activities in numerous accompanying economic branches depend on it materially and processively. Apart from the structure of mineral production, the definition of the necessary production capacity, that is, the volume of production, which is analyzed in economic considerations through total, marginal and average production, is especially important. Under the conditions of market and ecological criteria in mineral production, it is necessary to additionally consider alternative production possibilities, related to one or more mineral raw materials in mineral deposits that are being exploited. In the final determination of the effects of the production function, the economic criteria of the success of mineral production and the contribution to the functioning of the mineral economy are considered.

Keywords: mineral production, mineral reserves, mineral sector, mineral economy

1. Uvod

Mineralna ekonomija, kao granska ekonomija, spada u grupu dinamičnih disciplina, koja pruža objašnjenja mehanizma funkcionisanja dela ekonomije, koji posebno obuhvata mineralne sirovine, a

¹Prof. dr Radule Tošović, dipl. inž. geol, dipl. ecc., Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet, Departman Ekonomske geologije, Beograd, Đušina br. 7, tel. (011) 3219-253, e-mail: toshovic@yahoo.com, tosovic@rgf.bg.ac.rs

ujedno omogućuje polazne preporuke za način upravljanja ovim ekonomski, privredno i stratejski veoma značajnim delom privrednih aktivnosti [1]. U skladu sa opštim ekonomskim pristupom [2, 3, 4, 5] mineralna ekonomija se bavi razotkrivanjem, analizom i produblivanjem saznanja o ekonomskim zakonitostima i pojavama u mineralnoj proizvodnji, naročito sa stanovišta analize odnosa proizvodnje, odnosno racionalnosti upotrebe ograničenih mineralnih resursa i neograničenih ljudskih potreba za određenim vrstama mineralnih proizvoda. Mineralna ekonomija pokriva veliki broj različitih ekonomskih pitanja mineralnog sektora, a suštinskim razmatranjima je okrenuta razumevanju kako postojeće društvo u aktuelnim tržišnim uslovima locira svoje mineralne resurse uz proučavanje implikacija dovoljnosti ili oskudnosti tih mineralnih resursa [1].

U aktuelnim uslovima izučavanje savremene mineralne ekonomije zahteva, shodno opštem ekonomskom pristupu [2, 3, 6, 7] utvrđivanje opštih ekonomskih zavisnosti, svojstva, načina i činilaca specifične mineralne proizvodnje. Mineralna ekonomija kao i svaka ekonomija je strukturirana i dinamička razvojna kategorija, proces i sistem, sa određenim konstantama kao zakonitostima, u koje shodno opštem ekonomskom pristupu [8, 9, 10] spadaju: (a) ekonomija rada; (b) proizvodnja nove mineralne vrednosti; i (c) podela rada u mineralnoj proizvodnji, itd., ali i promenljivim veličinama: u raznovrsnoj mineralnoj proizvodnji, usmeravanju akumulacije, nameni mineralnog proizvoda itd.

Mineralne resurse, shodno postavkama mineralne ekonomije i ekonomske geologije, karakteriše ograničenost, neobnovljivost i iscrpivost [1, 11, 12]. To su ključne karakteristike od kojih u značajnoj meri zavise proizvodni elementi mineralne proizvodnje u mineralnom sektoru zemlje. Okolnost limitiranosti mineralnih resursa nalaže neophodnost njihovog potpunog geološkog istraživanja, maksimalnog iskorišćenja tokom eksploatacije i procesa pripreme i prerade otkopane mineralne sirovine, radi dobijanja maksimalno kvalitetnog konačnog tržišnog mineralnog proizvoda. Kao konačni tržišni proizvod rudnika, u mineralnoj proizvodnji može se pojaviti: (a) rovna ruda; (b) pripremljena mineralna sirovina; (c) koncentrat mineralne sirovine; i (d) tehnološki dobijena čista mineralna komponenta za dalju primenu. Mineralna proizvodnja u mineralnom sektoru ima tri procesno različita i odvojena dela, i to: (a) geološki deo, sa geološkim istraživanjima, pronalaženjem i definisanjem rudnih rezervi i mineralnih ležišta; (b) rudarski deo sa eksploatacijom mineralne sirovine iz rudnih tela; i (c) tehnološki deo sa odgovarajućim tehnološkim tretiranjem mineralne sirovine.

S obzirom na sve specifičnosti procesa mineralne proizvodnje u mineralnoj ekonomiji neophodno je generalno i detaljno sagledavanje proizvodnih elemenata koji utiču na efikasnost i efektivnost dobijanja mineralnih proizvoda i njihove praktične primene, kako u različitim privrednim granama, tako i za neposredne potrebe različitih individualnih korisnika.

Problematika tretirana ovim radom jednim delom polazi od osnovnih postavki ekonomije [2-10, 13, 14], mineralne ekonomije [1, 15-17], a drugim delom predstavlja rezultat autorskih studioznih analitičko-sintetičkih, induktivno-deduktivnih i sistematičnih studijskih proučavanja u domenu ekonomske ocene, poslovnog odlučivanja i mineralne ekonomije [18-23]. Osnovni cilj ovog rada je da generalno ukaže na posebno mesto, ulogu i značaj mineralne proizvodnje u sklopu uspešnog rada i funkcionisanja mineralne ekonomije, kao i neophodnog obezbeđenja privredi potrebnih mineralnih sirovina za privredni i ekonomski razvoj zemlje.

2. Osnovna obeležja mineralne proizvodnje

Ostvarivanje mineralne proizvodnje metaličnih, nemetaličnih i energetske mineralnih sirovina u mineralnoj ekonomiji, prate obeležja mineralne proizvodnje u koje, u skladu sa opštim ekonomskim pristupom [1, 2, 3] spadaju: (a) proizvodnja; (b) raspodela; (c) razmena; i (d) potrošnja.

Mineralna proizvodnja predstavlja oblik materijalne proizvodnje, kroz koji se, delovanjem čoveka ostvaruje privređivanje, čime se prirodnim mineralnim resursima, koji se nalaze *in situ* u rudnom telu u mineralnom ležištu, daje odgovarajući fizički oblik, sadržaj i karakteristike, takve da konačni mineralni proizvod može zadovoljiti specifične tehničko-tehnološke, kvalitativne, industrijske, estetske i druge zahteve potrošnje.

Mineralni resursi predstavljaju ključne proizvodne resurse mineralne proizvodnje, jer svojom celinom

ili pojedinim delovima ulaze u konačni tržišni mineralni proizvod. Njihovo oblikovanje odnosno odgovarajuća promena u geološko-rudarsko-tehnološkom proizvodnom procesu vrši se pod delovanjem proizvodnih elemenata, u koje spadaju; (a) radna snaga; i (b) sredstva za proizvodnju. Posebna specifičnost mineralnog sektora je u sredstvima za proizvodnju, koja obuhvataju specifična osnovna sredstva, odnosno odgovarajuće mašine, alate i prateću opremu, kao i obrtna sredstva, među kojima su najznačajnije rudne rezerve mineralne sirovine, odnosno mineralno ležište. I međuproizvodi kao što je koncentrat mineralne sirovine, takođe predstavljaju obrtna sredstva, dok mašine na kojima se vrši koncentracija i dobijanje koncentrata predstavljaju osnovna sredstva preduzeća. Pri tome mineralna proizvodnja, s obzirom na karakteristike proizvodnog procesa, ima društveni karakter, vezan za mineralne resurse i mineralne rezerve, kao opšte dobro, kojim država upravlja kao vlasnik istih.

Rezultat mineralne proizvodnje je određena količina mineralnih proizvoda, prvenstveno mineralnih sirovina, koje se po tržišnim principima i kupo-prodajnim uslovima raspodeljuju na privredne ili individualne korisnike. Ovo raspodeljivanje rezultata mineralne proizvodnje u društvu kao najširem sistemu predstavlja raspodelu kao obeležje mineralne proizvodnje. Raspodela, u skladu sa opštim ekonomskim pristupom [1, 2, 3, 4, 5] pokazuje u kojoj srazmeri pojedinac ili grupa ljudi uzima učešće i udeo u proizvedenim mineralnim proizvodima i dobrima. U ekonomskoj analizi i razmatranju veličina i oblik raspodele direktno zavise od obima mineralne proizvodnje i oblika svojine nad proizvedenim mineralnim proizvodima.

Shodno opštem pristupu u ekonomiji [2, 3, 4, 6, 7, 9] osnovni kriterijumi raspodele su: (a) raspodela prema obliku svojine; (b) raspodela prema funkciji i društvenom položaju pojedinaca i društvenih grupa ljudi; i (c) raspodela prema utrošenom radu. Upravo putem raspodele različita preduzeća dolaze do potrebnih mineralnih proizvoda za svoje proizvodne procese, a pojedinci i društvene klase do proizvoda, koji su izgrađeni od mineralnih sirovina ili mineralnih komponenata. Raspodelom se direktno određuju razmere proizvodne, odnosno investicione, opšte ili zajedničke i lične potrošnje mineralnih proizvoda. Od toga kako su raspoređeni mineralni resursi i mineralni proizvodi i između koga su raspoređeni, direktno zavisi i kako će mineralna proizvodnja biti organizovana, u kom obimu, u čiju korist, kojih korisnika, koje klase ili grupe ljudi.

Razmena, kao obeležje mineralne proizvodnje, shodno opštem pristupu u ekonomiji [2, 3, 5, 6, 7] predstavlja zamenu jednog proizvoda za druge proizvode, što znači zamenu mineralnih proizvoda za druge proizvode. U razmeni mineralnih proizvoda dominantno je prisutna posredna razmena kroz robni promet, kojim se mineralni proizvod prodaje za novac, a njime se potom vrši kupovina drugog proizvoda. U praksi savremene mineralne ekonomije podređeno, odnosno veoma retko, vrši se neposredna razmena trampom, kojom se mineralni proizvod menja za drugi proizvod, a kao takva je bila naročito prisutna u početnim periodima razvoja trgovine, tržišta i mineralne ekonomije.

Razmena mineralnih proizvoda sastoji se iz dva karakteristična akta, i to: (a) akta prodaje; i (b) akta kupovine. Kod neposredne razmene, odnosno trampe dva navedena akta se prostorno i vremenski međusobno podudaraju. Kod drugog, odnosno novčanog oblika razmene akt prodaje i akt kupovine su razdvojeni i ne moraju se ni prostorno ni vremenski podudarati. U tom slučaju jedan subjekat se može pojaviti ili samo kao prodavac ili samo kao kupac.

U razmeni na složenom tržištu mineralnih proizvoda kroz mnogobrojne veze pojedinačnih subjekata razmene, koje se uspostavljaju na tržištu, mogu se izdvojiti tri velike grupe tokova: (a) odnosi razmene između proizvodnih jedinica povodom mineralnih proizvoda; (b) odnosi razmene između proizvodnih jedinica i potrošačkih jedinica povodom mineralnih proizvoda kao sredstava za potrošnju; i (c) odnosi razmene između proizvodnih jedinica i neposrednih proizvođača mineralnih proizvoda.

Potrošnja, kao obeležje mineralne proizvodnje, predstavlja proces trošenja mineralnih proizvoda radi zadovoljenja proizvodnih ili ljudskih potreba, zbog čega se potrošnja smatra krajnjim ciljem mineralne proizvodnje. U suštini ekonomski i proizvodno posmatrano svaka mineralna proizvodnja se ujedno može smatrati potrošnjom, a svaka potrošnja se ujedno može smatrati i proizvodnjom, bez obzira da li je u pitanju neproizvodna ili proizvodna potrošnja. Navedeni uzročno-posledični niz potrošnja-mineralna proizvodnja, daje potrebne elemente za odgovor na pitanje, koje mineralne proizvode i koliko treba proizvoditi.

Iz međusobne povezanosti i prateće ekonomske analize krajnjeg obeležja, odnosno potrošnje i početnog obeležja, odnosno proizvodnje, proistekla je i teorija potrošačkog suvereniteta [2, 3, 4, 5], koja svoje osnovno uporište ima u subjektivnoj teoriji vrednosti. Prema ovoj teoriji potrošač zauzima centralno mesto, jer potrošač svojom platežnom sposobnošću utiče na mineralnu proizvodnju, tako da proizvođači povećavaju mineralnu proizvodnju proizvoda koji se traže, a smanjuju mineralnu proizvodnju proizvoda koji se ne traže. Na taj način se potrošač može smatrati suverenom, koji utiče na tokove proizvodnje [4, 13], jer samo u slučaju potrošnje mineralnih proizvoda proizvođač proizvedenu robu može prodati i ostvariti zaradu, odnosno profit.

U mineralnoj ekonomiji, koja obuhvata mineralnu proizvodnju, prisutna je tzv. proizvodna potrošnja, za razliku od tzv. neproizvodne potrošnje. Proizvodna potrošnja podrazumeva korišćenje upotrebnih vrednosti mineralnih proizvoda za proizvodnju novih upotrebnih vrednosti, koje će nadalje služiti za dalju proizvodnju ili za ličnu potrošnju. Na primer, trošenje proizvedene rude gvožđa magnetitsko-hematitskog tipa, vrši se za proizvodnju čelika, koji se nadalje koristi u proizvodnji različitih mašina ili potrošnja proizvedenog uglja za dobijanje električne energije, koja se dalje koristi za potrebe proizvodnih procesa privrednih subjekata ili lične potrebe individualnih korisnika u domaćinstvima.

Pri tome mineralna potrošnja dvostruko uslovljava mineralnu proizvodnju, i to tako: (a) što proizvod tek u potrošnji upotrebom postaje stvarni proizvod; i (b) time što mineralna potrošnja stvara potrebu nove mineralne proizvodnje. Ekonomski posmatrano mineralna potrošnja predstavlja pokretački razlog, koji pokreće mineralnu proizvodnju, kao njenu bitnu pretpostavku.

3. Proizvodni aspekti mineralne proizvodnje

Mineralna proizvodnja se ostvaruje u okviru proizvodnih procesa u kojima preduzeća koriste radnu snagu i opremu na osnovu koje se eksploatiše, priprema i prerađuje mineralna sirovina, uz stvaranje mineralnih proizvoda, koji služe ličnoj i investicionoj potrošnji. Rad, kapital i mineralni resursi predstavljaju ključne faktore ulaganja ili faktore mineralnog proizvodnog procesa.

Mineralna proizvodnja u savremenim rudnicima, kao objektima eksploatacije mineralnih sirovina, predstavlja tehnološki složen proces, kroz čije usavršavanje nastaju ekonomske okolnosti da se iste količine mineralnih proizvoda proizvode uz manje materijalne i radne utroške, odnosno povećava se produktivnost rada i proizvodne opreme.

Pored činjenice da se različiti proizvodni procesi materijalno, tehnološki i organizaciono razlikuju, postoje neke zajedničke karakteristike svih proizvodnih procesa [14], koje se odnose i na mineralnu proizvodnju u mineralnoj ekonomiji, i to: (a) granični obim proizvodnje; (b) više vrsta proizvodnih ulaganja; i (c) vreme zamene faktora mineralne proizvodnje.

U mineralnoj proizvodnji postoji granica, preko koje nije moguće povećati obim mineralne proizvodnje neograničenim povećavanjem jedne vrste ulaganja, dok se sva ostala proizvodna ulaganja ne menjaju. Rudnik, kao proizvodni objekat, sa datom mašinskom opremom i proizvodnim prostorom ne može neograničeno povećavati broj zaposlenih radnika da bi se uvećao obim mineralne proizvodnje. U određenom trenutku prekomerno angažovani radnici će smetati produktivno zaposlenim radnicima, što će pre izazvati pad mineralne proizvodnje, umesto očekivanja njenog rasta.

U mineralnoj proizvodnji jedna vrsta proizvodnih ulaganja ponekada mora da se koristi uz neka druga proizvodna ulaganja. Ipak, shodno opštem ekonomskom pristupu [2, 3, 4, 5, 14] postoji mogućnost supstitucije između proizvodnih ulaganja, tako da se zadržava isti obim mineralne proizvodnje, a više se koristi jedan faktor na račun smanjene upotrebe nekog drugog faktora. U određenim okolnostima može postojati mogućnost proizvodne supstitucije između proizvodne opreme i rada. Modernizacija proizvodnje obično znači da mašine za eksploataciju mineralnih sirovina zamenjuju radnike u mnogim vrstama mineralne proizvodnje.

U mineralnoj proizvodnji razmatranje faktora vremena, u okviru koga je praktično moguće u dugom roku izvršiti zamenu jednog faktora proizvodnje sa drugim faktorom proizvodnje, izdvaja se podela vremenskog faktora na: (a) kratak rok; i (b) dugi rok. Na kratak vremenski rok proizvodna oprema u mineralnoj proizvodnji je data i nepromenljiva, tako da su moguće promene samo količine zaposlenog

rada. Na dugi vremenski rok, kroz investicionu aktivnost, preduzeća može se menjati i proizvodna oprema i mogu se usvajati nove kombinacije svih proizvodnih ulaganja, koja su značajna za mineralnu proizvodnju.

Ekonomska analiza za kratki vremenski rok pokazuje da je jedan faktor mineralne proizvodnje fiksna, a drugi varijabilan. Rad prvenstveno predstavlja varijabilni faktor proizvodnje i časovi rada se mogu menjati povećavanjem ili smanjivanjem broja zaposlenih radnika u preduzeću mineralnog sektora. Na drugoj strani eksploatacioni prostor mineralnih rezervi se ne može menjati na kratak rok. Za rad kao jedini varijabilni faktor mineralne proizvodnje, značajna je njegova; (a) prosečna; i (b) marginalna produktivnost.

Prosečna produktivnost faktora mineralne proizvodnje predstavlja odnos između ukupnog obima mineralne proizvodnje i količine upotrebljenog faktora proizvodnje. Analogno tome prosečan proizvod se dobija iz količnika ukupnog obima mineralne proizvodnje i ukupnih časova rada. S druge strane se pojavljuje marginalni mineralni proizvod, koji pokazuje promenu u ukupnom obimu proizvodnje koja, shodno opštem pristupu [2, 3, 4, 5] nastaje zbog porasta zaposlenosti za jedan radni sat. Navedeno znači da marginalni proizvod dovodi u vezu dve promene: (a) promenu u obimu mineralne proizvodnje; i (b) promenu u obimu zaposlenosti. Njihov međusobni odnos pokazuje marginalnu produktivnost rada, kao količnik povećanja obima proizvodnje i povećanja časova rada.

4. Mineralna proizvodna funkcija u mineralnoj ekonomiji

U procesu mineralne proizvodnje preduzeća pretvaraju odgovarajuće proizvodne inpute u mineralne outpute. Inputi predstavljaju faktore proizvodnje, koji su sve ono što preduzeće mineralnog sektora mora da upotrebi u procesu mineralne proizvodnje. Pri tome su posebno specifične i značajne za predmetnu mineralnu proizvodnju mineralne rezerve metaličnih, nemetaličnih i energetskih mineralnih sirovina, koje je neophodno pronaći, istražiti i kvalitativno i kvantitativno definisati, uz ekonomsku ocenu njihove bilansnosti, odnosno komercijalne isplativosti za valorizaciju [1, 12, 19].

Shodno opštem pristupu u ekonomiji [2, 3, 5, 6 7], odnos ukupne mineralne proizvodnje i inputa je mineralna proizvodna funkcija. Mineralna proizvodna funkcija pokazuje maksimalnu količinu mineralnih proizvoda, odnosno mineralnih outputa, koju preduzeće mineralnog sektora može da proizvede uz datu kombinaciju inputa. U slučaju da su inputi rad L i kapital K , proizvodna funkcija se može prikazati funkcionalnom relacijom $Q = F(K, L)$, koja povezuje proizvodnju sa količinom inputa, odnosno kapitala i rada.

