

XV međunarodna konferencija
15th international conference

OMC 2022

Zlatibor 12-15. oktobar

Zlatibor 12-15th October

Zbornik radova
Proceedings

**XV MEĐUNARODNA KONFERENCIJA
OMC 2022**

Zlatibor, 12-15. oktobar 2022.

**15th INTERNATIONAL CONFERENCE
OMC 2022**

Zlatibor, 12-15th October 2022

**ZBORNIK RADOVA
PROCEEDINGS**

XV MEĐUNARODNA KONFERENCIJA OMC 2022

ZBORNIK RADOVA

15th INTERNATIONAL CONFERENCE OMC 2022

PROCEEDINGS

Izdavač / Publisher

Jugoslovenski komitet za površinsku eksploataciju

Urednik / Editor

Prof. dr Vladimir Pavlović

Tehnička priprema / Technical preparation

Natalija Pavlović

Grafičko rešenje korica / Graphic design

Petar Maksimović

Tiraž / Number of copies

150 primeraka

Štampa / Printing

FineGraf, Beograd

© Sva prava zadržava izdavač

ISBN - 978-86-83497-29-4

**XV MEĐUNARODNA KONFERENCIJA
OMC 2022
15th INTERNATIONAL CONFERENCE
OMC 2022
ORGANIZATORI**

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

MEĐUNARODNI NAUČNI ODBOR

Prof. dr Vladimir Pavlović, CPE Beograd
Prof. dr Božo Kolonja, Univerzitet u Beogradu
Prof. dr Dragan Ignjatović, Univerzitet u Beogradu
Prof. dr Nikola Lilić, Univerzitet u Beogradu
Prof. dr Carsten Drebenstedt, TU Bergakademie Freiberg
Prof. dr Michael Karmis, Virginia Tech University
Prof. dr Vladislav Kecojević, West Virginia University
Prof. dr Monika Hardygora, University of Technology, Wroclaw
Prof. dr Zoran Panov, University Skopje
Prof. dr Michael Galetakis, Technical University of Crete
Prof. dr Maria Lazar, University of Petrosani
Prof. dr Pavol Rybar, Technical University Košice
Prof. dr Ljuben Totev, University of Mining and Geology, Sofia
Prof. dr Tomislav Šubaranović, Univerzitet u Beogradu
Dr Lary Thomas, Dargo Associates Ltd
Dr Francis Pavloudakis, Public Power Corporation of Greece S.A.
Dr Christos Roumpos, Public Power Corporation of Greece S.A.
Dr Cvjetko Stojanović, ERS, RiTE Ugljevik, BiH, Republika Srpska

Zlatibor, 12-15. oktobar 2022.

SADRŽAJ / TABLE OF CONTENTS

MOGUĆNOSTI KONTROLISANOG PREOPTEREĆENJA ENERGETSKIH TRANSFORMATORA
Aleksandrović S., Jeftenić I.

INOVACIONO REŠENJE ODLAGANJA FLOTACIJSKE JALOVINE U GEOSINTETIČKE
DRENAŽNE KONTEJNERE
Čanović V., Čolaković V.

ODREĐIVANJE KONAČNE KONTURE POVRŠINSKOG KOPA U VIŠESLOJNIM LEŽIŠTIMA
UGLJA OBUHVATANJEM PARAMETARA PROIZVODNJE
Deligiorgis B., Galetakis M., Roumpos C.

ANALIZA OSNOVNIH INDIKATORA UPOTREBNOG KVALITETA MAŠINA POMOĆNE
MEHANIZACIJE NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA UGLJA
Đenadić S., Ignjatović D., Jovančić P., Lekić M., Aleksić Ž., Janković I.

UTICAJ POVEĆANE POTRAŽNJE ZA UGLJEM NA RAZVOJ RADOVA NA POVRŠINSKIM
KOPOVIMA STANARSKOG BASENA
Đurović M., Božić B., Rašović L.

UPRAVLJANJE KVALITETOM UGLJAU PROCESU HOMOGENIZACIJE - KOLUBARSKI
UGLJONOSNI BASEN
Gojak Z.

DETALJNA ANALIZA DRUGOG UGLJENOG SLOJA U DELU LEŽIŠTA TAMNAVA-ZAPADNO
POLJE
Kezović M.

DETALJNA ANALIZA JEDINSTVENOG UGLJENOG SLOJA U DELU LEŽIŠTA TAMNAVA-
ZAPADNO POLJE
Kezović M.

UGLJONOSNA SERIJA U DELU LEŽIŠTA TAMNAVA-ZAPADNO POLJE
Kezović M.

UTVRĐIVANJE EKSPLOTACIONIH UČINAKA SISTEMA NA OTKRIVCI NA POVRŠINSKOM
KOPU TAMNAVA-ZAPADNO POLJE PRIMENOM FUZZY TOPSIS METODE
Lazić M., Miletić F., Žujović L.

REZULTATI IZVEDENIH HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA ISTOČNOG DELA LEŽIŠTA
UGLJA RAŠKOVAC - KOP 3 U CILJU UTVRĐIVANJA POTREBA I MOGUĆNOSTI
PREDODVODNJAVANJA U FAZI NJEGOVOG OTVARANJA
Lončar S., Vasić M., Mitrović A., Todorović M.

ANALIZA SEIZMIČKOG DEJSTVA EKSPLOZIJE PRI MINIRANJU NA PRIMERU IZRADE
TUNELA GOLUBAC KOD GOLUPCA
Lutovac S., Gligorić M., Majstorović J., Crnogorac L.

SISTEM MENADŽMENTA ENERGIJOM PREMA ZAHTEVIMA MEĐUNARODNOG
STANDARDA ISO 50001:2018 U OGRANKU RB KOLUBARA, LAZAREVAC
Miladinović D., Petković G.

ISKORIŠĆENOST REZERVI U OGRANIČENOM EKSPLOATACIONOM POLJU
Milošević D., Praštalo Ž., Grujičić S., Čolaković V., Čanović V.

PRIPREMA TERENA U FUNKCIJI FORMIRANJA DEPONIJSKOG PROSTORA ZA
ODLAGANJE GIPSA IZ PROCESA ODSUMPORAVANJA
Milošević D., Nešković J., Stjepanović P., Praštalo Ž., Polavder S.

PRIMENA TERMALNOG SNIMANJA U POVRŠINSKOJ EKSPLOATACIJI
Negoanović M.

OPTIMIZACIJA UGLA NAGIBA GENERALNE KOSINE UNUTRAŠNJEG ODLAGALIŠTA
POVRŠINSKOG KOPA TAMNAVA-ZAPAD
Pavlović N., Petrović B., Šubaranović T., Janković I.

UTICAJ EKSTREMNIH PRIRODNIH PROCESA NA RIZIKE POVRŠINSKE EKSPLOATACIJE
Pavlović N., Šubaranović T., Ignjatović D.

ODRŽIVI RAZVOJ RUDARSKOG SEKTORA
Pavlović V., Ignjatović D., Šubaranović T.

ANALIZA STABILNOSTI JUŽNE KOSINE POVRŠINSKOG KOPA POLJE E - RB KOLUBARA
Petrović B.

UPRAVLJANJE RIZICIMA PRI EKSPLOATACIJI UGLJA U KOMPANIJI EFT-RUDNIK I
TERMELEKTRANA STANARI
Savić M., Džigumović J., Lončar S.

KOMPARATIVNA ANALIZA ZAVRŠNIH KONTURA POVRŠINSKOG KOPA DRMNO
Stevanović D., Ignjatović D., Šubaranović T., Banković M., Marković P.

OPTIMIZACIJA FAZNOG RAZVOJA POVRŠINSKOG KOPA CIGANUŠA - ŠKORAC U CILJU
DEFINISANJA DUGOROČNE DINAMIKE EKSPLOATACIJE
Stevanović D., Marković P., Banković M., Živković M.

STANJE I PERSPEKTIVE TERMOENERGETIKE ZAPADNOG BALKANA
Stojanović C.

TRETMAN PODRUČJA EKSPLOATACIJE MINERALNIH SIROVINA U SISTEMU
PROSTORNOG I URBANISTIČKOG PLANIRANJA U REPUBLICI SRBIJI
Šljivančanin D., Milošević D.

ANALIZA GEOMEHANIČKE STABILNOSTI KOSINA NA ODLAGALIŠTIMA I
POVRŠINSKOM KOPU ČERAMIDE
Šubaranović T., Čebašek V., Dimitrijević B., Rupar V.

MOGUĆNOSTI UNAPREĐENJA UPRAVLJANJA MEHANIZACIJOM NA POVRŠINSKOM
KOPU DRMNO PRIMENOM KONCEPTA PAMETNOG RUDARSTVA
Todorović F, Anđelić G.

MENADŽMENT POSLOVNIH FUNKCIJA U SKLOPU MENADŽMENT SISTEMA PREDUZEĆA
MINERALNOG SEKTORA U AKTUELNIM USLOVIMA POSLOVANJA
Tošović R.

OBUKA ZA RUKOVAOCE RUDARSKIH MAŠINA - PRIMER UPUTSTVA ZA KREIRANJE
TRENINGA
Žujović L., Miletić F., Lazić M., Miljković M.



MOGUĆNOSTI KONTROLISANOG PREOPTEREĆENJA ENERGETSKIH TRANSFORMATORA

POSSIBILITIES OF POWER TRANSFORMERS REGULATED OVERLOADS

Aleksandrović S.¹, Jeftenić I.²

Apstrakt

U rudarskim pogonima često se dešava da potražnja za opterećenjem energetskih transformatora premašuje nominalni kapacitet i postoji potreba za njegovim povećanjem. U radu je data temperaturna analiza rada jednog sredjenaponskog energetskog transformatora koji je opterećen snagama koje su veće od nominalne. Analizirane su mogućnosti iznenadnog preopterećenja transformatora, sa aspekta graničnog porasta temperature namotaja, u zavisnosti od načina hlađenja.

Ključne reči: transformator, preopterećenje, najtoplija tačka, radni vek

Abstract

In mining plants it often happens that the load demand of the power transformer exceeds the capacity of the transformer and additional capacity is required. This paper presents temperature analysis for the concrete medium-voltage power transformer which is loaded above the name-plate rating. The possibilities of sudden transformers overloads are given, from the aspect of the maximum temperature limit and the various cooling modes.

Keywords: transformer, overload, hot-spot temperature, aging

1. Uvod

U cilju ostvarivanja kontinualnog snabdevanja sve većeg broja potrošača u pogonima i finansijskih razloga, neophodno je maksimalno iskorišćenje svih postojećih komponenti namenjenih proizvodnji, prenosu i distribuciji električne energije. Najvažnija i najskuplja komponenta ovog sistema svakako je energetski transformator, pa se postavlja pitanje do koje mere se postojeći transformator sme preopteretiti, a da se time ne ugroze ni kontinualno snabdevanje pogona, ni normalan životni vek transformatora.

Iako u praksi često postoji znatna rezerva u transformaciji srednjih na niske napone, ostaje pitanje ekonomičnosti rada, odnosno graničnog opterećenja transformatora. Mogućnost preopterećenja transformatora treba posmatrati sa aspekta snage transformatora u određenom intervalu vremena, bez smanjenja trajanja životnog ciklusa, pri čemu intenzitet te snage zavisi od same konstrukcije transformatora, odnosno izolacije namotaja, temperature okoline i vrste hlađenja, od uslova eksploatacije u datom trenutku, ali i od prethodnog opterećenja [1].

¹ Prof. dr Aleksandrović Snežana, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu,

² Ilija Jeftenić, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu,

Smanjenje nivoa opterećenja transformatora u određenom vremenskom intervalu, kao i korišćenje veće instalisane snage utiču na povećanje cene i gabarita transformatorskog postrojenja, kao i smanjenje stepena iskorišćenja i nemogućnost postojanja stalnog visokog stepena pogonske sigurnosti. Zato je za prenos snage veće od nominalne snage transformatora neophodno obezbediti određenu rezervu u grafiku opterećenja, uz ostvarivanje odgovarajućih spoljnih uslova, odnosno povećanjem intenziteta hlađenja ili povećavanjem rashladnih površina.

2. Zagrevanje i životni vek transformatora

Mogućnost opterećivanja, odnosno intenzivnost procesa starenja, diktira dozvoljena temperatura izolacije transformatora. Često korišćen način procene veka trajanja transformatora D bazira se na Montsingerovom izrazu [2, 3]:

u zavisnosti od temperature izolacije ϑ ,

$$D = a \cdot e^{-0.69b\vartheta}, \quad (1)$$

gde su: a i b - konstante materijala,

ϑ - temperature izolacije data u °C.

Životni vek transformatora može se izraziti i u relativnom odnosu na sledeći način:

$$D = D_0 \cdot e^{-0.69b(\vartheta - \vartheta_0)} \quad (2)$$

pri čemu je: ϑ_0 - temperatura najtoplije tačke (najviša temperatura izolacije),

D_0 - normalan vek trajanja transformatora pri temperaturi ϑ_0 .

Umesto relativnog očekivanog veka trajanja, često se definiše i inverzna funkcija, gubitak veka trajanja V , koji predstavlja odnos životnog ciklusa transformatora pri temperaturi najtoplije tačke i životnog ciklusa pri nominalnom opterećenju:

$$V = e^{\frac{0.69(\vartheta - \vartheta_0)}{\Delta_0}} \quad (3)$$

gde je Δ_0 smanjenje temperature, pri kojem se vek trajanja transformatora udvostruči. Vrednost Δ_0 u literaturi se nalazi u opsegu od 6 °C do 10 °C, a prema IEC specifikacijama [4] vrednost Δ_0 iznosi 6 °C. Prema standardima u našoj zemlji, vrednost Δ_0 usvaja se u skladu sa IEC specifikacijama.

U idealnim uslovima, i za različite načine poboljšanja termičke izolacije [5], temperatura najtoplije tačke transformatora nalazi se u opsegu od 98 °C do 100 °C. Transformatori se prema pomenutim preporukama izrađuju sa tipom izolacije za kontinualni rad do 55 °C i do 65 °C iznad temperature okoline.

Dozvoljeno opterećenje transformatora zavisi od konstrukcionih karakteristika transformatora, primenjene izolacije, trajanja promenjenog opterećenja i primenjenog rashladnog sistema, u kom slučaju su karakteristike konvektivnog prenosa toplote određene teorijom prenosa toplote za transformatore, sa prinudnim strujanjem vazduha i odgovarajućim termičkim modelima za transformator sa prirodnim protokom ulja [6].

3. Mogućnost preopterećenja

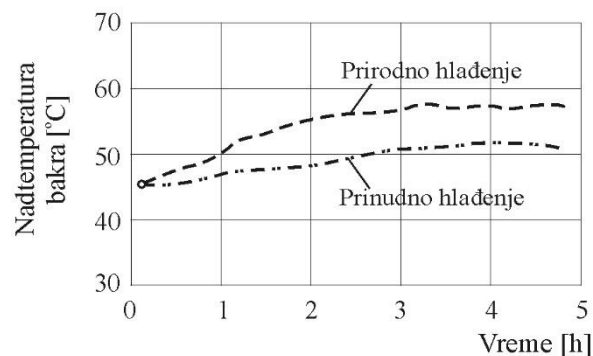
Da bi se obezbedila kontinualnost rada, moguće je posmatrati rad dva paralelno vezana pogonska transformatora naponskog odnosa 10/0,4 kV, snage 250 kVA u specifičnim uslovima rada i u različitim eksploatacionim režimima. Pri nominalnom radu primenjuju se dva paralelno vezana transformatora i opterećenje svakog od njih iznosi po 70% nominalne snage. U slučaju kvara jednog od sistema

napajanja, drugi transformator preuzima celokupno opterećenje, tako da njegovo opterećenje iznosi 140% nominalne snage.

Pitanje koje se postavlja je, u toku kog vremena jedan transformator može biti opterećen sa 140% svoje nominalne snage, jer bi to vreme bilo upotrebljeno za isključenje i uklanjanje drugog transformatora, dopremanje i montažu rezervnog transformatora, njegovo ispitivanje i kontrolu pre puštanja u rad, priključenje i izvestan period njegovog rada u praznom hodu. Kako je transformator pre toga bio opterećen samo sa 70% nominalne snage, neophodno je dodatno predvideti maksimalno moguće uslove prirodnog hlađenja, povećanje rashladnih površina na transformatorima, prinudnu ventilaciju prostorija u kojima su smešteni transformatori, kao i montažu dodatnih rashladnih elemenata, bez prekidanja pogona.

Pri ispunjenim uslovima optimalnog odvođenja razvijene toplotne energije gubitaka transformatora, analizirana su dva režima rada transformatora. U prvom režimu rada transformator radi sa 70% punog opterećenja, u ogledu kratkog spoja i bez prinudne ventilacije. Eksperiment je izveden u cilju analize pogona sa dva transformatora u paralelnom radu, pri čemu bi svaki od njih bio opterećen sa 70% svoje nominalne snage. Nakon postizanja stacionarne temperature, transformator je opterećen sa 140% nominalnog opterećenja, što simulira ispadanje iz rada jednog transformatora i prenošenje ukupnog opterećenja na drugi.

U savremenim energetskim uljnim transformatorima postoji mogućnost podešavanja brzine obrtanja ventilatora i pumpi, samim tim i mogućnost podešavanja protoka vazduha i ulja i upravljanje intenzitetom prenosa toplote i temperature namotaja i ulja [7]. Na Slici 1 prikazane su temperature bakra pri opterećivanju transformatora od 250 kVA opterećenjem od 140% i to pri prirodnom i prinudnom hlađenju..



Slika 1. Izmerene temperature bakra kod opterećivanja transformatora od 250 kVA, pri opterećenju od 140% i prirodnom, odnosno prinudnom hlađenju

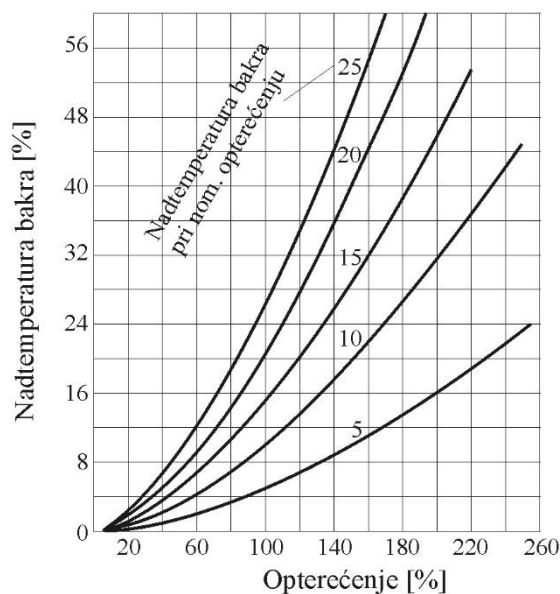
Propisi definišu maksimalno dozvoljenu nadtemperaturu namotaja, klase izolacija A i zaronjenog u ulje, u opsegu od 55°C do 70°C. Na osnovu dobijenih grafika zavisnosti nadtemperature namotaja, može se zaključiti da pri opterećenju od 140% i prirodnom hlađenju ustaljena temperatura bakra iznosi približno 58°C, dok pri prinudnom hlađenju ova temperatura iznosi 52°C. Prema tome, postoji mogućnost povećanja preopterećenosti u izvesnoj meri. Kao rezultat, nominalna snaga paralelno vezanih jedinica može se smanjiti, odnosno transformatori mogu biti opterećeni sa većim procentom opterećenja od predviđenih 70%.

Primenom prinudne ventilacije, uz odgovarajući proračun nadtemperatura namotaja, ekonomski proračun pogonskih troškova transformatora u funkciji instalisane snage i njihove podopterećenosti, kao i proračun investicije ventilacije, predstavlja optimalno rešenje problema. Na ovaj način postignuta je i odgovarajuća sigurnost napajanja, jer se raspoloživo vreme za zamenu ili opravku jedinice koja je ispala iz rada.

Na osnovu niza izmerenih vrednosti, pri različitim načinima hlađenja, odnosno različitim opterećenjima, moguće je nacrtati eksperimentalno-matematičke grafike (Slike 2 i 3), koji praktično omogućavaju da se za određeno opterećenje odredi intenzitet hlađenja, odnosno da za postojeće mogućnosti hlađenja odredi dozvoljena mogućnost opterećenja.

Na Slici 2 predstavljena je zavisnost nadtemperatura bakra u odnosu na temperaturu ulja u zavisnosti od opterećivanja transformatora. Familija krivih data je za različite vrednosti nadtemperatura bakra pri nominalnom opterećenju. Neka zagrevanje nadtemperatura bakra iznosi 10°C , a temperatura ulja 50° . Prema dijagramu sa Slike 2, pri opterećenju transformatora od 140% razlika nadtemperature bakra raste sa 10°C na 18°C . Da bi temperatura bakra ostala ista, kao pri nominalnom opterećenju, potrebno je da temperatura ulja opadne za odgovarajući porast zagrevanja bakra, odnosno za 8°C . Prema tome, temperatura ulja treba da iznosi: $50^{\circ}\text{C} - 8^{\circ}\text{C} = 42^{\circ}\text{C}$.

Neka se uticaj dodatnog hlađenja na temperaturu ulja definiše faktorom K koji predstavlja odnos nadtemperature ulja pri prinudnom hlađenju i nadtemperature ulja pri prirodnom hlađenju. Za prethodno analiziran slučaj zagrevanja transformatora, za ovako definisan faktor, dobija se odnos $K = 42^{\circ}\text{C}/50^{\circ}\text{C} = 0,84$.

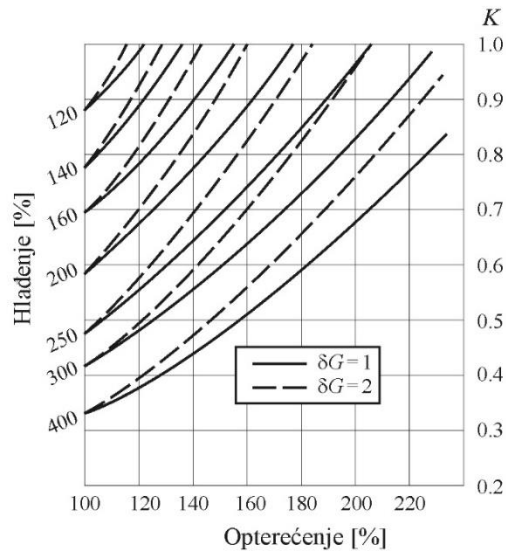


Slika 2. Temperaturni gradijent između najtoplije tačke bakra i temperature ulja u zavisnosti od opterećivanja transformatora

Na Slici 3. date su krive zavisnosti faktora K od opterećenja transformatora za različite vrednosti stepena hlađenja i odnos:

$$\delta G = \frac{P_{\text{Cu}}}{P_{\text{Fe}}}$$

pri čemu je snaga gubitaka u bakru P_{Cu} data za nominalno opterećenje (100%).



Slika 3. Povećanje temperature ulja pri prinudnom hlađenju u odnosu na sopstveno hlađenje (K) u zavisnosti od opterećenja i stepena hlađenja

Analizom grafika na Slici 3, može se zaključiti da za opterećenje od 140%, izračunat faktor $K=0,84$ i ako je odnos $P_{Cu}/P_{Fe}=2$, potrebno je da se ostvari prinudno hlađenje od 200%, što je sa dodatnim ventilatorima sasvim izvodljivo. Sa istog grafika krivih, vidi se da za isto povećanje hlađenja od 200% i pri odnosu $P_{Cu}/P_{Fe}=1$ postoji mogućnost opterećenja od oko 155%.

Na ovaj način moguće je praktično rešiti svaki novonastali problem u pogonu, kao i primeniti dati princip rešavanja pri nastanku određene havarije, znajući tačno granice dozvoljenog opterećenja. Na isti način, za različite uslove rada u konkretnim uslovima, mogu se proračunati i nacrtati dijagrami mogućnosti opterećivanja ostvarene dodatnim hlađenjem montiranog uređaja. Za određeni tip transformatorskog pogona moguće je i sprovesti merenje protoka i brzine rashladnog vazduha i na osnovu toga nacrtati grafike preopterećenja u zavisnosti od preopterećenja i radne temperature transformatora.

4. Zaključak

U određenim pogonskim uslovima i u toku određenih vremenskih intervala, preopterećenja transformatora mogu biti dozvoljena primenom odgovarajućeg ventilacionog sistema ili povećavanjem rashladnih površina uređaja. U radu su razmatrana iznenadna preopterećenja srednjenaponskih energetskih transformatora u uslovima eksploatacije i s tim u vezi dozvoljeno zagrevanje namotaja. Određene su praktične mogućnosti opterećenja transformatora od 250 kVA u radnom okruženju i u uslovima koji ne menjaju konstrukciju i energetske karakteristike transformatora.

Praktična ispitivanja pojedinih jedinica u pogonu pokazala su da postoje realne mogućnosti opterećivanja i sa snagama koje su znatno veće od nominalne. Neophodno je posmatrati i ostale spoljne i pogonske faktore, kao što je temperatura ambijenta u trenutku povećanja opterećenja i prethodno opterećenje u procentima nominalne snage (odnosno temperature u trenutku povećanja opterećenja), jer sve ovo može dovesti do prekomernog povećanja opterećivanja i preko granice koja je određena graficima u radu. Dobijene krive mogu se u potpunosti praktično primeniti u eksploataciji transformatora.

Literatura

- [1] Swift, G. W., Zocholl, S. E., Bajpai, M., at al., 2001.: Adaptive Transformer Thermal Overload Protection, *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol. 16, no. 4, pp.516–521.

- [2] Sumerered, C., Muhr, M., and Körbler, B.: Lifetime management of power transformers, 2003, *Elektrotechnik und Informationstechnik*, vol. 120, no. 12, pp. 420-423.
- [3] Aleksandrović, S., and Jović, M., 2011.: Economic and Technical Aspects of Transformer Operation, *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, vol. 11, no. 1, pp.26-31, doi: 10.1080/15567249.2011.567225.
- [4] IEC Standard 60076-7, Power transformers - Part 7, Committee draft 14/403/CD, IEC Loading guide for oil immersed power transformers, 2001.
- [5] IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers - Annex I: Transformer insulation life, IEEE standard C57.91, 1995.
- [6] Radakovic, Z., 2003.: Numerical determination of characteristic temperatures in directly loaded power oil transformer, *European Transactions on Electrical Power*, vol. 13, no. 1, pp. 47–54.
- [7] N. Z. Đorđević, D. M. Žakula, M. M. Jevtić, R. Ž. Tomašević, Z. R. Radaković, 2016.: Kontrola temperature uljnih transformatora promenom brzine obrtanja ventilatora, *Tehnika - Elektrotehnika*, vol. 65, no. 1, pp. 81-88.



INOVACIONO REŠENJE ODLAGANJA FLOTACIJSKE JALOVINE U GEOSINTETIČKE DRENAŽNE KONTEJNERE**INNOVATIVE SOLUTION FOR THE DISPOSAL OF FLOTATION TAILS IN GEOSYNTHETIC DRAINAGE CONTAINERS**Čanović V.¹, Čolaković V.²**Apstrakt**

Geosintetički drenažni kontejneri koriste se u svetu za odvodnjavanje rudničke i mineralne jalovine. Ova tehnologija može se koristiti za upravljanje jalovištima, u procesu izdvajanja metala, upravljanju vodnim resursima (prečišćavanje voda i ponovno korišćenje), odvodnjavanje ekološki opasnih ruda i izrada brana i bermi. Geokontejneri mogu biti prilagođeni tako da odgovaraju raspoloživom prostoru i mogu biti lako uklonjeni kada je odvodnjavanje završeno. Izdrenirani jalovinski materijal spakovan u geokontejnerima može se bezbedno čuvati na licu mesta, može se koristiti za izgradnju nasipa i bermi ili odlagati na deponiji bez skupog iskopavanja ili transporta. Tokom 2019. godine na flotacijskom jalovištu Rudnika Rudnik kod Gornjeg Milanovca stručnjaci Rudarskog instituta iz Beograda i SNF Adriatic iz Zagreba obavili su niz ispitivanja u cilju utvrđivanja mogućnosti primene geosintetičkih drenažnih kontejnera u procesu prerade rude i nadvišenja brane na flotacijskom jezeru.

Ključne reči: flotacija, jalovina, drenaža, flokulant

Abstract

Geosynthetic drainage containers are used worldwide for dewatering mine and mineral tailings. This technology can be used for tailings management, in the process of metal extraction, water resource management (water purification and reuse), dewatering of environmentally hazardous ores, and the construction of dams and berms. Geocontainers can be customized to fit the available space and can be easily removed when dewatering is complete. Drained tailings material packed in geocontainers can be stored safely on site, used to build levees and berms, or disposed of in a landfill without expensive excavation or transportation. During 2019, at the flotation tailings of mine Rudnik near Gornji Milanovac, experts from the Mining Institute from Belgrade and SNF Adriatic from Zagreb conducted a series of tests in order to determine the possibility of applying geosynthetic drainage containers in the process of processing ore and raising the dam on the flotation lake.

Keywords: flotation, tailings, drainage, flocculant

1. Uvod

U procesu dobijanja koncentrata bakra određena količina sitne frakcije se preliva iz taložnog bazena u flotacijsko jalovište. Korišćenjem geosintetičkih drenažnih kontejnera, uz dodatak odgovarajućeg flokulanta, vrši se zadržavanje sitne frakcije bakra unutar kontejnera kako bi se mogla vraćati u ponovni

¹ Čanović Vladan, Rudarski institut d.o.o. Beograd, email: vladan.canovic@ribeograd.ac.rs

² Čolaković Violeta, Rudarski institut d.o.o. Beograd

proces prerade.

Pomoću hidrociklona, flotacijski pesak bez korišćenja flokulanata će se odlagati u geosintetičke drenažne kontejnere. Ovaj postupak će se koristiti za izgradnju brana flotacijskih jalovišta u cilju postizanja stabilnosti odlagališnog prostora.

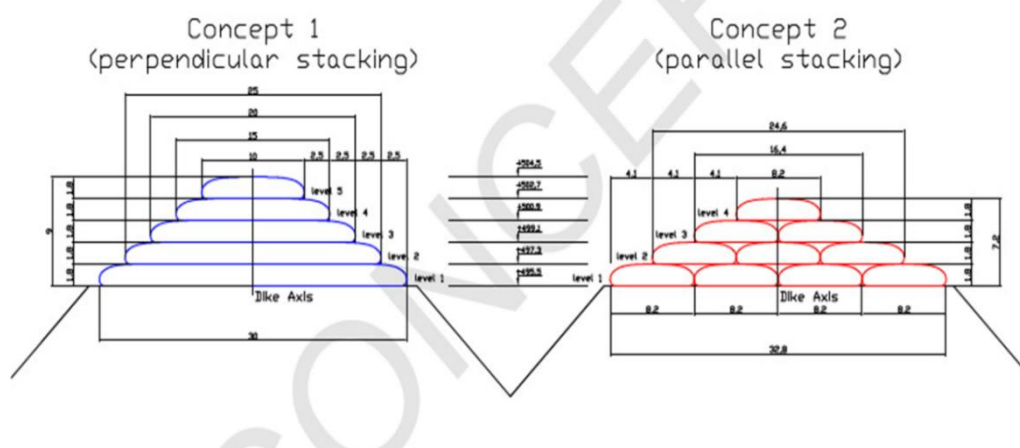
2. Konceptija inovacionog rešenja

Inovativni koncept zasniva se na trostrukom korišćenju geosintetičkih drenažnih kontejnera:

- U postupku dobijanja koncentrata bakra;
- Pri odlaganju flotacijske jalovine u kontejnere sa formiranjem zaštitnog nasipa oko odlagališta;
- U tehnologiji odlaganja flotacijske jalovine sa smanjenom degradacijom zemljišta.

Do sada se u postupku dobijanja koncentrata bakra, flotacijski mulj pre izlivanja u flotacijsko jezero propuštao kroz taložne bazene. U taložnim bazenima vršeno je taloženje suspendovanih čestica bakra iz flotacijskog mulja i njihovo ponovno vraćanje u proces prerade. U uslovima izlivanja velikih količina flotacijskog mulja u taložne bazene značajna količina suspendovanih čestica rude bakra prelivala se nekontrolisano preko prelivnice u flotacijsko jezero. Da bi se eliminisao finansijski gubitak koji u tom slučaju nastaje predložen je ovaj inovativni koncept po kome se flotacijski mulj ispušta u geosintetičke drenažne kontejnere umesto u taložne bazene. Na taj način sva količina suspendovanih čestica rude bakra ostaje *zarobljena* unutar drenažnih kontejnera dok vodena komponenta mulja gravitacijski odlazi u flotacijsko jezero. Pre ulivanja flotacijskog mulja u drenažni kontejner dodavali bi se odgovarajući flokulanti kako bi se ubrzao proces razdvajanja čvrste i tečne komponente unutar geokontejnera. Proces punjenja i dreniranja kontejnera flotacijskim muljem bio bi cikličan proces (punjenje kontejnera - dreniranje - konsolidacija čvrste komponente mulja unutar kontejnera)[1, 3]. Postupak bi se ponavljao sve dok se kontejner ne napuni u potpunosti čvrstom komponentom. Nakon toga kontejner bi se otvarao i čvrsta komponenta izdreniranog mulja rude bakra bi se ponovno vraćala na preradu [2].

Brane se na flotacijskom jalovištu izrađuju istakanjem flotacijskog peska iz hidrociklona. Ovim inovacionim postupkom predviđa se ulivanje flotacijskog peska direktno iz hidrociklona u geosintetički drenažni kontejner bez dodavanja flokulanata. Kontejneri ispunjeni flotacijskim sadržajem, bez dodatka flokulanata, mogu se odlagati jedan preko drugog te se time značajno smanjuje degradiranje okolnog zemljišta i postiže visok stepen geomehaničke stabilnosti [3]. Dva načina ređanja geosintetičkih kontejnera u postupku izrade nadvišenja brane flotacijskog jalovišta prikazani su na Slici 1.



Slika 1, Konceptualni prikaz nadvišenja flotacijske brane pomoću geosintetičkih drenažnih kontejnera (preuzeto od Huesker Synthetic GmbH, Germany)

3. Opis izvedenih istraživanja

U ovom poglavlju biće hronološki navedena ispitivanja koja su obaljena na flotacijskom jalovištu Rudnika Rudnik tokom 2019. godine.

09.02.2019. godine obavljen je eksperiment punjenja gesintetičkih torbi jalovinom na više lokacija u krugu Flotacije rudnika. Pošto je veličina čestica jalovine od 50 do 150 mikrona, a prečnik pora geotekstila od 200 do 400 mikrona najveći deo jalovine koja se u vodi pojavljuje kao suspendovani nanos isticao je iz torbi. Zaključeno je da se moraju dodavati flokulanti za zgušnjavanje čestica jalovine.

07.03.2019. godine kolege iz SNF Adriatika obavili su laboratorijska testiranja u cilju određivanja polimera koji daje najbolju flokulaciju za zadržavanje materijala jalovine u geotekstilnim torbama. Nakon sprovedenih ispitivanja utvrđeno je da je flokulant Ecochem EA-50 onaj koji daje najbolje rezultate (Slika 2).



Slika 2. Uporedna analiza efekata flokulanta EA-50

12.03.2019. godine obavljen je eksperiment punjenja torbe tipa *Soil TainDW* peskom iz hidrociklona u trajanju od 10 sekundi. Konstatovano je isticanje bistre vode uz minimalni gubitak materijala. Nakon 20 minuta isticanje vode je prestalo.

19.03.2019. godine uzeta su dva izdrenirana uzorka i odneta u laboratoriju flotacije gde je utvrđeno 10,872% vlage u jednom uzorku dok je drugi uzorak sušen u sušnici u trajanju od 4 sata. Nakon sušenja izmerena količina vlage bila je 10,345%.

Rezultati eksperimenta na hidrociklonu pokazuju da se geotekstilne torbe mogu puniti i drenirati peskom hidrociklona flotacijske jalovine bez dodavanja flokulanata.

06.05.2019. godine kolege iz SNF Adriatika obavili su laboratorijska testiranja u cilju određivanja polimera koji daje najbolje (bistrina vode iznad taloga) i najbrže taloženje materijala u Cu-koncentratu.

Za tretman Cu-koncentrata usvojena je anjonska emulzija (Ecochem EA-40) kao najbolji izbor u smislu brzine taloženja, bistrine vode, mogućnosti i lakoće same pripreme. Laboratorijska doza u ovom slučaju je iznosila oko 0.5kg/TDS.

Predstavnici Rudarskog instituta zajedno sa tehničkim rukovodiocem flotacije, obišli su branu flotacijskog jezera i mesta istakanja flotacijskog peska iz hidrociklona (Slika 3). Utvrđeno je da postoje povoljni uslovi za obavljanje eksperimenta punjenja geotekstilnog *jastuka* materijalom iz hidrociklona. Eksperiment treba da pokaže mogućnost korišćenja geotekstilnih kontejnera u nadvišenju brane do maksimalne projektovane kote.



Slika 3. Hidrociklon na kruni flotacijske brane Rudnika Rudnik

05.11.2019. godine obavljeno je punjenje geosintetičkog drenažnog kontejnera dimenzija 1 m*1 m peskom iz hidrociklona (Slika 4). Korišćen je geosintetički drenažni kontejner nemačke kompanije HUESKER Ltd. Pesak koji je isticao iz hidrociklona sadržao je 85% peskovite komponente prečnika zrna 2 - 0.063 mm, 15% prašinate komponente prečnika zrna 0.063 - 0.002 mm i vlažnost $W = 17,9\%$. Nakon 7 dana drenažni kontejner je otvoren i laboratorijski je na uzetom uzorku peska utvrđena vlažnost materijala od $W = 4,1$.



Slika 4, Punjenje geosintetičkog drenažnog kontejnera peskom iz hidrociklona na brani flotacijskog jezera Rudnik Rudnik

4. Zaključak

U procesu dobijanja koncentrata bakra određena količina sitne frakcije se tokom *kampanje bakra* prelivala iz taložnog bazena u flotacijsko jalovište. Korišćenjem geosintetičkih drenažnih kontejnera, uz dodatak odgovarajućeg flokulanta, moguće je sitnu frakciju bakra zadržati unutar kontejnera, kako bi se mogla vraćati u ponovni proces prerade. Na taj način bi se ostvarila finansijska dobit.

Flotacijski pesak, bez korišćenja flokulanata, moguće je hidrociklonom puniti u geosintetičke drenažne kontejnere koji se koriste za nadvišenje flotacijske brane. Prednosti ove metode ogledaju se u obezbeđenju geomehničke stabilnosti i sprečavanju proboja velikih voda kao što je bio slučaj 2014. godine.

Korišćenjem drenažnih kontejnera može se ugraditi veća količina flotacijskog pesak u telu brane

čime se povećava slobodan prostor flotacijskog jezera.

Literatura

- [1] Markus Vilke, Morne Brutenbah, Jarmo Renanen, Veli-mati Hila: Efikasna i ekološki održiva obrada i deponovanje jalovine geosintetičkim ocednim cevima - principi rada i primer Talvivara, Rudarski glasnik broj 1-2, 2016., str. 79-84, Rudarski institut d.o.o., Beograd
- [2] M. Muller, D. F. Arnau, E. Guanaes, D. De Mattos Vidal: Odlaganje pepela korišćenjem geotekstilnih cevi, Zbornik radova Rudarstvo i geologija danas - međunarodni simpozijum, Beograd 2017., str. 224-232
- [3] Lawson C. R. (2008.) Geotextile containment for hydraulic and environmental engineering, 15 No. 6: pp.384-427, Geosynthetics international, IGS

**ODREĐIVANJE KONAČNE KONTURE POVRŠINSKOG KOPA U VIŠESLOJNIM LEŽIŠTIMA UGLJA OBUHVATANJEM PARAMETARA PROIZVODNJE****ULTIMATE PIT LIMIT DETERMINATION OF MULTI-LAYER COAL DEPOSITS CONSIDERING THE PRODUCTION PARAMETERS**Deligiorgis B.¹, Galetakis M.², Roumpos C.³**Apstrakt**

Izbor radnih parametara opreme za eksploataciju, preradu i termoelektrane značajno utiče na eksploatacione rezerve, kvalitet i specifične emisije CO₂ iskopanog uglja. Za eksploataciju višeslojnih ležišta uglja, određivanje optimalnih parametara selektivnog otkopavanja je ključno za tekući kvalitet uglja iz površinskog kopa (TKU). Optimizacija eksploatacionih parametara radi postizanja specifičnih ciljeva proizvodnje i kvaliteta je kompleksan višestruki problem za takva ležišta. U ovoj studiji, Voronojev blok model ekonomske vrednosti je primenjen da bi se rešio problem za odabrana svojstva kvaliteta svakog sloja uglja na osnovu postojećih podataka iz bušotine. Prvo se kreira blok model uzimajući u obzir projektne i operativne parametre, zatim se procenjuje neto sadašnja vrednost (NSV) blokova i na kraju se primenjuje Lerch-Grosmanov algoritam za određivanje krajnje granice kopa. Razvijena metodologija je primenjena na površinski kop lignita Kardija u Zapadnoj Makedoniji i ispitano je nekoliko scenarija koji se odnose na različite uslove eksploatacije/iskorišćenja i ekonomske uslove. Glavni zaključak u vezi sa ovom novom metodologijom je da su, osim maksimizacije NSV, potrebni dodatni kriterijumi. Što se tiče konkretnog proučavanog primera, rezultati su pokazali da na eksploatacione rezerve uglja i njihov kvalitet najviše utiče razmatrana efikasnost elektrane. Pored toga, značajan uticaj imaju i ekonomski parametri, kao što su veleprodajna cena električne energije, cena prava na emisiju CO₂ i troškovi energije i rada.

Ključne reči: Selektivna eksploatacija uglja, Lerš-Grosmanov algoritam, višeslojna ležišta, neto sadašnja vrednost

Abstract

The selection of the operational parameters of the excavation equipment, the processing and the power plant affects significantly the recoverable reserves, the quality and the specific CO₂ emissions of the mined coal. Especially for the exploitation of multi-layer coal deposits, determining the optimal selective excavation parameters is crucial for the run-off mine (ROM) coal quality. Optimising exploitation parameters to achieve specific production and quality targets is a complex multi-objective problem for such deposits. In this study, a Voronoi economic value block model is constructed to address this problem for the selected quality properties of each coal layer based on the existing drillhole data. First the block model is created considering the design and operational parameters, then the net present value (NPV) of the blocks is estimated, and finally, the Lerch-Grossman algorithm is applied to

¹ Deligiorgis Basileios, Technical University of Crete, School of Mineral Resources Engineering

² Galetakis Michael, Technical University of Crete, School of Mineral Resources Engineering

³ Roumpos Christos, Public Power Corporation of Greece, Mining Engineering and Closure Planning

determine the ultimate pit limit. The developed methodology was applied to the Kardia lignite mine in Western Macedonia and several scenarios referring to different exploitation/utilisation and economic conditions were examined. The main finding concerning the new methodology is that additional criteria, apart from the maximisation of the NPV, are required. Regarding the specific case studied, results indicated that the recoverable coal reserves and their quality are mainly affected by the considered power plant efficiency. Additionally, the economic parameters, such as the wholesale electricity price, the price of CO₂ emission rights and the energy and labour costs, had also a significant effect.

Keywords: Terrace coal mining, Lersch-Grossman algorithm, Multi-layer deposits, Net present value

1. Introduction

The selection of the design and operational parameters in the different stages of the coal production chain, from mining to combustion, is a complex multi-objective problem. The production chain components may concern the equipment of the mine, the geometrical characteristics of the benches and the pit, the parameters of the processing plant and the homogenisation yard and finally, the parameters of the power plant. These parameters should be selected in accordance with the geological and mining properties/constraints of the deposit, such as the recoverable reserves, the quality, the specific CO₂ emissions of the run-off mine (ROM) coal, the number and the geometry of the coal seams etc. Especially in the case of multi-layer and complex geologically coal deposits found in Greece, small changes in the production parameters have a severe impact on the quality and quantity characteristics of the ROM coal.

Estimating these parameters for the majority of the world's coal deposits, which are well stratified with very few seams, is a straightforward process. In such simple geological conditions, seam correlation is easy, thus, the geological block model can be created. Consequently, the economic value block model could easily be generated considering only the price of coal or electricity and a broad assumption of the production cost.



Figure 1. Thin multi-layer coal deposit crossed by a fault. (Barbas, 2013)

The estimation of the ultimate pit from these economic blocks is very accurate because it is possible to estimate the production cost that does not fluctuate due to the simple geological conditions. However, in the case of complex geologically multi-layer deposits, such as the Kardia lignite deposit in Western Macedonia (Figure 1), production costs are highly related to the geological conditions, resulting in high uncertainty. The objective of the study is to propose a novel methodology for estimating the ultimate pit of multi-layer coal deposits without seam correlation by considering production parameters.

2. Applied methodology for modelling the multi-layer coal deposits

Coal deposits of Greece present unique geological characteristics affecting significantly their recovery during mining. In the region of Western Macedonia coal sedimentation after Miocene had continuous interventions regarding the deposition of non-organic material (Steenbrink et al., 2003). Additionally,

there have been numerous faults and complex tectonic structures (Figure 1) as a consequence, mostly of tertiary changes in the local stress field (Delogkos et al., 2018).

The problem of geological modelling of such deposits can be attributed to the very frequent changes in the properties of formations due to the extreme splitting. Thus, a costly denser drillhole grid is required to determine the boundaries of each layer accurately. Determining those boundaries is important since certain coal layers, included in a mineable block, should be selectively excavated, contrary to other coal deposits where the whole block is excavated without applying selective mining. Therefore, if the average quality is not acceptable the whole block is considered as waste.

All the efforts for the model creation of the minable layers were based on specially developed software by Power Public Corporation, the METAL software (Karamalakis, 1992). Its characteristic feature is the creation of larger layer packets by applying general excluding criteria for some layers. Additionally, all packets are assimilated into a two-dimensional model without considering the depth. The first step in the above mentioned process is the determination of the exploitable coal, using data obtained from boreholes. For the determination of exploitable coal thin layers of coal and interbedded waste layers are grouped under specified assumptions regarding thickness and ash content, to form the exploitable blocks. A computer model of selected deposit properties can thus be created, by dividing the deposit into small blocks and by assigning a number of properties to each block. The main criteria used for the formation of the exploitable coal blocks are (Galetakis and Vasileiou, 2010):

- Minimum thickness of coal seam and partings (waste layers) that can be excavated by selective mining. These values are mainly depended on the technical data of the excavator, the bench geometry and the type of cutting.
- Maximum ash content of the mined coal. This value is closely related to the specifications of the power station which is fed by the mined coal.
- Dilution and mining loss. These parameters are used in order to take into account the unavoidable co-excavation of waste layers, during the extraction of the coal blocks.

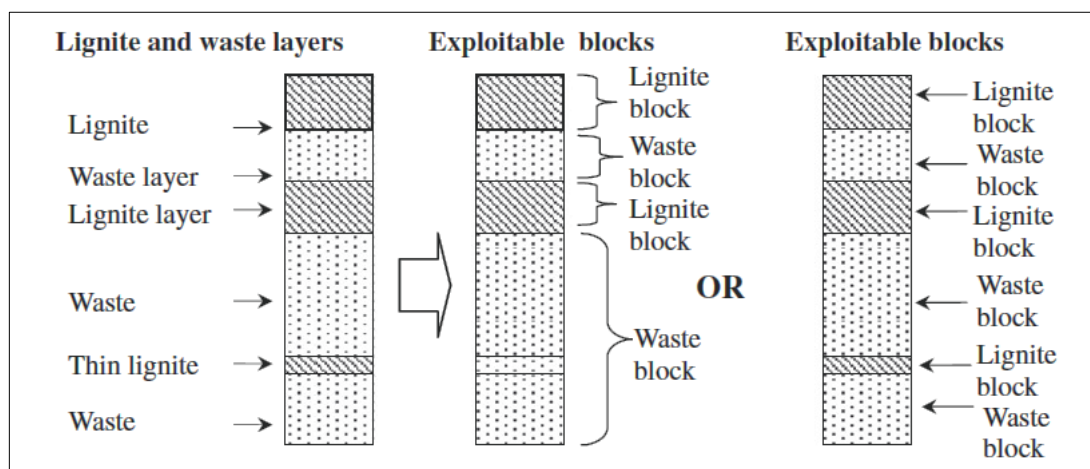


Figure 2. Different possible approaches for grouping coal and waste layers to form the exploitable blocks (Galetakis & Vasileiou, 2010).

The formation of an exploitable coal block is shown schematically in Figure 2. The quality of an exploitable block, formed from several successive coal and waste layers, is the weighted average of the corresponded quality parameters of the individual layers. Then the ROM coal quality is estimated, by taking into account the effect of dilution and mining losses and finally the net present value (NPV) is calculated considering financial parameters (Paraskevis et al., 2018; Roumpos, 2004).

However, a thorough analysis requires the use of different software and interoperability issues emerge. Furthermore, the implementation of pit optimisation algorithms have the same issues and a few attempts exists by Mastoris (1994). As a result, the pit limits, the recoverable reserves and the NPV of

such mines have not yet be evaluated simultaneously.

3. Modelling and determination of ultimate pit limits

The developed methodology for modelling and determination of ultimate pit limits of multi-layer deposits introduces two main novelties. The first regards the replacement of geological modelling by a detailed Voronoi economic value block model that has been created from the pre-processed drillhole data. The second and more important, concerns the replacement of the seam excluding criteria by the estimation of the NPV considering production parameters before block modelling. In addition, an economic value block model in a coarser rectangular grid is created to reduce the computation time for the Lerch-Grossman (LG) algorithm used to determine the optimal ultimate pit limits. The main steps of the developed methodology are:

1. Drillhole data pre-processing and properties assignment.
2. Estimation of the economic value for each data point.
3. Creation of the Voronoi economic value block model.
4. Creation of the economic value block model using a coarse rectangular grid.
5. Implementation of the LG algorithm.

The pre-processing of drill-hole data includes the correction of the raw data and the estimation of the missing crucial coal quality parameters, e.g. the lower calorific value (LCV). These calculations were based on other measured quality parameters (e.g. ash and moisture) and on the geological description of the drill cores. Missing quality parameters values were computed by regression or rule-based inference systems (Galetakis, 1996; Galetakis and Papanicolaou, 2004).

The estimation of economic value can be achieved from these corrected values for each point in the dataset considering, the specific coal consumption, the specific CO₂ emissions, and other production parameters of the exploitable coal. Therefore, the specific revenue or loss (P_{Mine}) for each specific layer can be defined (Eq. 1). The production costs (C_{Prod}) was estimated considering energy (C_E) and labour (C_L) costs, which are analogous to the depth and the distance of the layer from their final destinations (Deligiorgis, 2017). During the excavation of thin seams, buckets are not fully loaded and as a result, the excavator's productivity decreases proportionally to the thickness of the excavated packet or layer, thus a productivity ratio (q_{ex}) correction was applied (Eq. 2). The estimation of the beneficiation cost (C_{ProP}) was determined by using the MODSIM software (Figure 3) and production and economic data used in previous studies (Kavouridis, 1981; Kitsikopoulos & Tsagarisianos, 1999).

The final specific value (P_{NPV}) of each layer is calculated from the desired internal rate of return (IRR) of the investor, the inflation (ϵ) and the year (t) that each layer is going to be excavated, based on the equations 1-3:

$$P_{Mine} = ((DAM - C_{PP})/c_s) - q_s C_{CO2} - C_{Prod} [\text{€/m}^3] \quad \text{Eq. 1}$$

$$C_{Prod} = C_{ProP} + q_{ex} (C_E + C_L) + C_{Sur} + C_{Oth} + C_{Dep} [\text{€/m}^3] \quad \text{Eq. 2}$$

$$P_{NPV} = P_{Mine} (1-IRR)/(1+\epsilon)^t [\text{€/m}^3] \quad \text{Eq. 3}$$

Where:

DAM: Electricity price in the day ahead market. [€/MWh]

C_{PP} : Power plant operational cost. [€/MWh]

c_s : Specific fuel consumption. [$\text{m}^3_{lig}/\text{MWh}$]

q_s : Specific emissions per m^3 of coal. [$\text{t}_{CO2}/\text{m}^3_{lig}$]

C_{CO2} : CO₂ emission rights cost. [€/t_{CO2}]

C_{Prod} : Production costs. [€/m³]

C_{ProP} : Processing plant cost. [€/m³_{lig}]

C_E : Energy costs. [€/m³]

C_L : Labour costs. [€/m³]

C_{Oth} : Other Costs (Contractors etc.). [€/m³]

C_{Dep} : Depreciation costs of mine equipment. [€/m³]

C_{Sur} : Land acquisition, rehabilitation, and other land surface costs. [€/m²]

The developed model still comprises of point data and not three-dimension solids with known boundaries. With Voronoi block modelling, the boundaries are determined in the vertical axis by the thickness of the layer and in the horizontal plane by the Voronoi polygons. For the efficient implementation of the LG algorithm, coarser rectangular grid models are created by adding the levelised economic mean value of each neighbouring layer or each portion inside the larger voxel volume with a height over 10-15 meters.

LG algorithm is based on the graph theory and is capable of finding the ultimate pit limit for a deposit. It has variants for two, three or four dimensions (2D, 3D, 4D). In this study, the 3D variant was used and was implemented via the Carlson Mining software which determines the economic viability via the maximisation of the NPV. The 4th dimension introduced through an iterative procedure of the previous described steps (Deligiorgis, 2017).

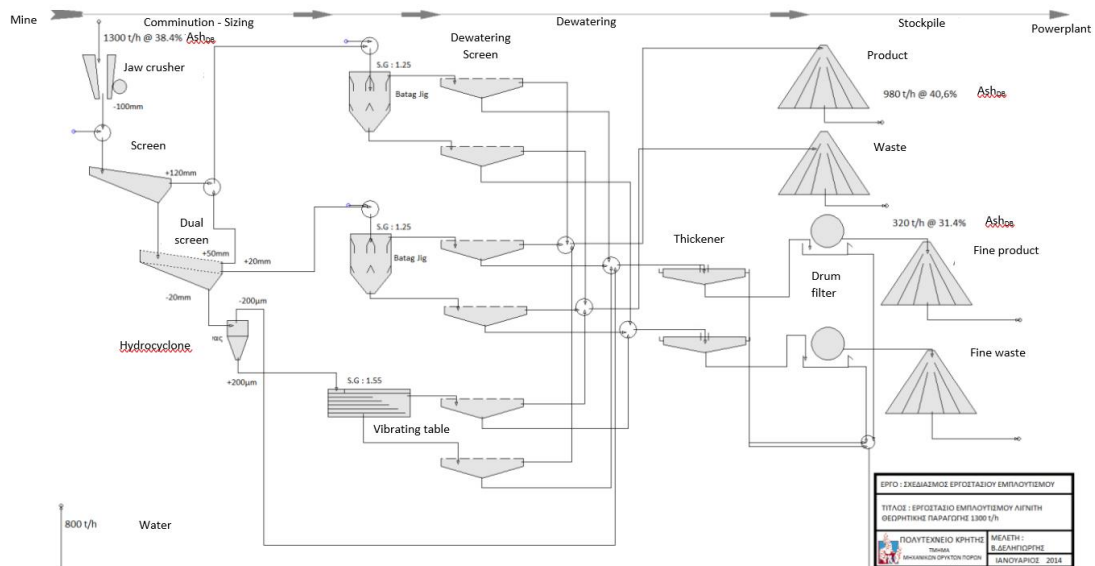


Figure 3. Beneficiation plant material flow

4. Results - Discussion

The above described methodology was applied to Kardina lignite deposit located in the area of Western Macedonia. The used dataset consists of 570 drillholes and was provided by the Public Power Corporation. The locations of the drillholes and the digital terrain elevation model of the area are shown in Figure 4.

Three scenarios were examined regarding the optimization of the ultimate pit limits. The parameters which considered identical for all scenarios were: slope for the North-South and West-East faces (1:3 and 1:4, respectively), thickness of each Voronoi voxel (0.1m), and dimensions of the larger voxel (length=40m, width=30m and height=10m). Also, coal and waste material density were taken 1.2 and 1.8 t/m³ respectively. The expected remaining lifetime of the project was considered 30 years, and the average inflation rate 2.5%. The energy cost for mining was taken 50€/MWh, the operational cost of the powerplant 20€/MWh, and the least desired IRR of the operator 2.5%.

The first and the second were similar except the considered power plant efficiency. In the first scenario power plant efficiency was equal to 36% while in the second was 42%. In the third scenario, which was the most favourable, higher annual production and lower operational cost were considered. Additionally, the electricity price in the wholesale market was considered significantly higher and the CO₂ emission cost lower.

For the first scenario, the resulted profit was almost zero, and the total revenue 500 M€. This shows that the mine operator will have only the profit resulting from IRR and the total revenue will be

used for the exploitation of the deposit. The resulting pit appears very shallow with a maximum depth of 50-60m (Figure 5a).

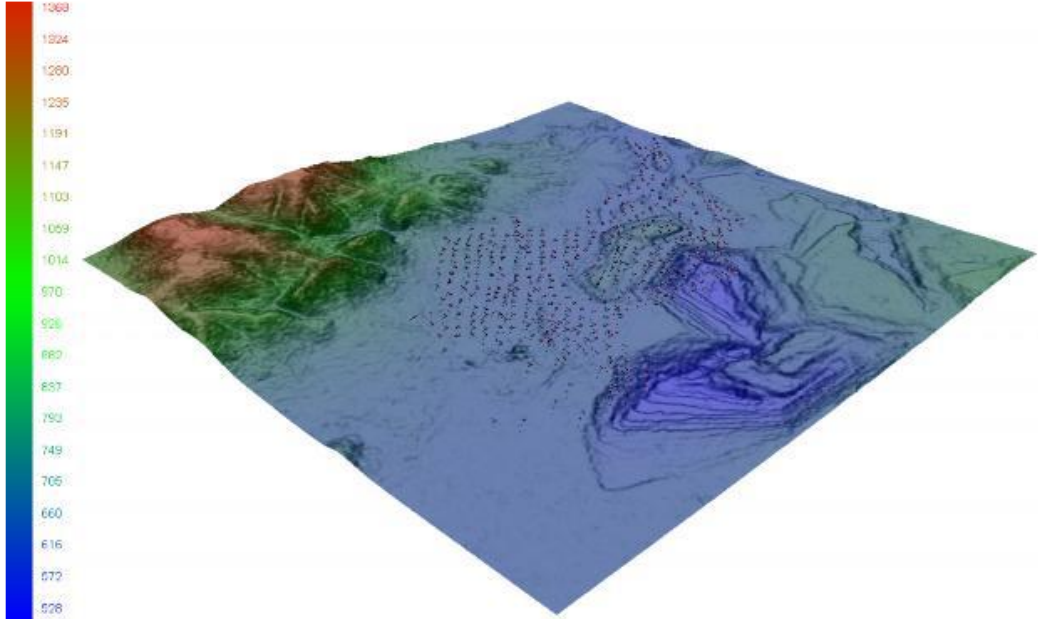
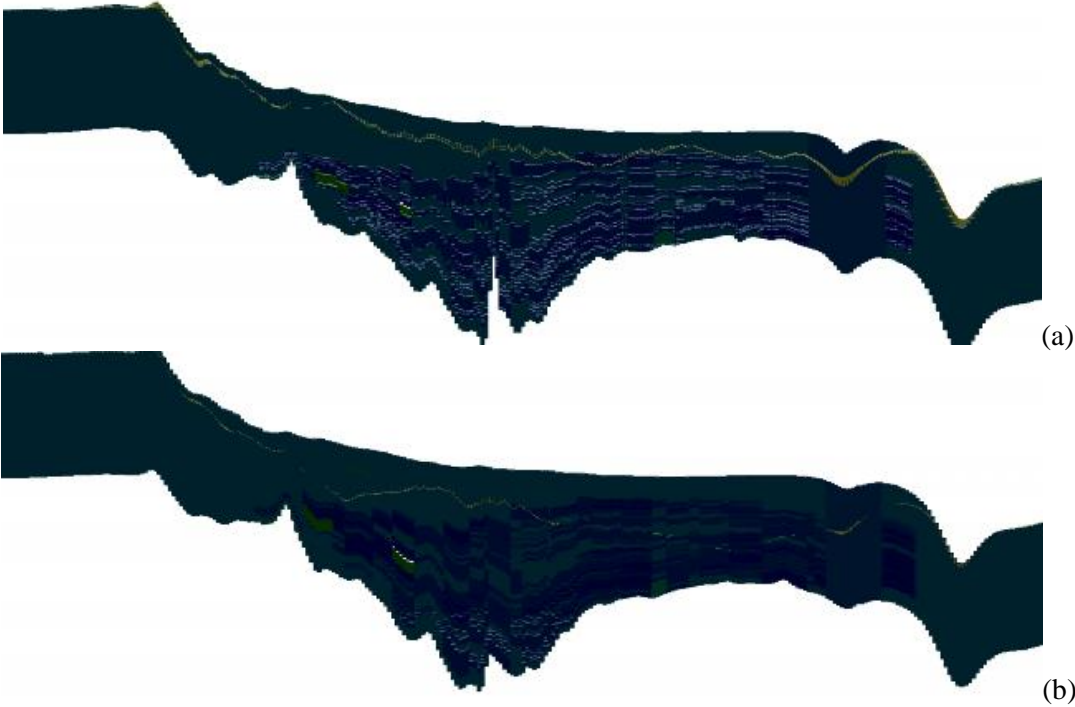


Figure 4. Location of drillholes and digital elevation mode of Kardia coal deposit region. The mountainous area is located at North-West. The dimensions of the rectangle are 12x12 km² and the elevation [m] is shown in the colour bar scale.



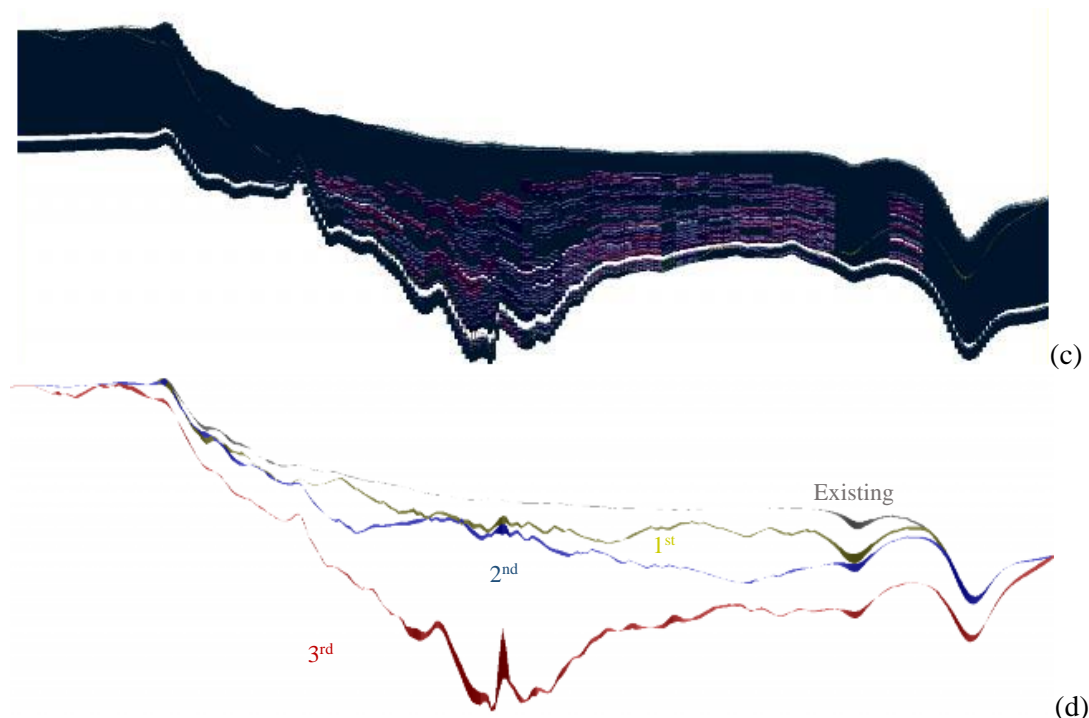


Figure 5. Slice from the first (a), second (b), third (c) scenario, and the pit limits from both of three scenarios and the natural surface (d). Dark blue to red blocks have positive NPV, green to light blue blocks have negative. West is from the right side and the length of the slice is 8.5 Km. The vertical scale is exaggerated (five times the horizontal).

The second scenario (Figure 5b) indicates that improved power plant efficiency resulted in lower specific coal consumption leading to an increase of the recoverable reserves and the overall excavation volumes. The selling price of coal (to power plant) could be increased from 15 to 24 €/t resulting in an increase of the excavated material by 400 Mm³. To accomplish this, 800M€ additional expenditures (compared to the first scenario) will be needed. The improvement of the power plant's efficiency had strong impact on the revenue.

In the third scenario, the considered very low excavation cost, high electricity price, and high production performance resulted in considerable larger recoverable coal reserves and higher total excavation volumes (6.3 Gm³). As shown in Fig. 5c and 5d the created final pit is significantly wider and deeper compared to those created in the previous two scenarios. The third scenario is useful to test the capabilities of the algorithm and the limits of the technological improvement that can be feasibly applied. The implementation of the best available technologies in mining, beneficiation and power plant could lead to the extraction of significantly higher amounts of coal from the same deposit.

It was also shown from the results obtained from the second and mainly from the third scenario that only a very high NPV can allow this algorithm to define the largest pit limits with increased reserves. In first two scenarios resulting lower revenue and an acceptable IRR, significant amount of reserves, especially the thin and deep layers of coal, appeared as non-exploitable (Figure 5a&b). If the strategy of the investor is to secure lower IRR for longer period, the maximisation of NPV is not the adequate way to achieve this target for such deposits.

5. Conclusion - suggestions

The result obtained in this study indicated that the successful determination of the ultimate pit of a multi-layer deposit with extreme splitting depends significantly on the considered production parameters. As for the Kardia deposit, results indicated that better equipment selection and infrastructure design would significantly improve the economic indicators. The methodology could be improved using other

optimisation algorithms or variations of LG algorithm that are versatile enough to optimise the production parameters during the implementation of the algorithm with other criteria. The future development of this study could concern the implementation of the methodology in other types of non-sedimentary deposits to broaden the application area. Also, a more detailed NPV model could be produced considering the impact of the environmental and the rehabilitation parameters to the recoverable reserves.

References

- [4] Barbas, T., 2013. Facemap of the Kardias mine. Public Power Corporation (PPC) (in Greek).
- [5] Deligiorgis, V., 2017. Ultimate pit limit determination of multi-layer lignite deposits (Bachelor). Technical University of Crete (TUC) (in Greek).
- [6] Delogkos, S., Papanikolaou, V., Manzocchi, T., Childs, C., Roche, V., Camanni, G., Schöpfer, M., Walsh, J.J., Pavlides, S., Chatzipetros, A., Sachanidis, C., Barbas, T., 2018. Structural Geology of the Lignite Mines in the Ptolemais Basin, NW Greece. Presented at the 14th International Symposium of Continuous Surface Mining, ISCSM2018.
- [7] Galetakis, M., 1996. Determination of lignite quality mined from multi-layer deposits applying continuous opencast methods (Doctoral Dissertation). Technical University of Crete (TUC) (in Greek).
- [8] Galetakis, M., Papanicolaou, K., 2004. Estimation of the effect of partings on the quality of the recoverable lignite mined from multiple-layered deposits. *Bull. Geol. Soc. Greece* XXXVI, 274–282 (in Greek).
- [9] Galetakis, M., Vasileiou, A., 2010. Selective mining of multiple-layer lignite deposits. A fuzzy approach. *Expert Syst. Appl.* 37, 4266–4275.
- [10] Karamalakis, N., 1992. Computer software for the evaluation of lignite deposits. *Mineral Wealth*, 1992, 39–50 (in Greek).
- [11] Kavouridis, C., 1981. Preliminary study on the possibility of lignite recovery from intercalates with lignite with gravity separation. Public Power Corporation (PPC) (in Greek).
- [12] Kitsikopoulos, X., Tsagarisianos, A., 1999. Industrial tests and study for the beneficiation of lignite from Sector 6 in the Kardias mine. Public Power Corporation (PPC) (in Greek).
- [13] Mastoris, J., 1994. An application of 3-D modelling and optimization of the final pit limits for a lignite deposit (Master thesis). Virginia Tech.
- [14] Paraskevis, N., Sideri, D., Stathopoulos, N., Roumpos, C., Pavlidakis, F., 2018. Sustainable Development Analysis of Lignite Mining, by Coupling Environmental, Economic and Social Indicators. Presented at the 14th International Symposium of Continuous Surface Mining, ISCSM2018.
- [15] Roumpos, C., 2004. Decision making system for mineral deposits exploitability (Doctoral Dissertation). National Technical University of Athens (NTUA) (in Greek).
- [16] Steenbrink, J., Kloosterboer-van Hove, M.L., Hilgen, F.J., 2003. Millennial-scale climate variations recorded in Early Pliocene colour reflectance time series from the lacustrine Ptolemais Basin (NW Greece). *Glob. Planet. Change* 36, 47–75.



**ANALIZA OSNOVNIH INDIKATORA UPOTREBNOG KVALITETA MAŠINA POMOĆNE
MEHANIZACIJE NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA UGLJA**

**ANALYSIS OF BASIC INDICATORS FOR MACHINE USE QUALITY OF AUXILIARY
MACHINERY ON OPEN PIT COAL MINES**

Đenadić S.¹, Ignjatović D.², Jovančić P.³, Lekić M.⁴, Aleksić Ž.⁵, Janković I.⁶

Apstrakt

Izbor optimalnog tipa mašine i adekvatno upravljanje kroz životni vek je kompleksan zadatak. Osnovna pitanja koje se postavljaju prilikom rešavanja ovog zadatka vezana su za stepen zadovoljenja rada mašine i optimalan trenutak zamene iste. U ovom radu je izvršena analiza rada dozera koji su u radu na površinskom kopu lignita RB Kolubara. Analizom je obuhvaćeno 4 različita proizvođača dozera a to su: *Caterpillar*, *Dresssta* i *Shantui* i *Liebherr*. Analiza je izvršena sa aspekta ukupnih troškova koji se stvaraju i njihove empirijske raspoloživosti kao osnovnih indikatora upotrebnog kvaliteta mašine. Oba parametra se analiziraju u funkciji vremena i ukazuju na mogućnost unapređenja upravljanja mašinom i na optimalan trenutak njene zamene u odnosu na tržišne uslove razmatranog trenutka. Postavljena granična vrednost prema kriterijumu troškova je 70 €/mh, dok je postavljena granična vrednost za empirijsku raspoloživost 0,8. Pored toga urađena i analiza osetljivosti prema oba parametra. Ovakav tip analize se može proširiti različitim parametrima u odnosu na uslove rada kako bi se formirao model za optimalni izbor mašina pri narednim nabavkama.

Ključne reči: rudarstvo, mehanizacija, upotrebnost, troškovi, empirijska raspoloživost

Abstract

Choosing the optimal type of machine and adequate management throughout its lifetime is a complex task. The basic questions that arise when solving this task are related to the degree of satisfaction of the machine's operation and the optimal moment of its replacement. In this paper, an analysis of the operation of the dozers that are in operation at the opencast lignite mine of RB Kolubara was performed. The analysis includes 4 different manufacturers of dozers, namely: *Caterpillar*, *Dresssta* and *Shantui* and *Liebherr*. The analysis was performed from the aspect of the total costs that are created and their empirical disposability as the basic indicators of the quality of use of the machine. Both parameters are analyzed as a function of time and indicate the possibility of improving the management of the machine and the optimal moment of its replacement in relation to the market conditions of the considered moment. The set limit value according to the cost criterion is €70/mh, while the set limit value for empirical disposability is 0.8. In addition, a sensitivity analysis was performed according to both parameters. This type of analysis can be extended with different parameters in relation to the operating conditions in order to form a model for the optimal selection of machines in subsequent purchases.

¹ Đenadić Stevan, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

² Prof. dr Ignjatović Dragan, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

³ Prof. dr Jovančić Predrag, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

⁴ Lekić Milena, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

⁵ Aleksić Žarko, Elektroprivreda Srbije - Ogranak RB Kolubara

⁶ Doc. dr Janković Ivan, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

Keywords: mining, mechanization, use quality, costs, empirical disposability

1. Uvod

Energetska bezbednost opisuje se kao sinteza geopolitičkog i energetskog aspekta dostupnosti energije u različitim oblicima i dovoljnim količinama po povoljnim cenama [1]. Pored otežavajućih trendova u energetici (rasta u potražnji; neravnomernost i kompleksnost pristupa), geopolitička situacija dodatno je otežala i zakomplikovala situaciju kako u svetu, tako i u regionu.

Energetske potrebe Republike Srbije zadovoljavaju se većim delom iz termoelektrana. Od ukupnih 7.391 MW instalisane snage na proizvodnji električne energije gotovo 60% je instalisano u termoelektranama. Prema podacima o proizvedenim količinama električne energije iz perioda od jula 2022. do septembar 2022. godine, struktura proizvodnje je sledeća: iz termoelektrana 72,03%; iz hidroelektrana 25,98%; iz vetro parkova 1,96%; i iz gasnih elektrana 0,03% [2]. U takvim okolnostima u Republici Srbiji do izražaja dolazi površinska eksploatacija uglja (lignita) kojom se obezbeđuju potrebne količine sirovina termoelektranama. Prema podacima sa zvaničnog sajta Elektroprivrede Srbije [3], proizvodnja na površinskim kopovima za 2021. godinu iznosila je 35,9 miliona tona uglja, odnosno 106,4 miliona m³ otkrivke. Konkretno posmatrano, ogranak RB Kolubara proizveo je 26,5 miliona tona uglja i 60,7 m³ otkrivke, dok je ogranak TE-KO Kostolac proizveo 9,4 miliona tona uglja i 45,7 m³ otkrivke [3].

Eksploatacija uglja i otkrivke na velikim površinskim kopovima u Republici Srbiji vrši se primenom krupne rudarske mehanizacija. Takva mehanizacija, organizovana je u kontinualne sisteme rada. Sisteme na otkopavanju otkrivke čine rotorni bageri - transporteri sa gumenom trakom - odlagači, i organizovani su u tzv. BTO sisteme. Pri otkopavanju uglja koriste se rotorni bageri / bageri vedričari - transporteri sa gumenom trakom - drobilice/deponijske mašine kao elementi tzv. BTD sistema [4, 5].

Kako bi se postigla željena proizvodnja i adekvatno vremensko i kapacitetno iskorišćenje osnovne opreme, potrebno je blagovremeno i kvalitetno izvršiti sve unapred definisane pomoćne poslove na površinskom kopu. U te svrhe angažuje se mehanizacija diskontinualnog načina rada koja se kvalifikuje u pomoćnu mehanizaciju. Najčešće korišćene rudarske pomoćne mašine na površinskim kopovima su: dozeri, hidraulični bageri, utovarači, cevopolagači, grejderi i sl. Reč je o mehanizaciji koja se proizvodi u velikim serijama i koju je potrebno i do nekoliko puta zameniti u toku radnog veka površinskog kopa. Kvalitet rada pomoćne mehanizacije direktno utiče na stvaranje optimalnih uslova rada osnovne mehanizacije. Ako ovakvu rudarsku mehanizaciju posmatramo kao tehnički sistem, sveobuhvatni pojam koji definiše rad ovakvih sistema je upotrebnost (engl. *Quality of service*). Pojam upotrebnost kvalitet se definiše kroz ukupna svojstva tehničkih sistema vezana za rad i za potrebnu podršku kako bi sistem uspešno radio [6, 7]. Upotrebnost kvalitet se u literaturi definiše kao ukupni efekat radnih performansi koji određuje stepen zadovoljenja korisnika sistemom. U funkciji je vremena, te je s toga životni ciklus tehničkog sistema značajan faktor upotrebnog kvaliteta [6, 7]. Upotrebnost kvalitet zavisi od nivoa uspešnosti realizacije performansi sigurnosti funkcionisanja (engl. *Dependability*). Raspoloživost i faktori koji utiču na raspoloživost predstavljaju meru sigurnosti funkcionisanja.

Analiza u radu obuhvata proračun dva ključna parametra o radu dozera, a to su troškovi rada i raspoloživost. Troškovi rada su osnovna mera ekonomskih pokazatelja, dok je raspoloživost mera sigurnosti funkcionisanja. Oba parametra se mogu smatrati najznačajnijim indikatorima upotrebnog kvaliteta i doprinose prikupljanju informacija korisnih za donošenje odluka u budućnosti. Zaključci do kojih se dolazi treba da odgovore na osnovna pitanja koja se postavljaju u ovakvom tipu analiza su: Da li mašina dovoljno dobro radi?; Kada je optimalan trenutak za zamenu?; Kolika je visina prihvatljivih troškova rada?

2. Materijal i metode analize

Predmet analize u radu su dozeri koji su u radu na površinskom kopu lignita RB Kolubara. Analizom je

obuhvaćeno 4 različita proizvođača dozera a to su: *Caterpillar*, *Dressta* i *Shantui* i *Liebherr*. Ukupan broj mašina koji je obuhvaćen analizom je 72, uz napomenu da je određen broj mašina u radu kraći period. Mašine su počinjale da rade različitim godinama u periodu od 2006. do 2019. godine. Bez obzira na godinu kada su mašine počinjale sa radom, za svaku se posmatra samo prvih 10 godina rada. Analiziraju se dva osnovna parametra a to su: ukupni specifični troškovi i empirijska raspoloživost. Parametri se računaju za svaku godinu rada ponaosob.

2.1 Troškovi rada dozera

Ukupni specifični troškovi sačinjeni su od: troškova vlasništva, operativnih troškova i troškova radne snage. Kako bi vrednosti godišnjih troškova bili međusobno uporedivi, predstavljaju se u specifičnom obliku *Euro na moto sat rada* [€/mh].

Za troškove vlasništva potrebni podaci su nabavna cena mašina, koeficijent amortizacije (0,1 godišnje), koeficijent godišnjeg osiguranja. Vrednost godišnjeg povrata vrednosti mašine, za one koje su u radu duže od 10 godina se dobija deljenjem vrednosti cene isporuke mašine (P) sa napravljenim moto satima rada [8].

Za mašine koje su u radu manje od 10 godina prethodna nabavna cena se redukuje (jednačina (2.1)) umanjnjem za koeficijent godišnje amortizacije.

$$P' = [1 - (B - N) \cdot a] \cdot P \quad (2.1)$$

gde je: P' - redukovana cena isporuke mašine, [€]; B - definisani period korišćenja mašine, [god.]; N - trenutni broj godina korišćenja mašine, [god]; a - godišnji koeficijent amortizacije (10%) [8].

Pored osnovne vrednosti, uvodi se i trošak osiguranja (I) koje se računa primenom jednačine (2.2):

$$I = \frac{P \cdot (N + 1) + S \cdot (N + 1)}{2 \cdot N} \cdot \frac{i}{C} \cdot 100, \quad \left[\frac{\text{€}}{\text{mh}} \right] \quad (2.2)$$

gde je: S - vrednost mašine u trenutku zamene [€]; i - koeficijent osiguranja; C - prosečno godišnje vreme rada mašine [mh].

Operativni troškovi generišu se kroz rad i kroz preventivno (servisno) i korektivno održavanje. Neke od vrednosti koje se uzimaju su obzir su sledeći troškovi: goriva, ulja, maziva i preostalog potrošnog materijala, rezervnih delova, zamenskih delova, i dr. S obzirom na prirodu podataka kojima se raspolaže, u ovom slučaju se ukupni specifični troškovi na godišnjem nivou za svaki tip mašine dele sa napravljenim moto satima rada.

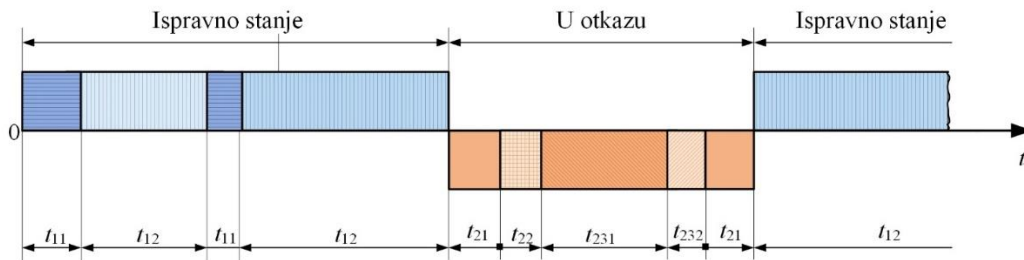
Troškovi radne snage sačinjeni su od troškova ljudstva na upravljanju mašinom i troškova ljudstva na održavanju mašinom. Ovaj način proračuna je takođe specifičan u skladu sa uslovima i prethodno definisan u radovima [6-9].

2.2 Empirijska raspoloživost

Raspoloživost je karakteristika koja opisuje i ocenjuje rad i održavanja nekog realnog sistema [7]. U teoriji, raspoloživost predstavlja verovatnoću da će tehnički sistem u bilo kom trenutku vremena t biti u stanju da radi ili da se uključi u rad i izvrši zahtevanu funkciju, pod datim uslovima, a da pri tome ima mogućnost da izvršava zahtevanu funkciju na zadovoljavajućem nivou. Pri tome je uslov da tehnički sistem u vremenu $t = 0$ nije bio u operativnom radu i da je obezbeđeno potrebno snabdevanje (spoljašnji resursi). Ako je sistem bio u skladištu, njegovo stanje nije poznato pa postoji neizvesnost da li će sistem moći da se uključi u rad [6-9].

Empirijska raspoloživost se računa na osnovu vremenske slike stanja (Slika 1) [9], koja je sačinjena od vremena rada i vremena u otkazu [6, 7]. Vreme kada je sistem u ispravnom stanju može da se podeli na neaktivno vreme odnosno vreme dok sistem čeka na rad (t_{11}) i vreme kada je sistem u radu (t_{12}). Vreme kada je sistem u otkazu, deli se na: organizaciono vreme (t_{21}), logističko vreme (t_{22}) i aktivno vreme popravke (t_{23}) koje može biti vreme za korektivne popravke (t_{231}) i vreme za preventivne popravke

(t_{232}). Vremena t_{21} i t_{22} odnose se na: defektažu, projektovanje intervencije, administrativne poslove, nabavku rezervnih delova, alata, kvalifikovane radne snage i sl. Aktivno vreme popravke obuhvata samu opravku, montažu, demontažu, zamenu i sl. Raspored vremena nije uvek isti, a prikaz na slici je samo jedan od mogućih primera [6-9].



Slika 1. Vremenska slika stanja [6-9]

Raspoloživost se određuje kao količnik ukupnog vremena tokom koga je sistem u ispravnom stanju i ukupnog vremena koje čini vreme u ispravnom stanju i vreme u otkazu [10]:

$$A(t) = \frac{\sum t_{11}, t_{12}}{\sum t_{11}, t_{12}, t_{21}, t_{22}, t_{231}, t_{232}} \quad (2.3)$$

Pojednostavljeni oblik raspoloživosti (empirijski) računa se na osnovu tri osnovna stanja (vremena): vreme u radu (t_r), vreme u planskom zastoju (t_{zp}) i vremena u neplanskom zastoju (t_{zn}).

$$A(t) = \frac{t_r}{(t_r + t_{zp} + t_{zn})} \quad (2.4)$$

2.3 Aproksimacija i korelacije podataka

Osnovne vrednosti ukupnih specifičnih troškova i empirijske raspoloživosti koji se računaju su promenjive u funkciji vremena. Za svaki tip mašine računaju se na godišnjem nivou. Pretpostavka je da će ukupni specifični troškovi rada dozera po godinama da rastu, dok je isto tako pretpostavka da će empirijska raspoloživost da opada. Kako bi se utvrdilo postojanje veze između razmatranih veličina (troškovi ili raspoloživost po godinama), potrebno je izvršiti njihovu aproksimaciju i utvrditi korelaciju među podacima. Aproksimacija ovakvih podataka vrši se najčešće pravom koja uz jednačinu aproksimacije u najboljoj meri reprezentuje razmatrani set podataka [7].

Najčešće korišćena metoda aproksimacije je metoda najmanjih kvadrata. Kao što je prethodno pomenuto, pretpostavka je da troškovi u funkciji vremena rastu, dok raspoloživost u funkciji vremena opada. S toga je početna pretpostavka da su podaci takvi da pokazuju tendenciju aproksimacije pravom linijom. Polazna jednačina linearne aproksimacije ima sledeći oblik (2.5):

$$y_i = a_0 + a_1 \cdot x_i \quad (2.5)$$

gde je u konkretno slučaju: x_i - nezavisna promenjiva i predstavlja godine rada dozera, dok je y_i - zavisna promenjiva i predstavlja ukupne troškove/empirijska raspoloživost dozera. Vrednost a_0 predstavlja vrednost u kojoj će aproksimativna linija preseći ordinatnu osu dijagrama, dok a_1 predstavlja nagib prave. Ako se usvoji da su poznate x_i (godine rada dozera) i y_i (ukupni specifični troškovi/empirijska raspoloživost) dobija se jednačina sa dve nepoznate (a_0 i a_1) [7].

Nagib prave aproksimacije se računa iz jednačine (2.6):

$$a_1 = \frac{\sum(x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})}{\sum(x - \bar{x})^2} \quad (2.6)$$

gde su: \bar{x} i \bar{y} srednje vrednosti x_i i y_i .

Nakon računanja nagiba a_1 prave aproksimacije, dobijena vrednost se vraća u jednačinu (2.5) gde se umesto poznatih vrednosti x_i , y_i koriste njihove srednje vrednosti za ceo skup \bar{x} i \bar{y} . Rešavanjem ove jednačine dolazi se do vrednosti presečna tačka ordinate a_0 [7].

Drugi segment obrade dobijenih rezultata je utvrđivanje korelacije među podacima i izračunavanje *Pearson*-ovog koeficijenta (r_{xy}) koji predstavlja meru veze dve ili više veličina. Računa se primenom jednačine (2.7) [7, 11]:

$$r_{xy} = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} \quad (2.7)$$

gde je: S_{xy} - kovarijansa (jednačina 2.8); S_x - varijansa prve veličine (jednačina 2.9); i S_y - varijansa druge veličine (jednačina 2.10) [7].

Tako je:

$$s_{xy} = \frac{\sum x_i y_i}{n} - \bar{x} \bar{y} \quad (2.8)$$

$$s_x = \frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}^2 \quad (2.9)$$

$$s_y = \frac{\sum y_i^2}{n} - \bar{y}^2 \quad (2.10)$$

pri čemu su: \bar{x} - srednja vrednost prve veličine, koja se računa deljenjem sume vrednosti prve veličine (x_i) sa brojem uzoraka (n); \bar{y} - srednja vrednost druge veličine koja se računa na isti način posmatranjem sume vrednosti druge veličine (y_i) i broja uzoraka (n).

Pozitivan koeficijent r_{xy} ukazuje na postojanje tendencije da sa rastom vrednosti promenjive x_i raste i njima odgovarajuće vrednosti promenjive y_i . Negativan koeficijent r_{xy} ukazuje suprotnu situaciju, da sa rastom vrednosti promenjive x_i postoji tendencija da njima odgovarajuće vrednosti promenjive y_i opadaju ili obrnuto tj. da sa opadanjem vrednosti promenjive x_i , njima odgovarajuće vrednosti promenjive y_i raste. Što je tendencija veća (u bilo kom pravcu), to je apsolutna vrednost koeficijenta korelacije bliža vrednosti 1, pa je i linearna veza jača u nekom od pravaca – pozitivnom ili negativnom [7, 11]. *Pearson*-ov koeficijent se može koristiti samo kod linearne korelacije. U praksi se često koristi koeficijent determinacije R^2 koji je kvadrat *Pearson*-ovog koeficijenta (r_{xy}). U Tabeli 1 je dat opseg vrednosti *Pearson*-ovog koeficijenta koji prikazuje stepen korelacije odnosno kvalitet izvršene linearne regresije.

Tabela 1. *Pearson*-ovi koeficijenti [7, 11]

Interval kome pripada vrednost r	Stepen korelacije
[0,00 – 0,40)	slaba korelacija
[0,40 – 0,75)	umerena korelacija
[0,75 – 0,85)	dobra korelacija
[0,85 – 1,00)	odlična korelacija

3. Rezultati

U cilju definisanja optimalnog pristupa upravljanju rudarskom pomoćnom mehanizacijom studija slučaja je urađena na dozerima različitih proizvođača. Analizom je obuhvaćeno 4 različita proizvođača opreme. S obzirom da je osnovna ideja u razvoju pristupa koji će valorizovati upotrebnost kvaliteta dozera, u nastavku rada neće biti korišćeni konkretni nazivi proizvođača dozera već će koristiti nazivi Mašina 1, ..., Mašina 4. Na taj način se postiže potrebna objektivnost u pristupu. Zbog kompleksnosti celokupnog proračuna ukupnih specifičnih troškova i empirijske raspoloživosti u nastavku će biti prikazan samo pregled rezultata po godinama rada.

3.1 Rezultati proračuna ukupnih specifičnih troškova

U Tabeli 2 prikazani su rezultati proračuna troškova sačinjenih od troškova vlasništva, operativnih troškova i troškova angažovanja radne snage. Struktura troškova prikazana je u specifičnom obliku prema godinama rada. Vrednosti su ponderisane u zavisnosti od stepena rada svake mašine određenog proizvođača u razmatranoj godini.

Tabela 2. Osnovni podaci i rezultati ukupnih troškova

Tip dozera	Tip troškova	Godina rada										
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	
Mašina 1	vlasništva, [€/mh]	17,98	17,98	17,98	17,98	17,98	17,98	17,98	17,98	17,98	17,98	17,98
	operativni, [€/mh]	20,50	22,76	28,07	26,50	26,44	31,96	33,95	35,64	33,78	39,31	
	radne snage, [€/mh]	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	
	ukupno, [€/mh]	56,91	59,17	64,48	62,91	62,85	68,38	70,36	72,05	70,19	75,72	
Mašina 2	vlasništva, [€/mh]	15,33	15,33	15,33	15,33	15,33	15,33	15,33	15,33	15,33	15,33	
	operativni, [€/mh]	22,27	26,30	28,12	35,74	33,71	32,18	36,72	37,40	28,94	43,57	
	radne snage, [€/mh]	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	
	ukupno, [€/mh]	56,03	60,05	61,87	69,50	67,47	65,94	70,48	71,16	62,70	77,33	
Mašina 3	vlasništva, [€/mh]	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50		
	operativni, [€/mh]	30,52	33,18	37,49	42,17	44,04	37,00	35,11	58,90	41,00		
	radne snage, [€/mh]	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43		
	ukupno, [€/mh]	61,45	64,11	68,42	73,10	74,97	67,93	66,04	89,83	71,93		
Mašina 4	vlasništva, [€/mh]	15,50	15,50	15,50	15,50	15,50	15,50					
	operativni, [€/mh]	24,23	27,43	23,76	30,05	30,55	39,74					
	radne snage, [€/mh]	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43	18,43					
	ukupno, [€/mh]	58,16	61,36	57,69	63,98	64,48	73,67					

Na primeru Mašine 1 dat je način grafičkog prikaza rezultata, aproksimacije pravom i definisanja jednačine aproksimacije. Celokupan postupak definisan je u Poglavlju 2.3, a prikazan je na reprezentativnom primeru respektivno u nastavku. Polazni podaci za Mašinu 1 dati su u Tabeli 3.

Tabela 3. Polazni parametri računanja krive aproksimacije

x_i	y_i	$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$	$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$	$x - \bar{x}$	$y - \bar{y}$	$(x - \bar{x})^2$	$(x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})$
1	56,91	5,5	66,3	-4,5	-9,39	20,25	42,247
2	59,17			-3,5	-7,13	12,25	24,956
3	64,48			-2,5	-1,82	6,25	4,562
4	62,91			-1,5	-3,39	2,25	5,091
5	62,85			-0,5	-3,45	0,25	1,725
6	68,38			0,5	2,07	0,25	1,036

7	70,36			1,5	4,06	2,25	6,089
8	72,05			2,5	5,75	6,25	14,368
9	70,19			3,5	3,89	12,25	13,609
10	75,72			4,5	9,42	20,25	42,393
Σ						82,5	156,077

Nagib prave aproksimacije a_1 (jednačina 2.6):

$$a_1 = \frac{\sum(x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})}{\sum(x - \bar{x})^2} = \frac{156,077}{82,5} = 1,89184$$

Tačka preseka ordinate, a_0 :

$$\bar{y} = a_0 + a_1 \cdot \bar{x}$$

$$66,30 = a_0 + 1,89184 \cdot 5,5 \Rightarrow a_0 = 55,898$$

Konačan oblik jednačine aproksimativne linije za Mašinu 1 će imati oblik:

$$y = 1,8918 \cdot x + 55,898$$

Kvalitet izvršene linearne regresije pokazuje koeficijent determinacije R^2 , koji se računa preko *Pearson*-ovog koeficijenta r_{xy} definisanog u Poglavlju 2.3. Proračun se svodi na upoređivanje udaljenosti stvarnih vrednosti od srednjih vrednosti i ustanovljenih vrednosti regresione linije takođe od srednjih vrednosti. Proračun koeficijenta na konkretnom primeru R^2 je tad u Tabeli 4.

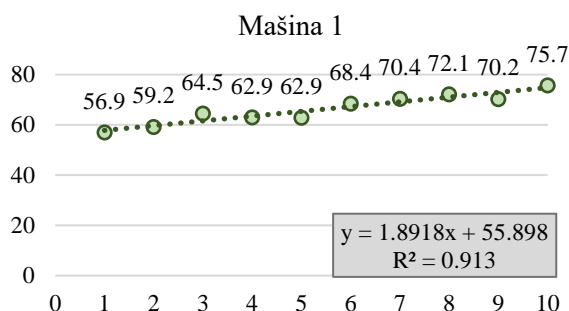
Tabela 4. Podaci potrebni za proračun koeficijent determinacije R^2

x_i	y_i	x_i^2	y_i^2	$x_i \cdot y_i$	$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$	S_x^2	S_x	$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$	S_y^2	S_y	S_{xy}
1	56,91	1	3239,3	56,9	5,5	8,25	2,87	66,3	32,34	5,68	15,61
2	59,17	4	3501,4	118,3							
3	64,48	9	4157,5	193,4							
4	62,91	16	3957,6	251,6							
5	62,85	25	3950,4	314,3							
6	68,38	36	4675,2	410,3							
7	70,36	49	4950,9	492,5							
8	72,05	64	5191,2	576,4							
9	70,19	81	4926,8	631,7							
10	75,72	100	5734,1	757,2							

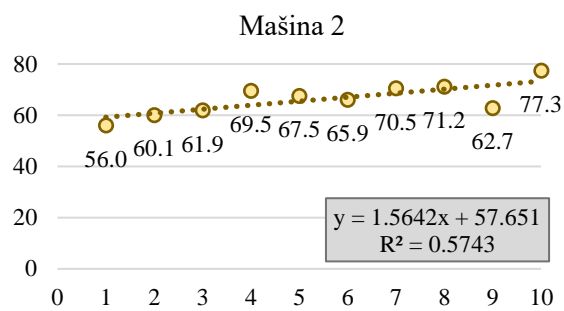
Sledi da će za Mašinu 1 koeficijent determinacije R^2 (kvaliteta) postavljene krive linearne aproksimacije trenda ukupnih troškova biti:

$$R^2 = r_{xy}^2 = \left(\frac{S_{xy}}{S_x \cdot S_y} \right)^2 = \left(\frac{15,61}{(2,87 \cdot 5,68)} \right)^2 = 0,956^2 = 0,913$$

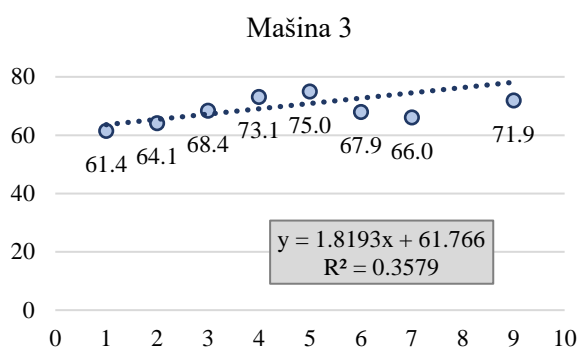
Grafički prikaz izračunatih vrednosti za reprezentativan primer dat je na Slici 2, dok je su rešenja za preostale mašine prikazana na Slikama 3-5. Na apscisama dijagrama su prikazane godine rada (1-10), dok su na ordinatama ukupni specifični troškovi [€/mh].



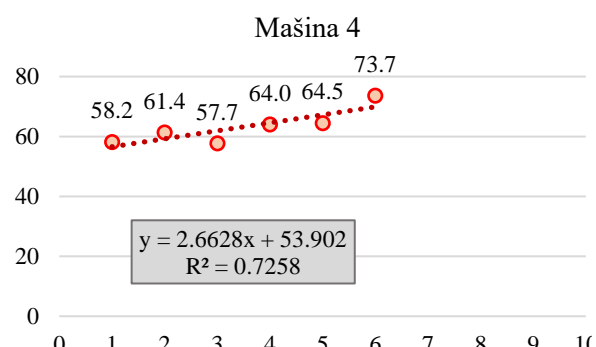
Slika 2. Ukupni specifični troškovi Mašine 1



Slika 3. Ukupni specifični troškovi Mašine 2



Slika 4. Ukupni specifični troškovi Mašine 3



Slika 5. Ukupni specifični troškovi Mašine 4

Korenovanjem koeficijenta determinacije (R^2) u Pearson-ov koeficijent (r_{xy}) i uvidom u tabelu 1, može da se uoči da je kvalitet korelacije za Mašine 1 i 4 odličan, za Mašinu 2 dobra, dok je za Mašinu 3 umeren.

3.1 Rezultati proračuna empirijske raspoloživosti

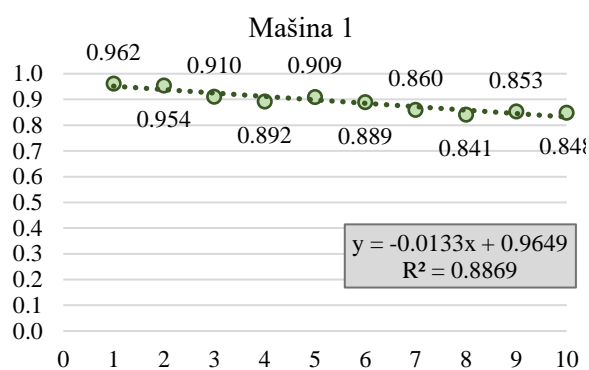
Kao i kod ukupnih troškova i za empirijsku raspoloživost je izvršena analiza u funkciji vremena za prvih deset godina rada. Na osnovu vreme u radu, vremena u planskom i vremena u neplanskom zastoju izvršen je proračun prema jednačini (2.4). U Tabeli 5 prikazani su osnovni podaci i krajnji rezultat prema proizvođaču mašine.

Tabela 5. Osnovni podaci i rezultati empirijske raspoloživosti

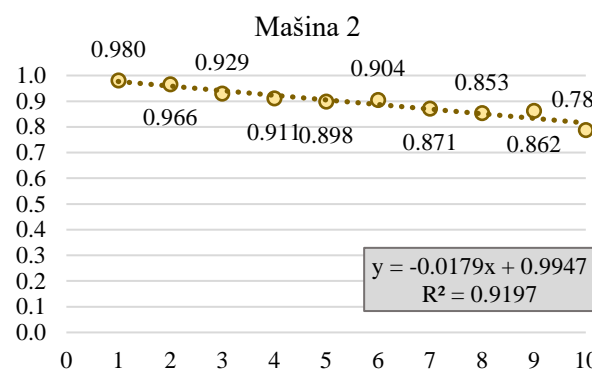
Tip dozer a	Vremena	Godina rada									
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Mašina 1	t_r , [h]	3116	11356	20232	24600	25947	21608	8628	9120	9156	5427
	t_{pz} , [h]	122	488	936	1360	1300	1174	400	404	422	542
	t_{nz} , [h]	0	64	1066	1627	1286	1518	1002	1325	1152	432
	A (t)	0,962	0,954	0,910	0,892	0,909	0,889	0,860	0,841	0,853	0,848
Mašina 2	t_r , [h]	24346	61677	51218	56204	60328	57248	36851	28965	29108	23784
	t_{pz} , [h]	418	1658	2166	3024	3098	2768	1900	2146	1322	1386
	t_{nz} , [h]	90	540	1766	2462	3754	3280	3550	2864	3353	5058
	A (t)	0,980	0,966	0,929	0,911	0,898	0,904	0,871	0,853	0,862	0,787
Mašina 3	t_r , [h]	16684	53396	50301	29753	26812	28434	23465	4088	7575	
	t_{pz} , [h]	392	1550	2490	2266	1746	2138	1844	554	652	

	t_{nz} [h]	20	1484	2255	2914	3636	2504	1024	356	644	
	$A(t)$	0,976	0,946	0,914	0,852	0,833	0,860	0,891	0,818	0,854	
Mašina 4	t_r [h]	75812	91223	58097	33949	14934	3659				
	t_{pz} [h]	1152	2825	3166	2242	1048	280				
	t_{nz} [h]	335	3075	2934	3240	2760	1358				
	$A(t)$	0,981	0,939	0,905	0,861	0,797	0,691				

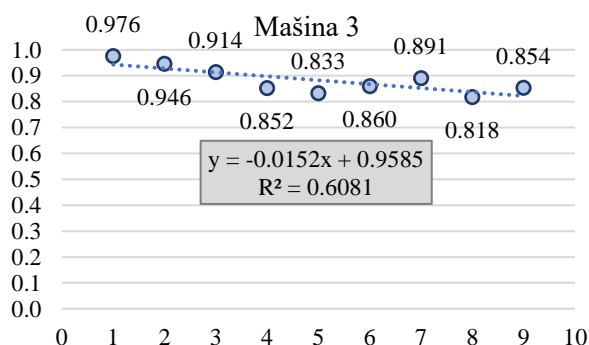
Grafički prikaz izračunatih vrednosti empirijske raspoloživosti, prave i jednačine aproksimacije kao i vrednosti koeficijenta determinacije (R^2) prikazani su za sve mašine na slikama 6-9. Kao i kod ukupnih troškova, na apscisama dijagrama su godine rada, dok su na ordinatama vrednosti empirijske raspoloživosti.



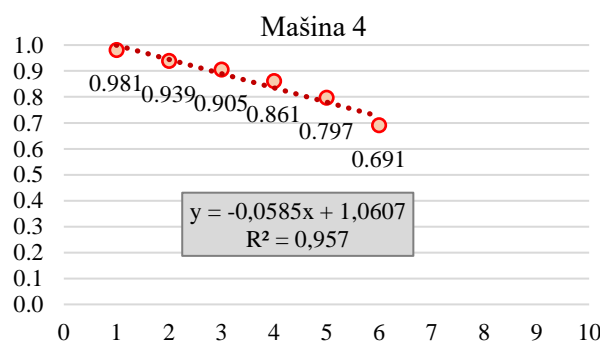
Slika 6. Empirijska raspoloživost Mašine 1



Slika 7. Empirijska raspoloživost Mašine 2



Slika 8. Empirijska raspoloživost Mašine 3



Slika 9. Empirijska raspoloživost Mašine 4

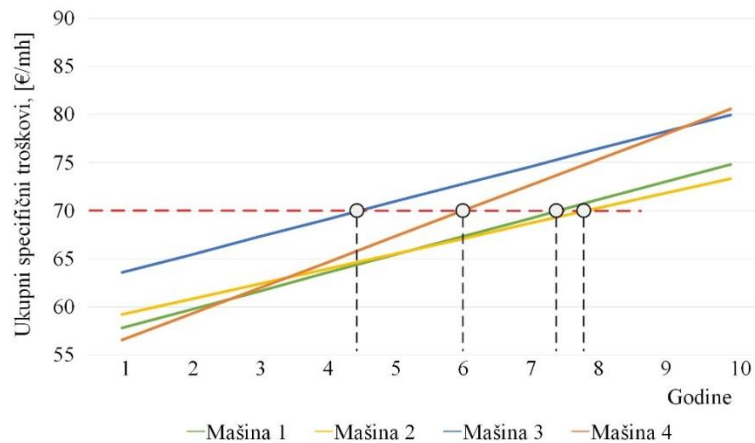
Kvalitet korelacije podataka o raspoloživosti je za Mašine 1, 2 i 4 je odličan, dok je za Mašinu 3 kvalitet korelacije dobar.

4. Diskusija

Sprovedenom analizom u početnoj interakciji su izračunate vrednosti ukupnih troškova i empirijske raspoloživosti za svaku godinu rada i svakog proizvođača dozera. Za svaki set podataka definisana je prava i jednačina aproksimacije. Koeficijenti determinacije odnosno *Pearson*-ov koeficijent ukazuju da se jednačine aproksimacije za sve grupe podataka mogu prihvatiti kao dosledne u opisu razmatranih podataka. Svaka jednačina aproksimacije nosi dva značajna podatka, odnosno dve numeričke vrednosti. Prva numerička vrednost uz promenljivu x ukazuje na nagib prave odnosno brzinu kojom će razmatrana veličina da raste/opada u funkciji vremena. Druga (krajnja) numerička vrednost ukazuje na početnu

veličinu razmatranog podatka (npr. troškovi ili raspoloživost u prvoj godini).

Tržište poslednjih godina ukazuje na dve granične vrednosti razmatranih indikatora. Za ukupne troškove, granična vrednost koja se koristila za ovaj tip dozera je 70 €/mh. Smatra se da veća vrednost od granične ukazuje da je bolje rešenje iznajmljivati mašinu od drugog lica. Granična vrednost za raspoloživost je 0,8 (80%), jer se smatra da se na mašinu manje raspoloživosti ne može osloniti u datom trenutku [12]. Koristeći jednačine aproksimacije na Slici 10 formirane su prave u funkciji godina rada za svakog proizvođača dozera. Na datoj slici, crvenom isprekidanom linijom je obeležena granična vrednost od 70 €/mh i obeležen je trenutak zamene svakog proizvođača dozera. U Tabeli 6 je prikazan tačan trenutak zamene kao i analiza osetljivosti u opsegu od 64 do 78 €/mh sa korakom od 2 €/mh.

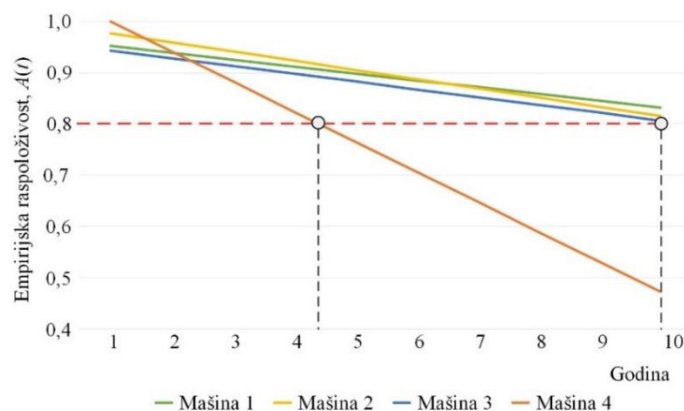


Slika 10. Prave aproksimacije ukupnih specifičnih troškova za sve proizvođače dozera

Tabela 6. Trenutak zamene mašina u odnosu na ukupne specifične troškove - analiza osetljivosti

Troškovi	64	66	68	70	72	74	76	78
Mašina 1, [god.]	4,28	5,34	6,40	7,45	8,51	9,57	10,63	11,68
Mašina 2, [god.]	4,06	5,34	6,62	7,89	9,17	10,45	11,73	13,01
Mašina 3, [god.]	1,23	2,33	3,43	4,53	5,63	6,72	7,82	8,92
Mašina 4, [god.]	3,79	4,54	5,30	6,05	6,80	7,55	8,30	9,05

Prema istom principu koristeći jednačine aproksimacije za rezultate empirijske raspoloživosti, na Slici 11 su formirane prave za sve dozere. Kao i u prethodnom slučaju crvenom isprekidanom linijom je obeležena granična vrednost od 0,8 i trenutak zamene. Analiza osetljivosti prikazana je u Tabeli 7, s tim što je u ovom slučaju opseg od 0,70 do 0,95, sa korakom 0,05.



Slika 11. Prave aproksimacije empirijske raspoloživosti za sve proizvođače dozera

Tabela 7. Trenutak zamene mašina u odnosu na empirijsku raspoloživost – analiza osetljivosti

<i>Raspoloživost</i>	<i>0,70</i>	<i>0,75</i>	<i>0,80</i>	<i>0,85</i>	<i>0,90</i>	<i>0,95</i>
Mašina 1, [god.]	19,92	16,16	12,40	8,64	4,88	1,12
Mašina 2, [god.]	16,46	13,67	10,88	8,08	5,29	2,50
Mašina 3, [god.]	17,01	13,72	10,43	7,14	3,85	0,56
Mašina 4, [god.]	6,17	5,31	4,46	3,60	2,75	1,89

Analizom osetljivosti moguće je jednostavnim pristupom uskladiti parametre sa trenutnim stanjem na tržištu i potrebnim preferencijama korisnika opreme.

5. Zaključak

Adekvatno upravljanje rudarskom mehanizacijom kao imovinom predstavlja kompleksan zadatak koji se može ostvariti samo opsežnim analizama dostupnih podataka. U ovom radu izvršena je analiza dva osnovna indikatora koji direktno utiču na životni vek dozera. Generisani troškovi i raspoloživost su parametri koji će ukazati na to da li je kvalitet rada mašine zadovoljavajući i da li je visina troškova u datom trenutku prihvatljiva. Pristup koji je prezentovan daje objašnjenje načina izračunavanja ali i dalje analize dobijenih rešenja u cilju donošenja ispravnih odluka.

Prema kriterijumu troškova, graničnu vrednost od 70 €/mh prva dostiže Mašina 3 (4,53 godina), potom sledi Mašina 4 (6,05 godina), Mašina 1 (7,45 godina), dok najbolje rezultate postiže Mašina 2 (7,89 godina). Jednačina aproksimacija i analiza osetljivosti ukazuju da je nagib prave najizraženiji kod Mašine 3 i Mašine 4, što ukazuje da ukupni specifični troškovi ovih mašina većom brzinom rastu u poređenju sa drugim. Obrnuta situacija je kod Mašine 2 koja ima najblaži nagib prave.

Prema kriterijumu empirijske raspoloživosti, graničnu vrednost od 0,8 prva dostiže Mašina 4 (4,46 godina). Ostale mašine ovu granicu dostižu posle 10. godine. Može se zaključiti da Mašine 1, 2 i 3 sa aspekta raspoloživosti neće imati problema u predviđenom periodu.

Ovakav tip analize se može proširiti različitim parametrima u odnosu na uslove rada kako bi se formirao model za optimalni izbor mašina pri narednim nabavkama. Dodatne pogodnosti ostvaruju se kreiranjem aplikativnih i vizuelnih oblika koji bi uz adekvatne baze prikupljenih podataka, rezultate znatno brže generisale na dnevnom ili mesečnom nivou.

Reference

- [1] Madžarević A., (2019): *Metodologija integralne analize scenarija energetskeg razvoja*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, doktorska disertacija
- [2] Energy Flux, Elektromreža Srbije - Proizvodnja/Potrošnja dostupno na: <https://ems.energyflux.rs/#/dashboard> (datum pristupanja 22.09.2022.)
- [3] Elektroprivreda Srbije, Tehnički godišnjak (2021), dostupno na: <https://www.eps.rs/cir/Pages/tehnicki-izvestaji.aspx> (datum pristupanja 20.09.2022.)
- [4] Ignjatović D., (2012): *Rudarske mašine*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet - skripta
- [5] Ivković S., Ignjatović D., Jovančić P. & Tanasijević M., (2008): *Projektovanje održavanja opreme površinskih kopova uglja*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet
- [6] Tanasijević M., (2007): *Sigurnost funkcionisanja mehaničkih komponenti rotornog bagera*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, doktorska disertacija
- [7] Djenadić S., (2021): *Projekat unapređenja upravljanja rudarske mehanizacije*, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, master rad
- [8] Ignjatović D., Šubaranović T., Djenadić S., (2021): *Mašine i pomoćni radovi na površinskim*

kopovima. Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

- [9] Ivković S., (1997): *Otkazi elemenata rudarskih mašina*, Univerzitet u Beograd, Rudarsko-geološki fakultet
- [10] Todorović J., Zelenović D., (1990): *Efektivnost sistema u mašinstvu (operativna gotovost, pouzdanost, funkcionalna gotovost)*. Naučna knjiga, Beograd
- [11] Paunović R., Omorjan R., (2009): *Osnovi inženjerske statistike*, Tehnološki fakultet, Novi Sad, Dostupno na: https://people.dmi.uns.ac.rs/~lila/files/V2_ES.pdf
- [12] Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, (2018): *Optimizacija organizacije, sredstava i troškova pomoćne mehanizacije u cilju povećanja stepena iskorišćenja jalovinskih i ugljenih sistema na površinskim kopovima EPS - studija*



UTICAJ POVEĆANE POTRAŽNJE ZA UGLJEM NA RAZVOJ RADOVA NA POVRŠINSKIM KOPOVIMA STANARSKOG BASENA

IMPACT OF INCREASED DEMAND FOR COAL ON STANARI BASIN OPEN PIT MINES

Đurović M.¹, Božić B.², Rašović L.³

Apstrakt

Tržište energenata u proteklom periodu pokazalo je nestabilnost u snabdevanju fosilnim gorivima na kojima se bazira proizvodnja električne energije u većini država. Potražnja za ugljem je povećana, kako kod nas, tako i u okruženju. Da bi se zadovoljile sopstvene potrebe za ugljem za rad termoelektrane (TE) Stanari, kao i potrebe nekih termoenergetskih objekata u okruženju, izvršene su izmene u dugoročnoj dinamici otkopavanja uglja za naredni period. Puštanjem u rad TE Stanari 2016. godine, prvobitni godišnji kapacitet na otkopavanju uglja se sa 600.000 t povećao na 2.350.000 t. Do 2022. godine celokupno snabdevanje TE ugljem vršeno je sa površinskog kopa (PK) Raškovac. Povećanje planirane godišnje proizvodnje uglja na 3.500.000 t. ima za posledicu ubrzanje tempa otkopavanja otkrivke i uglja na površinskim kopovima Kop 1, Kop 2 i Kop 3. Njihovo uključanje u snabdevanje ugljem TE Stanari će se postići preko formiranog kontinualnog sistema za dopremu uglja od Kopa 2 do termoelektrane.

Ključne reči: ugalj, povećanje proizvodnih kapaciteta, snabdevanje termoelektrane

Abstract

In the past period, the energy market showed instability in the supply of fossil fuels on which the production of electricity is based in most countries. The demand for coal has increased, both here and in the surrounding area. In order to meet the coal needs for the operation of the thermal power plant (TPP) Stanari, as well as the needs of some thermal energy facilities in the environment, changes were made in the long-term dynamics of coal mining for the next period. With the commissioning of TPP Stanari in 2016, the original annual coal mining capacity increased from 600,000 t to 2,350,000 t. Until 2022, the entire supply of coal to the thermal power plant was carried out from the opencast mine (OM) Raskovac. Increase of the planned annual production of coal to 3,500,000 t results in an acceleration of the pace of overburden removal and coal mining at opencast mines Kop 1, Kop 2 and Kop 3. Their inclusion in the supply of coal to TPP Stanari will be achieved through the formed continuous system for the delivery of coal from Kop 2 to the thermal power plant.

Keywords: coal, output increase, supply of thermal power plant

1. Uvod

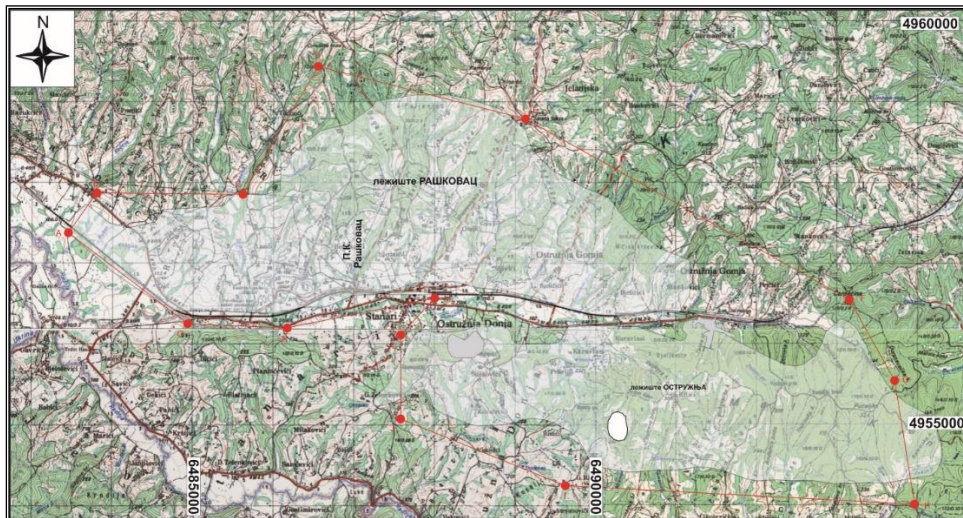
Ugljeni basen Stanari prostire se na površini cca. 50 km², maksimalne dužine 10 km u pravcu Z-I i širine 5 km u pravcu S-J. Reka Ostružnja deli basen na severni i južni ugljonosni blok. Severni deo basena, koji predstavlja

¹ Đurović Mirjana, EFT Rudnik i Termoelektrana Stanari d.o.o., Stanari

² Božić Boban, EFT Rudnik i Termoelektrana Stanari d.o.o., Stanari

³ Rašović Lazar, EFT Rudnik i Termoelektrana Stanari d.o.o., Stanari

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



Slika 1. Pregledna topografska karta šireg područja Stanara sa položajem eksploatacionog polja i rudnih polja Raškovac i Ostružnja

Eksploatacija uglja u cilju snabdevanja TE Stanari i ostalih potrošača, trenutno se odvija u severnom delu stanarskog basena na PK Raškovac i PK Kop 1. Na PK Kop 2 vrši se otkopavanje otkrivke, dok će otkopavanje uglja biti započeto nakon prebacivanja primarne drobilice sa PK Raškovac. Takođe je započeto otvaranje i razvoj PK Kop 3, čime bi bile zahvaćene sve eksploatacione rezerve uglja severnog dela Stanarskog basena (Slika 2).



Slika 2. Prikaz lokacija površinskih kopova Raškovac, Kop 1, Kop 2, Kop 3 i Ostružnja

Završetkom otkopavanja uglja u severnom delu ležišta, eksploatacija uglja će se u potpunosti premestiti na južni deo basena gde će se otvoriti PK Ostružnja.

Toplotna vrednost uglja nije ujednačena u celom ležištu, što je nametnulo potrebu za pronalaženjem rešenja u dinamici eksploatacije, tehnologiji rada i ujednačavanju kvaliteta uglja sa aspekta DTE, koja bi zadovoljila projektne parametre za nesmetan rad termoelektrane Stanari.

2. Prikaz dosadašnje tehnologije rada

Do septembra 2022. godine sa površinskog kopa Raškovac vršeno je celokupno snabdevanje termoelektrane Stanari ugljem.

Ugalj sa PK Kop 1 se plasirao na tržište široke potrošnje nakon prerade na pogonu separacije. Izvesne količine uglja, asortimana energetski, koji nije plasiran na tržište vraćao se na kop Raškovac i otpremao na depo TE.

Na otkopavanju uglja za TE angažovani su hidraulični bageri Komatsu PC 1250. Kamionima tipa Komatsu HD 465 uglj se sa mesta otkopavanja transportuje do drobiličnog postrojenja. Na otkopavanju uglja na Kopu 1 angažovani su hidraulični bageri KOMATSU PC 360 i PC 700. Kamionima tipa Volvo i Kamaz, uglj se transportuje sa kopa do pogona separacije, koja je u radu u jesenje/zimskom periodu godine.

Do septembra 2022. godine uglj se od primarne drobilice transporterima sa gumenom trakom U1, U4 i U5 otprema do sekundarne drobilice. Od sekundarne drobilice se sa dve linije za otpremu uglja vršio transport uglja do tercijarne drobilice i dalje do bunkera TE. Ukupna dužina transportnog sistema za uglj iznosila je 676 m. Kako su se rezerve uglja na ovom kopu iscrpljene, biće izvršeno preseljenje drobiličnog postrojenja sa kopa Raškovac na Kop 2.

3. Izmeštanje primarne drobilice sa kopa Raškovac na Kop 2 i montaža pomoćne drobilice kapaciteta $Q = 300$ t/h

Od početka eksploatacije 1974. do kraja 2022. na površinskom kopu Raškovac će se otkopati oko 34 miliona tona uglja. Povećana potražnja za ugljem ubrzala je završetak eksploatacije uglja na ovom kopu i uslovlila izmenu u dinamici rada na otkopavanju uglja i otkrivke na Kopu 1, Kopu 2 i Kopu 3. Nakon završetka otkopavanja uglja na PK Raškovac, primarna drobilica će biti prebačena na PK Kop 2. Od primarne drobilice do termoelektrane, biće formiran kontinualni sistem za dopremu uglja u dužini od 5172 m.

Preseljenje drobilice sa kopa Raškovac planirano je u vreme godišnjeg remonta TE Stanari u septembru, a montaža i formiranje transportera za uglj, koja je započela u prvoj polovini godine, biće završena u planiranom roku, krajem septembra. Novi položaj primarne drobilice je u jugozapadnoj zoni Kopa 2. Kod izbora lokacije za drobilice, vodilo se računa o optimizaciji dužine transportnih puteva za uglj, o mogućnosti dopreme dela uglja sa Kopa 3 do drobilice, o nivoima podzemnih voda i podini ugljenog sloja. Otprema uglja sa Kopa 2 prema termoelektrani trebala bi da započne u oktobru.

U ranijim periodima otkopavanje uglja sa Kopa 1 vršeno je samo u jesenje/zimskom periodu, kada je preko pogona separacije vršena prodaja uglja kupcima. Povećana potražnja energetskog uglja na tržištu, dovela je do potrebe rada na otkopavanju uglja na ovom kopu u toku cele godine, kao i uključenje Kopa 3 u dopremu uglja prema depou termoelektrane, odakle se vrši i prodaja uglja za tržište široke potrošnje.

Da bi se ispoštovala ova prilično zahtevna dinamika u proizvodnji uglja, koja podrazumeva podmirivanje sopstvenih potreba, ali i potreba tržišta široke potrošnje tokom cele godine, neophodno je bilo uključivanje u rad pomoćne primarne drobilice kapaciteta 300 t/h. Ugalj će se sa PK Kop 1 i PK Kop 3 na pomenutu drobilicu dovoziti kamionima tipa Volvo i Kamaz. Ono što je takođe važno istaći, pomoćna drobilica kapaciteta $Q = 300$ t/h je plod projektovanja našeg inženjerskog tima i većina sklopova i delova je izrađena u sopstvenoj režiji u radionicama koje se nalaze u industrijskom krugu EFT.

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



**UPRAVLJANJE KVALITETOM UGLJAU PROCESU HOMOGENIZACIJE -
KOLUBARSKI UGLJONOSNI BASEN****MANAGING COAL QUALITY IN THE HOMOGENIZATION PROCESS - KOLUBARA
COAL BASIN**Gojak Z.¹**Apstrakt**

Finansijski zahtevnom investicijom *Zaštita i unapređenje životne sredine u Kolubarskom ugljonosnom basenu* realizuje se paket *Energetska efikasnost primenom ekološkog sistema za upravljanje kvalitetom uglja u rudarskom basenu Kolubara*.

Njegova aktuelizacija integriše operativne aktivnosti različitih strukovnih vokacija, a geološke su primarne jer se planiranje tehnološkog procesa eksploatacije, u cilju produkcije električne energije, bazira na rezultatima njihovog ispitivanja. Studiozna tumačenja kolubarskog energetske goriva su dominantno usmerena prema radu rudarskih sistema, i sveukupni postupci koji obezbeđuju kontrolu, praćenje i upravljanje kvalitetom sirovine su objedinjeni u algoritmu *Geološki modul* (Slika 1).

Nadalje, izvršavanju imenovanog paketa, u redovnom režimu poslovanja neophodna je geološko-rudarska procesna predikcija koja je sumiranjem saznanja i informacija opisana obrascem *Procesna analitika* (Slika 2).

Sažimanje izvedenih zaključaka, i iz prethodnih radova, je još jedan pokušaj da se prepoznaju postojeći tehnički i personalni resursi kompanije u cilju efikasnog upravljanja kvalitetom uglja u procesu homogenizacije.

Ključne reči: kvalitet uglja, geološke analize, geološki modul, homogenizacija, procesna analitika

Abstract

The financially demanding investment *Protection and amelioration of the environment in the Kolubara coal-bearing basin* implements the *Energy efficiency by applying an ecological system for managing the quality of coal in the Kolubara mining basin* package.

Its actualization integrates the operational activities of various professional vocations, and the geological ones are primary because the planning of the technological process of exploitation, with the aim of producing electricity, is based on the results of their testing. Studios interpretations of Kolubara energy fuel are dominantly directed towards the operation of mining systems, and the overall procedures that ensure control, monitoring and management of raw material quality are unified in the *Geological module* algorithm (Figure 1).

Furthermore, the execution of the cited package, in the regular mode of business, requires a geological-mining process prediction, which is, via summary of the knowledge and information, described by the *Process Analytics* form (Figure 2).

¹Gojak Zorica, Javno preduzeće Elektroprivreda Srbije - JP EPS, zorica.gojak@eps.rs

Summarizing the conclusions drawn, and from previous works as well, is another attempt to recognize the existing technical and personal resources of the company in order to effectively manage the quality of coal in the homogenization process.

Key words: quality of coal, geological analysis, geological module, homogenization, process analytics

1. Geološki modul i procesna analitika

Fizičko-hemijske karakteristike uglja su rezultat geoloških istraživanja i ispitivanja mineralnog resursa *in situ*. Deklarišu ih dokumentacioni alfa zapisi i laboratorijski izmerene vrednosti parametara pojedinačnih proba/uzoraka lignita iz istražnog rada. Eenergetski potencijal se u osnovi procenjuje određivanjem sadržaja dostavne/rovne vlage, pepela i donjim toplotnim efektom.

Upravljanje kvalitetom uglja znači analizirati geološke komponente prirodnog resursa, određivati njegov učinak u formi vanbilansnih/bilansnih rezervi ugovorenog raspona, u prostoru od interesa, u realnom vremenu procesa i odrediti mesto, krajnje određište otkopanim količinama.

Upravljanje, znači obračunati *preliminarne* rezultate osnovnih parametara kvaliteta resursa, pratiti *očekivanu* dinamiku koju iskazuju u količinama zone otkopavanja, a po osnovu povratne informacije, rezultata *ostvarenih* eksploatacijom, ocenjivati analizu, učinak i registrovati odstupanje.

Geološki modul (Slika 1) objašnjava prethodni stav u tri nivoa: definiše njihove osobine, elemente skupova za analizu i prelaze između njih.

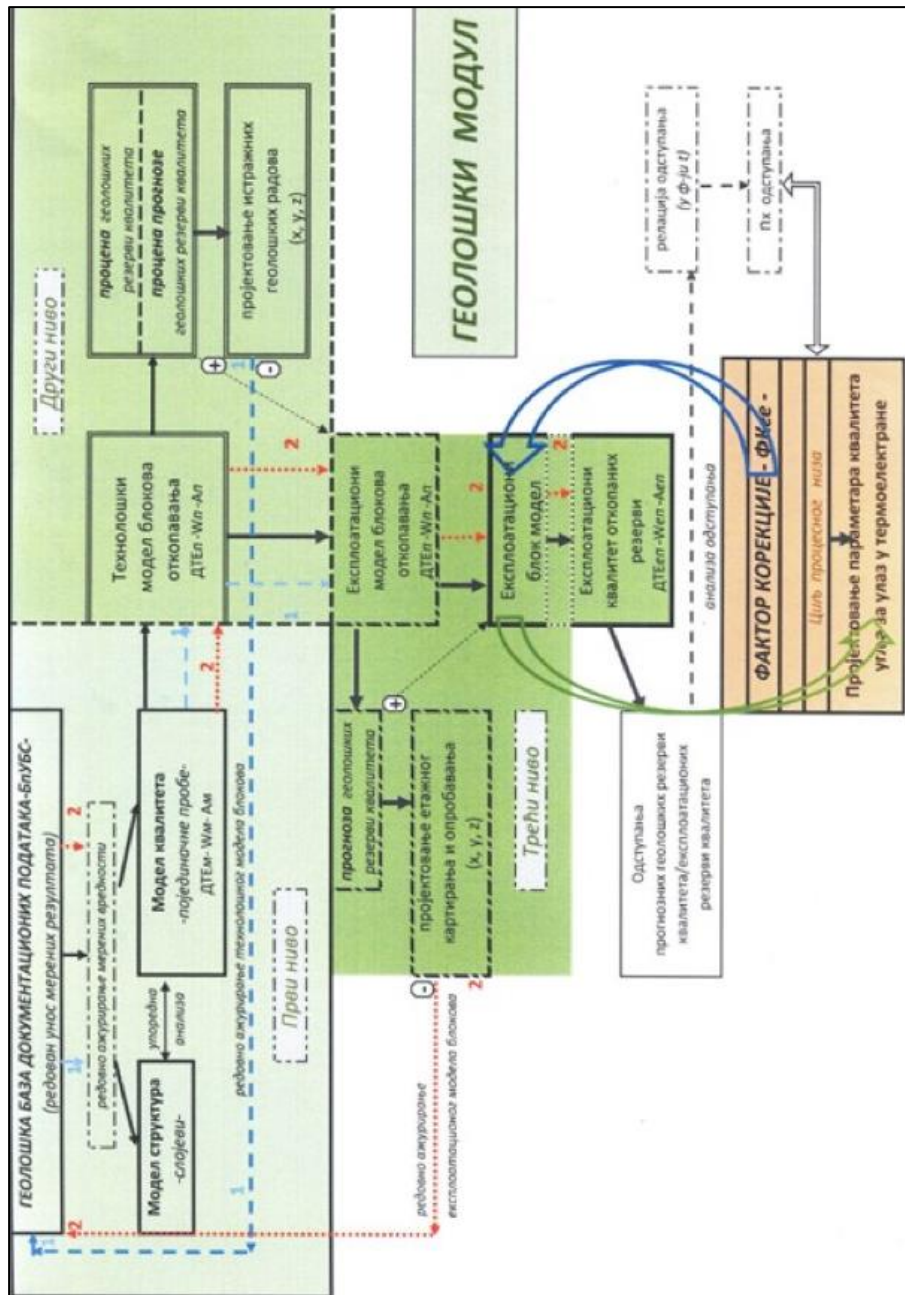
Prvi, *geološki nivo*, generiše skupove strukturnog sklopa i merene rezultate komponenti kvaliteta pojedinačnih proba. Izrazite, i vertikalne i bočne, smene različitih litoloških članova i izrazite oscilacije merenih rezultata, i kod uzastopnih istorodnih članova, zahtevaju redefinisavanje. Nepouzdana zapise i rezultate različitog stepena reprezentativnosti uvodimo u osobine skupa kome pripadaju po principu: kartirana dužina/dužina sloja prema dužini pojedinačne probe/ponder uzastopnih rezultata proba slojeva. Strukture razdvajamo i/ili korigujemo, a numeričke vrednosti korigujemo i/ili softverskim koeficijentom korelacije pridružujemo skupu. Tumačenjem kartiranih i merenih zapisa određuju se slojevi, i uglja i pratećih sedimenata, osnovna jedinica u izradi geoloških modela.

**Metoda redefinisavanja¹ je idejno rešenje za nadogradnju softvera BpUBS 2.3.0² i postavku nove komponente „spajanje litoloških članova“ u slojeve čime se automatizuje analiza geozapisa.*

Dokumentacioni geološki podaci, i redefinisani, su relevantan osnov za izradu geoloških modela jer se uspostavlja relacija koja omogućava i kontrolu i proveru u narednim nivoima. *Skupovi ovog nivoa ne sadrže statističke vrednosti.*

¹*Geološki modul-redefinisavanje dokumentacionih geoloških podataka izradom osnovnih modela u funkciji upravljanja kvalitetom uglja* (I Međunarodni Balkanski simpozijum, 2017.g., autorski rad)

²Geološki softver-baze dokumentacionih podataka ugljonosnih basena Srbije JP EPS



Slika 1. Geološki modul

Izrada geoloških modela u softverskom paketu MINEX¹ omogućila je efikasnu sistematizaciju i gradiranje geozapisa, bez narušavanja izvornog koda. Oblikovanje struktura je osnovna podloga modelu kvaliteta i nosi *preliminarni* prikaz prostorne preraspodele merenih vrednosti parametara kvaliteta slojeva uglja-in situ-i *procenu* toplotnog efekta resursa uglja.

Drugi, *geološko-rudarski nivo*, aktiviranjem rudarskog modula softvera generiše geološke modele prvog nivoa. Izvršava se diskretizacija prostora, dimenzioniše se mreža rudarskih blokova otkopavanja, prema mreži geoloških modela, i definiše njihova osnovna geometrija: primarno istih visina etaža i širina

¹Specijalistički softver za geološko modelovanje slojevitih ležišta (geološki modul) i rudarsko operativno planiranje proizvodnje (rudarski modul) - MINEX u funkciji dokumentacionih rezultata geoloških istraživanja (Rudarstvo 2016., autorski rad)

horizontalnog napredovanja, bez uticaja selektivnog rada. Udruženi, geološko-rudarski moduli, iniciraju formiranje nove sredinu za obračun toplotnog učinka raspoloživog resursa: grupišu geološke slojeve u etaže i/ili dele slojeve na više njih. Iskazuju prvi stepen dinamike rezultata-in situ-i prvi potencijal u pripadajućim granicama blokova. Sinteza modula omogućava softversku simulaciju otkopavanja u bloku; geološki upit-sloj uglja/ugljeni sloj-definiše geometriju bloka za proračun, a rudarski-blokovi/elementi blokova-slojeve uglja. To su i prve prognoze o očekivanom kvantitetu geoloških resursa/vanbilansnih rezervi i prvi input po osnovu kojeg se pristupa operativnom planiranju rada u bloku.

**Izrada osnovnog modela rudarskih blokova¹ za istražno-eksploatacione prostore je objektivna mera i podloga za projektovanje istražnih geoloških radova i njihovo pozicioniranje u blokovima u kojima ih nema radi višeg nivoa pouzdanosti prognoze kvaliteta količina uglja.*

Navedena tumačenja i proračuni, dopunjeni informacijama o tehnološkim parametrima reza bagera, planiranog za rad, bila bi bliža odrednica za konstruisanje geometrije blokova i prognoze, ali i uputna smernica trećem nivou geološkog modula.

Treći, *eksploatacioni/rudarski nivo* je nadogradnja drugog projektovanjem etaža i podetaža otkopavanja, selektivnog rada i kompletnom postavkom tehnološkog procesa eksploatacije.

Zadatak struke prema ovom nivou, uz ažuriranje geoloških modela ako promene imaju direktan uticaj na blok eksploatacije, jeste preuzimanje informacija o *ostvarenom* kvalitetu eksploatacionih rezervi iz zona rada rudarskih sistema, proveru geoloških modela i registrovanje odstupanja.

Komparacija rezultata kvaliteta mineralne sirovine/goriva se može postaviti između svih subjekata koji su u obavezi da je analiziraju i prikazuju, ali samo za količine iz istog otkopnog mesta, što geološki modul određuje povratnim ciklusom. Registrovati odstupanja, u funkciji vremena, i uspostaviti *faktor korekcije (Fkge)* iz relacije preliminarno-ostvareno omogućava procesno projektovanje parametara kvaliteta količina uglja iz bloka/blokova otkopavanja za transport u termoelektrane i/ili deponije.² Ako je Fkge prvi stepen odstupanja, drugi stepen bi bio relacija iskazana između etaloniranog kvaliteta voza/deponije i rezultata iz laboratorija termoelektrana.

Upravljanje kvalitetom uglja jeste kompleksno i, uz svu detaljnost, učinak koji ocenjujemo kod prirodnog dobra i projektujemo prema njemu, delom ostaje nejasan jer efekti donje toplotne moći merenih geoloških proba ne iskazuju pouzdanu zakonitost u prostoru.

Upravljanje kvalitetom uglja je ulazna vrednost *procesu homogenizacije*, procesu ujednačavanja kvaliteta mešanjem rezervi uglja dovoljno poznatog (očekivanog) opsega kvaliteta. Ako imamo vrednosti kvaliteta i količina definisane pozicije onda i možemo pristupiti homogenizaciji. Ne prihvata pretpostavke, već uređene i kontrolisane postupke. S obzirom da otkopane količine uglja redovno nose i međuslojnu jalovinu (gline) koja se ne može selektivno odbaciti, nije uputno da u heterogenoj masi prepoznamo samo jedan materijal i da proces objašnjavamo prema njemu. Nedoslednost u različitom i promenljivom pristupu tumačenja uticaja hemizma glina bitno se mora promeniti jer otežava proces pri projektovanju i količina i kvantiteta.

*Osnovno (primarno mesto) homogenizacije je mesto otkopavanja i propust koji se tu napravi u narednim fazama mešanja ne može se uvek potpuno ispraviti i u realnim uslovima rada korekcija je ograničena.*³

Prema navedenom, glavna faza analitike za proces homogenizacije je drugi, geološko-rudarski nivo geološkog modula, jer generiše primarnu dinamiku sirovine u bloku i uputno nagoveštava na stanja

¹Geološki modul-analiza osnovnog tehnološkog modela blokova (I Međunarodni Balkanski simpozijum, 2017., autorski rad)

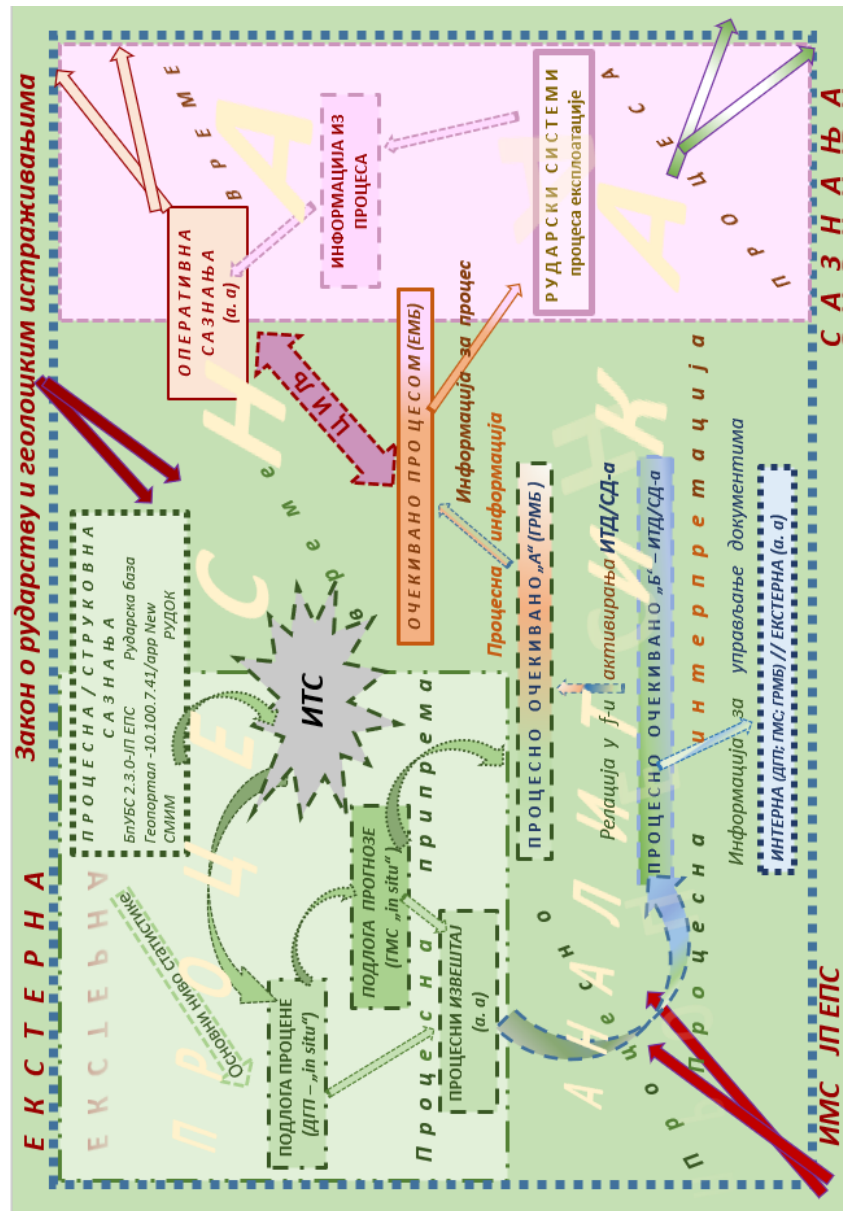
²Napomena: Objekti koji se apostrofiraju u procesu homogenizacije.

³Idejni program sa studijom opravdanosti uvođenja sistema za operativno upravljanje i kontrolu kvaliteta uglja na tamnavskim površinskim kopovima (2009.), Poglavlje 3.6.1, stav 2-str.136

koja se još uvek, po potrebi, mogu kontrolisati i korigovati.

Upravlјati kvalitetom uglja u procesu homogenizacije znači prihvatati *procesno* geološko-rudarsko permanentno tumačenje i ocenјivanje prirodom datog dobra, za osnovnu smernicu u planiranju preuzimanja dobra u korist optimizacije proizvodnog procesa.

Upravlјanje kvalitetom uglja u procesu homogenizacije, potpunu operativnost može ostvariti u okvirima *procesne analitike*¹ (Slika 2). Ona je obrazac ovom inovativnom rešenju, ali i svim aktivnostima u vertikali rudarstvo JP EPS. Prikazuje sistemski pristup strukovnoj predikciji i postupanju sa skupovima procesnih, operativnih i eksternih saznanja i njihovim relacijama i značaj procesnog planiranja, pripreme i razvoja procesa proizvodnje uglja izradom i procesnih podloga i dokumentacije kojom on postaje punovažan.



Slika 2. Procesna analitika

Koncept procesne analitike je rezultat inženjerskog tumačenja i modeliranja vanvremenskih

¹Procesna analitika (Rudarstvo 2022; autorski rad)

geozapisa u sintezi sa osnovnim rudarskim informacijama i saglasan¹ je “...*postupaju po najboljim poslovnim, socijalnim i ekološkim pravilima struke i da primenjuje najbolje tehničke metode i sredstva pri geološkim istraživanjima i eksploataciji mineralnih sirovina...* “

Zadatak procesnog je projektovanje strateških scenarija plana koji prepoznaju iznenadne situacije u svim segmentima poslovanja i negira iskaz *podrazumeva se*.

Ako savremeno poslovanje znači tačne, različito formulisane, povezane i brze informacije na svim nivoima, u korist gotovog proizvoda, onda je obrazac procesne analitike doprinos postupanju u sinhronizovanoj komunikaciji. Blagovremene dokumentovane strukovne informacije su oslonac tehnoloških ocena u izboru optimalno operativnog tehnološkog rešenja i za objekte rada-prostore eksploatacije, i za rad rudarskih sistema, a potom i sveukupnog investiranja i finansijskog poslovanja kompanije.

Literatura

- [1] Kolonja B., (2009.): Idejni program sa studijom opravdanosti uvođenja sistema za operativno upravljanje i kontrolu kvaliteta uglja na tamnavskim površinskim kopovima - Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, str. 35-156
- [2] Geološki softver - BpUBS 2.3.0 - baze dokumentacionih podataka ugljonosnih basena Srbije JP EPS
- [3] MINEX 6.2-specijalistički softver za geološko modelovanje i planiranje proizvodnje - GEOIVA
- [4] Gojak Z., (2016.): MINEX u funkciji dokumentacionih rezultata geoloških istraživanja - Rudarstvo 2016, 7. simpozijum sa međunarodnim učešćem, Sremski Karlovci, Zbornik radova, 184-189
- [5] Gojak Z., (2017.): Geološki modu 1- prvi nivo - redefinisane dokumentacionih geoloških podataka izradom osnovnih modela u funkciji upravljanja kvalitetom uglja - I Međunarodni Balkanski simpozijum
- [6] Gojak Z., (2017.): Geološki modul-drugi nivo-analiza osnovnog tehnološkog modela blokova - I Međunarodni Balkanski simpozijum

¹Član 2 Zakona o rudarstvu i geološkim istraživanjima, Načela, tačka 3



**DETALJNA ANALIZA DRUGOG UGLJENOG SLOJA U DELU LEŽIŠTA TAMNAVA-
ZAPADNO POLJE**

**A DETAILED ANALYSIS OF THE SECOND COAL SEAM IN THE PART OF THE DEPOSIT
TAMNAVA-WEST FIELD**

Kezović M.¹

Apstrakt

Drugi ugljeni sloj egzistuje u zapadnom delu ležišta Tamnava-Zapadno Polje, obuhvatajući istu površinu kao i prvi ugljeni sloj. To znači, da se superpoziciono prostire neposredno ispod prvog ugljenog sloja (razdvaja ih međuslojni pesak), ali je znatno manje debljine, homogeniji je i ima dobre kvalitativne karakteristike. Imajući u vidu sve izraženije raslojavanje ugljonosne serije, veoma je bitno izvršiti detaljnu geološku analizu drugog ugljenog sloja, koji je njen sastavni deo. Samo na taj način je moguće stvoriti predušlove za bolje planiranje i efikasnu eksploataciju ležišta. U procesu homogenizacije, potrebno je jasno definisati geološke parametre drugog ugljenog sloja koji će služiti popravljaju kvaliteta uglja.

Ključne reči: ležište Tamnava-Zapadno Polje, drugi ugljeni sloj, detaljna geološka analiza

Abstract

The second coal seam exists in the western part of the deposit Tamnava-West Field, covering the same area as the first coal seam. This means that it extends superpositionally directly below the first coal seam (separated by interlayer sand), but it is considerably less thick, more homogeneous and has good qualitative characteristics. Bearing in mind the increasingly pronounced stratification of the coal-bearing series, it is very important to carry out a detailed geological analysis of the second coal seam, which is an integral part of it. Only in this way is it possible to create preconditions for better planning and efficient exploitation of the deposit. In the process of homogenization, it is necessary to clearly define the geological parameters of the second coal seam, which will serve to improve the coal quality.

Keywords: deposit Tamnava-West Field, second coal seam, detailed geological analysis

1. Uvod

Detaljna analiza geološke građe drugog ugljenog sloja izvršena je za deo ležišta Tamnava-Zapadno Polje, sa zadovoljavajućim stepenom istraženosti. Višenamenske geološke istražne bušotine su najvećim delom raspoređene na međusobnom rastojanju 125*125 m (izuzev 116,25 profilske linije, gde nije izvedena ni jedna bušotina).

Tokom pripremne faze istraživanja izvršen je detaljan obilazak terena i prikupljanje kompletne geološke dokumentacije koja se odnosi na istražni prostor. Sumiranjem rezultata geološkog kartiranja terena i dostupnih/relevantnih podataka (prvenstveno dobijenih istražnim bušenjem i geološkim

¹Kezović Miodrag, Ogranak RB Kolubara, Lazarevac, Odeljenje operativne geologije Tamnava - Zapadno Polje, e-mail: miodrag.kezovic@rbkolubara.rs

kartiranjem etaža uz geodetsko snimanje reprezentativnih tačaka) formirana je celovita baza sa sistematizovanim podacima za *drugi* ugljeni sloj.

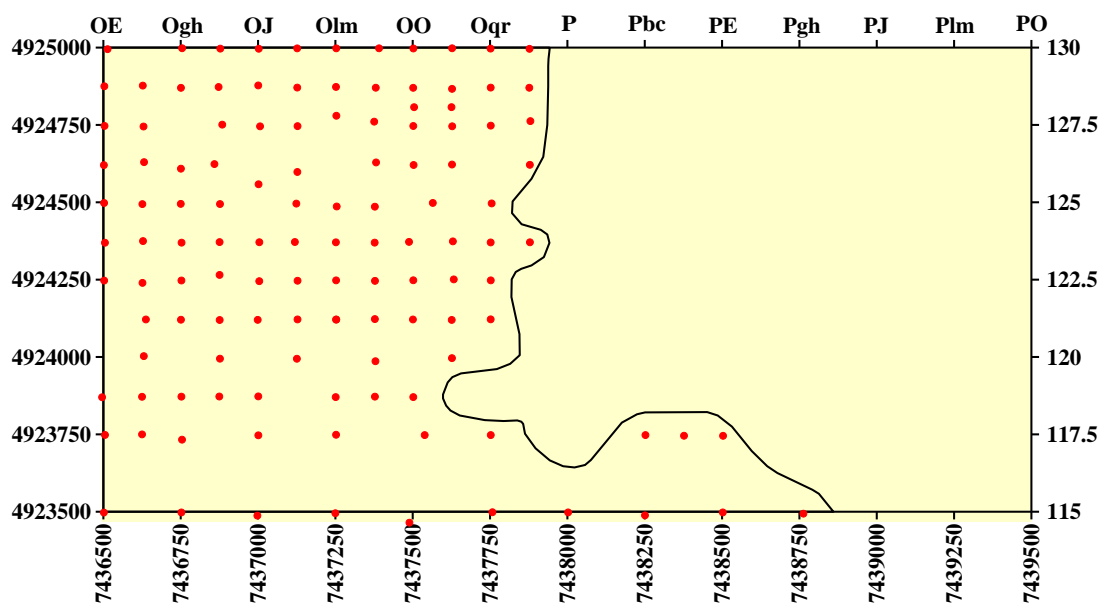
Obrada podataka je podrazumevala detaljnu analizu geoloških parametara, na osnovu koje se na kvalitetan način definisao drugi ugljeni sloj. Tako je, izvršena geološka interpretacija uslova u predmetnom delu ležišta, date debljine ugljenog sloja, debljine intraslojne jalovine, debljine kondicionog uglja, koeficijent intraslojne jalovine kao njihov međusobni odnos, definisane morfostrukturne karakteristike drugog ugljenog sloja, prostiranje, kvalitet i drugi značajni geološki parametri. Objedinjeni rezultati svih geoloških istraživanja su obrađeni u programskim paketima (Surfer i Excel) i prikazani kartama debljina i grafikonima.

2. Detaljna analiza drugog ugljenog sloja

2.1. Istražni prostor i osnovni rezultati geoloških istraživanja

Na osnovu rezultata dobijenih geološkim istražnim radovima, prvenstveno podacima dobijenim iz istražnih bušotina, urađena je detaljna analiza drugog ugljenog sloja na predmetnom delu ležišta Tamnava-Zapadno Polje (Slika 1).

U okviru istražnog prostora analizirani su podaci iz **122** geološke istražne bušotine, ukupne dubine bušenja **15.090 m**. U pitanju je prostor površine **P = 2,24 km²**, gde je srednja vrednost ukupne debljine jedinstvenog ugljenog sloja **14,70 m**, debljine intraslojne jalovine **6,20 m**, debljine kondicionog uglja **8,40 m**, dok je koeficijent intraslojne/međuslojne jalovine **K_{mj}=0,76**. Srednja ponderisana donja toplotna vrednost od **8.000 kJ/kg** je dobijena na osnovu podataka iz **98** istražnih bušotina.



Slika 1. Raspored istražnih geoloških bušotina drugog ugljenog sloja

Interpretacija grafikonima je urađena nakon formiranja osnovne baze. Grafikoni po profilskim linijama (12 - po pravcu zapad-istok i 12 - po pravcu sever-jug) su detaljno analizirani, ali zbog obimnosti nisu prikazani u radu.

Saglasno odgovarajućim profilskim linijama (od 130 do 115) obrađeni su podaci iz 122 bušotine, koje su omogućile detaljnu analizu drugog ugljenog sloja u predmetnom delu ležišta. Na Slici 1 dat je raspored 121 istražne bušotine, dok jedna granična bušotina koja se nalazi u neposrednoj blizini, ali van okonturenog prostora, nije prikazana.

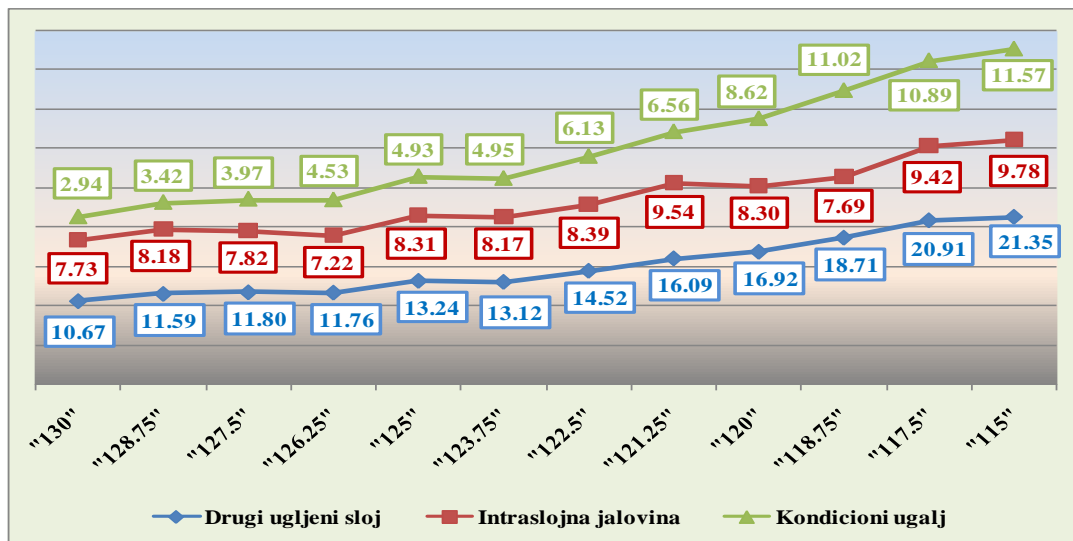
2.2. Detaljni rezultati geoloških istraživanja

Detaljni rezultati geoloških istraživanja su nastali sveobuhvatnom statističkom analizom srednjih vrednosti ukupne debljine drugog ugljenog sloja, debljina intraslojne jalovine i kondicionog uglja, analizom njihovog međusobnog odnosa, kao i donjom toplotnom vrednošću. Na odgovarajućim kartama jasno se mogu pratiti prostiranje i trendovi opadanja/rasta vrednosti za određene geološke parametre.

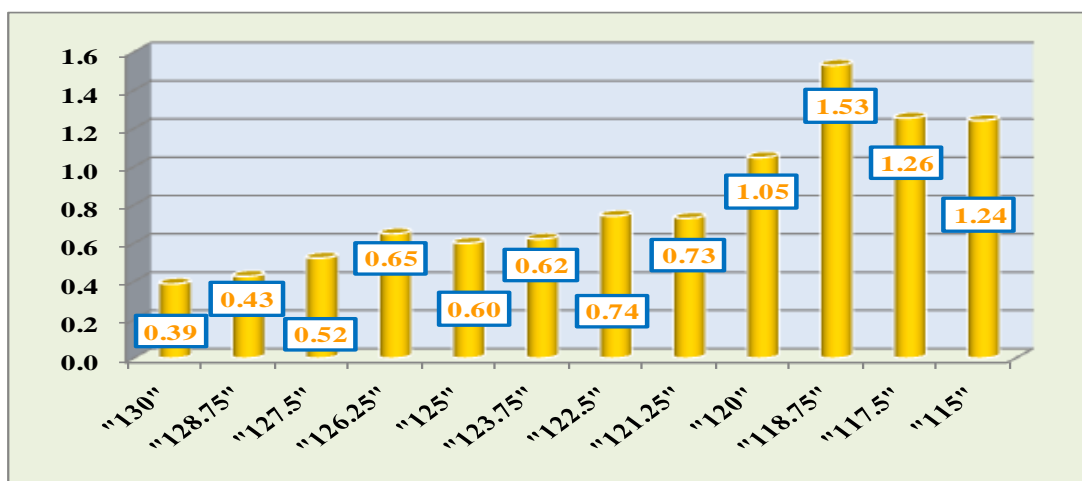
Prikaz srednjih vrednosti debljina je dat od 130 do 115 profilske linije u zoni koja je u velikoj meri zahvaćena rudarskim radovima. Posmatrajući međusobne odnose i trend rasta/opadanja vrednosti debljine ugljene serije, intraslojne jalovine, kondicionog uglja i srednje donje toplotne vrednosti može se konstatovati:

- Direktna proporcionalna zavisnost ukupne debljine drugog ugljenog sloja, intraslojne jalovine i kondicionog uglja;
- Ravnomerno povećanje vrednosti debljine drugog ugljenog sloja i intraslojne jalovine od severa ka jugu, i izraženije smanjenje od zapada ka istoku u južnom delu terena;
- Kondicioni ugalj ima dosta ujednačen trend pružanja sa ravnomernim povećanjem vrednosti debljine od sever-severozapada ka jug-jugoistoku, i oscilujuće povećanje/umanjenje u središnjem delu terena;
- Povećanje donje toplotne vrednosti od severa ka jugu, i izraženije smanjenje od zapada ka istoku, istočno od OE profilske linije do granice prostiranja drugog ugljenog sloja; i
- Međusobni odnos debljina može se pratiti na Slici 2, odnos intraslojne jalovine i kondicionog uglja je prikazan preko koeficijenta intraslojne jalovine na Slici 3, a srednja donja toplotna vrednost na Slici 4.

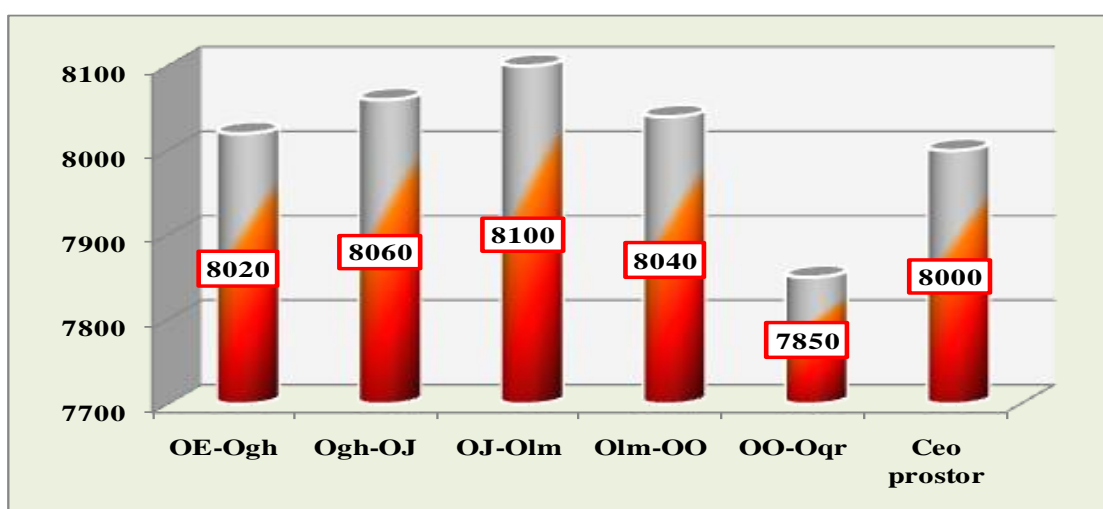
Napomena: Prilikom analize minimalnih i maksimalnih srednjih vrednosti debljina (Tabela 1), međusobni odnosi i trendovi rasta/opadanja vrednosti odražavaju definisane zavisnosti, s tim što su razlike po profilskim linijama dosta izraženije.



Slika 2. Srednje vrednosti debljina po profilskim linijama



Slika 3. Srednja vrednost koeficijenta intraslojne jalovine po profilskim linijama



Slika 4. Srednja donja toplotna vrednost ($Q_{dv} = \text{kJ/kg}$) po profilskim linijama i na čitavom istražnom prostoru

Tabela 1. Minimalne i maksimalne srednje vrednosti debljina po profilskim linijama

Profilna linija	Vrednost	Drugi ugljeni sloj (m)	Kondicioni ugajl (m)	Intraslojna jalovina (m)	Profilna linija	Vrednost	Drugi ugljeni sloj (m)	Kondicioni ugajl (m)	Intraslojna jalovina (m)
130	Min.	9,70	6,50	1,70	122.5	Min.	12,90	7,00	5,00
130	Max.	13,00	9,10	4,80	122.5	Max.	16,20	10,60	7,70
128.75	Min.	10,80	8,70	2,10	121.25	Min.	14,90	8,20	2,00
128.75	Max.	13,60	8,90	4,70	121.25	Max.	17,80	14,40	8,90
127.5	Min.	10,50	6,50	1,40	120	Min.	15,40	7,20	7,70
127.5	Max.	13,90	9,50	4,90	120	Max.	18,70	9,20	9,50
126.25	Min.	10,40	6,10	2,60	118.75	Min.	15,40	7,20	7,70

126,25	Max.	13,70	9,10	6,40	118,75	Max.	18,70	9,20	9,50
125	Min.	12,30	7,20	4,10	117,5	Min.	17,60	7,40	6,60
125	Max.	14,50	9,80	6,00	117,5	Max.	28,10	11,60	15,90
123,75	Min.	11,60	7,00	2,80	115	Min.	15,20	6,40	4,80
123,75	Max.	14,20	9,20	6,90	115	Max.	27,50	13,30	18,40

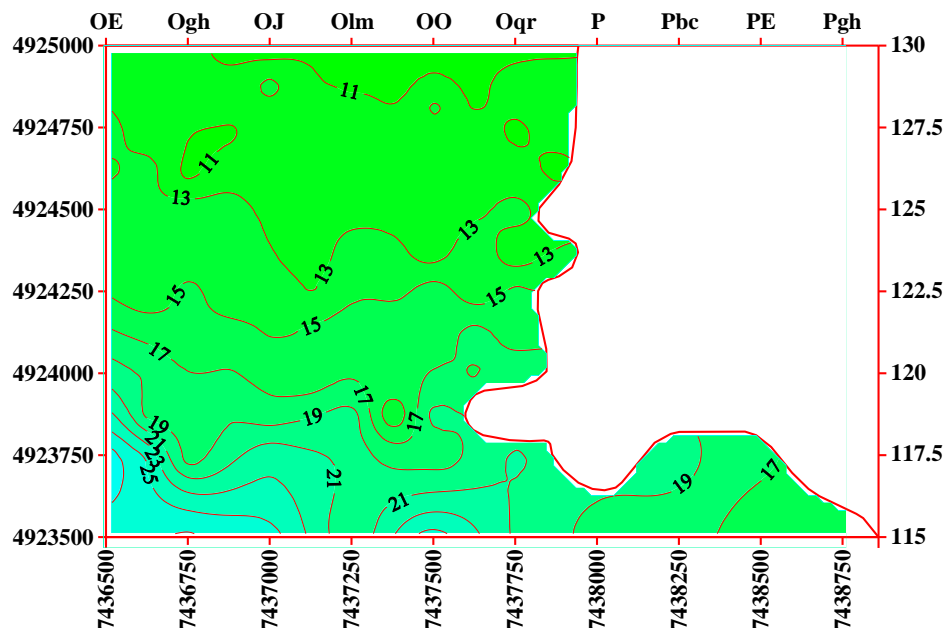
Karta debljine drugog ugljenog sloja (intraslojna jalovina+kondicioni uglj) - Slika 5. Maksimalna debljina drugog ugljenog sloja je vezana za južni prostor ograničen OE-Oqr i 118,75-115 profilskim linijama. Severni i središnji deo je dosta miran, sa blagim trendom rasta i to je prostor povoljnih međusobnih odnosa intraslojne jalovine i kondicionog uglja. Minimalna vrednost je 9,70 m (bušotina OO/Oqr-130), maksimalna vrednost je 28,10 m (bušotina OE-117,5), srednja vrednost je 14,70 m. Zona najvećih vrednosti debljine je u jugozapadnom delu istražnog područja (prostor ograničen OE-OJ i 117,5-115 profilskim linijama).

Karta debljine intraslojne jalovine - Slika 6. Debljina intraslojne jalovine ima isti trend i identičan raspored izolinija kao debljina drugog ugljenog sloja. Maksimalna debljina intraslojne jalovine je vezana za prostor ograničen OE-OJ i 117,5-115 profilskim linijama. Jugoistočno od ovog prostora, pa do granice prostiranja drugog ugljenog sloja, debljina se značajno smanjuje. Minimalna vrednost je 1,40 m (bušotina Oqr-127,5), maksimalna vrednost je 18,00 (bušotina Ogh-115), srednja vrednost je 6,20 m. Zona najvećih vrednosti debljine je u jugozapadnom delu istražnog područja (prostor ograničen OE-Ogh i 117,5-115 profilskim linijama).

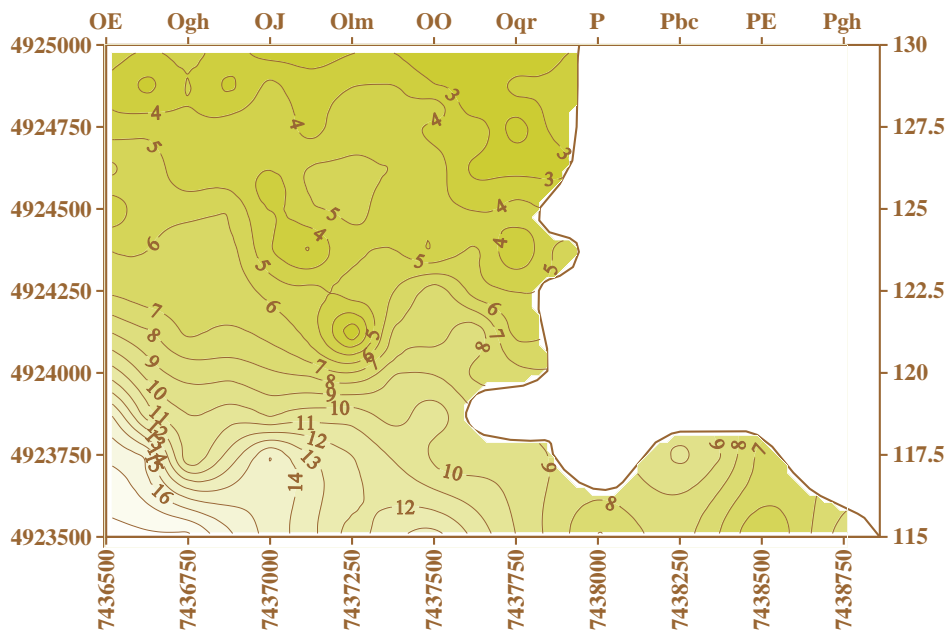
Karta debljine kondicionog uglja - Slika 7. Debljina kondicionog uglja reflektuje trend povećanja vrednosti od severozapada ka jugoistoku. Severni i središnji deo imaju ujednačene vrednosti debljina. Karakterističan je prostor ograničen Olm-Olm/OO i 121,25-118,75 profilskim linijama gde je ispoljeno povećanje/smanjenje debljine usled dominantnog uticaja bušotina. Lokalno ovo su zone maksimalne i minimalne vrednosti debljine. Generalno, maksimalne vrednosti debljine su vezane za jugoistočni deo terena. Minimalna vrednost je 3,60 m (bušotina Olm/OO-118,75), maksimalna vrednost je 14,40 (bušotina Olm-121,25), srednja vrednost je 8,40 m.

Karta vrednosti koeficijenta intraslojne/međuslojne jalovine - Slika 8. Koeficijent intraslojne/međuslojne jalovine (Kij/Kmj) predstavlja odnos intraslojne jalovine i kondicionog uglja, tako da ima isti trend i identičan raspored minimalnih i maksimalnih vrednosti kao kod izolinija debljina intraslojne jalovine. To znači da su na severnom i središnjem delu terena do granice prostiranja drugog ugljenog sloja, vrednosti povoljne. Prostor ograničen OE-Oqr/P i 130-120 profilskim linijama ima povoljne vrednosti koeficijenta intraslojne jalovine. Minimalna vrednost je 0,19 m (bušotina Oqr/P-126,25), maksimalna vrednost je 4,41 (bušotina Olm-115), srednja vrednost je 1,80. Zona najvećih vrednosti Kij je u jugozapadnom i južnom delu istražnog područja (prostor ograničen OE-Olm i 120-115 profilskim linijama).

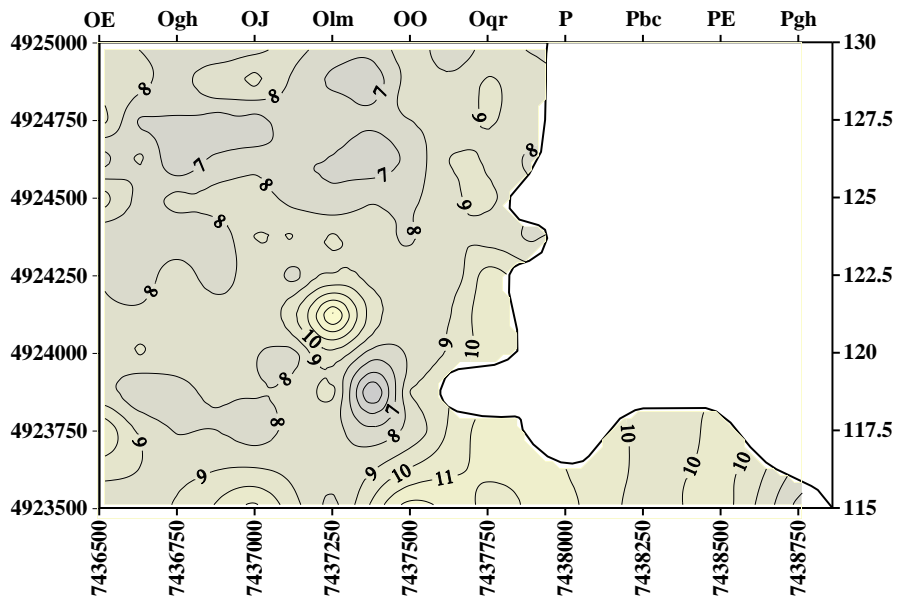
Napomena: Kao što je već naglašeno, u pitanju je zakonitost koja se odnosi na direktnu proporcionalnu zavisnost debljine intraslojne jalovine i koeficijenta intraslojne jalovine.