Mineralna proizvodna funkcija omogućava različite kombinacije inputa i različite obime mineralnih outputa. Tako bi mineralna proizvodna funkcija prikazana prethodnom relacijom, mogla predstavljati korišćenje više kapitala i manje radne snage ili obrnuto. Na primer mineralna sirovina se može proizvoditi radno intenzivnim metodama, korišćenjem uglavnom radne snage, ili kapitalno-intenzivnim metodama, korišćenjem mašina i malog broja radnika. U većini slučajeva u zemljama sa razvijenim mineralnim ekonomijama mineralna proizvodnja se dominantno odvija mehanizovanim procesom eksploatacije uz minimalno učešće radne snage. U pojedinim slučajevima je prisutan potpuno automatizovan proces eksploatacije mineralne sirovine sa pratećom nadzorno-kontrolnom ulogom radne snage. Retki su slučajevi eksploatacije mineralnih sirovina sa dominiranjem uloge živog rada u mineralnoj proizvodnji i odnosi se samo na pojedine nerazvijene zemlje, i to po jednostavnijim i za eksploataciju lakšim mineralnim sirovinama. U tom slučaju obim mineralne proizvodnje je veoma mali, za razliku od mehanizovane varijante eksploatacije mineralnih sirovina, gde se postižu veoma veliki proizvodni kapaciteti masovne eksploatacije mineralnih sirovina.

Mineralna proizvodna funkcija važi za određenu tehnologiju tj. za određeni nivo znanja o metodama koje se mogu koristiti u procesu eksploatacije mineralne sirovine i neposredne mineralne proizvodnje. S obzirom na stalna tehnološka usavršavanja, menja se i unapređuje mineralna proizvodna funkcija, kako sa stanovišta sigurnosti eksploatacije, tako i kapaciteta i ekonomskih efekata.

U razmatranju mineralne proizvodne funkcije u mineralnoj ekonomiji se može analizirati slučaj mineralne proizvodne funkcije Q za koju je kapital fiksna, a rad varijabilan faktor. U pitanju je kratkoročna analiza, u kojoj je faktor kapitala fiksna, u kom slučaju preduzeće može da poveća svoju

mineralnu proizvodnju jedino povećanjem inputa rada. U mineralnoj ekonomiji u ovom analitičkom delu postoje ograničenja, jer se potreban inputni rad odnosi na rad pri geološkim istraživanjima i rad na definisanju optimalnog sistema i metode eksploatacije mineralne sirovine, kao i optimalne tehnologije pripreme i prerade, koje odgovarajući projekti predviđaju. Angažovanje većeg broja radnika u ovom delu poslovnih aktivnosti neće dati odgovarajuće rezultate u pogledu povećanja mineralne proizvodnje.

Doprinos rada u mineralnom proizvodnom procesu može se iskazati pomoću: (a) prosečnog; i (b) graničnog doprinosa. Prosečni mineralni proizvod rada (AMPL), shodno opštem ekonomskom pristupu [2, 3, 4, 9, 10], određuje se deljenjem ukupne mineralne proizvodnje Q sa ukupnim inputom rada L . Prosečni mineralni proizvod rada, tj. količina mineralne proizvodnje koju svaki radnik proizvede u proseku, predstavlja meru produktivnosti radne snage.

Granični mineralni proizvod rada (MMPL) predstavlja dodatnu količinu mineralne proizvodnje koja nastaje dodavanjem dodatne jedinice inputa rada. Granični mineralni proizvod rada zavisi od količine angažovanog kapitala. Ako input kapitala poraste, granični mineralni proizvod će verovatno porasti, jer će dodatni radnici biti produktivniji kad im je na raspolaganju više kapitalnih dobara.

Granični mineralni proizvod je pozitivan sve dok proizvodnja raste, ali postaje negativan kada se proizvodnja smanjuje. Kriva graničnog mineralnog proizvoda seče vodoravnu osu u tački gde je ukupan mineralni proizvod maksimalan. Tada je granični mineralni proizvod rada jednak nuli, jer zapošljavanje dodatnog radnika ne može da poveća obim proizvodnje. Posle toga zapošljavanje dodatnog radnika dovodi do usporavanja i ometanja rada drugih i do smanjivanja obima mineralne proizvodnje.

U razmatranju međusobnog odnosa prosečnog i graničnog mineralnog proizvoda pokazuje se da je granični mineralni proizvod veći od prosečnog i prosečni mineralni proizvod raste. Sve do okolnosti da je mineralna proizvodnja dodatnog radnika veća od prosečnog mineralnog proizvoda rada, zapošljavanje dodatnih radnika dovodi do porasta ukupnog obima mineralne proizvodnje. Kada je granični mineralni proizvod manji od prosečnog, prosečni mineralni proizvod se smanjuje.

Osnovni cilj svakog preduzeća mineralnog sektora je da svoj rad, poslovanje i ukupne aktivnosti na proizvodnji mineralnih proizvoda usmeri u pravcu ostvarivanja maksimalnih rezultata mineralne proizvodnje za podmirenje potreba tržišta. Zavisno od ispunjavanja radnih zadataka i ostvarenih rezultata u dostizanju poslovnih ciljeva preduzeće posluje uspešno, manje uspešno ili neuspešno. Konačna uspešnost mineralne proizvodnje određenih metaličnih, nemetaličnih i energetskih mineralnih sirovina se prati preko: (a) produktivnosti; (b) ekonomičnosti; i (c) rentabilnosti kao osnovnih ekonomskih kriterijuma uspešnosti mineralne proizvodnje preduzeća mineralnog sektora u uslovima tržišne privrede. Uspešnost mineralne proizvodnje pojedinačnih preduzeća je preduslov za uspešnost poslovanja mineralne ekonomije zemlje, posebno u sadašnjim kriznim uslovima i postavljenim ekonomskim ciljevima u predstojećem periodu društvenog i privrednog razvoja.

5. Zaključak

Mineralna ekonomija se bavi razotkrivanjem, analizom i produblivanjem saznanja o ekonomskim zakonitostima i pojavama u mineralnoj proizvodnji, sa stanovišta analize odnosa proizvodnje, odnosno racionalnosti upotrebe ograničenih mineralnih resursa i neograničenih potreba za određenim vrstama mineralnih proizvoda.

Okolnost ograničenosti, neobnovljivosti i iscrpivosti mineralnih resursa nalaže potrebu njihovog potpunog geološkog istraživanja, maksimalnog iskorišćenja tokom eksploatacije i procesa pripreme i prerade, u cilju dobijanja kvalitetnog tržišnog mineralnog proizvoda. Mineralnu proizvodnju različitih mineralnih sirovina u mineralnoj ekonomiji, prate sledeća obeležja: (i) proizvodnja; (ii) raspodela; (iii) razmena; i (iv) potrošnja.

Kroz mineralnu proizvodnju se prirodnim mineralnim resursima daje odgovarajući fizički oblik, sadržaj i karakteristike, tako da konačni mineralni proizvod može zadovoljiti zahteve potrošnje. Mineralna proizvodnja se ostvaruje u okviru proizvodnih procesa u kojima preduzeća koriste radnu snagu i opremu na osnovu koje se eksploatiše, priprema i prerađuje mineralna sirovina, uz stvaranje mineralnih proizvoda.

Rad, kapital i mineralni resursi predstavljaju ključne faktore ulaganja, odnosno faktore mineralnog proizvodnog procesa. Kao zajedničke karakteristike proizvodnih procesa, koje se odnose i na mineralnu proizvodnju spadaju: (i) granični obim proizvodnje; (ii) više vrsta proizvodnih ulaganja; i (iii) vreme zamene faktora mineralne proizvodnje.

U procesu mineralne proizvodnje preduzeća mineralnog sektora pretvaraju odgovarajuće proizvodne inpute u mineralne outpute. Kao posebno specifični i značajni inputi za predmetnu mineralnu proizvodnju su mineralne rezerve, koje je neophodno pronaći, istražiti i kvalitativno i kvantitativno definisati, uz ekonomsku ocenu bilansnosti, odnosno komercijalne isplativosti za valorizaciju.

Osnovni cilj svakog preduzeća mineralnog sektora je da svoj rad, poslovanje i ukupne aktivnosti na proizvodnji mineralnih proizvoda usmeri u pravcu ostvarivanja maksimalnih rezultata mineralne proizvodnje za podmirenje potreba tržišta. Pri tome se konačna uspešnost mineralne proizvodnje određenih mineralnih sirovina prati preko: (i) produktivnosti; (ii) ekonomičnosti; i (iii) rentabilnosti kao osnovnih ekonomskih kriterijuma uspešnosti mineralne proizvodnje preduzeća mineralnog sektora u uslovima tržišne privrede.

Započeta analiza sa razmatranjem pozicije mineralne proizvodnje u mineralnoj ekonomiji biće nastavljena kroz dalji intenzivni naučno-istraživački, geološko-ekonomski i aplikativni rad. Pri tome će posebna pažnja biti posvećena uticaju pojedinih elemenata i faktora mineralne proizvodnje na ostvarivanje povoljnih rezultata poslovanja preduzeća mineralnog sektora. Sastavni deo kompleksne analize obuhvatiće i razmatranje uspešnosti mineralne proizvodnje pojedinačnih preduzeća kao preduslova uspešnog poslovanja mineralne ekonomije zemlje, posebno u sadašnjim kriznim uslovima i postavljenim ekonomskim ciljevima u predstojećem periodu društvenog i privrednog razvoja.

6. Literatura

- [1] Tošović, R., *Ekonomika mineralnih resursa*, Rudarsko-geološki fakultet, 230 pp., Beograd, 2020.
- [2] Mankiw, N. G., *Principles of Economics*, Cengage Learning, 799 pp., Boston, 2020.
- [3] Veselinović, P., *Ekonomija*, Univerzitet Singidunum, 346 pp., Beograd, 2010.
- [4] Krugman P., Wells R., *Economics*, Worth Publishers; Second Edition edition, 1200 pp., 2009.
- [5] Sowell T., *Basic Economics*, Basic Books, 5th Edition, 704 pp., New York, 2014.
- [6] Salvatore D., *Managerial Economics in a Global Economy*, Oxford University Press, 9th Edition, 792 pp., London, 2018.
- [7] Keat P., Young K.P., Erfle S., *Managerial Economics*, Pearson, 7th Edition, 624 pp., New York, 2013.
- [8] Tomić, R., Cvetanović, S., Đorđević, M. *Osnovi ekonomije*, Alfa-graf, 264 pp., Novi sad, 2008.
- [9] Blanchard, O., *Macroeconomics*, Pearson; 7th edition, 576 pp., Indianapolis, 2016.
- [10] Baye M., Prince J., *Managerial Economics & Business Strategy*, McGraw-Hill Education, 9 edition, 576 pp., 2016.
- [11] Tošović R., *Economic Analysis in Evaluation of Mineral Resources in Mineral Economy*, Proceeding of 20th International Conference Dependability and Quality Management ICDQM-2017, pp. 312-320, Belgrade, 2017.
- [12] Tošović R., *Economic Aspects of the Effectiveness Geological Exploration of Mineral Resources in the Mineral Sector*, Proceeding of 14th ICDQM-2012, pp. 711-7, Belgrade, 2012.
- [13] Rosić, I., Veselinović, P., *Osnovi ekonomije*, Univerzitet Singidunum, 266 pp., Beograd, 2005.
- [14] Labus, M., *Osnovi ekonomije*, Stubovi kulture, 490 pp., Beograd, 1999.
- [15] Rundge I., *Mining Economics and Strategy*, Society for Mining Metallurgy & Exploration, 1 edition, 316 pp., Littleton, Colorado, 1998.

- [16] Tilton, J.E. & Guzman, J.I., *Mineral Economics and Policy*, Routledge, 1st edition, 270 pp., London, 2016.
- [17] Neukirchen, F. & Ries, G., *The World of Mineral Deposits: A Beginner's Guide to Economic Geology*, Springer, 1st ed. 2020 Edition, 3822 pp., Berlin, New York, 2020.
- [18] Tošović R., *Practical Aspects of Economic Evaluation of Mineral Projects in Investment Decision Making*, Proceeding of ICDQM-2014, pp. 497-504, Belgrade, 2014.
- [19] Tosovic R., *Economic evaluation of mineral resources from the standpoint of business and social profitability*, *International Journal of Research - Granthaalayah*, Vol. 4, No. 10, pp. 46 – 52, 2016.
- [20] Tošović R., *Actualities of Risk Analysis in Economic Evaluation of Mineral Deposits in the Conditions of the New Reality in the Mineral Sector*, Proceeding of 24th International Conference Dependability and Quality Management ICDQM-2021, Research Center of Dependability and Quality Management DQM, pp. 230-241, Belgrade, 2021.
- [21] Tošović R., *Risks in the Economic Evaluation of Mineral Projects and Agile Management Application*, XXII International Congress on Project Management: Business Agility and Agile Project Management, pp. 256-260, Belgrade, 2018.
- [22] Tošović R., *Geological-Economic Monitoring in Improvement of Business Conditions and Effects of Mineral Sector Companies*, *Bulletin of Mines, Mining Institute Belgrade, Academy of Engineering Sciences of Serbia*, No 1-2, Vol CXVII, 29-34 pp., 2020.
- [23] Tošović R., *Resursi organizacije kao osnova menadžmenta geoloških istraživanja*, Proceeding of 8th International Conference Dependability and Quality Management DQM-2005, pp. 572-579, Beograd, 2005.



NEKI ASPEKTI FINANSIJSKE POLITIKE U ODLUČIVANJU I POSLOVANJU PREDUZEĆA MINERALNOG SEKTORA

SOME ASPECTS OF FINANCIAL POLICY IN DECISION-MAKING AND BUSINESS OPERATIONS OF COMPANIES IN THE MINERAL SECTOR

Tošović R.¹

Apstrakt

U aktuelnim uslovima poslovanja preduzeća mineralnog sektora i mineralne ekonomije izuzetno je značajno pitanje finansija i načina finansiranja proizvodnih i poslovnih aktivnosti. Za potrebe funkcionisanja preduzeća mineralnog sektora zemlje neophodne su kapitalne investicije, kako u delu geoloških istraživanja, tako naročito u delu sa eksploatacijom, pripremom i preradom mineralne sirovine. Za korišćenje obezbeđenih finansijskih sredstava posebno je značajna usmerenost na ostvarivanje ciljeva finansiranja. U tome veoma značajnu ulogu imaju finansijsko upravljanje i finansijska politika preduzeća. Za finansijsko upravljanje u operativnom smislu posebno su značajne odluke preduzeća, koje su usmerene na maksimiziranje vrednosti, odnosno dobiti preduzeća i minimiziranje troškova i pratećih rizika poslovanja. Finansijska politika pokriva finansijski aspekt poslovne politike preduzeća veoma značajne za celinu njegovog poslovanja. Pri tome veoma značajan segment predstavljaju kako horizontalna, tako i vertikalna pravila finansiranja, koja omogućuju bolju usmerenost na ostvarivanje poslovnih ciljeva preduzeća mineralnog sektora.

Ključne reči: *finansije, finansijsko upravljanje, finansijska politika, mineralni sektor, mineralna ekonomija*

Abstract

In the current business operating conditions of companies in the mineral sector and the mineral economy, the question of finance and the way of financing production and business activities is extremely important. Capital investments are necessary for the functioning of companies in the country's mineral sector, both in the part of geological exploration, and especially in the part of exploitation, preparation and processing of mineral raw materials. For the use of the provided financial resources, it is particularly important to focus on the achievement of financing goals. Financial management and the company's financial policy play a very important role in this. For financial management in the operational sense, the decisions of the company that are aimed at maximizing the value, that is, the profit of the company and minimizing the costs and accompanying business risks, are especially important. The financial policy covers the financial aspect of the company's business policy, which is very important for the whole of its business. At the same time, a very significant segment is represented by both horizontal and vertical financing rules, which enable a better focus on the achievement of the business goals of mineral sector companies.

Keywords: *finance, financial management, financial policy, mineral sector, mineral economy*

1. Uvod

U savremenim uslovima rada i poslovanja preduzeća mineralnog sektora, shodno opštem pristupu [1,

¹Prof. dr Radule Tošović, dipl. inž. geol, dipl. ecc., Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet, Departman Ekonomske geologije, Beograd, Đušina br. 7, tel. (011) 3219-253, e-mail: toshovic@yahoo.com, tosovic@rgf.bg.ac.rs

2] predmetno preduzeće se, između ostalog, može shvatiti i kao svojevrsan pul sredstava kojima treba upravljati, a u zavisnosti od kvaliteta upravljanja mineralnom proizvodnjom i aktivnostima biće ostvareni bolji ili slabiji poslovni rezultati. Pri tome poslovne finansije se, shodno opštem pristupu, najčešće definišu [2, 3] kao: (a) upravljanje novčanim poslovima privrednog subjekta; (b) funkcija prikupljanja i obezbeđivanja finansijskih sredstava radi dugoročnih ulaganja; i (c) obezbeđivanje novčanih sredstava za komercijalne svrhe.

Poslovne finansije preduzeća mineralnog sektora, kao jedna od esencijalnih aktivnosti, može se posmatrati kao sinonim za finansijski menadžment ili finansijsko upravljanje, tako da zapravo predstavljaju proces kreiranja finansijskih uslova za efikasno ostvarivanje odabranih finansijskih ciljeva [4]. Ovaj pojam podrazumeva obezbeđenje novčanih sredstava za komercijalne potrebe [5], uz upravljanje poslovima preduzeća kao entiteta, odnosno privrednog subjekta [2, 6], radi ostvarivanja uspešne mineralne proizvodnje. Sa krajnje operativnog i praktičnog aspekta posmatrano poslovne finansije podrazumevaju upravljački koncept u preduzeću, sa akcentom na širi obuhvat sledećih aspekata poslovnih finansija [7]: (a) finansijsko okruženje; (b) finansijski instrumenti; i (c) upravljanje finansijama.

Ostvarivanje finansijske likvidnosti preduzeća uz najvišu profitnu stopu, predstavlja centralni motiv u tržišnim uslovima poslovanja mineralne ekonomije zemlje, koji utiče na finansijski menadžment, koji treba da obezbedi konkurentnu tržišnu poziciju preduzeću uz njegovu odgovarajuću finansijsku sposobnost. Otuda shodno opštem pristupu [8] kreiranje i ostvarivanje politike optimalnih finansijskih plasmana uz dinamičko održavanje optimalnog stepena likvidnosti preduzeća predstavlja fundamentalni cilj upravljanja poslovnim finansijama preduzeća mineralnog sektora.

Problematika tretirana ovim radom jednim delom polazi od osnovnih postavki finansijskog menadžmenta [1-15], menadžmenta mineralnih resursa i mineralne ekonomije [16-18], a drugim delom predstavlja rezultat autorskih studioznih analitičko-sintetičkih, induktivno-deduktivnih i sistematičnih studijskih proučavanja u domenu menadžmenta, ekonomske ocene, poslovnog odlučivanja i mineralne ekonomije [19-21]. Osnovni cilj ovog rada je da generalno ukaže na posebno mesto, ulogu i značaj pravila finansiranja u definisanju poslovne politike preduzeća mineralnog sektora, kao i značaja za odlučivanje i poslovanje preduzeća, kako bi se poboljšala finansijska podrška materijalnim i ekonomskim efektima mineralne proizvodnje, mineralnom sektoru i mineralnoj ekonomiji Srbije.

2. Finansijska politika preduzeća

Posebna specifičnost karaktera mineralne proizvodnje uslovljava i specifičnost finansijske politike, koju menadžment preduzeća treba da praktično sprovede. U jednom delu ona sadrži elemente opšte finansijske politike preduzeća, a u drugom delu odražava specifičnosti mineralne proizvodnje u preduzeću i specifičnosti mineralnog sektora i mineralne ekonomije. Polazeći od opšteg stava da je politika nauka o veštini upravljanja [2], u težnji ostvarivanja nekog cilja, politika se zapravo može shvatiti kao nauka o ciljevima i načelima, koja se primenjuju radi ostvarivanja ciljeva.

Finansijska politika, kao politika finansijske funkcije preduzeća, ima za cilj postizanje i održavanje finansijske snage preduzeća pomoću utvrđenih načela u izvršavanju svojih zadataka [9]. U kvantitativnom smislu pod finansijskom snagom preduzeća podrazumeva se obim potrebnih sredstava, dok u kvalitativnom smislu finansijska snaga obuhvata [10]: (a) trajnu sposobnost plaćanja; (b) trajnu sposobnost finansiranja; (c) očuvanje imovine; i (d) povećanje imovine, a koji se svojom celinom po svim pripadajućim elementima odnose i na preduzeća mineralnog sektora.

Bez obzira što finansijska politika predstavlja funkcionalni i korelativni deo integralne poslovne politike preduzeća mineralnog sektora, ona je veoma složena kategorija i aktivnost preduzeća. Problematika finansijske politike ne ispoljava se u prostom sagledavanju finansijskih transakcija i njihovih reperkusija na tzv. perspektivne finansijske situacije preduzeća, već implicira širok domen brojnih parcijalnih finansijskih politika, koje, u opštem slučaju obuhvataju [11]: (a) politiku pribavljanja finansijskih sredstava; (b) politiku finansiranja tokova reprodukcije; (c) politiku plasmana viška finansijskih sredstava; (d) politiku finansiranja investicija; i (e) politiku zajedničkih ulaganja.

Prilikom izbora i utvrđivanja ciljeva finansijske politike preduzeća, treba imati u vidu njihovu varijabilnost, i to u dvostrukom smislu [2]: (a) u različitim okolnostima, svaki cilj nužno dobija različit kvantitativni izraz; i (b) u zavisnosti od okolnosti menja se i ponder pojedinačnog cilja finansijske politike. Proces izbora i kvantifikacije ciljeva spada u najuže područje formulisanja finansijske politike, a uslovljen je brojnim faktorima različite prirode, uz široko definisanje osnovnih finansijskih ciljeva, koji su predmet finansijske politike preduzeća.

3. Finansijska politika i finansijski procesi

U sagledavanju finansijske politike preduzeća mineralnog sektora neophodno je imati u vidu ne samo finansijske ciljeve preduzeća, već i osnovne finansijske procese na kojima se baziraju aktivnosti upravljanja finansijama. Pri tome se shodno opštem pristupu [2], i kod preduzeća mineralnog sektora mogu izdvojiti dva odvojena finansijska procesa, i to: (a) pribavljanje finansijskih sredstava; i (b) upotreba finansijskih sredstava, odnosno njihov plasman. Osim prikazanog, finansijska politika se kroz proces usklađivanja priliva i odliva sredstava, javlja i kao politika likvidnosti ili politika permanentnog izmirenja obaveza uz porast rentabilnosti ulaganja sredstava. Sa stanovišta najznačajnijih finansijskih procesa, shodno opštem pristupu [2], i kod preduzeća mineralnog sektora mogu se posebno izdvojiti tri aspekta finansijske politike, i to: (a) politika pribavljanja finansijskih sredstava; (b) politika plasmana finansijskih sredstava; i (c) politika likvidnosti.

Politika pribavljanja finansijskih sredstava obuhvata donošenje finansijske odluke o sledećim značajnim aspektima [2]: (a) potrebnom obimu sredstava; (b) odnosu osnovnih i obrtnih sredstava; (c) izvorima pribavljanja sredstava; (d) odnosu sopstvenih i tuđih sredstava, kao i (e) terminima angažovanja sredstava uz uvažavanje odnosa dugoročnih i kratkoročnih sredstava. Pribavljanje novčanih sredstava vrši se iz više izvora. Pri tome, osnovni i najvažniji izvor je tržišna realizacija proizvedene robe, odnosno proizvedenih mineralnih sirovina i mineralnih komponenata, kojom se popunjava poslovni fond preduzeća. Ostali finansijski izvori obuhvataju tuđa sredstva. U uslovima neophodnog obezbeđenja proširene reprodukcije mineralne proizvodnje, kao i nužne potrebe stalnog proširenja reprodukcije, izuzetno je teško poslovati isključivo sa postojećim obimom finansijskih sredstava. Usled navedenog sprovođenje finansijske politike mora da obezbedi za mineralnu proizvodnju neophodna obrtna i osnovna sredstva. U sklopu toga, najvažniji deo svakako pripada pronalaženju i geološko-ekonomskom definisanju ležišta mineralnih sirovina kao ekonomskog objekta, odnosno obezbeđenja predmetnih mineralnih rezervi kao najznačajnijeg obrtnog sredstva neophodnog za predmetnu mineralnu proizvodnju [17].

Shodno opštem pristupu [2] i u preduzećima mineralnog sektora se smatra da preduzeće pravilno posluje ako iz dugoročnih izvora pokriva oko 70% trajnih obrtnih sredstava i sva osnovna sredstva. Pri tome, odnos sopstvenih i tuđih sredstava preduzeća predstavlja poseban vid konstitucije sredstava. Uslov za pravilnu i praktično prihvatljivu konstituciju je zadovoljen, ako je procentualno učešće likvidnih sredstava u ukupnim sredstvima, obrnuto srazmerno procentualnom učešću sopstvenih sredstava u ukupnim sredstvima preduzeća [22]. Pri tome, odnos između osnovnih i obrtnih sredstava takođe mora biti u određenoj proporciji.

Politika plasmana finansijskih sredstava se odnosi na finansijske odluke o rentabilnosti ulaganja pribavljenih finansijskih sredstava. Osnovni cilj ovakve finansijske politike jeste ostvarenje permanentne ravnoteže između uloženi sredstava i vraćanja tih sredstava. U sagledavanju povraćaja potrebnih finansijskih sredstava posebno je značajna ekonomska ocena mineralnih rezervi predmetnog ležišta, koja prikazuje aktuelnu neto sadašnju vrednost prema planiranoj dinamici mineralne proizvodnje sa uzimanjem u obzir vremenskog faktora [18]. Plasman finansijskih sredstava predstavlja izuzetno važno područje finansijske politike preduzeća, zbog čega se najčešće reguliše primenom finansijskih načela, i to: (a) načela sigurnosti; (b) načela rentabilnosti; i (c) načela likvidnosti.

Načelo sigurnosti ukazuje da finansijska sredstva treba ulagati u aktivnosti kroz koje će se ona zasigurno vratiti, načelo rentabilnosti, ukazuje da sredstva treba ulagati u one poslovne poduhvate gde se ona mogu oploditi, a načelo likvidnosti, ukazuje na to da finansijska sredstva treba ulagati tako da se ona vraćaju u rokovima [14] potrebnim za izmirenje obaveza preduzeća mineralnog sektora.

Politika likvidnosti se odnosi na finansijske odluke o ostvarenju permanentne optimalne likvidnosti preduzeća mineralnog sektora, kao celine privrednog i ekonomskog subjekta, tako da se dobrim delom, naročito sa praktičnog stanovišta finansijska politika u suštini svodi na politiku likvidnosti. Naime, to je skup mera koje se odnose na obezbeđenje platežne sposobnosti preduzeća, odnosno obezbeđenje ravnoteže rokova priliva i rokova odliva sredstava u bilo kojoj fazi kružnog kretanja sredstava po obrascu N-R-P-R₁-N₁, čime se obezbeđuje ostvarenje postavljenih ciljeva preduzeća mineralnog sektora. Međutim, posmatranjem obrta sredstava za preduzeće u celini, ne može se dobiti siguran pokazatelj likvidnosti, već je potrebno posmatrati koeficijente obrta sredstava u svakoj pojedinačnoj fazi kružnog toka sredstava. Tek ostvarena sinhronizacija priliva i odliva sredstava u svim fazama, daje koeficijentu obrta potrebnu realnu vrednost, koja garantuje da preduzeće neće postati nelikvidno [2, 17, 22, 23]. Dodatna specifičnost preduzeća mineralnog sektora je što likvidnost treba posmatrati i dinamički, u različitim fazama eksploatacije mineralnih sirovina. Prvi stepen likvidnosti preduzeća može biti sa rokom do mesec dana, drugi stepen likvidnosti može se posmatrati kvartalno i godišnje, ali se takođe mora posmatrati najmanje po petogodišnjim periodima eksploatacije mineralne sirovine, uz uzimanje u obzir ekonomskih i privrednih okolnosti i kretanja na tržištu mineralnih sirovina.

Ekonomski i finansijski posmatrano dovođenjem u sklad različitim stepena likvidnosti ne samo za preduzeće u celini, već i za pojedine faze reprodukcije, moguće je stalno planirati i utvrđivati dinamiku likvidnosti i preuzimati blagovremeno odgovarajuće mere održanja finansijske stabilnosti preduzeća, što je ujedno i osnovni zadatak finansijske politike preduzeća. Posebna specifičnost preduzeća mineralnog sektora je što se u slučaju realizacije samo geoloških istraživanja na pronalaženju, istraživanju i definisanju mineralnih rezervi, bez prateće eksploatacije, u suštini ostvaruje negativni novčani tok, u kome su samo prisutni troškovi bez ostvarivanja prihoda. Prva poslovna prihodna sredstva se pojavljuju tek sa početkom eksploatacije mineralne sirovine i tržišnim plasiranjem mineralnog proizvoda, što se naročito mora imati u vidu prilikom analize i praćenja likvidnosti ovih preduzeća.

4. Pravila finansiranja i finansijska politika

Osim sagledavanja suštine finansijske politike preduzeća, stručno i analitički takođe je veoma značajan osvrt na pravila ili norme finansiranja. Pravila finansiranja podrazumevaju i označavaju kriterijume za izbor sredstava finansiranja, odnosno norme za pribavljanje kapitala iz određenih poslovnih aspekata. Osnovna svrha pravila finansiranja je praktično direktno vezana za proces poslovnog odlučivanja u preduzeću, odnosno da posluže preduzeću kao smernice za donošenje odluka o finansiranju [24].

Pravila finansiranja poslovnih sredstava preduzeća su formirana kao rezultat pokušaja finansijske teorije i prakse da identifikuju i postave univerzalne norme ili standarde koji bi važili za sve privredne subjekte i sve uslove privređivanja. Vođene tom idejom, finansijska teorija i praksa su postavile veći broj pravila, koja su važna za komponovanje strukture finansiranja i sredstava privrednih subjekata, a koja danas imaju karakter klasičnih ili tradicionalnih pravila finansiranja, važeća i za preduzeća mineralnog sektora.

Pravila finansiranja u kvantitativnom smislu određuju [2, 15, 23, 25]: (a) strukturu izvora sredstava prema poreklu i roku raspoloživosti, što čini tzv. vertikalna pravila finansiranja; i (b) relacije pojedinih delova sredstava posmatranih po roku imobilizacije i pojedinih delova izvora posmatranih po roku raspoloživosti, što čini tzv. horizontalna pravila finansiranja.

Vertikalna pravila finansiranja polaze od pretpostavke da se kroz strukturu izvora obezbedi sigurnost dužnika i poverioca, rentabilnost uloženih sredstava i autonomija dužnika. Vertikalna pravila finansiranja odnose se na pasivu bilansa stanja preduzeća i pojavljuju se u vidu sledećih zahteva, odnosno pojedinačnih pravila [2, 15, 23, 25]: (a) pravilo odnosa sopstvenog prema pozajmljenom kapitalu; (b) pravilo odnosa rezervi prema nominalnom kapitalu; i (c) pravilo odnosa dugoročnog prema kratkoročnom kapitalu.

Horizontalna pravila finansiranja polaze od pretpostavke da se kroz relacije pojedinih delova sredstava i pojedinih delova izvora sredstava obezbeđuje likvidnost. Horizontalna pravila finansiranja odnose se i na aktivu i na pasivu bilansa stanja preduzeća, a izražavaju se u vidu sledećih zahteva, odnosno pojedinačnih pravila finansiranja [2, 13, 14, 23, 25]: (a) zlatno bankarsko pravilo finansiranja; (b) zlatna

bilansna pravila finansiranja; i (c) ostala pravila finansiranja.

Ovako postavljena pravila finansiranja imaju višestruku ulogu: (a) prvo, svaki privredni subjekt unapred može znati kako da oblikuje strukturu izvora i kako da postavi relacije između pojedinih delova sredstava i izvora, što mu sa aspekta finansiranja obećava sigurnost, nezavisnost, rentabilnost i likvidnost; (b) drugo, u finansijskoj analizi pravila finansiranja imaju ulogu standarda, što znači da se stvarno stanje upoređuje sa standardom i tako utvrđuje odstupanje. Shodno tome, slede i zaključci finansijske analize o finansijskoj situaciji privrednog subjekta; i (c) treće, pri oceni kreditne sposobnosti budućeg dužnika od strane budućeg poverioca, pravila finansiranja imaju ulogu kriterijuma, čije zadovoljenje uslovljava da se budući dužnik kvalifikuje kao kreditno sposoban [25]. Praktična primena ovih pravila, odnosno kriterijuma je pokazala aplikativnu ograničenost pre svega, zbog njihove normativnosti i neelastičnosti [26].

5. Specifičnosti finansijskog upravljanja u preduzećima mineralnog sektora

U preduzećima mineralnog sektora se, sa stanovišta radno-procesnih aktivnosti i potrebe finansiranja, a zavisno od učešća geoloških istraživanja i eksploatacije u ukupnim poslovnim aktivnostima, može izdvojiti pet karakterističnih slučajeva i to: (a) prvi slučaj sa regionalnim metalogenetskim istraživanjima i prospekcijom usmerenim na pronalaženje mineralnog ležišta; (b) drugi slučaj sa prethodnim i detaljnim geološkim istraživanjima mineralnog ležišta, kada još uvek nema eksploatacije mineralne sirovine; (c) treći slučaj sa izgradnjom rudnika i pratećih proizvodnih kapaciteta eksploatacije, pripreme i prerade mineralne sirovine; (d) četvrti slučaj sa eksploatacijom mineralne sirovine i paralelnim eksploatacionim geološkim istraživanjima i doistraživanjima mineralnog ležišta; i (e) peti slučaj sa eksploatacijom mineralne sirovine i malim obimom tekućih operativnih geoloških istraživanja za potrebe neposredne eksploatacije. Svaki pojedinačni slučaj se mora posebno analizirati sa stanovišta obima potrebnih finansijskih sredstava i perioda povraćaja, uz definisanje nivoa rentabilnosti, odnosno profitabilnosti. Generalno posmatrano prvi i drugi slučaj su praćeni najvećim obimom troškova geoloških istraživanja, koje treba pokriti, a obuhvataju pronalaženje, istraživanje i definisanje mineralnog ležišta kao ekonomskog objekta. Treći slučaj je slučaj sa kapitalnim investicijama, koje su neophodne za izgradnju eksploatacionih objekata i obezbeđenje neophodnih osnovnih sredstava za proizvodnju, a prati ih najveći obim investicija. Četvrti i peti slučaj su vezani za finansiranje tekuće proizvodnje, koja se pokriva iz prihodovanih sredstava poslovnog fonda, a na osnovu postojeće proizvodnje mineralnih sirovina i mineralnih proizvoda.

U sklopu finansijske analize i analize upravljanja poslovanjem preduzeća posebnu pažnju treba obratiti na uticaj vremenskog faktora, koji se ispoljava kroz: (a) procesno; i (b) ekonomsko delovanje. Procesno delovanje se odnosi na relativno srednji do dug vremenski period radnog procesa, koji protekne od otkrivanja mineralnog ležišta do početka njegove eksploatacije. U domaćim, ali i svetskim uslovima za mineralna ležišta srednje veličine predmetni period se prosečno kreće od 5 do 10 godina, a u nekim slučajevima velikih mineralnih ležišta i 15 i više godina. Ekonomsko delovanje se ispoljava kroz izraženiji vremenski faktor koji utiče na vrednost finansijskih sredstava, ekonomsku vrednost mineralnog ležišta i produženje perioda povraćaja uložениh sredstava.

Naročita specifičnost mineralnog sektora je postojanje posebne sektorske mineralne politike, koja treba da bude generalni stručni okvir poslovne politike preduzeća mineralnog sektora, u koji treba da se uklopi finansijska politika. Postojeće razmatranje finansijske politike i finansiranje mineralne proizvodnje je naročito značajno za: (a) pripremu, usvajanje i sprovođenje potrebnih poslovnih odluka, odnosno za nivo poslovnog odlučivanja; i (b) neposredno planiranje i realizaciju mineralne proizvodnje, odnosno za nivo planiranja i sprovođenja poslovne aktivnosti.

Finansijska politika se praktično i funkcionalno posmatrano pojavljuje kao polazna osnova finansijskog upravljanja i finansijskih odnosa u preduzećima mineralnog sektora, kao segmenta integralnog upravljanja poslovanjem ovih preduzeća. Osim toga u mineralnom sektoru i mineralnoj ekonomiji predmetna aktivnost zahteva dugoročnije definisanje i strategijsko utvrđivanje ciljeva mineralne proizvodnje, sa svrsishodnim rasporedom (alokacijom) potrebnih resursa, među kojima su posebno značajne finansije. Uz definisane finansijske ciljeve i potrebnu finansijsku politiku u preduzećima mineralnog sektora, sa odgovarajućim finansijskim planiranjem i finansijskim upravljanjem, može se

obezbediti uspešnost predmetne mineralne proizvodnje i ostvarivanje ekonomski, finansijski i razvojno uspešnog poslovanja na nivou mineralnog sektora i mineralne ekonomije zemlje.

6. Zaključak

U savremenim uslovima rada i poslovanja preduzeća mineralnog sektora, sa krajnje operativnog i praktičnog aspekta posmatrano poslovne finansije podrazumevaju upravljački koncept, sa akcentom na širi obuhvat: (i) finansijskog okruženja; (ii) finansijskih instrumenata; i (iii) upravljanja finansijama. Ostvarivanje najviše profitne stope predstavlja centralni motiv u tržišnim uslovima poslovanja mineralne ekonomije zemlje, koji utiče na finansijski menadžment, koji treba da obezbedi konkurentnu tržišnu poziciju preduzeću uz njegovu odgovarajuću finansijsku sposobnost.

Posebna specifičnost karaktera mineralne proizvodnje uslovljava i specifičnost finansijske politike, koju menadžment preduzeća praktično sprovodi. U sagledavanju finansijske politike preduzeća mineralnog sektora neophodno je imati u vidu osnovne finansijske procese: (i) politiku pribavljanja finansijskih sredstava; (ii) politiku plasmana finansijskih sredstava; i (iii) politiku likvidnosti. Pri tome najvažniji deo obuhvata pronalaženje i geološko-ekonomsko definisanje mineralnog ležišta, odnosno obezbeđenja predmetnih mineralnih rezervi kao najznačajnijeg obrtnog sredstva neophodnog za predmetnu mineralnu proizvodnju.

Stručno i analitički posmatrano, osim suštine finansijske politike preduzeća, veoma je značajan osvrt na pravila finansiranja, i to: (i) vertikalna pravila tj. strukturu izvora sredstava prema poreklu i roku raspoloživosti; i (ii) horizontalna pravila, tj. relaciju delova sredstava po roku imobilizacije i roku raspoloživosti.

Zavisno od učešća geoloških istraživanja i eksploatacije u ukupnim poslovnim aktivnostima, u preduzećima mineralnog sektora se sa stanovišta radno-procesnih aktivnosti i potrebe finansiranja, izdvaja pet karakterističnih slučajeva, koje prate različiti uslovi i potrebe finansiranja. Pri tome u istima posebnu pažnju treba obratiti na uticaj vremenskog faktora, koji se ispoljava kroz: (i) procesno; i (ii) ekonomsko delovanje.

Naročita specifičnost mineralnog sektora je postojanje posebne sektorske mineralne politike, koja treba da bude generalni stručni okvir poslovne politike preduzeća mineralnog sektora, u koji se uklapa finansijska politika. Finansijska politika se praktično i funkcionalno pojavljuje kao polazna osnova finansijskog upravljanja i finansijskih odnosa u preduzećima mineralnog sektora, kao segmenta integralnog upravljanja poslovanjem ovih preduzeća.

Započeta analiza primene finansijske politike biće nastavljena kroz dalji intenzivni naučno-istraživački, geološko-ekonomski i aplikativni rad. Pri tome će posebna pažnja biti posvećena uticaju finansijske politike na finansijski menadžment, kao i menadžment poslovanja preduzeća mineralnog sektora. Sastavni deo kompleksne analize obuhvatiće i relaciono strategijsko i operativno menadžersko razmatranje, koje je značajno za funkcionisanje mineralnog sektora i mineralne ekonomije u predstojećem periodu privrednog, ekonomskog i društvenog razvoja Srbije.