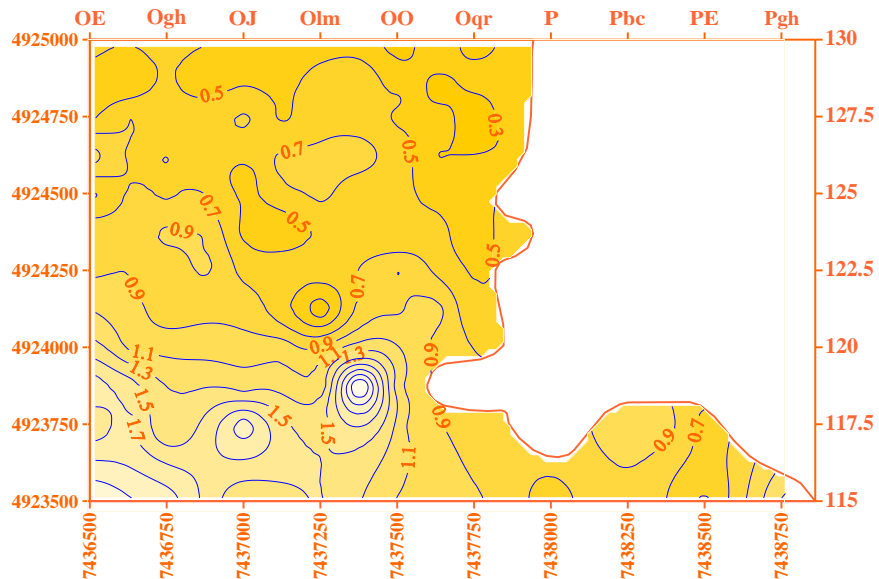
Slika 5. Debljina drugog ugljenog sloja (kondicioni ugalj+intraslojna jalovina), ekvidistanca = 2 m



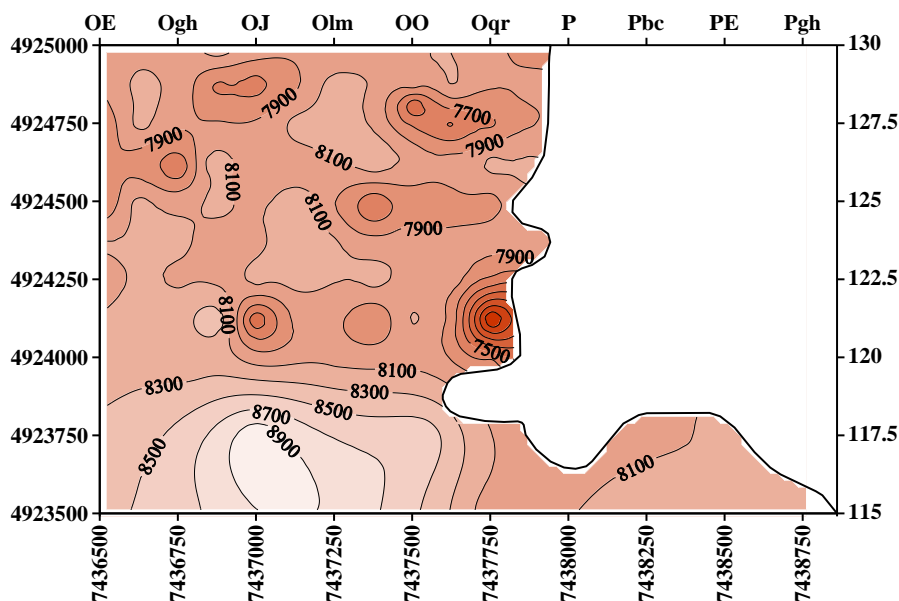
Slika 6. Debljina intraslojne jalovine u okviru drugog ugljenog sloja, ekvidistanca = 1 m



Slika 7. Debljina kondicionog uglja u okviru drugog ugljenog sloja, ekvidistanca = 1 m



Slika 8. Koeficijent intraslojne jalovine u okviru drugog ugljenog sloja, ekvidistanca = 0.2



Slika 9. Srednja donja toplotna vrednost (Q_{dv}) u okviru drugog ugljenog sloja, ekvidistanca = 200 kJ/kg

Karta donje toplotne vrednosti (Q_{dv}) - Slika 9. Izolinije donje toplotne vrednosti generalno ukazuju na trend povećanja od severa ka jugu. Maksimalne vrednosti su vezane za prostor ograničen OE/Ogh-OO i 118,75-115 profilskim linijama. Severni i središnji deo se odlikuje relativno ujednačenim vrednostima. Minimalna vrednost je 6440 kJ/kg (bušotina Oqr-121,25), maksimalna vrednost je 9080 kJ/kg (bušotina OJ-117,5), srednja vrednost je 8000 kJ/kg. Zona najmanje vrednosti je u središnjem delu u prostoru isklinjavanja drugog ugljenog sloja (između Oqr i Oqr/P i 122,5-120 profilске linije).

Za razliku od prvog ugljenog sloja (gde su problemi sa kvalitetom uglja više nego očigledni), drugi ugljeni sloj ima najbolje kvalitativne karakteristike, homogen je, prisutna raslojavanja su jasna, što je osnovni preduslov za dobar selektivan rad na odvajanju međuslojne jalovine. To znači da nije potrebno vršiti:

1. Uporedno sagledavanje i usklađivanje litologije i rezultata laboratorijskih ispitivanja uglja;
2. Sveobuhvatnu statističku analizu srednjih vrednosti ukupne debljine drugog ugljenog sloja, debljina intraslojne jalovine i kondicionog uglja, analizu njihovog međusobnog odnosa;
3. Detaljnu analizu niskokaloričnih ugljeva (ne figuriraju) i podelu predmetnog područja na povoljne i nepovoljne zone. S tim u vezi sagledavanje kvaliteta po profilskim linijama nije neophodno;
4. Drugi ugljeni sloj ima dosta ujednačene vrednosti, tako da nema potrebe za podelom na klase određenog kvaliteta; i
5. Suština je da ovaj ugalj treba u što boljoj meri mešati sa ugljem lošeg kvaliteta (čitaj: prvi ugljeni sloj).

Na Slikama 10 i 11 prikazan je drugi ugljeni sloj. Na Slici 10 se može sagledati debljina ugljenog sloja i bager vedričar koji vrši otkopavanje uglja i intraslojne jalovine. Bager vedričar ima mogućnost dobrog selektivnog rada, a i otkopava ugalj najboljih geoloških/kvalitativnih karakteristika (drugi ugljeni sloj i donje partije jedinstvenog ugljenog sloja).

Na Slici 11 je prikazan drugi ugljeni sloj u severozapadnom delu terena, nakon otkopavanja uglja do podinskih peskova u kojima se oslobađa podinska izdan. Superpoziciono, homogen i kompaktan, ugljeni sloj se nalazi između kvarcnih peskova u podini i međuslojnih peskova u povlati. Voda se gravitacijski usmerava u vodosabirnike, odakle se sistemom pumpa-cevovod evakuše iz radne figure kopa. Gomile međuslojnog peska se formiraju na unutrašnjem odlagalištu međuslojne/intraslojne jalovine.



Slika 10. Drugi ugljeni sloj i bager vedričar u radu



Slika 11. Drugi ugljeni sloj (u podini voda iz podinskih peskova, u povlati i u gomilama međuslojni peskovi)

3. Zaključak

Na potpunom istražnom području površine $P = 2,24 \text{ km}^2$, odnos srednje vrednosti debljine (rezervi/količina) kondicionog uglja prema ukupnoj debljini ugljenog sloja je 58%, više od 1/2, a intraslojna jalovina je zastupljena sa 42%, dakle **58% : 42%**.

Geološka građa i petrografski sastav drugog ugljenog sloja ima relativno povoljne odnose geoloških parametara, gotovo na čitavom istražnom području.

Detaljnijom analizom je potvrđena zakonitost i proporcionalna zavisnost: **povoljan odnos kondicionog uglja i intraslojne jalovine → homogeniji ugalj → viša donja toplotna vrednost.**

Na osnovu dostupnih i analiziranih rezultata laboratorijskih ispitivanja drugog ugljenog sloja dobija se *veoma bitan podatak* (srednje ponderisane donje toplotne vrednosti su na čitavom prostoru značajno iznad gornje granice garantovanog uglja).

Problem: *Najveći problem su raspoložive količine/rezerve drugog ugljenog sloja (oko 32%, ili nešto malo manje od 1/3 prisutnih rezervi) i njegovo izraženo zaleganje u zapadnom i jugozapadnom delu ležišta.*

Odnos prvi ugljeni sloj: drugi ugljeni sloj nije povoljan. Razlog: prvi ugljeni sloj je *veoma raslojen*, ima ga oko 68% (nešto više od 2/3 prisutnih rezervi), u velikoj meri otežava uspešnu eksploataciju uglja, posebno u zapadnom i jugozapadnom delu ležišta, tako da je neophodno je primeniti sve raspoložive mere u cilju efikasnog, maksimalnog iskorišćenja ležišta.

Opšti zaključak. *Kada se analizira čitav istražni prostor, uključujući i istočni deo ležišta, situacija sa odnosom rezervi je:*

- **prvi ugljeni sloj - oko 36%, malo više od 1/3 prisutnih rezervi,**
- **drugi ugljeni sloj - oko 16%, malo manje od 1/6 prisutnih rezervi, i**
- **jedinstven ugljeni sloj - oko 48%, malo manje od 1/2 prisutnih rezervi.**

Ovo je relativno dobar odnos, kada se zna da je jedinstven ugljeni sloj ujednačene debljine, sa povoljnim kvalitativnim karakteristikama (srednja ponderisana donja toplotna vrednost je oko **7.500 kJ/kg**), lakši je za eksploataciju i pruža mogućnost efikasnog selektivnog otkopavanja.

Literatura

- [1] Grgurović D. i dr.: Studija eksploatacionih geoloških istraživanja i laboratorijskih ispitivanja ugljeva u funkciji formiranja baze za upravljanje kvalitetom uglja na površinskim kopovima EPS-a, studija 147 strana, Geološki institut Srbije, Beograd, 2006.
- [2] Kezović M., Savić G., Živković D.: Analiza varijacija kvaliteta uglja na površinskom kopu Tamnava-Zapadno Polje, List Saveza energetičara ENERGETIKA 2010, Broj 1/Godina XII/Mart 2010., str.156-162, Zlatibor, 2010.
- [3] Kezović M., Popović Z.: Reprezentativno uzorkovanje uglja na PK Tamnava-Zapadno Polje - Kolubarski ugljonosni basen, Zbornik radova EKO JUSTUS II - Pravo i životna sredina u privredi i praksi u organizaciji Foruma kvaliteta, str. 186-192, Palić, 2010.
- [4] Kezović M.: Ugljonosnost Kolubarskog basena, Čas, Elektroprivreda, izd. JP ELEKTROPRIVREDA SRBIJE, godina LXIV, broj 2, str. 154-163, Beograd, 2011.
- [5] Kezović M.: Kriterijumi ocene perspektivnosti Kolubarskog basena, XIth Međunarodna konferencija o površinskoj eksploataciji OMC 2014 u organizaciji Saveza inženjera rudarstva i geologije Srbije i Jugoslovenskog komiteta za površinsku eksploataciju, Zbornik radova, str. 195-209, Zlatibor, 2014.
- [6] Kezović M.: Ažuriranje geološke baze podataka u funkciji kvaliteta uglja u ležištu, VI Simpozijum sa međunarodnim učešćem RUDARSTVO 2015, Zbornik radova, Privredna komora Srbije, str. 137-147, Borsko jezero, 2015.
- [7] Kezović M.: Kvalitet uglja Kolubarskog basena, VII Međunarodna konferencija UGALJ 2015 u organizaciji Saveza inženjera rudarstva i geologije Srbije i Jugoslovenskog komiteta za površinsku eksploataciju, Zbornik radova, str. 133-148, Zlatibor, 2015.
- [8] Kezović M.: Detaljna analiza prvog ugljenog sloja u delu ležišta Tamnava-Zapadno Polje, 13.

Simpozijum sa međunarodnim učešćem RUDARSTVO 2022, Zbornik radova, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, str. 229-240, Vrnjačka Banja, 2022.

- [9] Kolonja B. i dr.: Idejni program sa studijom opravdanosti uvođenja sistema za operativno upravljanje i kontrolu kvaliteta uglja na Tamnavskim površinskim kopovima, studija 288 strana, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd & Beograd & MBEG mbH, Wiesenstraße 20, 06727 Theißen, Germany, Beograd, 2009.
- [10]Pantić N, Nikolić P.: UGALJ, udžbenik, str. 562, Naučna knjiga, Beograd, 1973.
- [11]Simonović B. i dr.: Studija degradacije ugljene mase od ležišta do ležišta, studija 443 strane, Institut za opštu i fizičku hemiju, Beograd, 2016.
- [12]Stručna i fondovska dokumentacija RB Kolubara



DETALJNA ANALIZA JEDINSTVENOG UGLJENOG SLOJA U DELU LEŽIŠTA TAMNAVA-ZAPADNO POLJE

A DETAILED ANALYSIS OF THE UNIQUE COAL SEAM IN THE PART OF THE DEPOSIT TAMNAVA-WEST FIELD

Kezović M.¹

Apstrakt

Jedinstven ugljeni sloj se prostire u istočnom delu ležišta Tamnava-Zapadno Polje, i u narednom periodu eksploatacije biće nosilac produktivnosti. Na osnovu dosadašnjih geoloških istraživanja konstatuje se da je reč o relativno homogenom ugljenom sloju (nije zahvaćen intenzivnim raslojavanjem), ujednačene debljine, sa povoljnim kvalitativnim karakteristikama i mogućnošću efikasnog selektivnog otkopavanja. Cilj ovog rada je da se detaljnom analizom relevantnih geoloških parametara stvore uslovi za sveobuhvatno/celovito sagledavanje ugljonosne serije, odnosno za uspešno uvođenje sistema za upravljanje kvalitetom uglja.

Ključne reči: ležište Tamnava-Zapadno Polje, jedinstven ugljeni sloj, relevantni geološki parametri

Abstract

The unique coal seam extends in the eastern part of the deposit Tamnava-West Field, and in the following period of mining, it will be the carrier of the productivity. Based on the previous geological research, it can be concluded that it is a relatively homogeneous coal seam (not affected by intense stratification), of uniform thickness, with favorable qualitative characteristics and the possibility of efficient selective mining. The aim of this paper is to create the conditions for a comprehensive/complete overview of the coal series, i.e., for the successful introduction of a coal quality management system, through a detailed analysis of the relevant geological parameters.

Key words: deposit Tamnava-West Field, unique coal seam, relevant geological parameters

1. Uvod

Detaljna analiza geološke građe jedinstvenog ugljenog sloja podrazumeva interpretaciju geoloških parametara na osnovu kojih je prikazana ukupna debljina ugljenog sloja, date debljine intraslojne jalovine, debljine kondicionog uglja, koeficijent intraslojne jalovine kao njihov međusobni odnos, definisane morfostrukturne karakteristike jedinstvenog ugljenog sloja, prostiranje, kvalitet i drugi značajni geološki parametri.

Analiza je izvršena za deo ležišta Tamnava-Zapadno Polje, u prostoru sa relativno zadovoljavajućim stepenom istraženosti. Istražni radovi su izvedeni na međusobnom rastojanju 125*125 m, s tim što nisu izvedeni radovi duž PE i Pgh i 121,25, 120 i 116,25 profilskih linija na povećanju stepena istraženosti predmetnog dela ležišta.

Na osnovu dostupnih/relevantnih podataka (prvenstveno dobijenih istražnim bušenjem i

¹Kezović Miodrag, Ogranak RB Kolubara, Lazarevac, Odeljenje operativne geologije Tamnava - Zapadno Polje, e-mail: miodrag.kezovic@rbkolubara.rs

geološkim kartiranjem etaža uz geodetsko snimanje reprezentativnih tačaka) formirana je celovita baza sa sistematizovanim podacima za *jedinstven* ugljeni sloj. Tako je, izvršena geološka interpretacija uslova u predmetnom delu ležišta.

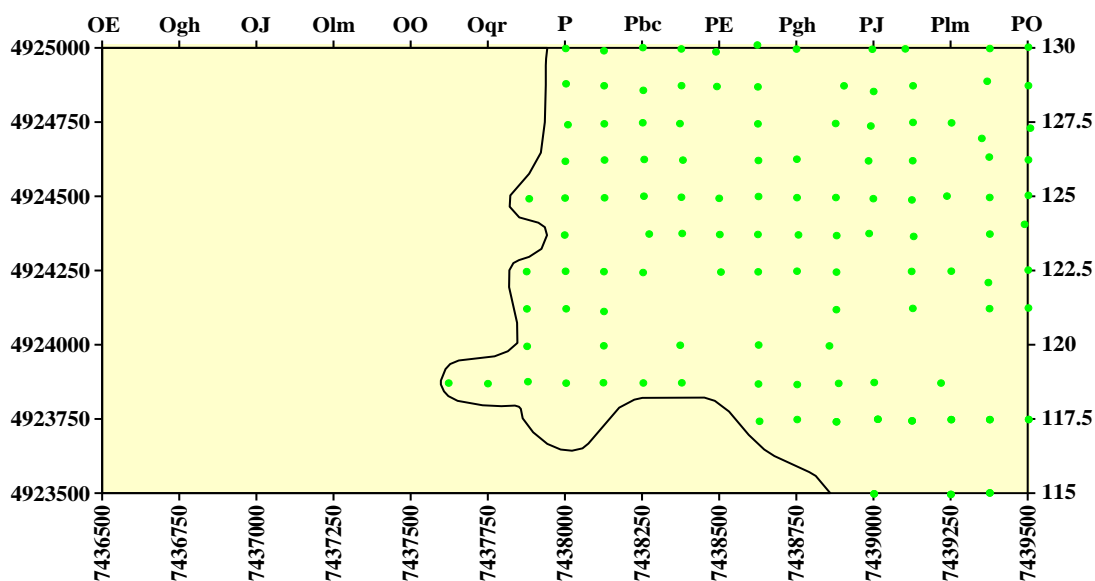
Objedinjeni rezultati svih geoloških istraživanja su prikazani kartama debljina, gde je dat horizontalni plan i vertikalna projekcija strukturnih oblika i grafikonima, gde je izvršena je statistička obrada podataka i data grafička interpretacija relevantnih geoloških parametara. Obradeni podaci su prikazani u Surfer-u i Excel-u.

2. Detaljna analiza jedinstvenog ugljenog sloja

2.1. Istražni prostor i osnovni rezultati geoloških istraživanja

Na osnovu rezultata dobijenih geološkim istražnim radovima, prvenstveno podacima dobijenim iz istražnih bušotina urađena je detaljna analiza jedinstvenog ugljenog sloja na predmetnom području (Slika 1).

U okviru istražnog prostora analizirani su podaci iz **124** geološke istražne bušotine, ukupne dubine bušenja **11.939,00 m**. U pitanju je prostor površine **P = 2,26 km²**, gde je srednja vrednost ukupne debljine jedinstvenog ugljenog sloja **34,10 m**, debljine intraslojne jalovine **8,13 m** sa učešćem proslojaka uglja do 0,5 m, debljine kondicionog uglja **25,97 m** sa učešćem proslojaka jalovine do 0,5 m, dok je koeficijent intraslojne/međuslojne jalovine **Kmj = 0,31**. Srednja ponderisana donja toplotna vrednost je **7.530 kJ/kg** je dobijena na osnovu podataka iz **83** od 124 geološke istražne bušotine.



Slika 1. Raspored istražnih geoloških bušotina jedinstvenog ugljenog sloja

Interpretacija grafikonima je urađena nakon formiranja osnovne baze. Grafikoni po profilskim linijama (12 - po pravcu zapad-istok i 14 - po pravcu sever-jug) su detaljno analizirani, ali zbog obimnosti nisu prikazani u radu.

Saglasno odgovarajućim profilskim linijama (od 130 do 115) obrađeni su podaci iz 124 bušotine, koje su omogućile detaljnu analizu jedinstvenog ugljenog sloja u predmetnom delu ležišta. Na Slici 1 dat je raspored 115 istražnih bušotina, dok 9 graničnih bušotina koje se nalaze u neposrednoj blizini, ali van okonturenog prostora, nisu prikazane.

2.2. Detaljni rezultati geoloških istraživanja

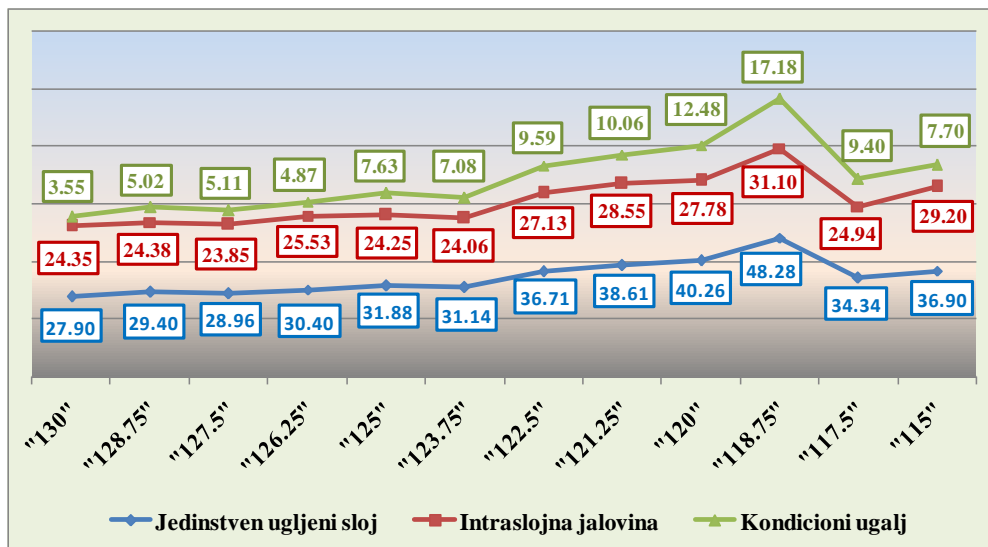
Detaljni rezultati geoloških istraživanja su nastali sveobuhvatnom statističkom analizom srednjih vrednosti ukupne debljine jedinstvenog ugljenog sloja, debljina intraslojne jalovine i kondicionog uglja,

analizom njihovog međusobnog odnosa, kao i donjom toplotnom vrednošću. Na odgovarajućim kartama jasno se mogu pratiti prostiranje i trendovi opadanja/rasta vrednosti za određene geološke parametre.

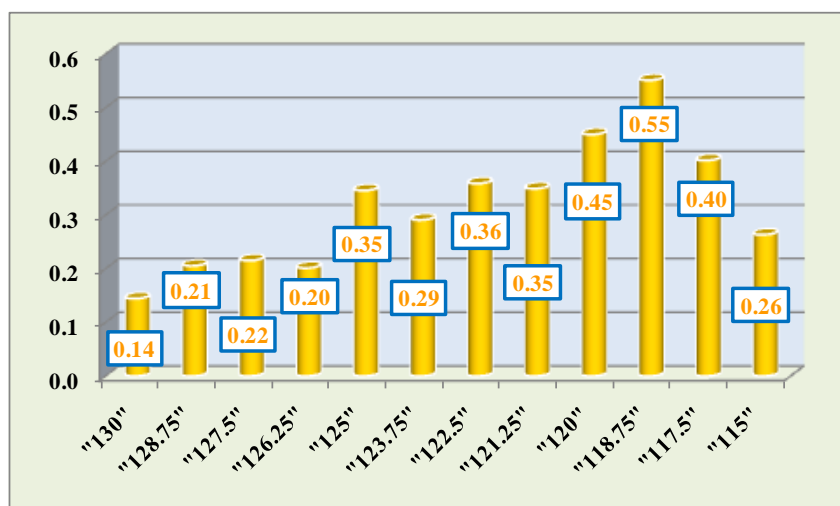
Prikaz srednjih vrednosti debljina je dat od 130 do 115 profilske linije u zoni koja je u velikoj meri zahvaćena rudarskim radovima. Posmatrajući međusobne odnose i trend rasta/opadanja vrednosti debljine ugljene serije, intraslojne jalovine, kondicionog uglja i srednje donje toplotne vrednosti može se konstatovati sledeće:

- Direktna proporcionalna zavisnost ukupne debljine jedinstvenog ugljenog sloja, intraslojne jalovine i kondicionog uglja;
- Ravnomerno povećanje vrednosti debljine jedinstvenog ugljenog sloja i intraslojne jalovine od severoistoka ka jugozapadu (izraženije od 122,5-115 profilske linije);
- Kondicioni ugalj ima dosta ujednačen trend pružanja sa oscilujućim povećanjem vrednosti u severnom i središnjem delu. U SI delu terena izražen je lokalni pad vrednosti. Maksimalne vrednosti debljine prisutne su u JZ delu, dok je pojedinačni uticaj bušotine konstatovan u JI delu terena;
- Relativno ujednačen trend donje toplotne vrednosti u zapadnom i središnjem delu terena, izraženo povećanje u dve zone (severni i južni deo), i pad vrednosti ka istoku i severoistoku; i
- Međusobni odnos debljina može se pratiti na Slici 2, odnos intraslojne jalovine i kondicionog uglja je prikazan preko koeficijenta intraslojne jalovine na Slici 3, a srednja donja toplotna vrednost na Slici 4.

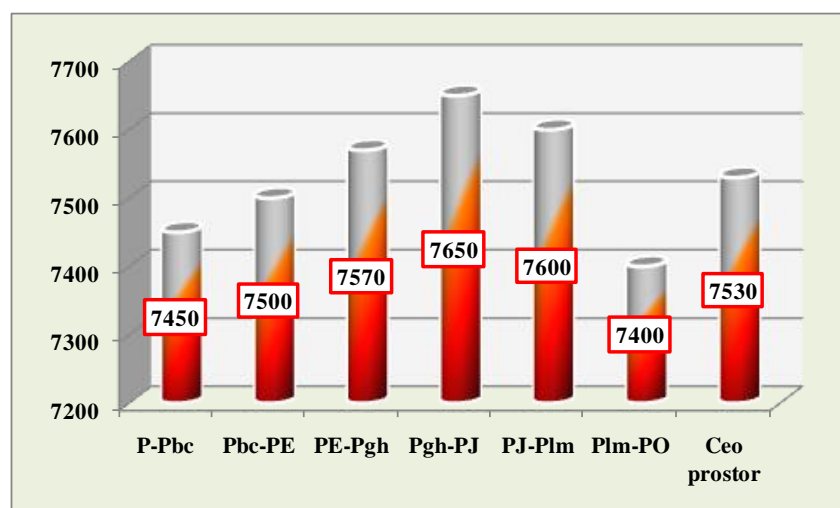
Napomena: Prilikom analize minimalnih i maksimalnih srednjih vrednosti debljina (Tabela 1), međusobni odnosi i trendovi rasta/opadanja vrednosti odražavaju definisane zavisnosti, s tim što su razlike po profilskim linijama dosta izraženije.



Slika 2. Srednje vrednosti debljina po profilskim linijama



Slika 3. Srednja vrednost koeficijenta intraslojne jalovine po profilskim linijama



Slika 4. Srednja donja toplotna vrednost ($Q_{dv} = \text{kJ/kg}$) po profilskim linijama i na čitavom istražnom prostoru

Tabela 1. Minimalne i maksimalne srednje vrednosti debljina po profilskim linijama

Profilna linija	Vrednost	Jedinstven ugljeni sloj (m)	Kondicioni ugaj (m)	Intraslojna jalovina (m)	Profilna linija	Vrednost	Jedinstven ugljeni sloj (m)	Kondicioni ugaj (m)	Intraslojna jalovina (m)
130	Min.	14,50	13,30	0,60	122,5	Min.	29,60	21,60	2,50
130	Max.	33,30	30,00	7,50	122,5	Max.	52,00	32,55	23,60
128,75	Min.	17,71	16,01	0,60	121,25	Min.	30,60	24,40	3,60
128,75	Max.	33,40	28,00	9,80	121,25	Max.	49,00	32,30	18,60
127,5	Min.	14,35	11,95	2,40	120	Min.	37,20	25,10	7,90
127,5	Max.	34,10	27,50	8,70	120	Max.	49,80	30,00	20,20
126,25	Min.	15,10	11,30	2,80	118,75	Min.	32,40	25,65	5,40

126,25	Max.	36,10	29,00	9,60	118,75	Max.	65,40	39,59	37,15
125	Min.	9,08	5,28	3,30	117,5	Min.	26,90	16,50	2,90
125	Max.	41,90	29,65	13,80	117,5	Max.	46,30	30,50	19,00
123,75	Min.	13,09	10,89	2,20	115	Min.	35,10	29,00	6,00
123,75	Max.	36,20	28,35	10,10	115	Max.	38,70	29,50	9,20

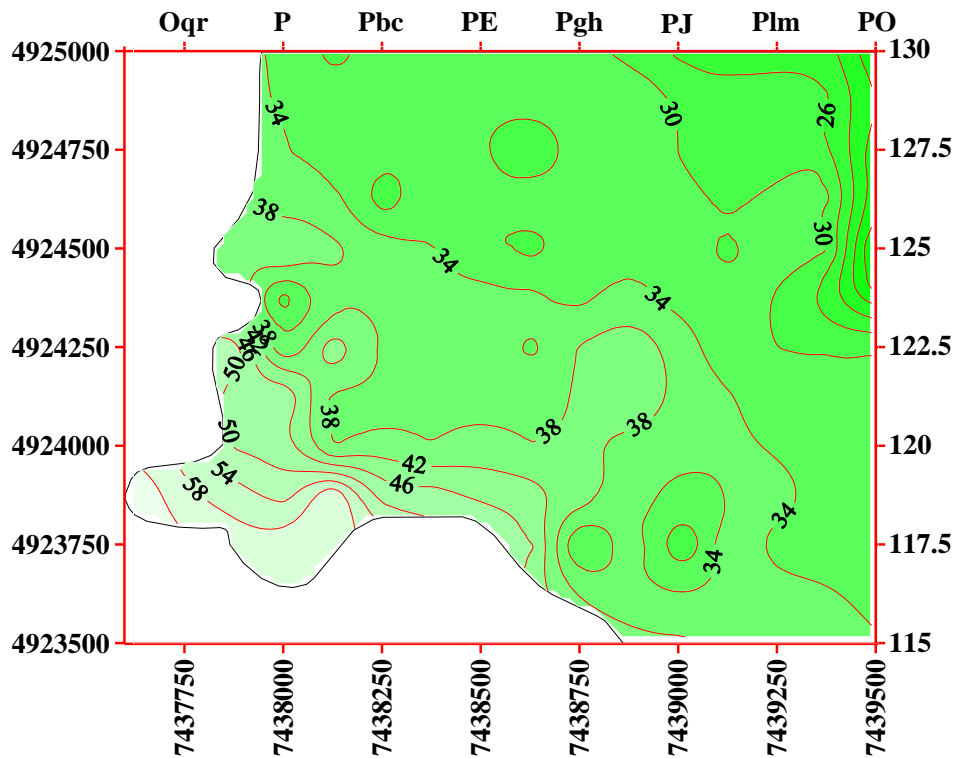
Karta debljine jedinstvenog ugljenog sloja (intraslojna jalovina+kondicioni uglj) - Slika 5. Maksimalna debljina jedinstvenog ugljenog sloja je vezana za jugozapadni prostor ograničen Oqr-PE/Pgh i 121,25-115 profilskim linijama. Severni i središnji deo je dosta miran, sa ravnomernim trendom rasta od severoistoka ka jugozapadu, i to je prostor povoljnih međusobnih odnosa intraslojne jalovine i kondicionog uglja. Minimalna vrednost je 9,10 m (bušotina PO-125), maksimalna vrednost je 65,40 m (bušotina OO/Oqr-118,75), srednja vrednost je 34,10 m.

Karta debljine intraslojne jalovine - Slika 6. Debljina intraslojne jalovine ima isti trend i identičan raspored izolija kao debljina jedinstvenog ugljenog sloja. Maksimalna debljina intraslojne jalovine je vezana za prostor ograničen Oqr-P i 120-117,5 profilskim linijama. Jugoistočno od ovog prostora debljina se značajno smanjuje. Minimalna vrednost je 0,60 m (bušotina Plm/PO-130), maksimalna vrednost je 37,20 (bušotina OO/Oqr-118,75), srednja vrednost je 8,10 m.

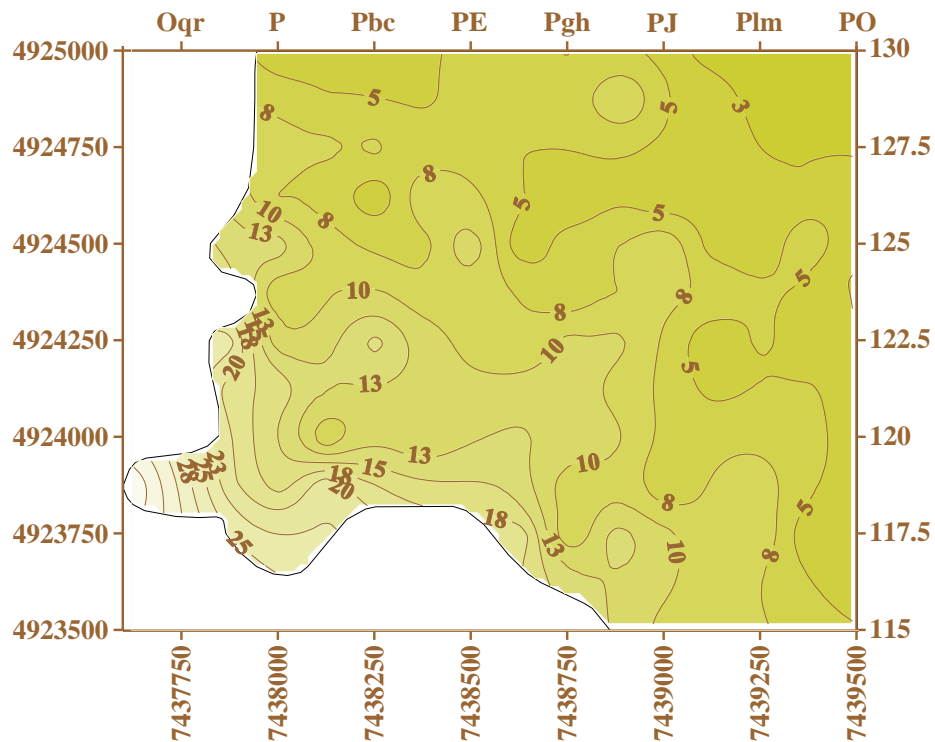
Karta debljine kondicionog uglja - Slika 7. Debljina kondicionog uglja, generalno posmatrano, reflektuje trend povećanja vrednosti od severoistoka ka jugozapadu. Severni, zapadni i središnji deo imaju ujednačene vrednosti debljina. Karakterističan je krajnji južni deo istražnog prostora gde je ispoljeno povećanje/smanjenje debljine usled dominantnog uticaja bušotina. Lokalno ovo su zone maksimalne i minimalne vrednosti debljine. Minimalne vrednosti debljine su vezane i za severoistočni deo terena. Minimalna vrednost je 5,30 m (bušotina PO-125), maksimalna vrednost je 39,60 m (bušotina P/Pbc-118,75), srednja vrednost je 26,00 m.

Karta vrednosti koeficijenta intraslojne/međuslojne jalovine - Slika 8. Koeficijent intraslojne/međuslojne jalovine (Kij/Kmj) predstavlja odnos intraslojne jalovine i kondicionog uglja, tako da ima isti trend i identičan raspored minimalnih i maksimalnih vrednosti, kao kod izolija debljina intraslojne jalovine. To znači da su na severnom i središnjem delu terena do granice prostiranja jedinstvenog ugljenog sloja, vrednosti povoljne. Prostor ograničen Oqr-P i 120-117,5 profilskim linijama ima nepovoljne vrednosti koeficijenta intraslojne jalovine i predstavlja zonu najvećih vrednosti Kij . Minimalna vrednost je 0,02 m (bušotina Plm/PO-128,75), maksimalna vrednost je 1,30 (bušotina OO/Oqr-118,75), srednja vrednost je 0,30.

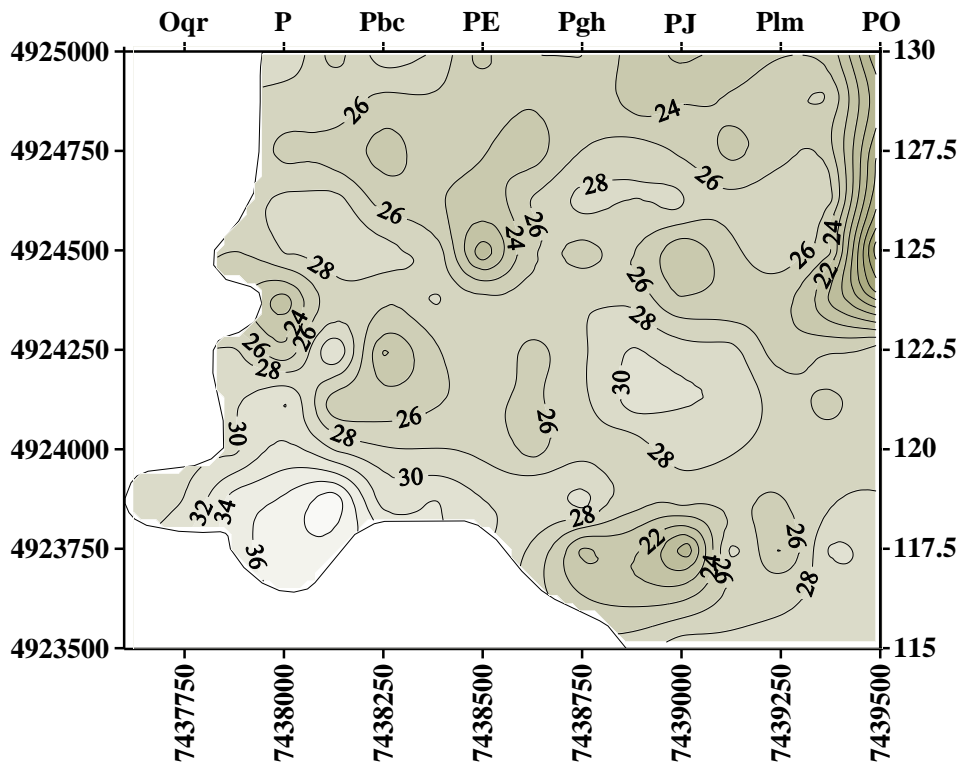
Napomena: Kao što je već naglašeno, u pitanju je zakonitost koja se odnosi na direktnu proporcionalnu zavisnost debljine intraslojne jalovine i koeficijenta intraslojne jalovine.



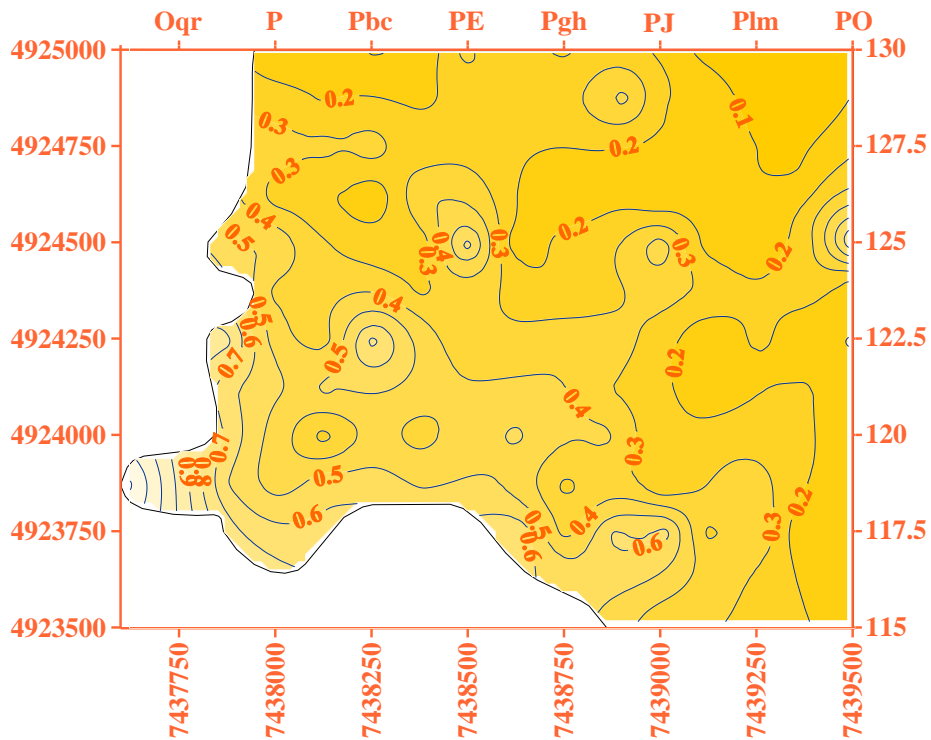
Slika 5. Debljina jedinstvenog ugljenog sloja (kondicioni ugalj+intraslojna jalovina), ekvidistanca = 4 m



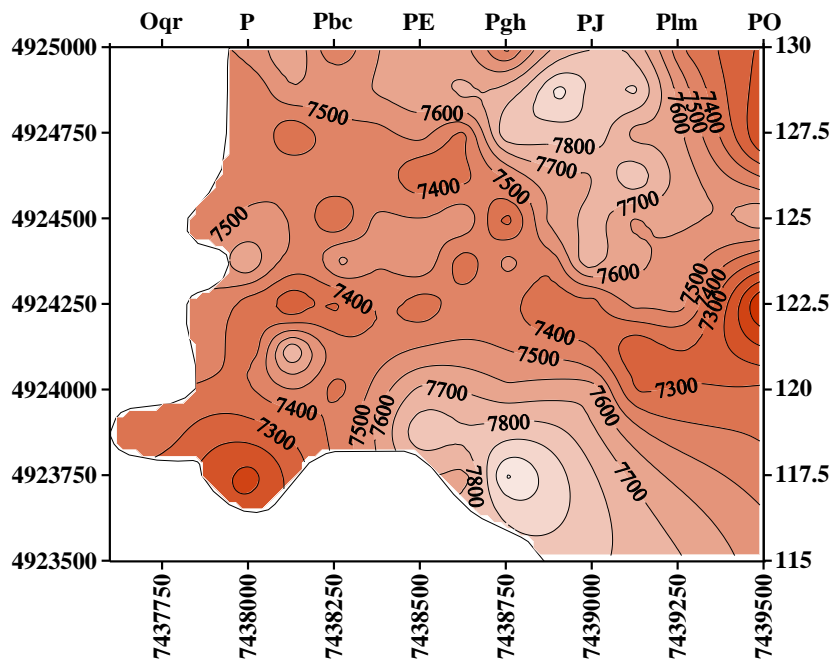
Slika 6. Debljina intraslojne jalovine u okviru jedinstvenog ugljenog sloja, ekvidistanca = 2-3 m



Slika 7. Debljina kondicionog uglja u okviru jedinstvenog ugljenog sloja, ekvidistanca = 2 m



Slika 8. Koeficijent intraslojne jalovine u okviru jedinstvenog ugljenog sloja, ekvidistanca = 0,1



Slika 9. Srednja donja toplotna vrednost (Q_{dv}) u okviru jedinstvenog ugljenog sloja, ekvidistanca = 100 kJ/kg

Karta donje toplotne vrednosti (Q_{dv}) - Slika 9. Izolinije donje toplotne vrednosti generalno ukazuju na relativno ujednačen trend u zapadnom delu terena, izraženo povećanje vrednosti u dve zone (1. zona - prostor ograničen Pgh-Plm i 130-123,75 profilskim linijama i 2. zona - prostor ograničen PE-PJ i 118,75-115 profilskim linijama) i izražen pad vrednosti ka istoku i severoistoku gde su zone najmanje donje toplotne vrednosti. Minimalna vrednost je 6.860 kJ/kg (bušotina PO-122,5), maksimalna vrednost je 8100 kJ/kg (bušotina Pgh-117,5), srednja vrednost je 7.530 kJ/kg.

Jedinstven ugljeni sloj ima povoljne kvalitativne karakteristike, ujednačene je debljine, nije potpuno homogen, prostire se u istočnom (plićem) delu ležišta, prisutna raslojavanja su jasna, lakši je za eksploataciju i daje mogućnost efikasnijeg selektivnog otkopavanja.

Za razliku od prvog ugljenog sloja koji se odlikuje lošim kvalitativnim karakteristikama i čija analiza predstavlja jedno kompleksno sagledavanje, kod analize jedinstvenog ugljenog sloja *ne treba u velikoj meri* vršiti sve te radnje vezane za uporedno sagledavanje kartirane geologije i rezultata laboratorijskih ispitivanja, analizu međusobnog odnosa debljina intraslojne jalovine i kondicionog uglja, izdvajanje povoljnih i nepovoljnih zona, podele na klase određenog kvaliteta i dr.

Suština je da ovaj ugljeni sloj treba precizno selektivno otkopati. Tako se dobija ugulj garantovanog/zahtevanog kvaliteta, koji u određenoj meri može poslužiti popravljaju kvaliteta.

Na Slikama 10 i 11 prikazan je jedinstven ugljeni sloj.

Na Slici 10 se može sagledati prva zona nestabilnosti koja figurira u središnjem delu terena (prelaz iz zapadnog u istočni deo ležišta) i odlikuje se naglim povijanjem ugljonosne serije i egzistovanjem subvertiknog raseda sa različitom dinamikom kretanja duž rasedne linije.

Na Slici 11 je prikazan jedinstven ugljeni sloj u istočnom delu terena. U pitanju je istočna završna granica PK Tamnava-Zapadno Polje sa prisutnim klizištem, koje se pruža od severa ka jugu *uvlačeći* se nešto više od 250 m u prostor PK Tamnava-Zapadno Polje. Predmetno klizište egzistira od 14. septembra 1993. godine, kada je došlo do njegovog aktiviranja i pokretanja značajnih masa ka istoku. Od tog perioda do danas ono je aktivno, ali u dosta manjoj meri. Istočno od ovog prostora došlo je do intenzivne akumulacije degradiranog materijala tokom majskih poplava 2014. godine, gde je teren zavodnjen usled stalnog priliva vode. Sa napredovanjem rudarskih radova jasno su definisane rasedne strukture i formiranje blokovske građe.



Slika 10. Kontakt gornjepontskih kvarcnih peskova i povlate jedinstvenog ugljenog sloja (granica zapadnog i istočnog dela ležišta - 1. zona nestabilnosti)



Slika 11. Jedinstveni ugljeni sloj - eksploatacija uglja na prostoru istočne završne kosine (granica sa nekadašnjim PK Tamnava-Istočno Polje - 2. zona nestabilnosti)

3. Zaključak

Na kompletnom istražnom području, odnos srednje vrednosti debljine (rezervi/količina) kondicionog uglja prema ukupnoj debljini ugljenog sloja je 76,00%, nešto više od 3/4, a intraslojna jalovina je zastupljena sa 24,00%, dakle **76% : 24%**.

Geološka građa i petrografski sastav jedinstvenog ugljenog sloja ima relativno povoljne odnose geoloških parametara, gotovo na čitavom istražnom području (izuzev istočnog i severoistočnog dela).

Na osnovu dostupnih i analiziranih rezultata laboratorijskih ispitivanja jedinstvenog ugljenog sloja dobija se *značajan podatak* (srednje ponderisane donje toplotne vrednosti su najvećim delom oko i iznad gornje granice garantovanog uglja. Mala je površina gde su zastupljene vrednosti koje pripadaju zadatom opsegu od $6.700 \pm 10\%$ kJ/kg).

Jedinstveni ugljeni sloj će u narednom periodu eksploatacije biti nosilac produktivnosti površinskog kopa Tamnava-Zapadno Polje. Sa geološkog aspekta ima povoljne karakteristike (položaj, pružanje, debljinu ugljenog sloja, rezerve i relativno dobre kvalitativne karakteristike).

Problem: *Najveći problem su dve izražene zone nestabilnosti:*

1. *Prva zona se nalazi na kontaktu zapadnog (prisutan prvi i drugi ugljeni sloj) i istočnog dela (prisutan jedinstven ugljeni sloj) ležišta i predstavlja prostor intenzivnog zaleganja krovine ugljonosne serije, gde egzistuje subvertikalni rased na kontaktu gornjepontskih peskova i jedinstvenog ugljenog sloja, sa različitim intenzitetom kretanja duž rasedne linije. U pitanju je prostor naglog povijanja ugljene serije i pojave sekundarnog rasedanja i dejstva erozije. Ovo je trend koji se može pratiti od zapada ka istoku.*
2. *Druga zona izrazitih promena u pružanju i debljini ugljonosne serije se prostire u krajnjem istočnom delu ležišta gde egzistira klizište od 14. septembra 1993. godine, kada je došlo do njegovog aktiviranja i pokretanja značajnih masa ka istoku. Tu su definisane dve rasedne strukture duž kojih je došlo do spuštavanja terena i formiranja blokovske građe. Kretanje je bilo duž samih raseda i iz pravca zapada ka istoku. Sama ugljonosna serija je pretrpela znatno smanjenje debljine. Najizraženije promene su duž Plm/PO profilske linije.*

Preporuka: Stalno praćenje stanja na terenu u detektovanim zonama nestabilnosti, maksimalno moguće rasterećenje masa i koordiniran rad rudarske operative, geološkog i geodetskog odeljenja.

Opšti zaključak: *Kada se analizira čitav istražni prostor, jedinstveni ugljeni sloj zauzima jednu polovinu od ukupno izračunatih rezervi uglja na predmetnom delu ležišta. Imajući u vidu informacije dobijene detaljnom i uporednom analizom geoloških parametara svih ugljenih slojeva, u pitanju je relativno povoljan odnos za racionalnu eksploataciju ležišta i plasman uglja odgovarajućeg kvaliteta.*

Literatura

- [1] Grgurović D. i dr.: Studija eksploatacionih geoloških istraživanja i laboratorijskih ispitivanja ugljeva u funkciji formiranja baze za upravljanje kvalitetom uglja na površinskim kopovima EPS-a, studija 147 strana, Geološki institut Srbije, Beograd, 2006.
- [2] Kezović M., Savić G. i Živković D.: Analiza varijacija kvaliteta uglja na površinskom kopu Tamnava-Zapadno Polje, List Saveza energetičara ENERGETIKA 2010, Broj 1/Godina XII/Mart 2010., str.156-162, Zlatibor, 2010.
- [3] Kezović M., Popović, Z.: Reprezentativno uzorkovanje uglja na PK Tamnava-Zapadno Polje-Kolubarski ugljonosni basen, Zbornik radova EKO JUSTUS II - Pravo i životna sredina u privredi i praksi u organizaciji Foruma kvaliteta, str. 186-192, Palić, 2010.
- [4] Kezović M.: Ugljonosnost Kolubarskog basena, Čas, Elektroprivreda, izd. JP ELEKTROPRIVREDA SRBIJE, godina LXIV, broj 2, str. 154-163, Beograd, 2011.

- [5] Kezović M.: Kriterijumi ocene perspektivnosti Kolubarskog basena, XIth Međunarodna konferencija o površinskoj eksploataciji OMC 2014 u organizaciji Saveza inženjera rudarstva i geologije Srbije i Jugoslovenskog komiteta za površinsku eksploataciju, Zbornik radova, str. 195-209, Zlatibor, 2014.
- [6] Kezović M.: Ažuriranje geološke baze podataka u funkciji kvaliteta uglja u ležištu, VI Simpozijum sa međunarodnim učešćem RUDARSTVO 2015 Zbornik radova, Privredna komora Srbije, str. 137-147, Borsko jezero, 2015.
- [7] Kezović M.: Kvalitet uglja Kolubarskog basena, VII Međunarodna konferencija UGALJ 2015 u organizaciji Saveza inženjera rudarstva i geologije Srbije i Jugoslovenskog komiteta za površinsku eksploataciju, Zbornik radova, str. 133-148, Zlatibor, 2015.
- [8] Kezović M.: Detaljna analiza prvog ugljenog sloja u delu ležišta Tamnava-Zapadno Polje, 13. Simpozijum sa međunarodnim učešćem RUDARSTVO 2022 Zbornik radova, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, str. 229-240, Vrnjačka Banja, 2022.
- [9] Kolonja B. i dr.: Idejni program sa studijom opravdanosti uvođenja sistema za operativno upravljanje i kontrolu kvaliteta uglja na Tamnavskim površinskim kopovima, studija 288 strana, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd & Beograd & MBEG mbH, Wiesenstraße 20, 06727 Theißen, Germany, Beograd, 2009.
- [10]Pantić N., Nikolić P: UGALJ, udžbenik, str. 562, Naučna knjiga, Beograd, 1973.
- [11]Simonović B. i dr.: Studija degradacije ugljene mase od ležišta do ložišta, studija 443 strane, Institut za opštu i fizičku hemiju, Beograd, 2016.
- [12]Stručna i fondovska dokumentacija RB Kolubara



UGLJONOSNA SERIJA U DELU LEŽIŠTA TAMNAVA-ZAPADNO POLJE
COAL BEARING SERIES IN THE PART OF THE DEPOSIT TAMNAVA-WEST FIELD

Kezović M.¹

Apstrakt

Ugljonosnu seriju površinskog kopa Tamnava-Zapadno Polje čine prvi, drugi i jedinstven ugljeni sloj. Svaki ugljeni sloj ima različite geološke karakteristike i kao takav predstavlja deo ugljonosne serije, čineći je kompleksnijom i složenijom. Sa druge strane, upravo ta raznolikost ugljenih slojeva (čitaj: ugljene serije) daje mogućnost potpunije analize za bolje planiranje rudarskih radova i efikasniju eksploataciju uglja i međuslojne jalovine. Kada ovo prenesemo na realan plan, reč je o relativno složenoj geološkoj građi ležišta, pre svega uslovljenoj izraženim raslojavanjem ugljonosne serije (problem: česte oscilacije u kvalitetu uglja i nemogućnost preciznog selektivnog rada). Iz tog razloga, u ovom radu su sagledani potrebni geološki parametri i izvršena njihova uporedna analiza. Na taj način se stvara jedan od preduslova za uvođenje Sistema upravljanja kvalitetom uglja na Tamnavskim kopovima.

Ključne reči: ležište Tamnava-Zapadno Polje, ugljonosna serija, uporedna analiza

Abstract

The coal-bearing series of the open pit mine Tamnava-West Field consists of the first, the second and the unique coal seam. Each coal seam has different geological characteristics and as such represents a part of the coal series, making it more complex and intricate. On the other hand, this very diversity of coal seams (read: coal series) gives the possibility of a more complete analysis for better planning of mining operations and more efficient exploitation of coal and interburden. When we transfer this to a realistic plan, we are talking about a relatively complex geological structure of the deposit, primarily conditioned by the pronounced stratification of the coal-bearing series (problem: frequent oscillations in the quality of coal and the impossibility of precise selective work). For this reason, in this paper, the necessary geological parameters have been considered and their comparative analysis has been performed. In this way, one of the prerequisites for the introduction of the Coal Quality Management System at Tamnava mines is created.

Keywords: deposit Tamnava-West Field, coal bearing series, comparative analysis

1. Uvod

Ugljonosna serija u predmetnom delu ležišta Tamnava-Zapadno Polje se odlikuje relativno složenom geološkom građom (intenzivno raslojavanje i zaleganje u zapadnom i jugozapadnom delu, naglo povijanje i sekundarno rasedanje u središnjem delu terena, rasedanje kao posledica klizanja masa duž istočne završne granice i dr.).

Analiza geološke građe izvršena je za deo ležišta u kome se trenutno odvijaju rudarski radovi i koji će biti aktuelan tokom narednih par godina. Da bi efikasnost rudarskih radova bila zadovoljavajuća

¹Kezović Miodrag, Ogranak RB Kolubara, Lazarevac, Odeljenje operativne geologije Tamnava - Zapadno Polje, e-mail: miodrag.kezovic@rbkolubara.rs

moraju se precizno definisati ležišni uslovi, tj. izvršiti detaljno sagledavanje složene ugljonosne serije. Sa tim u vezi treba napomenuti da se istražni prostor prirodno razdvaja na zapadni deo (složena ugljonosna serija sa dva ugljena sloja i međuslojnim peskom) i istočni deo (jedinostveni ugljeni sloj/serija, gde izostaje međuslojni pesak).

U pitanju su prvi, drugi i jedinstven ugljeni sloj sa svojim geološkim karakteristikama koje su bile predmet detaljne analize relevantnih parametara za definisanje morfologije, pružanja, debljine slojeva, debljine intraslojne jalovine i kondicionog uglja, sagledavanje njihovog međusobnog odnosa, raslojavanja sa izdvajanjem broja jalovinskih proslojaka $> 0,5$ m i utvrđivanjem koeficijenta intraslojne jalovine, kao i detaljna analiza kvaliteta uglja sa akcentom na donju toplotnu vrednost.

Dobijeni rezultati detaljne analize ugljenih slojeva predstavljali su osnovnu bazu podataka za uporednu analizu ugljonosne serije, gde su sagledane minimalne, maksimalne i posebno reprezentativne srednje vrednosti navedenih geoloških parametara, uključujući i donju toplotnu vrednost uglja.

Za interpretaciju ležišnih uslova korišćeni su svi raspoloživi geološki podaci (dobijeni geološkim kartiranjem etaža, istražnim bušenjem, strukturno-facijalnom metodom, geodetskim snimanjem reprezentativnih tačaka) slikovito prikazani odgovarajućim grafikonima.

2. Uporedna analiza geoloških parametara ugljonosne serije

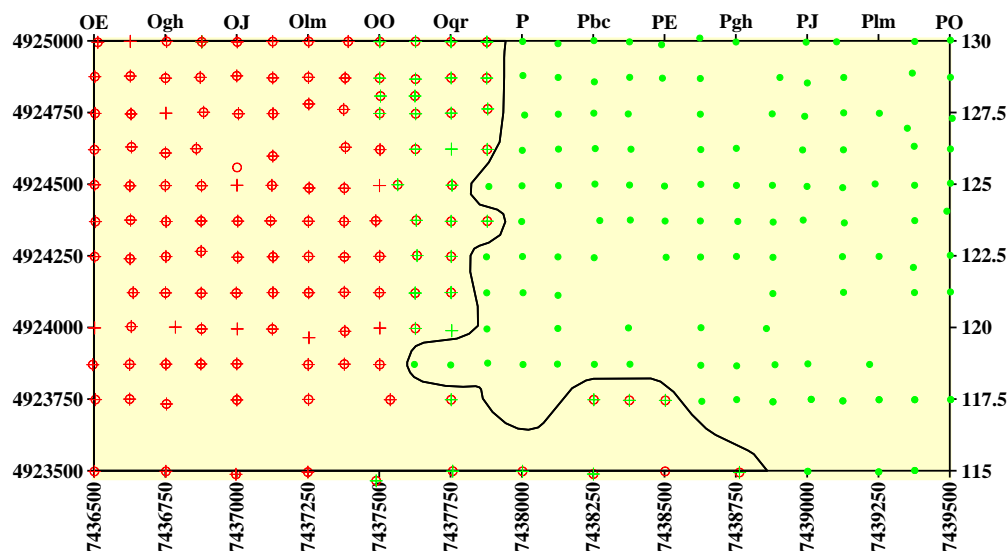
2.1. Istražni prostor

Na osnovu (prevashodno) rezultata dobijenih iz istražnih bušotina urađena je uporedna analiza složene ugljonosne serije na predmetnom području, površine **P = 4,50 km²**. Na slici 1 prikazan je raspored istražnih geoloških bušotina prvog, drugog i jedinstvenog ugljenog sloja. Istražne bušotine su višenamenskog karaktera (strukturne, hidrogeološke i geomehaničke) tako da se dobija širok spektar geoloških informacija za rešavanje geoloških, hidrogeoloških i geomehaničkih karakteristika u ležištu.

U okviru prvog ugljenog sloja analizirani su podaci iz **130** geoloških istražnih bušotina, ukupne dubine bušenja **15.893 m**. U okviru drugog ugljenog sloja analizirani su podaci iz **122** geološke istražne bušotine, ukupne dubine bušenja **15.090 m**. Prvi i drugi ugljeni sloj obuhvataju isti prostor površine **P = 2,24 km²**. Jedinstven ugljeni sloj je analiziran iz **124** geološke istražne bušotine, ukupne dubine bušenja **11.939 m**, i obuhvata površinu **P = 2,26 km²**.

Napomena: Prvi ugljeni sloj je podeljen na dve zone: 1. Zona intenzivnog raslojavanja detaljno definisana na osnovu podataka iz 93 geološke istražne bušotine, ukupne dubine bušenja 11.505,10 m. U pitanju je prostor površine P = 1,50 km² (crveni krstići) i 2. Zona relativno povoljnog odnosa kondicionog uglja i intraslojne jalovine definisana na osnovu podataka iz 37 geoloških istražnih bušotina, ukupne dubine bušenja 4.387,90 m. U pitanju je prostor površine P = 0,74 km² (Slika 1 - zeleni krstići).

Napomena: Na Slici 1 dat je raspored 121 istražne bušotine drugog ugljenog sloja i 115 istražnih bušotina jedinstvenog ugljenog sloja (1+9 graničnih bušotina koje se nalaze u neposrednoj blizini, ali van okonturenog prostora, nisu prikazane).



Slika 1. Raspored istražnih geoloških bušotina prvog, drugog i jedinstvenog ugljenog sloja (crveni i zeleni krstići - prvi ugljeni sloj, crveni prazni kružići - drugi ugljeni sloj i zeleni puni kružići - jedinstveni ugljeni sloj)

2.2. Uporedna analiza detaljnih rezultata geoloških istraživanja

Uporedna analiza detaljnih rezultata geoloških istraživanja ugljenih slojeva podrazumeva sveobuhvatnu statističku analizu minimalnih, maksimalnih i srednjih vrednosti ukupne debljine ugljenih slojeva, debljina intraslojne jalovine i kondicionog uglja, sagledavanje njihovog međusobnog odnosa, kao i donje toplotne vrednosti. Na taj način se mogu pratiti prostiranje i trendovi opadanja/rasta vrednosti za određene geološke parametre.

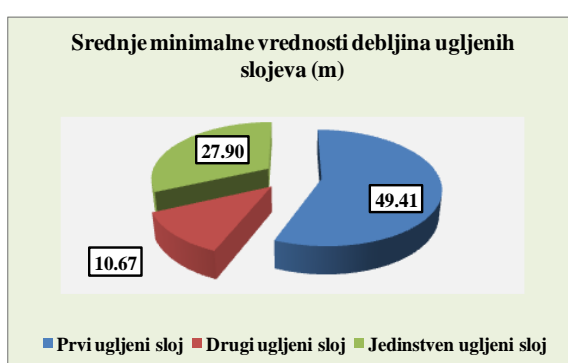
Uporedni prikaz srednjih vrednosti debljina složene ugljonosne serije je dat od 130 do 115 profilske linije za sva tri ugljena sloja. Posmatrajući međusobne odnose i trend rasta/opadanja vrednosti debljine ugljene serije, intraslojne jalovine, kondicionog uglja i srednje donje toplotne vrednosti može se konstatovati sledeće:

- Direktna proporcionalna zavisnost ukupne debljine prvog ugljenog sloja i intraslojne jalovine;
- Indirektna proporcionalna zavisnost ukupne debljine prvog ugljenog sloja i kondicionog uglja nije konstatovana kod drugog i jedinstvenog sloja, već je reč o direktnoj proporcionalnoj zavisnosti ukupne debljine ugljenog sloja, intraslojne jalovine i kondicionog uglja;
- Direktna proporcionalna zavisnost debljine kondicionog uglja i intraslojne jalovine na donju toplotnu vrednost uglja (manje debljine → veća donja toplotna vrednost uglja);
- Ravnomerno povećanje/smanjenje vrednosti debljine ugljenih slojeva i intraslojne jalovine ima različite trendove;
- Trend pružanja kondicionog uglja je takođe različit sa jasno definisanim povećanjem/smanjenjem vrednosti, izdvojenim zonama ujednačene, maksimalne i minimalne vrednosti i pojedinačnim uticajima bušotina;
- Donja toplotna vrednost ugljenih slojeva ima različite trendove;

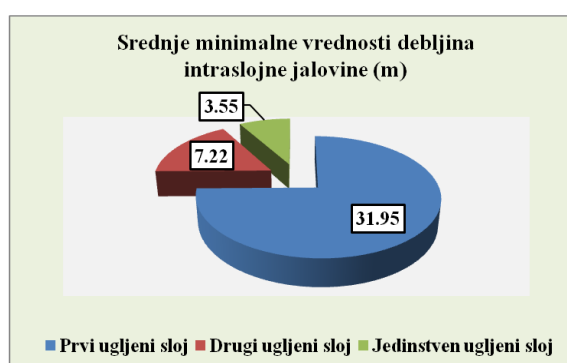
Napomena: Prilikom analize minimalnih i maksimalnih srednjih vrednosti debljina, međusobni odnosi i trendovi rasta/opadanja vrednosti odražavaju definisane zavisnosti, stim što su razlike po profilskim linijama dosta izraženije.

Uporednim prikazom srednjih minimalnih vrednosti (Slika 2-5) može se zaključiti:

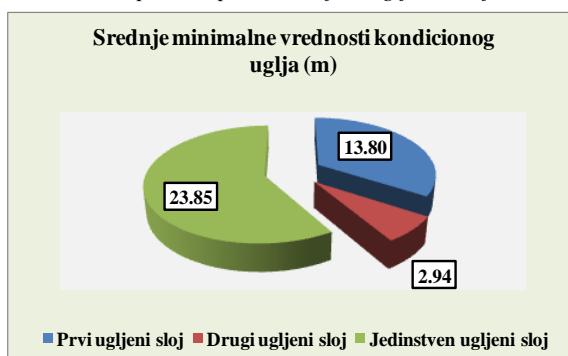
- Srednja minimalna vrednost debljina ugljenih slojeva (Slika 2) je najveća kod prvog ugljenog sloja, pa kod jedinstvenog ugljenog sloja i najmanja je kod drugog ugljenog sloja. Njihov međusobni procentualni odnos je **56,15 : 31,70 : 12,15**;
- Srednja minimalna vrednost debljina intraslojne jalovine (Slika 3) je najveća kod prvog ugljenog sloja, pa kod drugog ugljenog sloja i najmanja je kod jedinstvenog ugljenog sloja. Njihov međusobni procentualni odnos je **74,80 : 16,90 : 8,30**;
- Srednja minimalna vrednost debljina kondicionog uglja (Slika 4) je najveća kod jedinstvenog ugljenog sloja, pa kod prvog ugljenog sloja i najmanja je kod drugog ugljenog sloja. Njihov međusobni procentualni odnos je **58,75 : 34,00 : 7,25**;
- Srednja minimalna vrednost debljina koeficijenta intraslojne jalovine (Slika 5) je najveća kod prvog ugljenog sloja (broj jalovih proslojaka > 0,5 m = 4), pa kod drugog ugljenog sloja (broj jalovih proslojaka > 0,5 m = 2) i najmanja je kod jedinstvenog ugljenog sloja (broj jalovih proslojaka > 0,5 m = 3). Njihov međusobni procentualni odnos je **77,60 : 16,30 : 6,10**.



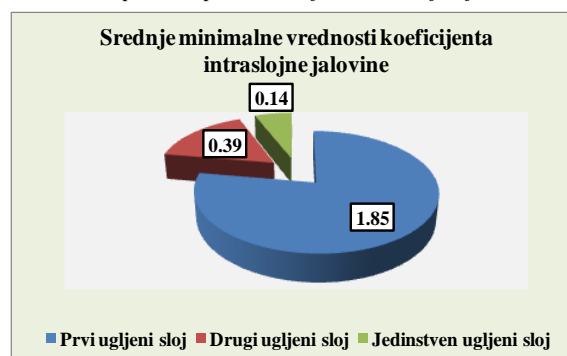
Slika 2. Uporedni prikaz debljina ugljenih slojeva



Slika 3. Uporedni prikaz debljina intraslojne jalovine



Slika 4. Uporedni prikaz debljina kondicionog uglja

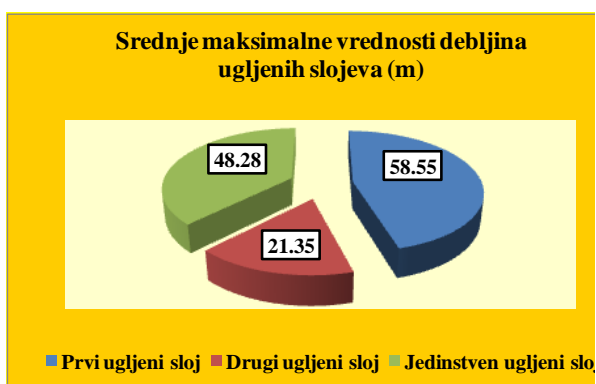


Slika 5. Uporedni prikaz koeficijenta intraslojne jalovine

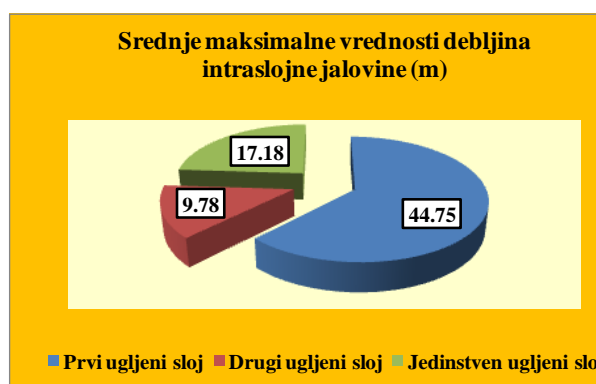
Uporednim prikazom srednjih maksimalnih vrednosti (Slike 6-9) može se zaključiti:

- Srednja maksimalna vrednost debljina ugljenih slojeva (Slika 6) je najveća kod prvog ugljenog sloja, pa kod jedinstvenog ugljenog sloja i najmanja je kod drugog ugljenog sloja. Njihov međusobni procentualni odnos je **45,70 : 37,65 : 16,65**;
- Srednja maksimalna vrednost debljina intraslojne jalovine (Slika 7) je najveća kod prvog ugljenog sloja, pa kod jedinstvenog ugljenog sloja i najmanja je kod drugog ugljenog sloja. Njihov međusobni procentualni odnos je **62,40 : 23,95 : 13,65**;
- Srednja maksimalna vrednost debljina kondicionog uglja (Slika 8) je najveća kod jedinstvenog ugljenog sloja, pa kod prvog ugljenog sloja i najmanja je kod drugog ugljenog sloja. Njihov međusobni procentualni odnos je **51,00 : 30,00 : 19,00**;

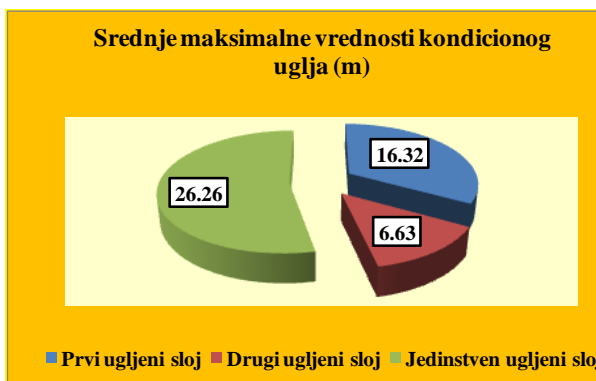
- Srednja maksimalna vrednost debljina koeficijenta intraslojne jalovine (Slika 9) je najveća kod prvog ugljenog sloja (broj jalovih proslojaka > 0,5 m = 6), pa kod drugog ugljenog sloja (broj jalovih proslojaka > 0,5 m = 3) i najmanja je kod jedinstvenog ugljenog sloja (broj jalovih proslojaka > 0,5 m = 9). Njihov međusobni procentualni odnos je **62,35 : 27,70 : 9,95**.



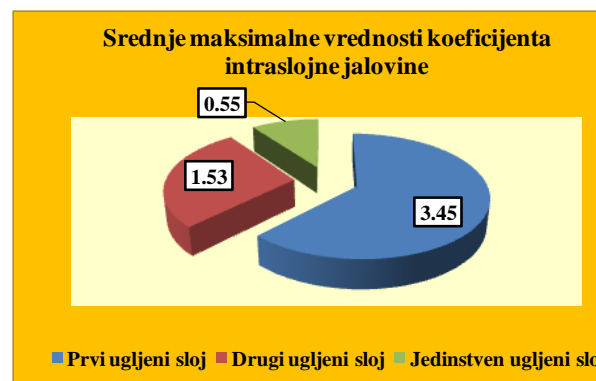
Slika 6. Uporedni prikaz debljina ugljenih slojeva



Slika 7. Uporedni prikaz debljina intraslojne jalovine



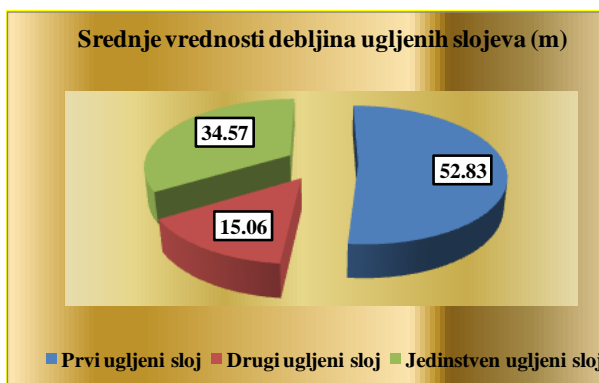
Slika 8. Uporedni prikaz debljina kondicionog uglja



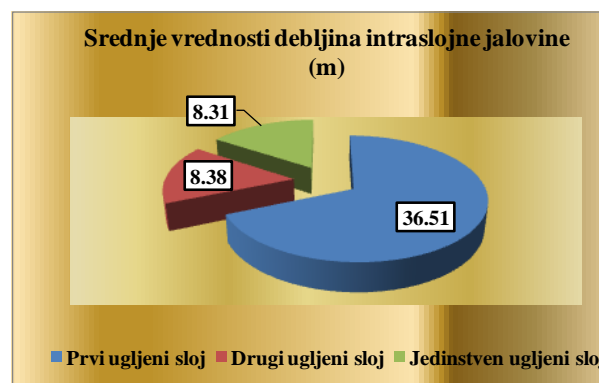
Slika 9. Uporedni prikaz koeficijenta intraslojne jalovine

Uporednim prikazom srednjih vrednosti (Slike 10-13) može se zaključiti:

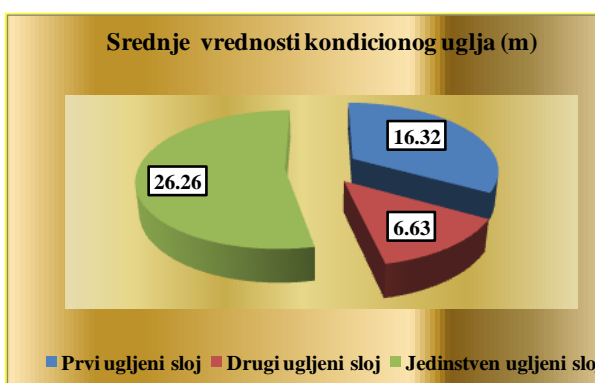
- Srednja vrednost debljina ugljenih slojeva (Slika 10) je najveća kod prvog ugljenog sloja, pa kod jedinstvenog ugljenog sloja i najmanja je kod drugog ugljenog sloja. Njihov međusobni procentualni odnos je **51,60 : 33,70 : 14,70**;
- Srednja vrednost debljina intraslojne jalovine (Slika 11) je najveća kod prvog ugljenog sloja, i gotovo izjednačena kod drugog i jedinstvenog ugljenog sloja. Njihov međusobni procentualni odnos je **68,60 : 15,75 : 15,65**;
- Srednja vrednost debljina kondicionog uglja (Slika 12) je najveća kod jedinstvenog ugljenog sloja, pa kod prvog ugljenog sloja i najmanja je kod drugog ugljenog sloja. Njihov međusobni procentualni odnos je **53,40 : 33,20 : 13,40**;
- Srednja vrednost debljina koeficijenta intraslojne jalovine (Slika 13) je najveća kod prvog ugljenog sloja (broj jalovih proslojaka > 0,5 m = 5), pa kod drugog ugljenog sloja (broj jalovih proslojaka > 0,5 m = 2) i najmanja je kod jedinstvenog ugljenog sloja (broj jalovih proslojaka > 0,5 m = 5). Njihov međusobni procentualni odnos je **67,75 : 23,25 : 9,00**.



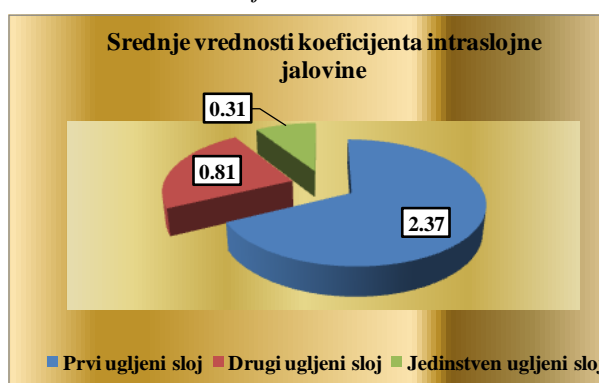
Slika 10. Uporedni prikaz debljina ugljenih slojeva



Slika 11. Uporedni prikaz debljina intraslojne jalovine



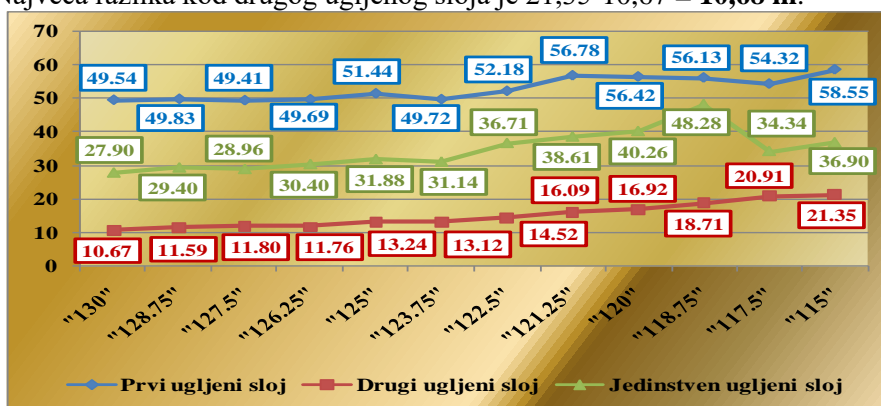
Slika 12. Uporedni prikaz debljina kondicionog uglja



Slika 13. Uporedni prikaz koeficijenta intraslojne jalovine

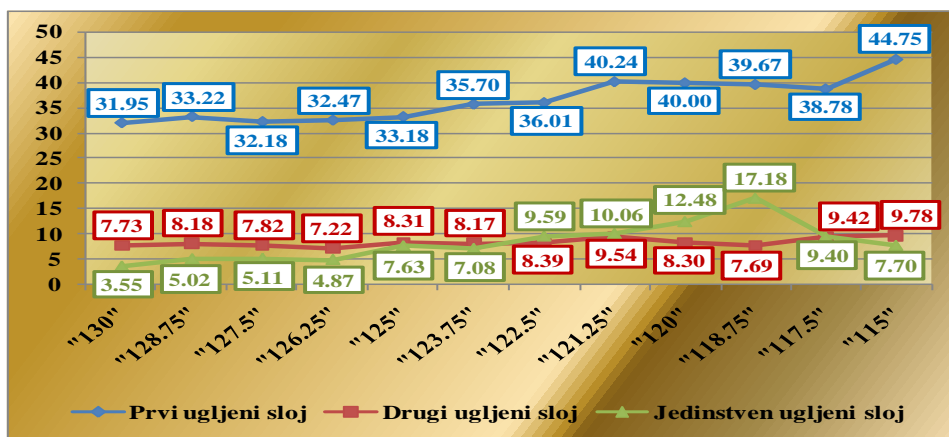
Uporednim prikazom srednjih vrednosti debljina, u prostoru 130-115 profilska linija na međusobnom rastojanju od 125 m (Slike 14-18), dobija se detaljnija slika o trendu rasta, opadanja i uravnoteženosti dobijenih podataka. Tako se može zaključiti sledeće:

- Srednja vrednost debljina ugljenih slojeva (Slika 14), je najveća kod prvog ugljenog sloja, pa kod jedinstvenog ugljenog sloja i najmanja je kod drugog ugljenog sloja. Trend rasta vrednosti je od severa ka jugu, posebno izražen od 122,5 do 115 profilske linije. Jedinstven ugljeni sloj ima oscilujuć trend rasta u južnom delu prostora, dok prvi i drugi ugljeni slojevi imaju uravnotežen trend rasta.
- Najveća razlika kod prvog ugljenog sloja je $58,55 - 49,41 = 9,14$ m;
- Najveća razlika kod jedinstvenog ugljenog sloja je $48,28 - 27,90 = 20,38$ m;
- Najveća razlika kod drugog ugljenog sloja je $21,35 - 10,67 = 10,68$ m.



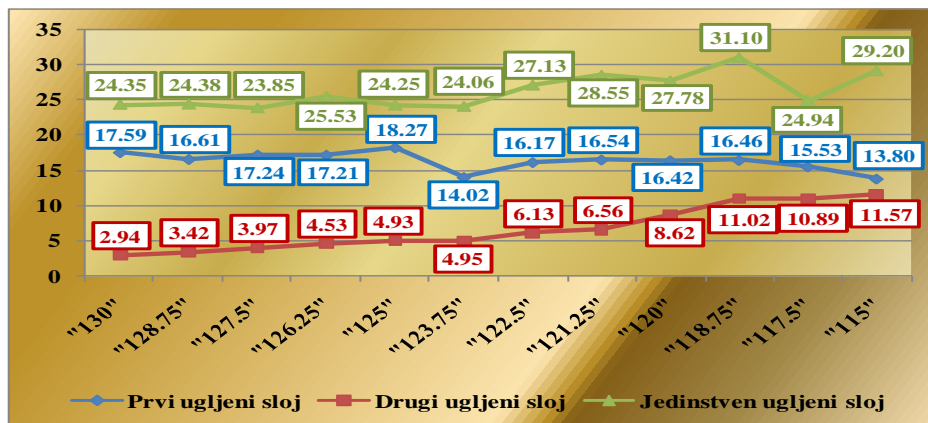
Slika 14. Srednje vrednosti debljina ugljenih slojeva po profilskim linijama

- Srednja vrednost debljina intraslojne jalovine (Slika 15) je najveća kod prvog ugljenog sloja, i gotovo izjednačena kod drugog i jedinstvenog ugljenog sloja, ako se izuzmu 120 i 118,75 profilna linija. Trend rasta vrednosti je od severa ka jugu. Jedinstven ugljeni sloj pokazuje pad vrednosti od 118,75-115 profilne linije. Drugi ugljeni sloj ima najuravnoteženiji trend.
 - Najveća razlika kod prvog ugljenog sloja je $44,75 - 31,95 = 12,80$ m;
 - Najveća razlika kod drugog ugljenog sloja je $9,78 - 7,22 = 2,56$ m; i
 - Najveća razlika kod jedinstvenog ugljenog sloja je $17,18 - 3,55 = 13,63$ m.



Slika 15. Srednje vrednosti debljina intraslojne jalovine po profilskim linijama

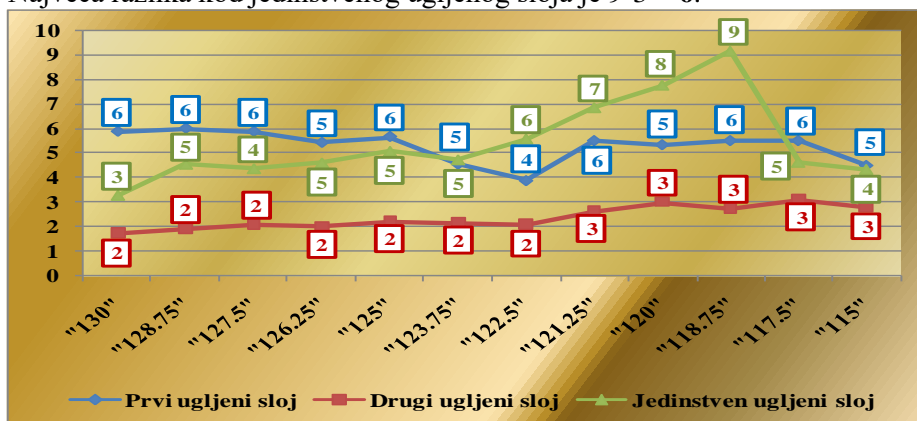
- Srednja srednja vrednost debljina kondicionog uglja (Slika 16) je najveća kod jedinstvenog ugljenog sloja, pa kod prvog ugljenog sloja i najmanja je kod drugog ugljenog sloja. Trend rasta vrednosti od severa ka jugu imaju jedinstven (uz izraženo oscilovanje vrednosti) i drugi ugljeni sloj, dok prvi ugljeni sloj pokazuje trend pada juga ka severu i ima najuravnoteženiji trend.
 - Najveća razlika kod jedinstvenog ugljenog sloja je $31,10 - 23,85 = 7,25$ m.
 - Najveća razlika kod prvog ugljenog sloja je $18,27 - 13,80 = 4,47$ m; i
 - Najveća razlika kod drugog ugljenog sloja je $11,57 - 2,94 = 8,63$ m.