Literatura

- [1] Đurić, D., Uvod u finansijski menadžment, Institut ekonomskih nauka, Beograd, 1999.
- [2] Ivaniš, M., Upravljanje finansijama, Univerzitet Singidunum, 367 pp., Beograd 2008.
- [3] Živković, A. i Ristić, Ž., Upravljanje finansijskim i deviznim poslovanjem, Ekonomski Fakultet Beograd, Beograd, 2000.
- [4] Merton, R.C., Continuals – Time Finance, Basil Blackwell, Oxford, 1990.
- [5] Bannock, G., Bather, R. & Rees, R. The Penguin Dictionary of Economics, Penguin Books, Harmondsworth, 1973.
- [6] Adam, D.H., Longman Concise Dictionary of Business English, Longman, 1985.

- [7] Žarkić-Joksimović, N., Upravljanje finansijama, Grafoslog, Beograd, 2003.
- [8] Ristić, Ž. i Komazec, S., Globalni finansijski menadžment, Viša poslovna škola Beograd, Beograd, 2000.
- [9] Pušara, K., Poslovne finansije, Viša poslovna škola Novi Sad, Novi Sad, 2000.
- [10] Rodić, J. i Marković, I., Poslovne finansije, Savremena administracija, Beograd, 1982.
- [11] Vunjak, N. Finansijski menadžment, Ekonomski fakultet Subotica, Subotica, 1995.
- [12] Bizmanualz, Finance Policies and Procedures Manual, New Content Edition, Bizmanualz, Inc.; New Content edition, 616 pp., St. Louis, Missouri, 2014.
- [13] Odden, A., School Finance: A Policy Perspective 6th Edition, Kindle Edition, McGraw-Hill Higher Education; 6th edition, 469 pp., New York, 2019.
- [14] Block, S., Hirt, G.A. & Danielsen, B., Foundations of Financial Management, ISE 18th Edition McGraw-Hill Higher Education; 6th edition, 524 pp., New York, 2022.
- [15] Brigham, E.F. & Ehrhardt, M.C., Financial Management: Theory & Practice, Cengage Learning, 15th edition, 1200 pp., Boston, Massachusetts, 2016.
- [16] Tošović R., Management in Modern Conditions of Serbian Mineral Economy, MISKO 10, pp. 411-434, Belgrade, 2010.
- [17] Tošović, R., Ekonomika mineralnih resursa, Rudarsko-geološki fakultet, 230 pp., Beograd, 2020.
- [18] Tošović, R., Geološko-ekonomsko modeliranje polimetalnog ležišta Rudnik, Katedra ekonomske geologije, Rudarsko-geološki fakultet, Poseb. izd. br. 8, 226 pp., Beograd, 2006.
- [19] Tošović R., Business Programs as Elements of Planning Decisions in the Company, Proceeding of 6th International Conference COAL 2013, pp. 357-370, Zlatibor, 2013.
- [20] Tošović R., Elements of Efficiency and Effectiveness of Business Enterprises, Proceeding of 10th International Opecast Mining Conference OMC 2012, pp. 353-365, Zlatibor, 2012.
- [21] Tošović R., Economic Aspects of the Effectiveness Geological Exploration of Mineral Resources in the Mineral Sector, Proceeding of 15th ICDQM-2012, Belgrade, pp. 711-721, Belgrade, 2012.
- [22] Dejanović, P., Organizacija računovodstveno-finansijske funkcije u preduzeću kao kibernetском sistemu, u zborniku radova Finansijsko upravljanje u organizacijama, ed. Vukić, S., Književne novine, pp. 200 – 201, Beograd, 1976.
- [23] Titman, S., Keown, A. & Martin, J., Financial Management: Principles and Applications, Pearson, 13th edition, 720 pp., London, 2017.
- [24] Zeremski, V., Upravljanje finansijskim sistemom, Književne novine, Beograd, 1982.
- [25] Rodić, J., i Marković, I., Poslovne finansije, Savremena administracija, Beograd, 1982.
- [26] Pejić, L., Radovanović, R. i Stanišić, M., Ocena boniteta preduzeća, Privredni pregled, Beograd, 1991.



ИЗРАДА ДРЕНЖАНИХ КАНАЛА У ПОДИНИ ПОВРШИНСКОГ КОПА ДРМНО - ЗАПУНА ЛОМЉЕНИМ КАМЕНИМ И ПОКРИВАЊЕ ГЕОТЕКСТИЛОМ

CONSTRUCTION OF DRAINAGE CHANNELS IN THE COAL FLOOR OF OPENCAST MINE DRMNO - FILLING WITH CRUSHED STONE AGGREGATE AND COVERING WITH GEOTEXTILE

Војнић М.¹, Стевановић-Петровић Н.², Здравковић Ј.³

Апстракт

У циљу заштите унутрашњег одлагалишта од површинских и подземних вода потребно је извршити израду дренажних канала у подини површинског копа Дрмно, запуна канала иберлауфом и покривање иберлауфа геотекстилом.

У овом раду приказана је технологија израде дренажних канала у подини одлагалишта тј. израда главног дренажног канала који има генерални правац (исток -запад) и израда попречних дренажних канала који усмеравају воду према главном дренажном каналу.

Кључне речи: дренажни канал, иберлауф, геотекстил.

Abstract

In order to protect the internal disposal site from surface and underground water, it is necessary to construct drainage channels in the bottom of the coal opencast mine Drmno, fill the channels with iberlauf and cover the iberlauf with geotextile.

This paper presents the technology of making drainage channels in the floor of the dump, i.e., the creation of the main drainage channel that has a general direction (east-west) and the creation of transverse drainage channels that direct water towards the main drainage channel.

Keywords: drainage channel, iberlauf, geotextile.

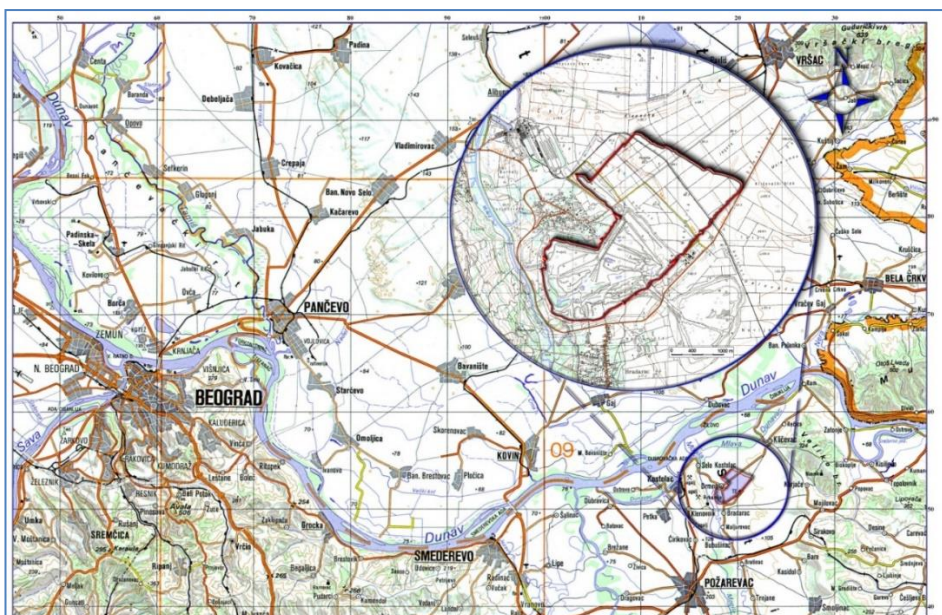
1. Увод

Лежиште угља Дрмно обухвата терен површине 60 km². Границу чине: река Дунав на северу, Божевачка греда на истоку, линија Брадарац-Сираковачка долина на југу и река Млава на западу. Лежиште угља Дрмно захвата атар села Дрмно по коме је и добио име, али такође захвата и део атара суседних села Брадарац и Кличевица. Површински коп Дрмно се налази североисточно од села Дрмно. Лежиште Дрмно са Пожаревцем и Костолцем повезује асфалтни пут дужине 18 km, односно 4 km (Слика 1).

¹ Младен Војнић, дипл.винг.вгеол.

² Надежда Стевановић-Петровић, дипл.винг.вруд.

³ Јован Здравковић, дипл. инг. геол.



Слика 1. Географски положај површинског копа Дрмно

2. Анализа фактора који утичу на одбрану од вода

Површинске и подземне воде, поред директног угрожавања рударске технологије потапањем, утичу и индиректно на карактеристике стена у лежишту и пратећим стенама. Према томе циљ заштите копа и одлагалишта од подземних и површинских вода је стварање услова на рационалан, технички савремен и економичан начин у којима ће се несметано одвијати откопавање јаловине и угља и одлагање јаловине у пројектованом периоду, односно постићи производњу која је пројектована. Успешна заштита површинског копа, пре свега, зависи од степена познавања хидролошких, хидрогеолошких и геомеханичких карактеристика ближе и даље зоне лежишта и њихове правилне интерпретације. Правилан избор решења заштите површинског копа и одлагалишта од подземних и површинских вода зависи од познавања природних и техничко-технолошких фактора.

У природне факторе спадају географски положај и геоморфологија терена, литолошка грађа лежишта, тектоника, хидрографске прилике лежишта и околине, климатски услови подручја површинског копа, хидрогеолошке и геомеханичке карактеристике лежишта и др.

У групу техничко-технолошких фактора спадају: технологија рада на откопавању, утовару и транспорту угља, откривке и јаловине, технологија одлагања откривке и јаловине, локација одлагалишта, врста и карактеристике коришћене опреме и др.

3. Концепцијско решење одбране одлагалишта од површинских и подземних вода

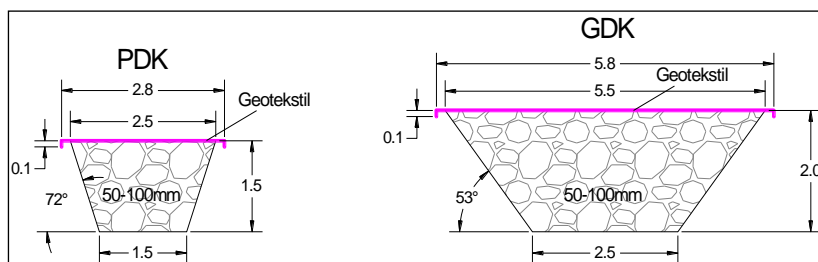
3.1. Концепција заштите одлагалишта од прилива површинских вода

За заштиту унутрашњег одлагалишта површинског копа Дрмно од површинских вода користиће се систем етажних канала који ће прикупљену воду спроводити до подинских канала и даље до таложника односно главног водосабирника. Такође, све етажне равни на одлагалишту се морају булдозерима испланирати са благим падом ка западној страни како се вода од атмосферских падавина не би задржавала на етажним површинама.

3.2. Концепција заштите одлагалишта од прилива подземних вода

У циљу заштите одлагалишта потребно је извршити израду дренажних канала (ГДК, ПДК) у подини површинског копа Дрмно, запуну канала иберлауфом и покривање иберлауфа

геотекстилом. Главни дренажни канал (ГДК) ће имати генерални правац који је паралелан са одлагалишним етажама тј. има правац пружања од источне стране копа према западној страни копа. Попречни дренажни канал (ПДК) прихваћену воду спроводи до главног дренажног канала који ће усмеравати воду до главног водосабирника. Шематски приказ изгледа потребних канала приказан је на Слици 2.



Слика 2. Шематски приказ дренажних канала

Преко запуњеног канала потребно је поставити геотекстил који мора да поседује декларацију о перформансама следећих карактеристика:

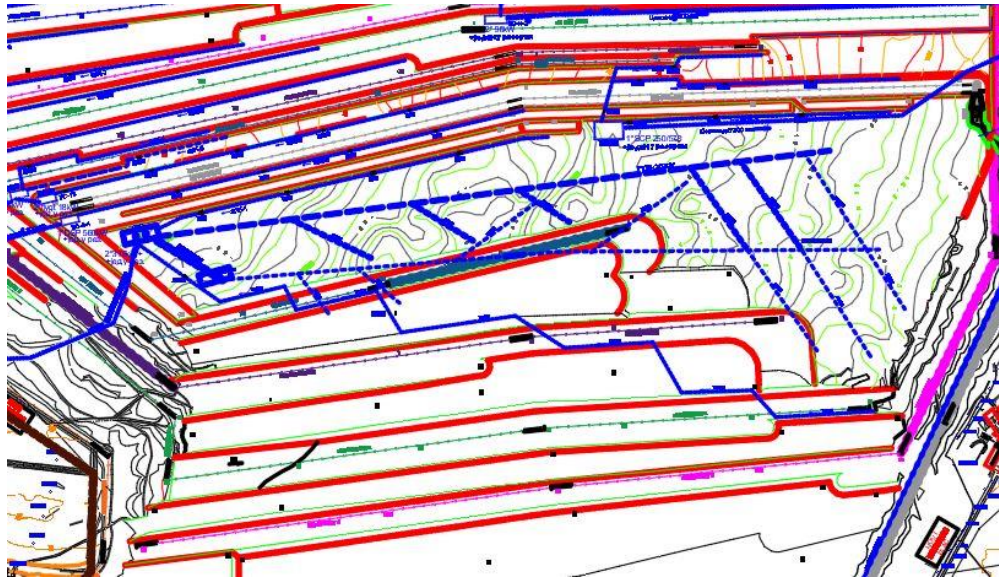
- Затезна чврстоћа (EN ISO 10319) 20/20 kN/m
- Издужење (EN ISO 10319) 65/65%
- Отпорност на статичко пробијање (EN ISO 12236) 4.000 N (4 kN)
- Отпорност на динамичко пробијање (EN ISO 13433) 12 mm
- Карактеристична величина отвора (EN ISO 12956) 70 μm
- Попустљивост воде (EN ISO 11058) 65 mm/s
- Проток воде (EN ISO 11058) 65 l/m²/s
- Маса по јединици површине (EN ISO 9864) 300 gr/m²
- Дебљина (EN ISO 9863-1) min 3 mm.

За попречне дренажне канале може се користити ролна геотекстила ширине 3 m, док се за главне дренажне канале може користити ролна геотекстила ширине 6 m.

3.3. Техничко решење заштите одлагалишта од површинских вода и подземних вода у 2023. години



Слика 3. Карта Србије (лево) и сателитски (google earth) приказ (десно) површинског копа Дрмно



Слика 4. Шематски приказ дренажних канала у подини одлагалишта који се изводи у 2023. години (зумиран детаљ са Сlike 3)

4. Закључак

У циљу заштите унутрашњег одлагалишта јаловине од површинских и пре свега прилива подземних вода, потребно је извршити израду дренажних канала у подини површинског копа Дрмно, запуну канала ломљеним каменом и покривање иберлауфа геотекстилом. Дренажни канали прихватају воду и системски одводе до најниже тачке тј. водосабирника одакле се исте испумпавају ван контуре копа. Како се фронт радова и сама подина помера напредовањем рударских радова тако је неопходно константно радити нову мрежу главних дренажних канала (ГДК) и мрежу попречних дренажних канала (ПДК) уз измештање припадајућих водосабирника и пратеће инфраструктуре.

Литература

- [1] Павловић В., Шубарановић Т., Поломчић Д., (2012.), Системи одводњавања површинских копова, Универзитетски уџбеник, стр. 522, ISBN: 978-86-7352-244-9, COBISS.SR-ID 195341324, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, Београд
- [2] Допунски рударски пројекат површинског копа Дрмно за капацитет од 12*106 тона угља годишње - Технички пројекат заштите копа од вода, Рударско-геолошки факултет 2018.
- [3] Технички рударски пројекат заштите П.К. Дрмно од подземних и површинских вода за период од 2022 до 2024. године, ОЦ Пројект, 2023.



HEAVY METALS (ZN, CU, PB) IN LIGNITE AND SOIL OF KOSTOLAC-KOVIN AND KOLUBARA COAL BASIN, SERBIA - COMPARATIVE ANALYSIS WITH SELECTED NEIGHBORHOOD SOIL AND CITIES IN SERBIA

TEŠKI METALI (ZN, CU, PB) U LIGNITU I TLU KOSTOLAČKO-KOVINSKOG I KOLUBARSKOG UGLJONOSNOG BAŠENA, SRBIJA - UPOREDNA ANALIZA SA NEPOSREDNOM OKOLINOM LEŽIŠTA I ODABRANIM GRADOVIMA SRBIJE

Vučković B.¹

Abstract

The Kostolac-Kovin coal basin, with an area of 320 km², with 5 separate layers of coal and with a total of about 5.7B tons of geological resources and reserves, represents an exceptional potential for coal production in Serbia, gave 9M t/annually. Also, the Kolubara coal basin with an exploitable area of about 200 km², with 3 separate coal layers and with a total of about 4.1B tons of geological resources and lignite reserves, represents a proven potential for coal production in Serbia, giving 30M t/annually. In total, we own nearly 10B tons of geological resources and lignite reserves in both coal mining areas. The coal resources listed in this way are not fully exploitable, but they represent potential for consideration. In this paper, we deal with the geochemical characteristics of coal seams and perform a comparative analysis of coal affectation on the environment. With a large number of analyzes of HM² from coal and top soil, we analyze the horizontal distribution of Zn, Cu and Pb in the coal layers, as well as comparative analyzes of the top soil of numerous nearby or distant localities. What we as authors and you as readers are most interested in is whether heavy metals from coal contaminate the accompanying sediments above and around the coal seams in the shown deposits. Also, we provide selected examples of the presence of HM in the soil of numerous nearby villages and certain towns in Serbia in order to compare with the concentrations in our lignite. This issue is looked into in detail in this paper.

Keywords: lignite, heavy metals, concentrations

Apstrakt

Kostolačko-Kovinski ugljonosni basen sa površinom od 320 km², sa 5 zasebnih slojeva uglja i sa ukupno oko 5,7 B tona geoloških resursa i rezervi lignita predstavlja izuzetan potencijal ugljarske proizvodnje u Srbiji. Godišnja proizvodnja lignita iznosi 9 Mt. Takođe, Kolubarski ugljonosni basen sa eksploatabilnom površinom od oko 200 km², sa 3 zasebna ugljena sloja i sa ukupno oko 4,1 B tona geoloških resursa i rezervi lignita predstavlja dokazani potencijal ugljarske proizvodnje u Srbiji. Godišnja proizvodnja iznosi 30 Mt. Ukupno posedujemo skoro 10 Bt geoloških resursa i rezervi lignita u oba ugljarska područja. Ovako navedeni resursi uglja nisu u celosti eksploatabilni, ali predstavljaju potencijal za razmatranje. Ovim radom bavimo se geohemijskim karakteristikama ugljenih slojeva u oba ugljena basena i vršimo uporednu analizu uticaja uglja na životnu sredinu. Sa velikim brojem analiza TM³ iz uglja i tla vršimo analizu horizontalne distribucije Zn, Cu i Pb u ugljenim slojevima, ali i uporedne analize sa tlo brojnih bližih ili daljih lokaliteta. Ono što nas najviše zanima jeste - da li teški metali iz uglja zagađuju prateće sedimente iznad i oko ugljenih slojeva na prikazanim ležištima.

¹ Mr Bogoljub Vučković, dipl. inž. geologije, EPS a.d., RB Kolubara, Projekt Lazarevac; bogoljub.vuckovic@eps.rs;

² HM - heavy metals

³ TM - teški metali

Takođe, dati su odabrani primere prisustva TM u tlu brojnih obližnjih sela i pojedinih gradova u Srbiji u cilju uporedbe sa koncentracijama u našem lignitu. U radu je detaljno obrađena ova problematika.

Ključne reči: lignit, teški metali, koncentracije

1. General information

1.1. Kostolac-Kovin

Generally, the coal basin is located in eastern Serbia, on 60 km east of Belgrade, between Velika Morava and Mlava rivers, which flow into the Danube in that area (Figures 1 and 2).



Figure 1: General geographical position of the Kostolac-Kovin and Kolubara coal basin, red circles - position of the lignite basins

It is divided into two parts by the Danube - to the south is the Kostolac Basin, and to the north of the Danube is the Kovin Basin (Figure 2). Geological explorations began in 1941. and continues to this day. In total, 3,200 boreholes were drilled in last 80 years, i.e., 275,000 m of drilling (Figure 2). The mentioned 5 coal 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 coal resources for all 5 coal seams yielded about 5.75 B t of coal.

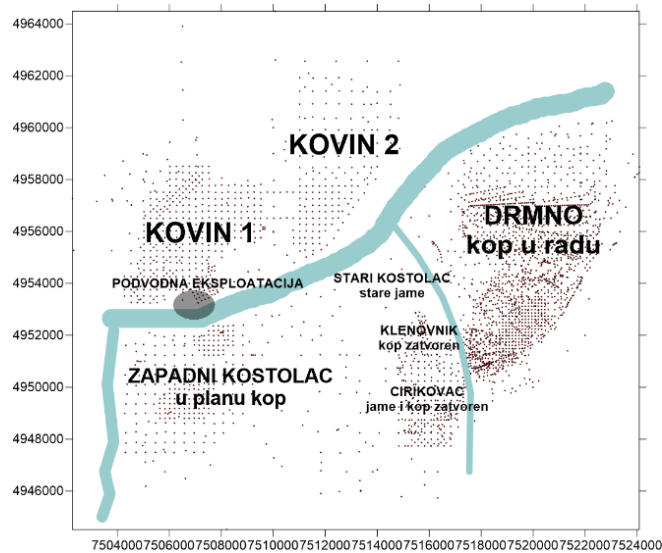


Figure: General overview of exploration wells (black dots) for the period 1941-2022. years in the Kostolac-Kovin coal-bearing basin, blue thick line – river Danube, blue thin line left – river Velika Morava, blue thin line center – river Mlava, gray circle - underwater mining of Kovin lignite

1.2. Kolubara

The coal basin is located in western Serbia, on 60 km southwest of Belgrade, in Kolubara river basin, which flows into the Sava River (Figures 1 and 3).

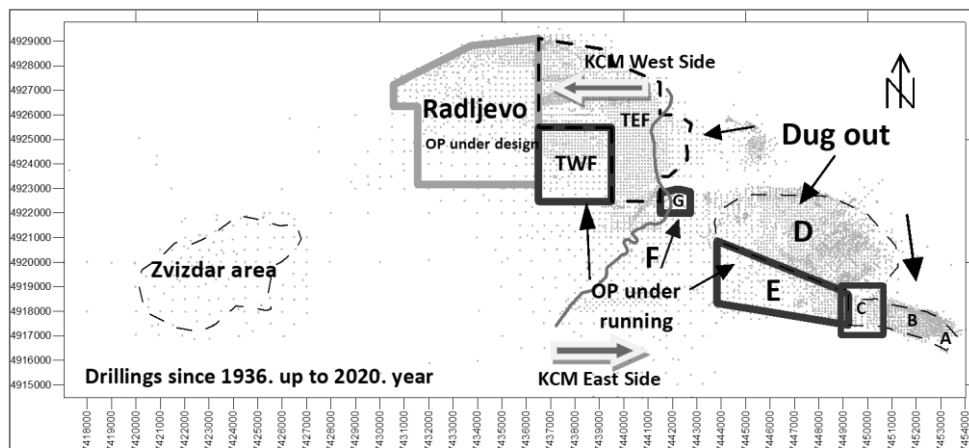


Figure 3: KCM¹ operational area, drill-holes since 1936. year; total >7,460 holes, e.g., 605,000 m of core drilling; curved line – river Kolubara divide area on East and West side

Whole period of geological surveys from 1936. up to 2022. in the geological and mining aspects is very successful. As a result, about 4,1B t of geological lignite reserves and resources were explored, as well as additional few hundred million m³ resources of non-metallic mineral raw materials. Coal exploration and exploitation began in the eastern part of the basin, where it is still ongoing, but is slowly moving to the western part of the basin, where it is becoming more important.

¹ KCM - Kolubara Coal Mines

2. Geochemistry of lignite, accompanying sediments and top soil in the basin areas

Numerous analyzes were taken to determine the quality of lignite, as well as numerous others for geotechnical and hydrogeological purposes. In the last ten years, special attention has been paid to the ecological characteristics of lignite, and the contents of HM have also been determined. Apart from coal, samples were also taken from all sediments in the horizontal and vertical profile of the deposit; as well as from the soil above the Drmno deposit and from gravel from the wider area [34-40, 42].

2.1. HM Horizontal distribution

2.1.1. Kostolac-Kovin top soil - Zn, Cu, Pb horizontal distribution

Based on 30 samples were taken from OP Drmno top soil in 2015/2020. (Figure 5) [34-40, 42].

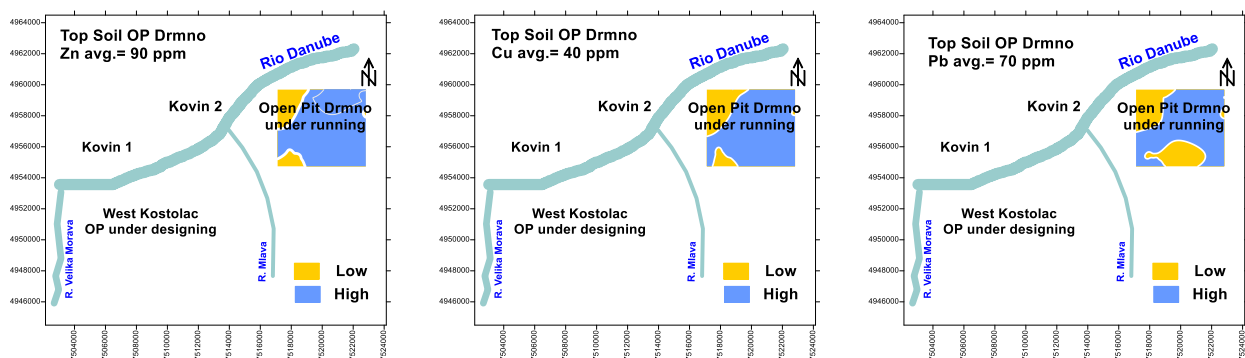


Figure 5: General view of the horizontal distribution of Zn, Cu and Pb in the top soil of OP Drmno of the Kostolac coal-bearing basin; blue – increased values, yellow – decreased values

It is easy to spot that Zn (90 ppm) and Pb (70 ppm) increased background values in top soil in front of active OP Drmno (Figure 5) is opposite to central Serbia background where is 48 and 40 ppm, respectively. Opposite of that, Cu background value of 40 ppm is barely higher than 30 ppm in central Serbia.

2.2. Kostolac-Kovin coal beds - Zn, Cu, Pb horizontal distribution

For the laboratory analysis of HM, samples were taken separately from the I, II and III coal layers; as well as from the ashes after burning the same samples. A total of 155 samples were taken from coal and 45 from ash. A total of 22 chemical elements were analyzed. Here is an overview of three. It can be concluded that there is a certain lateral zonation of the distribution of Zn, Cu and Pb (ppm) in such a way that in the area of the Drmno deposits there are lower, and in the area of West Kostolac and Kovin, elevated HM values (Figure 6) [34-40, 42].

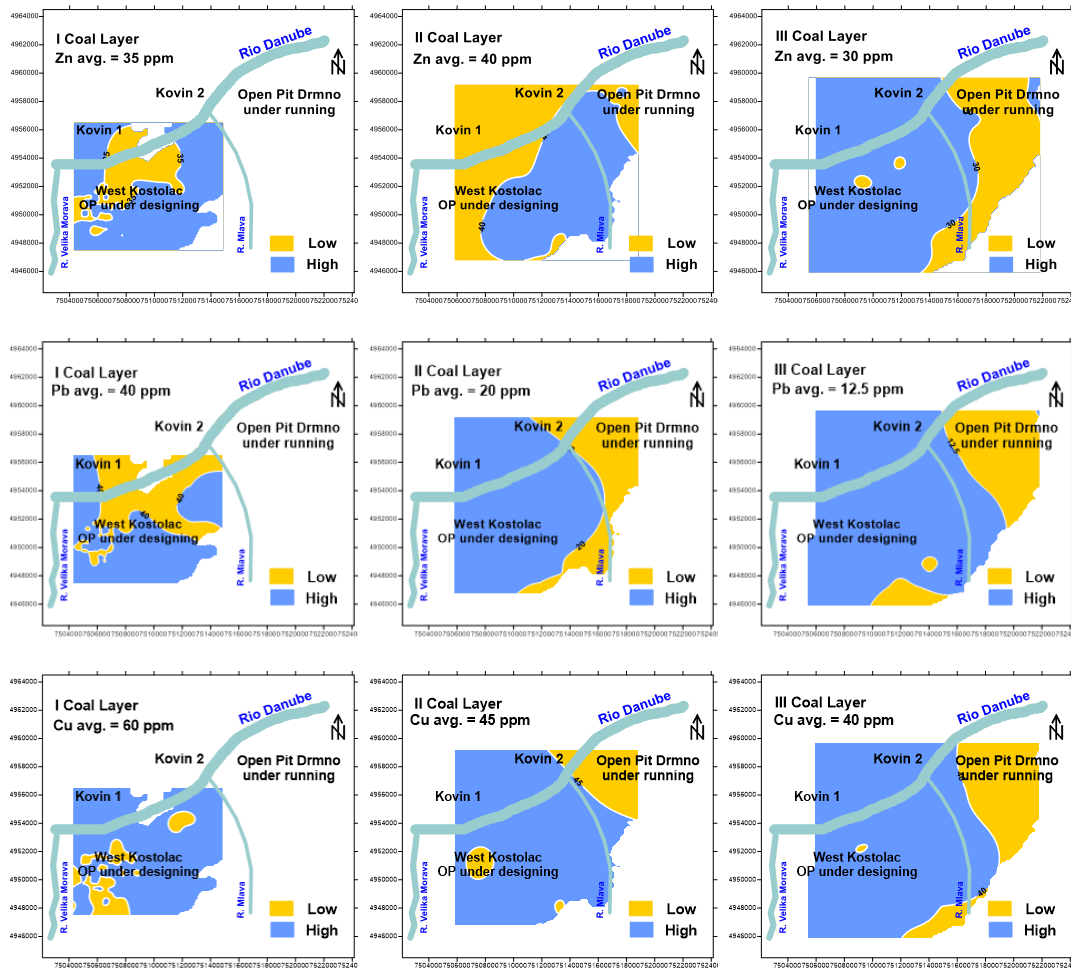


Figure 6: General view of the horizontal distribution of Zn, Cu and Pb in the I, II and III coal seams of the Kostolac-Kovin coal-bearing basin; blue – increased values, yellow – decreased values

It is easy to spot that Zn and Pb especially reach values significant lower VS top soil in same area which suggest that the coal beds are not reservoirs of HM and do not pollute top soil or other sediments. Cu contents are very similar to contents in top soil.

2.3. Kolubara top soil – Zn, Cu, Pb horizontal distribution

Based on 28 samples taken from neighborhood villages top soil in 2016/2018. (Figure 7) [31-33, 41].

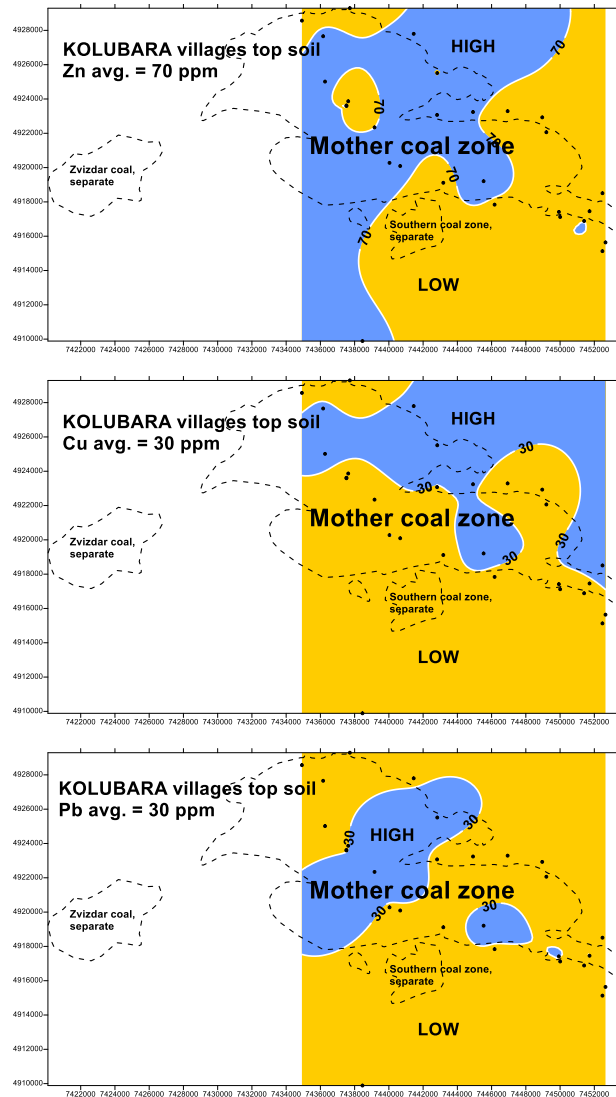


Figure 7: General view of the horizontal distribution of Zn, Cu and Pb in the top soil of villages of the Kolubara coal-bearing basin; black dots – sampling points, blue – increased values, yellow – decreased values

It is easy to spot that Cu (30 ppm) and Pb (30 ppm) background values in top soil of 28 villages/locations nearby or distanced of active open pits (Figure 7) are lower opposite to central Serbia background where is 30 and 40 ppm, respectively. Opposite of that, Zn background value of 70 ppm is slightly higher than 48 ppm in central Serbia. There is no enough data for coal geochemistry and interpretations.

2.4. HM Vertical distribution

2.4.1. Kostolac-Kovin coal beds and sedimentary suite – Zn, Cu, Pb vertical distribution

A large number of individual samples were taken in the vertical profile and 17 lithological members were laboratory tested for 22 chemical elements, including the surface humus layer, gravel, coal layers and all types of clay and sand. A presentation of the vertical distribution of Zn, Pb, Cu is given (Figure 8) [34-40, 42].

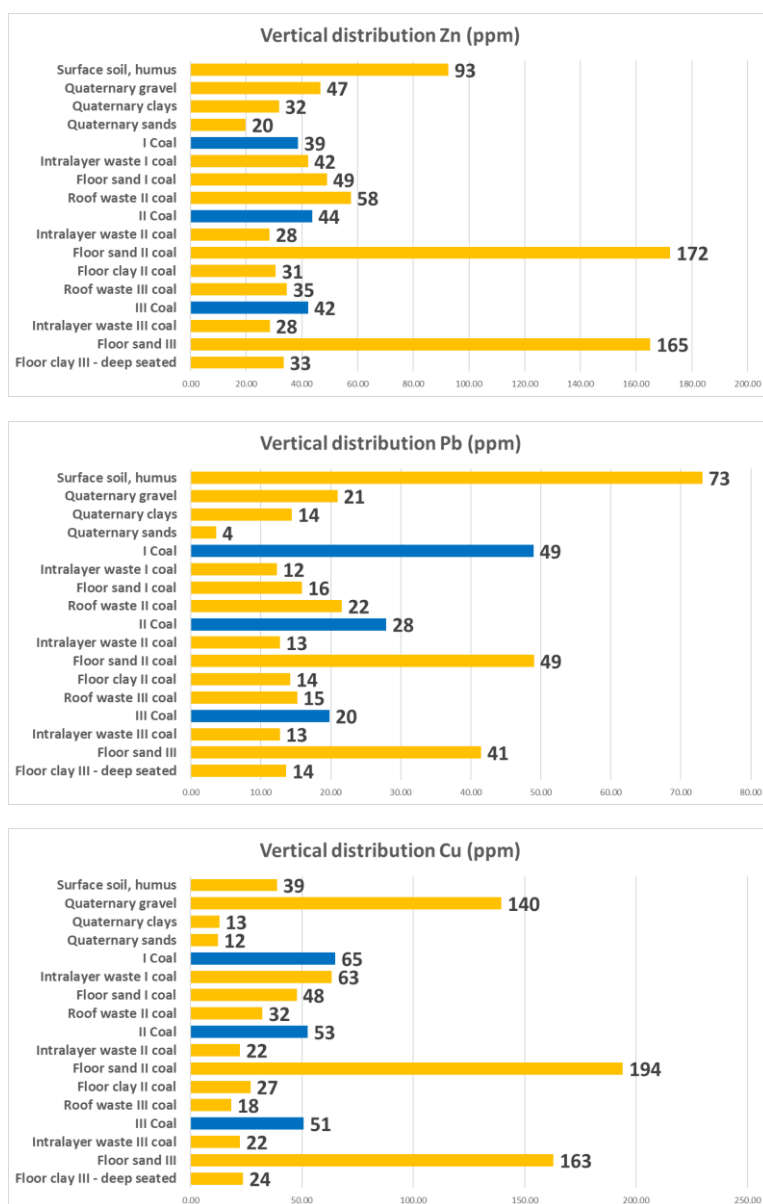


Figure 8: General view of the vertical distribution of Zn, Pb and Cu in the lithological suite of the Kostolac-Kovin coal-bearing basin; blue - coal, yellow – waste

The conclusion is that the contents of Zn, Pb and Cu in coal are generally significantly lower than those registered in the sediments of the waste sediments at all levels, starting from the surface of the terrain to those in the deepest levels. This speaks in favor of the fact that the geochemical conditions during deposition, and subsequently diagenesis of coal, were different for coal compared to sediments. That is, the plant matter that formed the coal layers did not contain increased concentrations of HM, and this is reflected in their contents in the coal. Also, in the process of coal diagenesis there was no yield of HM in coals.

The general conclusion is that the coals with their concentrations of Zn, Pb and Cu do not pollute the sediments below or above the coal beds, and they also do not pollute the gravel or the productive humus layer of the soil that are at the top of the sedimentation sequence of this area.

3. Comparative presentation of the content of Zn, Cu and Pb in the lignite of the named basins and selected examples – Neighborhood and Serbia

For easier understanding of the content of these HM, we performed a comparative analysis of the content of HM in the lignite's of the Kostolac – Kovin and Kolubara coal basins with selected examples from surrounding neighborhood of the deposits and numerous cities in Serbia [1-42].

3.1. Soil of the surrounding neighborhood of the deposits

It is often considered that coals are extremely "toxic" and that their burning leads to significant soil pollution throughout Serbia, Region, Europe and in the World scale. However, measured data on HM content in the soil of deposits neighborhood show a completely different picture. Namely, the contents of Zn and Pb are significantly higher in the neighborhood village, urban, recreational and industrial soil than in the coals of Kostolac and Kolubara deposits (Figure 9) [31-42].