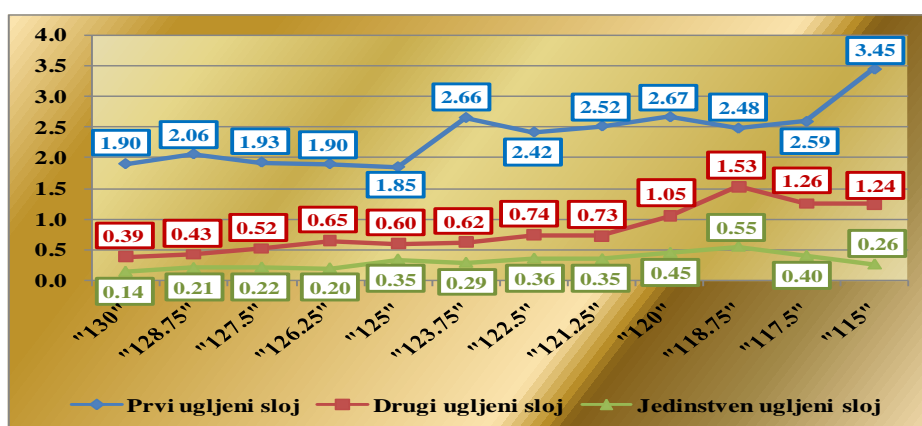
Slika 16. Srednje vrednosti debljina kondicionog uglja po profilskim linijama

- Srednja vrednost broja jalovinskih proslojaka (Slika 17) je najveća kod jedinstvenog ugljenog sloja, pa kod prvog ugljenog sloja i najmanja je kod drugog ugljenog sloja. Prvi i drugi ugljeni sloj imaju uravnotežen trend vrednosti, dok jedinstven ugljeni sloj ima oscilujući trend, sa rastom vrednosti od severa ka jugu, a od 118,75-115 profilne linije pokazuje pad vrednosti.
 - Najveća razlika kod prvog ugljenog sloja je $6 - 4 = 2$;
 - Najveća razlika kod drugog ugljenog sloja je $6 - 3 = 3$; i

- Najveća razlika kod jedinstvenog ugljenog sloja je $9-3 = 6$.



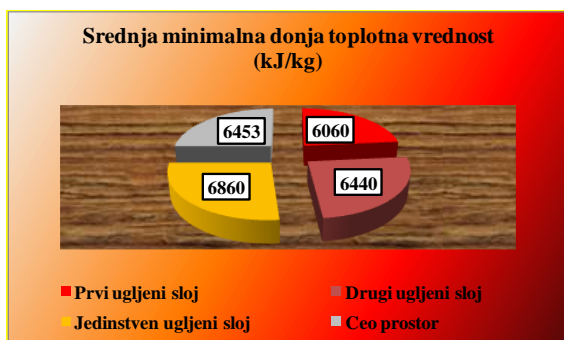
Slika 17. Srednje vrednosti broja jalovinskih proslojaka po profilskim linijama



Slika 18. Srednje vrednosti koeficijenta intraslojne jalovine po profilskim linijama

- Srednja vrednost koeficijenta intraslojne jalovine (Slika 18) je najveća kod prvog ugljenog sloja, pa kod drugog ugljenog sloja i najmanja je kod jedinstvenog ugljenog sloja, koji pokazuje pad vrednosti od 118,75-115 profilske linije. Trend rasta vrednosti je od severa ka jugu. Prvi ugljeni sloj ima oscilujući trend, dok drugi i jedinstven ugljeni sloj pokazuju uravnoteženi trend vrednosti.
 - Najveća razlika kod prvog ugljenog sloja je $3,45-1,85 = 1,60$;
 - Najveća razlika kod drugog ugljenog sloja je $1,53-0,39 = 1,14$; i
 - Najveća razlika kod jedinstvenog ugljenog sloja je $0,55-0,14 = 0,41$.

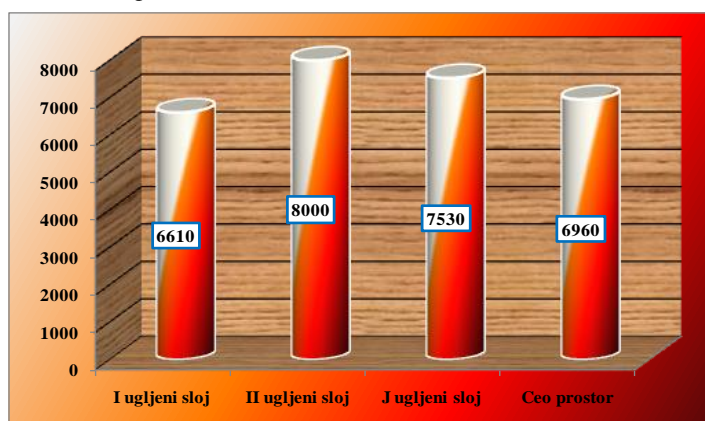
Uporedna analiza donje toplotne vrednosti ugljonosne serije je podrazumevala detaljno sagledavanje kvaliteta uglja po ugljenim slojevima. Tako je formirana celovita geološka baza svih raspoloživih bušotina, sistematizovana po profilskim linijama, na osnovu koje je izvršena interpretacija preko odgovarajućih karti i grafikona. Na taj način je sagledan trend povećanja, smanjenja (izdvojene zone sa maksimalnim i minimalnim donjim toplotnim vrednostima) i ujednačenih vrednosti. U cilju daljeg sagledavanja izvršena je statistička obrada podataka do nivoa maksimalnih, minimalnih i srednjih vrednosti za sva tri ugljena sloja i za čitav istražni prostor.



Slika 19. Uporedni prikaz minimalne donje toplotne vrednosti ($Q_{dv}=kJ/kg$) po ugljenim slojevima i na čitavom istražnom prostoru



Slika 20. Uporedni prikaz maksimalne donje toplotne vrednosti ($Q_{dv}=kJ/kg$) po ugljenim slojevima i na čitavom istražnom prostoru



Slika 21. Srednja donja toplotna vrednost ($Q_{dv} = kJ/kg$) po ugljenim slojevima i na čitavom istražnom prostoru

Uporednim prikazom minimalnih, maksimalnih i srednjih vrednosti (Slika 19 - 21) može se zaključiti:

- Srednja minimalna donja toplotna vrednost po ugljenim slojevima i na čitavom istražnom prostoru (Slika 19) je najveća kod jedinstvenog ugljenog sloja, pa kod drugog ugljenog sloja i najmanja je kod prvog ugljenog sloja. Srednja ponderisana donja toplotna vrednost za ceo prostor odgovara srednjoj minimalnoj vrednosti drugog ugljenog sloja. Njihov međusobni procentualni odnos je **35,40 : 33,30 : 31,30**;
- Srednja maksimalna donja toplotna vrednost po ugljenim slojevima i na čitavom istražnom prostoru (Slika 20) je najveća kod drugog ugljenog sloja, pa kod prvog ugljenog sloja i najmanja je kod jedinstvenog ugljenog sloja (prvi i jedinstveni ugljeni sloj imaju približnu vrednost). Srednja ponderisana donja toplotna vrednost za ceo prostor je viša od srednje maksimalne vrednosti prvog i jedinstvenog ugljenog sloja. Njihov međusobni procentualni odnos je **34,70 : 32,80 : 32,50**;
- Srednja donja toplotna vrednost po ugljenim slojevima i na čitavom istražnom prostoru (Slika 21) je najveća kod drugog ugljenog sloja, pa kod jedinstvenog ugljenog sloja i najmanja je kod prvog ugljenog sloja. Srednja ponderisana donja toplotna vrednost za ceo prostor nalazi se između vrednosti prvog i jedinstvenog ugljenog sloja. Njihov međusobni procentualni odnos je **36,10 : 34,00 : 29,90**.

3. Zaključak

U okviru istražnog prostora analizirani su podaci iz **376** geoloških istražnih bušotina, ukupne dubine bušenja **43.446,90 m**, kao i sva raspoloživa dokumentacija dobijena primenom različitih metoda istraživanja. U pitanju je prostor površine **P = 4,50 km²**, gde je srednja vrednost ukupne debljine složene

ugljonosne serije **32,14 m**, debljine intraslojne jalovine **14,96 m** sa učešćem proslojaka uglja do 0,5 m, debljine kondicionog uglja **17,18 m** sa učešćem proslojaka jalovine do 0,5 m, dok je koeficijent intraslojne/međuslojne jalovine **Kmj = 0,87**. Srednja ponderisana donja toplotna vrednost je **6.960 kJ/kg**.

Na istražnom području složene ugljonosne serije, odnos srednje vrednosti debljine (rezervi/količina) kondicionog uglja i intraslojne jalovine prema ukupnoj debljini ugljenog sloja je **53,50% : 46,50%**. Poređenja radi, kod prvog ugljenog sloja je **38% : 62%**, kod drugog ugljenog sloja je **58% : 42%** i kod jedinstvenog ugljenog sloja je **76% : 24%**.

Prvi ugljeni sloj ima najlošije geološke parametre. **Problem:** *neujednačeno pružanje i debljina slojeva uglja i intraslojne jalovine, naglašeno prisustvo neorganske materije u okviru uglja (tzv. mešovite etaže) i evidentne promene/varijacije parametara kvaliteta na kratkim rastojanjima. Sa raspoloživom mehanizacijom teško je vršiti efikasno selektivno otkopavanje uglja.*

Drugi ugljeni sloj ima najbolje kvalitativne karakteristike, homogen je, prisutna raslojavanja su jasna, tako da se vrši dobar selektivan rad na odvajanju međuslojne jalovine. **Problem:** *male količine/rezerve drugog ugljenog sloja i njegovo izraženo zaleganje u zapadnom i jugozapadnom delu ležišta.*

Jedinstveni ugljeni sloj ima povoljne karakteristike (položaj, pružanje, moćnost ugljenog sloja, rezerve, **relativno** i dobre kvalitativne karakteristike), najlakše se i najefikasnije eksploatiše. **Problem:** *dve izražene zone nestabilnosti, koje se moraju što bolje definisati i biti predmet stalnog monitoringa.*

Od ukupno izračunatih rezervi kondicionog uglja, prvi ugljeni sloj ima 1/3, drugi ugljeni sloj 1/6 i jedinstven ugljeni sloj 1/2. Dakle, nepovoljni i povoljni uslovi za uvođenje Sistema upravljanja kvalitetom uglja sa ovog aspekta stoje u odnosu 1/3:2/3.

Uporednom analizom detaljnih rezultata geoloških istraživanja, statistički su sagledani relevantni parametri egzistujućih ugljenih slojeva, pri čemu je konstatovano sledeće:

- Minimalna, maksimalna i srednja vrednost ukupne debljine ugljenih slojeva pokazuje isti trend: prvi ugljeni sloj → **jedinstven ugljeni sloj** → drugi ugljeni sloj;
- Minimalna, maksimalna i srednja vrednost ukupne debljine intraslojne jalovine ima trend: prvi ugljeni sloj → smena i ujednačena vrednost drugog i **jedinstvenog ugljenog sloja**;
- Minimalna, maksimalna i srednja vrednost ukupne debljine kondicionog uglja ima trend: **jedinstven ugljeni sloj** → prvi ugljeni sloj → drugi ugljeni sloj;
- Minimalna, maksimalna i srednja vrednost koeficijenta intraslojne jalovine ima trend: prvi ugljeni sloj → drugi ugljeni sloj → **jedinstven ugljeni sloj**.

Dobijeni rezultati potvrđuju karakteristike ugljenih slojeva, pri čemu se posebno izdvaja jedinstven ugljeni sloj (ujednačena i značajna debljina, proporcionalno najmanje prisustvo intraslojne jalovine i najveća debljina kondicionog uglja, što uslovljava najmanju vrednost koeficijenta intraslojne jalovine).

Uporednim prikazom donjih toplotnih vrednosti su dobijeni rezultati koji potvrđuju međusobni odnos ugljenih slojeva, pri čemu je jasan dominantan trend drugi ugljeni sloj → **jedinstven ugljeni sloj** → prvi ugljeni sloj.

Opšti zaključak. *U narednom periodu jedinstveni ugljeni sloj biće ključan za efikasnu eksploataciju uglja u predmetnom delu ležišta.*

Literatura

- [1] Grgurović D. i dr.: Studija eksploatacionih geoloških istraživanja i laboratorijskih ispitivanja ugljeva u funkciji formiranja baze za upravljanje kvalitetom uglja na površinskim kopovima EPS-a, studija 147 strana, Geološki institut Srbije, Beograd, 2006.
- [2] Kezović M., Savić G. i Živković D.: Analiza varijacija kvaliteta uglja na površinskom kopu

Tamnava-Zapadno Polje, List Saveza energetičara Energetika 2010, Broj 1/Godina XII/Mart 2010., str.156-162, Zlatibor, 2010.

- [3] Kezović M., Popović Z.: Reprezentativno uzorkovanje uglja na PK Tamnava-Zapadno Polje - Kolubarski ugljonosni basen, Zbornik radova EKO JUSTUS II - Pravo i životna sredina u privredi i praksi u organizaciji Foruma kvaliteta, str. 186-192, Palić, 2010.
- [4] Kezović M.: Ugljonosnost Kolubarskog basena, Čas, Elektroprivreda, izd. JP Elektroprivreda Srbije, godina LXIV, broj 2, str. 154-163, Beograd, 2011.
- [5] Kezović M.: Kriterijumi ocene perspektivnosti Kolubarskog basena, XIth Međunarodna konferencija o površinskoj eksploataciji OMC 2014 u organizaciji Saveza inženjera rudarstva i geologije Srbije i Jugoslovenskog komiteta za površinsku eksploataciju, Zbornik radova, str. 195-209, Zlatibor, 2014.
- [6] Kezović M.: Ažuriranje geološke baze pod ataka u funkciji kvaliteta uglja u ležištu, VI Simpozijum sa međunarodnim učešćem Rudarstvo 2015 Zbornik radova, Privredna komora Srbije, str. 137-147, Borsko jezero, 2015.
- [7] Kezović M.: Kvalitet uglja Kolubarskog basena, VII Međunarodna konferencija Ugalj 2015 u organizaciji Saveza inženjera rudarstva i geologije Srbije i Jugoslovenskog komiteta za površinsku eksploataciju, Zbornik radova, str. 133-148, Zlatibor, 2015.
- [8] Kezović M.: Detaljna analiza prvog ugljenog sloja u delu ležišta Tamnava-Zapadno Polje, 13. Simpozijum sa međunarodnim učešćem Rudarstvo 2022, Zbornik radova, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, str. 229-240, Vrnjačka Banja, 2022.
- [9] Kolonja B. i dr.: Idejni program sa studijom opravdanosti uvođenja sistema za operativno upravljanje i kontrolu kvaliteta uglja na Tamnavskim površinskim kopovima, studija 288 strana, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd & Beograd & MBEG mbH, Wiesenstraße 20, 06727 Theißen, Germany, Beograd, 2009.
- [10]Pantić N., Nikolić P.: Ugalj, udžbenik, str. 562, Naučna knjiga, Beograd, 1973.
- [11]Simonović B. i dr.: Studija degradacije ugljene mase od ležišta do ložišta, studija 443 strane, Institut za opštu i fizičku hemiju, Beograd, 2016.
- [12]Stručna i fondovska dokumentacija RB Kolubara



**UTVRĐIVANJE EKSPLOTACIONIH UČINAKA SISTEMA NA OTKRIVCI NA
POVRŠINSKOM KOPU TAMNAVA-ZAPADNO POLJE PRIMENOM FUZZY TOPSIS METODE**

**OPENCAST MINE TAMNAVA-WEST FIELD OVERBURDEN SYSTEM OUTPUT
DETERMINATION WITH THE APPLICATION OF FUZZY TOPSIS METHOD**

Lazić M.¹, Miletić F.², Žujović L.³

Apstrakt

Planiranoj proizvodnji uglja na površinskim kopovima prethodi nesmetano i kontinuirano otkopavanje otkrivke. Kako bi se obezbedila potrebna količina uglja, sistemi na otkrivci moraju uvek biti korak ispred u dinamici razvoja kopa. Velika produktivnost, visoki kapaciteti i dobar koeficijent vremenskog iskorišćenja, treba da budu odlika rada sistema putem kojih se vrši otkopavanje otkrivke. Kroz ovaj rad izvršena je analiza eksploatacionih učinaka za posmatrani period po smenama, kako bi se utvrdilo koja je od pomenutih smena ostvarila najbolje rezultate.

Ključne reči: otkrivka, kapacitet, kapacitet, vreme rada i zastoja

Abstract

The planned production of coal in surface mines is preceded by unhindered and continuous excavation of overburden. In order to ensure the required amount of coal, overburden mining systems must always be one step ahead in the dynamics of mine development. High productivity, high outputs and a good coefficient of time utilization should be the characteristics of the system through which overburden are excavated. Through this work, an analysis of the output performance for the observed period by shifts was carried out, in order to determine which of the mentioned shifts achieved the best results.

Keywords: overburden, output, capacity, working time and downtime

1. Uvod

Preduslov za nesmetanu proizvodnju električne energije u našoj državi predstavlja eksploatacija uglja, koja se mora vršiti prema propisanim količinama i kvalitetu, odnosno prema zahtevu termoelektrana. Da bi se obezbedila kontinuirana proizvodnja uglja, prethodno je neophodno otkopati velike količine otkrivke. Za otkopavanje otkrivke na površinskim kopovima lignita angažovani su rotorni bageri velikih kapaciteta, kako bi se obezbedila nesmetana eksploatacija u realnom vremenskom periodu [1].

Na površinskom kopu Tamnava-Zapadno Polje eksploatacija otkrivke vrši se putem tri BTO sistema, dok se eksploatacija uglja izvodi putem četiri BTD sistema. Na prvom BTO sistemu otkopavanje otkrivke obavlja se rotornim bagerom SRs 2000.32/5+VR [2]. U dosadašnjem dugogodišnjem radu, ovaj rotorni bager je ostvario dobre rezultate prema zadatim ciljevima. Imajući u vidu izuzetne kapacitetne mogućnosti ovih bagera, interesantno je sagledati iskorišćenost istih u uslovima naših površinskih kopova.

¹ Lazić Marko, PRO TENT d.o.o. Površinski kop Tamnava-Zapadno Polje

² Miletić Filip, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

³ Žujović Lazar, doktorand Rudarsko-geološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu



Slika 1. Rotorni bager SRs 2000.32/5+VR i odlagač A₂RsB-8500

Kroz rad biće analizirani proizvodni učinci za maj mesec tekuće godine, po smenama. Kako se proizvodnja obavlja u tri smene po osam sati, organizacija zaposlenih prema sistematizaciji radnih mesta podeljena je u četiri grupe: A, B, C i D smena.

2. Definisane ulaznih parametara

Ulazni parametri za analizu su veoma kompleksni. Svi podaci korišćeni u ovom radu su verodostojni, dobijeni na osnovu stalnog praćenja rada sistema od samog početka eksploatacije [3]. Podaci o ostvarenoj proizvodnji i svaki zastoje koji ometao kontinuirani rad zabeležen je, a ukupno vreme rada i stajanja prikazuje se kroz zbirni izveštaj na nivou svake smene. Ulazni podaci koji čine model podeljeni su u tri grupe:

- vreme rada, (min),
- vreme zastoja, (min) i
- prosečni kapacitet proizvodnje (m^3/h).

Vreme rada podrazumeva praćenje sistema na nivou smene u trajanju od osam sati (480 minuta). Efikasnost rada sistema ocenjuje se u odnosu na količine materijala koji je otkopa u jednom vremenskom periodu. Međutim, za detaljno analiziranje i dobijanje konačne ocene efikasnosti u odnos se moraju staviti i drugi bitni parametri, kao što su vremenski zastoje i koeficijenti vremenskog i kapacitetnog iskorišćenja. Vremensko iskorišćenje predstavlja odnos efektivnog vremena rada sistema i kalendarskog fonda vremena [4]. Imperativ je da koeficijent vremenskog iskorišćenja u okviru smene bude što veći.

Međutim, ovaj koeficijent nikada nije jednak jedinici, iz razloga što je na nivou smene predviđena pauza za ceo sistem u trajanju od 30 minuta. Pored ovog zastoja, u redovnom radu sistema javljaju se planirani i neplanirani zastoje.

Rad svakog sistema prate određeni zastoje. Zastoje u osnovi mogu biti planirani i neplanirani.

Planirani zastoji odnose se na unapred definisane tehnološke operacije i redovna servisna održavanja. Neplanirani zastoji su prateći element koji nije sastavni deo vremena rada sistema i ne može se predvideti [4]. Iako je reč o kontinualnim sistemima eksploatacije, zastoji su sastavni deo smenskog, dnevnog, mesečnog i godišnjeg rada. Kategorizacija zastoja izvršena je po grupama, i to na: tehnološke, mašinske, elektro i ostale zastoje.

Posmatrajući tehnološke, mašinske i elektro zastoje, najviše su prisutni tehnološki [2]. Ovi zastoji podrazumevaju svakodnevne tehnološke operacije koje se odnose na pomeranje, produžetak i skraćenje transportera, transport otkopne mehanizacije, itd. Pored tehnoloških, značajan udeo imaju mašinski zastoji, koji se odnose na redovan servis, vulkanizacije, investicione opravke, itd. Elektro zastoji su znatno manje izraženi. U okviru analize nije data kategorizacija zastoja prema grupama, već zastoji predstavljaju sintezu pomenutih grupa.

Kapacitetno iskorišćenje je odnos ostvarene proizvodnje prema teorijskom kapacitetu za analizirani vremenski period. Stvarni kapacitet rotornih bagera je manji u odnosu na teorijski. Razlog tome je činjenica da na rad sistema uticaj imaju i drugi faktori, npr: vremenski uslovi, konfiguracija terena, litološka građa ležišta, itd. Ulazni podaci o vremenu rada, zastoja i ostvarenom prosečnom kapaciteta dati su po smenama za analizirani period (Tabela 1).

Tabela 1. Ulazni podaci za A, B, C i D smenu

	Rad, (min)	Zastoji, (min)	Kapacitet, (m³/h)
A smena	7380	3600	2395
B smena	7640	3400	2186
C smena	7795	3725	2454
D smena	7285	3755	2668

Moguće je napraviti korelaciju između ostvarene proizvodnje i ulaznih promenljivih. Ova tri faktora imaju najveći uticaj na konačni bilans ostvarene proizvodnje. U Tabeli 2 prikazane su egzaktno vrednosti o ostvarenoj proizvodnji, koja se kasnije prevodi u lingvističku vrednost promenljive, prema definisanom algoritmu. Isti slučaj je i za ulazne promenljive.

Tabela 2. Ostvarena proizvodnja otkrivke po smenama

	Proizvodnja, (m³)
A smena	294.623
B smena	278.291
C smena	318.757
D smena	323.935

Planirana proizvodnja otkrivke za mesec maj iznosila je milion m³. Plan proizvodnje je ostvaren i prebačen za 27%. Cilj analize je utvrđivanje koja od pomenutih smena imala najveću proizvodnju u odnosu na sve uticajne faktore.

3. Algoritam Fuzzy Topsis metode

TOPSIS metoda [5], nastoji da rangira skup alternativa na osnovu njihove udaljenosti od optimalne (PIS) i najpesimističnije (NIS) tačke. Kao je već rečeno, PIS je rešenje koje maksimizira korisne attribute, a minimizira troškovne attribute. NIS rešenje predstavlja obrnutu logiku, maksimizira troškovne attribute, a minimizira korisne attribute [6]. Osnovno pravilo ove metode je da optimalna alternativa treba da ima *najkraće* rastojanje od PIS i *najdalje* od NIS [7].

U klasičnoj TOPSIS metodi težine atributa i rejtinzi alternativa se precizno znaju i mogu se predstaviti egzaktnim vrednostima. Korišćenje egzaktnih vrednosti predstavlja jednu od ključnih problematika u procesu vrednovanja, jer precizni podaci nisu adekvatni za modelovanje realnih

problema odlučivanja. Takvi uslovi su za posledicu imali razvoj fuzzy verzije TOPSIS metode.

U okviru FTOPSIS metode težine atributa i rejtinzi atributa predstavljeni su lingvističkim promenljivim koje se potom prevode u *fuzzy* brojeve. Na taj način su predupređeni nedostaci koji su uočeni u klasičnoj TOPSIS metodi. Poslednjih godina je predloženo mnoštvo FTOPSIS metodologija. Chen & Hwang [8] su među prvima upotrebili *fuzzy* brojeve u TOPSIS metodi.

Triantaphyllou & Lin [9] su razvili FTOPSIS u kojoj se relativna blizina svake alternative izračunava na osnovu *fuzzy* aritmetičkih operacija. Chen [10] je proširio TOPSIS metodu na situacije *fuzzy* grupnog odlučivanja, na taj način je koristio trougaone *fuzzy* brojeve i definisano precizno *Euclidean* rastojanje između dva *fuzzy* broja. U okviru rada biće korišćeno *fuzzy* TOPSIS proširenje metode predloženo od strane Chen [10] koje se sastoji od sledećih koraka:

Korak 1: Prva faza je formiranje komisije sačinjene od donosilaca odluke, Komisija se sastoji od K donosilaca odluke, *fuzzy* rejting svakog donosioca odluke D_k ($k = 1, 2, \dots, K$) predstavljen je trougaonim *fuzzy* brojem R_k ($k = 1, 2, \dots, K$) sa funkcijom pripadnosti $\mu_{R_k}(x)$.

Korak 2: Identifikovanje osnovnih atributa odlučivanja.

Korak 3: Odabir odgovarajućih lingvističkih promenljivih za evaluaciju atributa.

Korak 4: Agregacija težina atributa.

Fuzzy rejtinzi donosilaca odluke su iskazani pomoću trougaonih *fuzzy* brojeva $R_k(a_k, b_k, c_k)$, $k = 1, 2, \dots, K$ koristeći izraz (1):

$$a = \min_k \{a_k\}, b = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_k, c = \max_k \{c_k\} \quad (1)$$

Ukoliko su *fuzzy* rejting i težina k^{th} donosioca odluke x_{ijk} ($a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk}$) i w_{ijk} ($w_{jk1}, w_{jk2}, w_{jk3}$) $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ respektivno, tada je agregirani *fuzzy* rejting (x_{ij}) alternative u odnosu na određeni atribut dat (x_{ij}) = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}), što se može predstaviti pomoću izraza (2).

$$a_{ij} = \min_k \{a_{ijk}\}, b_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_{ijk}, c_{ij} = \max_k \{c_{ijk}\} \quad (2)$$

Agregirane *fuzzy* težine (w_{ij}) svakog atributa izračunate su korišćenjem izraza (3) i (4).

$$(\tilde{w}_j) = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}) \quad (3)$$

gde je:

$$w_{j1} = \min_k \{w_{jk1}\}, w_{j2} = \min_k \{w_{jk2}\}, w_{j3} = \min_k \{w_{jk3}\} \quad (4)$$

Korak 5: *Fuzzy* matrica odlučivanja je konstruisana na osnovu izraza (5).

$$\tilde{D} = \begin{pmatrix} \check{x}_{11} & \dots & \check{x}_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ \check{x}_{m1} & \dots & \check{x}_{mn} \end{pmatrix} \quad (5)$$

dok se atributi izračunavaju korišćenjem izraza (6).

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n] \quad (6)$$

gde (x_{ij}) = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) i (w_j) = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}), $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ mogu biti aproksimirani pozitivnim trougaonim *fuzzy* brojevima.

Korak 6: Nakon konstruisanja *fuzzy* matrice odlučivanja, izvršena je normalizacija matrice korišćenjem linearne skale transformacije. Obračun je izvršen pomoću izraza (7).

$$\check{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right), c_j^* = \max_i c_{ij} \quad (7)$$

Normalizovana *fuzzy* matrica je obračunata pomoću izraza (8).

$$\check{R} = [\check{r}_{ij}]_{m \times n} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

gde je r_{ij} normalizovana vrednost $(x_{ij}) = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$.

Korak 7: Imajući u vidu različite pondere za svaki atribut, ponderisana normalizovana *fuzzy* matrica odlučivanja je konstruisana uz pomoć izraza (9) i (10).

$$\check{V} = [\check{v}_{ij}]_{m \times n} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

$$\check{v}_{ij} = \check{r}_{ij}(\cdot) \check{w}_j \quad (10)$$

gde w_j reprezentuje težinu atributa C_j .

U okviru ponderisane normalizovane *fuzzy* matrice odlučivanja, normalizovani pozitivni trougaoni *fuzzy* brojevi mogu aproksimirati elemente v_{ij}, A_i, j .

Korak 8: *Fuzzy* pozitivno (FPIS, A^*) i *fuzzy* negativno idealno rešenje (FNIS, A^-) predstavljeni su pomoću izraza (11) i (12).

$$A^* = \{\check{v}_1^*, \check{v}_2^*, \dots, \check{v}_i^*\} = \{\max_i v_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)\} \quad (11)$$

$$A^- = \{\check{v}_1^-, \check{v}_2^-, \dots, \check{v}_i^-\} = \{\min_i v_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)\} \quad (12)$$

Na osnovu ponderisane normalizovane *fuzzy* matrice odlučivanja, rang pripada zatvorenom intervalu [0,1]. Dakle, FPIS i FNIS mogu biti definisani kao (1, 1, 1) i (0, 0, 0), respektivno.

Korak 9: U sledećem koraku rastojanje svake alternative od FPIS i FNIS izračunava se pomoću izraza (13) i (14).

$$D_i^* = \sum_{j=1}^n d(\check{v}_{ij}, \check{v}_j^*), i = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

$$D_i^- = \sum_{j=1}^n d(\check{v}_{ij}, \check{v}_j^-), i = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

gde udaljenost između dva broja $a=(a_1, a_2, a_3)$ i $b=(b_1, b_2, b_3)$ može biti obračunata posredstvom Vertex metode, prema izrazu (15).

$$d(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]} \quad (15)$$

Korak 10: Koeficijent sličnosti sa idealnim rešenjem se izračunava korišćenjem izraza (16).

$$CC_i = \frac{D_j^-}{D_j^* + D_j^-}, i = 1, 2, \dots, m \quad (16)$$

Korak 11: Rangiranje alternativa omogućeno je analizom koeficijenta sličnosti. Optimalna alternativa je ona sa najvećim koeficijentom sličnosti CC_j , a poredak alternativa se može predstaviti na osnovu rangiranja CC_j po opadajućem redosledu [REF IZ FUSNOTE].

4. Rezultati primene Fuzzy TOPSIS metode za ocenu efikasnosti sistema na otkrivci

Za analizu efikasnosti rada jalovinskog sistema na površinskom kopu Tamnava-Zapadno Polje uzeti su

u obzir sledeći indikatori: vreme rada, vreme zastoja, kapacitet i ostvarena proizvodnja. U Tabeli 3 date su lingvističke vrednosti za svaku od analiziranih smena prema definisanim kriterijumima.

Tabela 3. Definisanje ulaznih parametara - osnova

Smena	Vreme rada	Vreme zastoja	Kapacitet	Proizvodnja
A	<i>malo</i>	<i>veliko</i>	<i>Srednji</i>	<i>srednja</i>
B	<i>srednje</i>	<i>malo</i>	<i>Mali</i>	<i>mala</i>
C	<i>veliko</i>	<i>veliko</i>	<i>Srednji</i>	<i>velika</i>
D	<i>malo</i>	<i>veliko</i>	<i>Velik</i>	<i>velika</i>
	VELIKO	MALO	VELIK	VELIKA

Sa ciljem izbegavanja subjektivnosti u definisanju lingvističkih vrednosti analiziranih parametara, uvedena su dva analitičara koji daju svoje mišljenje o učincima. Za potrebe ovog rada, data su mišljenja rukovodioca I BTO sistema i upravnika površinskog kopa. U daljem tekstu Analitičar 1 i Analitičar 2:

ANALITIČAR 1

Smena	Vreme rada	Vreme zastoja	Kapacitet	Proizvodnja
A	<i>malo</i>	<i>veliko</i>	<i>Mali</i>	<i>mala</i>
B	<i>srednje</i>	<i>malo</i>	<i>Mali</i>	<i>mala</i>
C	<i>veliko</i>	<i>veliko</i>	<i>Srednji</i>	<i>velika</i>
D	<i>malo</i>	<i>veliko</i>	<i>Velik</i>	<i>velika</i>

ANALITIČAR 2

Smena	Vreme rada	Vreme zastoja	Kapacitet	Proizvodnja
A	<i>malo</i>	<i>veliko</i>	<i>Srednji</i>	<i>srednja</i>
B	<i>srednje</i>	<i>malo</i>	<i>Mali</i>	<i>mala</i>
C	<i>veliko</i>	<i>veliko</i>	<i>Srednji</i>	<i>srednja</i>
D	<i>malo</i>	<i>veliko</i>	<i>Velik</i>	<i>velika</i>

Donosioci odluke izmenili su definisane početne kriterijume. Na osnovu njihovog mišljenja uvode se odgovarajuće vrednosti *Fuzzy* brojevi, prikazani u Tabeli 4.

Tabela 4. Definisanje vrednosti Fuzzy brojeva

Termin	<i>Fuzzy</i> broj
<i>Mala</i>	1,3,5
<i>Srednja</i>	3,5,7
<i>Velika</i>	5,7,9

U narednom koraku biće uvedene vrednosti *Fuzzy* brojeva za svaku od alternativa na osnovu mišljenja analitičara, pomoću kojih se eliminiše subjektivnost početne hipoteze.

VREDNOSTI FUZZY BROJEVA NA OSNOVU MIŠLJENJA ANALITIČARA

ANALITIČAR 1



Smena	Vreme rada	Vreme zastoja	Kapacitet	Proizvodnja
A	1,3,5	5,7,9	1,3,5	1,3,5
B	3,5,7	1,3,5	1,3,5	1,3,5
C	5,7,9	5,7,9	3,5,7	5,7,9
D	1,3,5	5,7,9	5,7,9	5,7,9

ANALITIČAR 2



Smena	Vreme rada	Vreme zastoja	Kapacitet	Proizvodnja
A	1,3,5	5,7,9	3,5,7	3,5,7
B	3,5,7	1,3,5	1,3,5	1,3,5
C	5,7,9	5,7,9	3,5,7	3,5,7
D	1,3,5	5,7,9	5,7,9	5,7,9

U sledećem koraku biće izvršeno formiranje *kombinovane matrice odlučivanja* na osnovu mišljenja analitičara.

Smena	Vreme rada	Vreme zastoja	Kapacitet	Proizvodnja
A	1,3,5	5,7,9	1,4,7	1,4,7
B	3,5,7	1,3,5	1,3,5	1,3,5
C	5,7,9	5,7,9	3,5,7	3,6,9
D	1,3,5	5,7,9	5,7,9	5,7,9

Sada se vrši računanje Normalizovane *Fuzzy* matrice. Da bi se to izvršilo, neophodno je definisani BENEFIT i NONBENEFIT (*Cost*) kriterijume. Benefit kriterijumi su maksimalno vreme rada, maksimalni kapacitet i proizvodnja, dok je *Cost* kriterijum vreme zastoja.

Smena	Vreme rada	Vreme zastoja	Kapacitet	Proizvodnja
A	1,3,5	5,7,9	1,4,7	1,4,7
B	3,5,7	1,3,5	1,3,5	1,3,5
C	5,7,9	5,7,9	3,5,7	3,6,9
D	1,3,5	5,7,9	5,7,9	5,7,9
Kriterijum	BENEFIT	COST	BENEFIT	BENEFIT

RAČUNANJE NORMALIZOVANE FUZZY MATRICE

Smena	Vreme rada	Vreme zastoja	Kapacitet	Proizvodnja
A	1/9,3/9,5/9	1/9,1/7,1/5	1/9,4/9,7/9	1/9,4/9,7/9
B	3/9,5/9,7/9	1/5,1/3,1/1	1/9,3/9,5/9	1/9,3/9,5/9
C	5/9,7/9,9/9	1/9,1/7,1/5	3/9,5/9,7/9	3/9,6/9,9/9
D	1/9,3/9,5/9	1/9,1/7,1/5	5/9,7/9,9/9	5/9,7/9,9/9
Kriterijum	BENEFIT	COST	BENEFIT	BENEFIT

SRAČUNATE VREDNOSTI FUZZY MATRICE

Smena	Vreme rada	Vreme zastoja	Kapacitet	Proizvodnja
-------	------------	---------------	-----------	-------------

A	0,11,0,33,0,55	0,11,0,14,0,2	0,11,0,44,0,77	0,11,0,44,0,77
B	0,33,0,55,0,77	0,2,0,33,1	0,11,0,33,0,55	0,11,0,33,0,55
C	0,55,0,77,1	0,11,0,14,0,2	0,33,0,55,0,77	0,33,0,66,1
D	0,11,0,11,0,55	0,11,0,14,0,2	0,55,0,77,1	0,55,0,77,1
Kriterijum	BENEFIT	COST	BENEFIT	BENEFIT

U sledećem koraku vrši se proširenje normalizovane *Fuzzy* matrice, na osnovu definisanih početnih vrednosti *Fuzzy* brojeva za svaku od alternativa prema definisanim kriterijumima.

MALO	SREDNJE	VELIKO
1,3,5	3,5,7	5,7,9

PROŠIRENA MATRICA

Smena	Vreme rada	Vreme zastoja	Kapacitet	Proizvodnja
A	$5 \cdot 0,11,7 \cdot 0,33,9 \cdot 0,55$	$1 \cdot 0,11,3 \cdot 0,14,5 \cdot 0,2$	$5 \cdot 0,11,7 \cdot 0,44,9 \cdot 0,77$	$5 \cdot 0,11,7 \cdot 0,44,9 \cdot 0,77$
B	0,33,0,55,0,77	0,2,0,33,1	0,11,0,33,0,55	0,11,0,33,0,55
C	0,55,0,77,1	0,11,0,14,0,2	0,33,0,55,0,77	0,33,0,66,1
D	0,11,0,11,0,55	0,11,0,14,0,2	0,55,0,77,1	0,55,0,77,1

SRAČUNATE VREDNOSTI FUZZY MATRICE

Smena	Vreme rada	Vreme zastoja	Kapacitet	Proizvodnja
A	0,55,2,31,4,95	0,11,0,42,1	0,55,3,08,6,93	0,55,3,08,6,93
B	1,65,3,5,6,93	0,2,0,99,5	0,55,2,31,4,95	0,55,2,31,4,95
C	2,75,5,39,9	0,11,0,42,1	1,65,3,85,6,93	1,65,4,62,9
D	0,55,0,77,4,95	0,11,0,42,1	2,75,5,39,9	2,75,5,39,9

U narednim koraku vrši se računanje Fuzzy pozitivnog (FPIS) i Fuzzy negativnog (FNIS) idealnog rešenja.

FPIS I FNIS IDEALNO REŠENJE

Smena	Vreme rada	Vreme zastoja	Kapacitet	Proizvodnja
A	0,55,2,31,4,95	0,11,0,42,1	0,55,3,08,6,93	0,55,3,08,6,93
B	1,65,3,5,6,93	0,2,0,99,5	0,55,2,31,4,95	0,55,2,31,4,95
C	2,75,5,39,9	0,11,0,42,1	1,65,3,85,6,93	1,65,4,62,9
D	0,55,0,77,4,95	0,11,0,42,1	2,75,5,39,9	2,75,5,39,9
A+	2,75,5,39,9	0,2,0,99,5	2,75,5,39,9	2,75,5,39,9
A-	0,55,0,77,4,95	0,11,0,42,1	0,55,2,31,4,95	0,55,2,31,4,95

UDALJENOSTI OD FPIS

Smena	Vreme rada	Vreme zastoja	Kapacitet	Proizvodnja
A	3,2	2,33	2,2	2,64
B	1,74	0	3,2	5,24

C	0	2,33	1,62	1
D	3,77	2,33	0	0
A+	2,75,5,39,9	0,2,0,99,5	2,75,5,39,9	2,75,5,39,9

UDALJENOSTI OD FNIS

Smena	Vreme rada	Vreme zastoja	Kapacitet	Proizvodnja
A	1,54	0	2,12	2,12
B	3,43	4,04	0	0
C	6,27	0	2,59	4,71
D	0	0	5,24	5,24
A-	0,55,0,77,4,95	0,11,0,42,1	0,55,2,31,4,95	0,55,2,31,4,95

di+	di-
10,37	5,78
10,18	7,47
4,95	13,57
6,1	10,48

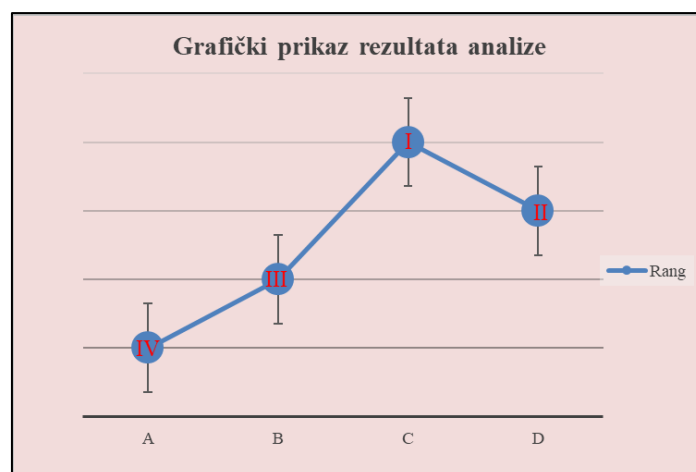
Konačno, da bi se izvršilo rangiranje ponuđenih alternativa, neophodno je odrediti koeficijente sličnosti idealnom rešenju, po obrascu datom u teorijskom razmatranju *Fuzzy TOPSIS* metode.

Smena	di+	di-	Cci	Rang
A	10,37	5,78	0,35	4
B	10,18	7,47	0,42	3
C	4,95	13,57	0,73	1
D	6,1	10,48	0,63	2

5. Komparativna analiza dobijenih rezultata

Rezultati analize pokazali su da je C smena ostvarila najbolje rezultate u odnosu na definisane kriterijume, dok je najlošije rezultate imala A smena. Sagledavajući pojedinačne parametre, D smena je ostvarila najveću proizvodnju. Međutim, uvođenjem mišljenja analitičara koji su vršili ocenjivanje radnih učinaka putem lingvističkih vrednosti, bez prethodne informacije o smeni koja je te rezultate ostvarila, došlo se do drugačijeg zaključka.

Na osnovu rezultata analize, sagledavanjem svih ulaznih parametara, C smena je imala bolje rezultate, ne samo sa aspekta proizvodnje, već i u pogledu ostvarenog vremena rada u odnosu na zastoje. *Fuzzy TOPSIS* analiza omogućava sveobuhvatniji pristup u razmatranju uticajnih parametara i eliminiše subjektivnost prilikom sagledavanja pojedinačnih i očiglednih rezultata. Na Slici 2 dat je grafički prikaz rezultata analize.



Slika 2. Grafički prikaz rezultata analize

6. Zaključak

Kroz ovaj rad izvršena je analiza efikasnosti rada po smenama I BTO sistema površinskog kopa Tamnava-Zapadno Polje primenom *Fuzzy* TOPSIS metode. Ulazni podaci odnosili su se na ostvareno vreme rada, vreme zastoja, kapacitet i proizvodnju. Ova četiri parametra ujedno predstavljaju i osnovu za ocenjivanje efikasnosti rada svakog sistema. Kroz proizvodnju, odnosno količina otkopane jalovine sagledavaju se efekti poslovanja i realizacija operativnog plana za posmatrani period. Međutim, sagledavanjem svih parametara kroz rad došlo se do zaključka da u sveobuhvatnom sagledavanju, proizvodnja jeste bitna, ali uvođenjem i drugih parametara rezultati su pokazali da svaki od njih ima značajan uticaj na konačnu ocenu efikasnosti. Rezultatom je utvrđeno da smena koja nije imala najveću proizvodnju za posmatrani period, ima najveću efikasnost, iz razloga što su drugi parametri značajno uticali na konačnu ocenu.

Literatura

- [1] Lazić M., Miletić F., Đenadić S., Jovančić P., Ignjatović D.: Ocena efikasnosti rada bagera SRs 2000.32/5+VR angažovanih na površinskim kopovima Tamnava-Zapadno Polje i Drmno primenom metoda višekriterijumskog odlučivanja, Međunarodna konferencija Ugalj 2019
- [2] Miletić F., Lazić M., Jovančić P., Đenadić S., Ignjatović D.: Analiza efikasnosti rada rotornih bagera SRs 2000.32/5+VR angažovanih na površinskim kopovima Elektroprivrede Srbije, Časopis Tehnika, Savez inženjera i tehničara Srbije, DOI: 10.5937/tehnika1906795M
- [3] Izveštaji površinskog kopa Tamnava-Zapadno Polje
- [4] Miletić F., Lazić M., Simić B., Radojičić R., Đenadić S., Rupar V.: Efikasnost rada rudarskih sistema na površinskom kopu Polje G, Međunarodna konferencija Ugalj 2019
- [5] Hwang, C. L. & Yoon, K.: Multiple Attribute Decision Making - Methods and Applications, Springer-Verlag, New York, <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
- [6] Wang & Elhag: Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment, Expert Systems with Applications, DOI:10.1016/j.eswa.2005.09.040
- [7] Aydogan E. K.: Performance measurement model for Turkish aviation firms using the rough-AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment, Expert Systems with Applications, DOI:10.1016/j.eswa.2010.09.060
- [8] Hwang, C. L. & Chen S. J.: Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods, Part of the Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems book series (LNE, volume 375)

- [9] Triantaphyllou E. & Lin C. T.: Development and Evaluation of Five Fuzzy Multiattribute Decision-Making Methods, *International Journal of Approximate Reasoning* 1996, 14:281-310
- [10] Chen C. T.: Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment, *Fuzzy Sets and Systems*, Volume 114, Issue 1, 16 August 2000, Pages 1-9



**REZULTATI IZVEDENIH HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA ISTOČNOG DELA
LEŽIŠTA UGLJA RAŠKOVAC - KOP 3 U CILJU UTVRĐIVANJA POTREBA I MOGUĆNOSTI
PREDODVODNJEVANJA U FAZI NJEGOVOG OTVARANJA**

**RESULTS OF PERFORMED HYDROGEOLOGICAL RESEARCH OF THE EASTERN PART
OF THE RAŠKOVAC DEPOSIT - KOP 3 IN ORDER TO DETERMINE THE NEEDS AND
POSSIBILITIES OF PRE-DRAINAGE IN THE PHASE OF ITS DISCOVERY**

Lončar S.¹, Vasić M.², Mitrović A.³, Todorović M.⁴

Apstrakt

Istražnim radovima koji su obavljani tokom 2017. i 2018. godine stekli su se uslovi za proširenje istražnog polja na Kop 3 čime su zaokružene rezerve uglja u istočnom delu ležišta površinskog kopa (PK) Raškovac rudnika Stanari. Dokazivanjem rezervi uglja u ovom delu ležišta i proširenjem istražnog polja, stvorili su se uslovi za otvaranjem novog kopa.

Otvaranje novih kopova za posledicu ima i potrebu za predodvodnjavanjem kako bi se rudarski radovi nesmetano odvijali, posebno u kasnijim fazama kada se nivelete terena spuštaju ispod nivoa podzemnih voda.

Odvodnjavanje PK Raškovac od 1973. do 1992. godine vršilo se sistemom bušenih bunara koji su vremenom uništeni rudarskim radovima. Nakon bunara odvodnjavanje kopa se nastavilo na način koji se i danas pokazuje kao najpraktičniji i veoma efikasan a to je putem izrade vodosabirnika u najnižoj zoni kopa gde se sakupljaju sve gravitirajuće površinske, atmosfere, kao i podzemne vode. Sistemom muljnih i centrifugalnih pumpi voda se iz vodosabirnika izbacuje van granica kopa u taložnike i dalje u najbliži lokalni recipijent. Sa takvom praksom se nastavilo i na lokacijama kopova: Dragalovci, Kop 1 i Kop 2.

Tokom 2020. godine izvedeni su istražni radovi u svrhu utvrđivanja potreba i mogućnosti predodvodnjavanja KOP-a 3. Ovim istražnim radovima prethodila je izrada projektne dokumentacije na osnovu stepena poznavanja hidrogeoloških odnosa neogenih sedimenata na predmetnoj lokaciji. Projektnom dokumentacijom postavljen je koncept i metodologija detaljnih hidrogeoloških istraživanja koja su imala za cilj da se na osnovu svih raspoloživih podataka o geološkoj građi i rezultatima prethodnih hidrogeoloških istraživanja odrede perspektivne lokacije za izvođenje bunara za potrebe predodvodnjavanja KOP-a 3.

Uzimajući u obzir postavljene ciljeve istraživanja na prostoru KOP-a 3 u okviru prve faze istraživanja izvedeno je 8 istražnih bušotina, od kojih su 7 pretvorene u pijezometre i izvršen je test crpljenja jezera koja se nalaze na oko 500 m od linije useka otvaranja kopa.

Izvođenjem ovih istražnih radova i njihovom analizom došlo se do kvalitetnijih podataka o stanju nivoa podzemnih voda na području KOP-a 3, a samim tim i potrebnih uslova za njegovim predodvodnjavanjem.

Ključne reči: otvaranje kopa, pijezometri, predodvodnjavanje

¹ Lončar Stevan, EFT Rudnik i Termoelektrana Stanari, Stanari

² Vasić Miloš, EFT Rudnik i Termoelektrana Stanari, Stanari

³ Mitrović Aleksandra, EFT Rudnik i Termoelektrana Stanari, Stanari

⁴ Todorović Milorad, EFT Rudnik i Termoelektrana Stanari, Stanari

Abstract

Due to research done in 2017 and 2018 the conditions for expanding the research field in Kop 3 were obtained and this rounded up the reserves of coal in the eastern part of Raškovac deposit of the open pit mine Stanari. Proving the coal reserves in this part of deposit and expanding the research field made way to opening a new mining site.

However, opening new mining sites is followed by the need for pre-drainage in order to provide the mining works to be completed in an undisturbed way, especially in some late phases when the ground level is lower than underground waters.

Draining of the open pit mine Raškovac deposit from 1973 to 1992 was performed by drilled wells which were destroyed by mining works over the time. After the wells draining of the mining site continued in a way that has been proved today as the most practical and efficient and that is by making a water reservoir in the lowest zone of the mining site where all gravitating ground, atmospheric and underground waters gather. With the help of sludge and centrifugal pumps, water from water reservoirs is ejected out of the mining site into the precipitators and further into the nearest local recipient. This practice was also continued at the mining sites Dragalovci, Kop 1 and Kop 2.

During 2020 there was a research performed in order to determine the needs and possibilities of pre-draining of the Kop 3.

This research was preceded by making the project documentation based on the level of hydrogeological knowledge of neogene sediments relations at the subject location. Project documentation has set up a concept and methodology of detailed hydrogeological research whose primary aim was to determine perspective locations for making wells for the needs of pre-drainage of the Kop 3 and based on all the available information of geological material and the previous hydrogeological research. Taking all set research goals at the location of Kop 3 into concern, eight exploratory wells were made in the first phase of the research, out of which seven were turned into the piezometers and the pumping test was performed on the lake 500 meters away from the cut line of the mine opening.

Performing this research and its analysis made way to more efficient data about the level condition of underground waters at the location of the Kop 3 and therefore the need for its pre-drainage.

Keywords: opening of the mining site, piezometers, pre-drainage

1. Uvod

Za potrebe daljeg širenja eksploatacije uglja na istočni deo PK Raškovac, planirano je otvaranje Kopa 3. Da bi se omogućila nesmetana eksploatacija uglja sa ovog budućeg kopa kao i sa ostalih, neophodno je rešiti problem priliva podzemnih i površinskih voda, odnosno njegovo odvodnjavanje. Imajući u vidu da će se odvodnjavanje kopa vršiti vodosabirnikom kao i kod ostalih kopova u eksploataciji, za potrebe sniženja nivoa podzemnih voda u fazi otvaranja kopa bilo je potrebno proveriti vodoobilnost ležišta.

U skladu sa tim 2020.g. izvedeni su istražni radovi na prostoru Kopa 3 u široj zoni useka otvaranja. Istražnim radovima je prethodila izrada projektne dokumentacije kojom je bilo predviđeno da se u prvoj fazi istraživanja izvede 11 istražnih bušotina sa njihovim zacevljenjem, razradom i testiranjem, dok je na šest lokacija pijezometara planirano bilo izvođenje bunara za predodvodnjavanje.

U prvoj fazi hidrogeoloških istraživanja predviđeno je bilo da se izvede i paralelni test crpljenja svih postojećih eksploatacionih objekata - bunara u neposrednoj blizini prve faze otvaranja Kopa 3 i jezera, koje inače predstavlja najveću depresiju na ovom prostoru, uz monitoring svih osmatračkih objekata - pijezometara.

2. Prikaz istražnih radova

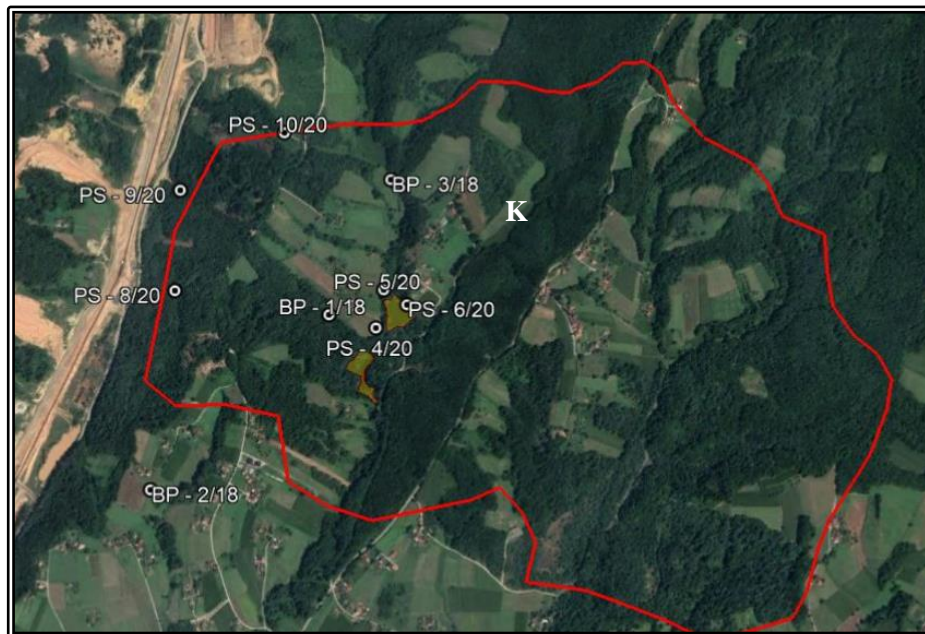
Da bi se postigli postavljeni ciljevi istraživanja definisani Projektom, neophodno je bilo utvrditi prisustvo akvifera od podinskih šljunkova i peskova, kao i podzemnih voda na lokacijama istražnih radova.

Koncepcija radova postavljena je tako da se hidrogeološkim kartiranjem terena registruju svi hidrogeološki objekti i pojave na istražnom prostoru i odrede lokacije bušenja pijezometra.

Na osnovu izvedenog hidrogeološkog kartiranja terena određene su potencijalne mikrolokacije za izvođenje 8 istražnih bušotina, sa zacevljenjem i pretvaranjem u pijezometre, razradom i testiranjem (Slika 1).

Od ukupno 8 izvedenih bušotina 7 je dostiglo projektovanu dubinu, zacevljeno i pretvoreno u pijezometre. Bušenje istražnih bušotina izvedeno je do registrovanja vodonosnog sloja i prolaska istog, nakon čega bi se izvodilo zacevljenje i ispiranje pijezometarske bušotine.

U nastavku hidrogeoloških radova na ovih sedam pijezometara izvršena je razrada i testiranje sa kasnijim proračunom hidrogeoloških parametara akvifera i optimalnim kapacitetima pijezometara.



Slika 1. Pozicija pijezometara i Jezera na Kopa 3

Legenda:

- - Pijezometar
- 🟡 - Jezera

Pored izvođenja pijezometara u okviru istražnih radova geološka služba rudnika izvela je i crpljenje jezera u trajanju od 7 dana, koja se nalaze na oko 500 m od useka otvaranja kopa. Tokom crpljenja praćen je kapacitet, nivo vode u jezerima i nivoi podzemnih voda u okolnim pijezometrima. U okviru redovnog monitoringa podzemnih voda na prostoru Stanarskog ugljenog basena geološka služba rudnika je i na ovim novo izvedenim objektima nastavila monitoring podzemnih voda.

3. Sistematizacija dobijenih rezultata istraživanja

U toku 2020. godine izvedena je prva faza detaljnih hidrogeoloških istražnih radova za potrebe utvrđivanja mogućnosti predodvodnjavanja Kopa 3 stanarskog ugljenog basena. Tom prilikom od planiranih 8 istražnih bušotina ukupno 7 je dostiglo projektovanu dubinu i one su zacevljene (Tabela 1). Od 7 pijezometara 3 su izvedena na lokaciji budućeg vodosabirnika Jezero, dok su ostala četiri izvedena oko useka otvaranja kopa.

Novoizvedeni pijezometri su odmah uključeni u redovan monitoring podzemnih voda koji se vrši na svim hidrogeološkim objektima rudnika.

Tabela 1. Urađeni pijezometri-prva faza hidrogeoloških radova-Kop 3

Oznaka pijezometara	Prečnik bušenja (mm)	Projektovana dubina (m)	Konačna dubina bušenja (m)
PS-2/20	180	75	41.5
PS-3/20	180	75	78
PS-4/20	180	50	50
PS-5/20	180	50	50
PS-6/20	180	50	50
PS-8/20	180	47	47
PS-9/20	180	52	47
PS-10/20	180	70	70

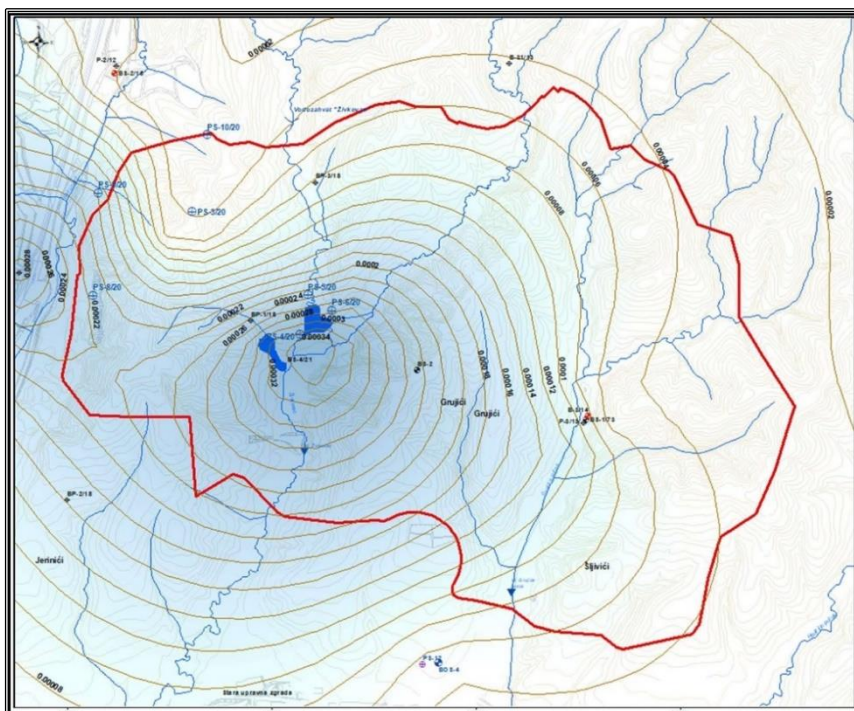
Nakon završenih radova na izradi, zacevljenju i razradi pijezometara izvedeno je i njihovo testiranje radi proračuna hidrogeoloških parametara sredine na datim lokacijama, kao i prognoznih kapaciteta budućih bunara koji bi se eventualno bušili za potrebe predodvodnjavanja kopa.

Dobijene vrednosti hidrogeoloških parametara i prognoznih kapaciteta (Tabela 2) računati su na maksimalnom sniženju zavodnjelog dela vodonosnog sloja i u hidrološkim uslovima koji su vladali u periodu istraživanja.

Tabela 2. Vrednosti hidrogeoloških parametara i prognoznih kapaciteta bunara

Oznaka pijezometara	k (m/s)	T (m ² /s)	Prognozni kapacitet (Q) (l/s)
PS-3/20	$5,87 \times 10^{-6}$	$5,28 \times 10^{-5}$	0,50
PS-4/20	$3,81 \times 10^{-4}$	$5,33 \times 10^{-3}$	21,40
PS-5/20	$2,02 \times 10^{-4}$	$3,03 \times 10^{-3}$	5,70
PS-6/20	$3,08 \times 10^{-4}$	$4,62 \times 10^{-3}$	22,50
PS-8/20	$2,32 \times 10^{-4}$	$3,95 \times 10^{-3}$	13,30
PS-9/20	$1,84 \times 10^{-4}$	$2,36 \times 10^{-3}$	9,20
PS-10/20	$2,31 \times 10^{-5}$	$3,00 \times 10^{-4}$	1,30

Na narednoj slici dat je prikaz vrednosti koeficijenta filtracije na prostoru Kopa 3 na osnovu dobijenih podataka izvedenih istraživanja na ovom prostoru ali i ranije izvedenih istraživanja šireg prostora Kopa 3.



Slika 2. Izolinije vrednosti koeficijenta filtracije na prostoru Kopa 3

Po uspešno završenim radovima na izradi, zacevljenju, razradi i testiranju pijezometara, izveden je test crpljenja oba jezera. Postojeća jezera u dolini potoka Živkovac formirana su u hipsometrijski najnižoj tački, u kojima je zbog njihove pozicije planirana izrada vodosabirnika za potrebe odvodnjavanja kopa. Iz razloga provere mogućnosti izrade vodosabirnika, dubine jezera, priliva voda u jezera i uticaja na okolne hidrogeološke objekte izvršeno je i njihovo testiranje koje je trajalo 7 dana.

Tokom crpljenja meren je kapacitet crpljenja vode iz jezera, nivo vode u jezerima kao i nivo vode na obližnjim pijezometrima.

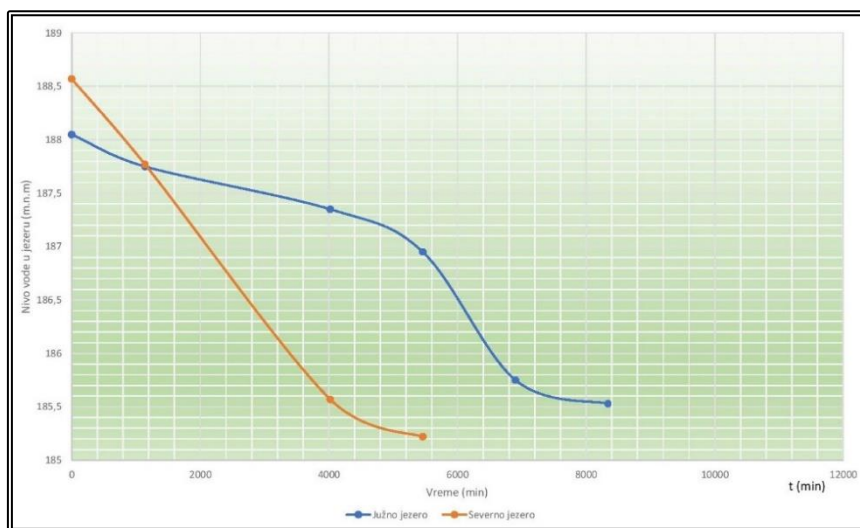
Pre početka crpljenja jezera izmeren je statički nivo vode na osmatranim objektima i na jezerima, prikazan u Tabeli 3.

Tabela 3. Statički nivoi i dubine osmatranih pijezometara i jezera

	Dubina (m)	Statički nivo	
		S (m)	Apsolutna kota
PS-4/20	50	8,50	187,22
PS-5/20	50	6,90	187,55
PS-6/20	50	10,34	187,67
PS-8/20	47	6,76	184,74
PS-9/20	47	9,02	186,35
PS-10/20	70	29,11	188,14
BP-1/18	23	8,75	187,50
BP-2/18	23	9,78	196,25
BP-3/18	30	10,30	188,56
Južno jezero	oko 3 m		188,05
Severno jezero	oko 4 m		188,57

Tokom crpljenja jezera, u Južnom jezeru ostvareno je ukupno sniženje nivoa vode 2,52 m, uz ukupno iscrpljenih 13.020 m³ vode. Takođe, prilikom obaranja nivoa u jezeru primećena su dva izvora po obodu, na kojima je konstatovan manji priliv vode u jezero. Crpljenjem Severnog jezera postignuto

je ukupno sniženje nivoa vode od 3,35 m, dok je iscrpljeno oko 8.600 m³ vode (Slika 3).



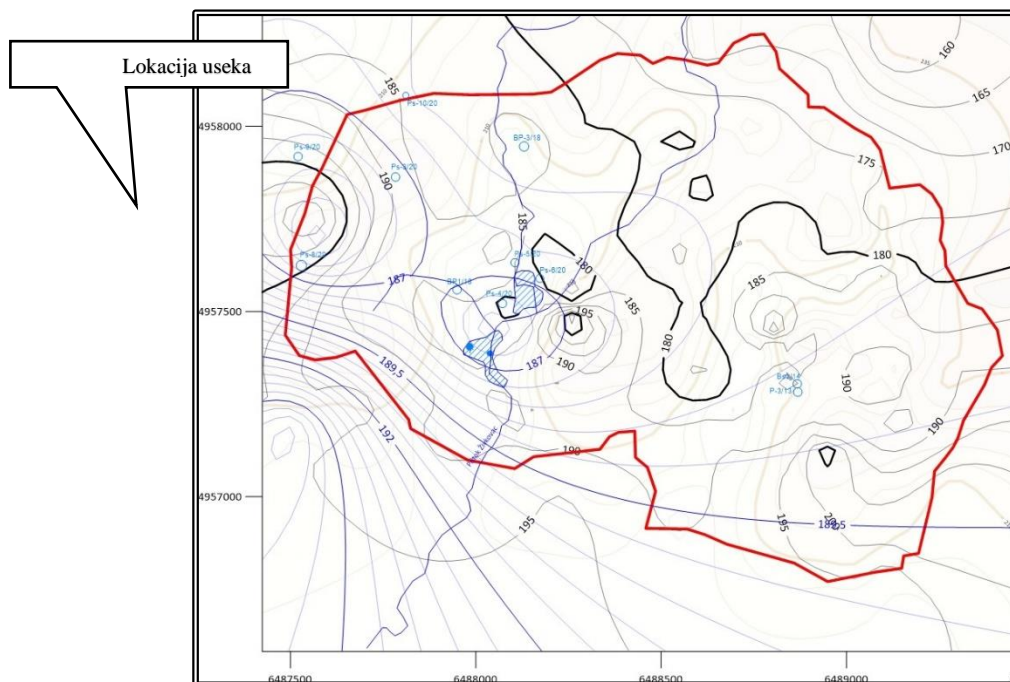
Slika 3. Dijagram sniženja nivoa vode u Jezerima

Osmatranje nivoa vode na pijezometrima tokom crpljenja jezera je pokazalo da nisu ostvarena značajnija sniženja nivoa podzemne vode na širem prostoru. Naime, ovim crpljenjima je ostvareno maksimalno sniženje od 0,2 m, i to na pijezometrima koji su u blizini jezera, dok na onim daljim sniženja su manja od 0,1 m (Tabela 4).

Tabela 4. Vrednosti osmatranja nivoa podzemnih voda u pijezometrima

	St.nivo	1. dan	2. dan	3. dan	4. dan	5. dan	6. dan	7. dan	8. dan	9. dan
	NPV (m)	NPV (m)								
PS-4/20	8,5	8,56	8,54	8,60	8,64	8,67	8,70	8,63	8,68	8,71
PS-5/20	6,9	6,98	6,92	7,00	7,02	7,04	7,07	6,99	7,05	7,07
PS-6/20	10,3	10,41	10,36	10,44	10,46	10,50	10,51	10,43	10,50	10,53
PS-8/20	6,7	6,76	6,76	6,79	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,82
PS-9/20	9,0	9,05	9,05	9,03	9,05	9,06	9,07	9,07	9,07	9,06
PS-10/20	29,1	29,11	29,18	29,13	29,13	29,24	29,18	29,18	29,18	29,18
BP-1/18	8,7	8,76	8,75	8,82	8,81	8,81	8,83	8,81	8,81	8,85
BP-2/18	9,7	9,77	9,80	9,83	9,79	9,78	9,80	9,80	9,78	9,80
BP-3/18	10,3	10,36	10,28	10,31	10,32	10,36	10,35	10,25	10,35	10,35

Na Slici 4 prikazane su hidroizohipe nivoa podzemnih voda tokom crpljenja Jezera.



Slika 4. Hidroizohipse na prostoru Kopa 3 tokom crpljenja Jezera

Sa prethodne slike može se videti da je smer kretanja podzemnih voda od useka otvaranja prema istoku usmeren ka jezerima, a prema zapadu ka potoku Raškovac.

Iz prethodne prikazanih podataka može se videti da crpljenjem Jezera nije dobijen neki efekat obaranja nivoa podzemnih voda u okolnim pijezometrima. Najveći efekat obaranja nivoa podzemnih voda dobijen je na najbližim pijezometrima PS-4/20, PS-5/20 i PS-6/20 koji se nalaze na maksimalno 50 m od severnog jezera dok su od južnijeg nešto udaljeniji. Na ovim pijezometrima max. ostvarena depresija iznosila je 0,20 m (PS-4/20), i nešto manja na ostala dva pijezometra. Na ostalim udaljenijim pijezometrima depresija je iznosila do max. 5 do 8 cm. Na ovako malu depresiju uticalo je mnogo faktora od same dubine jezera i nemogućnosti da se ostvari veća depresija u istima pa do samih hidrogeoloških parametara sredine.

4. Zaključak

Za potrebe nesmetanog početka eksploatacije uglja na budućem Kopa 3, neophodno je rešiti problem priliva površinskih i podzemnih voda. S obzirom da se odvodnjavanje kopa planira vršiti vodosabirnicima, što se u prethodnom periodu i na ostalim kopovima pokazalo kao dobro rešenje, u ranim fazama projektovanja bilo je potrebno proveriti vodoobinost ležišta. U te svrhe urađen je Projekat detaljnih hidrogeoloških istraživanja [1], na osnovu kojeg su izvedeni istražni radovi.

Kada se uzmu u obzir postavljeni ciljevi istraživanja prostora Kopa 3, kao i stepen poznavanja hidrogeoloških odnosa u ležištu uglja stanarskog neogenog basena, tokom 2020. godine u okviru obavljenih istraživanja izvedeni su istražni radovi u vidu izvođenja 8 istražnih bušotina. Prilikom bušenja i dobijanja rezultata, odlučeno je da se zacevi 7 istražnih bušotina i pretvori u pijezometre. U prvoj fazi su izvedena tri pijezometra na lokaciji Jezera (PS-4; PS-5 i PS-6), jedan pijezometar na lokaciji potencijalnog vodosabirnika na budućem useku otvaranja (PS-3) i još tri pijezometra (jedan severno (PS-10), jedan severoistočno (PS-9) i jedan jugoistočno (PS-8) od useka otvaranja.

Prema Projektu predodvodnjavanja Kopa 3 obavljeno je i probno crpljenje Jezera koja se nalaze na trenutno najnižoj hipsometrijskoj tački terena budućeg kopa u dolini potoka Živkovac.

Obradom podataka testiranja pijezometara dobijene su vrednosti hidrogeoloških parametara vodonosne sredine i vrednosti optimalnog kapaciteta za svaku lokaciju. Rezultati su prikazani u Tabeli

2. Obrada podataka testiranja pokazala je da su na lokacijama pijezometara PS-3, PS-5 i PS-10 dobijeni manji optimalni kapaciteti objekata nego što je to slučaj na ostalim lokacijama. Posebno su bitne ove nepovoljne informacije za lokacije pijezometara PS-3 i PS-5, jer su na tim lokacijama bili planirani bunari za odvodnjavanje.

Takođe, prethodno prikazanih podataka koji su dobijeni crpljenjem jezera može se zaključiti da istim radovima nije postignut veliki efekat po pitanju obaranja nivoa podzemnih voda u okolnim osmatračkim objektima. Ovo se može objasniti malom dubinom jezera i nemogućnosti većeg obaranja nivoa vode u samim jezerima pa samim tim i u njihovom zaleđu, kao i relativno kratkim vremenom crpljenja istih zbog veoma malog priliva vode u jezerima.

Imajući u vidu sve iznete rezultate do kojih se došlo tokom izvođenja istražnih radova, generalni zaključak svega je da je u hidrološkom minimumu priliv vode u postojećim Jezerima mali i da zavisi isključivo od padavina. Takođe, na osnovu poznavanja povlate i podine ugljenog sloja kao i utvrđenog nivoa podzemnih voda na samoj lokaciji useka otvaranja nije potrebno raditi bunare za predodvodnjavanje i da će se samo odvodnjavanje tog dela kopa moći rešiti vodosabirnikom kao i na već postojećim kopovima u eksploataciji.

Literatura

- [1] D.O.O. IPIN, Bijeljina: Projekat detaljnih hidrogeoloških istraživanja stanarskog ugljenog basena, istočnog dela ležišta PK Raškovac-Kop 3 sa ciljem utvrđivanja mogućnosti predodvodnjavanja Kopa 3, Januar 2020.
- [2] D.O.O. IPIN, Bijeljina: Elaborat o I fazi detaljnih hidrogeoloških istraživanja stanarskog ugljenog basena, istočnog dijela ležišta PK Raškovac-Kopa 3 sa ciljem utvrđivanja mogućnosti predodvodnjavanja Kopa 3 - istraživačka godina 2020., Novembar 2020. godina
- [3] Izveštaj o obavljenom crpljenju Jezera na lokaciji Kopa 3, Oktobar 2020., Stanari



**ANALIZA SEIZMIČKOG DEJSTVA EKSPLOZIJE PRI MINIRANJU NA PRIMERU IZRADE
TUNELA GOLUBAC KOD GOLUPCA**

**ANALYSIS OF SEISMIC EFFECT OF EXPLOSION DURING BLASTING ON THE
EXAMPLE OF TUNNEL CONSTRUCTION GOLUBAC NEAR GOLUBAC**

Lutovac S.¹, Gligorić M.², Majstorović J.³, Crnogorac L.⁴

Apstrakt

Savremeno rudarstvo, a pogotovo masovna eksploatacija metaličnih ležišta, ne bi se mogla zamisliti bez primene eksploziva. Rudarstvo je privredna grana, gde su eksplozivi našli najširu primenu za eksploataciju čvrstih mineralnih sirovina. Primena energije eksploziva dovodi do poboljšanja tehničko-ekonomskih pokazatelja pri eksploataciji mineralnih sirovina, ali i do pojave negativnih efekata koji prate radove na miniranju. Eksplozivni materijali u rudarstvu, geologiji i drugim delatnostima, svojim dejstvom narušavaju prirodnu sredinu u vidu drobljenja, razbacivanja komada stene, vazdušnih udara, pojave seizmičkih efekata, pojave gasova itd. Najvažniji uslov, pri korišćenju eksplozivnih sredstava, je da pomenuti efekti pre svega ne utiču nepovoljno na ljude, kao i da ne oštećuju stambene ili industrijske objekte, koji se mogu naći u polju njihovog dejstva. U ovom radu prikazana je analiza seizmičkog dejstva eksplozije na okolne objekte, koje je nastalo kao posledica miniranja pri izradi tunela Golubac kod Golupca, Istočna Srbija. S obzirom da u našoj zemlji još nisu doneti propisi kojima se regulišu nivo potresa koji nastaje kao posledica miniranja, ocena seizmičkog dejstva miniranja određena je na osnovu kriterijuma IFZ Akademije nauka Rusije, kriterijuma u SR Nemačkoj i kriterijuma prema USA normama.

Ključne reči: miniranje, seizmičko dejstvo, brzina oscilovanja stenske mase, kriterijumi ocene seizmičkog dejstva

Abstract

Modern mining cannot be imagined without usage the explosives, especially the mass mining of metal deposits. Mining is an economic branch where explosives found the extensive application for exploitation the hard mineral raw materials. Usage the energy of explosive leads to technical-economic indicators improvement during the mineral raw materials mining but also leads to appearance of negative effects that follow blasting works. Explosive materials in mining, geology and other activities violate the natural environment by their effect in sight of crushing, scattering of rock pieces, air strikes, appearance the seismic effects, appearance the harmful gases etc. During the usage of explosives, the most important requirement is that the mentioned effects primarily do not unfavourable influence on people, as well as that they do not damage the residential and industrial objects that can be found in the field of their effect. This paper presents an analysis of seismic effect of explosion on the surrounding objects that is caused as a result of blasting works during the tunnel construction Golubac near Golubac, East Serbia. Considering that standards that regulate the level of shock caused by blasting still not

¹ Prof. dr Lutovac Suzana, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, suzana.lutovac@rgf.bg.ac.rs

² Doc. dr Gligorić Miloš, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, milos.gligoric@rgf.bg.ac.rs

³ Majstorović Jelena, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, jelena.majstorovic@rgf.bg.ac.rs

⁴ Crnogorac Luka, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, luka.crnogorac@rgf.bg.ac.rs

created in our country, the seismic effect evaluation of blasting is determined based on criterion of IFZ Russian Academic of Science, criterion of SR in Germany and criterion according to USA standards.

Key words: blasting, seismic effect, rock mass oscillation velocity, criteria for the seismic effect evaluation

1. Uvod

Eksplוזija izazvana detonacijom hemijskih ili nekih drugih eksplozivnih materija praćena je oslobađanjem velike kolićine energije. Ta energija u kratkom intervalu oslobađa ogromnu snagu koja mođe biti iskorišćena za razaranja stenske mase. Tom prilikom veći deo energije se iskoristi za razaranja stene, a deo energije se u vidu seizmićkog talasa gubi u stenskom masivu [1, 2].

Prema efektu koji se postiđe delovanjem udarnog talasa izazvanog detonacijom, u zavisnosti od centra eksplozije, dolazi do razlićitih promena u stenskom masivu. U stenskom masivu mogu se razlikovati tri zone: zona mrvljenja i drobljenja, zona razaranja i trajnih deformacija i zona potresanja. U prvoj i drugoj zoni dolazi do potpune promene stenske mase. U prvoj zoni ova promena se manifestuje u intenzivnom mrvljenju i drobljenju stenskog materijala. U drugoj zoni dolazi do stvaranja velikog broja pukotina i pukotinskih sistema, duđ kojih dolazi do potpunog kidanja veza između pojedinih delova stenske mase i promene fizićkih i mehanićkih svojstava stenskog materijala. U prve dve zone dolazi do razaranja stenske mase, što se u rudarstvu smatra korisnim radom i pri tome se utroši najveći deo raspolođive energije. U trećoj zoni se, preostali, manji deo energije izgubi u vidu elastićnog talasa u stenskoj masi. Delovanjem seizmićkog elastićnog talasa ćestice stenske mase se pomeraju iz svog ravnotežnog polođaja u granicama elastićnih deformacija. Takvo pomeranje ćestica ne stvara prsline i pukotine, već samo potres, pa se zbog toga ova zona naziva zonom potresanja [3, 4]. Sa seizmićkog stanovišta, zona potresanja je posebno znaćajna, jer elastićni talasi koji se prostiru u toj zoni imaju osobine seizmićkih talasa, a njihovo delovanje i posledice imaju isti karakter kao i seizmićki talasi izazvani zemljotresom i mogu dovesti do oštećenja objekata [5, 6, 7].

2. Parametri oscilovanja stenske mase

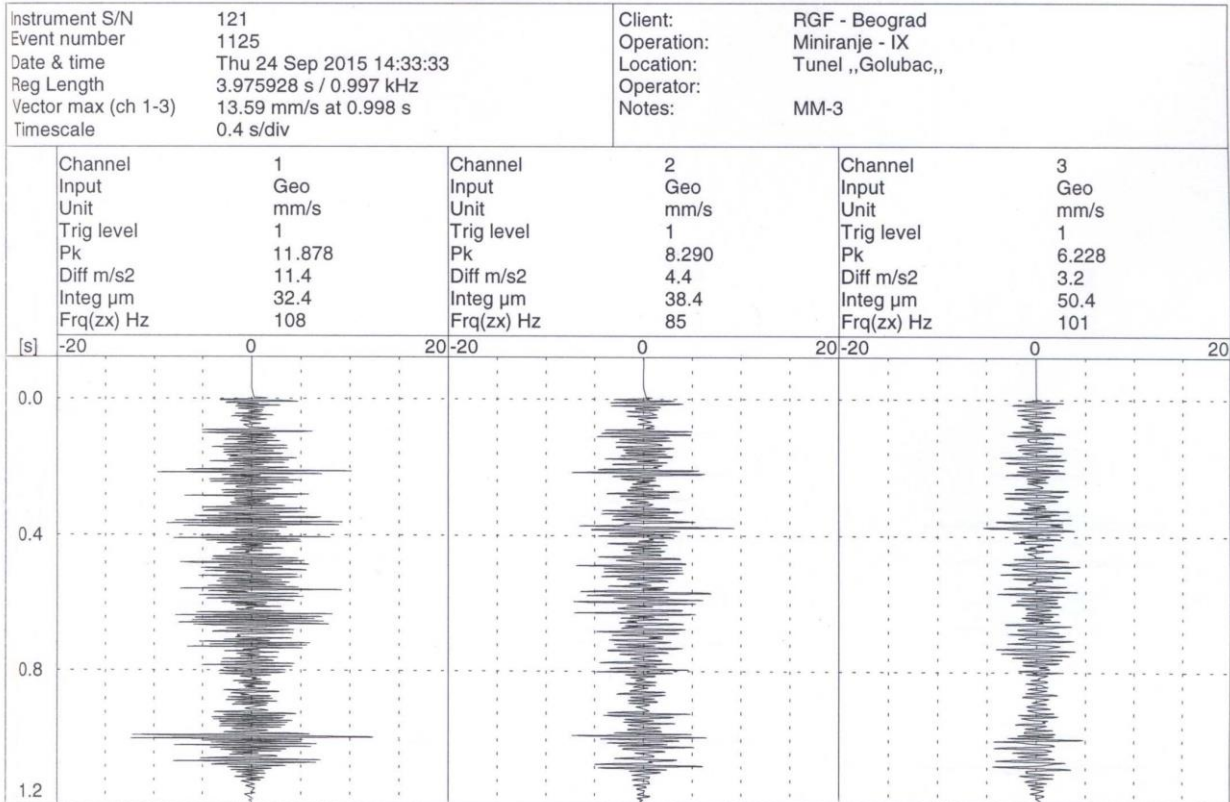
Intenzitet potresa koji je prouzrokovan miniranjem, mođe se ustanoviti merenjem jednog od tri osnovna dinamićka parametra, koji karakterišu oscilovanje stenske mase. To su: pomeranje ćestica stenske mase x , brzina oscilovanja stenske mase v i ubrzanje pobuđene sredine a .

Kao parametar za ocenu seizmićkog dejstva miniranja najćešće se uzima brzina oscilovanja stenske mase. Smatra se da ona najbolje povezuje i opisuje opasnost od potresa i oštećenja koje mođe izazvati. Iz tog razloga su i odgovarajući standardi za zaštitu od potresa bazirani na podacima koji se odnose na brzinu oscilovanja.

Da bi u nekom trenutku definisali intenzitet potresa i pravac delovanja rezultantne sile, potrese registrujemo u tri pravca kao:

- horizontalnu transverzalnu komponentu, normalnu na pravac prostiranja talasa v_t ,
- horizontalnu longitudinalnu komponentu, u pravcu prostiranja talasa v_l i
- vertikalnu komponentu v_v .

Na Slici 1, prikazani su rezultati merenja potresa tj. promene brzine oscilovanja sa vremenom, tzv. velosigrama za tri komponente v_v , v_t i v_l , pri miniranju na izradi tunela Golubac - miniranje broj 9, merno mesto 3.



Slika 1. Velosigram brzine oscilovanja stenske mase pri miniranju na izradi tunela Golubac - miniranje broj 9, merno mesto 3

Na ovom snimku mogu se očitati odgovarajući podaci. Uzdužna osa svake trajektorije promene brzine pokazuje vreme u delovima sekunde, a osa upravna na nju vrednost brzine. Sa zapisa se mogu očitati maksimalne vrednosti za sve tri komponente brzine oscilovanja tla. Na osnovu toga može se odrediti maksimalna brzina oscilovanja tla v_{max} po formuli:

$$v_{max} = \sqrt{v_v + v_t + v_l} \left[\frac{mm}{s} \right] \quad (1)$$

Maksimalna brzina oscilovanja v_{max} dobija se tako što se sa snimljenog velosigrama očita maksimalna amplituda - posebno za svaku komponentu, a zatim se izračuna rezultujuća maksimalna brzina oscilovanja po formuli (1).

Stvarna brzina oscilovanja v_{st} dobija se tako što se sa snimljenog velosigrama očitaju amplitude u istom vremenskom trenutku za sve tri komponente, a zatim se računa rezultujuća stvarna brzina po istoj formuli.

Uzimanjem u obzir maksimalne brzine oscilovanja rezultati su na strani sigurnosti, jer je maksimalna brzina oscilovanja uvek veća od stvarne, a stvarna je ona koja deluje na objekat.

3. Procena šteta od miniranja

U većini zemalja doneti su propisi kojima se reguliše nivo potresa koji nastaje kao posledica miniranja. Ovakvi propisi još nisu doneti u našoj zemlji, tako da se pri rešavanju ovog problema služimo propisima i normama drugih zemalja, najčešće ruskim, nemačkim i američkim [8].

Kriterijum IFZ Akademije nauka Rusije definiše dozvoljeni intenzitet potresa, koji se određuje na osnovu brzine oscilovanja stenske mase. Dozvoljena brzina oscilovanja stenske mase zavisi još i od vrste objekta, značaja i namene. Stepem seizmičkog intenziteta dat je u vidu XII seizmičkih stepeni.

Ocena seizmičkog intenziteta potresa prema ovom kriterijumu data je u Tabeli 1.

Tabela 1. Ocena seizmičkog intenziteta potresa po kriterijumu IFZ Akademije nauka Rusije

Brzina oscilovanja stenske mase, v [cm/s]	Stepen seizmičkog intenziteta, I	Opis dejstva
do 0,20	I	Dejstvo se registruje samo pomoću instrumenata.
0,20 ÷ 0,40	II	Dejstvo se oseća samo u nekim slučajevima, kada je potpuna tišina.
0,40 ÷ 0,80	III	Dejstvo oseća veoma mali broj ljudi, ili samo oni koji ga očekuju.
0,80 ÷ 1,50	IV	Dejstvo osećaju mnogi ljudi, čuje se zveket prozorskog stakla.
1,50 ÷ 3,00	V	Osipanje maltera, oštećenja na zgradama u slabom stanju.
3,00 ÷ 6,00	VI	Pojava finih prslina u malteru, oštećenja na zgradama koje već imaju razvijene deformacije.
6,00 ÷ 12,0	VII	Oštećenje na zgradama u dobrom stanju, pukotine u malteru, delovi maltera otpadaju, fine prsline u zidovima, pukotine na zidanim pećima, rušenje dimnjaka.
12,0 ÷ 24,0	VIII	Znatne deformacije građevina, pukotine u nosećoj konstrukciji i zidovima, veće pukotine u pregradnim zidovima, padanje fabričkih dimnjaka, plafona.
24,0 ÷ 48,0	IX	Rušenje građevina, veće pukotine u zidovima, raslojavanje zidova, obrušavanje nekih delova zidova.
Veće od 48,0	X ÷ XII	Veća razaranja, stropošavanje čitavih konstrukcija, itd.

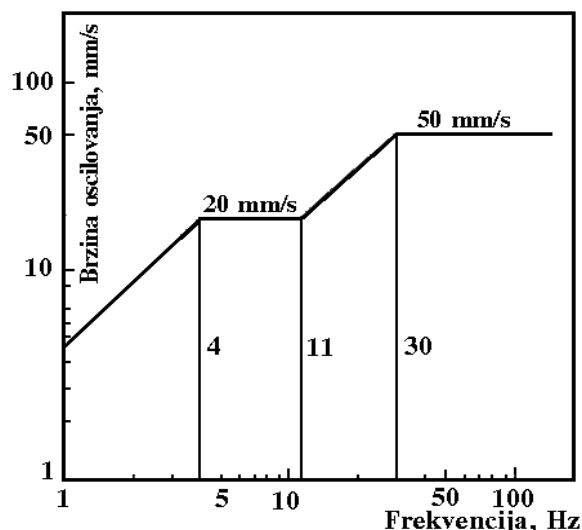
Kao što se iz Tabele 1 vidi, oštećenja na objektima nastaju ako brzina oscilovanja usled miniranja premaši IV stepen seizmičke skale. Oštećenja na zgradama u slabom stanju mogu nastati pri potresu intenziteta V stepena seizmičke skale, dok se kod zgrada u dobrom stanju trajne deformacije mogu očekivati tek u toku VII seizmičkog stepena. Prema tome, za procenu seizmičkog dejstva miniranja na objekte, neophodno je uzeti u obzir i stanje objekata, kao i karakteristike tla i broj i način izvođenja miniranja.

Kriterijumi u SR Nemačkoj propisuju maksimalno dopuštene vrednosti brzine oscilovanja stenske mase, u zavisnosti od značaja i stanja objekata, za frekventni opseg od 5 do 100 Hz i za jedno do dva miniranja dnevno. Dozvoljene maksimalne brzine oscilovanja stenske mase prikazane su u Tabeli 2.

Tabela 2. Orijentacione vrednosti za brzinu oscilovanja v i frekvenciju oscilovanja f po DIN

Br.	Vrsta objekta	Orijentacione vrednosti za brzinu vibracija v [mm/s]			
		Temelj			Tavanice najvišeg sprata
		Frekvencija f [Hz]			
		< 10 Hz	10 - 50 Hz	50 - 100 Hz	Sve frekvencije
1	Objekti koji se koriste za zanastvo, industrijski objekti i slični strukturalni objekti.	20,0	20,0 – 40,0	40,0 – 50,0	40,0
2	Stambene zgrade i po konstrukciji ili nameni slični objekti.	5,0	5,0 – 15,0	15,0 – 20,0	15,0
3	Objekti koji zbog svoje posebne osetljivosti na vibracije ne spadaju u one iz grupe 1 i 2 i koji su posebno bitni za očuvanje (npr. nalaze se pod zaštitom kao kulturno-istorijski spomenici).	3,0	3,0 – 8,0	8,0 – 10,0	8,0

Kriterijumi prema USA normama definišu dozvoljene brzine oscilovanja stenske mase u funkciji frekvencije. Za stambene objekte dozvoljene brzine oscilovanja u frekventnom području od 1 do 4 Hz variraju od 4 do 20 mm/s. U frekventnom području 11 do 30 Hz, dozvoljene brzine oscilovanja variraju od 20 do 50 mm/s, a iznad 30 Hz su do 50 mm/s. Grafički prikaz američkog standarda graničnih brzina oscilovanja dat je na Slici 2.



Slika 2. Grafički prikaz američkog standarda graničnih brzina oscilovanja

4. Osnovni podaci o tunelu Golubac

4.1. Lokacija i karakteristike tunela Golubac

Tunel Golubac se nalazi na oko 4 km od Golupca. Grad Golubac je smešten u istočnom delu Republike Srbije, na samoj granici sa Rumunijom. Granica je reka Dunav. Golubac se i obrazovao na mestu gde Dunav utiče u Đerdapsku klisuru. Golubačka tvrđava je smeštena 4 km nizvodno, na mestu glavnog suženja reke pri utoku u klisuru. Jedinstvenost Dunava ispred Golupca je da je on tu najširi na celom svom toku - preko 6 km. Svega par kilometara nizvodno se sužava na manje od 300 m. Cilj izgradnje tunela bio je vezan za izmeštanje jednog dela magistralnog puta M-25.1, koji je prolazio kroz tvrđavu Golubac.

Nekadašnja deonica kroz Golubačku tvrđavu nije imala jasne elemente trase i poprečni profil. U prolazima kroz tvrđavu nisu bili obezbeđeni minimalni gabariti saobraćajnog profila, tako da su teretna vozila morala da se kreću sredinom kolovoza kako ne bi došla u fizički kontakt sa zidinama ili sa stenskom masom tunela i galerija. Iz tog razloga, magistralni put se svodio na jednu saobraćajnu traku za oba smera vožnje.

Prema novom projektnom rešenju tunel Golubac čini jedna tunelska cev sa dvosmernim saobraćajem.

4.2. Geološko-inženjerske karakteristike terena

Morfološka svojstva terena. Područje izgradnje tunela Golubac se nalazi na desnoj strani Dunava, neposredno u brdskom zaleđu Golubačke tvrđave. Centralna brdska zona, kroz koju je izgrađen tunel, morfološki posmatrano predstavlja greben - prevoj, koji čini vododelnicu između dve depresije u portalnim zonama.

Geološka građa terena. U široj zoni tunela Golubac osnovu čine marinske mezozojske tvorevine. Pored toga što su otkrivene na otvorenim izdancima, one su takođe i nabušene u dve istražne bušotine - na ulaznom i izlaznom portalu. Čine ih čvrsti, kompaktni i masivni krečnjaci.

Na osnovu izvedenih istraživanja i laboratorijskih geomehaničkih ispitivanja utvrđeno je da počev od površine terena do dubine istraživanja 8 m, predmetni teren izgrađuju sedimenti sledećih karakteristika:

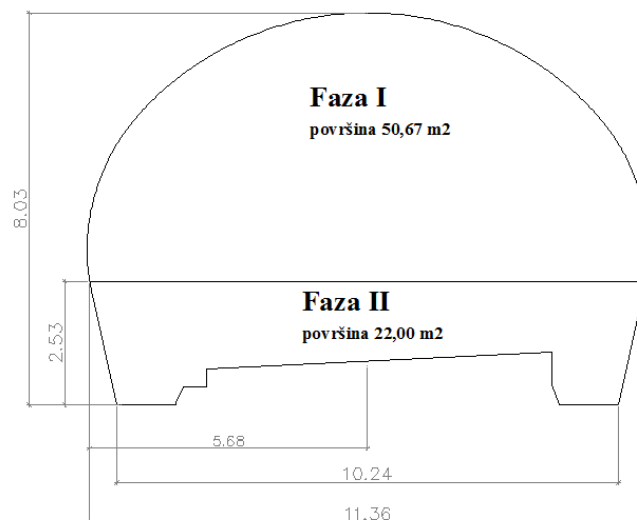
- Humus (h) gradi samu površinu terena male debljine 0,2 m, prašinastog sastava sa povećanim sadržajem organskih materija, trošan, mrko smeđe boje.

- Nasip (n) izgrađuje lokalno površinski deo terena izgrađen uglavnom od drobinskog materijala, znatne debljine 1,7 m.

- Glinoviti krečnjak (g-drk) po granulometrijskom sastavu je prašinsto peskovit sa učešćem: gline 9-10%, prašine 40-46% i peska 19-25%, sadrži sitnu drobinu 19-32%, sadržaj CaCO_3 12,8-27,3%, dobro konsolidovan, zapreminske težine $\gamma = 20,0-20,9 \text{ kN/m}^3$, strukture masivne, prslinske i pukotinske poroznosti, niske plastičnosti, tvrdog konzistentnog stanja $I_c > 1,3$, boje svetlo sive do sive.

4.3. Metoda iskopa stenske mase

Za iskop stenskog masiva primenjeni su bušačko-minerski radovi. Metoda izrade tunela koja je primenjena je nova austrijska metoda. Ona se primenjuje u čvrstom, slabo raspucanom stenskom masivu i dozvoljava iskop u punom profilu prostorije tj. tunela. Deo stenske mase neposredno iza konture iskopanog profila treba da primi na sebe osnovno opterećenje izazvano podzemnim pritiskom. To se postiže ugradnjom sidara i postavljanjem čelične mreže sa nabacivanjem sloja prskanog, torkret betona. Ugradnjom sidara stenski masiv je osposobljen da nosi opterećenje, a čelična mreža i prskani beton sprečavaju obrušavanje dela konture koji nije osiguran sidrima. Kao dodatno osiguranje primenjuju se i čelični nepopustljivi okviri [9]. Na Slici 3. prikazan je iskopni profil tunela Golubac.



Slika 3. Iskopni profil tunela Golubac

5. Podaci o izvedenim miniranjima i merenjima

Pri izgradnji tunela Golubac izveden je veći broj miniranja na iskopu stenske mase, kako na iskopu kalote tako i u oporcima. U ovom radu prikazan je deo rezultata miniranja i merenja (10 miniranja na ukupno 4 merna mesta) i njihov uticaj na okolne objekte pri izradi tunela Golubac. Miniranja su izvedena u cilju iskopa stenske mase tunela. Za miniranje je korišćen eksploziv Emulex-1, oznake 35/700/840. Aktiviranje eksploziva izvršeno je nonel detonatorima tunelskog tipa.

S obzirom na značaj objekta u blizini koga su se izvodila miniranja, usvojena je maksimalna brzina oscilovanja stenske mase 10 mm/s. Posle izrađenih 40 m tunela usvojena je maksimalna brzina oscilovanja 15 mm/s. Za merenje brzine oscilovanja stenske mase, korišćen je instrument tipa Vibraloc, proizvod švedske firme ABEM.

U Tabeli 3. dat je pregled ukupnih količina eksploziva pri miniranju Q_{uk} , maksimalnih količina eksploziva po jednom intervalu Q_i , registrovanih vrednosti brzina oscilovanja po komponentama v_v , v_t , v_l , rezultujućih maksimalnih brzina oscilovanja v_{max} , stvarnih brzina oscilovanja v_{st} , vrednosti frekvenci po komponentama f_v , f_t , f_l , kao i ocena rezultata merenja na osnovu napred navedenih kriterijuma, za deset miniranja na ukupno četiri merna mesta.

6. Pregled i ocena rezultata merenja

Pošto Republika Srbija nema propise kojima se reguliše ova problematika, za ocenu intenziteta potresa nastalih izvođenjem miniranja i njihov uticaj na okolne građevinske objekte, primenjeni su sledeći kriterijumi: kriterijum po skali IFZ Akademije nauka Rusije, kriterijum po DIN 4150 i kriterijum prema USA normama. U Tabeli 3. data je ocena rezultata merenja prema napred navedenim kriterijumima za deset miniranja, na ukupno četiri merna mesta.

Za ocenu izvedenih miniranja, korišćene su sledeće oznake i to za:

Kriterijum po skali IFZ Akademije nauka Rusije:

A – zadovoljava, u granicama dozvoljenih brzina oscilovanja,

B – ne zadovoljava, iznad granice dozvoljenih vrednosti brzine oscilovanja.

Kriterijum po DIN-u 4150:

C – zadovoljava, u granicama dozvoljenih brzina oscilovanja,

D – ne zadovoljava, iznad granice dozvoljenih vrednosti brzine oscilovanja.

Kriterijum po USA normama:

E – zadovoljava, u granicama dozvoljenih brzina oscilovanja,

F – ne zadovoljava, iznad granice dozvoljenih vrednosti brzine oscilovanja.

Tabela 3. Pregled parametara miniranja sa ocenom rezultata merenja pri iskupu tunela Golubac

MM	Q_{uk}	Q_i	v_v	v_t	v_l	v_{max}	v_{st}	f_v	f_t	f_l	IFZ	DIN	US
1-M1	1,60	0,20	2,962	1,501	1,076	3,490	3,10	102	85,3	102	A	C	E
1-M2	1,60	0,20	6,046	4,356	2,726	7,934	6,87	104	147	115	A	C	E
1-M3	1,60	0,20	1,924	1,460	0,858	2,563	2,12	125	133	107	A	C	E
2-M1	1,60	0,20	2,962	1,501	1,076	3,490	3,10	102	85,3	102	A	C	E
2-M2	1,60	0,20	6,046	4,356	2,726	7,934	6,87	104	147	115	A	C	E
2-M3	1,60	0,20	1,924	1,460	0,858	2,563	2,12	125	133	107	A	C	E
3-M1	2,50	0,50	3,415	1,788	1,211	4,040	3,74	138	122	122	A	C	E
3-M2	2,50	0,50	5,910	7,019	3,910	9,974	8,55	128	109	97,1	A	C	E
3-M3	2,50	0,50	2,128	2,477	1,497	3,592	2,67	128	148	68,9	A	C	E
4-M1	3,38	0,845	1,606	1,126	0,852	2,138	1,74	121	128	156	A	C	E
4-M2	3,38	0,845	3,910	6,274	3,575	8,212	7,11	148	134	105	A	C	E
4-M3	3,38	0,845	2,416	1,858	1,276	3,304	2,63	126	159	132	A	C	E
5-M1	3,36	0,75	6,647	2,075	2,579	7,265	6,71	102	58,4	117	A	C	E
5-M2	3,36	0,75	4,296	1,851	1,206	4,831	4,53	95,8	78,9	91,6	A	C	E
5-M3	3,36	0,75	2,416	2,212	2,201	3,946	3,20	120	146	91,2	A	C	E
6-M1	4,20	1,20	5,902	2,936	3,117	7,292	6,79	120	58,2	135	A	C	E
6-M2	4,20	1,20	8,296	3,340	1,899	9,147	8,82	96,1	81,9	94,2	A	C	E
6-M3	4,20	1,20	3,334	2,610	3,037	5,211	4,09	127	132	103	A	C	E
7-M1	3,60	0,40	4,545	3,245	2,400	6,078	5,88	124	79,3	72,3	A	C	E
7-M2	3,60	0,40	2,205	1,286	1,159	2,970	2,47	114	157	156	A	C	E
7-M3	3,60	0,40	1,947	2,345	2,729	4,091	3,03	141	159	130	A	C	E
8-M1	2,28	0,30	6,490	3,708	3,431	8,224	7,91	112	61,5	145	A	C	E
8-M2	2,28	0,30	6,728	2,302	2,033	7,395	6,89	114	90,4	111	A	C	E
8-M3	2,28	0,30	2,573	3,163	3,939	5,669	4,20	117	136	67,2	A	C	E
9-M2	94,752	2,303	3,364	3,250	2,726	5,414	4,00	115	137	123	A	C	E
9-M3	94,752	2,303	11,878	8,290	6,228	15,771	13,59	108	85	101	BA	C	E
9-M4	94,752	2,303	4,254	4,533	5,504	8,303	5,64	110	81,4	63,3	A	C	E
10-M2	17,766	0,987	1,659	1,557	1,363	2,652	2,34	103	135	100	A	C	E
10-M3	17,766	0,987	7,384	5,331	5,128	10,452	7,94	103	103	73,5	A	C	E
10-M4	17,766	0,987	3,703	5,841	4,740	8,384	6,96	90,5	79,5	75,7	A	C	E

7. Zaključak

Pri izgradnji tunela Golubac izveden je veći broj miniranja na iskupu stenske mase. U ovom radu, prikazan je deo rezultata miniranja i merenja (10 miniranja na ukupno 4 merna mesta) i njihov uticaj na

okolne objekte pri izradi tunela Golubac. Miniranja su izvedena u cilju iskopa stenske mase tunela. Za miniranje je korišćen eksploziv Emulex-1. Za aktiviranje eksploziva korišćeni su nonel detonatori tunelskog tipa.

S obzirom na značaj objekta u blizini koga su se izvodila miniranja, usvojena je maksimalna dozvoljena brzina oscilovanja stenske mase 15 mm/s.

Vrednosti brzine oscilovanja stenske mase za merna mesta MM1, MM2 i MM4, prema kriterijumu IFZ Akademije nauka Rusije, prema kriterijumu DIN i prema USA kriterijumu, za sva miniranja su u okviru dozvoljenih vrednosti, pa nemaju uticaja na građevinske objekte.

Vrednosti brzine oscilovanja stenske mase za merno mesto MM3, prema kriterijumu IFZ Akademije nauka Rusije, za sva miniranja, nisu u okviru dozvoljenih vrednosti. Pri miniranju broj 9, maksimalna brzina oscilovanja je nešto iznad dozvoljenih vrednosti, dok je stvarna brzina oscilovanja u granicama dozvoljenih vrednosti. Za sva ostala miniranja maksimalne registrovane brzine oscilovanja stenske mase su u okviru dozvoljenih vrednosti, pa nemaju uticaja na građevinske objekte. Prema kriterijumu DIN i prema USA kriterijumu, maksimalne brzine oscilovanja stenske mase i frekvence za sva miniranja su u okviru dozvoljenih vrednosti.

Na osnovu dobijenih rezultata merenja i različite ocene intenziteta seizmičkog dejstva po napred navedenim kriterijumima, ukazuje se na neophodnost regulisanja ove pojave našim propisima, kako bi se izbegle nedoumice pri oceni seizmičkog dejstva eksplozije, koje nastaje kao posledica miniranja.

Literatura

- [1] Ongen, T., Karakus, D., Konak, G., Onur, A. H. (2018): Assessment of blast-induced vibration using various estimation models. *Journal of African Earth Sciences*, 145, 267-273
- [2] Xu, Q., Wang, Z. Q. (2021): Model for calculating seismic wave spectrum excited by explosive source. *Shock and Vibration*
- [3] Gonen, A. (2022): Investigation of Fault Effect on Blast-Induced Vibration. *Applied Sciences*, 12(5), 2278
- [4] Wang, T. C., Lee, C. Y., Wang, I. T. (2017): Analysis of blasting vibration wave propagation based on finite element numerical calculation and experimental investigations. *Journal of Vibroengineering*, 19(4), 2703-2712
- [5] Kutuev, V., Menshikov, P., Zharikov, S. (2020): Analysis of blasting seismic impact on underground mining workings under the conditions of the Magnezitovaya mine. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 192, p. 01029). EDP Sciences
- [6] Trifunović, P., Tokalić R., Đukanović, N. (2009): Materijali u rudarstvu, str. 235-236, ISBN 978-86-7352-187-9, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- [7] Trajković, S., Lutovac, S. (2014): Zaštita od miniranja, str. 89-90, ISBN 978-86-7352-251-7, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- [8] Trajković Slobodan (1993): Oblast primene zakona brzine oscilovanja stenske mase izazvane miniranjem sa posebnim osvrtom na rudarske radove, str. 1-201, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
- [9] Trajković, S.; Tokalić R.; Lutovac, S.; Bajić S.; Ravilić M.; Gaćina R. (2015): Tehnički projekat bušenja i miniranja pri iskopu tunela Golubac - kod Golupca, str. 1-62, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd



**SISTEM MENADŽMENTA ENERGIJOM PREMA ZAHTEVIMA MEĐUNARODNOG
STANDARDA ISO 50001:2018 U OGRANKU RB KOLUBARA, LAZAREVAC**

**ENERGY MANAGEMENT SYSTEM ACCORDING TO INTERNATIONAL STANDARD ISO
50001:2018, IN BRANCH RB KOLUBARA LAZAREVAC**

Miladinović D.¹, Petković G.²

Apstrakt

Sistem upravljanja energijom prema standardu ISO 50001:2018 u Ogranaku RB Kolubara dobija na značaju nakon sprovedene resertifikacione provere od strane sertifikacionog tela Bureau Veritas, Beograd, u septembru 2021. godine. Na osnovu preporuke vođe tima nastavljen je kontinuitet važenja sertifikata do 24.09.2024. godine.

Aktivnosti kontinualnog unapređenja sistema upravljanja energijom i energetske efikasnosti u Ogranaku RB Kolubara nastavljene su trećom iteracijom postavki od strane Organizacije definisanjem procedura i uputstva koje su pretrpele adekvatne izmene zbog potrebe usaglašavanja sa poslednjim verzijama zakonske regulative donesene u 2021. godini.

Na ovaj način stvorena je proširena baza generisanih dokumentovanih informacija, odnosno zapisa o relevantnim energetskim podacima na osnovu kojih se sprovodi upravljanje energetskom efikasnošću u smeru ostvarivanja energetskih ciljeva. Relevantne dokumentovane informacije generisane su na osnovu multidisciplinarnog pristupa Tima za upravljanje energijom opsežnom analizom kvantifikovanih identifikovanih podataka o vrednostima proizvodnje, potrošnje energije i energenata i drugih indikatora prikupljenih za period od 2016. do 2021. godine.

Kontekstom, dekompozicijom i ocenom najvećih rizika procesa i aktivnosti energetskog preispitivanja u RB Kolubara tretirane su aktivnosti od značajnog uticaja na korišćenje energije pri čemu su ustanovljene vrednosti indikatora energetskih performansi i osnovne karakteristike relevantnih varijabli (parametara) od značajnog uticaja na korišćenje energije u procesima proizvodnje, prerade uglja, proizvodnji toplotne energije i tehnološke pare, eksploataciji vozila i pomoćne mehanizacije kao i proizvodnji energetske opreme.

Dobijene informacije prikazuju stanje sistema upravljanja energijom u ogranaku RB Kolubara i predstavljaju saopštenja ovog rada u cilju da na transparentan način upozna relevantna lica, pre svega vlasnike energetskih procesa o značaju energetske efikasnosti, kao i stvaranje korporativne kulture upotrebe energije, posebno u oblastima značajnog korišćenja.

Ključne reči: energetski menadžment sistem, energetsko planiranje, indikatori energetskih performansi

Abstract

The energy management system according to the ISO 50001:2018 standard in the RB Kolubara Branch gained importance after the certification check by the certification body Bureau Veritas, Belgrade, in September 2021. Based on the recommendation of the team leader, the validity of the certificate was

¹ Miladinović Dragan, MC Kolubara, Lazarevac, Srbija

² Petković Goran, MC Kolubara, Lazarevac, Srbija

continued until September 24, 2024.

The activities of continuous improvement of the energy management system and energy efficiency in the RB Kolubara Branch continued with the third iteration of settings by the Organization by defining procedures and instructions that underwent adequate changes due to the need to harmonize with the latest versions of the legal regulations adopted in 2021.

In this way, an expanded database of generated documented information, that is, records of relevant energy data, based on which energy efficiency management is implemented in the direction of achieving energy goals, was created. The relevant documented information was generated based on the multidisciplinary approach of the Energy Management Team through extensive analysis of quantified identified data on production values, energy consumption and energy sources and other indicators collected for the period from 2016 to 2021.

The obtained information shows the state of the energy management system in the RB Kolubara branch and presents the announcements of this work in order to transparently inform the relevant persons, primarily the owners of energy processes, about the importance of energy efficiency, as well as the creation of a corporate culture of energy use, especially in areas of significant use.

Keywords: Energy Management System, an energy planning, energy performance indicators

1. Uvod

Ogranak RB Kolubara Lazarevac, koji je organizovan i posluje u sastavu JP EPS u skladu sa zakonom, Statutom i opštim aktima JP EPS, sertifikovan je od strane sertifikacionog tela Bureau Veritas, Beograd, krajem septembra 2018. godine prema zahtevima prethodne verzije sistema menadžmenta energijom ISO 50001:2011. Sistem upravljanja energijom resertifikovan je prema poslednjoj verziji standarda ISO 50001:2018 [3] na osnovu resertifikacione provere koja je sprovedena je intervalu od 06. do 08.09.2021. godine. Na osnovu preporuke vođe tima nastavljen je kontinuitet važenja sertifikata prema zahtevima međunarodnog standarda ISO 50001:2018 do 24.09.2024. godine [4].

Relevantne informacije koje se odnose na najznačajnije aspekte sistema upravljanja energijom, u meri koja je prihvatljiva za vrstu saopštenja, koja predstavljaju prikaze u ovom radu, generisane su kroz opservacije za potrebe energetskog pregleda sprovedenog u Ogranku RB Kolubara [2]. Zahtevima predmeta Izveštaja o energetskom preispitivanju [7] obuhvaćene su relevantne oblasti analize koje su sprovedene na osnovu prikupljenih relevantnih podataka (proizvodnja uglja, otkopavanje jalovine, proizvodnja toplotne energije i tehnološke pare, proizvodnja vode, konzumenti, potrošnja energije, energenti, upotrebljeni resursi itd.).

Na osnovu sprovedenih analiza, sintezom, utvrđeni su (identifikovani i definisani) konkretni indikatori energetskih performansi (*EnPI*) i odgovarajuća energetska osnova – energetska poredbena vrednost (*EnB*) za period opservacije od 2016. do 2021. godine. Sintetizovane relevantne dokumentovane informacije, generisane na osnovu sprovedenih komparacija vrednosti za 2021./2020. godinu, prikazane su na preispitivanju od strane najvišeg rukovodstva početkom 2022. godine. Kontinualna poboljšanja sistema i usaglašavanje sa poslednjom verzijom zakonske regulative u srazmeri su sa realizacijom mera za unapređenje energetske efikasnosti, a na osnovu zaključaka sa poslednjeg preispitivanja od strane rukovodstva, kao i u skladu sa usvojenim godišnjim planom potreba i pridržavanjem mera za usaglašavanje sa ustanovljenim postavkama sistema u Ogranku RB Kolubara.

Na osnovu zaključnih razmatranja prema komparacijama definisani su opšti ciljevi na nivou Ogranaka i posebni ciljevi za svaku organizacionu celinu, odnosno Pogon. Na osnovu definisanih ciljeva izrađeni su konkretnih akcionih planova za upravljanje energijom (FI.6.2.1.0.2).

2. Identifikacija organizacije u status obveznika sistema energetskog menadžmenta (OSEM) u okviru područja primene

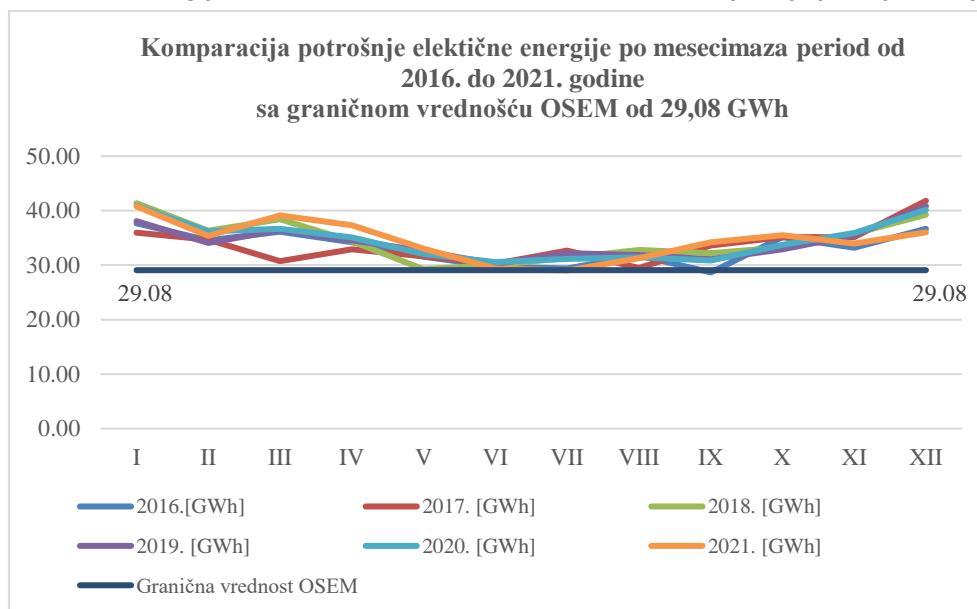
Primarna predmetna opservacija ima za cilj identifikaciju Organizacije u status obveznika sistema

energetskog menadžmenta (OSEM) i ustanovljenje mera za usaglašavanje sa zakonskom regulativom iz oblasti energetske efikasnosti [5]. Takođe, identifikacijom oblasti korišćenja i upotrebe energije i energenata utvrđeni su nivoi najznačajnije potrošnje za koje su određene prioritne mere za poboljšanje energetskog učinka i stvaranje uslova za kontinualno unapređenje EnMS-a.

Područje primene energetskog preispitivanja obuhvata sledeće organizacione celine: OC Kopovi, OC Prerada, OC Metal i OC Direkcija sa fokusom na objekte sa značajnom upotrebom energije na lokacijama: Baroševac, Kalenić, Vreoci, Zeoke i drugi koji pripadaju Ogranku RB Kolubara. Cilj preispitivanja je sprovođenje analize upotrebe energije kako bi se definisali egzaktni zahtevi za primenu, održavanje i unapređivanje sistema upravljanja energijom (*EnMS*) na osnovu uspostavljenog sistemskog pristupa upravljanja energijom u Ogranku RB Kolubara u cilju postizanja kontinualnih poboljšanja svojih energetskih performansi (*EnPI*), energetskih karakteristika i energetske efikasnosti (*EE*), optimizacijom korišćenja energije i ekonomske opravdanosti potrošnje energije.

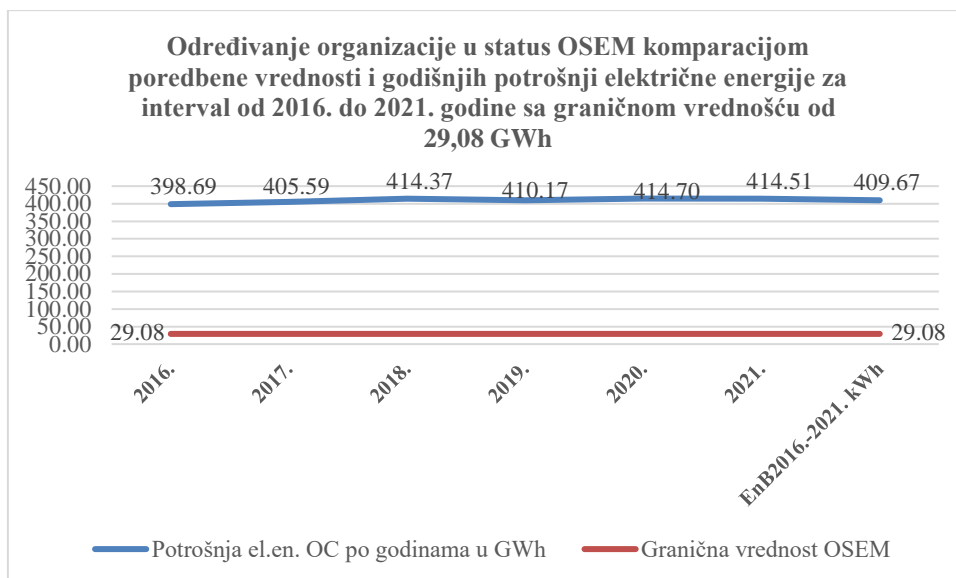
Zakonom o energetske efikasnosti i racionalnom korišćenju energije [9] i Uredbom o utvrđivanju graničnih vrednosti godišnje potrošnje energije [8] određuje se koja privredna društva su obveznici sistema energetskog menadžmenta sa zahtevom godišnjih ciljeva uštede energije i dostavljanja obrasca prijave o ostvarenoj potrošnji energije [6]. Obaveza uštede primarne energije za Obveznike SEM u iznosu od 1 [%] na godišnjem nivou odnosi se na:

A1 - Privredna društva sa pretežnom delatnošću u proizvodnom sektoru, ukoliko koriste više od propisane vrednosti energije (2.500 [toe], odnosno 29,08 [GWh]) na najmanje jednoj lokaciji.



Slika 1. Linijski dijagram poređenja potrošnje električne energije po mesecima u periodu od 2016. do 2021. godini sa graničnom vrednošću identifikacije organizacije u status obveznika sistema energetskog menadžmenta (OSEM) od 29,08 [GWh]

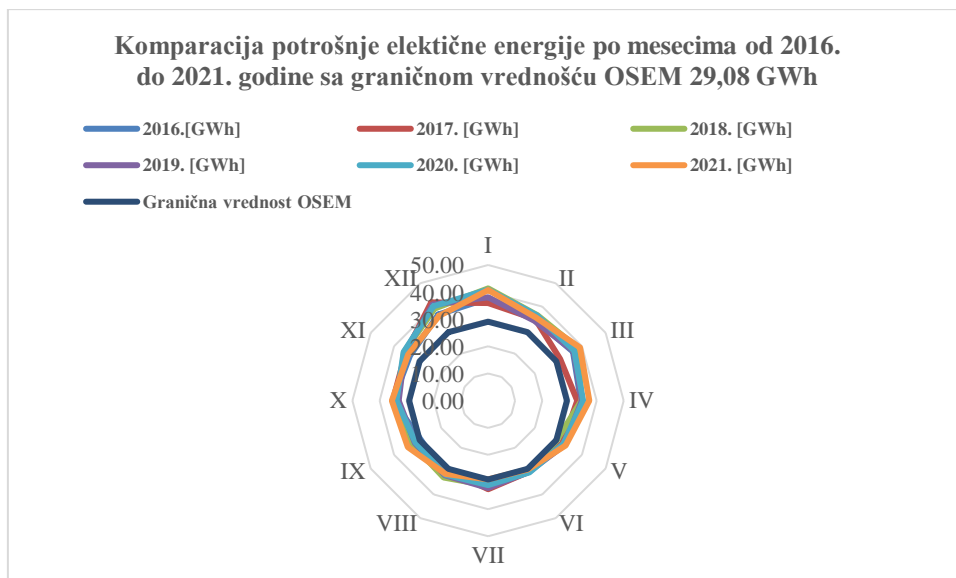
Na Slici 1 prikazan je linijski dijagram poređenja potrošnje električne energije po mesecima u periodu od 2016. do 2021. godine sa graničnom vrednošću od 29,08 [GWh] pri kojoj se organizacija identifikuje u status obveznika sistema energetskog menadžmenta (OSEM). Potrošnja električne energije u 2021. godini u Ogranku RB Kolubara 14,25 puta je veća od granične vrednosti propisane za obveznike sistema energetskog menadžmenta.



Slika 2. Linijski dijagram poređenja poredbene vrednosti ($EnB_{sr,vr.2016.-2021.}$) i potrošnje električne energije po godinama u intervalu od 2016. do 2021. godine sa graničnom vrednošću identifikacije organizacije u status obveznika sistema energetskog menadžmenta (OSEM) od 29,08 [GWh]

Na Slici 2 dat je grafički prikaz linijskim dijagramom poređenje godišnjih potrošnji električne energije za period od 2016. do 2021. godine sa graničnom vrednošću od 29,08 [GWh] pri kojoj se organizacija identifikuje u status obveznika sistema energetskog menadžmenta (OSEM). U 2016. godini RB Kolubara 13,71 puta nadilazi vrednost potrošnje električne energije OSEM, a u 2020. godini u kojoj je najveća potrošnja električne energije u opserviranom periodu, 14,26 puta.

Opservacijom Slike 3, koja grafički prikazuje poređenja potrošnje električne energije po mesecima za period od 2016. do 2021. godini sa graničnom vrednošću identifikacije organizacije u (OSEM) od 29,08 [GWh] dijagramom *paukova mreža*, na prvi pogled uočavamo da je Ogranak RB Kolubara pozicionirana u status obveznika sistema energetskog menadžmenta.



Slika 3. Dijagram "paukova mreža" poređenja potrošnje električne energije po mesecima za period od 2016. do 2021. godini sa graničnom vrednošću identifikacije organizacije u status obveznika sistema energetskog menadžmenta (OSEM) od 29,08 [GWh]

Slike 1, 2, i 3 izrađene su upotrebom prostih alata kvaliteta [1] na osnovu podataka iz Tabele 1. Analiza relevantnih podataka o potrošnji električne energije u opserviranom periodu obuhvaćena je Izveštajem o energetske planiranju i preispitivanju u Ogranku RB Kolubara za 2021. godinu [7] na osnovu generisanih informacija o potrošnji električne energije u intervalu od 2016. do 2021. godine.

3. Određivanje područja značajnog korišćenja energije

Energetskim auditom u području primene sistema upravljanja energijom u Ogranku RB Kolubara identifikovana su područja značajne upotrebe i potrošnje energije prema sledećem sadržaju: energetske procesi i aktivnosti, energetske potrošači na pogonima i objekti u formalnim organizacionim celinama. Utvrđivanje dokumentovanih informacija obavlja se pomoću ček listi za prikupljanje relevantnih podataka a na osnovu generisanih informacija nastalih na osnovu podataka prikazanih u godišnjim izveštajima. Karakteristični profili potrošnje energije su od suštinske važnosti u pogledu praćenja stanja sistema upravljanja energijom i određivanja područja značajnog korišćenja energije. Područja značajnog korišćenja energije identifikovana su prema odgovarajućoj metodologiji, na osnovu analize korišćenja i potrošnje energije upotrebom alata kvaliteta, odnosno metoda i tehnika za unapređenje procesa rada [1] i odlučivanje na osnovu činjeničnog stanja.

Tabela 1. Potrošnja električne energije prema organizacionim celinama Ogranka RB Kolubara u kWh za interval od 2016. do 2021. godine i komparacija sa poredbenom vrednošću ($EnB_{2016.-2021.}$) u [%]

Potrošnja el. en. OC po godinama [kWh]	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.	$EnB_{2016.-2021.}$ kWh
Kopovi	349415047,89	357448343,81	369048412,34	367578814,00	369421740,00	370983657,00	363982669,17
Prerada	42706912,04	41329434,80	38703314,05	36689526,76	39403631,61	37910953,69	39457295,49
Metal	5643208,20	5778655,80	5661751,20	5556271,80	5498469,70	5159893,40	5549708,35
Direkcija	920953,00	1037231,00	957574,30	342929,00	376296,00	453322,00	681384,22
Ukupno [kWh]	398686121,13	405593665,41	414371051,89	410167541,56	414700137,31	414507826,09	409671057,23
Koparacije sa EnB (%)	-2,68	-1,00	1,15	0,12	1,23	1,18	
Ukupna potrošnja el.en. OC po god. [GWh]	398,69	405,59	414,37	410,17	414,70	414,51	409,67

Tabela 1 sadrži relevantne numeričke podatke koji obuhvataju informacije o potrošnji električne energije prema organizacionim celinama Ogranka RB Kolubara izraženih u [kWh] i [GWh] generisanih za interval od 2016. do 2021. godine na osnovu kojih je izvršeno sračunavanje energetske poredbene vrednosti ($EnB_{2016.-2021.}$) sa kojom je izvršena komparacija sa vrednošću potrošnje za svaku godinu iz perioda opservacije. Komparirane vrednosti izražene su u procentima [%].

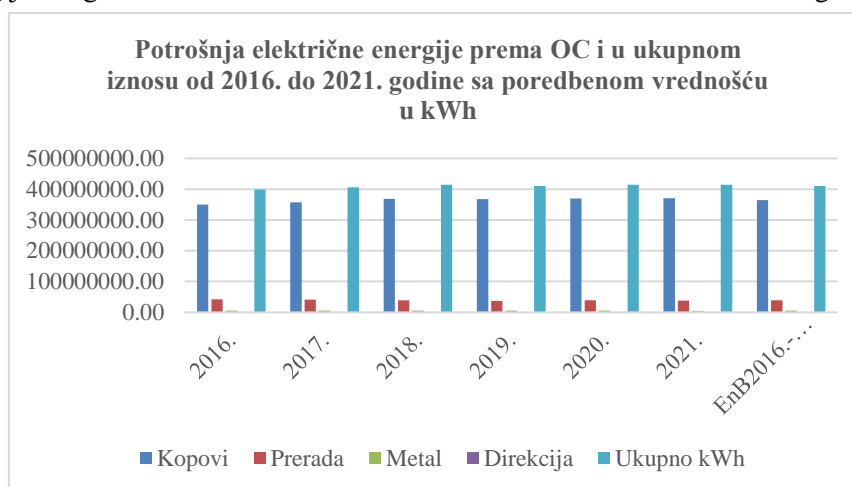
Raspon potrošnje električne energije po godinama kretao se u sledećim granicama:

$$R_{el.en.2016.-2021.} (398,69; 414,70) [GWh].$$

Najmanja potrošnja električne energije bila je u 2016. godini u iznosu od 398,69 [GWh], a najveća potrošnja električne energije bila je 2020. godine u iznosu od 414,70 [GWh].

U Tabeli 1 dati su podaci o potrošnji električne energije u 2021. godini prema organizacionim celinama i delovima u Ogranku RB Kolubara na osnovu kojih su grafički prikazane komparacije vrednosti i njihovo pojedinačno učešće u ukupnoj godišnjoj potrošnji u [%] (Slika 4), kao i Pareto dijagram procentualne participacije pojedinih organizacionih celina u ukupnoj potrošnji električne energije u Ogranku RB Kolubara (Slika 5).

Na osnovu podataka sadržanih u Tabeli 1 izrađena je Slika 4 koja prikazuje stubni dijagram ukupne potrošnje električne energije, kao i učešće pojedinih organizacionih celina u ukupnoj potrošnji električne energije u Ogranku RB Kolubara za vremenski interval od 2016. do 2021. godine u [kWh].



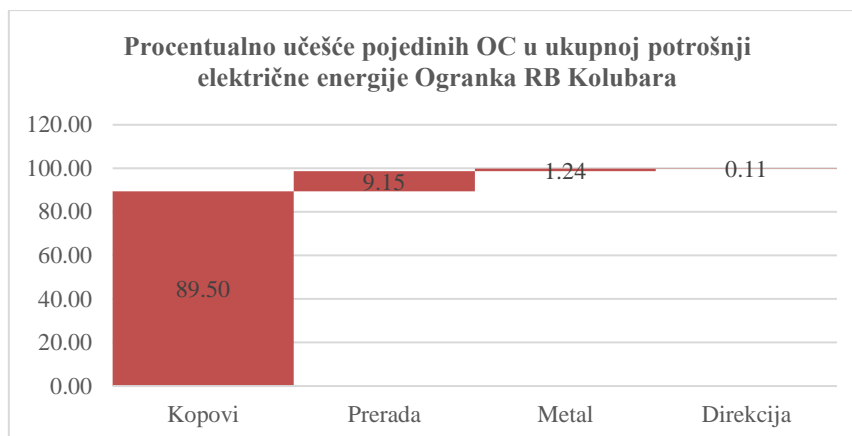
Slika 4. Stubni dijagram ukupne potrošnje električne energije sa participacijom pojedinih organizacionih celina u ukupnoj potrošnji u Ogranku RB Kolubara za 2021. godinu u [kWh]

Na osnovu Tabele 1 u kojoj je dat prikaz potrošnje električne energije u 2021. godini prema organizacionim celinama Ogranka RB Kolubara u [GWh] uočavamo da je najveća potrošnja od 370,984 [GWh] u OC Kopovi, a procentualno učešće iznosi 89,50 [%] u ukupnoj potrošnji električne energije koja u 2021. godini koja iznosi 414,508 [GWh]. Komparacijom ukupne potrošene električne energije u Ogranku RB Kolubara sa graničnom vrednošću potrošnje za OSEM uočavamo određenje Organizacije u status OSEM, s obzirom na potrošnju električne energije koja u ukupnom iznosu 14,25 puta premašuje navedeni zakonski zahtev.

Na osnovu Tabele 1 u kojoj je dat prikaz podataka o potrošnji električne energije za 2021. godinu prema organizacionim delovima u Ogranku RB Kolubara, sačinjena je Slika 5 na kojoj je dat grafički prikaz Pareto dijagrama rasporeda procentualnog odnosa potrošnje na osnovu kojih se pristupa definisanju prioriteta za sprovođenje mera energetske efikasnosti, a prema ABC oblastima. Uočavamo sledeće oblasti:

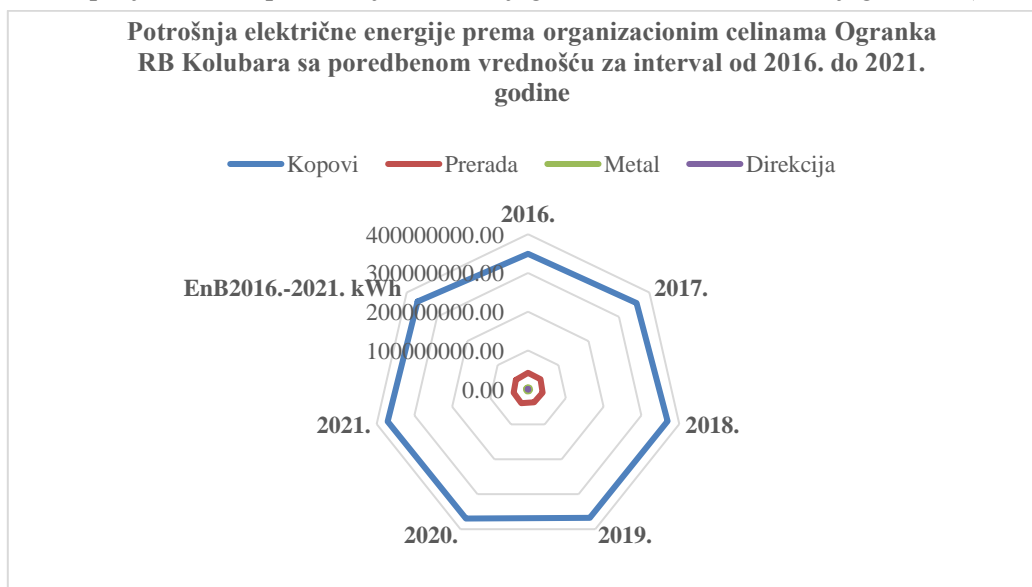
- **A oblast:** Tamnava Istočno polje, Tamnava Zapadno Polje i Radljevo koji participiraju sa 51,61 [%] i Pogon Polje D sa 20,71 [%], ukupno 72,32 [%].
- **B oblast:** Polje B 17,09 [%].
- **Oblast A i B:** OC Kopovi 89,5 [%].
- **C oblast:** Ostali - Oplemenjivanje uglja, Suva separacija, Železnički transport, OC Metal, Komercijalni sektor, i Sektor za proizvodno tehničke poslove 10,50 [%], odnosno, OC Prerada 9,15 [%], OC Metal 1,24 [%] i OC Direkcija 0,11 [%].

Najveća potrošnja električne energije pripada organizacionoj celine Površinski kopovi, Baroševac, zatim OC Prerada, OC Metal i OC Direkcija. Fokus mera za unapređenje energetske efikasnosti neophodno je usmeriti ka OC Kopovi. Svaka organizaciona celina, nezavisno do participacije u potrošnji električne energije sprovodi mere za podizanje nivoa energetske učinka u skladu sa svojim identifikovanim izvorima energije, indikatorima energetske performansi, identifikovanim oblastima značajne potrošnje energije i specifičnostima potrošnje i korišćenja energije i energenata.



Slika 5. Pareto dijagram procentualne participacije pojedinih organizacionih celina u ukupnoj potrošnji električne energije u Ogranku RB Kolubara za 2021. godinu

Slika 6 koja je takođe, izrađena na osnovu podataka sadržanih u Tabeli 1, prikazuje dijagram *paukova mreža* sa učešćem pojedinih organizacionih celina u ukupnoj potrošnji električne energije u Ogranku RB Kolubara prema godinama od 2016. do 2021. godine i sa poredbenim vrednostima izraženim u [kWh]. Grafički dijagram slikovito prikazuje da prvi *prsten* koji pripada OC Kopovima zahvata najveću površinu dijagrama, a zatim OC Prerada, a najmanju *ostali*. Ovaj odnos pojedinih učešća u celokupnoj vrednosti prikazan je Pareto dijagramom, odnosno ABC dijagramom (Slika 5).



Slika 6. Dijagram „paukova mreža“ učešća pojedinačnih organizacionih celina u ukupnoj potrošnji električne energije u Ogranku RB Kolubara za interval od 2016. do 2021. godine u [kWh]

4. Odnos potrošnje električne energije u odnosu na poredbenu vrednost

Od značaja je sprovesti opservaciju komparacije potrošnje električne energije u odnosu na poredbenu vrednost, čija veličina se definiše na osnovu prosečne vrednosti sračunate za period posmatranja, u našem slučaju od 2016. do 2021. godine. Energetska poredbena vrednost (*energy base line*) iznosi $EnB_{2016.-2021.} = 409,671 [GWh]$.

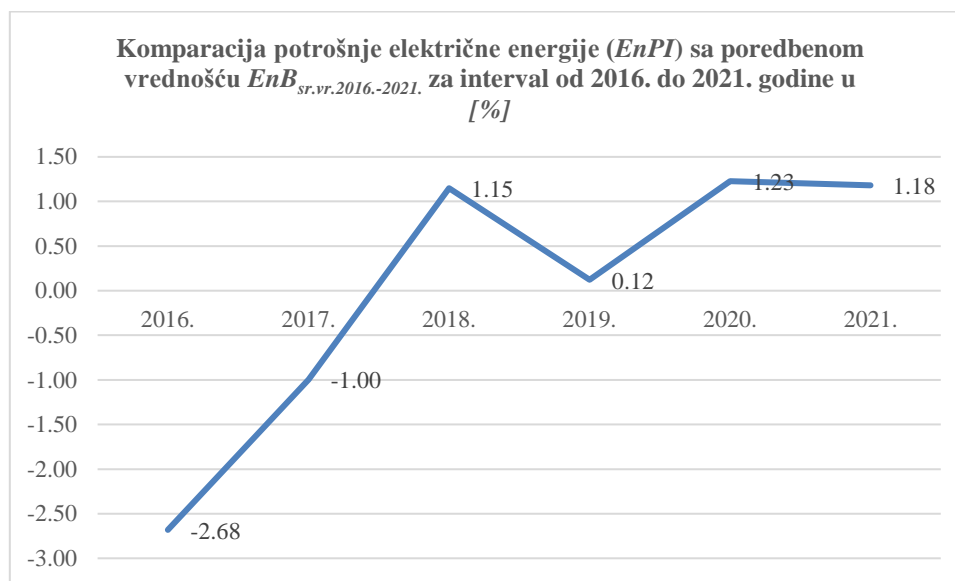
Slika 1 linijskim dijagramom prikazuje relevantne numeričke podatke koji daju uvid u informacije o kompariranim vrednostima o potrošnji električne energije prema sa energetskom poredbenom vrednošću ($EnB_{2016.-2021.}$) izraženih u [%], a odnose se na interval od 2016. do 2021. godine. Na osnovu

sračunatih vrednosti dobijenih komparacijom uočavamo procentualni raspon u sledećim granicama:

Rel.en.2016.-2021. (-2,68; 1,23) [%].

Najmanja procentualna vrednost bila je u 2016. godini i iznosila je -2,68 [%], a najveća procentualna vrednost bila je 2020. godine i iznosila je 1,23 [GWh].

Povoljna očekivana vrednost je procentualno smanjenje potrošnje električne energije u odnosu na poredbenu vrednost (*EnB*), kao i očekivanje da se potrošnja električne energije u tekućoj u odnosu na prethodnu godinu smanji. Zakonski zahtev iznosi, smanjenje od 1 [%], a svako smanjenje koje ne ispunjava zakonski zahtev, zahteva od obveznika sistema energetskog menadžmenta (OSEM) odgovarajuće obrazloženje upućeno kroz izveštaj Ministarstvu rudarstva i energetike u formi obrasca OSEM 1.



Slika 8. Komparacija potrošnje električne energije Ogranka RB Kolubara za interval od 2016. do 2021. godine sa poredbenom vrednošću (*EnB*_{2016.-2021.}) u [%]

5. Zaključak

Izveštaj o energetskom preispitivanju u Ogranku RB Kolubara, koji se zahteva sistemom menadžmenta energijom u okviru tačke planiranja, predstavlja složenu studiju slučaja energetskog audita. Proces planiranja je mnogo više od polazne osnove za uspostavljanje i sertifikaciju sistema, s obzirom da sastoji se od kompleksne dekompozicije aktivnosti i podaktivnosti neophodnih za uspostavljanje, održavanje i unapređenje sistema upravljanja energijom (*EnMS*). Ocena energetskih rizika predstavlja primarnu aktivnost sagledavanja stanja složenog sistema kao što je deo velike elektroprivredne organizacije, Ogranak RB Kolubara. Prikupljanje podataka o potrošnji energije i energenata u dovoljno dugom intervalu omogućava njihovu pravilnu analizu, definisanje indikatora energetskih performansi i njihovih poredbenih vrednosti, kao i njihovu međusobnu komparaciju. Ovo saopštenje sadrži prikaz samo jedne od identifikovanih performansi koje se odnosi na potrošnju električne energije, odabrano između indikatora (*EnPI*) koji definišu proizvodnju uglja, specifičnu potrošnju energije, definisanu kao odnos potrošnje električne energije i proizvodnje uglja, potrošnju energenata kao što su eurodizel, benzin i TNG, proizvodnja vode, proizvodnja toplotne energije i tehnološke pare, ostvarenje norma časova u procesu održavanja i proizvodnje energetske opreme.

Ovaj rad ukazuje na značaj identifikovanja organizacije u obveznika SEM jer je usaglašavanje sa zakonskom (i drugom) regulativom primarni zahtev na koji organizacija mora da odgovori kako bi poslodavac izbegao zakonske sankcije. Kao što se iz istraživanja vidi svaka od organizacionih celina prevazilazi potrošnju električne energije od propisane vrednosti Pravilnikom, a najznačajnija oblast

korišćenja odnosi se na organizacionu celinu Kopovi. Iako značajno manje koriste energiju organizacione celine Prerada, Metal i Direkcija, od ništa manjeg značaja predstavljaju mere za unapređenje energetske efikasnosti koje se planiraju i sprovode na njihovim lokacijama.

Upotrebom prikladnih alata kvaliteta prilikom analize indikatora energetske performanse koji se odnosi na potrošnju električne energije može se uočiti porast potrošnje. Razlog ovakvom stanju je proširivanje proizvodnje i formiranje novih proizvodnih sistema na Pogonima OC Kopovi.

Od značaja je napomenuti u smeru podizanja svesti o unapređenju energetske efikasnosti da mere koje je potrebno implementirati, ne predstavljaju samo mere bez ulaganja finansijskih sredstava, koje su obavezne u smislu pridržavanja radne i tehnološke discipline, već i one mere koje zahtevaju značajna finansijska sredstva. Ulaganje resursa je od prioritetnog značaja, a pojavom energetske ušteda organizaciji ostaje na odluku koji su joj prioriteta za unapređenje energetske efikasnosti. Vremenska opravdanost pojave ušteda je neki pet godina, sve što je ranije to bolje.

Najznačajniji resurs u svim sistemima su ljudi, razvoj njihove kompetentnosti i posvećenosti struci i delegiranim poslovima. RB Kolubara je poslove upravljanja energijom delegirala Timu za upravljanje energijom sačinjenom, pre svega, od imenovanih energetske menadžera. Funkciju predstavnika rukovodstva za energetske menadžment sistem organizacija je zadržala imenovanjem prilikom prve sertifikacije EnMS, bez obzira što prilikom resertifikacije ova funkcija nije obavezujuća.

Ovaj rad, pre svega ima za cilj da ukaže na značaj energetske efikasnosti u svim organizacijama, a posebno u velikim elektroprivrednim sistemima, kao što je JP EPS. Energetska efikasnost nije samo moderan pojam i trend koje se medijski širi. Podizanje korporativne kulture prema svim integrisanim sistemima dobija visok značaj u modernom konkurentskom poslovanju, a energetska efikasnost značajno utiče na sistem upravljanja životnom sredinom.

Literatura

- [1] Miladinović D.: Metode i tehnike unapređenja integrisanih sistema menadžmenta: studija slučaja RB Kolubara d.o.o., Master rad, Fakultet tehničkih nauka Čačak, Čačak, 2013.
- [2] Miladinović D.: Energetsko planiranje i preispitivanje u postupku uvođenja standarda ISO 50001:2011, Upravljanje energijom u Ogranku RB Kolubara, Lazarevac, VIII Međunarodna konferencija Ugalj 2017, Zlatibor, 2017.
- [3] ISO 50001:2018 Energy management systems - Requirements with guidance for use, <https://www.iso.org/publication/PUB100400.html>
- [4] Bureau Veritas Certification, Management System Certification, Audit Report for the ISO 50001:2018, Recertification audit of Elektroprivreda Srbije JP Beograd - Ogranak RB Kolubara, Lazarevac, Serbia, 06.-08.09.2021.
- [5] FI.6.1.2.0.6 Usaglašenost zakonskih i drugih zahteva upravljanja energijom, Broj: 05, Datum: 22.03.2022.
- [6] Pravilnik o obrascu godišnjeg izveštaja o ostvarivanju ciljeva uštede energije (Službeni glasnik RS, broj 32/16)
- [7] Izveštaj o energetskom preispitivanju, Ogranak RB Kolubara, Lazarevac, 2022.
- [8] Uredba o utvrđivanju graničnih vrednosti godišnje potrošnje energije na osnovu kojih se određuje koja privredna društva su obveznici sistema energetskog menadžmenta, godišnjih ciljeva uštede energije i obrasca prijave o ostvarenoj potrošnji energije (Službeni glasnik RS, broj 18/16)
- [9] Zakon o energetskoj efikasnosti i racionalnom korišćenju energije (Službeni glasnik RS broj 40/21)



ISKORIŠĆENOST REZERVU U OGRANIČENOM EKSPLOATACIONOM POLJU

USE OF RESERVES IN A LIMITED MINING FIELD

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

Apstrakt

Prestankom eksploatacije i delimičnom rekultivacijom ležišta gline Garajevac Zapad i ležište gline Garajevac Istok ulazi u fazu trajne obustave radova usled iskorišćenosti rezervi. Da bi obezbedila kontinuitet snabdevanja mineralnom sirovinom, Kompanija je investirala u istraživanja nižih slojeva ležišta Garajevac Istok. Dobijeni rezultati geoloških, hidrogeoloških, geomehaničkih, laboratorijskih i poluindustrijskih ispitivanja, primenjeni su u postupku analize projektnih rešenja u dubinskom zahvatu podinske produktivne serije. Mogućnost realizacije projektnog rešenja usmerena je na ocenu pogodnosti primene sagledanih tehnoloških alternativa u uslovima radne sredine i u okružujućim uslovima.

Ključne reči: les, alevritsko-glinoviti kompleks, alevritsko-peskoviti kompleks

Abstract

With the cessation of mining and partial recultivation of the clay deposit Garajevac Zapad and the clay deposit Garajevac Istok, it enters the phase of permanent suspension of works due to the use of reserves. In order to ensure the continuity of the supply of mineral raw materials, the Company has invested in the research of the lower layers of the Garajevac Istok deposit. The obtained results of geological, hydrogeological, geomechanical, laboratory and semi-industrial tests were applied in the process of analysis of design solutions in the depth of the bottom productive series. The possibility of implementing the project solution is aimed at assessing the suitability of the application of the considered technological alternatives in working conditions and environmental conditions.

Keywords: wood, siltstone-clay complex, siltstone-sandy complex

1. Uvod

Novi Bečej je jedan od pet opštinskih centara srednjebanatskog okruga. Opštinu čine još tri mesta, Novo Miloševo, Kumane i Bočar. Novi Bečej je odlično komunikaciono povezan drumskim, železničkim i rečnim putem. Pored međunarodnog plovnog puta - reke Tise, Novi Bečej je povezan kanalskom mrežom sa Dunavom kod Bezdana i Bele Crkve. Železnička pruga prolazi kroz sva naseljena mesta u opštini, sa vezom prema Pančevu, Zrenjaninu, Kikindi, Beogradu, Subotici itd. Drumska mreža puteva je dobro razvijena, kroz Novi Bečej prolazi regionalni put I reda Novi Sad - Kikinda, i regionalni putevi II reda Novi Bečej - Zrenjanin - Beograd i Novi Bečej - Bašaid - Nova Crnja. Površinski kop Garajevac

¹ Milošević Dragan, Rudarski institut, Beograd

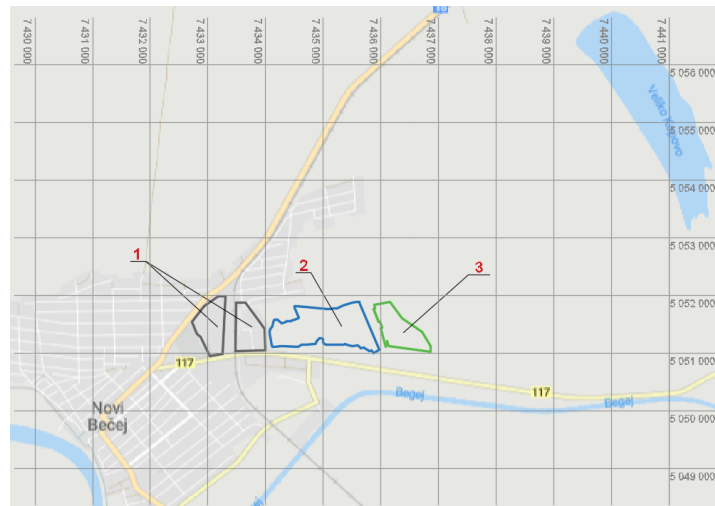
² Praštalo Željko, Rudarski institut, Beograd

³ Grujičić Sanja, Rudarski institut, Beograd

⁴ Čolaković Violeta, Rudarski institut, Beograd

⁵ Čanović Vladan, Rudarski institut, Beograd

Istok se nalazi na oko 2 km istočno od Novog Bečeja, blizu puta Novi Bečej - Bašaid, kojim se obavlja transport do deponije rovne sirovine industrijskog kompleksa fabrike (Slika 1). Snabdevanje industrijskog pogona Poleta opekarskim mineralnim sirovinama, obavlja se sa površinskog kopa Garajevac Istok. Zbog uslova i ograničenja na terenu i nemogućnosti daljeg napredovanja otkopnog fronta prema istoku, eksploatacioni radovi krovinske produktivne serije ležišta Garajevac Istok bili su uslovljeni ka trajnoj obustavi. Da bi obezbedila kontinuitet snabdevanja mineralnom sirovinom, Kompanija je investirala u istraživanja nižih slojeva ležišta Garajevac Istok.



Slika 1. Lokacija pogona AD Polet, IGK Novi Bečej (1), Garajevac Zapad (2) i pov. kop Garajevac Istok (3)

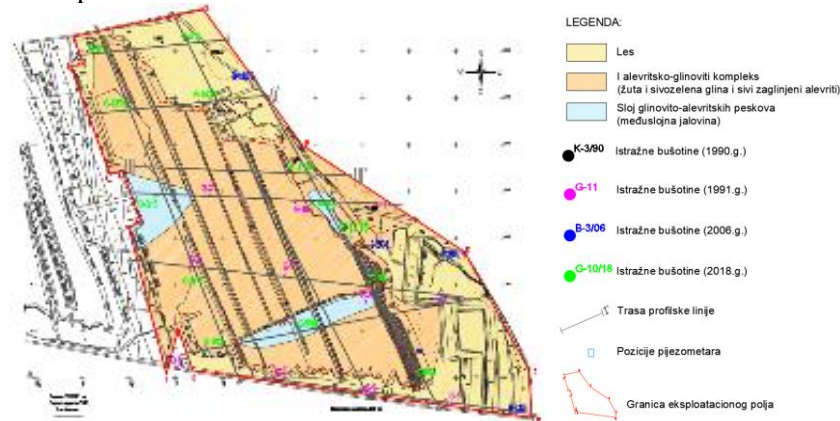
Obeležja lokacije i radne sredine koja imaju opredeljujući uticaj na determinaciju projektnih rešenja dubinskog površinskog zahvata ležišta Garajevac Istok su:

- Morfologija terena ravničarska;
- U hidrološkom pogledu, najbliži objekat je kanal DTD;
- Zemljište u okruženju poljoprivredne namene;
- U neposrednoj blizini površinskog kopa nema prirodnih, kulturnih, istorijskih, stambenih ili drugih objekata i znamenitosti;
- Depresija površinskog kopa Garajevac Zapad, zapadno od površinskog kopa, delimično rekultivisana;
- Ležište slojevito, plitko, horizontalnog zaleganja, dva produktivna sloja alevritske gline i međusloj zamuljenog ovodnjenog peska;
- Eksploatacioni radovi krovinske produktivne serije na površinskom kopu bili su u fazi trajne obustave;
- U planumu, otkopavanje dubinskog sloja gline predviđeno je u granicama postojećeg površinskog kopa i nema degradacije novih površina;
- Za prevoz rovne sirovine do industrijskog kompleksa koristiće se postojeća transportna trasa;
- Postojeće elektroenergetsko napajanje površinskog kopa ostaje u upotrebi.

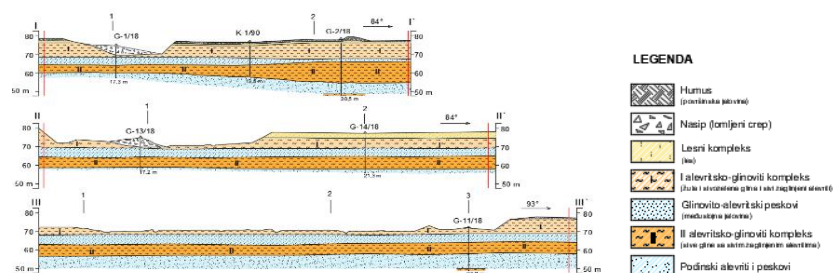
2. Opis ležišta

Rezerve ležišta gline ograničene su sa severa i istoka poljem sa njivama, sa juga regionalnim putem Novi Bečej - Bašaid, dok sa zapada granicu određuje depresija stvorena dosadašnjom eksploatacijom (Slika 2). Po dubini ležište je ograničeno do kote +70 m, s tim da je eksploatacionim zahvatom u cilju zaštite od podzemnih voda dostignuta kota +71 m, koja predstavlja dno površinskog kopa. Ležište je subhorizontalno slojevito a opekarsku sirovinu čine les, prvi i drugi alevritsko-glinoviti kompleks (Slika 3). Ležište grade:

- Humus - površinska jalovina;
- Lesni kompleks (les);
- Prvi alevritsko-glinoviti kompleks (žuta i sivozelena glina i sivi zaglinjeni alevriti);
- Sloj glinovito-alevritskih peskova (međuslojna jalovina);
- Drugi alevritsko-glinoviti kompleks (sive gline sa sivim zaglinjenim alevritima);
- Podinski alevriti i peskovi.



Slika 2. Geološki - situacioni plan ležišta [1]



Slika 3. Geološki profili [1]

3. Analiza uslova dubinskog zahvata

Analiza uslova eksploatacije podinske produktivne serije zasniva se na sagledavanju determinišućih indikatora: prilaz i komunikaciona povezanost lokacije, okružujući uslovi i ograničenja, površina i rešeni imovinsko-pravni odnosi na prostoru eksploatacionog polja, morfologija i hidrologija terena, inženjersko-geološki uslovi u radnoj sredini, degradiranost i nenaseljenost prostora, implementaciona fleksibilnost primenljivih tehnoloških rešenja, mogućnosti razvoja rudarskih radova, dubine zahvata i zahtevi u pogledu zaštite životne sredine. U identifikaciji problema i kategorizaciji njihovog značaja za realizaciju projektnog rešenja, najvišeg preferencijalnog nivoa su:

- Zahvat ležišta u planumu - vezan za problem otkupa zemljišta i stvaranje uslova za neometan razvoj rudarskih radova u granicama overenih bilansnih rezervi opekarskih i keramičkih glina (Slika 4);
- Zahvat ležišta po dubini - vezan za problem podzemnih voda. Umanjena nosivost tla zbog odvodjenosti preferira forsiranom izvođenju rudarskih radova u sušnim periodima.
- Otkrivku - krovinski pesak treba ukloniti što povećava troškove rudarskih radova.



Slika 4. Parcelna karta sa konturom eksploatacionog polja [2]

4. Tehnološko rešenje dubinskog zahvata

Opređeljujući uticaj na izbor tehnologije i opreme za eksploataciju ima ovodnjenost i litologija radne sredine. U vertikalnom zahvatu od površine terena (dno deperesije sadašnjeg površinskog kopa), zbog selektivnog otkopavanja tri materijala, formiraće se:

- podetaža za otkopavanje prvog glinovito – alevritskog sloja, hidroizolacioni tampon,
- treća etaža za otkopavanje sloja peska,
- četvrta etaža za otkopavanje drugog alevritsko – glinovitog sloja.

Tehnološko rešenje nastavka eksploatacionih radova na prostoru eksploatacionog polja površinskog kopa Garajevac Istok obuhvata:

- Izradu objekata predodvodnjavanja;
- Uklanjanje trske i rastinja;
- Iskop preostalih rezervi prvog alevritsko-glinovitog kompleksa;
- Iskop peskovito-glinovitog kompleksa;
- Iskop drugog alevritsko-glinovitog kompleksa.



1 – Eksploataciona granica; 2 – Parcele koje nisu u vlasništvu Kompanije; 3 – Unutrašnje odlagalište, 4 – Spoljašnje odlagalište; 5 – Drenažni kanal
Slika 5. Stanje radova na kraju eksploatacionog zahvata [2]

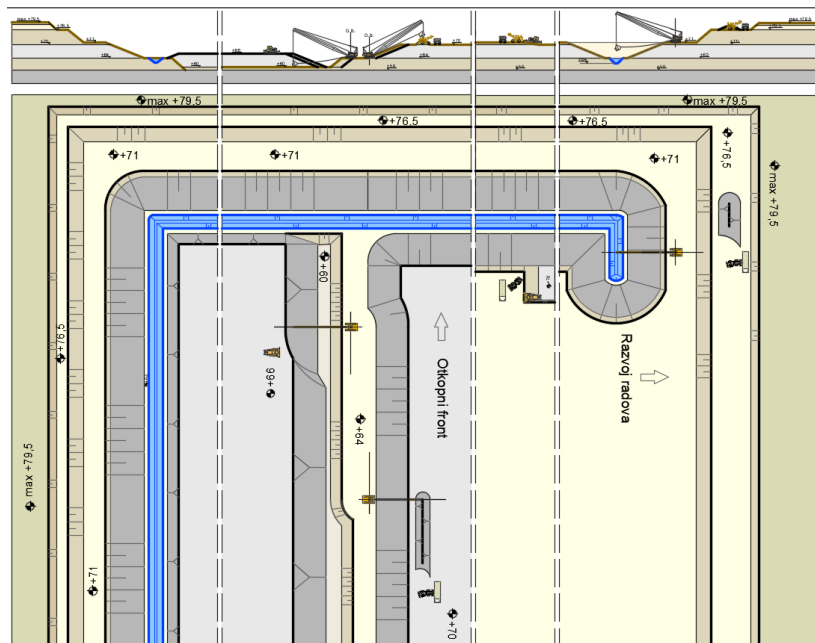
U tom smislu tehnologija eksploatacije mineralne sirovine integriše faze otkopavanja i utovara na površinskom kopa, transport i deponovanje gline u okviru industrijskog kompleksa radi odležavanja i

homogenizacije (Slika 5).

Kako bi se nastavilo sa iskopom preostalih rezervi prvog alevritsko – glinovitog kompleksa potrebno je ukloniti sloj trske i rastinja. Priprema buldozerom, utovar utovarivačem i transport kamionima do lokaliteta predviđenih za rekultivaciju. U cilju nastavka eksploatacionih aktivnosti na prostoru površinskog kopa „Garajevac Istok“ za iskop korisne mineralne sirovine predviđena je izrada objekata predodvodnjavanja. Izgradnjom useka do kote +60 m formira se figura otvaranja kojom započinju eksploatacioni radovi u podinskoj seriji. Istovremeno ona ima funkciju drenaže za prihvatanje procednih voda iz sloja peska. Ovakvim rešenjem postižu se dve koristi. Istim investicionim ulaganjem formira se figura otvaranja i stvaraju uslovi za izvođenje rudarskih radova u podinskoj seriji a istovremeno formira drenaža za prihvatanje i odvođenje podzemnih voda.

Prema projektnom rešenju, po vertikali radovi se dubinski odvijaju na tri nivelete, sekvencijalno od površine terena ka najnižoj niveleti, a u planumu paralelnim pomeranjem otkopnog fronta ka istoku.

Nakon otkopavanja preostalih količina prvog alevritsko – glinovitog kompleksa, diskontinualnim sistemom hidraulični bager, kamion, nastavlja se iskop bagerom dreglajnom, peskovito – glinovitog kompleksa i odlaganje na etažnu ravan, utovar utovarivačem i transport do odlagališnog prostora unutar eksploatacionog polja. Stvaranjem uslova za formiranje unutrašnjeg odlagališta, bagerom dreglajnom se vrši iskop peskovito – glinovitog kompleksa i odlaganje u unutrašnji prostor. Istovremeno se drugim bagerom dreglajnom vrši iskop drugog alevritsko – glinovitog kompleksa i odlaganje na drugu, višu etažu, sa koje utovarivačima vrši utovar u kamione i transportuje do odležavališnog prostora.



Slika 6. Principijelna šema dubinskog zahvata [2]

Specifičnost rada bagera dreglajna na otkopavanju peskovito-glinovitog (prvi bager dreglajn) i alevritsko-glinovitog kompleksa (drugi bager dreglajn) ogleda se u dinamički povezanom radu. Duž trase u pravcu napredovanja fronta radova prvi bager dreglajn vrši iskop otkrivke u visinskom i odlaganje visinski (do formiranja unutrašnjeg odlagališta) a potom dubinski. Drugi bager otkopavanje otkrivke vrši u dubinskom, a odlaganje u visinskom radu. Otkopani i odloženi materijal utovara se utovaračima i odvozi do odlagališta, odnosno odležavališta.

5. Zaključak

Eksploatacija mineralnih sirovina na površinskom kopu „Garajevac Istok“ vršena je na dve etažne ravni. U analitičkom fokusu projektnih uslova determinisane su potencijalne smetnje koje se odnose na

realizaciju konceptualnog rešenja: problem otkupa zemljišta za izvođenje eksploatacionih radova, prisustvo podzemnih voda na prostoru površinskog kopa gde su overene geološke rezerve. Projektnim rešenjem, od najniže nivelete, odnosno dna površinskog kopa, izvršena je vertikalna podela, tako da su formirane dve dubinske etaže, čime je obezbeđen kontinuitet u snabdevanju Industrijskog kompleksa sirovinskom bazom u okviru postojećeg eksploatacionog prostora.

Dubinskim zahvatom podinske produktivne serije na površinskom kopu „Garajevac Istok“ u Novom Bečeju u uslovima radne sredine, ostvaren je bezbedan, efikasan i racionalan eksploatacioni zahvat dubljeg odvodjenog produktivnog sloja korisne mineralne sirovine. Osim velikih proizvodnih koristi, zahvaljujući projektnom rešenju smanjeni su uticaji eksploatacionog zahvata na životnu sredinu.

Literatura

- [1] Grujičić S.: Elaborat o rezervama i resursima opekarske sirovine u ležištu Garajevac Istok, Rudarski institut Beograd, 2019.
- [2] Milošević D.: Glavni rudarski projekat površinske eksploatacije ležišta gline Garajevac Istok, Rudarski institut Beograd, 2019.



**PRIPREMA TERENA U FUNKCJI FORMIRANJA DEPONLIJSKOG PROSTORA ZA
ODLAGANJE GIPSA IZ PROCESA ODSUMPORAVANJA**

**PREPARATION OF THE FIELD IN THE FUNCTION OF FORMING A LANDFILL SPACE
FOR THE DISPOSAL OF GYPSUM FROM THE DESULFURIFICATION PROCESS**

Milošević D.¹, Nešković J.², Stjepanović P.³, Praštalo Ž.⁴, Polavder S.⁵

Apstrakt

Očuvanje životne sredine kao jedna od najaktuelnijih tema današnjice zahteva tehnološki razvoj društva i primenu najsavremenijih tehnologija. Na osnovu analiza uslova koji mogu izazvati štetne efekte na ljudsko zdravlje i eko sisteme u sve većoj meri nameće se potreba za očuvanjem prirode, a posebno rudarski devastiranih površina. Kada je reč o radu termoenergetskih kapaciteta u međuvremenu je izvršeno usklađivanje naše sa regulativom Evropske Unije, a to praktično znači primenu mera i aktivnosti u smislu očuvanja vazduha, odnosno životne sredine, smanjenjem emisije štetnih supstanci u okviru granično propisanih vrednosti.

Ključne reči: odsumporavanje dimnih gasova, uređenje prostora, odlaganje gipsa

Abstract

Preservation of the environment as one of the most current topics today requires the technological development of society and the application of the most modern technologies. Based on the analysis of conditions that can cause harmful effects on human health and ecosystems, there is an increasing need to preserve nature, especially devastated mining areas. When it comes to the work of thermal energy capacities, in the meantime, our harmonization with the regulations of the European Union has been done, and that practically means the application of measures and activities in terms of preserving air and environment, reducing emissions of harmful substances within the prescribed values.

Keywords: flue gas desulphurisation, landscaping, gypsum disposal

1. Uvod

Za potrebe odsumporavanja dimnih gasova (ODG) iz termoelektrana Kostolac B1 i B2 isprojektovan je prostor za odlaganje gipsa, koji nastaje kao nusproizvod u procesu vezivanja sumpora iz dimnih gasova sa krečnjakom. Posle dvostepenog odvodnjavanja ODG gips je u *suvom* stanju sa učešćem vlage do 15 %. Na osnovu Izveštaja o ispitivanju otpada gips iz postrojenja za odsumporavanje dimnih gasova termoelektrane Kostolac B1 i B2 klasifikovan je kao neopasan otpad. Uređenje prostora i formiranje Kasete 2 deponije gipsa predviđeno je u skladu sa pozitivnim evropskim propisima. Okruženje, vode,

¹ Milošević Dragan, Rudarski institut, Beograd

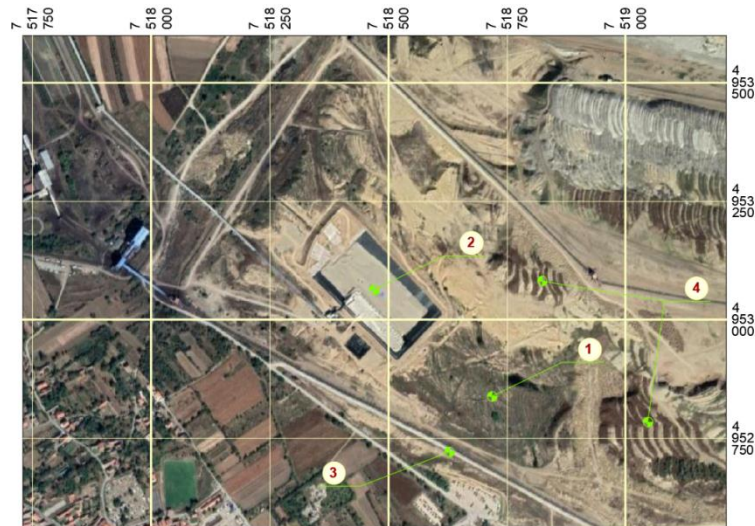
² Nešković Jasmina, Rudarski institut, Beograd

³ Stjepanović Pavle, Rudarski institut, Beograd

⁴ Praštalo Željko, Rudarski institut, Beograd

⁵ Polavder Svetlana, Rudarski institut, Beograd

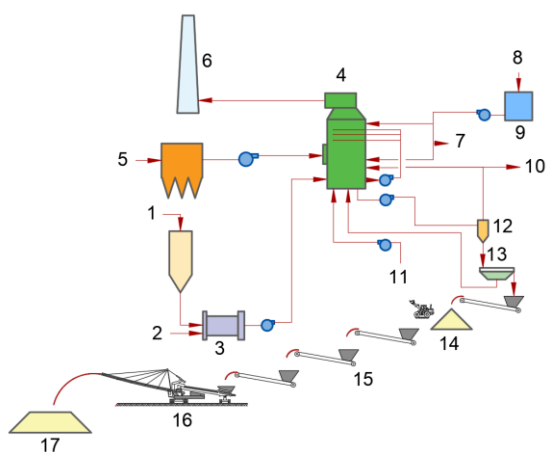
vazduh, zemljište, mora biti potpuno zaštićeno, a rad termoelektrane ne sme biti ugrožen usled nedostatka prostora za deponovanje gipsa iz procesa odsumporavanja. Formiranje druge kasete uslovljeno je pozicijom sa koje se vrši preuzimanje transportovanog gipsa, prostorom koji je predviđen za ovu namenu u okviru unutrašnjeg odlagališta PK Drmno i raspoloživim kapacitetom opreme sa kojom se vrši njegovo odlaganje. Predviđeni prostor za odlaganje ODG gipsa u Kasetu 2, obezbeđen je na unutrašnjem odlagalištu površinskog kopa Drmno, jugoistočno od Kasete 1, između kasete 1 i transportera za dopremu uglja UZ-IV i kosina od odložene otkrivke formirane rudarskim radovima (Slika 1).



1 – Orijentacioni deponijski prostor za gips, 2 – Postojeća kasete za odlaganje gipsa, 3 – Transporter za dopremu uglja, 4 – Kosine odložene otkrivke
Slika 1. Lokacija za odlaganje gipsa na PK Drmno [1]

2. Postupak odsumporavanja

Tehnologija odsumporavanja dimnih gasova vlažnim postupkom, uz korišćenje krečnjaka kao reagensa i tzv. vlažno tretiranje dimnog gasa predstavlja najčešće primenjivanu tehnologiju smanjenja sadržaja sumpor dioksida (SO_2) u dimnim gasovima emitovanim iz postrojenja sa kotlovima na lignit. Odsumporavanje dimnih gasova se vrši posle prečišćavanja u elektrofiltarskom postrojenju. Otprašeni dimni gas usmerava se ka ventilatorima dimnog gasa i buster ventilatorima, a potom u apsorberu gde se odvija njegovo prečišćavanje. Prečišćen dimni gas se zatim ispušta u vazduh kroz dimnjak. Šematski prikaz postupka prikazan je na Slici 2. Prečišćavanje dimnog gasa vrši se u kontaktu dimnog gasa sa suspenzijom krečnjaka, koji se odvija u apsorberu sistema za odsumporavanje. Strujanje dimnog gasa i suspenzije u apsorberu je suprotnosmerno: gas se uvodi u apsorber u donjem delu i struji nagore, dolazeći u kontakt sa raspršenom suspenzijom krečnjaka, koja pada naniže sa nekoliko nivoa za raspršivanje. Broj nivoa raspršivanja zavisi od zahtevane efikasnosti odsumporavanja, kao i zadatog opsega ulaznih koncentracija sumpor dioksida.