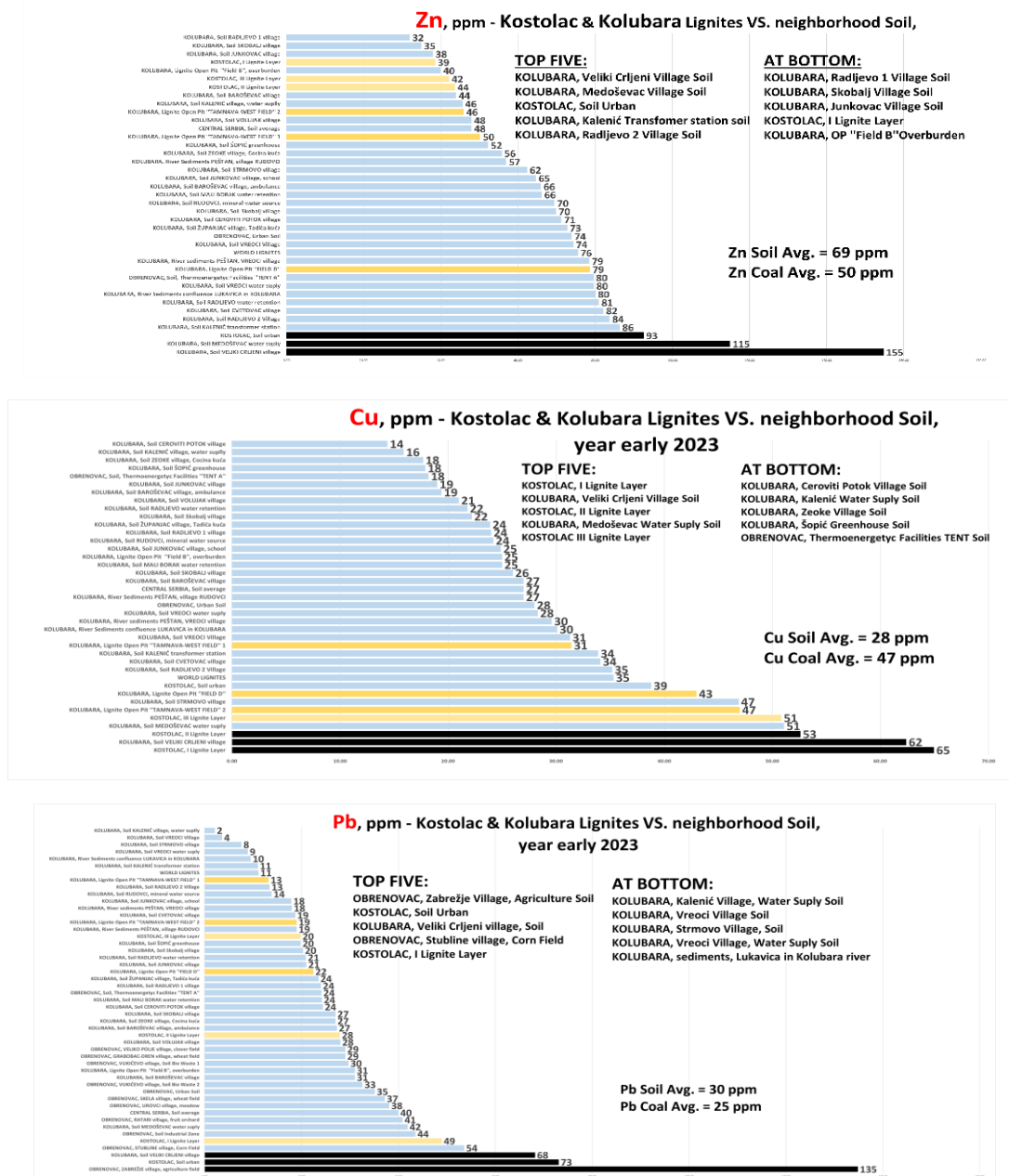


Figure 9: Content of Zn, Cu and Pb in neighborhood urban, recreational and industrial top soil; light blue - values in selected neighborhood soils, light yellow - I, II and III Kostolac coal, dark yellow – Kolubara TWF and Field D coal; black - the most polluted soils

Instead of that, Cu contents in lignite layers of both coal basins, show increased values opposite neighborhood soil. That is, because the Cu is extremely soluble and mobile in surface conditions, so the higher amounts are leached away. Anyway, still seat bellow MDK of Serbian legislation.

3.2. Soil of the urban, recreational and industrial zones – selected cities of Serbia

It is often considered that coals are extremely "toxic" and that their burning leads to significant soil pollution throughout Serbia, Region, Europe and in the World scale. However, measured data on HM content in the soil of cities throughout Serbia show a completely different picture. Namely, the contents of Zn, Pb and Cu are significantly higher in the urban, recreational and industrial soil of cities throughout Serbia than in the coals of Kostolac-Kovin or Kolubara Coal Mines (Figure 10) [1-42].

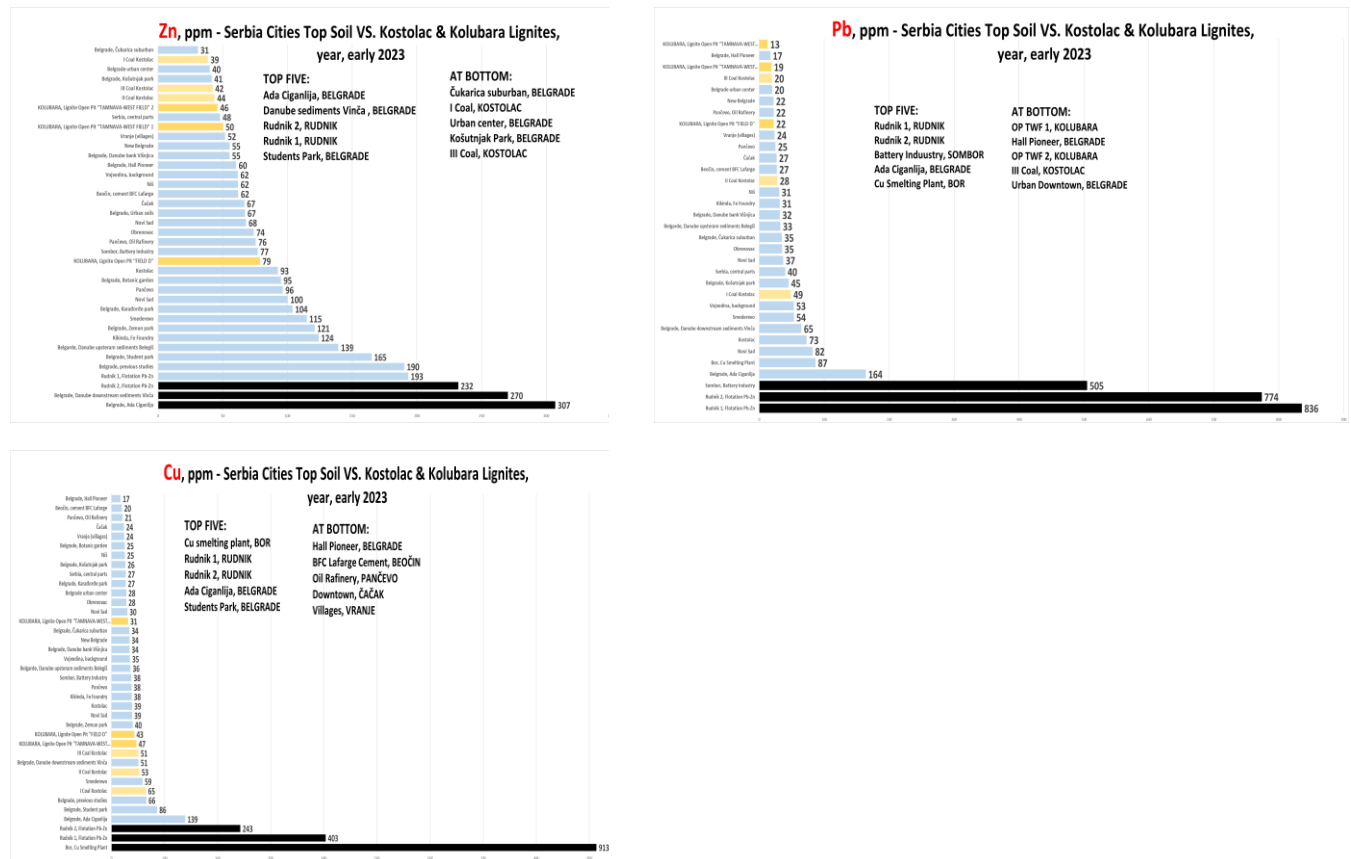


Figure 10: Content of Zn, Pb and Cu in urban, recreational and industrial top soil in Serbian cities; light blue - medium values in selected Serbian soils, light yellow - I, II and III Kostolac coal, dark yellow – Kolubara TWF and Field D coals, black - the most polluted soils

For example, from Figure 10, it can be seen that the top soil in the popular recreational area of Ada Ciganlija in Belgrade contains significantly higher concentrations of Zn, Pb, Cu than the rest of the examined zones, as well as the coal of the Kostolac-Kovin basin. A typical example is Zn and Pb, which shows even extremely low concentrations compared to other locations on the diagram.

4. Conclusion

The lignite of the Kostolac-Kovin and Kolubara Coal Basins generally has low concentrations of heavy metals, compared to nearby villages and selected Serbian cities top soils. In this work, special attention is paid to the content of Cu, Pb and Zn and their horizontal and vertical distribution. Also, a comparative analysis was performed with top soil in a large number of nearby villages and cities in Serbia. Based on this, it can be concluded that the concentrations of the mentioned HM are significantly higher in the top soils of villagers, urban, recreational and industrial zones of many cities in Serbia which are

significantly far from this deposit.

So, we conclude - the coal from the both deposits itself does not in any way pollute the surrounding soil that is below or above the deposit. The contents of heavy metals in the top soil of the mentioned cities in Serbia are mainly a consequence of the geological composition and geochemical background of that region, as well as anthropogenic/industrial influence.

Literature

- [1] Arsić M., (2019): Teški metali u zemljištu potencijalnih lokaliteta za proizvodnju duvana u vranjskoj kotlini, Magistarski rad, Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu
- [2] Bojković M., Savić C., (2017): Izveštaj o ispitivanju zemljišta br 2611100503 JKP regionalna deponija Pirot, Anahem laboratorija, Beograd
- [3] Boushka & Pesheck, (1999): Poređenje sadržaja hemijskih elemenata u svetskim lignitima sa lignitima iz North Bohemian Basin (NBB), Czech Republic - IJCG, No. 40
- [4] Branković S., Glišić R., Brković D., Đelić G., Simić Z., Rajčić V., Sarić R., Jovanović M., (2021): Sadržaj metala u zemljištu i odabranim biljkama na jalovištu flotacije Rudnik d.o.o. Rudnik, "XXVI Savetovanje o biotehnologiji, 2021, str 201-207 DOI: 10.46793/SBT26.501B
- [5] Brkušanić I., Jovanović G., (2016): Izveštaj o ispitivanju zemljišta RB Kolubara, Zaštita na radu i zaštita životne sredine Beograd, Laboratorija za zaštitu na radu i životne sredine
- [6] Cvetković Ž., (2013): Mineralni i hemijski sastav čestica u atmosferi zone kolubarskog basena i uticaj na životnu sredinu, Doktorska disertacija, RGF, Univerzitet u Beogradu
- [7] Čakmak D., Perović V., Saljnikov E., i dr., (2016): Stanje nepoljoprivrednog zemljišta industrijskih zona većih gradova u republici Srbiji sa aspekta biološkog i hemijskog kvaliteta, Institut za zemljište Beograd
- [8] Čujić M., (2016): Radionuklidi i teški metali u zemljištu u okolini termoelektrane Nikola Tesla u Obrenovcu: Faktori koji utiču na njihovu migraciju - prostorna distribucija - procena radijacionog uticaja na živi svet, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Fakultet za fizičku hemiju
- [9] Ivanković N., Kašanin Grubin M., Brsecki I., Vukelić N., (2010): Possible sources of heavy metals in urban soil: example from Belgrade, Serbia - journal of environmental protection and ecology 11, No 2, 455-464
- [10] Kezić V., Čamprag Sabo N., Mamužić Kukić Z., (2012): Izveštaj o ispitivanju zemljišta na teritoriji grada Subotice, Zavod za javno Zdravlje Subotica
- [11] Kisić D., Miletić S., Radonjić V., Radanović S., Filipović J., Gržetić I., (2013): Prirodna radioaktivnost uglja i letećeg pepela u termoelektrani Nikola Tesla B, Hem. Ind. 67 (5) str 729-738
- [12] Kraljević D., (2015) - Modeliranje raspoloživosti teških metala u tlima Panonskog bazena - Master rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet
- [13] Kuzmanoski M., Todorović M, Aničić Urošević M, Rajšić S., (2014): Heavy metal content in urban parks of Belgrade, Hemijska industrija 68 (5), p. 643-651
- [14] Manojlović M. i dr., (2019): Mikroelementi i teški metali u organskim materijalima koji se koriste za podizanje plodnosti zemljišta, Letopis naučnih radova, Vol. 43, No 1 1+16, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu,
- [15] Marić V., i dr., (2016): Izveštaj o ispitivanju zemljišta na teritoriji Kruševca, Zavod za javno zdravlje Kruševac
- [16] Mihailović A., Budinski-Petković Lj., Popov S., Ninkov J., Vasin J., Ralević N.M., Vučinić Vasić M., (2015): Spatial distribution of metals in urban soil of Novi Sad, Serbia: GIS based approach - Journal of Geochemical Exploration, 150, p. 104-114

- [17] Mihailović A., (2015): Fizičke karakteristike zemljišta i distribucija teških metala na gradskom području Novog Sada - Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za fiziku
- [18] Mijakovac M., Bekrić D., Knežević G., (2022): Izveštaj o analizi zemljišta Bor 2022, Institut za zaštitu na radu a.d., Laboratorija za ispitivanje, Novi Sad
- [19] Nikolić Đ., Milošević N., Živković Ž., Mihajlović I., Kovačević R., Petrović N., (2011): Multi-criteria analysis of soil pollution by heavy metals in the vicinity of the Copper Smelting Plant in Bor (Serbia) - J. Serb.Chem. Soc. 76 (4) 625–641 (2011) UDC 69.04+669.3:504.53.054+669.4/.5(497.11) JSCS–4146
- [20] Papić M., Vuković M., (2015): Multivariate analysis of contamination of alluvial soils with heavy metals in Čačak, Serbia, Romanian Journal of Physics · September 2015, 60(7):1151-1162
- [21] Pavlov J., Bekrić D., Knežević G., (2018): Izveštaj o analizi zemljišta Obrenovac 2018, Institut za zaštitu na radu a.d., Laboratorija za ispitivanje, Novi Sad
- [22] Pavlov J., Bekrić D., Knežević G., (2018): Izveštaj o ispitivanju zemljišta i sedimenata, opština Vladičin Han, Institut za zaštitu na radu a.d. Novi Sad, Departman za ekotoksikološka ispitivanja, Laboratorija za ispitivanja
- [23] Pavlović P., Sawidis T., Breuste J., Kostić O., Čakmak O., Đorđević D., Pavlović D., Pavlović M., Perović V., Mitrović M., (2021): Fractionation of potentially toxic elements (PTEs) in urban soils from Salzburg, Thessaloniki and Belgrade: An insight into source identification and human health risk assessment - International Journal of Environmental Research and Public Health 2021, 18, 6014, MDPI
- [24] Pavlović D., Pavlović M., Čakmak D., Kostić O., Jarić S., Sakan S., Đorđević D., Mitrović M., Gržetić I., Pavlović P., (2018): Fractionation, mobility and contamination assessment of potentially toxic metals in urban soils in four industrial Serbian cities - Archives of Environmental Contamination and Toxicology
- [25] Petrović J., (2019): Sadržaj elemenata u poljoprivrednom zemljištu - uticaj primenjenih agrotehničkih mera, Master rad, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Nišu, Departman za hemiju
- [26] Pucarević M., Stojić N., Prokić D., Linda Mitić D., Štrbac S., i dr. (2021): Studija o oceni kvaliteta i proceni stepena ugroženosti zemljišta, Monitoring nepoljoprivrednog zemljišta u AP Vojvodini JN OP 9/2021
- [27] Savić D., Nišić D., Malić N., Dragosavljević Z., Medenica D., (2018): Research on Power Plant Ash Impact on the Quality of Soil in Kostolac and Gacko Coal Basins - Minerals 2018, 8, 54; doi:10.3390/min8020054
- [28] Simić M., i dr. (2020): Izveštaj o ispitivanju zemljišta Bečej, Institut Vatrogas Novi Sad
- [29] Sekulić P., Bogdanović D., Pucarević M., Milošević N., Vasin J., Šeremešić S., (2006) - Projekat kontrola kvaliteta životne sredine na teritoriji AP vojvodine, zemljište industrijskih zona, Naučni Institut za ratarstvo i povrtarstvo Novi Sad, Zavod za zemljište, agroekologiju i đubriva, Novi Sad
- [30] Stamenković B., (2017): Određivanje teških metala u zemljištu sa dečijih igrališta, Master rad, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Nišu, Departman za hemiju
- [31] Stefanović P., Radovanović P., Perković B., i dr., (2008): Laboratorijske analize uglja reprezentativnih uzoraka uglja Kolubarskog basena, Izveštaj NIV-ITE 369, Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd
- [32] Tomić M., (2022): Modeliranje zagađenja zemljišta u zoni rudnika sa površinskom eksploatacijom lignita, primenom daljinske detekcije i GIS-a, XIII Simpozijum sa međunarodnim učešćem Rudarstvo 2022, Vrnjačka Banja, Srbija,
- [33] Tepić M., Pergal M., (2018): Izveštaj o ispitivanju br. 24.1-0603/18-03 RB Kolubara, Zaštita na

radu i zaštita životne sredine Beograd, Laboratorija za zaštitu na radu i životne sredine

[34] Vučković B., Bogdanović V., Radovanović B. i dr., (2011): Projekat geoloških istraživanja uglja ležišta Drmno kostolački ugljonosni basen - JP EPS, PD RB Kolubara, Ogranak Projekt, Lazarevac

[35] Vučković B., Radovanović B., Bukvić B. i dr., (2018): Projekat geoloških istraživanja uglja ležišta "Drmno" kostolački ugljonosni basen - JP EPS, PD RB Kolubara, Ogranak Projekt, Lazarevac

[36] Vučković B., Radovanović B., Beljić-Popić N. i dr., (2021): Projekat primenjenih detaljnih geoloških istraživanja na području "Zapadnog Kostolca" - JP EPS, Ogranak RB "Kolubara", Organizaciona celina Projekt, Lazarevac

[37] Vučković B., Radovanović B., Životić D., (2022): Mikroelementi u kvartarnim sedimentima i lignitu Kostolačko-Kovinskog ugljonosnog basena, istočna Srbija – odabrani primeri, XVIII Kongres Geologa Srbije 2022, knjiga izvoda.

[38] Vučković B., Radovanović B., Matić V., Glamočanin L., Radić B., Eraković K., Životić D., (2022): Rezultati geoloških istraživanja lignita kostolačko-kovinskog ugljonosnog basena – geološke i morfostrukturne karakteristike - XVIII Kongres Geologa Srbije 2022, knjiga izvoda.

[39] Vučković B., Milinković I., (2023): Horizontal and vertical distribution of heavy metals (Cu, Pb, Zn) in lignites of Kostolac-Kovin coal basin, eastern Serbia - XIV Simpozijum sa međunarodnim učešćem Rudarstvo 2023, 30 May-02. June, Zlatibor, Serbia, p. 124-133, ISBN 978-86-80420-27-1, COBISS.SR-ID116330505

[40] Vučković B., Dimitrijević B., (2023): Heavy metals in lignite and soil of Kostolac-Kovin coal basin, eastern Serbia - comparative analysis with selected examples – 9th International Conference MEP 23, 24-27. May, Soko Banja, Serbia

[41] Vučković B., Dimitrijević B., (2023): Beyond 2020 - Geology explorations and open pit activities affectation in reclamation designing in Kolubara Coal Mines (KCM) Serbia, new considerations – XVII International Conference of the Open and Underwater Mining of Minerals, 18-22 September 2023, Varna, Bulgaria

[42] Životić D., Cvetković O., Vulić P., Gržetić I., Simić V., Ilijević K., Dojčinović B., Erić S., Radić B., Stojadinović S. and Trifunović S. (2019): Distribution of major and trace elements in the Kovin lignite (Serbia), *Geologia Croatica*, 2019 | 72/1 | 51–79 |



ISKUSTVA PRIMENE DISKONTINUALNE MEHANIZACIJE PRI EKSPLOATACIJI UGLJA NA ISTOČNOM DELU RUDARSKOG BASENA KOLUBARA

EXPERIENCE OF APPLYING DISCONTINUOUS MACHINES FOR COAL MINING IN THE EASTERN PART OF THE KOLUBARA MINING BASIN

Živanović M.¹

Apstrakt

Glavni način eksploatacija uglja na površinskim kopovima se obavlja kontinualnim sistemima, rotornim bagerima i bagerima vedričarima koji predstavljaju visokokapacitetne mašine. Na Istočnoj strani Kolubarskog ugljenog basena na delu bivšeg površinskog kopa Polje D, postoji deo ležišta glavnog ugljenog sloja koji je ostao neotkopan prilikom otkopavanja ugljenog sloja rotornim bagerima, i koji je ostao neotkopan prilikom prelaska otkopne mehanizacije na Polje E. Zbog same tehnologije rada i otežanih uslova na Polju E, zbog toga što glavni ugljeni sloj strmo zaleže, otežani su i uslovi za otkopavanje uglja, samim tim i ostvarenje planirane proizvodnje uglja. Zbog toga što su sve veće potrebe za ugljem za potrebe TENT-a, i za široku potrošnju za građane, pristupilo se uključanju pomoćne mehanizacije pri otkopavanju uglja zbog povećanja proizvodnje uglja. U zoni koja je interesantna, i u kojoj je ostalo veća količina uglja pristupilo se otkopavanju uglja iz glavnog ugljenog sloja diskontinualnom mehanizacijom i odvozom otkopanog materijala kamionima u Separaciju za dalju preradu, široku potrošnju, ili potrebe TENT-a.