1 – Krečnjak; 2 – Voda; 3 – Kuglični mlin; 4 - Absorber; 5 – Elektrostatički filter; 6 - Dimnjak; 7 – „U“ kuglični mlin; 8 – Voda; 9 – Rezervoar; 10 – Otpadne vode; 11 – Vazduh; 12 – Hirociklon; 13 – Vakum filter; 14 – Skladište gipsa; 15 – Transport transporterima; 16 – Odlaganje odlagačem; 17 – Deponija gipsa

Slika 2. Principijelna šema procesa odsumporavanja, transporta i odlaganja gipsa [1]

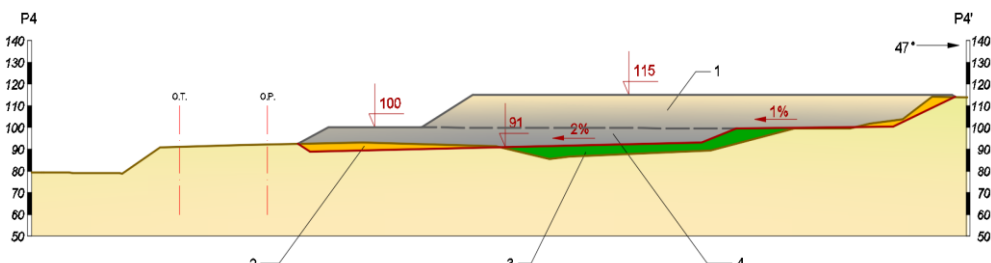
Priprema suspenzije krečnjaka vrši se u postrojenju za mlevenje u kom se odvija mokro mlevenje krečnjaka u mlinovima sa kuglama uz kontrolu kvaliteta finoće mlevenja. Od mlevenog krečnjaka zadate finoće dodavanjem vode formira se suspenzija (sadržaj čvrste materije 30%), koja se odvodi u rezervoar suspenzije krečnjaka. Napajanje apsorbera svežom suspenzijom ostvaruje se kroz cevnu petlju u kojoj neprekidno cirkuliše suspenzija, a doziranje potrebne količine suspenzije se vrši kontrolom parametara procesa (pH vrednost recirkulacione suspenzije u apsorberu ili odnos ulazne i izlazne koncentracije SO_2). Suspenzija koja cirkuliše u apsorberu se recirkulacionim pumpama propušta kroz mlaznice za raspršivanje suspenzije raspoređene na konzolnim nosačima u apsorberu, gde se raspršuje do finih kapljica i tako dovodi u ravnomeran kontakt sa strujom dimnog gasa. Kapljice suspenzije apsorbuju SO_2 iz dimnog gasa putem reakcije koja se odvija između SO_2 i reagensa tj. sorbenta iz suspenzije. Hlorovodonik (HCl), koji se nalazi u dimnom gasu, se takođe apsorbuje i neutralizuje reagujući sa krečnjakom, formirajući rastvorljive soli, što dovodi do akumulacije jona hlorida u procesnoj suspenziji. Prečišćeni dimni gas prolazi kroz eliminator kapi kako bi se iz njega uklonile kapljice vode pre ulaska u dimnjak. Kako se, po ulasku u apsorber dimni gas naglo hladi u kontaktu sa vodom, određena količina vode isparava tako da je dimni gas na izlazu iz apsorbera zasićen vlagom. Temperatura dimnog gasa na izlazu iz apsorbera je oko $65\text{ }^\circ\text{C}$. Efikasnost smanjenja sadržaja SO_2 u postrojenju za vlažno odsumporavanje dimnih gasova direktno zavisi od odnosa količine suspenzije koja se rasprši u apsorberu u odnosu na količinu tretiranog dimnog gasa. Ovaj odnos naziva se odnos tečne i gasne faze tj. T/G. Viša vrednost T/G odnosa omogućava efikasnije uklanjanje SO_2 jer se u tom slučaju dimni gas tretira većom količinom apsorbujuće tečnosti. Kao rezultat reakcije dimnog gasa i suspenzije krečnjaka formira se kalcijum sulfit koji, kao teži pada na dno reakcionog bazena, koji je smešten u donjem delu apsorbera. Kako bi se sprečilo njeno taloženje, suspenzija se stalno meša pomoću mešalica. U cilju formiranja stabilnog jedinjenja, kalcijum sulfata, tj. gipsa, u reakcionu bazen se uduvava određena količina vazduha koja omogućava oksidaciju kalcijum sulfitu polu-hidrata u kalcijum sulfat, koji se potom taloži. Dimenzije reakcionog bazena se određuju tako da se obezbedi dovoljno vreme boravka produkata u suspenziji potrebno da se formiraju dovoljno veliki kristali molekula gipsa ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$). Deo suspenzije odstranjuje se iz procesa u cilju uklanjanja nagomilanog gipsa koji se odvodi na proces primarnog ugušćenja i dalji tretman. Količina suspenzije koja se odvodi kontroliše se stalnim merenjem gustine suspenzije. Ukoliko je gustina suspenzije manja od zahtevane vrednosti, ista se recirkuliše kroz rezervoare filtrata. Kada vrednost gustine suspenzije dostigne zahtevanu vrednost, vrši se odmuljenje ugušćene suspenzije (sadržaj čvrste materije 50%) u rezervoar suspenzije gipsa, sve dok se gustina ne smanji na donju zahtevanu vrednost. Iz ovog rezervoara suspenzija se usmerava na sistem vakuum filtra radi dobijanja komercijalnog gipsa, ili se otprema na deponiju gipsa. Deo preliva hidrociklona za primarno ugušćenje suspenzije odstranjuje se iz procesa odsumporavanja u vidu otpadne vode, a u cilju sprečavanja prekomerne akumulacije korozivnih soli hlorida i čestica u procesnoj suspenziji.

3. Konceptualno rešenje uređenja prostora

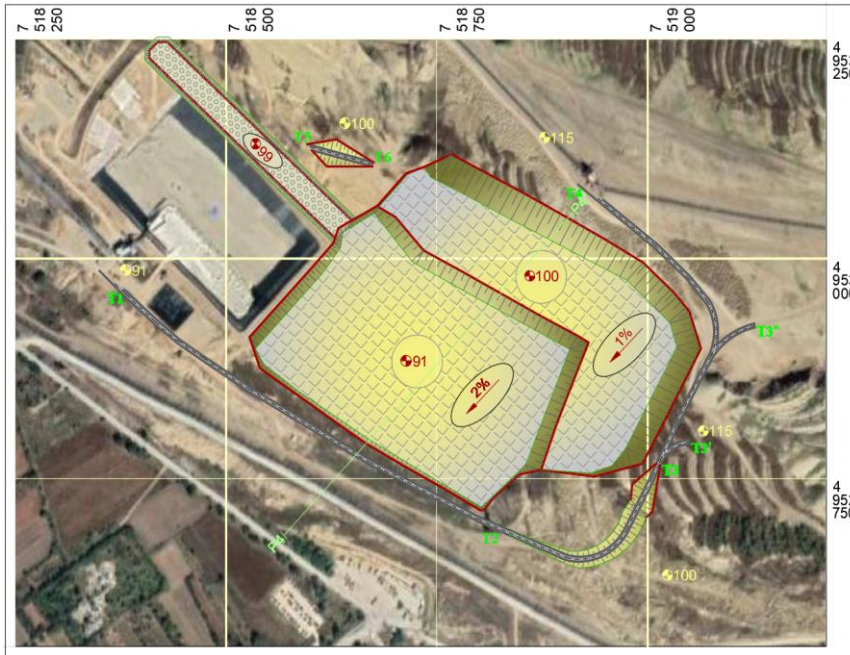
Odlaganje gipsa iz procesa odsumporavanja blokova B1 i B2 termoelektrane Kostolac u Kasetu 1 je u toku. Na predmetnoj lokaciji nisu uočene nestabilnosti kosina i odranjanje materijala kao ni zadržavanje vode. Na severnoj i istočnoj strani od nožice kosine kasete nastavljeno je odlaganje kopovske jalovine u procesu formiranja unutrašnjeg odlagališta. Izvorno rastinje je već počelo da se razvija, pa se može smatrati da jalovinski materijal ima potencijal za pravilan i kvalitetan razvoj biljnog sveta na budućoj lokaciji u formi rekultivacionog sloja. Uvidom u postojeće stanje u oblasti namenjenoj za uređenje prostora i odlaganje gipsa, Kasete 2 može se konstatovati da nisu u potpunosti postignuti konstruktivni parametri definisani projektnom dokumentacijom [2]. Na predmetnom lokalitetu formirana je etažna ravan na niveleti +90 m. Naredne više etaže su na kotama +100 m, +115 m i najviša na +134 m (Slika 3). Zapadno u odnosu na lokalitet predviđen za uređenje, formirana je kasete 1 u kojoj se trenutno vrši odlaganje gipsa.

Raspoloživost prostora predviđenog za formiranje Kasete 2, zona jugoistočno od Kasete 1, između Kasete 1 i transportera za dopremu uglja UZ-IV i kosina od odložene otkrivke formirane rudarskim radovima, iskorišćena je za modulaciju i proračun zapremina gipsa koji bi se deponovao. Uslovi na terenu zahtevaju da se trenutno stanje kosina i podloge uredi za potrebe postavljanja vodoodržive barijere. Nakon odlaganja i popunjavanja kasete 1 nastavilo bi se sa deponovanjem gipsa u Kasetu 2.

Preraspodela masa je urađena tako da se obim radova svede na planiranje terena i formiranje figure Kasete 2 bez izvoza materijala, osim za potrebe pozajmišta. Projektnim rešenjem uređenja deponijskog prostora predviđeno je škarpiranje kosina, planiranje platoa pod nagibom od 1 % na niveleti +100 m i 2% na niveleti +91 m prema jugozapadu (Slika 4). Materijal iz iskopa za rekultivaciju bi se transportovao duž rampe do lokacije nadomak Kasete 1 sa koje bi se nakon toga razastirao. Dopremanje vodonepropusne barijere i ostalog materijala predviđenog za formiranje Kasete 2, vršilo bi se duž trase privremenog pristupnog puta (T1 do T4), do lokacije nadomak tačaka T3' i T3. Uređenjem deponijskog prostora za smeštaj gipsa na unutrašnjem odlagalištu PK Drmno predviđeno je da se u nastavku Kasete 1 formira Kasete 2 (Slika 4). Odlaganje će se vršiti na dve nivelete, počevši od kote +91 m do k+100 m, a nakon toga formiranjem druge etažne ravni do k+115 m.



1 – II etaža odloženog gipsa; 2 – površine za iskop;
3 – površine za nasipanje; 4 – I etaža odloženog gipsa
Slika 3. Poprečni presek terena, profilska linija P4-P4' [1]



Slika 4. Šematski prikaz uređenog deponijskog prostora Kasete 2 [1]

4. Tehnologija odlaganja gipsa

Sušeni, odnosno filtrirani gips iz procesa odsumporavanja dimnih gasova blokova B1 i B2 transportuje se sistemom od četiri redno povezana transportera sa gumenom transportnom trakom od elektrane do presipne stanice na kraju poslednjeg transportera, Cg-4. Sa presipne stanice gips se deponuje sa kratkom transportnom trakom u Kasetu 1, koja je locirana u otkopanom prostoru površinskog kopa Drmno. Dno i strane kasete su hidroizolovane dvostrukom geomembranom. Kasete 1 ima akumulacioni prostor za jednogodišnju produkciju gipsa i trenutno se zapunjava odlagačem uz ravnomerno planiranje gipsa buldozerom po celoj površini kasete. Kasete 2, nalazi se pored kasete 1 i predviđena je da ima akumulacioni prostor za petogodišnju produkciju gipsa, odnosno do povezivanja transportnog sistema ODG gipsa sa transportnim sistemom za transport ovlaženog pepela i šljake bloka TE Kostolac B3, nakon čega će gips biti usmeravan na zajedničku deponiju pepela, šljake i gipsa. Obzirom da je Kasete 2 znatno većih dimenzija od Kasete 1 za istu se ne može predvideti postojeći način odlaganja i deponovanja gipsa. Za Kasetu 2 predviđa se sledeći tehnološki postupak za odlaganje gipsa iz procesa ODG: prostor za odlaganje podeljen je na dva dela. Prvi deo je plato na koti +91 m, a drugi na koti +100 m. Ovaj *stepenik* naslonjen je na odlagalište koje je zapunjeno do kote +115 m. Zapunjavanje će se vršiti teleskopskim transporterom (sličan je prikazan na Slici 5). Kosina odlagališta od kote +115 m do platoa na koti +100 m, plato na koti +100 m, kao i kosina od platoa na koti +100 m do kote +91 m biće pokriven sa dva sloja geosintetičke folije. Na platou na koti +91 m biće postavljen teleskopski transporter koji može da odlaže gips do kote +110 m. Teleskopski transporter je na gumama i doprema se vučnim vozilom, kamionom. Kada se postavi u odgovarajući položaj, može da zapunjava širi prostor, na taj način što se transporter kreće radijalno do 270°, kao i da se na istom produžava i skraćuje klizni deo završetka transportera. Na gornjem platou teleskopski transporter može da deponuje gips do kote +110 m, a buldozerima će se planirati do kote +115 m i uklopiti u prostor odlagališta. Gips se na teleskopski transporter dovodi sa presipne kule produženog transportera, Cg-4 sa koga se gips presipa na prvi vezni transporter. Preko serije veznih transportera, čijim se postavljanjem u odgovarajući položaj gips dovodi do teleskopskog transportera, postavljenog u bilo koji položaj na platou na koti +90 m. Nakon zapunjavanja prostora na platou sa kotom +100 m, postavlja se hidroizolaciona folija po platou na koti +91 m, a potom se zapunjava ovaj prostor. Na obodu Kasete 2, na koti +89 m kopa se obodni kanal za prihvatanje kišnice.



Slika 5. Teleskopska transportna traka [1]

5. Zaključak

Rudarskim radovima, pre svega površinskom eksploatacijom mineralnih sirovina, menja se pejzažni izgled predela sa negativnim vizuelnim efektom i devastiranjem zemljišta. Sve strožiji kriterijumi ocene kvaliteta životne sredine u današnje vreme zahtevaju priorititetnost rešavanja problema u ovoj oblasti, a posebno kada je reč o rudarstvu koje je izloženo ograničavanjima, uslovljavanjima, kontrolama i još mnogim drugim zahtevima. Sve ovo govori o potrebi usaglašavanja tehničko-tehnoloških i ekonomsko-privrednih ciljeva sa zahtevima očuvanja prirode. Prateće i potencijalne posledice uticaja rudarskih radova treba stručno istraživati, analizirati a projektna rešenja programirati u funkciji očuvanja životne sredine. Uspostavljanjem monitoringa stanja životne sredine, omogućava se praćenje promena, dijagnostika, kreiranje i donošenje kvalitativnih rešenja sa ciljem poboljšanja uslova života u zoni uticaja rudarskih radova. Pored svega navedenog potrebno je istaći da vrednost troškova opisanog tehnološkog postupka odlaganja - deponovanja (ODG) gipsa nije ni malo zanemarljiva. Na osnovu iskustava iz fabrika koje u svetu od gipsa iz procesa odsumporavanja proizvode gipsane ploče [4, 5], veoma je upitno i diskutabilno kada će u našoj zemlji uskladiti zakonsku regulativu i omogućiti da se umesto skladištenja, (ODG) gips primeni u proizvodnji domaćih finalnih proizvoda.

Literatura

- [1] N. Kostović: Tehnički rudarski projekat obezbeđenja prostora za proširenje deponije za odlaganje gipsa na PK Drmno za potrebe TE Kostolac B1 i B2, Rudarski institut, 2021.
- [2] D. Milošević: Tehnički rudarski projekat transporta i odlaganja gipsa iz postupka odsumporavanja dimnih gasova TE Kostolac B1 i B2 u prvu kasetu na unutrašnjem odlagalištu površinskog kopa Drmno, Rudarski institut, Beograd, 2015.
- [3] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:31999L0031>
- [4] <https://www.youtube.com/watch?v=CGfuDZC9cfk>
- [5] <https://www.saint-gobain-gyproc.com/>



PRIMENA TERMALNOG SNIMANJA U POVRŠINSKOJ EKSPLOATACIJI

APPLICATION OF THERMAL IMAGING IN SURFACE MINING

Negovanović M.¹

Apstrakt

Termalno snimanje se sve više koristi u rudarskoj industriji kao jedan od dijagnostičkih alata za praćenje određenih proizvodnih procesa, kao i stanja opreme i mašina. Predstavlja nedestruktivnu i beskontaktnu metodu ispitivanja koja omogućava rano otkrivanje problema, planiranje održavanja sa minimalnim kvarovima, sprečavanje neplaniranih poremećaja, posmatranje materijala u nepristupačnim ili opasnim područjima i poboljšanje bezbednosti i produktivnosti. Termalno snimanje koristi specijalizovane termalne kamere sa unutrašnjim detektorima koji identifikuju veoma male temperaturne varijacije i proizvode sliku tog nevidljivog infracrvenog ili toplotnog zračenja. Termalna slika se može primeniti u operacijama površinske eksploatacije u različite svrhe kao što je praćenje transportnih traka, ležajeva, bagera, dampera, cevi i drugih metalnih ili plastičnih delova, kompresora, izmenjivača toplote i raznih drugih električnih sistema. Termovizijske kamere postavljene na bespilotnu letelicu (UAV) poznatu i kao dron mogu se koristiti za praćenje operacija ili procesa kao što su operacije miniranja, spontano samozapaljenje uglja, detekcija klizišta na kosinama ili kvara na površinskim kopovima. Ovaj rad se najviše bavi tehnologijom termalnog snimanja, karakteristikama različitih tipova termo kamera i mogućnostima primene termalnog snimanja u površinskoj eksploataciji.

Ključne reči: termalno snimanje, nedestruktivne metode, površinska eksploatacija, termalne kamere, rudarske operacije

Abstract

Thermal imaging is increasingly used in mining industry as one of the diagnostic tools for monitoring the certain production processes as well as the condition of equipment and machinery. It represents a non-destructive and non-contact testing method which provides the early detection of problems, planning maintenance with minimal failure, prevention of unscheduled disruptions, the observation of materials in inaccessible or hazardous areas and the improvement of safety and productivity. Thermal imaging uses specialised thermal cameras with internal detectors which identify very slight temperature variations and produce an image of that invisible infrared or heat radiation. Thermal imaging can be applied in surface mining operations for a variety of purposes such as monitoring the conveyor belts, bearings, excavators, dumpers, pipes and other metal or plastic parts, compressors, heat exchangers a variety of other electrical systems. Thermal imaging cameras mounted on the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) also known as Drone can be used for monitoring the operations or processes like blasting operations, spontaneous combustion of coal, detection of slope landslide or failure in open pit mines. The paper mostly deals with the thermal imaging technology, the characteristics of various types of thermal cameras and the possibilities of application of thermal imaging in surface mining.

¹ Prof. dr Negovanović Milanka, University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Belgrade, Serbia, milanka.negovanovic@rgf.bg.ac.rs

Key words: thermal imaging, non-destructive testing methods, surface mining, thermal cameras, mining operations

1. Introduction

Thermal imaging is simply the process of converting infrared (IR) radiation (heat) into visible images that depict the spatial distribution of temperature differences in a scene viewed by a thermal camera [1]. Thermal cameras usually detect radiation in the long-infrared range of the electromagnetic spectrum and creates an image of this radiation, called a thermogram.

Every object with a temperature above absolute zero (that corresponds to 0 K or -273 °C) emits electromagnetic (EM) radiation over virtually all wavelengths. This results from the tiny random motions of particles, atoms and molecules, in the object, which can be described by a thermal energy and thus define the object's temperature [2].

The amount of radiation emitted by the object increases with temperature, therefore thermography allows one to see temperature differences. When observing objects through a thermal camera, warm objects stand out above the colder, people and other warm blooded animals become easily visible in relation to the environment, both during the day and night [3]. Infrared energy is just one part of the electromagnetic spectrum which encompasses radiation from gamma rays, X-rays, ultra violet, a thin region of visible light, infrared, terahertz waves, microwaves, and waves (Figure 1). These are all related and differentiated in the length of their wave (wavelength).

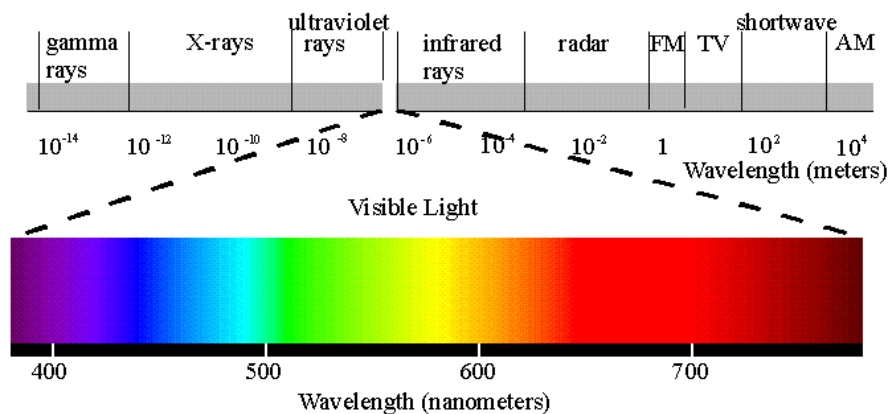


Figure 1 Electromagnetic spectrum [4]

Thermography nowadays is applied in research and development as well as in a variety of different fields in industry, such as non-destructive testing, condition monitoring and predictive maintenance, reducing energy costs of processes and buildings, detection of gaseous species and many more areas [5].

2. The characteristics of different types of thermal cameras

A thermographic camera (also called an infrared camera or thermal imaging camera) is a device that forms an image using infrared radiation, similar to a common camera that forms an image using visible light. Instead of the 400-700 nanometer range of the visible light camera, infrared cameras operate in wavelengths as long as 14 000 nm (14 μm) [6].

Figures 2, 3 and 4 show the different types of hand-held, fixed-mount thermal imaging cameras and thermal cameras for drones, while Table 1 and 2 show the specifications of these types of thermal cameras.



Figure 2. Different types of hand-held and fixed-mount thermal imaging cameras [7, 8, 9, 10]

Table 1. Specifications of different types of thermal cameras

The **FLIR E86** is packed with the high-performance features needed for fast, accurate detection of hot spots and hidden deficiencies. This 464×348 pixel thermal camera has an expanded temperature measurement range for easier detection of hot spots and hidden anomalies on electrical and mechanical assets. Interchangeable AutoCal™ lenses offer complete coverage of near and distant targets, while FLIR imaging technology such as UltraMax® and MSX® ensure crisp, vibrant thermal images. Onboard FLIR Inspection Route feature runs pre-planned survey routes to help inspectors stay organized when surveying large or multiple locations [7].

FLIR A500f and A700f are advanced Smart Sensor fixed-mount thermal imaging cameras for Condition Monitoring and Early Fire Detection. The protective housing can withstand temperatures between -30° to 50°C . With up to 640×480 thermal resolution, remote motor focus, FSX® (Flexible Scene Enhancement) technology, and three fields of view, A500f/A700f cameras provide reliable measurements every time [8].

The **FLIR T530** has the features professionals need to accurately troubleshoot hot spots and potential faults. With the 180° rotating lens platform and a bright 4" LCD, the FLIR T530 is engineered to help users diagnose hard-to-reach components in any environment. Advanced on-camera measurement tools, laser-assisted autofocus, and FLIR's industry-leading image quality ensure the diagnose problems quickly [9].

The **Fluke Ti480 PRO Infrared Camera** is designed to work in the toughest industries: oil and gas production, electrical, water and gas utilities, metallurgy, glass manufacturing. Detector resolution: 640×480 ; Temperature measurement range (not calibrated below -10°C): $\leq -20^{\circ}\text{C}$ to 1000°C ; Infrared spectral band: $7.5 \mu\text{m}$ to $14 \mu\text{m}$ (long wave) [10].

2.1 Thermal camera for drones



Figure 3. **FLIR DUO PRO R** Dual Sensor Thermal Camera with 19 mm lens for drones [11]



Figure 4. Thermal Camera for drones **FLIR XT2** [12]

Table 2. Specifications of thermal cameras for drones [11, 12]

	FLIR DUO PRO R Dual Sensor Thermal Camera	Thermal Camera FLIR XT2
Imaging Modes	IR-only, Vis-only, Picture-in-Picture (IR in Vis)	Vision, PIP, Infrared, MSX
Measurement Accuracy	±5° C or 5% of readings in the (-25 to 135°C) range ±20 °C or 20% of readings in the -40 to 1022°F (-40 to 550°C) range	±10 °C in the 14 to 50°F range Under ideal environmental conditions ±5 °C in the 23 to 41°F range
Spectral Band	7.5–13.5 µm	7.5 - 13.5 µm
Thermal	Frame rate: 30 Hz Lens options: 19 mm: 17° x 13° Sensitivity: < 50 mK Sensor resolution options: 336 x 256	Exportable Frame Rates: <9 Hz Full frame rates: 30 Hz Sensitivity (NEdT): < 50 mK@f/1.0 Scene range (High Gain): 640x512: -25° to 135°C 336x256: -25° to 100°C Scene range (Low Gain): -40° to 550°C
Weight	325 g	25 mm lens: 629 g other lens versions: 588 g
Dimensions	(85 × 81.3 × 68.5 mm)	With 25mm lens: 123.7 × 112.6 × 127.1 mm, With other lens: 118.02 × 111.6 × 125.5 mm

3. Application of thermal imaging in the mining industry

3.1 Predictive maintenance programs using thermal imaging

To help avoid catastrophic downtime or equipment loss and to reduce insurance premiums and improve worker safety many mining companies administer comprehensive predictive maintenance programs to provide uninterrupted power and continuous uptime [13]. Mining operations often requires complex electrical and mechanical systems. The size of the operation determines the size of the maintenance teams. These teams require knowledge and training on mining equipment, transportation and electrical applications.

According to FLIR [13] many mines own thermal imaging cameras and software and send employees to infrared training courses to better understand applications and learn how the IR cameras work. Mining companies also employ specialized outside professionals who must be able collect quality thermal imaging data, gather accurate temperature measurements, and provide timely equipment condition information using heat transfer concepts with both qualitative and quantitative thermography.

3.1.1 Maintenance programs on electrical and mechanical systems

Mining operations rely heavily on electric power for ore extraction, transportation, and processing, as it is most efficient and economical and more environmentally friendly than diesel power. The drill rigs, excavators or other mining machines can be powered by electricity. Size and voltage levels are generally higher on a mine site compared to most other industries [13]. Electric power is distributed throughout the mine site starting from substations, running through high-voltage transmission lines, then to mobile substations and through transformers. The thermal image in Figure 5 shows a substation voltage regulator termination that is very near failure [13].



Figure 5. Voltage regulator near failure at a mine substation [13]

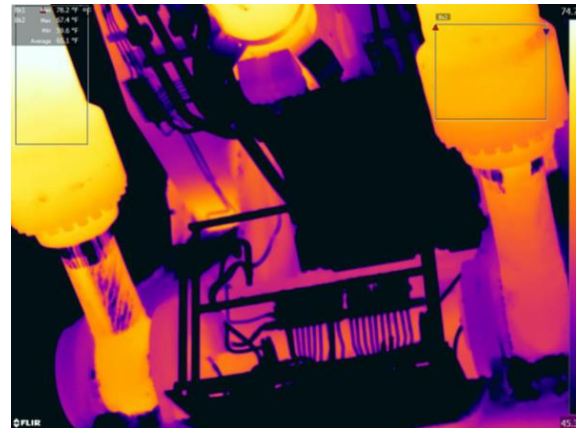


Figure 6. The left boom cylinder on this rope shovel is starting to heat up due to lack of grease [13]

Unplanned downtime in mining production can cause great material damage. Thermal cameras can be used to inspect certain assemblies of mining machines during the shift to improve regular maintenance. Poor maintenance of machines leads to unplanned downtime due to failures that can last for several days if the replacement parts are not readily available. Overheating of certain assemblies due to lack of lubrication or other reasons can lead to a fire in the entire machine, which leads to great material damage. Figure 6 shows the left boom cylinder on this rope shovel is starting to heat up due to lack of grease [13].

3.2 Monitoring the blast site

The use of thermal cameras can be useful in monitoring the blast site. Even during the drilling process of blastholes, hand-held thermal cameras can be used to monitor the drilling process, heating certain parts of the drill rig as well as drill string and drill bit.

While during the blasting process, thermal cameras can be used in combination with drones to monitor the process of explosion and energy distribution, as well as energy losses due to heating of the rock mass, possible misfires, etc. The application of thermal imaging could complement the benefits of UAV technology in monitoring the controllable blast parameters and obtaining the terrain data.

3.3 Other mining industry applications

Depending on the type of mine, thermal imaging can be applied in the following cases [13]:

- Condition Monitoring: Fix-mounted and vehicle-mounted thermal imaging cameras provide real-time imagery and data to a central monitoring station which tracks everything from temperature gradients to electrical cabinets to switch gear. In mines that are digitizing operations, data from these images can be analysed over time to more predict failure, schedule shorter maintenance windows, and minimize production downtime;
- Security: Size, accessibility, and safety are factors that can make manual patrols of mining site perimeters challenging. With pan/tilt/zoom configurations of high-definition thermal and color cameras - combined with modern cloud-based networking, software, and analytics - a mine's command center can monitor the entire site from a single location;
- Safety: By monitoring the integrity of a mine's slopes with thermal imaging, mining companies have more stability data to reference when deciding whether it's safe to send workers into a mine;

- IR Windows: Many mining operations are requesting that new equipment include IR windows to make thermal imaging inspections safer and easier, especially of electrical equipment. Many mines are undergoing retrofitting of older equipment with IR windows as well;
- Drones: Unmanned aerial monitoring provides a comprehensive perspective of invisible heat differences in electrical transmission systems from the air and for mine site voids.

3.4 Unmanned aerial vehicle (uav) in mining industry

Unmanned Aerial Vehicle (UAV), also known as Drone, is referred to an unpiloted aerial vehicle mainly deployed for military operations. But in the recent years the increase in awareness and mission capabilities of UAVs are spread across multiple sectors like communication, agriculture, remote sensing, transportation, mining and so on.

In mining sector, UAV-based technology has huge potential to reduce manual efforts in surveying, mapping, data capturing, sample collection, pipe line and conveyor belt inspection, aerial mapping of mineral prospect zones, disaster management and monitoring, machinery tracking, infrastructure monitoring, safety and security surveillance of mines and mills.

Thermal imaging cameras mounted on the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) also known as Drone can be used for monitoring the operations or processes like blasting operations, spontaneous combustion of coal, detection of slope landslide or failure in open pit mines [6].

3.4.1 Spontaneous combustion and fire risk at coal stockpiles

All coals are prone to spontaneous combustion. However, some types of coals have a higher propensity than others. Spontaneous combustion occurs below the surface of the coal and can only be detected when it progresses and becomes a serious problem. The development of spontaneous combustion produces carbon dioxide and carbon monoxide at lower temperatures and methane, hydrogen, ethylene, and other hydrocarbons at higher temperatures [6]. Monitoring of such a high heap is very unsafe because of production of inflammable gases, so the application of thermal cameras in combination with UAV is very useful in this situation. Figures 7a and 7b show normal and thermal image at coal stockpile [6].



Fig. 7a. Coal Heap at Ramagundam Stockyard (Normal Image) [6]

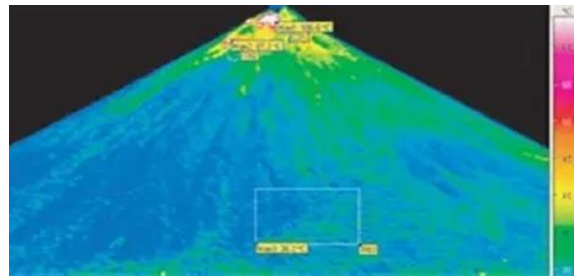


Fig 7b. Coal Heap at Ramagundam Stockyard (Thermal Image) [6]

3.4.2 Monitoring slope failure/landslide in surface mine using thermal imaging

Landslides represent the high danger geological disaster in surface mines that may cause casualties and mine equipment destroyed. Usually, the rock or the soil in landslide area is looser and more fractured than the normal rock or soil. Some faults or fractures often distribute along the edge of the landslide, and water is contained in the faults. Therefore, the temperatures in the landslide and its edge are different from the surrounding rock. Figure 8a is the result of infrared imaging detection of a slope in an opencast mine [6]. It can be founded the temperature along the broken line is lower than the inner and external area.

Especially, the temperature of right edge (the ellipse area in Figure 8b) of the area is much lower. It is known through the scene that the area with lower temperature in the left and right edges distributes respectively a compressive zone and a fault (Figure 8a). The temperature in the middle area between the compressive zone and the fault is higher than the two strips. The temperature in the fault and the compressive zone is lower because of loosening and fracturing of rock in the two strips causes more water is contained in the area [6].

Study of the infrared imaging detection result indicates a landslide existing probably in the ellipse area due to the feature that two fractured zone surround a middle area [6].

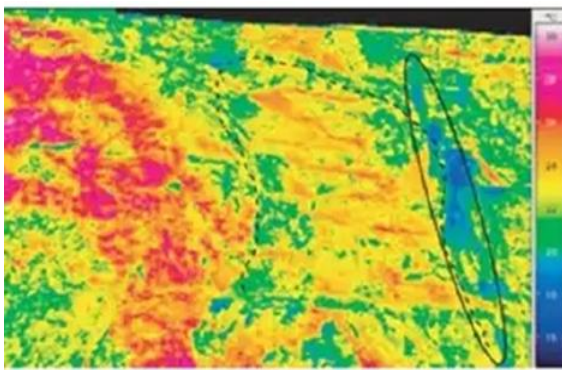


Figure 8a. Thermal Image of Pit in Surface mine [6]



Figure 8b. Photo of that Pit in Surface mine [6]

4. Autonomous thermal inspection of certain parameters or machines using thermal imaging in combination with artificial intelligence

Some mines are developing systems for Autonomous thermal inspection of certain parameters or machines using thermal imaging in combination with artificial intelligence. Pitcrew AI [14] is a new system leveraging FLIR thermal imaging and AI technology to change the way trucking and mining vehicles are inspected. Using an AI algorithm trained on a library of thermal images, the system can spot problems in their early stages, before equipment is destroyed or vehicles cause deadly accidents on the road. The system is built by Industrial Monitoring & Control (IMC), who developed the system to automate inspections of mining truck tyres. Mining haul trucks are no small investment and if a tyre catches fire it may burn down the whole vehicle [14].



Figure 9. Autonomous thermal inspection of haul trucks in open pit mine [14]

The most common problem plaguing haul truck tyres is separation, a condition where the tyre

tread delaminates from the casing. The problem is further exacerbated by the adoption of more autonomous haul trucks - separations can be caused by running over rocks, which drivers might avoid but which autonomous vehicles would run right over. IMC had known for a while that separations could be detected with thermal imagers, and hand-held thermal cameras are commonly used at inspection bays. With a thermal camera, inspectors can detect hotspots caused by the separated materials of the tyre rubbing against each other and creating friction. Hotspots show up even if tyres are caked in mud - the usual case with mining trucks - whereas a visual inspection for delamination requires the tyre to be washed off to detect traces of a puncture in the top layer of the tyre. When it came to automating inspections, IMC decided to use a FLIR A615 Thermal Machine Vision camera and trained an AI model to identify the early stages of separation as they appeared in thermal [15].

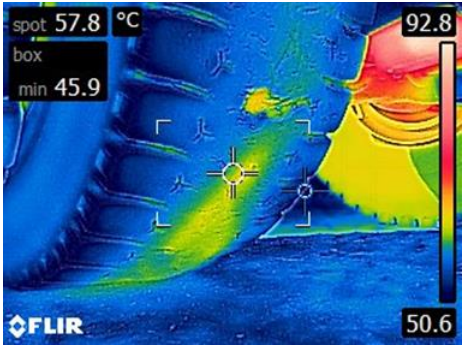


Figure 10a. Inspection of hotspots caused by the separated materials of the tyre rubbing against each other [15]

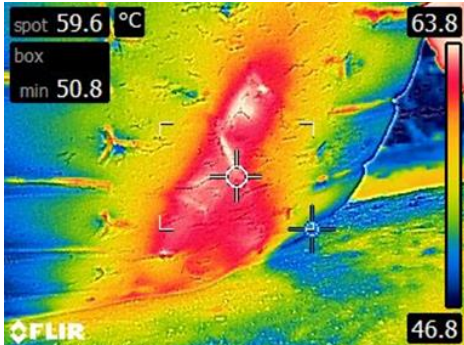


Figure 10b. Creating friction detected by thermal camera [15]

5. Conclusion

Thermal imaging has become an irreplaceable method in maintenance programs to help avoid catastrophic downtime, equipment loss and to improve worker safety in many mining companies. The great advantage of thermal imaging is that it is a non-invasive and non-contact technique allowing very high temperatures to be read from a certain safe distance. Whether they are hand-held, fixed-mounted or drone-mounted thermal imaging cameras, all types of cameras have a variety of application possibilities in different mining operations.

Open pit mines are usually spread over large areas, requiring numerous crews for maintenance and supervision. The use of drones in combination with thermal cameras can contribute to higher quality supervision and monitoring of certain processes within large areas. In areas where the risk of the presence of people is increased due to impaired stability of slopes, inspection of areas affected by fire or others similar risk situations, drones equipped with thermal camera can prevent fatal injuries to workers enabling the insight of certain processes from a distance without the presence of people in danger zones.

References

- [1] K. J. Havens, E. J. Sharp: Thermal Imaging Techniques to Survey and Monitor Animals in the Wild, 2016
- [2] ESA, Blackbody radiation. What is thermal - or black body - radiation? <https://sci.esa.int/web/education/-/48986-blackbody-radiation>
- [3] NDT Thermal Imaging Cameras, <https://www.kvark.rs/catalog/equipment-in-the-field-of-industry/ndt-non-destructive-testing/thermal-imaging-cameras-ndt/>

- [4] Electromagnetic spectrum. <http://www.thermalimaging.co.uk/electromagnetic-spectrum/>
- [5] M. Vollmer and K. P. Möllmann: Fundamentals of Infrared Thermal Imaging. Infrared Thermal Imaging. Second Edition. WILEY-VCHVerlagGmbH&Co.KGaA, 2018
- [6] K. S. Teja, R. K. Patel, A. Kumar: UAVs Mounted with Thermal Vision Camera and Their Applications in Mining Industry. Recent Practices and Innovations in Mining Industry, https://www.academia.edu/34525318/UAVs_Mounted_with_Thermal_Vision_Camera_and_Their_Applications_in_Mining_Industry
- [7] FLIR E86, <https://www.flir.eu/products/e86/>
- [8] FLIR A500f/A700f, https://www.flir.com/products/a500f_a700f-environmental-housing-camera/
- [9] FLIR T530, <https://www.flir.com/products/t530/>
- [10]Fluke Ti480 PRO, <https://www.fluke.com/en-us/product/thermal-cameras/ti480-pro>
- [11]FLIR DUO PRO R, <https://www.flir.com/products/duo-pro-r/>
- [12]FLIR XT2, <https://www.flir.com/products/xt2>
- [13]FLIR, Thermal imaging versatility in the mining industry. Application Note - Mining Industry, 2019, www.flir.com/professional_tools
- [14]Pit crew AI Solutions, <https://im-mining.com/2020/07/22/pitcrew-ai-solutions-leverages-flir-thermal-imaging-automate-use-mining-tyre-inspection/>
- [15]Mining Equipment Inspection from FLIR Thermal Imaging, https://mine.nridigital.com/mine_australia_sep20/flir_system_company_insight



**OPTIMIZACIJA UGLA NAGIBA GENERALNE KOSINE UNUTRAŠNJEG ODLAGALIŠTA
POVRŠINSKOG KOPA TAMNAVA-ZAPAD**

**OPENCAST COAL MINE TAMNAVA-WEST FIELD OVERALL INTERNAL DUMP SLOPE
ANGLE OPTIMIZATION**

Pavlović N.¹, Petrović B.², Šubaranović T.³, Janković I.⁴

Apstrakt

Formiranje geomehanički stabilnih unutrašnjih odlagališta otkrivke ima izuzetno značajnu ulogu pri projektovanju i planiranju razvoja površinskih kopova uglja sa aspekta preraspodele masa otkrivke, dinamike eksploatacije, ekoloških zahteva, rudarskih rizika i troškova. Uvećanje zavodnjenosti unutrašnjeg odlagališta otkrivke površinskog kopa Tamnava-Zapadno Polje, kao posledica globalnih klimatskih promena sa pojavom katastrofalnih obimnih padavina i velike poplave, dovelo je i do značajnih ali i trajnih promena geomehaničkih karakteristika materijala, umanjjenja stabilnosti generalne kosine unutrašnjeg odlagališta i znatnog povećanja rudarskog rizika. Inovirane varijantne analize stabilnosti kosine sa korišćenjem teorije verovatnoće i kvantitativnim pristupom za procenu rizika, predstavljaju osnovu za optimizovanje ugla nagiba generalne kosine unutrašnjeg odlagališta, što je prikazano u obrađenom primeru. Uz preporuke za planiranje mogućih konstruktivnih izmena, dinamike razvoja unutrašnjeg odlagališta i povećanja efikasnosti sistema odvodnjavanja, svakako se realizuje pouzdaniji rad površinskog kopa i sigurnost na radu.

Ključne reči: *Unutrašnje odlagalište, stabilnost kosina, verovatnoće, posledice, rizik*

Abstract

The formation of geomechanically stable internal dumps for overburden has an extremely significant role in designing and planning the development of opencast coal mines from the aspect of overburden mass redistribution, mining dynamics, environmental requirements, mining risks and costs. The increase of water content in the internal dump of the Tamnava-West Field opencast mine, as a consequence of global climate changes with the occurrence of catastrophic rainfall and large floods, led to significant but also permanent changes in the geomechanical characteristics of the material, a decrease in the stability of the overall internal dump slope and a significant increase in mining risk. Innovative variant analyzes of slope stability using probability theory and a quantitative approach to risk assessment represent the basis for optimizing the overall slope of the internal dump, which is shown on this example. With recommendations for planning possible constructive changes, the dynamics of the internal dump development and increasing the dewatering system efficiency, a more reliable mine operation and safety at work will certainly be achieved.

Keywords: *Internal dump, slope stability, probabilities, consequences, risk*

¹ Pavlović Natalija, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

² Petrović Branko, EPS Beograd, RB Kolubara, Lazarevac

³ Prof. dr Šubaranović Tomislav, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

⁴ Doc. dr Janković Ivan, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

1. Uvod

Površinski kop uglja Tamnava-Zapadno Polje sa najvećom proizvodnjom uglja u EPS-u, nalazi se u fazi punog razvoja sa formiranim unutrašnjim odlagalištem. Nakon posledica velike poplave 2014. godine i tekućih klimatskih promena sa uvećanim padavinama došlo je do značajnih hidroloških promena i promena geomehaničkih parametara radne sredine što je dovelo u pitanje ranije usvojene parametre za proračun stabilnosti generalne kosine unutrašnjeg odlagališta i dobijeni faktor sigurnosti u skladu sa važećom zakonskom regulativom. Zbog toga se ukazala potreba za inoviranom analizom stabilnosti završne kosine i posledično mogućim izmenama konstrukcije i dinamike formiranja unutrašnjeg odlagališta. Pri tome je korišćen neophodni kvantitativni pristup utvrđivanja rizika od otkaza stabilnosti generalne kosine odlagališta. Vrednost rizika se dobija kao proizvod ukupne verovatnoće mogućnosti otkaza stabilnosti generalne kosine, koja predstavlja proizvod zavisnih verovatnoća utvrđenih uticajnih faktora i ekonomskih posledica. U okviru uticajnih faktora definisane su verovatnoće otkaza stabilnosti kosine za promenljive faktore sigurnosti, otkaza zbog katastrofalnih prirodnih događaja i otkaza sistema odvodnjavanja. Nakon utvrđivanja posledica otkaza i ekonomske analize utvrđuju se rizici svih opcija i vrši izbor optimalnog ugla nagiba generalne kosine unutrašnjeg odlagališta površinskog kopa. U obrađenom primeru, posledice otkaza obuhvataju gubitke zbog troškova sanacije unutrašnjeg odlagališta, revitalizacije opreme i infrastrukturnih objekata, obnavljanja sistema odvodnjavanja, tehnoloških rekonstrukcija uz smanjenje zapremine odlagališta i proizvodnje, kao i mogućih gubitaka života ili zdravlja ljudi.

2. Rizik od otkaza stabilnosti generalne kosine unutrašnjeg odlagališta

Rizik (R) od otkaza stabilnosti generalne kosine unutrašnjeg odlagališta površinskog kopa, koji se može postaviti kao slučajni proces, metodološki se zasniva se na osnovnom i dobro poznatom principu, po kome je definisan kao proizvod ukupne verovatnoće otkaza stabilnosti kosine (P_o) i kvantitativno određenih posledica (C) na funkcionisanje i ekonomiju eksploatacije uglja [1, 7, 9, 12]. Tako je, rizik od otkaza stabilnosti generalne kosine praktično mogućnost pojave događaja koji će imati negativne posledice na rad površinskog kopa i može biti definisan kao:

$$R = P_o \cdot C \quad (1)$$

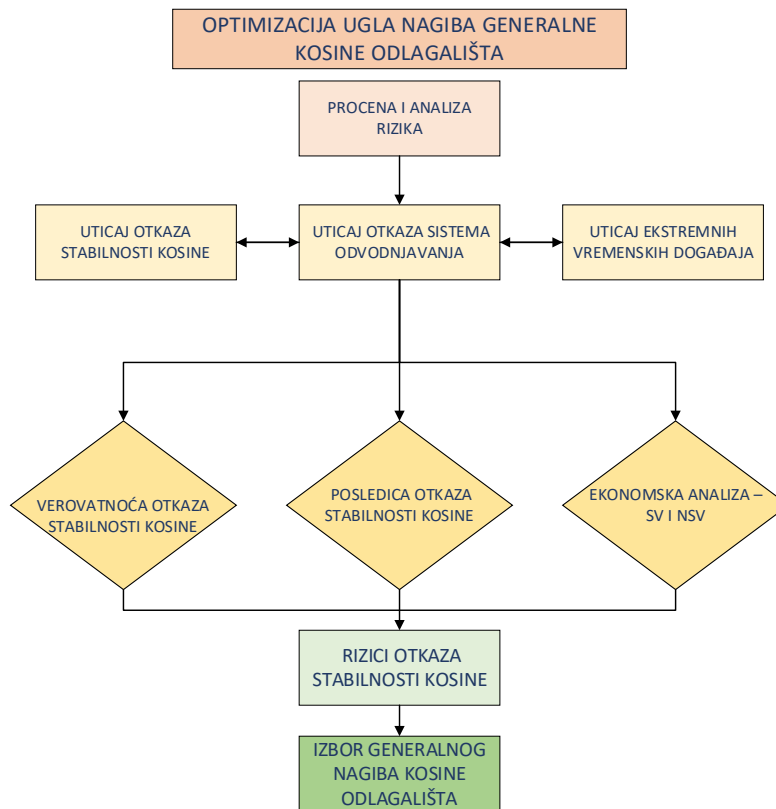
gde je: P_o - verovatnoća otkaza stabilnosti generalne kosine odlagališta
 C - očekivani gubici/posledice nastali zbog otkaza

U zavisnosti od tipa posledica gubici mogu biti izraženi u novčanim jedinicama, broju stradalih osoba, gubitka vremena za saniranje ili obnavljanje, jedinica izgubljene proizvodnje i drugo.

U postavljenoj metodologiji procene rizika izdvojena su tri osnovna zavisna uticajna faktora na verovatnoću otkaza stabilnosti kosine (Slika 1). To je uticaj geomehaničke pouzdanosti softverski proračunatog faktora sigurnosti (F_s) [2, 4, 6], uticaj nedopustivog otkaza sistema odvodnjavanja unutrašnjeg odlagališta i uticaj nepredvidljivih pojava ekstremnih padavina i poplava učestalih zbog globalnih klimatskih promena. Uticaj pojave klizišta na gubitke ljudskih života ili narušavanja zdravlja predstavlja jednu od posledica događaja - otkaza stabilnosti [7, 9]. Ekonomskom analizom utvrđuje se vremenski uticaj toka novca/troškova zbog posledica otkaza, preko sadašnje vrednosti (SV), negativne buduće akumulirane vrednosti i neto sadašnje vrednosti (NSV) u zadatom vremenu [7, 9]. Nakon toga definišu se rizici po varijantnim uglovima nagiba i izbor optimalnog ugla nagiba generalne kosine unutrašnjeg odlagališta.

Proračuni F_s su zasnovani na teoriji granične ravnoteže. Korišćenjem jednog od priznatih softvera, uz poznavanje svih zahtevanih geomehaničkih ulaznih parametara, dobija se faktor sigurnosti, označen softverski kao FS , koji je propisan zakonskom regulativom u oblasti rudarstva ili preporučen od strane eksperata i strukovnih organizacija na osnovu najbolje prakse [6]. Prema Pravilniku (2010) za generalni nagib kosina odlagališta predviđen je dozvoljeni faktor sigurnosti od 1.5 do 2 kada je u pitanju lom podloge ili klizanje po podlozi. Imajući u vidu složenost unutrašnjih odlagališta na površinskim

kopovima uglja i klimatske promene, sugerise se minimalna vrednost $F_s = 2$.



Slika 1. Model izbora ugla nagiba generalne kosine unutrašnjeg odlagališta

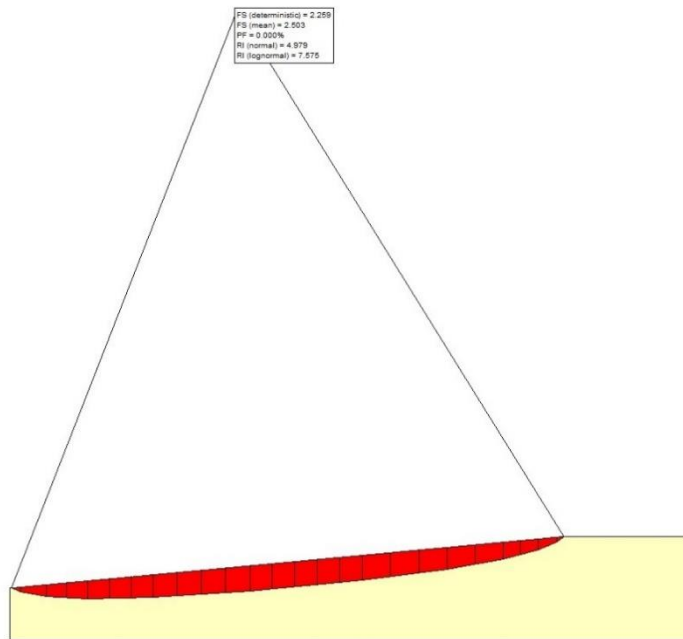
Među izlaznim softverski dobijenim parametrima, pored F_s , dobija se direktno i verovatnoća otkaza stabilnosti kosine P_{ok} (označena softverski kao PF). Vrednost verovatnoće otkaza kosine, u odnosu na odgovarajući faktor sigurnosti, kao primer, može se uočiti na Slici 2. Verovatnoća da se neće dogoditi otkaz stabilnosti kosine je $P_{sk} = 1 - P_{ok}$.

Funkcionisanje sistema odvodnjavanja i njegovo dimenzionisanje u odnosu na klimatske promene ima izuzetno značajan uticaj na stabilnost kosina unutrašnjeg odlagališta. Otkazi ovog sistema dovode do većeg zavodnjavanja tela odlagališta što negativno utiče na stabilnost kosina i može dovesti do otkaza stabilnosti i obrušavanja sa značajnim ekonomskim i ekološkim posledicama. Verovatnoća otkaza sistema odvodnjavanja dobija se na bazi vremena funkcionisanja do otkaza (T_{fo}) i vremena obnavljanja (T_{oo}).

Verovatnoća normalnog funkcionisanja do otkaza sistema odvodnjavanja, koji izuzetno utiče na stabilnost generalne kosine unutrašnjeg odlagališta, može biti definisana različitim zakonima raspodele. Najjednostavniji i u praksi najviše korišćen u analizi stacionarnih verovatnoća rada sistema je eksponencijalna raspodela izražena preko odgovarajućeg vremena funkcionisanja do otkaza sistema odvodnjavanja (T_{fo}) [8, 10, 11, 13]:

$$P_{fo}(t) = \exp(-a \cdot t)$$

gde je: t - planirano vreme rada do otkaza, a - parametar raspodele (intenzitet otkaza - $a = 1/T_{fo}$).



Slika 2. Proračun stabilnosti generalne kosine unutrašnjeg odlagališta površinskog kopa Tamnava-Zapad sa uglom nagiba od 5° (Visina odlagališta - 120 m; Porni pritisak - $R_u = 0.3$; Faktor sigurnosti - $F_s = 2.50$)

Srednje vreme do otkaza funkcionisanja sistema odvodnjavanja T_{fo} je:

$$T_{fo} = \int P_{od}(t) dt = \int \exp(-a \cdot t) dt = 1/a \quad (2)$$

Sa druge strane, rizik ili verovatnoća obnavljanja sistema odvodnjavanja nakon otkaza u vremenu t , prema eksponencijalnom zakonu raspodele, definisana je preko odgovarajućeg vremena obnavljanja (T_{oo}) sa parametrom raspodele b (intenzitet obnavljanja - $b = 1/T_{oo}$) u vremenu od 0 do t , te je:

$$P_{oo}(t) = \exp(-b \cdot t)$$

Srednje vreme obnavljanja sistema odvodnjavanja unutrašnjeg odlagališta je:

$$T_{oo} = \int P_{oo}(t) dt = \int \exp(-b \cdot t) dt = 1/b \quad (3)$$

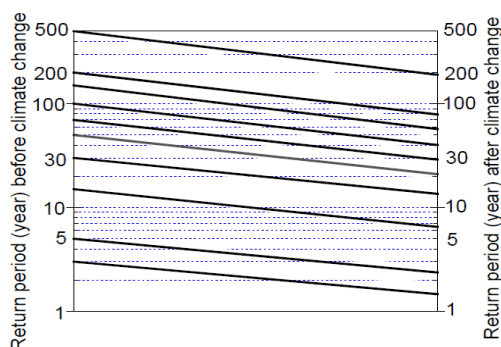
Kada $t \rightarrow \infty$, granična stacionarna verovatnoća funkcionisanja sistema odvodnjavanja (P_{fo}) i verovatnoća obnavljanja sistema odvodnjavanja posle otkaza (P_{oo}) su:

$$P_{fo} = b/(a + b) \quad (4)$$

$$P_{oo} = a/(a + b)$$

Nepredvidljivi vremenski događaji ekstremnih padavina, značajno učestali zbog globalnih klimatskih promena, dovode do poplava površinskih kopova uglja i pojava klizišta zbog promene geomehaničkih karakteristika i usporenog i otežanog odvodnjavanja unutrašnjih odlagališta. To pokazuje potrebu za smanjenjem povratnog perioda ovakvih događaja i kalkulacijama stabilnosti kosina sa uvećanim uobičajenim pornim pritiskom i redizajniranjem sistema odvodnjavanja.

Postoji veliki broj istraživanja u svetu vezanih za poplave u opštem smislu i izmenjene meteorološke uslove. Promene u 21. veku u odnosu na 20. vek su značajne. Japanski eksperti su utvrdili da povratni period katastrofalnih pojava poplava i nevremena ($T_r = 1/p$) od 50 godina mora da se svede na današnji povratni period od 20 godina (Slika 3) [3]. Hidrološki proračuni u oblasti rudarstva baziraju se na starijoj propisanoj vrednosti povratnog perioda pre klimatskih promena od 100 godina, ali je, imajući u vidu promene realno taj povratni period svesti na 50 godina.



Slika 3. Povratni periodi pre i nakon izraženih klimatskih promena [3]

Za analize verovatnoća ekstremnih pojava u zadanom vremenu od n godina je uobičajeno da se koristi geometrijska raspodela sa parametrom povezanim sa povratnim periodom (T_p) takvih događaja [5, 6, 7], sa parametrom p , gde je $p = 1/T_p$, sa funkcijom $f(t) = p(1 - p)^n$.

Verovatnoća da se katastrofalni nekontrolisani događaj (P_{kf}) neće desiti za vreme analiziranog perioda od n godina, tako da odlagalište ostaje u funkcionalnom stanju, je:

$$P_{kf} = (1 - p)^n \quad (5)$$

Rizik, ili verovatnoća da će se katastrofalan događaj desiti najmanje jedanput za vreme analiziranog perioda, kao stanje otkaza, je:

$$P_{ko} = 1 - (1 - p)^n$$

Stabilnost kosine unutrašnjeg odlagališta u celini može se definisati kao stabilnost sistema od tri nezavisna uticajna serijski povezana elementa [5, 10, 13]. Kada se sistem sastoji od m elemenata povezanih u seriji, verovatnoća stabilnog funkcionalnog stanja odlagališta $P_{fsi}(t)$ za verovatnoće funkcionisanja bez otkaza svakog od uticajnih elemenata $P_{fi}(t)$ iznosi:

$$P_{fsi}(t) = P_{f1}(t) \cdot P_{f2}(t) \cdot \dots \cdot P_{fm}(t) = \prod_{i=1}^m P_{fi}(t) \quad (6)$$

Verovatnoća otkaza sistema je:

$$P_{osi} = 1 - P_{ssi}(t) \quad (7)$$

Unutrašnje odlagalište površinskog kopa uglja je, po pravilu, složeni sistem koji je opterećen sa visokim troškovima. Dinamika pojave troškova kao posledica otkaza stabilnosti kosina odlagališta je promenljiva u vremenu, pa je i finansijski uticaj na tako ostvarene troškove veoma važan za procenu rizika [9, 12]. Zbog toga je dobro koristiti u proračunima sadašnju vrednost (PV - *Present Value*) za ukupne troškove u zadanom vremenu od n godina preko poznate jednačine $PV = C/(1+r)^n$, gde je r interesna stopa povraćaja, a C procenjeni troškovi posledica. Odatle se izvodi i formula za izračunavanje negativne akumulirane vrednosti C_a sadašnjih procenjenih troškova posledica C : $C_a = C(1+r)^n$.

Takođe je pogodno i uobičajeno analizirati neto sadašnju vrednost (NPV - *Net Present Value*) za ocenu rizika u odnosu na sukcesivnu sumu ukupnih vrednosti troškova do konačnog zadatog vremena od n godina prema formuli: $NPV = \sum_{n=0}^N C/(1+r)^n$. Uprošćeni ekonomski pristup kvantifikovanja uticaja otkaza stabilnosti odlagališta obuhvata proračun različitih vrednosti PV , C_a i NPV po varijantama nagiba generalne kosine odlagališta, koristeći model toka novca (*Cash Flow*) za troškovne posledice otkaza u zadanom vremenu od n godina.

Posledice stanja otkaza stabilnosti kosina odlagališta obuhvataju troškove sanacije masa obrušene kosine (C_s) datih u Euro/m³, troškove obnavljanja opreme i infrastrukturnih objekata (C_o), troškova zbog pojave mogućih tehnoloških i organizacionih problema sa ugrožavanjem i mogućim prestankom ili smanjenjem proizvodnje (C_p) i troškova zbog gubitaka ljudskih života ili zdravlja (C_z) [7]:

$$C = C_s + C_o + C_p + C_z, \text{ (Euro)}$$

(8)

3. Izbor ugla nagiba generalne kosine unutrašnjeg odlagališta površinskog kopa Tamnava-Zapadno Polje

Površinski kop Tamnava-Zapadno Polje je imao ogromne posledice zbog poplave 2014. godine sa direktnim troškovima rehabilitacije od preko 200 MEuro ne uzimajući u obzir indirektno troškove zbog gubitaka u proizvodnji uglja i električne energije (Slika 5 - levo). Posle sanacije katastrofalne poplave i daljih učestalih padavina došlo je do povremenih otkaza stabilnosti kosina unutrašnjeg odlagališta (Slika 4 - desno). Ozbiljno pogoršanje geomehničkih karakteristika unutrašnjeg odlagališta dovelo je do neophodne potrebe za povećanje stabilnosti generalne kosine kroz smanjenje ugla nagiba u skladu sa najboljom svetskom praksom i zakonskom regulativom.



Slika 4. Poplavljeno unutrašnje odlagalište površinskog kopa Tamnava-Zapadno Polje (levo) i cirkularno klizište nakon sanacije (desno)

Inovirani varijantni proračun stabilnosti generalne kosine unutrašnjeg odlagališta vršen je za uglove nagiba od 0 do 10 stepeni. Za demonstraciju metodološkog pristupa izbora nagiba generalne kosine u ovom primeru, analize stabilnosti rađene su sa pornim pritiscima (Ru) od 0 do 0.5.

Usvojena su sledeća fizičko-mehanička svojstva odloženog materijala i drugi ulazni geometrijski, zakonski i vremenski parametri:

Zapreminska masa: $\gamma = 18.5 \text{ KN/m}^3$

Kohezija: $C_k = 5 \text{ KN/m}^2$

Ugao unutrašnjeg trenja: $\varphi = 16^\circ$

Koeficijent pornog pritiska: $Ru = 0 \text{ do } 0.5$

Visina generalne kosine: $H_o = 120 \text{ m}$

Generalni ugao nagiba kosine odlagališta (α): 0 do 10 stepeni

Faktor sigurnosti je usvojen prema Pravilniku: $Fs = 2$ za lom ili klizanje po podlozi

Vreme funkcionisanja sistema odvodnjavanja do otkaza (2): $T_{fo} = 1/a = 3 \text{ years}$

Vreme obnavljanja sistema odvodnjavanja (3): $T_{oo} = 1/b = 0.25 \text{ godine za } 6^0 \text{ i } 0.17 \text{ godine za } 4^0$

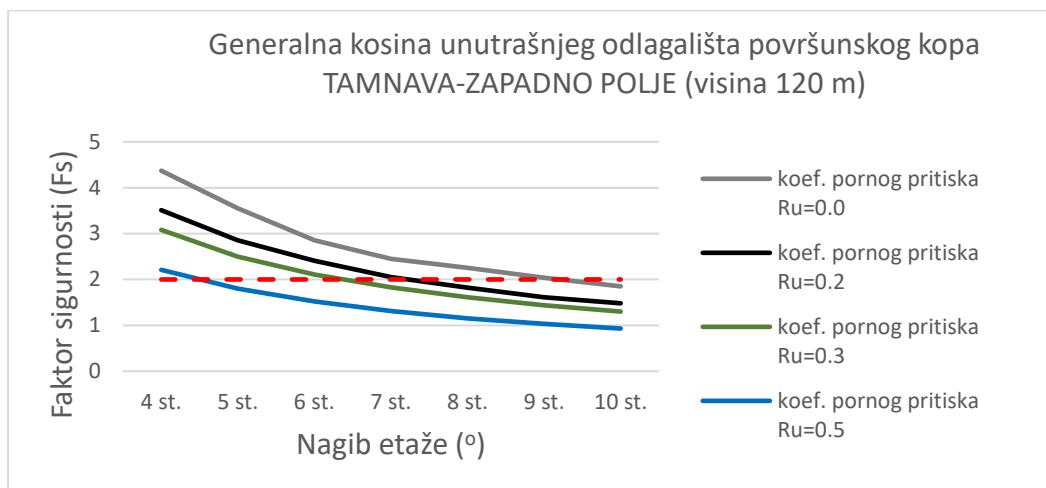
Povratni period nekontrolisanog ekstremnog događaja: $T_r = 20 \text{ godina}$ ($p = 1/T_r = 0.05$)

Analizirani period: $n = 6 \text{ godina}$

Proračunate vrednosti Fs za koeficijente pornih pritisaka (Ru) od 0 do 0.5, visinu odlagališta (H_o) od 120 m i uglove nagiba generalne kosine od 4 do 10 stepeni, dobijene su korišćenjem softvera Rocscience, Slide 6.0, i date su u Tabeli 1. Grafički prikaz promene faktora sigurnosti u odnosu na uglove nagiba generalne kosine unutrašnjeg odlagališta je dat na Slici 5.

Tabela 1. Proračunati F_s u zavisnosti od nagiba kosine i koeficijenta pornog pritiska

R_u	F_s za $H_o = 120$ m						
	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
0	4.37	3.55	2.85	2.45	2.25	2.04	1.85
0.2	3.51	2.85	2.41	2.05	1.82	1.61	1.48
0.3	3.08	2.5	2.11	1.83	1.61	1.44	1.3
0.5	2.21	1.8	1.52	1.31	1.15	1.03	0.93



Slika 5. Promene faktora sigurnosti u odnosu na uglove nagiba kosine odlagališta

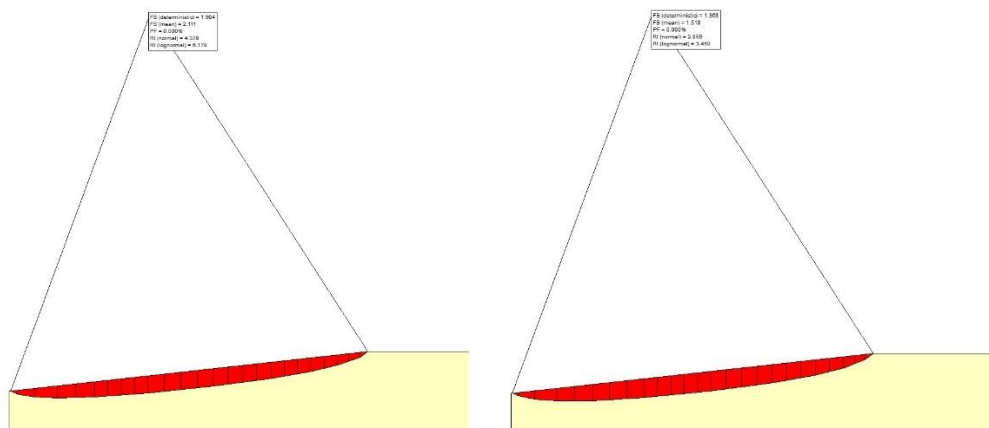
U Tabeli 1 se vidi da generalni ugao nagiba kosine odlagališta od 10° nema zadovoljavajući usvojeni faktor sigurnosti ($F_s = 2$) za sve analizirane koeficijente pornog pritiska. Faktori sigurnosti od 2.04, 2.25 i 2.05 za uglove nagiba od 9, 8 i 7 stepeni su zadovoljavajući, ali za koeficijente pornog pritiska $R_u = 0$ za 9 i 8 stepeni i 0.2 za 7 stepeni, koje realno nije moguće realizovati sa ovim tipom unutrašnjih odlagališta na površinskim kopovima uglja, tako da analize sa ovim parametrima dalje nisu vršene. Analize za ugao nagiba generalne kosine odlagališta od 5° (Slika 2) nisu vršene imajući u vidu previsoke vrednosti F_s i princip da se za isti koeficijent pornog pritiska i sličnu vrednost F_s usvaja za dalju obradu veći ugao nagiba.

Utvrđivanje ukupne verovatnoće stanja stabilnosti generalne kosine odlagališta (P_{fs}) (stanje bez otkaza) vršeno je na osnovu proizvoda verovatnoća u odnosu na uticajne faktore. Verovatnoća da će doći do otkaza stabilnosti kosine odlagališta (P_o) dobija se iz osnovnog softverskog proračuna faktora stabilnosti (F_s) sa izračunatim P_o (softverski PF - Slike 2 i 6). Verovatnoća da neće doći do otkaza stabilnosti kosine dobija se iz izraza $P_s = 1 - P_o$.

Verovatnoća rada do otkaza sistema odvodnjavanja odlagališta, odnosno, njegovog funkcionisanja (P_{fo}) dobijena je iz formula (2), (3) i (4). Zbog manjeg uticaja na funkcionisanje, vreme obnavljanja (P_{oo}) je skraćeno sa 0.25 na 0.17 godine za ugao nagiba generalne kosine odlagališta od 4° u odnosu na 6°.

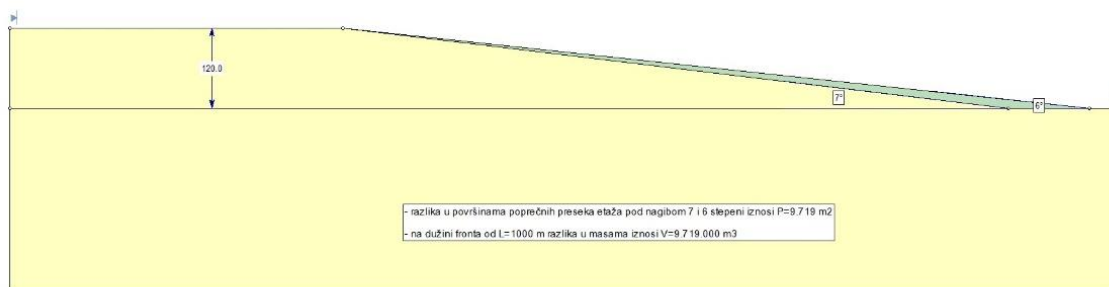
Verovatnoće da se neće dogoditi katastrofalni nekontrolisani događaj (P_{kf}) za povratni period od 20 godina u narednom periodu od 6 godina su dobijene iz formule (5).

U konkretnoj analizi, ukupne verovatnoće da neće doći do otkaza stabilnosti kosine (P_{fs}) su date uglove od 6° i 4° u narednih 6 godina rada površinskog kopa izračunate su prema formuli 6. Verovatnoće da će doći do otkaza stabilnosti kosine za date uglove dobijene su iz formule (7). Rezultati su prikazani u Tabeli 2.



Slika 6. Faktori stabilnosti generalne kosine unutrašnjeg odlagališta površinskog urađen za uglove nagiba od 6° i $R_u = 0,3$ (levo) - $F_s = 2,11$, i ugao nagiba od 4° i $R_u = 0,5$ (desno) - $F_s = 2,21$

Procenjeno je da posledice stanja otkaza stabilnosti kosine odlagališta obuhvataju troškove sanacije masa obrušene kosine od $C_v = 8$ i 6 Mm^3 za generalne uglove nagiba od 6° i 4°, po ceni od 2 Euro/ m^3 , troškove opravki i rekonstrukcija opreme i drugih infrastrukturnih objekata od $C_r = 2$ i 1 MEuro za uglove generalne kosine 6° i 4°, moguće gubitke u proizvodnji $C_p = 3$ i 2 MEuro za generalne uglove nagiba 6° i 4° i troškove gubitka ljudskih života ili zdravlja $C_h = 0.5$ MEuro. Gubici u proizvodnji za ugao od 4° su dodatno uvećani zbog skraćivanja prostiranja i procenjenih gubitaka zapremine unutrašnjeg odlagališta od 18 Mm^3 (Slika 7) po ceni od 1 Euro/ m^3 u odnosu na formiranje pod uglom od 6°. Svi rezultati su prikazani u Tabeli 2.



Slika 4. Razlika u površinama poprečnih preseka unutrašnjeg odlagališta pri smanjenju ugla nagiba generalne kosine sa 7° na 6° ($P = 9,719 \text{ m}^2$, što na dužini fronta od 1,000 m iznosi $V = 9,719.000 \text{ m}^3$)

Tabela 2. Verovatnoće stabilnog stanja kosine odlagališta za uglove od 6 i 4 stepena u odnosu na uticajne faktore i odgovarajuće posledice (euro)

Ugao nagiba kosine	$P_{sk} = 1 - P_{ok}$	P_{fo} (2), (3), (4)	P_{kf} (5)	P_{fs} (6)	P_{os} (7)	C_s	C_o	C_p	C_z	C (8) Meuro	R (1)	R_{PV} (1)
6°	1	0.92	0.74	0.68	0.32	16	2	3	0.5	21.5	6.88	3.89
4°	1	0.95	0.74	0.70	0.30	12	1	20	0.5	33.5	10.05	5.67

Rizik od otkaza stabilnosti generalne kosine unutrašnjeg odlagališta na površinskom koku Tamnava-Zapadno Polje za uglove nagiba od 6 i 4 stepena su $R6^0 = 6.88$ i $R4^0 = 10.05$. Jasno se može zaključiti da je opcija izbora ugla nagiba od 6 stepeni povoljnija sa znatno manjim rizikom u odnosu na opciju nagiba od 4 stepena.

Izvršena je ekonomska analiza troškova posledica otkaza generalne kosine unutrašnjeg odlagališta površinskog kopa Tamnava-Zapadno Polje po varijantama uglova nagiba na osnovu procene sadašnje vrednosti i neto sadašnje vrednosti, uzimajući u obzir troškove prikazane u Tabeli 6. Usvojena interna stopa povraćaja je $r = 10\%$ dok je vreme do pojave otkaza $n = 6$ godina za PV i C_a analizu. Za NPV analizu su dodati godišnji tekući troškovi odvodnjavanja od 1 MEuro za nagib kosine od 4 stepena i uvećani preventivno 100% na 2 MEuro u varijanti sa uglom nagiba od 6 stepeni zbog smanjenja pornog pritiska sa 0.5 na 0.3. Rezultati proračuna dati su u Tabeli 3.

Tabela 3. Sadašnja i neto sadašnja vrednost troškova za period od 6 godina

Nagib kosine odlagališta	4 ⁰	6 ⁰
$PV(\text{€}) - PV = C/(1+r)^n$	-18.91	-12.15
$C_a (\text{€}) - C_a = C(1+r)^n$	-59.30	-38.06
$NPV (\text{€}) - NPV = \sum_{n=0}^N C/(1+r)^n$	-23.27 -27.62	-20.85

Iz Tabele 3 se može jasno zaključiti da je, sa aspekta sadašnje vrednosti kao i neto sadašnje vrednosti, povoljniji izbor opcije sa uglom nagiba generalne kosine unutrašnjeg odlagališta od 6 stepeni.

U odnosu na rizik otkaza stabilnosti generalne kosine unutrašnjeg odlagališta za ugao nagiba od 4⁰, rizik za kosinu od 6⁰ je umanjen za 32% za klasični proračun ($R6^0$ i $R4^0$), kao i za vrednosti PV analize (R_{PV6^0} i R_{PV4^0}) (Tabela 2). Akumulirana vrednosti sadašnjih troškova posledica PV posle šest godina C_a za $PV4^0$ je uvećana za 21 MEuro u odnosu na $PV6^0$ (Tabela 3). Jasno je da je opcija formiranja generalne kosine unutrašnjeg odlagališta od 6⁰ sa svih aspekata najprihvatljivija. Takođe, i analiza NPV , sa učešćem godišnjih neophodnih troškova odvodnjavanja za obezbeđenje stabilnosti, pokazuje jasnu prednost varijante sa uglom nagiba od 6⁰ sa ukupnim iznosom NPV u šestogodišnjem periodu manjim za preko 2 MEuro u odnosu na varijantu ugla nagiba kosine odlagališta od 4⁰ (Tabela 3).

Uočljivo je da najveći uticaj na promenu ukupne verovatnoće stabilnosti odlagališta softverski proračunata verovatnoća otkaza stabilnosti, imajući u vidu da su razlike u verovatnoćama druge dva uticajna faktora relativno male ili ih uopšte nema, tako da je neophodno posebnu pažnju usmeriti na što tačnije procene ulaznih geomehantičkih parametara i stalna dodatna istraživanja radne sredine u vremenu i prostoru.

4. Zaključak

Tekuće klimatske promene praćene obilnim padavinama i poplavama površinskih kopova dovode do znatnog pogoršanja geomehantičkih karakteristika, posebno kada su u pitanju materijali otkrivke unutrašnjih odlagališta. Ovo uslovljava određene promene pristupu proračuna dozvoljenih vrednosti uticajnih faktora obuhvaćenih u obrađenom primeru, kao što su faktor sigurnosti, stepen zavodnjenosti, povratni period ekstremnih vremenskih pojava i funkcionisanje sistema odvodnjavanja. Na primeru površinskog kopa Tamnava-Zapadno Polje je pokazana mogućnost primene modela verovatnoća sa kvantitativnim pristupom za optimizaciju ugla nagiba generalne kosine unutrašnjeg odlagališta u funkciji rizika. Ovi rizici su dobijeni na osnovu proizvoda ukupne verovatnoće otkaza stabilnosti dobijene na osnovu verovatnoća otkaza zavisno povezanih uticajnih elemenata i ozbiljnih posledica otkaza stabilnosti odlagališta. Analizu prati i dodatna ekonomska vremenska analiza za realnu procenu troškova sanacije i tehničko-tehnološke rehabilitacije unutrašnjeg odlagališta. Praktične analize su pokazale da je za proračune rizika od izuzetne važnosti vršiti stalna geomehantička istraživanja i monitoring odlagališta za verifikaciju ulaznih parametara za proračun faktora sigurnosti, kao i što precizniju kontinualnu procenu posledica. Na ovaj način se obezbeđuje sigurno funkcionisanje unutrašnjeg odlagališta i pouzdan rad površinskog kopa Tamnava-Zapadno Polje i u promenjenim klimatskim uslovima.

Literatura

- [1] Cox D. R. & Miller H. D. (1998): The Theory of Stochastic Processes, Chapman and Hall,

London

- [2] Jean-Alain Fleurisson (2011): Slope Design and Implementation in Open Pit Mines: Geological and Geomechanical Approach, 1st International Symposium on Innovation and Technology in the Phosphate Industry [SYMPHOS 2011], Procedia Engineering 46 (2012)
- [3] Masaru Morita (2014): Flood Risk Impact Factor for Comparatively Evaluating the Main Causes that Contribute to Flood Risk in Urban Drainage Areas, Water 2014
- [4] Narendranathan S. and others (2021): A case study - from operation to closure, transient slope supplementation measures for the northern batters of the Hazelwood mine, using the MGRI approach, Mine Closure 2021 - AB Fourie, M Tibbett & A Sharkuu (eds), ISBN 978-9919-25-266-3
- [5] Ozga-Zielinski B., Adamowski J. and Ciupak M. (2018): Applying the Theory of Reliability to the Assessment of Hazard, Risk and Safety in Hydrologic System: A Case Study in the Upper Sola River Catchment. Water, 10 (723)
- [6] Pavlovic N., Petrovic B., Subaranovic T., Jakovljevic I. (2022): Internal Dump Slope Stability Risk Assessment on Opencast Coal Mine Tamnava-West, X International Geomechanics Conference, Varna
- [7] Pavlovic N., Ignjatovic D., Pavlovic V. (2019): Assessment of social and environmental risks on open cast coal mines, Int. J. Mining and Mineral Engineering, Vol. 10, Nos. 2/3/4, 2019 271, Inderscience Enterprises Ltd.
- [8] Pavlovic V. (1998): Continuous Mining Reliability, Ellis Horwood Limited, Chichester
- [9] Pavlovic V., Ignjatovic D., Subaranovic T. (2016): Implementation of the rehabilitation operational strategy for the flooded opencast coal mine Tamnava-West Field, IMWA2016, Leipzig
- [10] Pavlović V., Ignjatovic D., Šubaranović T. (2017): Reliability and risks of mining projects realization, 8th International Conference COAL2017, Zlatibor
- [11] Pavlović V., Subaranovic T. (2012): Opencast mining dewatering systems reliability, optimization and management, Monograph (in Serbian), ISBN: 978-86-7352-240-1, COBISS.SR-ID 192077836, University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Belgrade
- [12] Todinov M. T. (2006): Risk-Based Reliability Analysis and Generic Principles for Risk Reduction, Elsevier Science & Technology Books
- [13] Wolstenholme L. C. (1999): Reliability Modelling, Chapman and Hall, London



UTICAJ EKSTREMNIH PRIRODNIH PROCESA NA RIZIKE POVRŠINSKE EKSPLOATACIJE

IMPACT OF EXTREME NATURAL PROCESSES ON OPENCAST MINING RISKS

Pavlović N.¹, Šubaranović T.², Ignjatović D.³

Apstrakt

Nepredvidivi ekološki-negativni slučajni procesi mogu uticati na geo-tehnički sistem pri površinskoj eksploataciji ležišta mineralnih sirovina, što u velikoj meri uvećava rizike i ugrožava realizaciju proizvodnje. Kvantitativna analiza sa proračunom verovatnoća pojava ovakvih ekstremnih događaja i procenom odgovarajućih ekonomskih posledica, posebno u uslovima globalnih klimatskih promena, omogućava definisanje rizika i optimizaciju parametara sistema površinske eksploatacije.

Ključne reči: površinska eksploatacija, proizvodnja, ekologija, sistem, proces, rizik

Abstract

Unpredictable ecologically negative random processes can affect the geo-technical system of opencast mining of mineral deposits, which greatly increases the risks and endangers the realization of production. A quantitative analysis with calculation of probabilities of occurrence for such extreme events and assessment of corresponding economic consequences, especially in the conditions of global climate change, enables definition of risk and optimization of opencast mining system parameters.

Key words: opencast mining, production, ecology, system, process, risk

1. Uvod

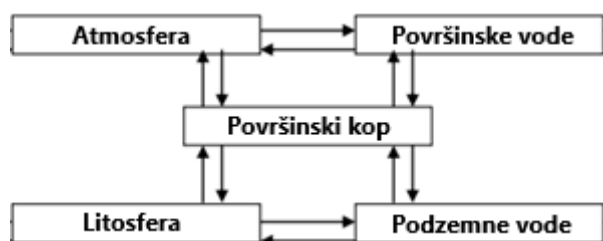
Površinski kop se može predstaviti kao geo-tehnički sistem sa vezom i međusobnim uticajem *prirodnog podsistema* i *tehničkog/rudarskog podsistema*, koji obuhvata, pored kopa u užem smislu, i infrastrukturu, objekte i upravljanje uključujući potrebe za mineralnom sirovinom. Koncept i principi analize ovako postavljenog složenog sistema u oblasti održive površinske eksploatacije obuhvataju analizu uzajamnih uticaja negativnih ekoloških procesa prirodnog i tehničkog podsistema, uz utvrđivanje verovatnoća pojave negativnih stanja kao i ekoloških i proizvodnih ekonomskih posledica [8, 9].

Ekološki uticaj tehničkog rudarskog podsistema je uveliko sagledan u svetskoj praksi i odnosi se na narušavanje litosfere, izmenu stanja i karakteristika podzemnih i površinskih voda kao i atmosfere (Slika 1). Obrnuto, sa aspekta ekstremnih negativnih uticaja prirodnog podsistema na površinsku eksploataciju se, preko atmosfere i nepredviđenih ekstremnih uvećavanja nivoa površinskih i podzemnih voda, ozbiljno pa i dugoročnije ugrožava planirana proizvodnja [7]. Izmene u litosferi, uključujući i seizmiku, koje obuhvataju nepredviđene promene geomehaničkih karakteristika radne sredine, bilo da je reč o otkrivci ili mineralnoj sirovini, varijacije količina i kvaliteta mineralne sirovine u ležištu.

¹ Pavlović Natalija, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

² Prof. dr Šubaranović Tomislav, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

³ Prof. dr Ignjatović Dragan, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu



Slika 1. Struktura povezanosti prirodno-tehničkog sistema površinske eksploatacije

Svi navedeni uticaji prirodnih negativnih procesa, gde su najizraženije pojave poplave i klizišta (Slika 2), dovode do ekonomskih posledica vezanih za sanacije ali i gubitke u proizvodnji površinskih kopova. Osnovu za sagledavanje slučajnih procesa prirodnog podsistema i rizika zbog nastanka negativnih ekstremnih događaja sa uticajem na proizvodnju, čini procena verovatnoća pojava takvih stanja i nivoa posledica sa ekonomskog aspekta [5, 10, 11].

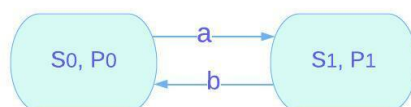


Slika 2. Poplava i klizište na površinskom kopu Tamnava-Zapadno Polje 2014. godine

Postavljeni matematički model procene rizika uticaja prirodnog okruženja zasniva se na teoriji verovatnoće i omogućava predviđanje stanja sistema, mera zaštite i kontrolu u svim fazama razvoja površinskog kopa.

2. Rizici i posledice prirodnih procesa na površinsku eksploataciju

Stanja normalnog funkcionisanja (S_0) i otkaza (S_1) površinskog kopa kao tehničkog podsistema u vremenu (T) u odnosu na negativni uticaj prirodnog podsistema u vremenu (t) kao stacionarni proces, može se pojednostavljeno analizirati na bazi postavljenog grafa sa dva stanja (Slika 2).



Slika 2. Graf stanja uticaja prirodnog podsistema na rad površinskog kopa

Stanje otkaza eksploatacije (S_1) se javlja zbog ekstremnog negativnog prirodnog događaja u vremenu (t) sa troškovima sanacije i gubicima u proizvodnji koji premašuju projektovane dopuštene granične vrednosti. Većim ulaganjima u zaštitu od negativnih prirodnih procesa smanjuje se njihov uticaj i vreme otkaza tehničkog podsistema, kao i realizacija planirane proizvodnje.

Prihvatljivo uprošćeno dobijanje verovatnoća stanja podsistema podrazumeva korišćenje pravila totalne verovatnoće po kome je verovatnoća svakog datog stanja pomnožena sa sumom svih intenziteta prelaza u druga stanja jednaka sumi svih drugih verovatnoća pomnoženih sa odgovarajućim

intenzitetima prelaza u dato stanje u datom vremenu [1, 4]. Tako se prema grafu sa dva stanja (Slika 2), dobijaju sledeće verovatnoće Kolmogorova za stanja funkcionisanja (S_0) i otkaza (P_1) površinskog kopa:

$$\frac{dP_0}{dt} = -aP_0 + bP_1; \quad \frac{dP_1}{dt} = aP_0 - bP_1, \text{ odnosno}$$

$$a \cdot P_0 = b \cdot P_1; \quad P_0 + P_1 = 1,$$

odakle je:

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{a}{b}} = \frac{b}{a + b}; \quad P_1 = \frac{a}{a + b} \quad (1)$$

Tu su a i b intenziteti prelaza iz stanja S_0 u stanje S_1 i iz stanja S_1 u stanje S_0 , i predstavljaju recipročne vrednosti srednjih vremena rada do otkaza proizvodnje površinskog kopa zbog prirodnih ekstremnih događaja ($T = 1/a$) i vremena u stanju otkaza ($t = 1/b$).

Jasno je da planske preventivne aktivnosti i kontrolisanje vremena rada i otkaza u održivoj površinskoj eksploataciji, omogućava i optimizaciju funkcionisanja i troškova posledica otkaza [2, 3, 6]. Složeni ekonomski parametri zavisnosti površinskog kopa od negativnih posledica prirodnih procesa obuhvataju i informacije o planiranoj jediničnoj proizvodnji u datom vremenu (Q), sanacionim radovima i ukupnim troškovima. Odgovarajućim promenama parametara dolazi se do optimizacije održivog rada površinskog kopa u odnosu na uticaj prirodnih procesa.

U opštem slučaju, indikator uspešnosti rada površinskog kopa (D) u odnosu na negativni uticaj prirodnih procesa je [7]:

$$D = D_0 + D_1 \quad (2)$$

gde je: D - dohodak pri planiranom radu površinskog kopa bez otkaza u vremenu $\sum T_i$ ($i = 1, \dots, n$) sa jediničnom proizvodnjom Q uz jediničnu cenu C u stanju D_0 i D_1 - suma troškova obnavljanja/sanacije posledica i gubitaka u proizvodnji izraženih u $G \cdot C$ jedinicama u vremenu $\sum t_i$ ($i = 1, \dots, m$).

$$\text{Tako je: } D = Q \cdot C \sum T_i - Q \cdot C \sum t_i$$

$$\text{Kako je: } \frac{D_1}{D_0} = \frac{D_0 - D}{D_0} = \frac{D_0 - (D_0 - D_1)}{D_0}$$

$$\text{Sledi: } \frac{D_1}{D_0} = \frac{Q \cdot C (\sum T_i - (\sum T_i - \sum t_i))}{Q \cdot C \sum T_i}$$

$$\text{Konačno je: } \frac{D_1}{D_0} = \frac{\sum t_i}{\sum T_i} = \frac{a}{b} \quad (3)$$

Na osnovu prethodnih jednačina (2) i (3) dobija se zavisnost stacionarne slučajne verovatnoće rada površinskog kopa (P_0) od ukupnog dohotka (D_0) i ukupnih troškova posledica (D_1) odnosno, intenziteta prelaza iz stanja u stanje (a i b):

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{D_1}{D_0}} = \frac{D_0}{D_0 + D_1} = \frac{1}{1 + \frac{a}{b}} \quad (4)$$

Na procenu posledica katastrofalnih prirodnih procesa vezanih za sanaciju i gubitke proizvodnje najveći značaj ima vrsta procesa i vreme sanacije posledica [3, 5, 8]. Optimizacija investiranja u povećanje pouzdanosti, odnosno, vremena rada površinskog kopa u uslovima globalnih klimatskih promena, obuhvata detaljnu tehno-ekonomsku analizu, koja može biti odlučujuća pri donošenju odluka za otvaranja i izgradnju novih površinskih kopova u zonama sa izraženim predispozicijama pojave negativnih prirodnih procesa.

Potreba za stalnom kontrolom prognoznih parametara stanja prirodnih procesa proizilazi iz zahteva za maksimalno skraćivanje vremena saniranja i troškova zbog mogućih otkaza rada površinskog kopa [5, 8]. Konačno, tehno-ekonomska analiza obuhvata utvrđivanje i procenu rizika (R) i posledica

(D₁) izraženim u novčanim jedinicama (Q*C):

$$R = P_1 \cdot D_1 = P_1 \cdot Q \cdot C \cdot \sum t_i = \frac{a}{a+b} \cdot Q \cdot C \cdot \sum t_i \quad (5)$$

Postavljeni postupak optimizacije održivog funkcionisanja površinskog kopa, u odnosu na negativne i katastrofalne prirodne procese, sa otvara mogućnost fleksibilnog prilaza i senzitivne analize rizika sa jasnom utvrđenom vezom parametara pouzdanosti i troškova otkaza uz jednostavnu praktičnu primenu.

3. Zaključak

Uzroci otkaza površinskog kopa zbog negativnih prirodnih slučajnih procesa mogu biti veoma različiti i obuhvataju litološke faktore, uključujući kvalitativne i kvantitativne ležišne uslove, radnu sredinu sa geomehaničkim karakteristikama i seizmikom, kao i hidrološke promene sa uticajem na režime površinskih i podzemnih voda. Za sagledavanje uticaja tih procesa, neophodno je stalno praćenje i preračunavanje ulaznih parametara u vremenu i prostoru razvoja površinske eksploatacije. Sa druge strane, obavezna je kontrola optimizovanih mera preventivnih aktivnosti za skraćanje vremena otkaza rada površinskog kopa zbog ekstremnih prirodnih procesa, smanjenja troškova i rizika površinske eksploatacije.

Literatura

- [1] Cox D. R. & Miller H. D. (1998): *The Theory of Stochastic Processes*. Chapman and Hall, London
- [2] Masaru M.: *Flood Risk Impact Factor for Comparatively Evaluating the Main Causes that Contribute to Flood Risk in Urban Drainage Areas*. Water 2014
- [3] Ozga-Zielinski B., Adamowski J. and Ciupak M. (2018): *Applying the Theory of Reliability to the Assessment of Hazard, Risk and Safety in Hydrologic System: A Case Study in the Upper Sola River Catchment*. Water 2018, 10 (723)
- [4] Pavlovic V. (1998): *Continuous Mining Reliability*. Ellis Horwood Limited, Chichester
- [5] Pavlović N., Ignjatović D., Pavlović V. (2019): *Assessment of social and environmental risks on opencast coal mines*. *Int. J. Mining and Mineral Engineering, Vol. 10, Nos. 2/3/4, 2019* 271, Inderscience Enterprises Ltd.
- [6] Pavlović N., Petrović B., Subaranović T., Jakovljević I. (2022): *Internal dump slope stability risk assessment on opencast coal mine Tamnava-West*. X International Geomechanics Conference, Varna, Bulgaria
- [7] Pavlović V., Pavlović V., Jovičić V. (2006): *Managing of Ecological Processes in Surface Mining*. ISCSM 2006, Aachen, Germany
- [8] Pavlović V., Ignjatović D., Subaranović T. (2016): *Implementation of the rehabilitation operational strategy for the flooded opencast coal mine Tamnava-West Field*. IMWA2016, Leipzig
- [9] Pavlović V., Ignjatović D., Šubaranović T. (2017): *Reliability and risks of mining projects realization*. 8th International Conference COAL2017, Zlatibor
- [10] Pavlović V., Subaranović T.: *Pouzdanost, optimizacija i upravljanje sistemima odvodnjavanja površinskih kopova*. Monografija, ISBN: 978-86-7352-240-1, COBISS.SR-ID 192077836, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2012
- [11] Todinov M. T. (2006): *Risk-Based Reliability Analysis and Generic Principles for Risk Reduction*. Elsevier Science & Technology Books



ODRŽIVI RAZVOJ RUDARSKOG SEKTORA
SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF MINING SECTOR

Pavlović V.¹, Ignjatović D.², Šubaranović T.³

Apstrakt

Imajući u vidu sve veću zabrinutost za stanje životne sredine i socioekonomsku nejednakost, sektorska održivost, bez obzira na privrednu delatnost, privlači sve veću pažnju kako globalno tako i lokalno. U tom smislu postoji konsenzus kod svih zainteresovanih strana da čovečanstvo treba da usvoji mere za promenu trenutno neodrživih obrazaca proizvodnje i potrošnje.

Rudarska industrija igra fundamentalnu ulogu u ovom kontekstu, privlačeći pažnju kroz različite inicijative tokom poslednjih decenija. Neke od njih su čak i primenjene u praksi ali konsenzus o implikacijama održivosti u rudarskoj industriji još uvek nije postignut. Zbog toga, postoji jasna potreba da rudarski sektor, uključujući i sve zainteresovane strane i dalje radi na postizanju konsenzusa o održivom rudarstvu i njegovom održivom razvoju.

Ovaj rad ima za cilj da produbi diskusiju o tome kako mineralni sektor može da poboljša svoju održivost.

Ključne reči: rudarski sektor, održivi razvoj, mineralni resursi, prerada mineral, globalizacija

Abstract

Given the increasing concern about the state of the environment and socioeconomic inequality, sectoral sustainability, regardless of economic activity, is attracting increasing attention both globally and locally. In this sense, there is a consensus among all interested parties that humanity should adopt measures to change the currently unsustainable patterns of production and consumption.

The mining industry plays a fundamental role in this context, attracting attention through various initiatives during the last decades. Some of them have even been implemented in practice, but a consensus on the implications of sustainability in the mining industry has not yet been reached. Therefore, there is a clear need for the mining sector, including all stakeholders, to continue to work towards reaching a consensus on sustainable mining and its sustainable development.

This paper aims to deepen the discussion on how the mineral sector can improve its sustainability.

Key words: mining sector, sustainable development, mineral resources, mineral processing, globalization

1. Uvod

Rudarstvo, istorijski gledano, bilo je jedna od industrijskih aktivnosti koja je najviše doprinela ekonomskom i svakom drugom razvoju razvoju čovečanstva, služeći kao osnova za gotovo sve

¹ Prof. dr Pavlović Vladimir, Centar za površinsku eksploataciju, Beograd

² Prof. dr Ignjatović Dragan, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

³ Prof. dr Šubaranović Tomislav, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

industrije a pre svega energetiku, građevinarstvo, hemijsku, farmaceutsku, automobilsku, elektroniku, avio industriju, poljoprivredu. Ovaj istorijski trend primarne eksploatacije mineralnih resursa nastaviće se i u budućnosti bez obzira na napore pojedinih zainteresovanih strana usmerene na recikliranje i cirkularnu ekonomiju mineralnih sirovina kao i napore usmerene na zamenu energetske mineralne resursa obnovljivim izvorima energije, a sve pod paradigmom održivog razvoja čovečanstva. Bez obzira na interese i u tom kontekstu lobiranje pojedinih zainteresovanih strana da se ekonomski i svaki drugi razvoj čovečanstva zasnovan na kontinuiranom povećanju eksploatacije primarnih mineralnih resursa neutemeljeno proglaši neodrživim, sve prognoze relevantnih svetskih institucija ukazuju da će se od sada pa do 2060. godine, najmanje udvostručiti potrošnja primarnih i posebno kritičnih mineralnih sirovina.

2. Izazovi održivog razvoja

Industrijski rast i ekonomski razvoj bili su dominantne paradigme od prve industrijske revolucije pa sve do prve polovine 20. veka. Šezdesetih godina prošlog veka počela su da se postavljaju pitanja u vezi sa ovim modelom razvoja koji je povezan sa intenzivnom eksploatacijom resursa i stalnim tehničko-tehnološkim inovacijama. U ovom periodu došlo je do rasta životnog standarda čovečanstva kao i rasta svetske populacije ali je istovremeno došlo i do velike nejednakosti, kako u prihodima, tako i u potrošnji resursa, između razvijenih zemalja i onih koje se tek razvijaju. U tom kontekstu, osnovan je Rimski klub krajem šezdesetih godina prošlog veka kao interdisciplinarna neformalna organizacija, sa snažnom naučnom pozadinom, koja je proučavala značajna svetska pitanja iz sistematičnije perspektive, sa ciljem da razume složenost interakcija između različitih elemenata (tehničkih, društvenih, ekoloških, ekonomskih i političkih) i ograničenih prirodnih i neobnovljivih resursa na našoj planeti. Dokument koji je proizašao iz rada Rimskog kluba, pod nazivom *Granice rasta*, imao je veliki uticaj na međunarodnu političku agendu i prepoznat je kao prvi znak upozorenja za čovečanstvo o hitnoj potrebi promene preovlađujuće razvojne paradigme. Objavljivanje ovog dokumenta Rimskog kluba poslužilo je kao osnova za ono što će kasnije biti izgrađeno kao paradigma održivog razvoja, iako je u praksi naglasak na ekonomskom razvoju ostao dominantan na globalnom nivou.

Ujedinjene nacije (UN) su imale vodeću ulogu u širenju ove nove razvojne paradigme širom sveta, prvo na Stokholmskoj konferenciji 1972. godine, a kasnije i stvaranjem Brundtlandove komisije (1987. godine) i uvođenjem jedinstvenog koncepta održivog razvoja koji podrazumeva razvoj koji zadovoljava potrebe sadašnjih generacija pri čemu ne dovodi u pitanje mogućnost budućih generacija da zadovolje svoje potrebe. Ovako definisanim konceptom održivog razvoja stavlja se naglasak na unutargeneracijske i međugeneracijske jednakosti. Vodeća uloga UN nastavljena je Konferencijom u Riju (Eco-92 ili Earth Summit) 1992. godine, gde je skoro 180 zemalja počelo da se formalno obavezuje na usvajanje principa i akcija za prelazak na održivi razvoj. Akcioni plan sa ove konferencije (Agenda 21) je revidiran na daljim konferencijama, uključujući Rio+10 2002. i Rio+20 2012. Koncept održivog razvoja Ujedinjenih nacija formalizovan kroz *Poslovnu povelju za održivi razvoj*, koju je napisala Međunarodna privredna komora za Eco-92, imala je samo ograničeno razumevanje osnovne logike održivog razvoja, pa je prioritet privrede bio samo *ozelenjavanja* ekonomskih aktivnosti, ostavljajući po strani druge aspekte, kao što su politički, etički i socijalni, koji takođe direktno utiču na ekonomiju, društvo i životnu sredinu. Kako bi se konkretizovala i konsolidovala društvena dimenzija održivog razvoja kao nove razvojne paradigme UN su, kao deo Agende za održivi razvoj Ujedinjenih nacija do 2030. godine uspostavile 17 ciljeva održivog razvoja pri čemu je *iskorenjivanje siromaštva* prepoznato kao ključni cilj.

Najviše konkretizovan koncept održivosti zasnovan je na modelu *Triple Bottom Line* (TBL) koji se bazira se na tri stuba (dimenzije) održivosti: ekološkom, ekonomskom i socijalnom (društvenom). Iako je ovaj koncept održivog razvoja verovatno najviše korišćen, u njegovoj implementaciji prepoznate su metodološke poteškoće, posebno u pogledu balansnog pristupa i pravilne interakcije između ekološke efikasnosti (interakcija privrede i životne sredine), ekološke pravde (interakcija životne sredine i društva) i poslovne etike (društveno-ekonomska interakcija). Takođe, društvene i ekološke dimenzije nije lako kvantifikovati u praksi u poređenju sa ekonomskom dimenzijom, tako da ovaj nedostatak jasnoće najčešće rezultira njihovom kvantifikacijom u funkciji njihove finansijske izvodljivosti.

Na bazi koncepta održivosti zasnovanog na modelu *Triple Bottom Line* (TBL) razvijani su prošireni koncepti koji uključuju *institucionalnu, etičku, tehnološku* i *vremensku* dimenziju. Vremenska dimenzije se uključuje u kontekstu međugeneracijske perspektive i ima za cilj da garantuje dugoročni kontinuitet integracije ostalih pomenutih dimenzija. Kod svih konceptata održivosti baziranih na modelu *Triple Bottom Line* (TBL) postavlja se ključno pitanje prikladnosti definicije ekonomske i socijalne (društvene) dimenzije jer se i jedna i druga odnose na blagostanje.

Pored TBL modela, još jedna konceptualizacija održivosti počela je da se razvija od početka devedesetih godina prošlog veka, zasnovana na ideji različitih *kapitala*, obzirom na sve veću potrebu da se kapital poveže sa prirodom i, prema tome, sa paradigmom održivog razvoja. U tom smislu Svetska banka je počela da uvodi pojmove: kapital koji je napravio čovek (ili proizveden), prirodni kapital, ljudski kapital i društveni kapital. Početkom ovog veka definisan je model pet kapitala (FCM - Five Capitals Model), u kojem se finansijski kapital dodaje na ostala četiri kapitala koje je definisala Svetska banka. Analogno *ciljevima održivog razvoja* UN, modeli kao što su TBL i FCM dali su svoj doprinos isticanjem društvenih aspekata (i njihovih poddomena), koje je svakako najteže kvantifikovati i integrisati sa drugim aspektima održivosti.

Održivi razvoj rudarskog sektora, kao koncept prihvaćen je kasnije u odnosu na druge sektore a održivosti se obično pristupa iz dve perspektive: jedna je fokusirana na korišćenje i upravljanje resursima, a druga na minimiziranje uticaja povezanih sa procesom eksploatacije i proizvodnje. U poslednje vreme u obe perspektive sve više se uključuje koncept *životnog ciklusa rudarskog projekta*, koji je vezan za životni vek rudnika i uključuje faze od istraživanja do zatvaranja rudnika uključujući i fazu post-rehabilitacije rudnika. I u rudarskoj industriji, kao i u ostalim sektorima, najčešće korišćen koncept održivog razvoja baziran je na *Triple Bottom Line* (TBL) model.

Koncept održivog razvoja nije determinisan zbog različitog definisanja i tumačenja održivosti i održivog razvoja. Tokom poslednjih decenija razvijen je veći broj konceptata, paradigmi i metoda vezanih za održivost i održivi razvoj kao što su eko-efikasnost, čistija proizvodnja, nulti otpad, dizajn za životnu sredinu, zelena hemija, eko-dizajn, dekarbonizacija i najnovija, cirkularna ekonomija i svi su usmereni na rešavanje složenih problema izazvanih razvojem našeg antropogenog sistema, sa ozbiljnim posledicama po životnu sredinu i ekosistem u celini. Istovremeno, postojeći koncepti, paradigme i metode bazirani su na redukcionističkom pristupu koji se uglavnom odnosi na rudarski sektor.

Glavni izazov rudarske industrije u narednom periodu je da se aktivno uključi u definisanje koncepta održivog razvoja baziranog na stvaranju sinergije između prirodnih i antropogenih sistema u najširem smislu koja je zasnovana na sistemskom razmišljanju umesto na redukcionističkom pristupu.

2.1. Okviri održivosti u kontekstu rudarskog sektora

Poslednjih tridesetak godina, kada je u javnosti veoma široko prihvaćen princip da *zagađivač plaća za štetu po životnu sredinu*, predloženo je nekoliko okvira za analizu održivosti iz perspektive rudarskog sektora. Agenda 21 je istakla potrebu za uspostavljanjem posebnih smernica za razvoj prirodnih resursa. U tom kontekstu, *Berlinske smernice* (proizašle iz Berlinskog okruglog stola o rudarstvu i životnoj sredini 1991. koji su ustanovile UN i Nemačka fondacija za međunarodni razvoj), definisale su osnovne principe rudarstva tokom njegovog životnog ciklusa, kao što su: regulatorni okviri, upravljanje životnom sredinom, procena socio-ekonomskog uticaja, kontinuirano učešće zajednica i zainteresovanih strana i transfer tehnologije za ublažavanje uticaja na životnu sredinu. Ovo je snažno uticalo na rudarski sektor da se više bavi društvenim i ekološkim aspektima svog poslovanja kroz različite inicijative i globalno i lokalno.

Na globalnom nivou, jedna od prvih inicijativa bila je inicijativa Međunarodnog saveta za metale i životnu sredinu (ICME) 1991. godine, koja je imala za cilj da se u životni ciklus rudnika ugrade bolje ekološke i bezbednosne prakse. 1998. godine, neke od najvećih svetskih rudarskih kompanija udružile su se da pronađu novi put ka održivosti. Ovo je rezultiralo stvaranjem Globalne rudarske inicijative (GMI) 2000. godine. Pod okriljem ovog udruženja 2002. godine objavljen je sveobuhvatan izveštaj pod

nazivom *Breaking New Ground*, u kojem je usvojen skup principa održivog razvoja rudarskog sektora, zasnovanih na četiri dimenzije - tri dimenzije TBL paradigme i dodavanje *dimenzije upravljanja*. Preporučeno je da se ovi principi primenjuju integrisano u donošenju odluka, uzimajući u obzir sektor minerala u širem smislu, odnosno u smislu koristi koje može da proizvede za sadašnje i buduće generacije.

Međunarodna organizacija - Međunarodni savet za rudarstvo i metale (ICMM) osnovana je 2003. godine, čiji je cilj unapređenje održivosti rudarskih operacija i njihovih proizvodnih lanaca. Po osnivanju, ICMM je uspostavio deset principa održivog razvoja koji su bili bazirani na GMI principima uvođenjem novih paradigmi kao što su razmišljanje o životnom ciklusu i TBL konceptu, uključujući dimenzija *upravljanja*. Ovi principi su revidirani 2015. godine i dobrovoljno su uključeni u program održivosti nekoliko velikih rudarskih kompanija, kao i regionalnih organizacija rudarskog i metalurškog sektora. Međutim, primena ICMM principa od strane rudarskih kompanija, kroz svoje izveštaje o održivosti usklađene sa GRI (Global Reporting Initiative) standardima za izveštavanje o održivosti, je kritikovana, posebno u pogledu izveštaja o održivosti životne sredine, jer ne sadrže detaljne informacije o geološkim i tehnološkim aspektima, koji su posebno relevantni za sektor minerala imajući u vidu višestruke izvore neizvesnosti i varijabilnosti a koji značajno mogu uticati na pokazatelje učinka poslovanja. Pomenuto smanjuje transparentnost i otežava poređenja u pogledu upravljanja kritičnim ekološkim pitanjima. Takođe je uočeno u ovim izveštajima o održivosti, da ne postoje jasne metodologije koje objašnjavaju kako se indikatori održivosti uzimaju u obzir u procesu donošenja odluka rudarskih kompanija kako bi svoje poslovanje učinile održivijim.

Na lokalnom nivou, Udruženje rudara Kanade (MAC) dalo je vredan doprinos promovisanju održivosti kroz dve važne strategije: *Whitehorse Mining Initiative* (VMI), započetu 1993/1994, i kasnije strategiju *Ka održivom rudarstvu* (TSM), koja je pokrenuta 2004. Prvom strategijom definisana je politika fokusirana na aspekte održivosti mineralnih aktivnosti u Kanadi, dok je drugom strategijom definisan skup principa i indikatora učinka za rudarsku industriju, sa fokusom na pitanja upravljanja koja se odnose na planiranje, energiju i gasove staklene bašte, jalovišta rudnika, lokalno stanovništvo i zajednice, očuvanje biodiverziteta i zdravlje i bezbednost. TSM strategija definisana je pod okriljem Udruženja rudara Kanade uz učešće kanadskih vlasti uključujući vladu i zainteresovana ministarstva na svim nivoima, rudarskih kompanija, rudarskih sindikata i ekoloških zajednica. U poslednje vreme, kao dobra praksa, sve je više prihvaćena u svetu i uz prilagođavanja pojedinim državama, postaje sve više globalna.

Generalno, postoje različita tumačenja održivosti i održivog razvoja u rudarskoj industriji pa u tom smislu i razlikuje se i sam okvir održivog razvoja sektora. Iako postoje neke tačke saglasnosti o potrebi da se usvoji sistematičniji pristup održivosti u sektoru minerala u različitim domenima i kontekstima, još uvek postoji neslaganje oko toga koje dimenzije održivosti treba posebno razmotriti. Postoji konsenzus o značaju aspekata zaštite životne sredine, privrede, društva i, u novije vreme, aspekata upravljanja na javnom i privatnom nivou. Međutim, uočljivo je da je uloga tehničkih i tehnoloških inovacija u rudarskoj industriji u velikoj meri potcenjena. Bolje razumevanje ove dimenzije i njeno prihvatanje kao jednog od osnovnih stubova održivosti, ali i razumevanje višestruke interakcije između uključenih dimenzija i razmera održivosti, mogli bi da pomognu primerenijoj i efektivnijoj primeni održivosti u praksi u rudarskom sektoru.

Analiza pomenutih okvira održivosti predloženih za rudarski sektor, sugerise da postoje ograničenja u ovim pristupima, koja se pre svega odnose na potcenjivanje sinergije i kompromisa između dimenzija održivosti, teškoće u suočavanju sa nedostatkom resursa ali i potrebu da se održivost sektora istražuje van organizacionih granica i u različitim vremenskim i prostornim domenima.

3. Savremeni pristup održivosti rudarskog sektora

Prethodno uspostavljeni koncepti i modeli održivog razvoja, pa i održivog razvoja rudarskog sektora, razvijeni su iz preovlađujuće ekonomske i antropocentrične perspektive i kao takvi, budući svetski razvoj mogu da usmere ka održivosti, ali isto tako mogu da dovedu do pogrešnih tumačenja i pridavanja

veće pažnje ekonomskim aspektima (kao u modelu uobičajenog poslovanja) pa samim tim i produbljivanja trenutne ekološke neravnoteže i društvene nejednakosti.

Uvažavajući specifičnosti rudarskog sektora, savremen pristup njegovoj održivosti sve više se bazira na međusobnim odnosima i uticajima sledećih pet dimenzija:

- Društvo (zajednica, radnici, nevladine organizacije, itd.);
- Ekonomski sistem (privreda);
- Prirodno okruženje (biosfera i biodivezitet);
- Tehnologija (veštačko okruženje, artefakti ili tehnosfera); i
- Upravljanje (uključujući javno/političko i privatno/korporativno).

Ovakav kontekst održivosti rudarskog sektora je širi od postojećih i ima za cilj da pomiri različite poglede na održivost koji su se pojavili u poslednjih nekoliko decenija, uključujući i one koji prirodno okruženje smatraju osnovom svega ali i one koji ekonomsku dimenziju smatraju početkom i krajem održivog razvoja.

Kako bi se uspostavila bolja ravnoteža pomenutih pet dimenzija održivog razvoja rudarskog sektora, pri analizama održivosti se uključuje i niz domena svake dimenzije, na primer očuvanje prirodne sredine, dostupnost i kritičnost resursa, ljudsko i društveno blagostanje i tako dalje, a sve u kontekstu jedinstvenosti i specifičnosti svakog rudarskog objekta. Dakle, za rudarski sektor se ne može definisati jedinstvena matrica održivosti već je potrebno koristiti model pet dimenzija kao okvir za analizu i uključivanje niza domena svake dimenzije specifično za konkretan rudarski objekat. U tom smislu važno je pomenuti najčešće analizirane domene pojedinih dimenzija održivog razvoja rudarskog sektora.

Očuvanje prirodne sredine

Uticaji na prirodnu sredinu izazvani rudarstvom neizostavno su povezani sa fizičkim promenama pejzaža kao i uticajem na zemljište, vodu i vazduh. U tom smislu, rudarske aktivnosti moraju se odvijati tako da se minimiziraju svi uticaji koji se mogu negativno odraziti na prirodnu sredinu u svim fazama životnog ciklusa rudnika, kroz efikasno i proaktivno upravljanje prirodnom sredinom. Ovaj pristup bi trebalo da ide dalje od ispunjavanja lokalnih ekoloških standarda, obzirom na globalni obim rudarstva, kao i široku varijabilnost ekološkog zakonodavstva širom sveta, posebno u zemljama u razvoju, gde oni često nisu tako strogi.

Dostupnost i kritičnost resursa

Ekonomski rast i društveni razvoj, unazad nekoliko decenija bili su podržani nekontrolisanom eksploatacijom prirodnih resursa. Rastuća potražnja za mineralnim resursima učinila je neke od njih, kritičnim u smislu njihove dostupnosti. Takođe, kritičnost mineralnih sirovina definisana je uzimajući u obzir i kriterijume kao što su rizik snabdevanja, osetljivost na ograničenja u snabdevanju i implikacije na životnu sredinu ali često je povezana i sa vrednošću koje društvo daje određenim resursima u smislu njihove korisnosti. U tom smislu, jedan od najkritičnijih resursa su energetska, na koje se društveno-ekonomski razvoj u najvećoj meri oslanja i čija rastuća proizvodnja možda neće zadovoljiti sadašnje i buduće globalne zahteve, barem u naredne dve, tri decenije. Osim energetskih resursa, mnoge razvijene zemlje definišu kritičnost mineralnih resursa sa aspekta sopstvenog razvoja i u tom smislu ovaj spisak se svake godine proširuje sa novim.

Efikasnost korišćenja resursa i sekundarni (reciklirani) resursi

Održivije korišćenje mineralnih resursa povećanjem efikasnosti korišćenja i korišćenjem recikliranih resursa je moguće jer su ekološki i društveni troškovi eksploatacije minerala generalno nadoknađeni i svi zainteresovani su zadovoljni. U tom smislu neophodno je uložiti napor da se poveća trajnost proizvoda, dematerijalizuju proizvodi i maksimiziraju efekti cirkularne ekonomije kroz povećanje stope reciklaže i ponovne upotrebe.

Ljudsko i društveno blagostanje

Ljudska i društveno blagostanje direktno je povezano sa očuvanjem prirodne sredine u kojoj se rudarska delatnost obavlja, ali i sa ekonomskim koristima koje ova delatnost donosi. Rudarski sektor igra važnu ulogu u stvaranju direktnih i indirektnih radnih mesta, zatim doprinosi razvoju usluga kao što su zdravstvo, obrazovanje, socijalna pomoć, razvoju infrastrukture i na kraju podizanju investicionog kapaciteta društva za sopstveni razvoj. Još jedno relevantno pitanje koje se odnosi na razvoj zajednica koje su direktno uključene u rudarske aktivnosti je društvena odgovornost državnog sektora u pogledu regionalnog planiranja, sa ciljem zadovoljavanja potreba ovih zajednica tokom razvoja i nakon završetka rudarskog projekta.

Negativna percepcija pojedinih sektora u društvu po pitanju rudarstva je, nažalost, u nekim slučajevima opravdana, posebno u vezi sa praćenjem incidentnih situacija i katastrofa izazvanih rudarskim aktivnostima dok uspešni rudarski projekti po pravilu nemaju veliku vidljivost. Nasuprot tome, drugi industrijski sektori koji su takođe povezani sa ekstraktivnim aktivnostima uspešni su da poboljšaju svoj korporativni imidž, posebno u vezi poboljšanja koja čine u cilju smanjenja negativnih uticaja. Ovo ukazuje na potrebu da rudarski sektor uloži dodatne napore i traži strategije koje će pomoći da se prevaziđe ova negativna globalna percepcija njegovog poslovanja.

Ekonomski prosperitet

Procenjuje se da eksploatacija prirodnih resursa direktno ili indirektno doprinosi više od 45% globalnog BDP-a. Istovremeno, rudarstvo je izazvalo i niz negativnih društvenih i ekoloških uticaja koji se ne smeju ponavljati u budućnosti. Ovo se pre svega odnosi na ekonomije u razvoju, koje ne bi smele da nastave istim neefikasnim i destruktivnim putem, kojim su išle zemlje sa danas razvijenijim ekonomijama kako bi postigle ovaj status. Nažalost, ekonomije zemalja u razvoju, koje su veoma zavisne od izvoza mineralnih resursa mogu postati veoma ranjive jer takav izvoz ne vodi ekonomskom rastu.

Razvoj primarnih i sekundarnih resursa

Proizvodnja mineralnih resursa i prognoze potražnje zasnovane su na kratkoročnim (5-10 godina) scenarijima i fokusiraju se isključivo na primarne resurse, obraćajući malo pažnje na zalihe sekundarnih resursa. Za razliku od primarnih resursa čije bilanse, standardizovano, obično rade vlade, prikupljanje informacija i bilansiranje sekundarnih resursa je vrlo retko i nestandardizovano i obično ga sprovodi industrija, što ne garantuje kontinuitet ovih informacija u vremenu. Stoga je prepoznato da je potrebno realnije i sveobuhvatnije dugoročno planiranje globalne proizvodnje primarnih i sekundarnih mineralnih resursa, obzirom na potencijalni budući nedostatak resursa, uprkos progresivnom rastu stope reciklaže. U tom smislu, sektor mineralnih sirovina morao bi da predvodi inicijative koje imaju za cilj proaktivnije sagledavanje održivosti njihovog poslovanja kroz korišćenje sekundarnih resursa, posebno onih koji se direktno generišu unutar granica njihovog sistema (rudarskih objekata). Ovo bi svakako doprinelo regionalnoj i globalnoj održivosti mineralnih resursa. U tom smislu neophodno je intenzivirati istraživanja u postupke recikliranja, odnosno korišćenja sekundarnih resursa.

Vrednost resursa

Za kvantifikaciju investicija, kapitalnih dobitaka i utvrđivanje finansijske izvodljivosti rudarskih projekata, koriste se dve uobičajene metode: neto sadašnja vrednost (NPV) i interna stopa prinosa (IRR). One se zasnivaju na diskontovanju budućeg toka gotovine korišćenjem jednog faktora (diskontna stopa prilagođena riziku), koja eksponencijalno raste tokom vremena. Međutim, metode zasnovane na NPV proizvele su veliku varijabilnost u vrednovanju rudnika ali uprkos ovom i nekim drugim ograničenjima, metoda NPV se i dalje najčešće koristi u sektoru minerala. Uzimajući u obzir niz ograničenja metode NPV, predložena je nova metoda, metoda *razdvojena neto sadašnja vrednost* (DNPV), koja odvaja rizik od vremenske vrednosti novca, omogućavajući bolju procenu stvarnih troškova rudnika, uz zadržavanje nivoa jednostavnosti. Ovom novom metodom, moguće je uzeti u obzir i druge vrste rizika u vrednovanju određenog mineralnog resursa, koji nisu povezani sa tržištem.

Održiva potrošnja i proizvodnja

Društveni i ekonomski sistemi se odlikuju svojom složenom dinamikom, kao i interakcijama koje postoje između njihovih komponenti ali i sa spoljnim okruženjem u različitim vremenskim i geografskim razmerama. Zbog toga, svaka prognoza vezana za ove sisteme, stanovništvo, privredni rast, rezerve mineralnih resursa i tako dalje, postaje veoma neizvesna. Jedina izvesnost koja postoji je da u nekom trenutku kontinuirani eksponencijalni rast stanovništva više neće biti moguć, kao ni korišćenje resursa na planeti sa fizičkim ograničenjima. Međutim, drastično smanjenje potrošnje mineralnih resursa i energije postaje veoma problematično zbog jake korelacije između BDP-a i drugih varijabli povezanih sa ljudskim razvojem, koje su ugrađene u druge indekse koji su dalekosežniji od BDP-a. Na primer, globalni GPI (*Genuine Progress Indicator*) po glavi stanovnika dostigao je vrhunac 1978. godine, u isto vreme kada je upotreba nafte dostigla vrhunac i kada je ekološki otisak premašio globalni biokapacitet. Zbog toga je jedan od ciljeva održivog razvoja UN razdvajanje ekonomskog rasta i degradacije životne sredine. To implicira da budući razvoj privredne aktivnosti zasnovan na primarnim mineralnim resursima mora da se učini efikasnijim uz istovremeno intenzivniji razvoju drugih vrsta tržišta zasnovanih na korišćenju sekundarnih resursa. Na ovaj način bi bilo moguće održati ravnotežu između globalne ponude i potražnje mineralnih resursa uz istovremene ekološke i društvene koristi.

Javno i privatno upravljanje

U verovatnoći uspeha rudarskih projekata sve više imaju ulogu, institucionalno na nivou države i korporativno upravljanje rudarskim organizacijama. Institucionalno upravljanje po pravilu se materijalizuje kroz strategije, politike, podsticanje inovacija, davanja smernica, uspostavljanje standarda i kodeksa prakse, koji omogućavaju rudarskim kompanijama da sprovedu propise u smislu poboljšanja ekoloških i društvenih koristi. Adekvatna uprava rudarskih organizacija takođe može pomoći u podsticanju ulaganja u nove tehnologije, digitalizaciju i diversifikaciju ekonomskih aktivnosti u funkciji održivog poslovanja.

Generalno, pitanja koja su od ključnog značaja za održivost rudarskog sektora, kao što su istraživanje, popis i bilansiranje mineralnih resursa, zakonska regulativa, pristup zemljištu, poreski propisi i politike zaštite životne sredine pri eksploataciji ležišta i rehabilitacija degradiranih područja su pitanja strateškog institucionalnog upravljanja od lokalnog do globalnog nivoa. Dobra strategija upravljanja mineralnim resursima na institucionalnom nivou treba da uspostavi odgovarajuće politike za održivo upravljanje i primarnim i sekundarnim mineralnim resursima koje se mogu ugraditi u korporativnu viziju rudarskih organizacija, sa ciljem poboljšanja performansi njihovog poslovanja tokom životnog ciklusa rudnika.

Tehnološke inovacije

Mineralni sektor je postao inovativan od početka 20. veka, prateći ekspanziju električne energije kao izvora energije u industriji a posebno inovativan u drugoj polovini 20. veka kada počinje i primena visoko kapacitativne rudarske opreme i kada se osvajaju nove tehnologije i oprema za pripremu i preradu mineralnih sirovina. Svakako treba pomenuti da ovo u isto vreme dovodi do sve većeg uticaja rudarskog sektora na zemljište, vazduh i vodu, kao i na lokalne zajednice. Iz ovoga proizilazi da su u prethodnom periodu tehnološke inovacije korišćene uglavnom za poboljšanje ekonomskih aspekata rudarskog sektora dok se ekološkim i društvenim aspektima manje pridavao značaj. U budući održivi razvoj rudarskog sektora neophodno je uključiti tehnološke inovacije, posebno tehnologije *Industry 4.0* (četvrte industrijske revolucije), analogno i specifično za rudarski sektor determinisane i kao *Mining 4.0*, a koje će, osim na ekonomske imati značajan uticaj na poboljšanje ekoloških i društvenih performansi rudarskih operacija.

4. Zaključna razmatranja

Poslednjih decenija izraženi su interesi i u tom kontekstu lobiranje pojedinih zainteresovanih strana da se ekonomski i svaki drugi razvoj čovečanstva zasnovan na kontinuiranom povećanju eksploatacije

primarnih mineralnih resursa neutemeljeno proglasi neodrživim, mada sve prognoze relevantnih svetskih institucija ukazuju da će se od sada pa do 2060. godine, najmanje udvostručiti potrošnja ovih resursa.

Istovremeno ni koncept održivog razvoja nije determinisan zbog različitog definisanja i tumačenja održivosti i održivog razvoja. Tokom poslednjih decenija razvijen je veći broj koncepata, paradigmi i metoda vezanih za održivost i održivi razvoj kao što su eko-efikasnost, čistija proizvodnja, nulti otpad, dizajn za životnu sredinu, zelena hemija, eko-dizajn, dekarbonizacija i najnovija, cirkularna ekonomija i svi su usmereni na rešavanje složenih problema izazvanih razvojem našeg antropogenog sistema, sa ozbiljnim posledicama po životnu sredinu i eko sistem u celini. Istovremeno, postojeći koncepti, paradigme i metode bazirani su na redukcionističkom pristupu koji se uglavnom odnosi na rudarski sektor.

Glavni izazov rudarske industrije u narednom periodu je da se aktivno uključi u definisanje koncepta održivog razvoja baziranog na stvaranju sinergije između prirodnih i antropogenih sistema u najširem smislu koja je zasnovana na sistemskom razmišljanju umesto na redukcionističkom pristupu.

Uvažavajući specifičnosti rudarskog sektora, savremen pristup njegovoj održivosti sve više se bazira na međusobnim odnosima i uticajima sledećih pet dimenzija: društvo, ekonomski sistem, prirodno okruženje, tehnologija i upravljanje.

Ovakav kontekst održivosti rudarskog sektora je širi od postojećih i ima za cilj da pomiri različite poglede na održivost koji su se pojavili u poslednjih nekoliko decenija, uključujući i one koji prirodno okruženje smatraju osnovom svih sistema ali i one koji ekonomsku dimenziju smatraju početkom i krajem održivog razvoja. On je zasnovan na ocenjivanju životnog ciklusa (*LCA - Life Cycle Assessment*) i predstavlja sistematičan i dobro uspostavljen sistem čija primena u rudarskom sektoru može i treba dalje da se poboljšava.

Na kraju, postizanje ravnoteže između ekonomskog prosperiteta, zdravlja, životne sredine i društvene jednakosti zahtevaće značajne promene u poslovnim strategijama, operativnim tehnologijama, ličnom ponašanju i javnim politikama. Rudarski sektor će morati u budućnosti više da se angažuje i saraduje sa zainteresovanim stranama u procesu poboljšanja kvaliteta života, pomažući u balansiranju potrebe za mineralnim resursima u odnosu na potrebu zaštite životne sredine i društva od nepotrebnih štetnih uticaja.

Literatura

- [1] Segura-Salazar J., Marcelo Tavares L.: Sustainability in the Minerals Industry: Seeking a Consensus on Its Meaning. *Sustainability*, 10(5), 1429, 2018.
- [2] Dubinski J.: Sustainable Development of Mining Mineral Resources. *Journal of Sustainable Mining*, Volume 12, Issue 1, Pages 1-6, 2013.
- [3] Azapagic A.: Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry, *Journal of Cleaner Production*, 12, 639–662, 2004.
- [4] Petrie J.: New Models of Sustainability for the Resources Sector: A Focus on Minerals and Metals. *Process Safety and Environmental Protection*, 85, 88–98., 12, 2007.
- [5] Batterham R. J.: The mine of the future - Even more sustainable. *Minerals Engineering*, 107, 2–7, 2017.
- [6] International Council on Mining and Metals (ICMM) - Sustainable Development Framework: ICMM Principles, International Council on Mining and Metals (ICMM), London, UK, 2015.
- [7] Corder G. D., Keith A., Dyer L.: A Capitals Based Approach-Leading Innovation in Planning for Life-of-Mine Sustainability, In *Proceedings of the Life-of-Mine 2014*, Brisbane, Australia, pp. 499–511, 2014.



**ANALIZA STABILNOSTI JUŽNE KOSINE POVRŠINSKOG KOPA POLJE E - RB
KOLUBARA**

**SOUTHERN SLOPE STABILITY ANALYSIS OF OPENCAST MINE FIELD E - MB
KOLUBARA**

Petrović B.¹

Apstrakt

Dugogodišnja eksploatacija uglja na površinskom kopalju Polje D u RB Kolubara privedena je kraju. Poslednji kubici otkrivke i tone uglja sa tog prostora otkopani su tokom zadnjih nekoliko godina ovog veka. Nastavak eksploatacije na tom delu RB Kolubara vršiće se na Polju E, prirodnom nastavku Polja D, u kome je skoncentrisano oko 400 miliona tona uglja. Veoma složena geološka građa ugljenog sloja, koja je posebno izražena u južnom i severnom delu tog budućeg otkopnog polja, iziskuje sigurno i pouzdano otkopavanje, prvenstveno zasnovano na sveobuhvatnom odvodnjavanju etaža i njihovoj geomehaničkoj stabilnosti. U ovom radu obrađena je analiza stabilnosti južne kosine kopa Polje E, pri čemu su razmatrane različite visine i nagibi etaža, uz promenljivi stepen njihove zavodnjenosti.

Ključne reči: etaža, faktor sigurnosti, koeficijent pornog pritiska

Abstract

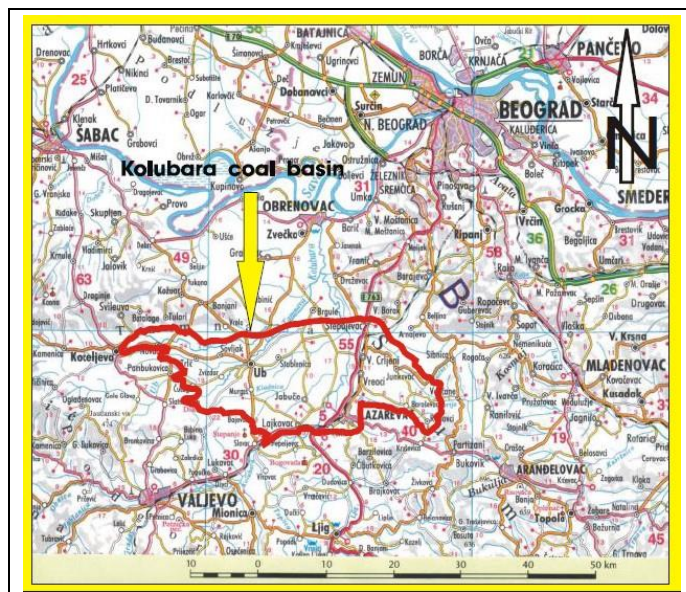
The long-term coal mining in opencast mine Field D in MB Kolubara has come to an end. The last tonnes of overburden and coal from that area were excavated during the last few years of this century. The continuation of mining in that part of MB Kolubara will be carried out in Field E, a natural extension of Field D, in which about 400 million tonnes of coal are concentrated. The very complex geological structure of the coal seam, which is particularly pronounced in the southern and northern parts of that future mining field, requires safe and reliable mining, primarily based on comprehensive dewatering of the benches and their geomechanical stability. In this paper, the analysis of the stability of the southern slope of the Field E mine was processed, where different heights and slopes of the benches were considered, along with the variable degree of their waterlogging.

Keywords: bench, the safety factor, coefficient of pore pressure

1. Uvod

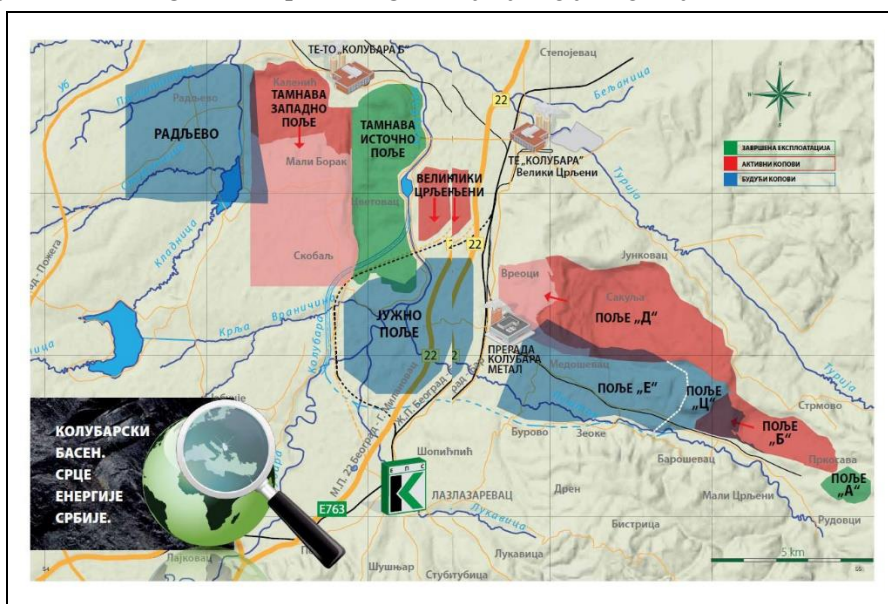
Kolubarski lignitski basen je lociran na oko 50 km jugozapadno od Beograda i zauzima delove teritorija opština Lazarevac, Lajkovac i Ub, ukupne površine od oko 600 km² (Slika 1).

¹Branko Petrović, EPS Beograd, RB Kolubara, Lazarevac, branko.petrovic@eps.rs



Slika 1. Geografska karta dela Srbije sa Kolubarskim ugljenosnim basenom

Površinski kop Polje E se nalazi u krajnjem jugoistočnom delu basena, površine od oko 12.9 km² (Slika 2). Sa njegove istočne strane je otkopno polje Polje C (profilna linija y = 7448750), na severnom delu graniči se sa Poljem D dok su na zapadnoj strani Polje G i Polje F (profilna linija y = 7443750). Južna strana je okonturena granicom prirodnog iskljivanja ugljenog sloja.



Slika 2. Pregledna karta Kolubarskog ugljenosnog basena (Polje E u jugoistočnom delu)

Ležište je nepravilnog izduženog oblika sa dužom osom od oko 6 km u pravcu jugoistok-severozapad, dok je kraća osa dužine oko 2 km.

Na osnovu rezultata istražnog bušenja i sedimentno-petrografskih ispitivanja definisani su litološki članovi, njihova geološka građa i strukturno-morfološke karakteristike, kao i rezerve uglja. Peskoviti, glinoviti i alevritski sedimenti različite su debljine koja se kreće od nekoliko metara po obodu basena do nekoliko desetina metara u centralnom delu basena. Ugalj nije homogen već je sastavljen od više komponenata koje se međusobno razlikuju po fizičkim i hemijskim osobinama. Petrografska ispitivanja povlatnog ugljenog sloja pokazala su da se ispitivani ugalj odlikuje visokim učešćem jalovine i pirita, sa niskim učešćem ugljene materije. Ugalj iz podinskog ugljenog sloja je kvalitetniji od

povlatnog, sa većim sadržajem ugljene materije (oko 62%) i manjim sadržajem jalovine (oko 37%).

Ugljeni slojevi se prostiru u kontinuitetu sa generalnim pravcem pružanja severozapad-jugoistok (Slika 3).



Slika 3. Pregledna karta Kolubarskog ugljunosnog basena, geološki profili A-B i C-D

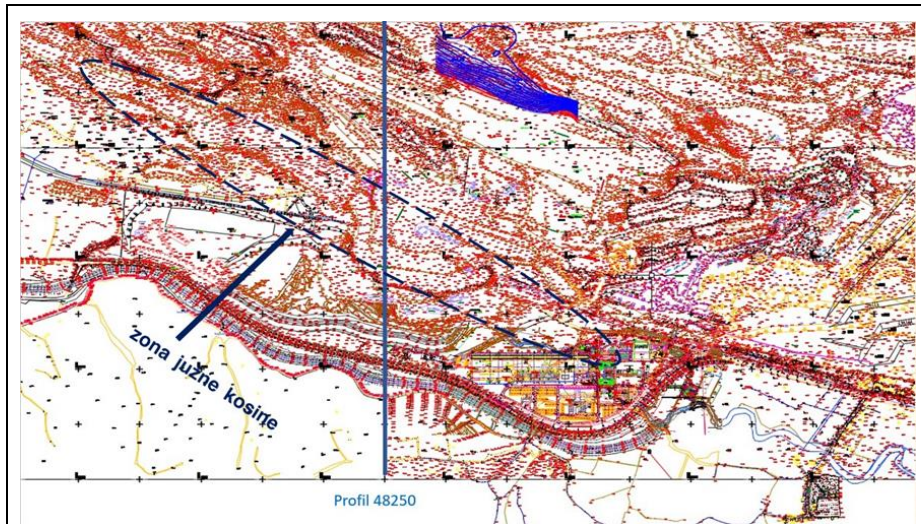
Osim uglja, kao glavne mineralne sirovine, u ovoj zoni ležišta prisutne su i nemetalične mineralne sirovine šljunak, pesak, kvarcni pesak kao i razne vrste glina. Ležište se odlikuje prisustvom dva zasebna niskokalorična ugljena sloja, u količini od preko 400 miliona tona. Za eksploataciju ovog uglja i jalovine koristiće se oprema sa površinskih kopova Polje D i Polje C, uz nabavku nove nedostajuće opreme.

Početno stanje otkopavanja otkrivke i povlatnog uglja je severna strana Polja E, u kojoj su postavljeni BTO i BTS sistemi prethodno navedenih kopova. Kada se steknu tehnološki uslovi, pravac otkopavanja je od istoka ka zapadu.

2. Analiza stabilnosti južne kosine

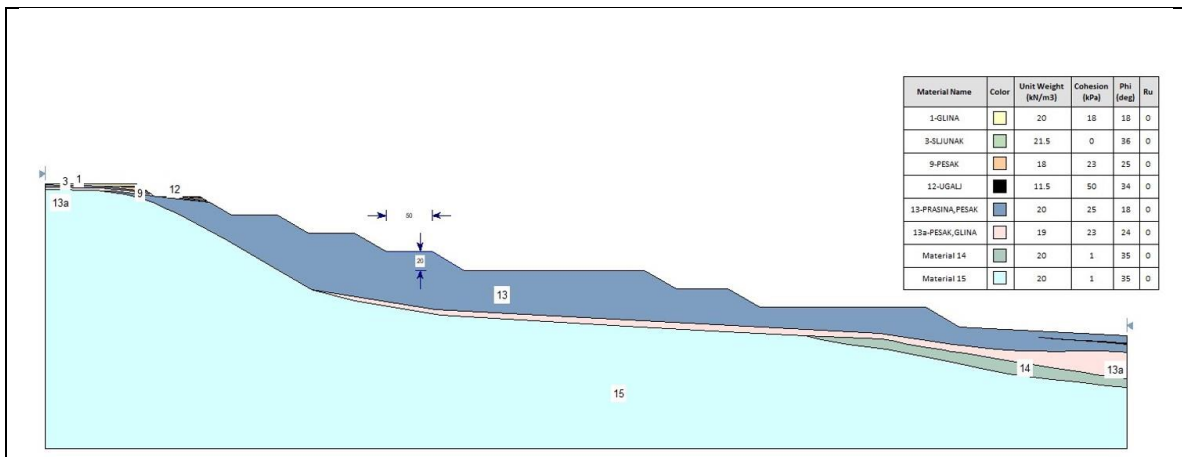
Južna kosina ovog otkopnog polja u geomehaničkom smislu posebno je značajna iz razloga što se u njoj neposrednoj blizini nalazi izmešteni put Vreoci-Arandelovac, izmešteno korito reke Peštan, trafostanica, postrojenje za preradu vode, kao i infrastrukturni objekti novog montažnog placa i pogona Pomoćna Mehanizacija.

Analiza stabilnosti parcijalnih kosina, kao i generalne, rađena je na profilu 48250 (Slika 4).



Slika 4. Položaj profila 48250

Geološku strukturu analizirane kosine uglavnom čine peskovi, gline i prašina (Slika 5).



Slika 5. Analizirani profil 48250

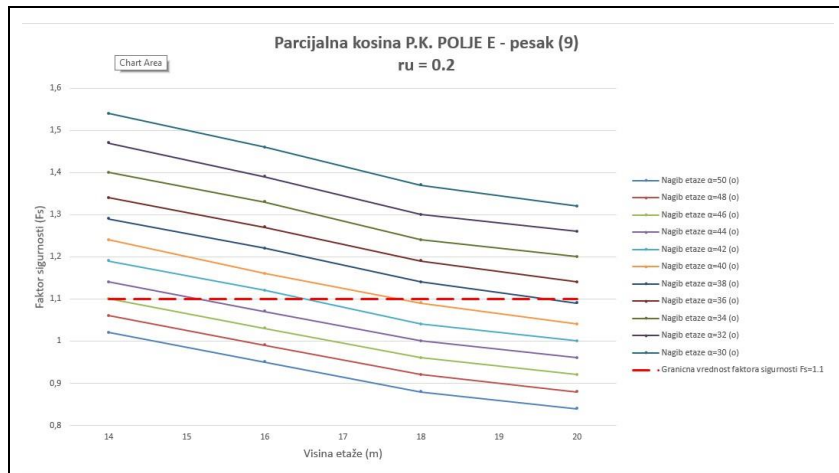
Rezultati analize stabilnosti parcijalnih kosina prikazani su tabelarno i na dijagramima (Slika 6 i Slika 7), za vrednosti koeficijenta pornog pritiska $ru = 0.2$. Na osnovu tih rezultata definisani su visina i nagib parcijalnih kosina: visina $H_e = 16$ m; nagib $\alpha_p = 30^\circ$; širina berme $b = 50$ m.

POLJE E (parcijalna kosina - PESAK (9))

$\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$
 $C = 23 \text{ KN/m}^2$
 $\varphi = 25^\circ$

r_s	Hc = 20 m										Hc = 18 m											
	50°	48°	46°	44°	42°	40°	38°	36°	34°	32°	30°	50°	48°	46°	44°	42°	40°	38°	36°	34°	32°	30°
0.0	1.04	1.08	1.12	1.16	1.21	1.26	1.31	1.37	1.43	1.50	1.57	1.08	1.12	1.16	1.20	1.25	1.30	1.36	1.41	1.48	1.54	1.62
0.2	0.84	0.88	0.92	0.96	1.00	1.04	1.09	1.14	1.20	1.26	1.33	0.88	0.92	0.96	1.00	1.04	1.09	1.14	1.19	1.24	1.30	1.37
0.3	0.75	0.78	0.82	0.86	0.90	0.94	0.98	1.03	1.08	1.14	1.20	0.79	0.82	0.86	0.90	0.94	0.98	1.03	1.08	1.13	1.18	1.25
0.5	0.56	0.59	0.62	0.66	0.69	0.73	0.77	0.81	0.85	0.90	0.95	0.60	0.63	0.66	0.70	0.73	0.77	0.81	0.85	0.90	0.94	0.99

r_s	Hc = 16 m										Hc = 14 m											
	50°	48°	46°	44°	42°	40°	38°	36°	34°	32°	30°	50°	48°	46°	44°	42°	40°	38°	36°	34°	32°	30°
0.0	1.15	1.19	1.24	1.28	1.33	1.38	1.44	1.50	1.57	1.64	1.72	1.22	1.26	1.30	1.35	1.40	1.45	1.51	1.57	1.64	1.71	1.79
0.2	0.95	0.99	1.03	1.07	1.12	1.17	1.22	1.27	1.33	1.39	1.46	1.02	1.06	1.10	1.14	1.19	1.24	1.29	1.34	1.40	1.47	1.54
0.3	0.86	0.89	0.93	0.97	1.01	1.06	1.11	1.16	1.21	1.27	1.33	0.92	0.96	1.00	1.04	1.08	1.13	1.18	1.23	1.28	1.34	1.41
0.5	0.66	0.70	0.73	0.77	0.80	0.84	0.88	0.93	0.97	1.02	1.08	0.72	0.76	0.79	0.83	0.87	0.91	0.95	1.00	1.04	1.09	1.15



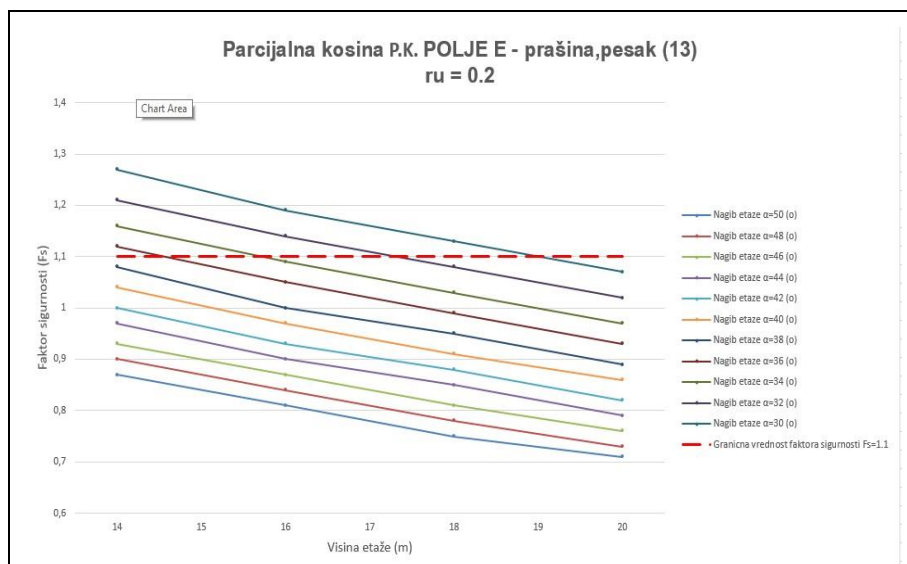
Slika 6. Dobijene vrednosti faktora sigurnosti (Fs) za različite visine i nagibe parcijalne etaže, kao i različite koeficijente pornog pritiska (pesak-9)

POLJE E (parcijalna kosina – PRAŠINA (13))

$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$
 $C = 25 \text{ KN/m}^2$
 $\varphi = 18^\circ$

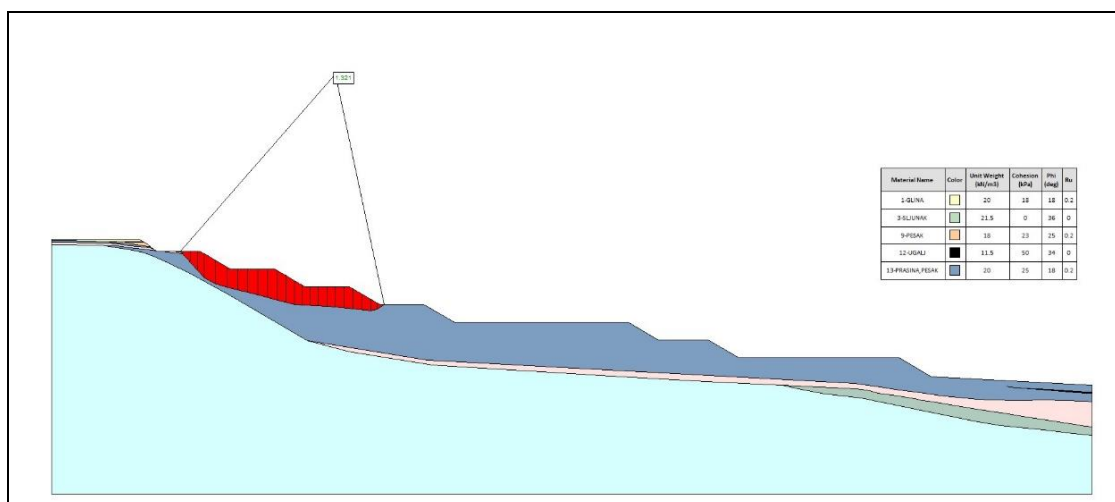
r_s	Hc = 20 m										Hc = 18 m											
	50°	48°	46°	44°	42°	40°	38°	36°	34°	32°	30°	50°	48°	46°	44°	42°	40°	38°	36°	34°	32°	30°
0.0	0.85	0.87	0.91	0.94	0.97	1.01	0.5	1.09	1.14	1.19	1.25	0.90	0.93	0.96	0.99	1.03	1.07	1.11	1.15	1.20	1.26	1.32
0.2	0.71	0.73	0.76	0.79	0.82	0.86	0.89	0.93	0.97	1.02	1.07	0.75	0.78	0.81	0.85	0.88	0.91	0.95	0.99	1.03	1.08	1.13
0.3	0.64	0.66	0.69	0.72	0.75	0.78	0.82	0.85	0.89	0.93	0.98	0.69	0.71	0.74	0.77	0.80	0.84	0.87	0.91	0.95	0.99	1.04
0.5	0.50	0.53	0.55	0.58	0.60	0.63	0.66	0.69	0.72	0.76	0.80	0.55	0.57	0.60	0.62	0.65	0.68	0.71	0.74	0.78	0.82	0.85

r_s	Hc = 16 m										Hc = 14 m											
	50°	48°	46°	44°	42°	40°	38°	36°	34°	32°	30°	50°	48°	46°	44°	42°	40°	38°	36°	34°	32°	30°
0.0	0.95	0.98	1.01	1.05	1.08	1.12	1.17	1.21	1.26	1.32	1.38	1.01	1.05	1.08	1.12	1.15	1.19	1.24	1.29	1.34	1.39	1.45
0.2	0.81	0.84	0.87	0.90	0.93	0.97	1.00	1.05	1.09	1.14	1.19	0.87	0.90	0.93	0.97	1.00	1.04	1.08	1.12	1.16	1.21	1.27
0.3	0.74	0.76	0.79	0.82	0.86	0.89	0.93	0.97	1.01	1.05	1.10	0.78	0.83	0.86	0.89	0.92	0.96	1.00	1.04	1.08	1.12	1.17
0.5	0.59	0.62	0.65	0.68	0.70	0.73	0.77	0.80	0.83	0.87	0.91	0.66	0.68	0.71	0.74	0.77	0.80	0.83	0.87	0.90	0.94	0.98

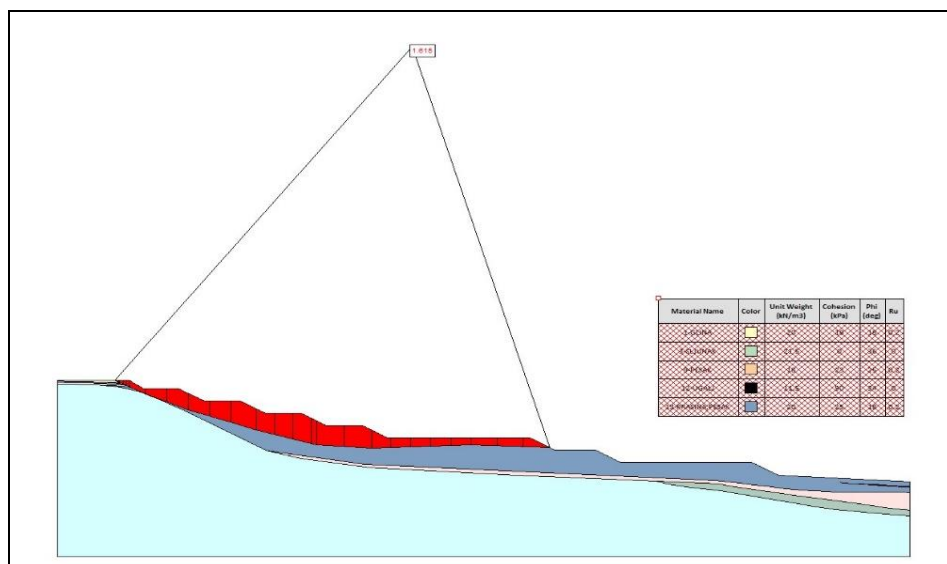


Slika 7. Dobijene vrednosti faktora sigurnosti (F_s) za različite visine i nagibe parcijalne etaže, kao i različite koeficijente pornog pritiska (prašina-13)

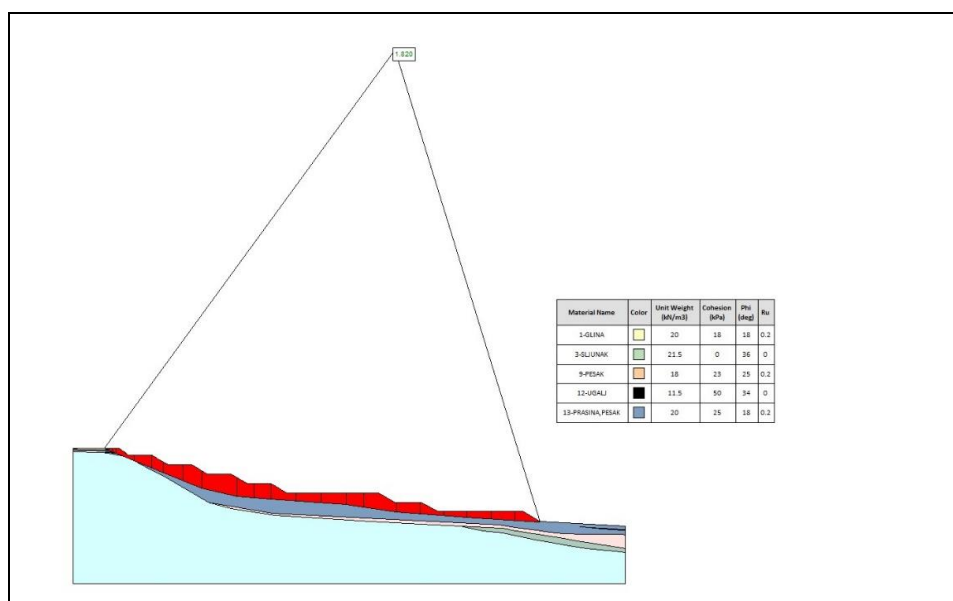
Rezultati analize stabilnosti sistema kosina, kao i generalne kosine, prikazani su na sledećim slikama (Slika 8, Slika 9, Slika 10).



Slika 8. Vrednost faktora sigurnosti ($F_s = 1.32$) za sistem kosina



Slika 9. Vrednost faktora sigurnosti ($F_s = 1.62$) za sistem kosina



Slika 10. Vrednost faktora sigurnosti ($F_s = 1.82$) generalne kosine

3. Zaključak

Površinski kop Polje E predstavlja zamenski kapacitet za kop Polje D i u budućnosti treba da bude nosilac proizvodnje uglja u RB Kolubara, sa godišnjom proizvodnjom od 12 miliona tona. Prethodno odvodnjavanje kopa kao i tačno dimenzionisanje etaža nakon sprovedenih geomehničkih analiza uslov su bez koga kop neće moći raditi u punom kapacitetu i bez čega će sigurnost radnika i mehanizacije biti ugrožena. Da bi se pouzdanost eksploatacije kontrolisala i držala u optimalnim granicama neophodno je konstantno vršiti snimanja, kontrolu i doistraživanja celokupnog prostora otkopnog polja, posebno onih parametara bitnih za odvodnjavanje kopa i njegovu geomehničku stabilnost.

Literatura

- [1] Glavni rudarski projekat površinskog kopa Polje E, OC Projekt, septembar 2022.
- [2] Stručna i fondovska dokumentacija RB Kolubara



**UPRAVLJANJE RIZICIMA PRI EKSPLOATACIJI UGLJA U KOMPANJI EFT-RUDNIK I
TERMELEKTRANA STANARI**

**RISK MANAGEMENT DURING COAL EXPLOITATION IN THE COMPANY EFT - MINE
AND TPP STANARI**

Savić M.¹, Džigumović J.², Lončar S.³

Apstrakt

Upravljanje rizikom predstavlja proces identifikovanja, procjene i praćenja rizika i sprovođenje neophodnih planova tretmana rizika i kontrola sa ciljem minimiziranja istih, kao i da se izloženost rizicima svede na prihvatljiv nivo.

Postoje različite alatke i metodologije za obavljanje procjene rizika. Metoda koja se koristi za identifikovanje rizika u kompaniji EFT-Rudnik i Termoelektrana Stanari je metoda Brainstorming (*Nabacivanje ideja*).

Operativno rukovodstvo nadležno za realizaciju poslovnih i proizvodnih procesa ocjenjuje mogućnosti ostvarivanja potencijalnih rizika i donosi odluku o sprovođenju procjene rizika prema odabranom modelu.

Koraci koje ovaj model podrazumijeva su:

- Korak 1: Analiza kontrolnog okruženja;
- Korak 2: Identifikovanje i utvrđivanje ciljeva kontrola;
- Korak 3: Procjena rizika u okviru koje se sprovodi: identifikovanje, mjerenje i rangiranje rizika;
- Korak 4: Upravljanje rizicima koje podrazumijeva analizu tolerantnosti i analizu kontrola i
- Korak 5: Preporuka naknadnih aktivnosti i praćenja.

Kada su identifikovani visoki rizici, planove tretmana rizika izrađuju odgovorni operativni rukovodioci organizacionih jedinica u saradnji sa rukovodiocima drugih organizacionih jedinica, pomoćnicima direktora i tehničkim direktorima.

Sprovođenje planova tretmana rizika vrše odgovorni operativni rukovodioci koji su izradili procjenu i plan tretmana rizika.

Ključne reči: Rizik, procjena rizika, upravljanje rizicima, plan tretmana rizika

Abstract

Risk management is the process of identifying, assessing, and monitoring risks and implementing the necessary risk treatment plans and controls to minimize them, as well as reducing exposure to risks to an acceptable level.

¹Savić Maja EFT Rudnik i Termoelektrana Stanari d.o.o. Stanari, BiH-Republika Srpska. E-mail: maja.savic@eft-stanari.net

²Džigumović Jelena, EFT Rudnik i Termoelektrana Stanari d.o.o. Stanari, BiH-Republika Srpska. E-mail: jelena.dzigumovic@eft-stanari.net

³Lončar Stevan, EFT Rudnik i Termoelektrana Stanari d.o.o. Stanari, BiH-Republika Srpska. E-mail: stevan.loncar@eft-group.net

There are different tools and methodologies for performing a risk assessment. The method used to identify risks in the company EFT-Mine and TPP Stanari is the Brainstorming method. The operational management responsible for the implementation of business and production processes evaluates the possibilities of realizing potential risks and decides to carry out a risk assessment according to the selected model.

The steps involved in this model are:

- Step 1: Analysis of the control environment;
- Step 2: Identifying and establishing control objectives;
- Step 3: Risk assessment within the following is carried out: risk identification, assessment, and ranking;
- Step 4: Risk management, which includes tolerance and control analysis and
- Step 5: Recommending follow-up activities and monitoring.

When high risks are identified, risk treatment plans are drawn up by responsible operational managers of organizational units in cooperation with managers of other organizational units, assistant directors and technical directors.

The implementation of risk treatment plans is carried out by the responsible operational managers who prepared the risk assessment and the risk treatment plan.

Keywords: Risk, risk assessment, risk management, risk treatment plan.

1. Uvod

Upravljanje rizikom predstavlja proces identifikovanja, procjene i praćenja rizika i sprovođenje neophodnih planova tretmana rizika i kontrola sa ciljem minimiziranja istih, kao i da se izloženost rizicima svede na prihvatljiv nivo.

Rizik predstavlja vjerovatnoću da će se događaj (prijetnja) koji ima neželjeni ili negativan ishod ostvariti u određenom vremenskom razdoblju, okolnostima i sa određenim negativnim posljedicama. Ova dva faktora (vjerovatnoća i uticaj/prijetnja) u kombinaciji predstavljaju stepen izloženosti riziku.

Procjena rizika predstavlja identifikovanje svih sistema upravljanja i kontrole i rizika koji su u vezi sa njima, u skladu sa nizom faktora rizika.

Uticaj (prijetnja) je efekat koji bi nepovoljan događaj imao na organizaciju ako se ostvari. Ovaj efekat može da bude neka vrsta štete ili izgubljene prilike. Vjerovatnoća je pojam koji određuje vjerovatnoću da se desi nepovoljan događaj (ostvari prijetnja) ukoliko nema kontrolnih aktivnosti koje će spriječiti ili minimizirati rizik. Vjerovatnoća dešavanja procjenjuje se za svaki identifikovani rizik.

Postoji pet opcija koje se mogu koristiti za obaranje nivoa utvrđenog rizika. To su:

1. **Eliminacija ili izbjegavanje rizika** podrazumijeva odustajanje od poslovnih aktivnosti u oblasti u kojoj je identifikovan rizik čiji je nivo neprihvatljiv (viši od nivoa tolerancije rizika) i na taj način uklanjanje, odnosno likvidaciju rizika (npr. odustajanje od investicije).

2. **Transfer (prenos) rizika** je bolji odgovor za neke rizike, ukoliko je to moguće. Transfer određenih aspekata rizika podrazumijeva njihovo prenošenje na treću stranu. Ovo se može uraditi putem konvencionalnog osiguranja, ili plaćanjem trećem licu koje će preuzeti rizik na drugi način. Rizikom koji je prenesen takođe se mora i dalje upravljati, odnosno mora se nadzirati/kontrolisati.

3. **Redukcija ili smanjenje posljedica rizika** je najčešća opcija koja se koristi za obaranje nivoa utvrđenog rizika na osnovu utvrđenog i odobrenog Plana tretmana rizika koji definiše preduzimanje aktivnosti koje obezbjeđuju uvođenje dodatnih kontrola za smanjenje uticaja (prijetnje) i vjerovatnoće realizacije prijetnje i smanjenje rizika na prihvatljiv nivo (rezidualni rizik), koji mora biti odobren od strane odgovornog rukovodioca.

4. Tolerisanje i prihvatanje rizika - U slučaju izloženosti procesa i aktivnosti riziku, može se prihvatiti nastavak procesa i aktivnosti bez preduzimanja bilo kakvih mjera. Najviše rukovodstvo donosi odluku o toleranciji/preuzimanju ili prihvatanju rizika, i takva odluka mora biti čvrsto utemeljena na pouzdanim i u potpunosti dokumentovanim činjenicama.

5. Korišćenje prilike koju daje rizik je opcija koju je potrebno razmotriti uvijek kad se toleriše, prenosi ili tretira određeni rizik. Ovdje postoje dva aspekta. Prvi je da li istovremeno sa umanjivanjem određenih prijetnji i vjerovatnoće, postoji prilika da se iskoristi neki pozitivan uticaj. Na primjer, ukoliko je ulaganje većeg iznosa kapitalnih sredstava u veliki projekat rizično, postoje li relevantne kontrole koje su dovoljno dobre da opravdaju povećavanje tog iznosa kako bi se ostvarila još veća korist? Drugi aspekt je da li postoje okolnosti koje ne nose prijetnje, već stvaraju pozitivne prilike. Na primjer, pad cijene dobara ili usluga oslobađa određene resurse koji se mogu upotrijebiti za nešto drugo.

2. Uvođenje kontrola za smanjenje posljedica rizika u kompaniji EFT-Rudnik i Termoelektrana Stanari

Eliminisanje rizika ili umanjivanje na prihvatljivu mjeru povezano je sa uvođenjem kontrola koje mogu eliminisati ili smanjiti uticaj i vjerovatnoću ostvarivanja tog uticaja. Kontrole su dio svakodnevnih aktivnosti poslovnih i proizvodnih procesa.

Izbor kontrola zavisi od odluka same organizacije zasnovanim na kriterijumima za prihvatljivost rizika, opcijama postupanja sa rizicima, kao i na opštem pristupu upravljanju rizicima koji organizacija primjenjuje, a treba takođe da podliježe svim odgovarajućim zakonima i propisima.

Neposredne kontrole poslovnih i proizvodnih procesa uspostavljaju i sprovode vlasnici procesa/rukovodioci organizacionih jedinica sa kompetentnim osobljem na svim nivoima organizacione strukture EFT-RiTE Stanari. Shodno tome, krajnja odgovornost za sprovođenje kontrola jeste na operativnom rukovodstvu svakog organizacionog dijela EFT RiTE Stanari.

Operativni rukovodioci aktivno učestvuju u sprovođenju kontrola i odgovorni su za:

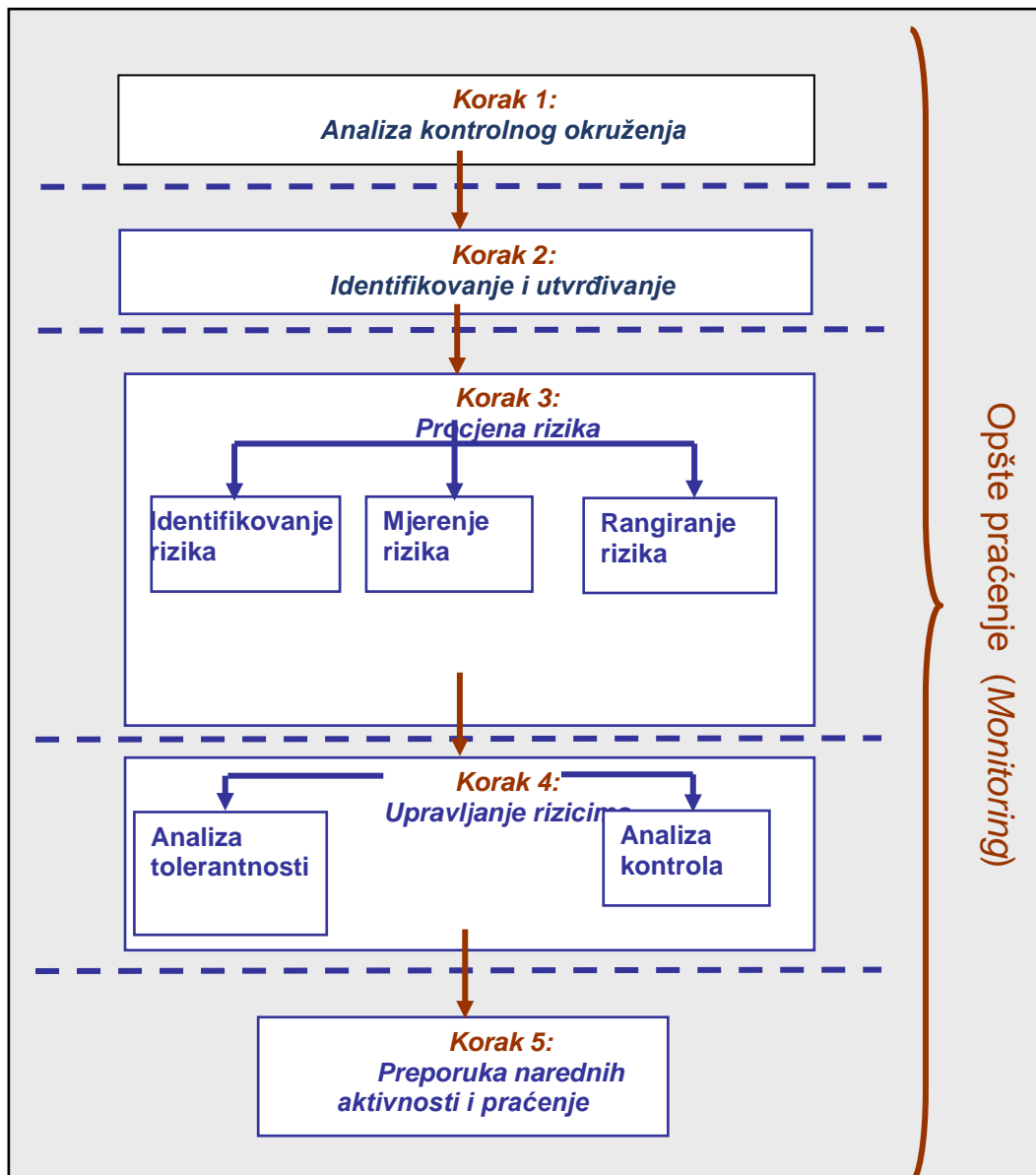
- sprovođenje potrebnih kontrola;
- sprovođenje procjena rizika i minimiziranja rizika;
- iniciranje poboljšanja kontrole kad se za to ukaže potreba;
- vođenje dokumentacije o kontrolama i minimiziranju rizika i izvještavanje.

Svi zaposleni su odgovorni za preduzimanje neophodnih aktivnosti u slučaju ako prijetnja iskoristi ranjivost i zbog toga dođe do posljedica, odnosno do incidenta. Oni su dužni da o svakom uočenom problemu i grešci izvještavaju svoje rukovodioce.

3. Sprovođenje procjene rizika - upravljanje rizicima

Procjena rizika je preliminarna ocjena adekvatnosti kontrola koje se već primjenjuju na specificirane aktivnosti predmetnog procesa. Postoje različite alatke i metodologije za obavljanje procjene rizika. Model rizika koji se primjenjuje u kompaniji EFT Rudnik i Termoelektrana Stanari je predstavljen na Slici 1.

Operativno rukovodstvo nadležno za realizaciju poslovnih i proizvodnih procesa ocjenjuje mogućnosti ostvarivanja potencijalnih rizika i donosi odluku o sprovođenju procjene rizika prema prikazanom algoritmu.



Slika 1. Model rizika

Korak 1: Analiza kontrolnog okruženja

Okruženje u kojem se sprovode aktivnosti ima najveći uticaj na efektivnost kontrola. Analiza okruženja obavlja se sa ciljem da se utvrdi mjera u kojoj radno okruženje pruža podršku primjenjenim kontrolama.

Korak 2: Identifikovanje i utvrđivanje ciljeva kontrola

Proces utvrđivanja ciljeva kontrola preispituje se od strane najvišeg rukovodstva, nakon čega se o tome obavještavaju operativni nivoi. Utvrđeni ciljevi kontrola obezbjeđuju jasna očekivanja, način ostvarivanja tih očekivanja, kao i način mjerenja uspješnosti. Ciljevi kontrola treba da budu: konkretni, mjerljivi, ostvarljivi, pouzdani i blagovremeni.

Korak 3: Procjena rizika

- Identifikovanje rizika

Analiza rizika se obavlja bez obzira na kontrole koje postoje da spriječe te rizike. Faktori koji se razmatraju u analizi rizika su: svrha i karakteristike aktivnosti, resursi, nabavke dobara ili usluga, uticaj van i u organizaciji, očekivano trajanje aktivnosti i prethodne analize. Metoda koja se koristi za identifikovanje rizika je metoda Brainstorming (*Nabacivanje ideja*), kojom se može uspješno izvršiti

identifikovanje rizika kroz postavljanje pitanja *Šta ako?*

Početna tačka je identifikovanje prijetnji uspješnom ostvarivanju ciljeva procesa. Uzimaju se u obzir rizici u vezi sa strateškim pitanjima kao što su: reputacija, kvalitet proizvoda i pružanja usluga, zaštita životne sredine, zdravlja i bezbjednosti na radu, finansije, politička pitanja i dr. Analizira se postojeća dokumentacija organizacije o incidentima koji su se desili, njihovoj učestalosti i uticajima. Pažljiva analiza je najvažnija faza u procesu identifikovanja rizika za incidente koji se mogu dogoditi i one koji su se zaista dogodili.

- **Mjerenje rizika**

Mjerenje rizika izvodi se kroz ocjenu uticaja, vjerovatnoće i posljedice njenog ostvarivanja.

Ocjena prijetnje se vrši na sljedeći način: Procjenjivač prvo identifikuje sve rizike koji se javljaju u nekom procesu ili aktivnosti, odnosno svemu za šta je od strane direktora naložena procjena rizika. Pri identifikaciji uticaja odnosno prijetnji procjenjivač uzima u obzir: uticaje na zaštitu i bezbjednost na radu, na životnu sredinu, finansijske prijetnje, uticaje na rokove odnosno na potencijalno izgubljeno vrijeme, uticaje na kvalitet proizvoda i/ili usluge, uticaje na zainteresovane strane i sve ostale prijetnje koje smatra relevantnim za predmet procjene rizika.

Nakon identifikacije svih uticaja (prijetnji), prema Tabeli 1., vrši se rangiranje tj. ocjena nivoa koji identifikovana prijetnja može imati na odvijanje proizvodnog procesa. Ocjena nivoa zavisi od znanja, iskustva i kompetentosti procjenjivača. U principu nivo uticaja najviše zavisi od posljedice (štete) koju ta prijetnja može da donese ukoliko se ostvari.

Takođe, razmatra se i vjerovatnoća pojave prijetnje jer sa aspekta rizika se prijetnja sa vrlo visokim nivoom uticaja, a neznatnom vjerovatnoćom pojave može smatrati umjerenom.

Ocjenu uticaja (prijetnje) vrši lice koje najbolje poznaje proces (aktivnost, događaj i dr.) koji je predmet procjene u saradnji sa licem koje je kompetentno za risk menadžment.

Primjer ocjene vjerovatnoće rizika je dat u Tabeli 2.