Ključne reči: sistem eksploatacije, kontinualni sistemi, Polje E, ugalj, diskontinualna mehanizacija

Abstract

The main method of coal mining on opencast mines is carried out by continuous systems: bucket wheel excavators and bucket chain excavators, which are high-capacity machines. On the eastern side of the Kolubara coal basin, on the former opencast mine Field D, there is a part of the main coal seam that remained unmined during the excavation of the coal seam with bucket wheel excavators, and which remained unmined when the equipment got moved to Field E. Due to the technology and difficult conditions in Field E, and due to the fact that the main coal seam lies steeply, the conditions for coal mining are also difficult, and thus the realization of the planned coal production. Because of the necessity for coal for the needs of the thermal power plant Nikola Tesla (TENT), and for general consumption by citizens, using auxiliary equipment for coal mining was needed for the increase in coal production. In the zone that is interesting, and where a larger amount of coal remains, coal was mined from the main coal seam with discontinuous machinery and the excavated material was transported by trucks to Separation for further processing, wide consumption, or the needs of TENT.

Keywords: mining system, continuous systems, Field E, coal, discontinuous equipment

1. Uvod

Kolubarski ugljonosni basen se nalazi jugozapadno od Beograda i predstavlja najveći ugljeni basen u Srbiji. Prostire se na zapadu do Koceljeve, na istoku do Rudovaca i Prkosave, na severu do Stepojevca i na jugu do Lajkovca. Obuhvata srednji i donji tok reke Kolubare i njenih pritoka: Lukavice, Peštana,

¹ Živanović Miloš, A.D. EPS, RB Kolubara, Lazarevac

Turije i Beljanice na istočnoj i Tamnave sa Ubom i Kladnice na zapadnoj strani. Reka Kolubara deli kolubarski ugljonosni basen na zapadni i istočni deo.

Kolubarski lignitski basen je nastao taloženjem i karbonizacijom biljne mase u močvarama i jezerima tercijera. Zauzima delove teritorija opštine Lazarevac, Lajkovac, Ub i Koceljeva, kao i manje delove teritorija opština Arandelovac, Barajevo i Obrenovac, ukupne površine oko 600 km² od čega površinama pod ugljem, odnosno prostorima sa istraženim geološkim rezervama uglja pripada samo 167 km².

Ležište se nalazi u krajnjem jugoistočnom obodnom delu ugljonosnog basena, površine oko 12.9 km² (Slika 1). Sa severne strane graniči se sa delom ležišta i bivšem površinskim kopom Polje D; sa istočne je ležište bivšeg Polja B/C; na zapadu su ležišta Polje F i Šopić; u krajnjem severozapadnom delu dodiruje se sa ležištem Polje G. Jedino je sa južne strane okontureno granicom prirodnog isklinjenja ugljenih slojeva. Spajanje površinskog kopa Polje B/C i Polja D izvršeno je u oktobru 2022. godine, nakon čega je zvanično otpočeo radni vek površinskog kopa Polje E.

U zadnje dve godine javile su se poteškoće na sistemima koji su zaduženi za eksploataciju uglja. Jedan od glavnih otežavajućih okolnosti je strmo zaleganje ležišta glavnog ugljenog sloja Osnovni problem je količina otkrivke koja se mora otkopati da bi se otkrila projektovana količina uglja. Ukupno računajući proizvodnju otkrivke i uglja na Polju B/C i Polju D za 2021. godinu koeficijent otkrivke je 2,43 m³/t (17.644.115 m³, 7.277.434 t) dok je za 2022. koeficijent otkrivke 4,99 m³/t (22.548.644 m³/4.520.643 t), što pokazuje da je u narednim godinama eksploatacije povećani trend rasta količina otkrivke koju bi se trebalo otkopati da bi se otkrio ugalj. Drugi problem su podzemne vode u otkrivci koje se javljaju iznad glavnog ugljenog sloja, a koje su ostale unutar otkrivke. U toj zoni se generalno javlja problem nosivosti tla, i automatski je nepristupačna za prolaz rotornih bagera. Oprema koja se nalazi na površinskom kopu Polje E ima dosta poteškoća da radi u toj sredini, pa se svakodnevno pristupa rešavanju tog problema kako postaviti sisteme i bagere da bi radili u toj sredini. Treći problem je nestabilnost južne kosine usled dejstva prisustva podzemnih voda i zbog blizine reke Peštan. Dva puta je došlo do klizanja materijala u toj zoni, prvo u avgustu 2022. godine, a drugi put u januaru 2023. godine, kada je došlo do ugrožavanja bezbednosti radnika i otkopne mehanizacije na površinskom kopu Polje E. Zbog svih navedenih situacija i stanja u prethodnom periodu došlo je do otežane proizvodnje uglja na površinskom kopu Polje E, i zbog toga se počelo za traganjem rešenja koji bi na neki način poboljšalo proizvodnju uglja na površinskom kopu Polje E.

Zbog potrebe održavanja energetske stabilnosti i proizvodnji električne energije u Republici Srbiji, kao i zbog toga što je bilo potrebno ispuniti veliku potražnju za ugljem za potrebe građana, kao i potrebe Toplane pristupilo se angažovanju diskontinualne mehanizacije za otkopavanje uglja. Transport otkopanog materijala vrši se kamionima do Suve Separacije, i dalje za široku potrošnju tj. potrebe građana, ili za potrebe TENT. Diskontinualna mehanizacija je postavljena da otkopava ugalj unutar granice bivšeg površinskog kopa Polje D, gde se otkopava deo glavnog ugljenog sloja.

Normalan rad svih kontinualnih sistema za eksploataciju jalovine i uglja na površinskom kopu Polje E, kao i na svim površinskim kopovima uglja, praktično je nemoguće zamisliti bez prisustva pomoćne mehanizacije. Mašine koje se najviše koriste na površinskim kopovima uglja su buldozeri, hidraulični bageri kašikari, cevopolagači, utovarači, mašine koje se koriste za čišćenje traka, kao i bageri dreglajni. Neke od ovih mašina se na nekim površinskim kopovima koristi kao osnovna otkopno-utovarna mehanizacija poput hidrauličnih bagera kašikara sa kašikama većih zapremina kao i bageri dreglajni, dok se na površinskim kopovima uglja koriste uglavnom za određene pomoćne radove. Svaka od ovih mašina svojim angažovanjem doprinosi neprekidnom radu kontinualnih sistema.



Slika 10. Položaj Kolubarskog ugljenog basena

2. Geologija ležišta i tehnologija eksploatacija kontinualnim sistemima na površinskom koku Polje E

2.1. Geologija ležišta

Glavni (donji) ugljeni sloj nalazi se na većoj dubini ispod površine terena. Kote krovine iznose od max 124 do min -138,2 m. Kote podine iznose od max 104,8 do min -197,1 m. Najdublji nivo podine registruje se u krajnjem severozapadnom delu ležišta; ka istočnom delu kote podine rastu dostižući svoj maksimum u krajnjem istočnom delu ležišta ka bivšim kopovima poljima D i C. Ovako posmatrani podinski ugljeni sloj poseduje odlike naglašene asimetrične sinklinale, sa severozapadnim najdubljim i spuštenim delom i istočnim znatno plićim. Po kraćoj osi (širini) zahvata celokupni produktivni deo prostora Polja E, formirajući centralni spuštenu deo, kao i južno i severno krilo sinklinale. U severnom krilu sinklinale, ugallj se u kontinuitetu prostire ka prostoru bivšeg Polja D, mereni padni uglovi povlate i podine podinskog ugljenog sloja iznose i preko 45° . U krajnjem južnom delu Polja E u južnom krilu sinklinale ugallj isklinjava i pojavljuje se na višim kotama. Kvalitet uglja na površinskom koku Polje E za glavni ugljeni sloj DTE srednja vrednost iznosi $DTE_{sr} = 9.118$ KJ/kg. Srednja količina vlage iznosi $W_{sr} = 43,60\%$, i srednja vrednost pepela iznosi $Ps_r = 13,41\%$.

Za deo ležišta koje se nalazi unutar kontura bivšeg Polja D kvalitet uglja je sledeći: za glavni ugljeni sloj DTE srednja vrednost iznosi $DTE_{sr} = 9.290$ KJ/kg, srednja količina vlage iznosi $W_{sr} = 47,28\%$, i srednja vrednost pepela iznosi $Ps_r = 13,19\%$,

Bilansne rezerve iznose za Polje E iznose 296.927.440 t, a vanbilansne rezerve iznose 131.969.670 t, što ukupno čini 428.897.110 t. DTE srednja vrednost iznosi 8.413 KJ/kg, količina vlage je 47,37%, a prosečna količina pepela je 12,76%. Iskorišćenje ležišta iznosi 72,2%.

2.2. Tehnologija eksploatacija kontinualnim sistemima na površinskom koku Polje E

Na površinskom koku Polje E na otkopavanju otkrivke aktivno je 7 sistema, na otkopavanju uglja aktivno je dva sistema, i jedan sistem dreglajna (10 EŠ i jedan Marion). Na površinskom koku Polje E otkopna oprema i oprema koja se koristi za odlaganje materijala otkrivke prikazana je u Tabeli 1.

Tabela 6. Mehanizacija na Polju E

Sistem	Bager	Odlagač	Samohodni transporteri
I BTO	SRs 1200x24/4+VR	A ₂ RsB3500x60+BRs	/
II BTO	SRs 1201x24/4+VR	A ₂ RsB3500x60+BRs	BRs1600(17,5+32,5)x15
III BTO	SRs 1200x24/4+VR	A ₂ RsB3500x60+BRs	/
IV BTO	SRs 1200x22/2+VR	/	/
V BTO	SchRs 1760 x32/5+VR	Ars1800/(14+33+60)x20	/
VI BTO	SRs 1200x24/4+VR	Ars 1600/(37+60)x18	/
VII BTO	SchRs 1400x28/3	PA 200 2200/2000	/
BTU	SchRs 630x25/6	/	BRs 1600/(28+50)x15
	SchRs C700	/	BRs 1200x29/32
BTS	SRs 1300x26/5+VR	/	BRs 1600/(28+50)x17

Eksploatacija otkrivke i uglja na površinskim kopu Polje E vrši se sa kontinualnim sistemima, a otkopavanje se vrši direktno rotornim bagerima. Transport materijala se vrši transporterima, a odlaganje otkrivke se vrši odlagačima. Tehnologija eksploatacija funkcioniše tako da rotorni bager otkopava deo visinskog ili dubinskog bloka, gde se preko prijemnog dela na rotoru materijal prenosi sistemom transportera na bageru na etažni transporter, nakon čega se materijal transportuje sistemom transportera do mesta istovara tj. na dalju preradu ili direktno u vagone vozova, koji dalje transportuju uglj prema TENT u Obrenovcu.

Eksploatacija uglja na površinskom kopu Polje E vrši se na dva sistema: BTS sistem, kod koga se eksploatacija vrši rotornim bagerom SRs 1300x26/5+VR (G-8) i tu bager otkopava povlatni ugljeni sloj, a kvalitet uglja u toj zoni je između 5.000 i 8.000 KJ/kg. Otkopani uglj se transportuje do Kolubara Prerade, i onda se vrši utovar u vagone, nakon čega se vrši transport uglja vozovima do TENT.

Drugi ugljeni sistem na kome se vrši eksploatacija uglja je BTU sistem, kod koga se eksploatacija uglja vrši rotornim bagerom SchRs 630x25/6. I bager tu otkopava glavni ugljeni sloj, a kvalitet uglja je znatno boljeg kvaliteta u odnosu na povlatni ugljeni sloj ($DTE > 7.500$ KJ/kg). Otkopani uglj se transportuje do Kolubara Prerade, i onda se vrši utovar u vagone, nakon čega se vrši transport uglja vozovima do TENT, a deo uglja se koristi i za potrebe Toplane, za preradu uglja u finu granulaciju, kao i široku potrošnju tj. za potrebe građana.

3. Diskontinualna eksploatacija uglja na površinskom kopu Polje E

3.1. Uvođenje diskontinualne mehanizacije za eksploataciju uglja

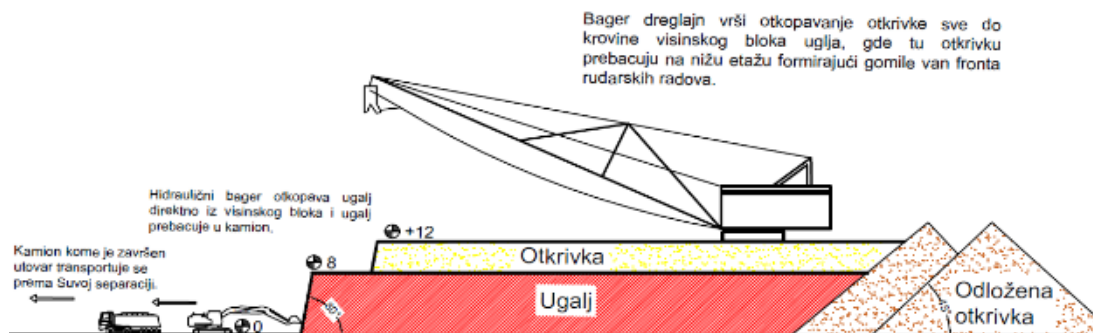
Eksploatacija uglja kontinualnim sistemima unutar granica Polja D je završena 2021. godine, prelaskom otkopne mehanizacije unutar kontura površinskog kopa Polje E. Deo ležišta unutar kontura Polja D je ostao neotkopan. Otežani uslovi rada zbog strmog zaleganja glavnog ugljenog sloja, prisustva podzemnih voda na etaži na kojoj se otkopava uglj, kao i nestabilne završne južne kosine, uticalo je na to da proizvodnja uglja u prethodnom periodu bude manja od planirane. Zbog potrebe za povećanjem proizvodnje uglja na površinskom kopu Polje E, pristupilo se angažovanju pomoćne mehanizacije za otkopavanje uglja. Zbog nemogućnosti pristupa osnovne otkopne opreme, koja se koristi za eksploataciju uglja na površinskim kopovima, kao i delova gde se napustilo otkopavanje uglja rotornim bagerima, u kome se deo uglja nalazi pod većom količinom jalovine koju nije bilo rentabilno eksploatirati u toj zoni, pristupilo se otkopavanju uglja pomoću diskontinualne mehanizacije (hidraulični bager kašikar i utovarač). U celokupnom procesu eksploatacije uglja učestvuje i bager dreglajn za otkopavanje materijala otkrivke koji se nalazi na krovini uglja, kao i buldozer za izradu trase i izguravanje otkrivke sa krovine uglja.

3.2. Tehnologija eksploatacije diskontinualnom mehanizacijom

Za otkopavanje uglja koriste se bageri kašikari sa obrnutom kašikom proizvođača Hidromec Hmk 230Lc i Hyundai HX 300L, kao i hidraulični bager Sunward 365E i utovarač marke Caterpillar 950 K sa zapreminom kašike 3,3 m³. Tehnologija rada je zavisila od uslova samog radilišta. S obzirom da je taj deo ležišta ostao neotkopan, jer je taj deo uglja pod jalovinom, uključen je i bager dreglajn EŠ 6/45 za otkopavanje jalovine tj. otkrivke. Tehnologija rada je takva da se otkopani uglj utovari u kamione,

i nakon toga se vrši dalji transport direktno ka Suvoj Separaciji. Dužina transporta je prosečno oko 5 km od mesta utovara do mesta istovara. Ugalj se deponuje u Suvoj Separaciji, nakon čega se utovaračima utovari direktno u vagone, gde vozovi dalje transportuju u TENT u Obrenovcu, što je slučaj u letnjem periodu. U zimskom periodu taj ugalj koji se otkopava se koristio i za potrebe toplane i za široku potrošnju za potrebe grejanja građana. Prilikom operacije utovara u vagone aktivni su utovarači marke Shantui. Kamioni koji se koriste za transport otkopanog materijala su Tatra Phoenix sa 3 i 4 osovine i Man sa 3 osovine i 4 osovine. Kamioni koji imaju tri osovine prosečno su u ovom periodu transportovali oko 15 do 17 t. Kamioni koji imaju četiri osovine prosečno su transportovali oko 20 t. Broj kamiona koji se koristi pri otkopavanju uglja sa diskontinualnom mehanizacijom prosečno je 10. Vremenski period u kome se vršila eksploatacija je dnevno 12 h (od 7 h do 19 h).

Prvi način, kojim se vrši eksploatacija je da se ugalj otkopava hidrauličnim bagerima iz bloka i vrši se utovar direktno u kamione, gde je prethodno krovina čista, tj. da je otkrivka otkopana. Na otkopavanju otkrivke radi bager dreglajn, a ostatak otkrivke se izgurava buldozerima marke Cat D8R u zonu gde se ne vrši otkopavanje uglja. Tehnologija rada prikazana je na Slici 2.



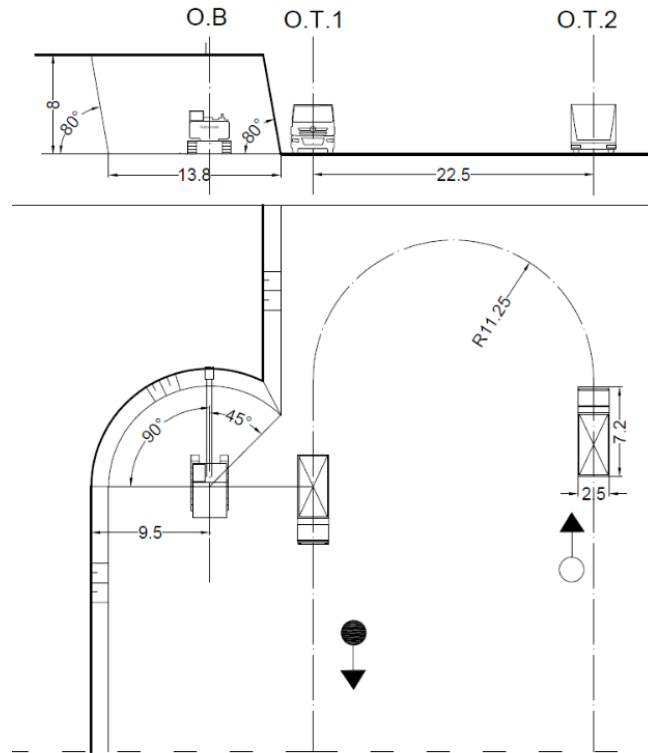
Slika 2. Tehnologija rada sa primenom hidrauličnog bagera kašikara pri otkopavanju uglja i bagera dreglajna na čišćenju krovine

Drugi princip rada je da se ugalj iz bloka rastrese hidrauličnim bagerom ili na krovini i onda izguravanjem buldozerima na nivo stajanja utovarača ili hidrauličnog bagera nakon čega on taj rastresen ugalj direktno utovaruje u kamione. Tehnologija rada prikazana je na Slici 3.



Slika 3. Tehnologija rada sa utovarom rastresenog materijala koji je izguravan sa krovine visinskog bloka i njegov utovar u kamione hidrauličnim bagerima

Tehnološka šema rada bagera kašikara u bloku i utovar otkopanog uglja u kamione prikazana je na Slici 4. Na Slici 5 prikazan je pogled na stanja otkopavanja na terenu (1 i 2). U Tabeli 2 date su karakteristike diskontinualnih bagera na otkopavanju uglja.



Slika 4. Tehnološka šema rada hidrauličnog bagera kašikara



Slika 5. Stanje na terenu 1



Slika 6. Stanje na terenu 2

Tabela 2. Karakteristike bagera

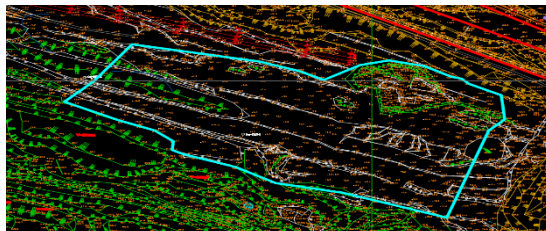
	Karakteristike bagera			
	Hidromek Hmk 230LC	Hyundai HX 300L	Sunward SWE 365E	EŠ 6/45
Zapremina kašike (m ³)	1,1	1,3	1,6	6
Visina kovanja (m)	9,56	10,04	10,39	45
Dubina kovanja (m)	6,21	6,44	7,1	16
Radijus kovanja (m)	9,52	10,02	10,94	20
Visina istresanja (m)	6,84	6,94	7,3	41

4. Eksploatacija uglja i rezultati proizvodnje uglja

4.1. Područje eksploatacije

Otkopavanje uglja diskontinualnom mehanizacijom otpočelo je u oktobru 2021. godine. Za ovaj rad uzet je period od oktobra meseca 2021. godine do kraja jula 2023. godine.

Površina terena u kojem se vršila eksploatacija u tom periodu je 200.399 m². Na dnevnom planu planirano je da proizvodnja iznosi oko 1.500 t.



Slika 7. Površina na kojoj se vrši eksploatacija uglja

Prostor u kome se vrši eksploatacija određen je koordinatama datim u Tabeli 3.

Tabela 3. Koordinate terena

Koordinate							
sever		jug		zapad		istok	
x	y	x	y	x	y	x	y
4920553	7446029	4920140	7446130	4920445	7445462	4920400	7446232

Ugalj koji se otkopava na ovom prostoru predstavlja deo glavnog ugljenog sloja. U ovoj zoni se u prethodnom periodu vršila eksploatacija uglja, ali je ostala znatna količina, tako da je preostalo da se otkopa ugalj sve do podine. Ugalj se u ovoj zoni prostire u pravcu od zapada ka istoku tj. jugozapad-severoistok, gde je na zapadu kota podine -15 m, a na istoku 15 m. Prosečna debljina ugljenog sloja u ovoj zoni iznosi 5 do 10 m. Kvalitet uglja u ovoj zoni je veoma dobar gde je prosečna vrednost DTE 9440 KJ/kg, količina vlage je 47,02%, a prosečna količina pepela je 12,03%.

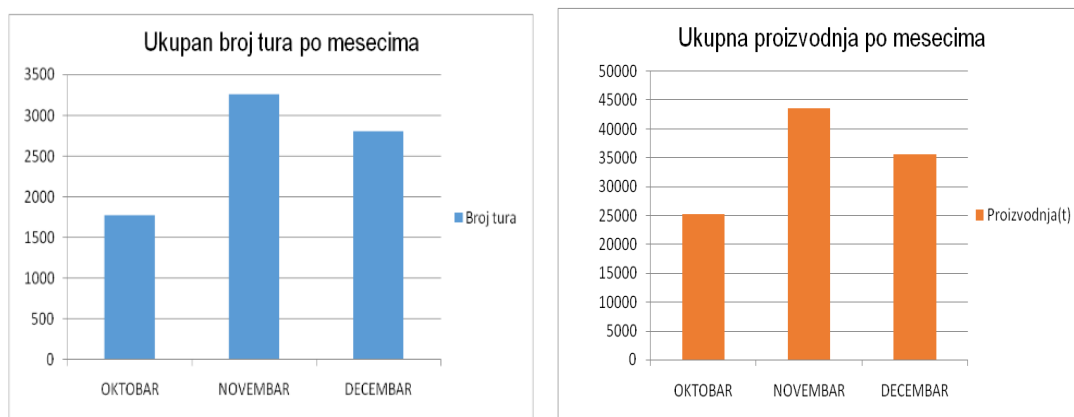
4.2. Rezultati proizvodnje uglja

4.2.1. 2021. godina

Eksploatacija uglja diskontinualnom mehanizacijom je otpočela 13.10.2021. godine. Od početka eksploatacija do kraja 2021. godine u eksploataciji je učestvovao hidraulični bager kašikar Hidromek Hmk 230LC, a za transport uglja su korišćeni kamioni proizvođača Tatra i Man. U tom periodu od 13. oktobra 2021. godine do 31.12.2021. otkopano je ukupno 104.466 t. Ukupan broj istovara kamiona je 7.819 u toka ova tri meseca. Ukupan broj ciklusa kamiona i ukupna proizvodnja po mesecima za 2021. godinu prikazane su u Tabeli 4.

Tabela 4. Ukupan broj tura i proizvodnja za 2021. godinu

Mesec	Broj ciklusa	Proizvodnja (t)
Oktobar	1.769	25.192
Novembar	3.252	43.593
Decembar	2.798	35.680
Σ	7.819	104.466

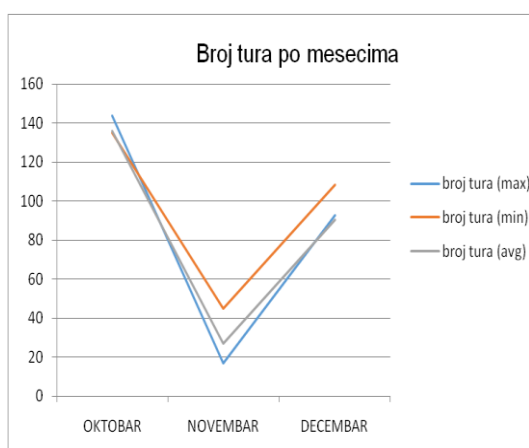


Slika 8. Dijagrami broja ciklusa kamiona i ukupne proizvodnje za 2021. godinu

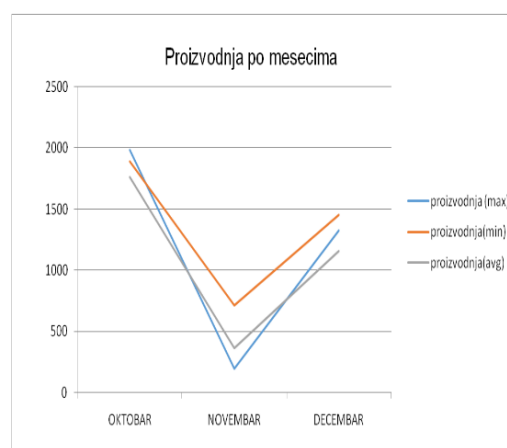
U Tabeli 5 je prikazano koliko je ciklusa kamiona bilo najmanje i najviše u svakom mesecu, kao i prosečan broj ciklusa, i rezultati za proizvodnju kolika je bila najmanja i najveća u toku meseca kao i prosečna proizvodnja.

Tabela 5. Max, min i prosečan broj tura i proizvodnja po mesecima

Mesec	Broj ciklusa kamiona			Proizvodnja (t)		
	Max	Min	Prosečno	Max	Min	Prosečno
Oktobar	144	17	93	1981	198	1326
Novembar	135	45	108	1892	710	1453
Decembar	136	27	90	1758	363	1151
Prosečno	138	30	97	1877	424	1310
Max	144	45	108	1981	710	1453
Min	135	17	90	1758	198	1151



Slika 9. Max, min, prosek broja ciklusa



Slika 10. Max, min, prosek proizvodnje

4.2.2. 2022. godina

Eksploatacija uglja se nastavila od 1. januara 2022. godine i odvijala se tokom cele 2022. godine bez većih problema i prekida u eksploataciji. U eksploataciji su učestvovali hidraulični bager kašikar Hidromek Hmk 230LC kao i hidraulični bager kašikar Hyundai HX 300L, a za transport uglja su korišćeni kamioni proizvođača Tatra i Man. U periodu od januara meseca pa do kraja decembra ukupno je otkopano 422.856 t. Ukupan broj ciklusa kamiona i ukupna proizvodnja po mesecima za 2022. godinu je prikazana u Tabeli 6.

Tabela 6. Ukupan broj tura i proizvodnja za 2021. godinu

Mesec	Broj ciklusa	Proizvodnja(t)
Januar	1831	23008
Februar	1934	24627
Mart	1834	23676
April	2566	31757
Maj	1319	16168
Jun	254	3191
Jul	1471	22446
Avgust	3776	56236
Septembar	3807	56820
Oktobar	3892	60404
Novembar	3668	54817
Decembar	3442	49701
Σ	29794	422856



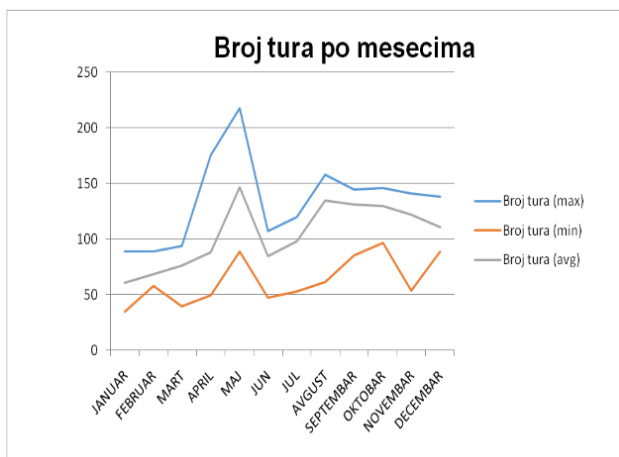
Slika 11. Dijagram broja ciklusa za 2022. godinu

Slika 12. Dijagram ukupne proizvodnje za 2022. godinu

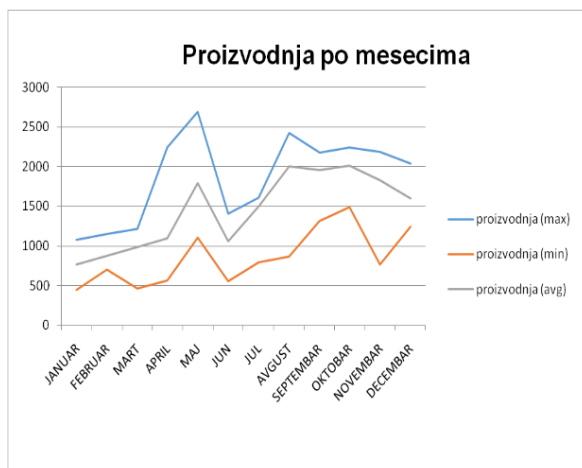
U Tabeli 7 je prikazano koliko je ciklusa bilo najmanje i najviše u svakom mesecu, kao i prosečan broj ciklusa, i rezultati za proizvodnju kolika je bila najmanja i najveća u toku meseca kao i prosečna proizvodnja. Prosečan broj ciklusa i proizvodnja

Tabela 7. Max, min i prosečan broj ciklusa i proizvodnja po mesecima

Mesec	Broj ciklusa kamiona			Proizvodnja (t)		
	Max	Min	Prosečno	Max	Min	Prosečno
Januar	89	35	61	1075	447	767
Februar	89	58	69	1151	707	880
Mart	94	40	76	1208	466	987
April	176	50	88	2232	564	1095
Maj	218	89	146	2684	1111	1796
Jun	107	48	85	1407	555	1064
Jul	120	53	98	1608	799	1496
Avgust	158	62	135	2417	868	2008
Septembar	145	86	131	2168	1320	1959
Oktobar	146	97	129	2234	1493	2013
Novembar	141	54	122	2181	765	1827
Decembar	138	89	111	2031	1249	1603
Prosečno	135	63	104	1866	862	1458
Max	218	97	146	2684	1493	2013
Min	89	35	61	1075	447	767



Slika 13. Max, min, prosek broja ciklusa



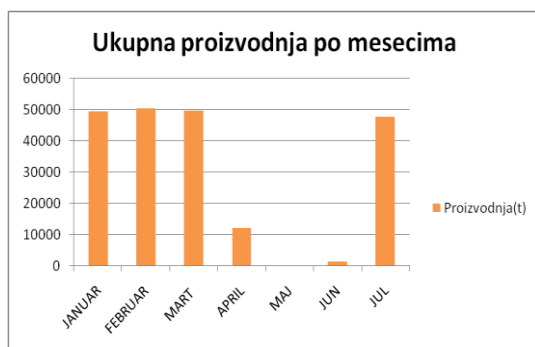
Slika 14. Max, min, prosek proizvodnje

4.2.3. 2023. godina

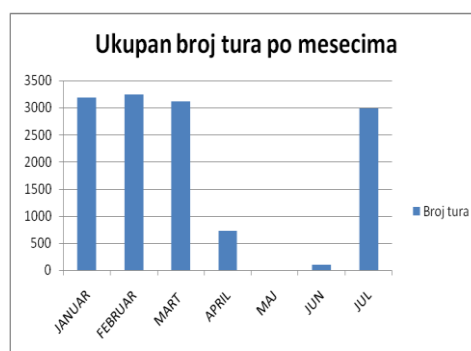
Eksploatacija uglja se nastavila od 1. januara 2023. godine i odvijala se sve do 13. aprila 2023. godine, kada se obustavila na kratko, jer se kasnilo sa otkrivanjem uglja u toj zoni. Mehanizacija je za to vreme premeštena na otkopavanje na površinskom kopu Tamnava Istok. Sve do 30. juna bila je obustavljena proizvodnja na Polju E, nakon čega se tog dana opet pristupilo otkopavanju uglja. U eksploataciji je radio hidraulični bager kašikar Hidromek Hmk 230LC, hidraulični bager kašikar Sunward 365E, a za transport uglja su korišćeni kamioni proizvođača Tatra i Man. U periodu od januara meseca pa do kraja Jula sa navedenim prekidima ukupno je otkopano 161.945 t. Ukupan broj tura i ukupna proizvodnja po mesecima za 2022. godinu je prikazana u Tabeli 8.

Tabela 8. Ukupan broj tura i proizvodnja za 2023. godinu

Mesec	Broj ciklusa kamiona	Proizvodnja (t)
Januar	3192	49395
Februar	3250	50588
Mart	3113	49837
April	720	12123
Maj	/	/
Jun	100	1482
Jul	2981	47850
Σ	10275	161945



Slika 15. Dijagram broja ciklusa za 2023. godinu



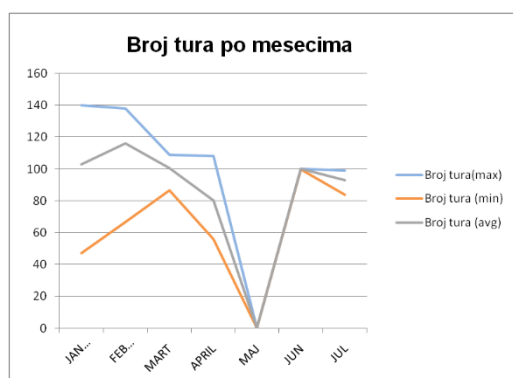
Slika 16. Dijagram proizvodnje za 2023. godinu

U Tabeli 9 je prikazano koliko je tura bilo najmanje i najviše u svakom mesecu, kao i prosečan broj

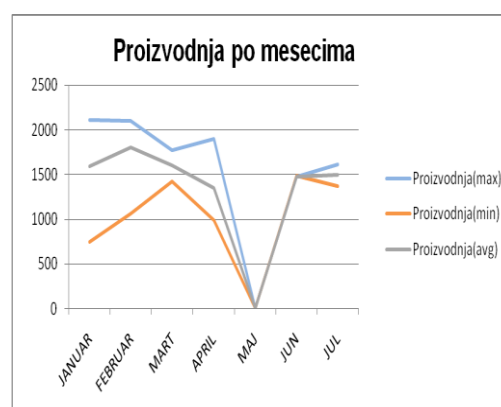
tura i rezultati za proizvodnju kolika je bila najmanja i najveća u toku meseca kao i prosečna proizvodnja.

Tabela 9. Max, min i prosečan broj tura i proizvodnja po mesecima

Mesec	Broj ciklusa kamiona			Proizvodnja (t)		
	Max	Min	Prosečno	Max	Min	Prosečno
Januar	140	47	103	2114	738	1593
Februar	138	67	116	2099	1061	1807
Mart	109	87	100	1773	1416	1608
April	108	56	80	1900	982	1347
Maj	/	/	/	/	/	/
Jun	100	100	100	1482	1482	1482
Jul	99	84	93	1610	1364	1496
Prosečno	116	73	99	1829	1174	1333
Max	140	100	116	2114	1482	1807
Min	99	47	80	1482	738	0



Slika 17. Max, min, prosek broja ciklusa



Slika 18. Max, min, prosek proizvodnje

5. Zaključak

Kontinualni sistemi predstavljaju najefikasnije rešenje što se tiče postizanja visokih kapaciteta u proizvodnji uglja i jalovine. Rotorni bageri i bageri vedričari predstavljaju još uvek nezamenljive mašine što se tiče proizvodnje uglja i jalovine na površinskim kopovima uglja. Ali kao što je već i poznato, rad kontinualne mehanizacije je nemoguć bez prisustva pomoćne mehanizacije, kao što su buldozeri koji imaju prvenstveno svrhu za izradu trase za bager i ostale delatnosti, hidrauličnih bagera koji se koriste za druge pomoćne radove na sistemima, cevopolagača, kao i bagera dreglajna koji predstavljaju najbolje rešenje za otkopavanje otkrivke na krovini uglja, kao i za izradu vodosabirnika.

Ali osim tih pomoćnih radova, diskontinualna mehanizacija se može direktno uključiti u eksploataciju mineralnih sirovina, konkretno u ovom slučaju uglja. Kao što je i opisano u radu, zbog potrebe uglja za široku potrošnju, potrebe Toplane za grejanje građana, kao i za potrebe TENT, pored proizvodnje uglja kontinualnim sistemima, pristupilo se eksploataciji uglja diskontinualnom mehanizacijom na površinskom kopu Polje E. Kombinacijom različitih tipova mašina, poput hidrauličnih bagera, utovarača, buldozera uz definisanu adekvatnu tehnologiju rada i odvozom materijala od mesta otkopavanja do Suve Separacije, gde se taj materijal posle odvaja po potrebi, pristupilo se eksploataciji uglja.

Angažovanjem diskontinualne mehanizacije u periodu od oktobra 2021. do kraja jula 2023. godine otkopano je ukupno 689.267 t, uz određene poteškoće i prekide pri eksploataciji, prvenstveno zbog količine otkrivke koja se nalazi iznad krovine uglja, pokazalo se kao dobro rešenje za povećanje proizvodnje uglja na površinskom kopu Polje E. Cilj je da se ta proizvodnja i nastavi, uz potencijalno angažovanje više mašina iz pomoćne mehanizacije, kao i većeg broja kamiona. Angažovanje diskontinualne mehanizacije za otkopavanje uglja dosta je pomoglo da se poveća proizvodnja uglja koja

je se vrši kontinualnim sistemima. Rezultati svakako mogu biti i dosta bolji. Povećanjem broja mašina, koji bi učestvovali u eksploataciji uglja, ili kada bi se koristili hidraulični bageri sa većim zapreminama kašika oko 5 m³, kao i većeg broja kamiona, proizvodnja uglja bi se značajno povećala. Angažovanjem pomoćne mehanizacije kroz sve tri smene značilo bi da se proizvodnja poveća, i onda bi iznosila 2.500 do 3.000 t na dnevnom nivou, što bi pomoglo ukupnoj proizvodnji uglja na površinskim kopovima uglja. U narednom periodu trebalo bi razmisliti o većem angažovanju diskontinualne mehanizacije u povećanom broju mašina za eksploataciju uglja u zonama nedostupnim kontinualnoj opremi, uz određene projektne modifikacije i primenom adekvatne tehnologije rada. Ovakav vid eksploatacije predstavljalo bi dobro rešenje za poboljšanje proizvodnje i kvaliteta uglja.

Literatura

- [1] Glavni rudarski projekat površinskog kopa Polje E, OC Projekt
- [2] Stručna i fondovska dokumentacija RB Kolubara
https://www.hidromek.com.tr/upload/dokumanlar/872021101916448_230lc_h4_4f_katalog_en.pdf
- [3] <https://www.lectura-specs.com/en/model/construction-machinery/crawler-excavators-sunward/swe365e-3-11736976>
- [4] <https://www.hyundai-ce.com/resources/7bca8247-b6f6-4036-a75b-551957fc9e46.pdf>
- [5] https://www.tatratrucks.com/underwood/download/files/tatra-phoenix-product-data_en.pdf
- [6] <https://www.man.eu/de/en/truck/all-models/the-man-tgs/specifications/tgs-specifications.html>

Izdavač/Publisher: JUKOM

ISBN: 978-86-83497-30-0