Tabela 1. Ocjena nivoa prijetnje na odvijanje procesa

Rangiranje	Uticaj/Prijetnja
5	Vrlo visok nivo
4	Visok nivo
3	Srednji nivo
2	Nizak nivo
1	Vrlo nizak nivo

Tabela 2. Ocjena vjerovatnoće rizika

Rangiranje	Vjerovatnoća	Opis
5	Vrlo velika	Očekivanja da će se određeni događaj desiti su vrlo velika.
4	Velika	Očekivanja da će se određeni događaj desiti su velika.
3	Srednja	Događaj bi se mogao desiti u nekom trenutku.
2	Mala	Mala vjerovatnoća da će se događaj desiti ili ostvariti prijetnja.
1	Vrlo mala	Vrlo mala vjerovatnoća da će se događaj desiti.

- **Rangiranje rizika**

Rangiranje rizika zasnovano je na proizvodu uticaja i vjerovatnoće ostvarivanja tog uticaja.

Kategorizacija visok/srednji/nizak stepen rizika u *matrici rizika 5*5* koja je prikazana na Slici 2. U ovoj matrici su za prijetnju i vjerovatnoću uzete vrijednosti 1, 2, 3, 4 i 5 što čini ovu matricu diferencijalnom, sa rasponom rizika od 1 do 25.

PRJETNJA (Pr)	5 Vrlo veliki	5	10	15	20	25
	4 Veliki	4	8	12	16	20
	3 Srednji	2	6	9	12	15
	2 Mali	2	4	6	8	10
	1 Vrlo mali	1	2	3	4	5
		1 Vrlo mala	2 Mala	3 Srednja	4 Velika	5 Vrlo velika
VJEROVATNOĆA (Ve)						

Slika 2. Matrica rizika ($RIZIK (Ri) = Pr*Ve$)

Iz matrice rizika 5*5 se izvodi rangiranje rizika. Za rangiranje rizika uvodi se posljedica, odnosno šteta koja nastaje ostvarivanjem rizika uvođenjem VRIJEDNOSTI (Vr).

Primjer ocjene posljedica odnosno štete je dat u Tabeli 3.

Tabela 3. Ocjena posljedica koje nastaju ostvarivanjem rizika

Rangiranje	Posljedica/Šteta	Opis
5	Vrlo velika	Vrlo velika šteta
4	Velika	Velika šteta
3	Srednja	Srednja šteta
2	Mala	Mala šteta
1	Vrlo mala	Neznatna šteta

Klasifikacija rizika prema prioritetu njegovog tretmana je data u Tabeli 4 i računa se prema proširenoj formuli za rizik:

$$Ri = Pr*Ve*Vr$$

Tabela 4. Prioriteti tretmana rizika

Prioritet	Rang	Opis
I	64 - 125	Obavezan tretman rizika i njegovo znatno smanjenje
II	30 - 63	Potreban tretman rizika i njegovo umanjivanje
III	1 - 29	Nije potreban tretman rizika i njegovo dalje umanjivanje

U prikazanoj matrici utvrđivanja prioriteta rizici za tretman i smanjivanje njihovog uticaja su klasirani u tri prioriteta:

- Rizici prvog prioriteta su najveći rizici (od 64 do 125) koji obavezno podliježu tretmanu u cilju njihovog smanjenja.
- Rizici drugog prioriteta (od 30 do 63) su rizici koji podliježu tretmanu u cilju njihovog smanjenja, odnosno ako smanjeni rizici opravdavaju uložena sredstava u njihovo smanjenje.
- Rizici trećeg prioriteta (od 1 do 29) su rizici za koje nije potreban tretman rizika i njihovo dalje smanjenje.

Korak 4: Upravljanje rizicima

Nakon što se identifikuju i procijene rizici i odrede njihovi prioriteti, rukovodstvo donosi odluku o tome koje aktivnosti treba preduzeti kao odgovor na značajne i visoke rizike, što će zavisiti od uticaja i vjerovatnoće ostvarivanja rizika.

Postoje dva osnovna aspekta reagovanja na utvrđeni visoki rizik. To su:


- Ocjena adekvatnosti i efikasnosti već primjenjenih kontrola mogućih opasnosti i ispitivanje mogućnosti uvođenja novih dodatnih kontrola i
- Ponovna detaljna analiza uticaja i vjerovatnoće sa aspekta njihove realne procjene i mogućnosti egzaktne kvantitativne procjene rizika, ili njene zamjene kvalitativnom procjenom.

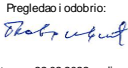
U prvom slučaju se zaključuje da li su moguće popravke postojećih kontrola i uvođenje novih, dodatnih kontrola koje će smanjiti rizik. U donošenju odluke o dodatnim kontrolama koje su potrebne, važno je doći do saznanja da su ocijenjeni rizici obuzdani. Svako uvođenje nove kontrole nosi određeni trošak. Važno je da uvedena nova kontrola opravdava uložena sredstva u njenu primjenu, znatno smanjuje rizik u odnosu na uložena sredstva.

U drugom slučaju, kvantitativna procjena rizika može biti adekvatnija, ako se bazira na stručnoj procjeni, znanju i iskustvu stečenom u ranijim procjenama sličnih rizika. Kvantitativna procjena rizika izrađuje se na formalizovanom obrascu *Identifikacija, procjena i vrednovanje rizika*. Na Slikama 3 i 4 su prikazani primjeri obrasca za Organizacione jedinice Proizvodnja uglja i Otkrivka.

eft Ideas with energy „EFT-Rudnik i Termoelektrana Štanari“ d.o.o.		INTEGRISANI SISTEM MENADŽMENTA										Oznaka O-IF-6.1-01-00-01	
Organizaciona jedinica:		IDENTIFIKACIJA, PROCJENA I VREDNOVANJE RIZIKA										Datum: 10.02.2022.	
		PROIZVODNJA UGLJA										Izdanje TREĆE	
												Broj 01/22 PU	
												Datum izrade: 22.02.2022.	
Redni broj	Vršilac procjene rizika (Tim za procjenu rizika)	Proces	Aktivnost / Operacija / Postupak	Potencijalne opasnosti - RIZICI	Uticaj / Prijetnja	Vjerovatnoća	Šeta	Vrijednost Rizika	Klasifikacija rizika - Rangiranje	Podliježe tretmanu rizika	Datum		
					od 1 do 5	od 1 do 5	od 1 do 5	6*7*8				I / II / III	DA / NE
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1.	Tehnički rukovodilac proizvodnje, rukovodilac proizvodnje uglja	Proizvodnja uglja	Otkopavanje uglja	Nezadovoljavajući kvalitet uglja	3	2	4	24	III	Ne	22.02.2022.		
2.				Zatoj u isporuci uglja usled kvara bagera	3	2	4	24	III	Ne			
3.				Požar na bageru/paljenje antifonih sundera	4	3	5	60	II	Da			
4.				Pad bagera zbog obrušavanja zemljišta i neodgovarajuće podloge	4	3	5	60	II	Da			
5.				Elementarne nepogode(zemljotres, poplava, udar groma i dr.)	3	1	5	15	III	Ne			
6.				Ekstremni vremenski uslovi (kiš, snijeg) u dužem vremenskom periodu	5	3	4	60	II	Da			
7.				Povreda na radu u procesu otkopavanja uglja	3	3	4	36	II	Da			
8.				Kontaminacija životne i radne sredine usled prosipanja ulja	4	4	2	32	II	Da			
9.				Potencijalna opasnost od nedovoljnih količina uglja zadovoljavajućeg kvaliteta za TE u prva tri mjeseca 2022.godine.	3	2	4	24	III	Ne			
10.			Prevoz uglja	Deponovanje uglja na PKu	2	2	3	12	III	Ne		22.02.2022.	
11.				Obrušavanje deponije usled podzemnih voda	2	1	4	8	III	Ne			
12.				Pad dampera sa ugljene etaže	2	3	4	24	III	Ne			
13.				Oštećenje mašina usled nepredviđenog kontakta - sudara	3	4	4	48	II	Da			
14.				Oštećenje dalekovoda pri likom prolaska mašina	3	2	4	24	III	Ne			
15.				Povrede na radu u procesu transporta uglja	3	3	4	36	II	Da			
16.				Moguć sudar kamiona koji prevoze uglj sa PK 1 do pogona prerade sa trećim licima (avgust - novembar)	3	1	3	9	III	Ne			

Dostavljeno:
Tehnički direktor Rudnika
Tehnički rukovodilac proizvodnje
Tim IMS
arhiva

Rukovodilac proizvodnje uglja: 


Pregledao i odobrio: 

Datum: 22.02.2022.godine

Slika 3. Obrazac Identifikacija, procjena i vrednovanje rizika za OJ Proizvodnja uglja

Rukovodilac organizacione jedinice, odnosno vlasnik procesa, u saradnji sa licima iz drugih

organizacionih jedinica, vrši procjenu rizika i dostavlja je na pregled i odobrenje nadležnom tehničkom direktoru ili pomoćniku direktora. Tehnički direktor ili pomoćnik direktora vrši analizu dostavljene procjene rizika i donosi odluku o prihvatanju. Ukoliko postoje neslaganja u vezi sa sadržajem dostavljene procjene, tehnički direktor ili pomoćnik direktora daje prijedloge za izmjenu postojećih i/ili definisanje dodatnih rizika/prilika. Ukoliko je tehnički direktor ili pomoćnik direktora saglasan sa predloženom procjenom rizika, daje odobrenje svojim potpisom. Rukovodilac organizacione jedinice dostavlja kopiju odobrene procjene rizika pomoćniku direktora za kvalitet i ekologiju.

INTEGRISANI SISTEM MENADŽMENTA											Oznaka
 „EFT-Rudnik i Termoelektrana Štanari“ d.o.o.											O-I-F-6.1-01-00-01
											Datum: 10.02.2022.
IDENTIFIKACIJA, PROCJENA I VREDNOVANJE RIZIKA											Izdavanje
Organizaciona jedinica: OTKRIVKA											TREĆE
Organizaciona jedinica: OTKRIVKA											Broj
Organizaciona jedinica: OTKRIVKA											01/22 O
Organizaciona jedinica: OTKRIVKA											Datum: 18.02.2022
Redni broj	Vršilac procjene rizika (Tim za procjenu rizika)	Proces	Aktivnost / Operacija / Postupak	Potencijalne opasnosti - RIZICI	Uticaj / Prijetnja	Vjerovatnoća	Šteta	Vrijednost Rizika	Klasifikacija rizika - Rangiranje	Podliježe tretmanu u rizika	Datum
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Tehnički rukovodilac proizvodnje, Rukovodilac Otkrivke	Otkrivka	Kontinualno i diskontinualno otkopavanje otkrivke	Nemogućnost ostvarenja planiranih godišnjih ili mjesečnih planova na otkrivci	3	2	4	24	III	NE	18.02.2022.
2.				Klizšte na radnim i završnim kosinama na PK-u	3	3	4	36	II	DA	18.02.2022.
3.				Kontakt (oštećenje) pojedinih mašina prilikom rada	3	5	3	45	II	DA	18.02.2022.
4.				Povreda radnika prilikom obavljanja redovnih poslova	3	5	2	30	II	DA	18.02.2022.
5.				Potencijalna opasnost po radnike prilikom kretanja pomoćne mehanizacije	4	2	5	40	II	DA	18.02.2022.
6.				Opasnost od požara na BTO sistemu i diskontinualnoj mehanizaciji	3	2	5	30	II	DA	18.02.2022.
7.			BTO sistem (kontinualno otkopavanje otkrivke)	Propadanje rotornog bagera prilikom rada u zavodnjem materijalu	2	1	4	8	I	NE	18.02.2022.
8.			Diskontinualno otkopavanje otkrivke	Sijetanje kamiona sa puta prilikom utovara, transporta i odlaganje otkrivke	2	2	4	16	I	NE	18.02.2022.

Slika 4. Obrazac Identifikacija, procjena i vrednovanje rizika za OJ Otkrivka

Korak 5: Preporuka naknadnih aktivnosti i praćenja

Preporuka za naknadne aktivnosti izvodi se iz razmatranja zaključaka donesenih tokom procjene rizika, kao i na osnovu stečenog znanja, iskustva i suda o rizicima vezanim za neki organizacioni dio ili njegovu organizacionu jedinicu, odnosno sagledavanja konkretnog procesa, njegovih aktivnosti i njihovih opasnosti koje su prijetnja za moguću realizaciju rizika.

Procjena rizika predstavlja inicijalnu ocjenu rizika i primijenjenih kontrola i koristi se za preporuku aktivnosti koje treba preduzeti za smanjenje opasnosti.

4. Izrada i praćenje realizacije plana tretmana rizika

Kada su identifikovani visoki rizici prvog i drugog prioriteta, planove tretmana rizika izrađuju odgovorni operativni rukovodioci organizacionih jedinica, odnosno vlasnici procesa, u saradnji sa rukovodiocima drugih organizacionih jedinica, pomoćnicima direktora i tehničkim direktorima.

Izradu i realizaciju plana tretmana rizika odobravaju nadležni tehnički direktori i/ili pomoćnici direktora, dok rezultat realizacije plana (rezidualni rizik prioriteta I i II) odobrava direktor. Kopija odobrenog plana tretmana rizika dostavlja se pomoćniku direktora za kvalitet i ekologiju.

Sprovođenje planova tretmana rizika vrše odgovorni operativni rukovodioci koji su izradili

procjenu i plan tretmana rizika. Oni su odgovorni da izvještavaju direktora, nadležne tehničke direktore i pomoćnike direktora o ostvarenom napretku dostavljanjem zapisa urađenog na formalizovanom obrascu. Primjer obrasca Plan tretmana i upravljanja rizicima prikazan je na Slici 5.

Na nivou svakog organizacionog dijela, rade se potrebne analize i tretman rizika procesa, aktivnosti i procjene uticaja na životnu sredinu.

Procjena rizika po zdravlje i bezbjednost na radu radi se za svako radno mjesto i svaku aktivnost koja se na njemu obavlja.

eef Eco-System Energy		INTEGRISANI SISTEM MENADŽMENTA											Obrasc		
JFT-Rudnik i Termoelektrana Štanić d.o.o.		PLAN TRETMANA I UPRAVLJANJA RIZICIMA											O-IF-6.1-01-00-02		
Organizaciona jedinica:		OTKRIVKA											DRUGO		
RIZICI KOJI PODLJEŽU TRETMANU (iz OCJENE RIZIKA)		PLAN TRETMANA I UPRAVLJANJA RIZICIMA								ODOBRENE PLANA I PRIHVATANJE REZIDUALNIH RIZIKA					
Redn i broj	Višlac procjene rizika (Tim za procjenu rizika)	Potencijalne opasnosti - RZIC i	Prethod na vrijedn ost Rizika	Prethod na klasifik acija rizika - Rangiran je	Mjere za otklanjanje / smanjenje opasnosti (rizika)	Ulcag / Prijenja		Šteta	Vrijednost rizika nakon preduzetih mjera	Klasifikacij a rizika - Rangiranj e	Rezidualn i rizik	Rok za realizacij u mjera/o dgovorn o lice	Pregledao i odobrio/ datum	Status realizovanih mjera	Datum
						od 1 do 5	od 1 do 5								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1.	Tehnički rukovodilac otkrivke i	Klizšte na radnim i završnim kosinama na PKu	36	II	Izrada kosina u skladu sa projektom, redovan monitoring kosina, redovna rekultivacija završnih kosina, izrada obodnih kanala i sklanjanje opreme u slučaju opasnosti	2	2	4	16	III	PRIVATLJIV	Kontinualno	Tehnički rukovodilac proizvodnje - 21.02.2022.	U toku realizacija	21.02.2022.g
2.		Kontakt (oštećenje) pojedinih mašina prilikom rada	45	II	Redovno uvođenje radnika u posao, stručno osposobljavanje radnika, godišnje upoznavanje i testiranje radnika iz poznavanje propisa ZNRI PFZ, obavezno sprovođenje i uputstava za rad, pojačan nadzor poslovođa nad izvođenjem radova i dr.	3	4	2	24	III	PRIVATLJIV	Kontinualno			21.02.2022.g
3.		Povreda radnika prilikom obavljanja redovnih poslova	30	II	Redovno uvođenje radnika u posao, stručno osposobljavanje radnika, godišnja obuka i testiranje radnika iz poznavanje i propisa ZNRI PFZ, obavezno korištenje lične zaštitne opreme, pojačan nadzor poslovođa nad izvođenjem radova i	3	4	2	24	III	PRIVATLJIV	Kontinualno			21.02.2022.g
4.		Potencijalna opasnost po radnike prilikom kretanja pomoćne mehanizacije	40	II	Redovno uvođenje radnika u posao, stručno osposobljavanje radnika, godišnja obuka i testiranje radnika iz poznavanje i propisa ZNRI PFZ, izrada zaštitnih bedema na etažama, redovno održavanje transportnih puteva, pojačan nadzor poslovođa nad izvođenjem radova i dr.	4	1	5	20	III	PRIVATLJIV	Kontinualno			21.02.2022.g
5.		Opasnost od požara na BTO sistemu i diskontinualnoj mehanizaciji	30	II	Redovna godišnja obuka i testiranje radnika iz poznavanje propisa ZNRI PFZ, redovna kontrola raspored vatrogasnih aparata prema planu PFZ, kontrola i zamjena neispravnih valjaka duž BTO sistema, redovno pranje diskontinualne mehanizacije(naročito u ljetnim mjesecima), prskanje transportnih puteva i dr.	3	1	5	15	III	PRIVATLJIV	Kontinualno			21.02.2022.g

Slika 5. Obrazac Plan tretmana i upravljanja rizicima za OJ Otkrivka

Procjena rizika za sve procese se radi najmanje jedanput godišnje. U slučaju značajnijih izmjena u samom proizvodnom procesu, identifikacije novog rizika ili pojave incidenta, odmah se vrši procjena i definiše odgovarajući plan tretmana rizika.

5. Zakonska regulativa

Zakonska regulativa koja se primjenjuje u ovoj oblasti je sljedeća: Zakon o zaštiti na radu (Sl. glasnik RS, br. 1/2008 i 13/2010), zakoni i zakonski propisi iz oblasti rudarstva, energetike, energetske efikasnosti, zaštite životne sredine i zaštite zdravlja i bezbjednosti na radu RS i BiH.

6. Zaključak

U kompaniji EFT Rudnik i Termoelektrana Stanari d.o.o. se rizicima upravlja na transparentan i procedurom definisan način.

Primarni cilj je da se kroz:

- kontinualno praćenje realizacije mjera za otklanjanje i smanjenje rizika definisanih Planovima tretmana rizika;
- preispitivanje Planova tretmana rizika;
- pravovremeno izvještavanje o incidentima ili potencijalnim incidentima;
- pokretanje postupka ponovne procjene rizika za aktivnosti i procese tokom čije realizacije je došlo do incidenata ili potencijalnih incidenata i
- realizaciju preporuka od strane osiguravajućih društava,

podigne svijest svih zaposlenih o značaju procesa upravljanja rizicima i isti približi relevantnim zainteresovanim stranama.

Literatura

- [1] Zakon o zaštiti na radu Republike Srpske (Sl. glasnik RS, br. 1/2008 i 13/2010)
- [2] EFT-Rudnik i Termoelektrana Stanari, procedura O-IP-6.1-01 - Upravljanje rizicima, Stanari, 2022.
- [3] Institut za standardizaciju BiH, Sarajevo, Standard ISO 31000:2019-Upravljanje rizikom, Sarajevo, 2019.

**KOMPARATIVNA ANALIZA ZAVRŠNIH KONTURA POVRŠINSKOG KOPA DRMNO****COMPARATIVE ANALYSIS OF THE FINAL BOUNDARIES OF OPEN PIT MINE DRMNO**Stevanović D.¹, Ignjatović D.², Šubaranović T.³, Banković M.⁴, Marković P.⁵**Apstrakt**

Definisanje optimalne završne konture površinskog kopa od suštinskog je značaja za ostvarivanje strateških ciljeva u razvoju rudarskih projekata. Savremeni programski paketi i metode za optimizaciju granica kopa, zasnivaju se na pronalasku završne konture koja obezbeđuje maksimalan profit. U slučaju površinskih kopova uglja, kod kojih osim profita postoji i čitav niz dodatnih kriterijuma i strateških ciljeva, princip optimizacije granica prema profitu, najčešće nije u potpunosti primenjiv. Iz rog razloga za uspešno definisanje granica površinskih kopova, neophodno je sagledati čitavu lepezu uticajnih faktora kako bi se došlo do optimalnog rešenja. Imajući u vidu strateški značaj, koji definisanje granica a posledično i eksploatacionih rezervi površinskog kopa Drmno, ima na budućnost eksploatacije uglja u Kostolačkom basenu ali i na ukupan sistem elektroenergetske stabilnosti Republike Srbije, razvijene su dve varijante završne konture površinskog kopa Drmno. Na ovoj način, kroz komparativnu analizu kontura, daje se mogućnost da se detaljnije sagledaju alternative i reši deo postojećih nedoumica, a sve sa ciljem donošenja neophodnih strateških odluka, u koje svakako spada i definisanje granica kopa.

Ključne reči: završna kontura, ugalj, komparativna analiza, optimizacija, strateški ciljevi

Abstract

Defining the optimal final pit design is essential for achieving strategic goals in the development of mining projects. Today's methods for optimizing the boundaries of a mine are based on finding the final pit shell, that ensures maximum profit. In the case of surface coal mines, where apart from profit there is a whole series of additional criteria and strategic goals, the principle of optimizing boundaries according to profit is usually not fully applicable. In order to successfully define the boundaries of open pit mines, it is necessary to look at the whole range of influencing factors in order to arrive at an optimal solution. Bearing in mind the strategic importance that the definition of the boundaries and consequently the reserves of open pit mine Drmno has on the future of coal mining in the Kostolac Basin and on the overall system of coal supply and power generation of the Republic of Serbia, two variants of the final contour of the Drmno surface mine were developed. In this way, through a comparative analysis of the boundaries, it is possible to take a closer look at the alternatives and solve some of the existing doubts,

¹Prof. dr Stevanović Dejan, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

²Prof. dr Ignjatović Dragan, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

³Prof. dr Šubaranović Tomislav, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

⁴Doc. dr Banković Mirjana, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

⁵Petar Marković, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

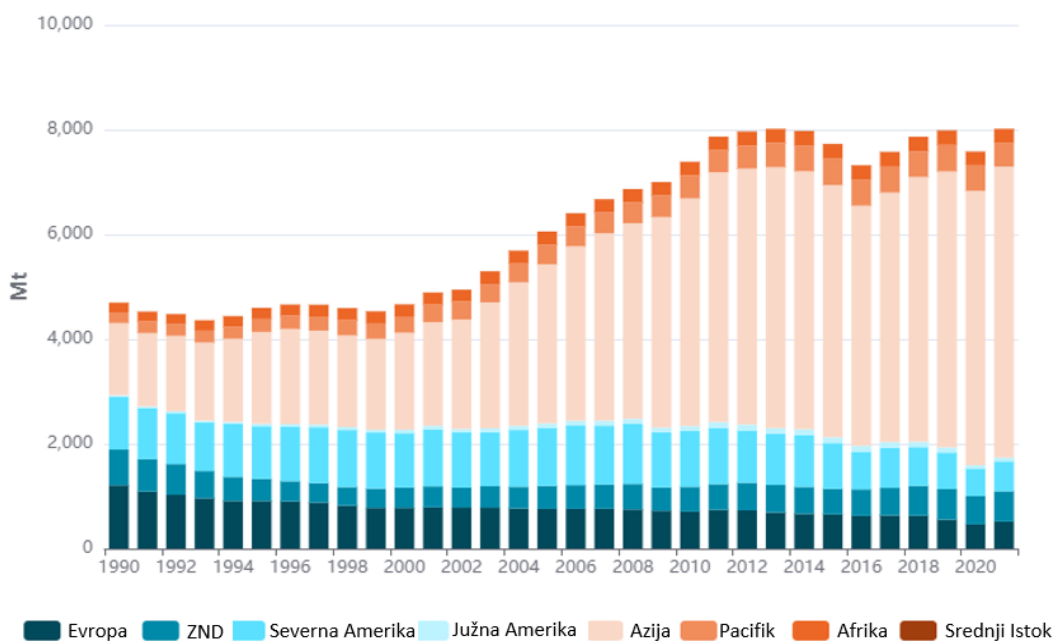
all with the aim of making the necessary strategic decisions, which certainly includes defining the boundaries of the mine.

Keywords: final boundaries, coal, comparative analysis, optimization, strategic goals

1. Uvod

Savremena eksploatacija mineralnih sirovina, odvija se u vrlo složenim uslovima. Pored pada kvaliteta ležišta, posebno nepovoljan uticaj na eksploataciju uglja ima trenutno društveno-političko okruženje, inspirisano težnjom da se zaštite ekološke vrednosti, pre svega, kroz smanjenu emisiju CO₂. Ovo sve posledično utiče na formiranje političkih doktrina, usvajanje strategija i donošenja zakonskih normi, čija priroda je po pravilu krajnje restriktivna (progresivno restriktivna) prema eksploataciji uglja.

U mnogim državama, uključujući i Srbiju ugalj i dalje predstavlja važan, a često i osnovni izvor generisanja električne energije. Prema podacima Elektroprivrede Srbije, ugalj je glavni izvor za nešto ispod 70% električne energije u Srbiji. Decenijama razvijana tehnologija eksploatacije uglja i rada termoelektrana, stvorila je bogatu bazu znanja i inženjerskog iskustva. Ovi faktori uticali su na veliku pouzdanost, efikasnost i ekonomsku opravdanost eksploatacije uglja u cilju generisanja električne energije. Ovo najbolje opisuju i statistički podaci (Coal Market Update, IEA, 2022.) koji prognoziraju da će u samo ovoj (2022.) godini u Evropskoj uniji skočiti potrošnja uglja u iznosu od 7%, što posebno dobija na značaju kada se zna da je potrošnja uglja u EU porasla čitavih 14% tokom 2021. godine (preko 17% u Nemačkoj). Prognoze su, da će na svetskom nivou, u 2022. godini, potrošnja uglja blago porasti do nivoa istorijskih maksimuma koji se kreću oko 8 milijardi tona/god. Na Slici 1 data je proizvodnja uglja u svetu za period 1990.-2021. (EnerData, World Energy & Climate Statistics - Yearbook 2022).



*Slika 1. Trend potrošnje uglja u periodu 1990.-2021. godine
(EnerData, World Energy & Climate Statistics - Yearbook 2022)*

I pored opravdanja da je skok u potrošnji uglja privremen i opravdan (jačanjem privrednih kapaciteta posle Covid 19 infekcije, trenutnim političkim zbivanjima koji su uslovili visoku cenu gasa) i da je ugalj energent prošlosti, ne treba zaboraviti da je od Pariskog sporazuma, samo 21 država sveta usvojila program potpunog napuštanja uglja (mnoge do 2030. godine). Te zemlje predstavljaju samo 3,2% ukupne proizvodnje električne energije i 1% svetske CO₂ emisije (IEA, Fuels-and-technologies-Coal, 2022.). Imajući sve to u vidu ne čudi zaključak MIT da će ugalj, po svemu sudeći, nastaviti da

predstavlja važan izvor energije u svakom uverljivom scenariju za budućnost (MIT, 2007. godine).

Na proizvodnju uglja u velikoj meri utiče opadanje kvalitetom ležišta, što je trend prisutan i prepoznat od strane rudarske struke širom sveta i po pravilu nije vezan za posebnu mineralnu sirovinu. Razlozi ovakvog trenda jasni su ako se u obzir uzmu ekonomski i tehnološki motivi rudarskih projekata, koji podrazumevaju ranije otkopavanje boljih ležišta (ili delova ležišta), a ostavljanje slabijih partija za budućnost. Sve lošiji kvalitet ležišta je prosto činjenica, koju rudarska praksa mora uzeti u obzir kako bi uspešno realizovala složene zahteve postojećih i budućih projekata. Navedeno važi i za eksploataciju uglja kod nas. Duga tradicija otkopavanja uglja u nasleđe nam je ostavila značajno rudarsko iskustvo.

U isto vreme, duga tradicija i bogata iskustvo, znače i da su najbolja ležišta već otkopana.

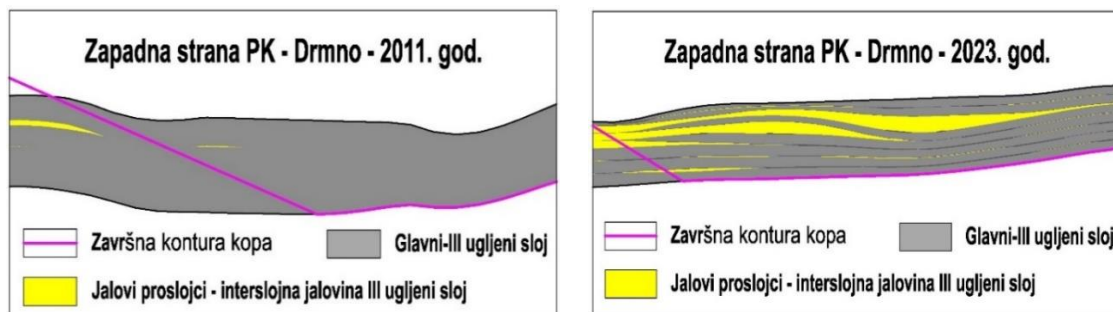
Parametri eksploatacionih karakteristika ležišta ugljeva presudni za održivost proizvodnje uglja su pre svega koeficijent otkrivke, raslojenost, dubina zaleganja uglja i kvalitet uglja. Predmet ovoga rada je površinski kop (PK) Drmno, za koji su konkretno prikazani neki od nekih od navedenih ključnih parametara i to:

- Istorijski, godišnji koeficijent otkrivke u periodu 1993.-2021. godina (Slika 2);
- Raslojenost na karakterističnim profilima duž zapadne strane (Slika 3);
- Kretanje dubine eksploatacije prema važećoj projektnoj dokumentaciji (Slika 4).



Slika 2. Kretanje godišnjeg koeficijenta otkrivke na PK Drmno (period 1993.-2021.)

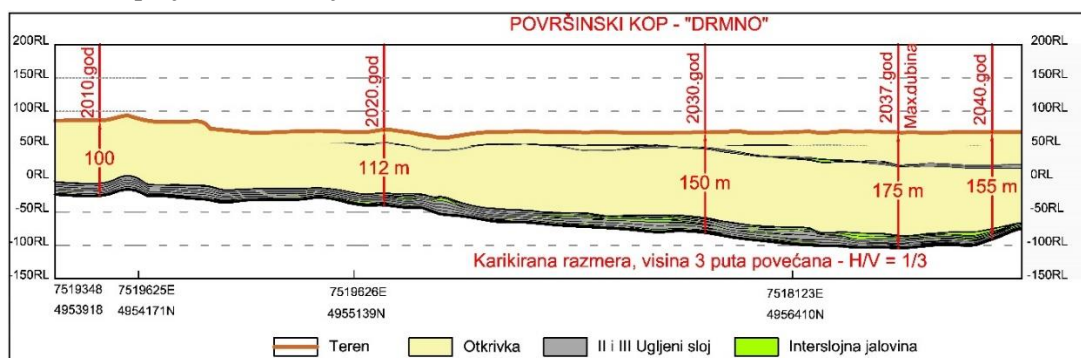
Pojava raslojenosti uglja velikim brojem jalovih proslojaka je još jedna karakteristika sa negativnim uticajem na parametre eksploatacije. Jalovi proslojci zahtevaju primenu selektivnog rada čime se smanjuju kapacitet proizvodnje i kvalitet uglja (dolazi do razblaženja) što je prepoznato kroz mnoga istraživanja u domenu upravljanja kvalitetom uglja (Banković et al., 2017., Benndorf, 2011., 2013., Naworyta et al., 2015., Stevanović et al., 2014., 2015.). Na Slici 3 je dat prikaz povećanja raslojenosti na zapadnoj strani PK Drmno tokom poslednje decenije.



Slika 3. Uporedni prikaz povećanja raslojenosti površinskog kopa Drmno

Povećanje dubine eksploatacije umnogome otežava tehnologiju rada, pre svega zbog veće

otkopne visine i povećanih kapaciteta, što zahteva angažovanje dodatne osnovne i pomoćne mehanizacije. Takođe može dovesti do povećanja koeficijenta otkrivke i negativnog uticaja na stabilnost kosina. Na Slici 4 prikazano je planirano povećanje maksimalne dubine otkopavanja za PK Drmno prema važećim projektnim rešenjima.



Slika 4. Povećanje dubine eksploatacije na površinskog kopa Drmno

Iz Slika 2, 3 i 4 jasno je da su trendovi vezani za uslove eksploatacije na površinskom kopa Drmno negativni, ali se ne smeju pogrešno tumačiti. Oni zapravo pokazuju da će u narednom periodu biti neophodno preduzimati sve stručne mere koje pre svega podrazumevaju blagovremeno donete strateške odluke koje bi obezbedile uspešnu realizaciju proizvodnih ciljeva.

U tom smislu u ovome radu prikazana je komparativna analiza, koja iz više ponuđenih varijanti treba da definiše granice kopa Drmno, sagledavajući čitavu lepezu uticajnih faktora. Prikazana analiza deo je Studije eksploatacije uglja na površinskom kopa Drmno (Rudarsko-geološki fakultet, 2022. godine) koja je u trenutku pisanja rada, bila u završnoj fazi izrade.

2. Komparativna analiza granica - površinski kop Drmno

U periodu do kraja eksploatacije površinski kop Drmno očekuje značajno povećanje tehnološke složenosti rada. Ovakav razvoj pre svega je uzrokovan prirodnim, geološkim i geografskim osobnostima ležišta kao i tehnološkim planovima vezanim za povećanje kapaciteta.

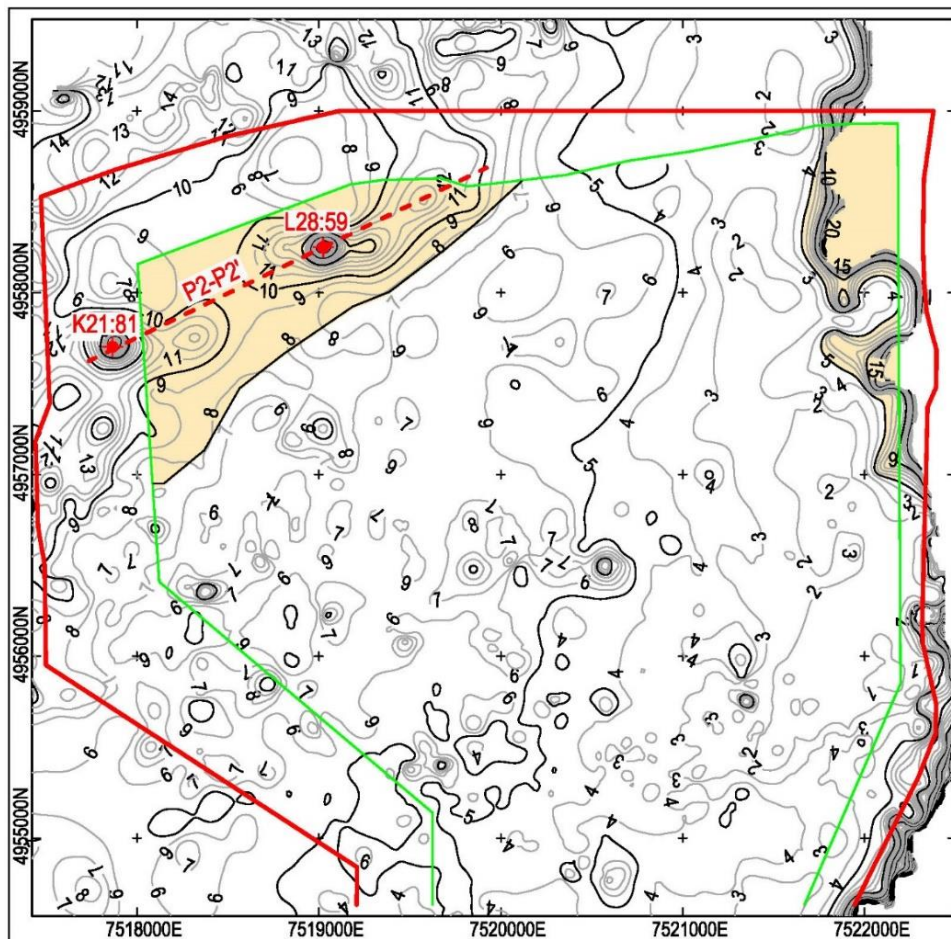
2.1 Geološke karakteristike od značaja za definisanje granica kopa

Značajna geološka karakteristika trenutne i buduće eksploatacije u ležištu Drmno, svakako je pojava jalovih prosljaka u bilansnim ugljenim slojevima. Uz ove pojave, sve češće se javljaju i zone sa naglim promenama u kotama krovine i podine (sinformni i antiformalni oblici). Ovakva situacija nepovoljno utiče, odnosno u značajnoj meri tehnološki komplikuje, proces eksploatacije. U narednom periodu, napredovanjem kopa (pre svega ka zapadu ali i severu) ovakve negativne pojave, a posebno pojava jalovih interslojnih prosljaka, biće još više izražene, i predstavljaju svakako geološku realnost kojoj se tehnološki proces mora prilagoditi.

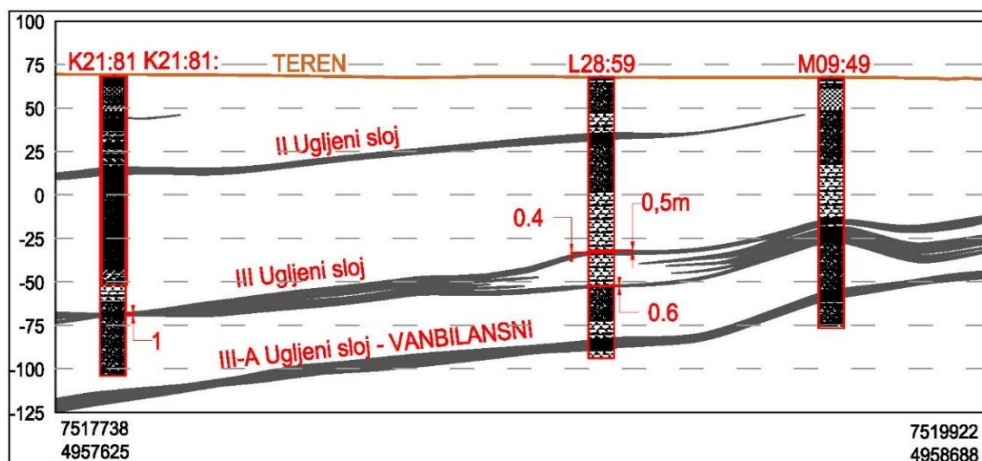
Važeći geološki Elaborat iz 2017. godine (Georad, 2018. god.) uneo je izvesne novine u odnosu na prethodne geološke dokumente. Ovo je razumljivo imajući u vidu nove raspoložive podatke o istražnim radovima. Značajnije razlike pre svega su vezane za granicu isklinjavanja III ugljenog sloja, na istočnoj strani kopa, koja je u odnosu na prethodni elaborat (Georad, 2013. god.) pomena ka zapadu. U geološkom modelu razvijenom na Rudarsko-geološkom fakultetu, granica isklinjenja je iz tehnoloških razloga, postavljena prema procenjenoj vrednosti debljine III ugljenog sloja na 0,7 m, što je isklinjenje III ugljenog sloja dodatno pomerilo na zapad. Jasno je da navedeno ima odlučujuću ulogu prilikom konstrukcije granica površinskog kopa, odnosno da se konture kopa moraju prilagoditi granicama isklinjenja.

Prosečna debljina III ugljenog sloja u konturi iz Tehničkih rudarskih projekata (RGF, 2021. god.) kreće se nešto preko 16 m (prosek 16,25 m). U pravcu severa, idući ka Dunavu, debljina uglja se

postepeno smanjuje. Navedena pravilnost narušena je u krajnjoj severozapadnoj zoni (konture iz Tehničkih projekata, 2021. god.) gde se naglo na relativnom malom prostoru debljina uglja značajno smanjuje. Duž spomenute zone nabušena je i bušotina L28:59 (pozicija naznačena na Slici 5). Ova bušotina nabušila je drugi ugljeni sloj (u debljini od 3 m), ali na poziciji bušotine nabušena su dva proslojka III ugljenog sloja debljine 0,4 i 0,6 m, odnosno u vrednostima ispod usvojene granične vrednosti selektivnosti (0,7 m). Imajući u vidu navedeno, u tehnološkom smislu ova bušotina može smatrati jalovom. Činjenica da se na zapadnoj ivici posmatrane zone nalazi i bušotina K21:81 (pozicija naznačena na Slici 5) koja je nabušila III ugljeni sloj u debljini od samo 1 m, govori o značajnim strukturnim promenama ugljenog sloja, i o velikom potencijalu da se u označenom prostoru nalaze dodatne jalove zone. Navedeno dobija na snazi, ako se uzme u obzir da je duž posmatrane zone gustina istražnih bušotina najmanja, sa prosečnim rastojanjem između bušotina od oko 250 m. Profil P2-P2', koji spaja pravac između bušotina L28:59 i K21:81 dat je na Slici 6, dok je na Slici 5, označen položaj profila. Eksploatacioni potencijal zone dodatno opada, ako se zna da je debljina otkrivke najveća upravo duž zapada kopa. Ovo istovremeno znači da je u toj zoni koeficijent otkrivke značajan i da se sa pravom može analizirati opravdanosti eksploatacije ovoga dela ležišta (Slika 5). Činjenica da su u posmatranoj zoni, duž glavnog ugljenog sloja jalovi proslojci posebno izraženi, tehnološki otežava mogućnost eksploatacije i dodatno devalvira motive za uključenje posmatranog prostora unutar konture kopa. Duž krajnje istočne strane ležišta, vrednost koeficijenta otkrivke je takođe značajna (Slika 5). Ovde je debljina otkrivke najmanja, ali se zbog isklinjenja, debljina uglja naglo smanjuje, što sve ukupno generiše značajne vrednosti koeficijenta otkrivke.



Slika 5. Naznačene zone sa visokim vrednostima koeficijenta otkrivke



Slika 6. Profil P2-P2' - severozapadna zona kopa

2.2 Razvijene varijante završne konture površinskog kopa Drmno

Uzimajući u obzir geološka saznanja proistekla iz novih geoloških istražnih radova i potpunijeg razumevanja ležišta, razvijeno je više različitih varijanti završne konture PK Drmno. Nakon detaljnijeg razmatranja iskristalisale su dve varijante, sa potencijalom za ozbiljnije razmatranje. Razvijene varijante završne konture kopa, dele značajan broj zajedničkih karakteristika ipak postojeće razlike su dovoljno velike da opredele različite strategije buduće eksploatacije uglja u Kostolačkom basenu.

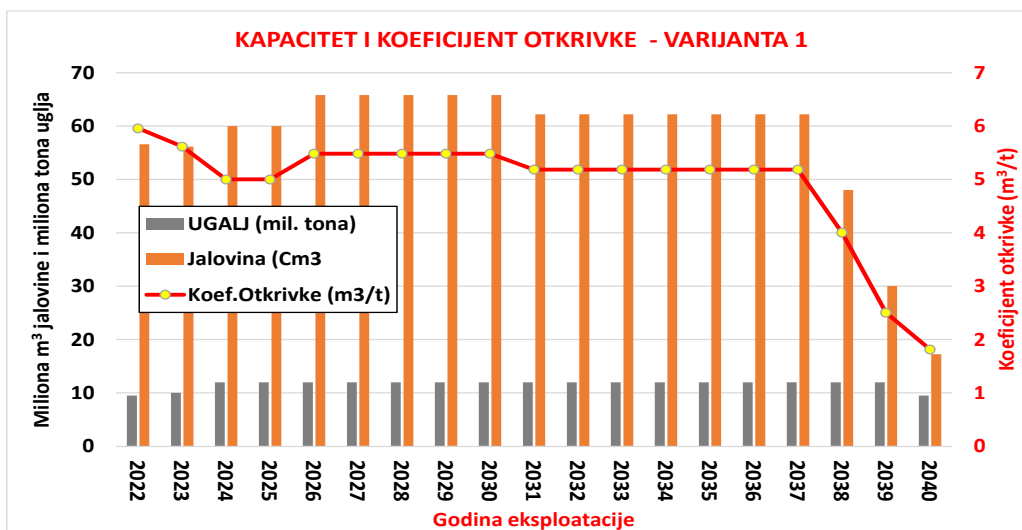
2.3 Varijanta 1 - Modifikovana važeća kontura PK Drmno

Kako se iz samog naslova može videti Varijanta 1, predstavlja modifikovanu završnu konturu, iz važećih projekata i studija. Modifikacije koje su izvršene pre svega se odnose na potrebu usklađenja sa novim geološkim saznanjima. U strateškom smislu ova varijanta, predstavlja konturu kojom se obezbeđuju maksimalno moguće količine uglja uz postojeća tehnno-ekonomska ograničenja. Drugim rečima, varijanta favorizuje kriterijum obezbeđenja maksimalnih eksploatacionih rezervi uglja, koji je bitan i sa ekološkog aspekta, a u drugi plan stavlja tehnološke i ekonomske kriterijume.

Generalni nagib završnih kosina na kopu, kreće se od 13° (u zapadnom delu kopa prema Viminacijumu), na istočnoj strani kopa nagib je iz tehnoloških razloga (ne geomehaničkih) oko 12° dok u ostalim delovima kopa (severozapad, sever) iznosi 15° .

Ukupno okonturene rezerve uglja u konturi (Varijanta 1) iznose oko 221 milion tona sa prosečnom toplotnom vrednošću od 9.310 kJ/kg. Eksploatacione količine jalovine iznose 1.092 miliona čm^3 , a srednji koeficijent otkrivke je 4,94 m^3/t . Uzimajući u obzir projektovane kapacitete i sračunate rezerve, vek kopa će biti 19 godina, odnosno eksploatacija je planirana do 2040. godine.

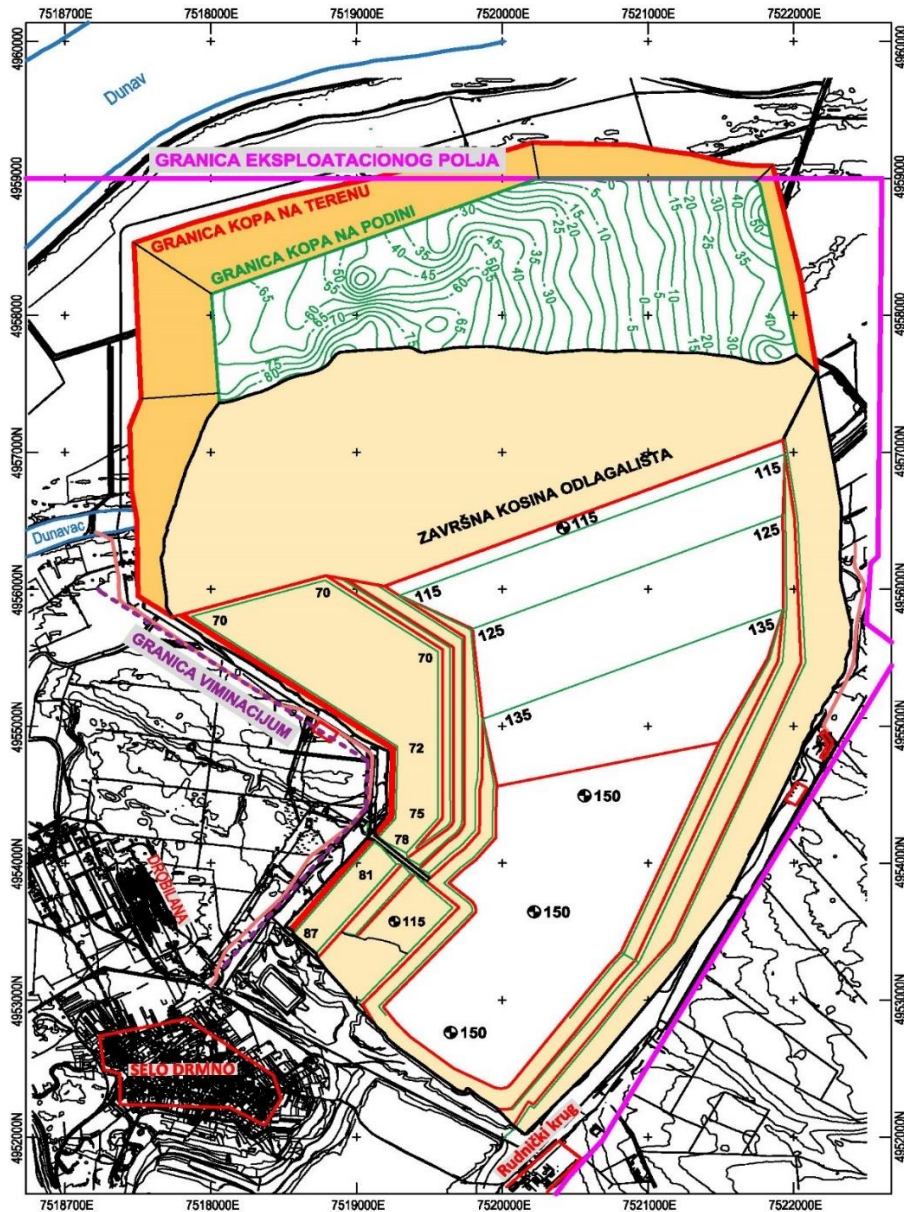
Generalno paralelno, povremeno kombinovano napredovanje otkopnog i odlagališnog fronta je osnovno obeležje razvoja rudarskih radova za Varijantu 1. Godišnji kapacitet na uglju projektovan je na $12 \cdot 10^6$ t (od 2025. godine) i da bi se on ostvario, neophodno je obezbediti vršni kapacitet na jalovini u iznosu od 65,8 čm^3 jalovine. Grafički prikaz osnovnih parametara dinamike razvoja radova dat je na Slici 7.



Slika 7. Grafički prikaz dinamike razvoja rudarskih radova i koeficijenta otkrivke - Varijanta 1

Front radova na odlagalištu prati razvoj radova na otkopavanju. Vršna kota odlagališta, se napredovanjem menja, i od projektovane kote 150 m (od 2023. godine) do kraja eksploatacije se spušta na kotu 115 m. Ove promene vršnih kota, usklađene se su sa spuštanjem podine duž koje se vrši odlaganje karakteristika su svih etaža (sistema) na odlagalištu.

Duž zapadne strane odlagališta rezerviše se prostor za odlaganje pepela i šljake. U konstruisanoj konturi odlagališta prema Varijanti 1, obezbeđuje se prostor za pepeo i šljaku od oko 36 miliona m³. Konstruisana Varijanta 1 završne konture površinskog kopa, prikazana je na Slici 8.



Slika 8. Završno stanje rudarskih radova - Varijanta 1

3. Varijanta 2 - Ekonomska kontura

Kontura iz Varijante 2, predstavlja konturu koja prednost daje ekonomskim i tehnološkim kriterijumima eksploatacije, na račun kriterijuma maksimalnih količina uglja. Drugim rečima, varijanta ne zahvata najdublje delove ležišta, kao i delovo sa malom debljinom uglja. Na ovaj način se u značajnoj meri smanjuje količinu jalovine i u manjoj meri količine uglja. Jedan od kriterijuma prilikom konstrukcije ove varijante, bilo je definisanje granica kopa sa čiji koeficijent otkrivke ne prelazi vrednost od $K_o = 4,5 \text{ čm}^3/\text{t}$. Najvećim delom granice kontura iz Varijante 1 i Varijante 2 se podudaraju s tim što se konturom iz Varijante 2, odbacuju delovi ležišta sa navećim koeficijentom otkrivke (zone obeležene na Slici 5). odnosno različita geometrija granica prisutna je samo duž zapadne i severo-zapadne strane.

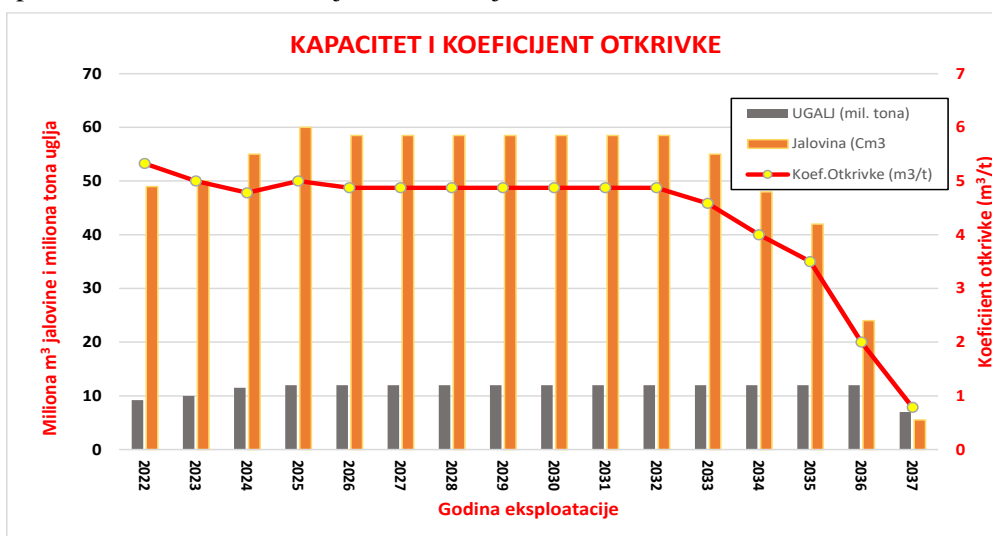
Identično kao i za konturu iz Varijante 1, generalni nagib završnih kosina na kopu, kreće se od 13° (u zapadnom delu kopa prema Viminacijumu), na istočnoj strani kopa nagib je iz tehnoloških razloga (ne geomehaničkih) oko 12° , dok u ostalim delovima kopa (severozapad, sever) iznosi 15° .

Ukupno okonturene rezerve uglja u konturi (Varijanta 2) iznose oko 182 milion tona sa

prosečnom kaloričnom vrednošću od 9.292 kJ/kg. Eksploatacione količine jalovine iznose 798 miliona čm^3 , a srednji koeficijent otkrivke je 4,4 $\text{čm}^3/\text{t}$. Uzimajući u obzir projektovane kapacitete i sračunate rezerve, vek kopa će biti 15,5 godina, odnosno eksploatacija je planirana do polovine 2037. godine.

Specifična geometrija konture datoj u Varijanti 2, upućuje na veću zastupljenost radijalnog načina rada pri napredovanju fronta rudarskih radova. Takođe, momenat prelaska sa paralelnog na radijalan način rada, u funkciji je pozicije svakog pojedinačnog sistema. U tom smislu, front na VI BTO sistemu će najpre ući u radijalan rad (već polovinom 2024. godine), a za njim će ovu tehnološku tranziciju sukcesivno (od najvišeg - VI BTO do najnižeg - I BTO sistema) izvršiti ostali BTO sistemi. Front radova na otkopavanju uglja će najkasnije ući u radijalan način rada, odnosno početkom 2027. godine.

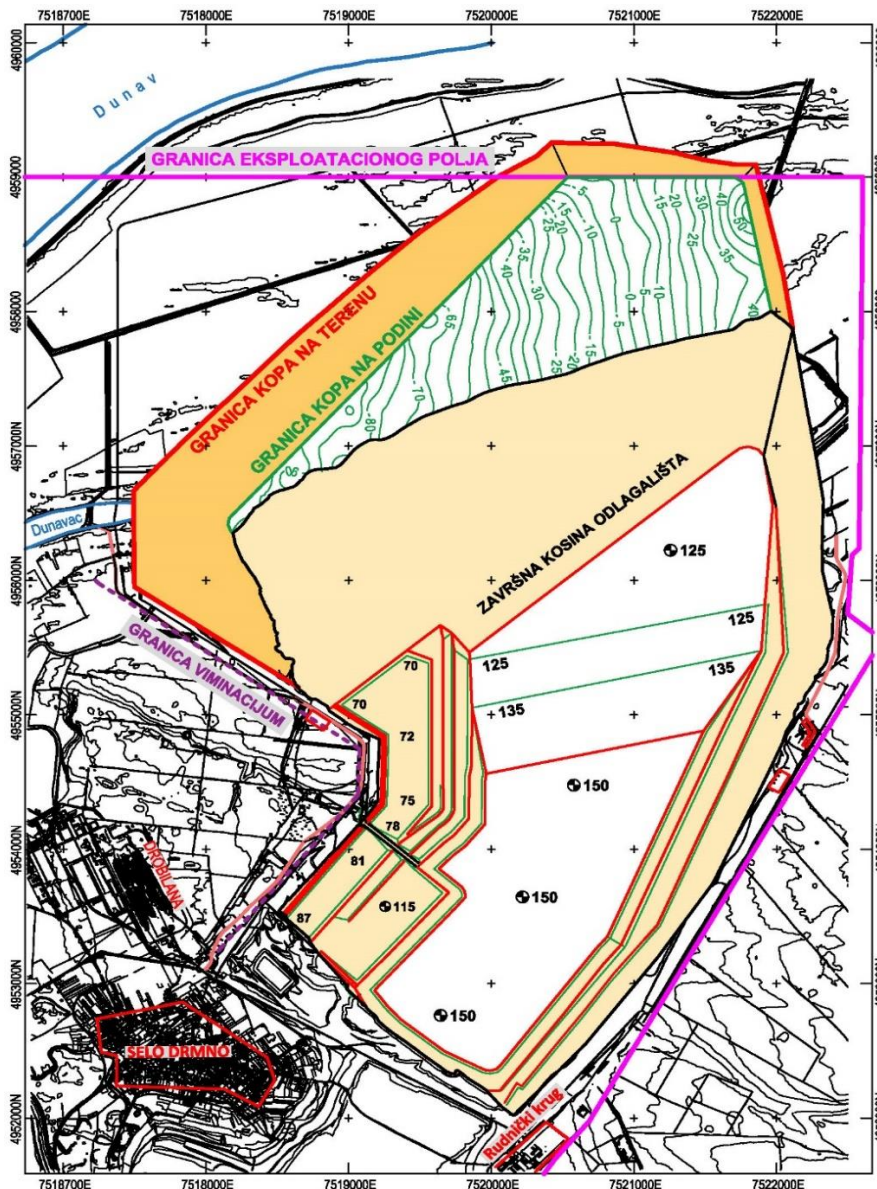
Godišnji kapacitet na uglju projektovan je na $12 \cdot 10^6$ t (od 2025. godine) i da bi se on ostvario, neophodno je obezbediti vršni kapacitet na jalovini u iznosu od 60 čm^3 jalovine. Grafički prikaz osnovnih parametara dinamike razvoja radova dat je na Slici 9.



Slika 9. Grafički prikaz dinamike razvoja rudarskih radova i koeficijenta otkrivke - Varijanta 1

Front radova na odlagalištu samo delimično prati razvoj radova na otkopavanju. Kako se radijalno napredovanje otkopnog fronta vrši rotacijom oko zapadne strane kopa, napredovanje odlagališnog fronta će iz tog razloga, privremeno (a počevši polovine 2027. godine) biti zaustavljeno duž krajnje zapadne zone otkopanog prostora. Celokupno napredovanje odlagališta, u ovom periodu vrši se duž centralne i istočne strane otkopanog prostora. Tek od 2035. godine, stvaraju se uslovi za ponovno napredovanje duž zapadne strane. Kako se kop produbljuje, stvaraju se i uslovi za smanjenje vršnih kota odlagališta. Od projektovane kote 150 m (od 2023. godine) do kraja eksploatacije, vršna kota odlagališta se spušta na kotu 125 m. Ove promene kota, usklađene se su sa spuštanjem podine duž koje se vrši odlaganje i karakteristika su svih etaža (sistema) na odlagalištu.

Ekonomska završna kontura u Varijanti 2 razvoja površinskog kopa, prikazana je na Slici 10.



Slika 10. Završno stanje rudarskih radova - Varijanta 2

4. Dimenzionisanje sistema eksploatacije na otkrivci i uglju

U skladu sa razvijenim varijantama završne konture površinskog kopa Drmno, dimenzionisani su i sistemi za eksploataciju otkrivke i uglja na bazi predviđene tehnologije rada, planiranog vremena rada, tehničkih i tehnoloških mogućnosti bagera transportera i odlagača, kao i na bazi statistike dosadašnjeg rada sistema u uslovima radne sredine PK Drmno.

Posebna pažnja usmerena je na bagere koji će raditi selektivno na otkopavanju jalovine i uglja (V BTO sistem), a takođe je posebno uzeta u obzir i planirana revitalizacija i modernizacija gotovo celokupne opreme u periodu 2023.-2025. godina. Tokom trajanja revitalizacije (3-6 meseci) uzeto je u obzir smanjenje proizvodnje, a nakon toga planirano povećanje proizvodnje. Takođe planirana je uvođenje agregate zamene čime će se smanjiti dosadašnji zastoji na održavanju i remontima i povećaće se vremensko iskorišćenje a sa njim i kapaciteti sistema.

U Tabelama 1 i 2 data je rekapitulacija projektovane proizvodnje jalovine i uglja po sistemima, za referentne godine za obe varijante, odnosno za godine u kojima su projektovani maksimalni

kapaciteti. U slučaju Varijante 1, to je 2026. godina, dok je u slučaju Varijante 2 referentna 2025. godina kada je jalovina u pitanju. Za obe varijante, referentna za uglj je 2025. godina.

Tabela 1. Rekapitulacija projektovane kapaciteta po BTO sistemima za referentnu godinu

Osnovna oprema		Varijanta 1	Varijanta 2
		65.800.000 čm ³	60.000.000 čm ³
Sistem	Bager	2026. godina	2025. godina
I BTO	ERs-710j	2.000.000	2.000.000
	SRs-470	2.000.000	2.500.000
	SH 630	3.300.000	3.300.000
II BTO	SRs-2000. 28/3	11.300.000	10.500.000
III BTO	SRs-2000. 32/5	12.000.000	12.000.000
IV BTO	SRs-1300	8.000.000	5.500.000
V BTO	SRs-2000 32/5	11.000.000	8.000.000
VI BTO	SchRs-1400 28/3	15.000.000	15.000.000
Međuslojna	BTD	1.200.000	1.200.000
UKUPNO		65.800.000	60.000.000

Tabela 2. Rekapitulacija projektovane kapaciteta po BTD sistemima za referentnu godinu

Vršni kapacitet na uglju		12.000.000 t
Sistem	Bager	2025. godina
I BTD	SchRs-800	4.100.000
	SRs-400	3.500.000
II BTD	SRs-470	2.000.000
	ERs-710y	1.200.000
V BTO	SRs-2000	1.200.000
UKUPNO		12.000.000

Kako se iz Tabele 1 može videti, za Varijantu 1 potrebni su znatno veći kapaciteti, čije ostvarenje bi bez obzira na predviđene mere (revitalizacija i agregatna zamena) bilo znatno teže obezbediti.

5. Odbrana kopa od podzemnih voda

Predodvodnjavanje površinskog kopa Drmno predstavlja jedan od najvažnijih procesa u sistemu eksploatacije. Za sada se razvoj površinske eksploatacije sa aspekta zaštite od podzemnih voda, obezbeđuje izradom linija bunara ispred fronta napredovanja kopa, kao i sa bočnih strana kopa.

Iz ekonomskih razloga ekran čiji završetak planiran za 2020. godinu, (Glavni rudarski projekt, 2008. god.), nikada nije urađen i ako se uslovi eksploatacije pogoršavaju sa napredovanjem fronta otkopavanja prema Dunavu. Sve ovo nametnulo je potrebu da se završno definiše sistem zaštite kopa od priliva podzemnih voda kako bi se stvorili uslovi da se eksploatacija izvodi u skladu sa projektovanom dokumentacijom.

Sistem zaštite od podzemnih voda urađen je za obe varijante završne konture, sa po dva moguća izvođenja ekrana i to: ekran sa uklinjenjem od 1,5 m u II ugljeni sloj (ili 2 m u prašinate sedimente) i ekran sa uklinjenjem od 1,5 m u III ugljeni sloj (ili 2 m u prašinate sedimente).

Za završnu konturu iz Varijante 1, rešenje sa uklinjenjem ekrana u II ugljeni sloja, ne obezbeđuje dovoljnu zaštitu kopa od podzemnih voda, zbog čega za tu varijantu konture ekran se mora uraditi sa uklinjenjem u III ugljeni sloj. Nasuprot toga, zadovoljavajući rezultati za završnu konturu iz Varijante 2, se postižu sa ekranom urađenim do II ugljenog sloja. Imajući izneto u vidu, kao relevantna i uporediva rešenja ekrana, za analizirane varijante završnih kontura, upoređivan je ekran:

Kontura Varijanta 1 - ekran u dužini od 6.782,4 m i sastoji se iz 4 deonice (Slika 11), sa uklinjenjem u od 1,5 m u III ugljeni sloj ili 2 m u prašinate sedimente gde nema III ugljenog sloja. Ovaj ekran se izrađuje sa širinama 0,8, 1,0 i 1,2 m (u zavisnosti od dubine ekrana).

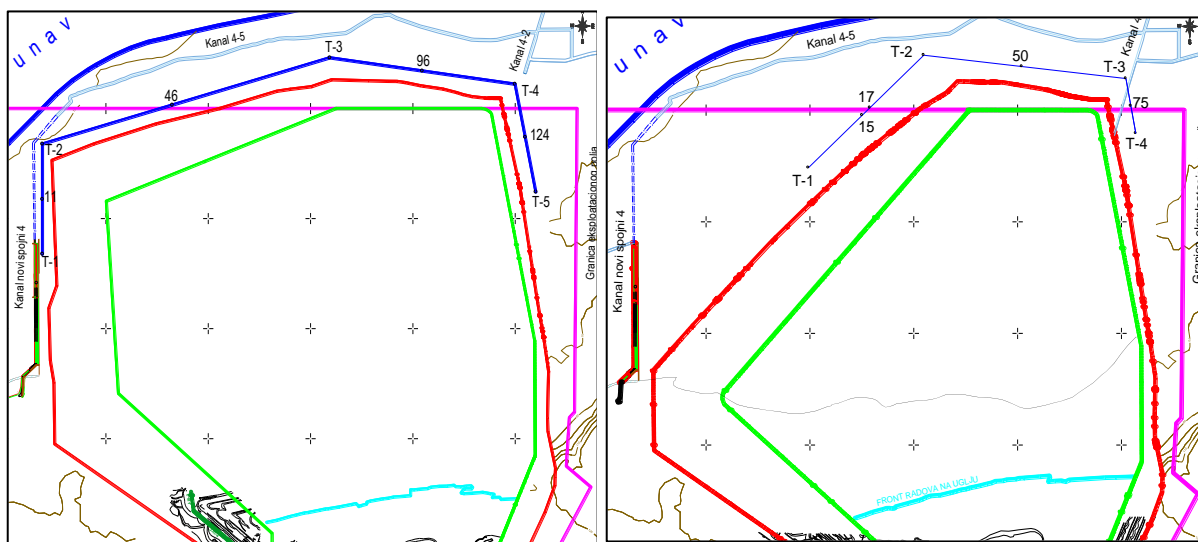
Kontura Varijanta 2 - ekran u dužini od 4.457 m i sastoji se iz 3 deonice (Slika 11), sa uklinjenjem u od 1,5 m u II ugljeni sloj ili 2 m u prašinate sedimente gde nema II ugljenog sloja. Ovaj ekran se izrađuje sa širinama 0,8 i 1,0 m (u zavisnosti od dubine ekrana). U Tabeli 3, su date uporedne dužine i ulaganja u izradu ekrana po varijantama.

Tabela 3. Uporedne dužine i ulaganja u izradu ekrana po varijantama

Osnovne vrednosti	Završna kontura	
	Varijanta 1	Varijanta 2
Dubina ekrana	Uklještenje u III ugljenom sloju	Uklještenje u II ugljenom sloju
Dužina ekrana	6.782 m	4.457 m
Ulaganje (€)	240,398,000	111,499,333

Uvidom u Tabelu 3, jasna je značajna razlika u ulaganju u zaštitu kopa od podzemnih voda sa ekranom, zavisno od varijante završne konture koja se usvoji. Veća kontura kopa (Varijanta 1) zahteva i više nego duple investicije u odbranu kopa od podzemnih voda u odnosu na izradu ekrana.

Što se tiče lokacije ekrana, blizina Dunava nije toliko bitna, i njegova moguća lokacija je određena na osnovu kontura površinskog kopa i Kanala 4-5. Ukoliko se izrađuje, ekran mora svakako biti ispred Kanala 4-5 ka konturi površinskog kopa Drmno (Slika 11).



Kontura - Varijanta 1 - sa pozicijom ekrana

Kontura - Varijanta 2 sa pozicijom ekrana

Slika 11. Pozicija ekrana zavisno od varijante završne konture kopa

6. Diskusija i zaključak

Pored navedenih tehnološko-eksploatacionih razloga koji su od značaja kod usvajanja granica PK Drmno, ne može se zanemariti ni postojeće društveno i političko okruženje u kome se eksploatacija uglja izvodi. Konkretno, okruženje je okarakterisano sa jedne strane ekološkim motivima koji za krajnji cilj imaju što raniju diskvalifikacije eksploatacije uglja na račun nedovoljno jasno definisanog prelaska na zelene, obnovljive energetske izvore. Sa druge strane okruženje je takođe okarakterisano sve prisutnijim energetske deficitom i rastom cena energenata, što je generalno prouzrokovano povećanim energetske potrebama, turbulentnim geostrateškim političkim kretanjima ali i spomenutim ekološkim motivima.

Dotadnu poteškoću u analizi, predstavlja i nedostatak strateškog opredeljenja Investitora (Elektroprivrede Srbije) ali i Republike Srbije, koji je u značajnoj meri opravdan imajući u vidu specifičan momenat u kome se globalna eksploatacija uglja nalazi. Naime, nova Strategija razvoja energetike Republike Srbije je u izradi, zbog čega je falio širi okvir, posebno u odnosu na dinamiku

izgradnje i zatvaranja termoelektrana, za definisanje strateških rešenja razvoja površinskog kopa Drmno.

U prethodnom tekstu data je komparativna analiza sa ciljem sagledavanja i definisanja optimalnih granica površinskog kopa Drmno. Analiza je obuhvatila najvažnije relevantne faktore vezane za eksploataciju uglja (geološke, rudarsko-tehnološke, hidrogeološke), sa ciljem dobijanja uporedivih tehnološko-eksploatacionih parametara za višestruka varijantna rešenja.

Kako bi se plastično i koncizno, prikazale razlike između analiziranih varijanti, data je Tabela 4 u kojoj se analitički i deskriptivno ocenjuju obe varijante prema posebno bitnim tehnološko-ekonomskim kriterijumima.

Tabela 4. Uporedan prikaz tehnološko-eksploatacionih parametara za obe varijante

Kriterijum	Varijanta 1	Varijanta 2	Razlika
Eksploatacione rezerve uglja (mil.t)	221 miliona tona	182 miliona tona	39 mil. tona
Eksploatacione količine jalovine (čm ³)	1.093 miliona čm ³	798 miliona čm ³	295 mil. čm ³
Vek kopa i kraj eksploatacije (god.)	Vek 18,8 god. do 2040. god.	Vek 15,6 god. do 2037. god.	3,2 god.
Površina zemljišta za ekpropriaciju (hektara)	1.350 hektara	1.070 hektara	280 hektara
Srednji koeficijent otkrivke (čm ³ /t)	4,94 čm ³ /t	4,40 čm ³ /t	0,54 čm ³ /t
Maks. eksploatacioni koeficijent otkrivke (čm ³ /t)	5,5 čm ³ /t	5,0 čm ³ /t	0,5 čm ³ /t
Projektovani kapacitet na uglju (mil.t/god)	12 miliona tona/god.	12 miliona tona/god.	0 mil. tona
Maksimalan kapacitet na jalovini (mil.čm ³ /god)	65,8 miliona čm ³ /god.	60 miliona čm ³ /god.	5,8 mil. čm ³
Izlazak VI BTO sistema iz proizvodnje (god.)	Kraj 2037. god.	Sredinom 2033. god.	4,5 god.
Tehnologija napredovanja otkopnog fronta	Većinom paralelno	Većinom radijalno	/
Tehnologija napredovanja odlagališnog fronta	Većinom paralelno i kombinovano	Većinom radijalno i kombinovano	/
Ukupne mase za odlaganje (rm ³)	1.312 miliona rm ³	958 miliona rm ³	354 mil. rm ³
Ukupne mase za odlaganje (m ³)	36 mil. m ³	20 mil. m ³	16 mil. m ³
Broj i dužina transporterata za jalovinu i uglj	Uporedivo slična	Uporedivo slična	/

Dubina Ekрана (sloj)	Uklještenje u III ugljenom sloju	Uklještenje u II ugljenom sloju	Oko 50 m
Dužina Ekрана (m)	6.782 m	4.457 m	2325 m
Ulaganje u zaštitu od podzemnih voda u odnosu na ekran (€)	240,398,000	111,499,333	129 mil. (€)

Na osnovu svega navedenog, jasno se može zaključiti da *Varijanta 2 - Ekonomska kontura*, prema kojoj se ne obuhvata deo ležišta sa prosečnim koeficijentom otkrivke od 7,6 čm³/t, obezbeđuje znatno povoljnije uslove za stabilnu i ekonomičnu proizvodnju uglja na površinskom kopu Drmno. Varijanta 2, ne samo da obezbeđuje manja ulaganja i niže troškove eksploatacije, već obezbeđuje i stabilnost procesa proizvodnje uglja sa aspekta kapacitativnih mogućnosti osnovne opreme i zaštita kopa od podzemnih voda.

Literatura

- [1] Podaci Elektroprivrede Srbije, dostupno na <https://www.eps.rs/eng/poslovanje-ugalj>, pristup 01.09.2022.
- [2] IEA (2022), Coal Market Update - July 2022, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/coal-market-update-july-2022>
- [3] EnerData, World Energy & Climate Statistics - Yearbook 2022, dostupno na <https://yearbook.enerdata.net/coal-lignite/coal-production-data.html>
- [4] (IEA, Fuels-and-technologies-Coal, 2022., dostupno na <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/coal>
- [5] The Future Of Coal, Massachusetts Institute of Technology, 2007., ISBN 978-0-615-14092-6, dostupno na <https://energy.mit.edu/research/future-coal/>
- [6] Banković, M., Stevanović, D., Pešić, M., Tomašević, A. & Kolonja, B., 2017.: Improving Efficiency of Thermal Power Plants Through Mine Coal Quality Planning and Control. Thermal Science, 22(1B), pp.721-733
- [7] Benndorf, J., 2011.: Investigating the variability of key coal quality parameters in continuous mining operations when using stockpiles. Advances in Orebody Modelling and Strategic Mine Planning I. AusIMM.
- [8] Benndorf, J., 2013.: Application of efficient methods of conditional simulation for optimising coal blending strategies in large continuous open pit mining operations. International Journal of Coal Geology, 112, 141-153
- [9] Naworyta, W., Sypniowski, S. & Benndorf, J., 2015.: Planning for reliable coal quality delivery considering geological variability: A case study in polish lignite mining. Journal of Quality and Reliability Engineering, 2015.
- [10] Stevanović, D., Banković, M., Pešić, M., Georgiadis, M., Stanković, R., 2014.: Approach to operational mine planning: Case study Tamnava West, Tehnika, No 6, Savez inženjera i tehničara Srbije, pp. 952-960, ISSN 0040-2176
- [11] Stevanović, D., Banković, M., Pešić, M., Georgiadis, M., Stanković, R.: Operational Mine Planning and Coal Quality Control: Case Study Tamnava West, 2015, Tehnika, Special edition, Savez inženjera i tehničara Srbije, pp. 41-51, ISSN 0040-2176, UDC: 62(062.2) (497.1)
- [12] Elaborat o resursima i rezervama uglja u ležištu Drmno, na dan 31.12.2017., autori Vesna Matić, Lidija Glamočanin, Georad, 2018.



**OPTIMIZACIJA FAZNOG RAZVOJA POVRŠINSKOG KOPA CIGANUŠA - ŠKORAC U
CILJU DEFINISANJA DUGOROČNE DINAMIKE EKSPLOATCIJE**

**PUSHBACK DESIGN OPTIMIZATION OF OPEN PIT MINE CIGANUSA - SKORAC IN
ORDER TO DEFINE LONG TERM MINE PRODUCTION SCHEDULE**

Stevanović D.¹, Marković P.², Banković M.³ Živković M.⁴

Apstrakt

Definisanje dugoročne dinamike razvoja rudarskih radova koja je u potpunosti usaglašena sa strateškim ciljevima Investitora, veoma je zahtevan zadatak, koji vrlo često podrazumeva veliki broj ograničenja. Adekvatno definisana dinamika razvoja rudarskih radova treba da obezbedi dugoročne zahteve u pogledu kapaciteta, kvaliteta i raspodele resursa neophodnih za ispunjavanje strateških ciljeva, koji se po pravilu svode na ostvarenje maksimalnog profita. Uspešno definisanje dinamike eksploatacije (posebno kod metaličnih ležišta) u najvećoj meri zavisi od optimizacije faznog razvoja površinskog kopa, odnosno od pravilnog izbora broja i veličine faza razvoja (*pushbacks*). Iz ovog razloga, veoma je bitna upotreba savremenih programskih paketa koji sadrže specijalizovane alate, pomoću kojih je na efikasan način moguće utvrditi optimalan razvoj rudarskih radova na površinskim kopovima u definisanim vremenskim okvirima za predviđen period eksploatacije. U ovom radu, prikazano je nekoliko rešenja faznog razvoja površinskog kopa Ciganuša-Škorac, sa različitim brojem i veličinama faza razvoja, u cilju definisanja dugoročne dinamike eksploatacije. Rezultati su generisani primenom programskog paketa Whittle.

Ključne reči: dinamika razvoja, faze razvoja, optimizacija kopa, strateški ciljevi, Whittle

Abstract

Defining the long-term mine production schedule, which is fully aligned with the strategic goals of the Investor, is a very demanding task, which very often implies a large number of constraints. Appropriately defined mine production schedule, should ensure long-term requirements in terms of capacity, quality and distribution of resources necessary for the fulfillment of strategic goals, which is mainly the realization of maximum profit. The successful defined mine production schedule, largely depends on the optimization of the pushback design, i.e. from the correct selection of the number and size of development phases (*pushbacks*). For this reason, it is very important to use modern software packages that contain a wide range of tools, with which it is possible to efficiently determine the optimal mine plan in defined time frames for the intended period of exploitation. In this paper, several solutions of the phased development of the open pit mine Ciganusa-Skorac are presented, with different number and sizes of phases, in order to define the long-term mine plan. The results were generated using the Whittle software package.

Keywords: mine schedule, pushbacks design, pit optimization, strategic goals, Whittle

¹ Prof. dr Stevanović Dejan, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

² Marković Petar, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

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

⁴ Milan Živković, Serbia Zijin Bor Copper doo, Bor

1. Uvod

Uzimajući u obzir složenost problema, proces planiranja proizvodnje na površinskim kopovima obično se deli na tri međusobno zavisne faze [1], odnosno na:

1. optimizacija granica kopa,
2. definisanje faza razvoja kopa, i
3. definisanje dugoročne dinamike eksploatacije

Osnovni cilj ove procedure u procesu strateškog planiranja, jeste ostvarivanje maksimalne neto sadašnje vrednosti (NPV), zajedno sa ispunjavanjem brojnih drugih poslovnih i fizičkih ograničenja [2]. Ovaj rad fokusiran je na drugu i treću fazu procesa planiranja, kao i na njihovu međusobnu zavisnost.

Definisanje faza razvoja i dugoročne dinamike eksploatacije od ključnog je značaja za uspešnu realizaciju rudarskih projekata, te je neophodno njihovo usklađivanje sa strateškim ciljevima koje proces proizvodnje na površinskom kopu treba da ispuni.

Faze razvoja kopa (*pushbacks*) predstavljaju privremena granice otkopavanja unutar finalne konture kopa, do kojih se kop sukcesivno proširuje tokom veka trajanja [3]. Pravilan odabir broja i veličine faza razvoja, od suštinskog je značaja za planiranje životnog veka rudnika jer one diskretizuju prostor zahvaćen površinskim kopom na pojedinačne jedinice, koje prilikom eksploatacije u velikoj meri kontrolišu proizvodni proces sa aspekta: profita, koeficijenta otkrivke, ujednačavanja kvaliteta rude, i dr. [4].

O značaju problematike koja se odnosi na optimizaciju faznog razvoja površinskog kopa i dugoročne dinamike eksploatacije, govori značajan broj istraživanja koji je sproveden na ovu temu, od strane velikog broja domaćih i stranih autora [5] [6] [7] [8] [9] [10].

Definisanjem faza razvoja treba da se obezbedi dovoljna količina rude za dalji proces prerade i prodaje, tako da se u svakom trenutku može ostvariti očekivani novčani tok. Uslovi o kojima se mora voditi računa tokom definisanja faza [11]: da se zadovolji minimalno sigurnosno rastojanje između granica faza, da se zadovolji minimalna radna širina dna u svakoj fazi, da se obezbedi potrebna količina i kvalitet, da NPV u svakoj fazi bude pozitivna, NPV za definisane faze biti maksimalna i dr.

Međutim, fazni razvoj površinskog kopa može imati i negativne posledice u slučaju da je broj faza (*pushbacks*) pogrešno projektovan, tj. ukoliko je broj faza veći od potrebnog. Konkretno preveliki broj faza može dovesti do [12]: značajnih troškova za održavanje većeg broja radnih kosina, operativnih problema povezanih sa premeštanjem opreme, nemogućnosti postizanja vertikalne brzine napredovanja kopa, nedostatka odgovarajuće širine otkopavanje, dodatnih troškova vezanih za izradu transportnih puteva, povećanog broja osnovne i pomoćne opreme i dr.

Tradicionalne metode za definisanje dinamike otkopavanja, primenom savremenih programski paketa poput Whittle-a, za cilj imaju ostvarivanje maksimalne neto sadašnje vrednosti (NPV) kroz optimizaciju faza razvoja i redosleda otkopavanja po fazama. Ovakav pristup, najčešće podrazumeva automatski ili ručni (manuelni) odabir faza razvoja na osnovu dobijenih rezultata ekonomske optimizacije granice kopa (*Pit by Pit Graph*), nakon čega algoritam definiše redosled otkopavanja po fazama u cilju generisanja maksimalnog NPV-a. Ovakav pristup često može proizvesti rešenja koja nisu usklađena sa strateškim ciljevima, odnosno u slučaju kada primarni cilj nije ostvarivanje maksimalnog NPV [13].

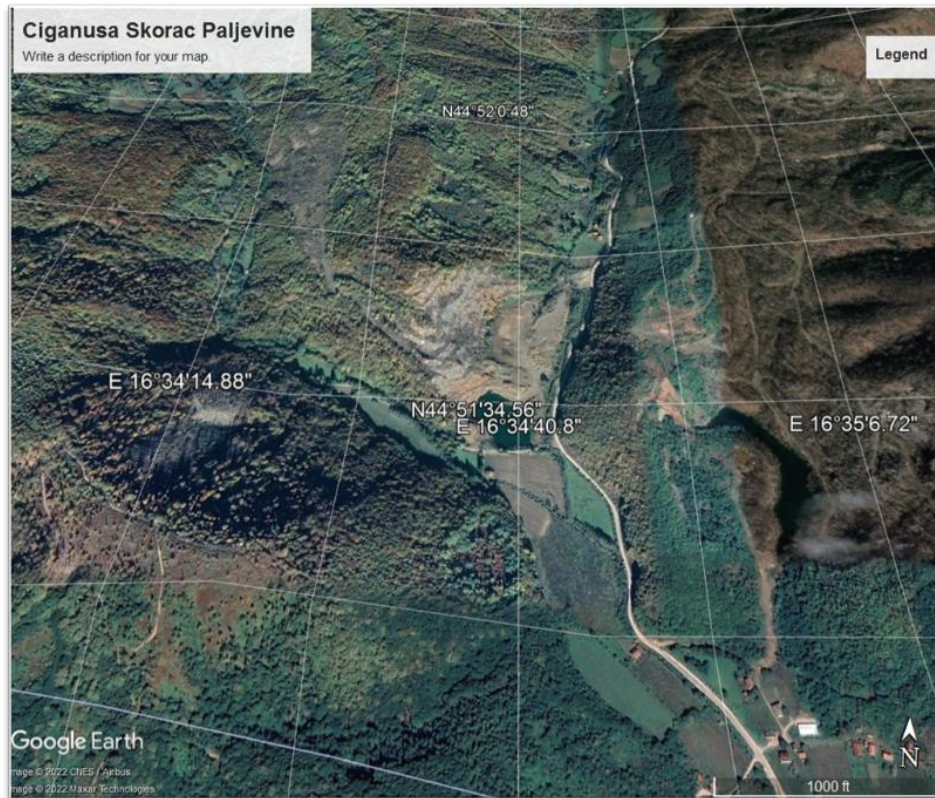
Upravo ova problematika obrađena je kroz optimizaciju faznog razvoja površinskog kopa Ciganuša - Škorac, gde otkopana ruda nema klasičnu ekonomsku vrednost (cilj nije maksimalan NPV), već se otkopava u manjim količinama (odgovarajućeg kvaliteta) radi mešanja sa rudom sa površinskog kopa Buvač, u cilju dobijanja komercijalnog proizvoda znatno boljih metalurških karakteristika. Na ovaj način, kompanija indirektno ostvaruje veći profit.

2. Studija slučaja - ležište rude gvožđa Ciganuša - Škorac

Ležište rude gvožđa Ciganuša - Škorac - Paljevine nalazi se u brdovitom području, na oko 7 km južno

od naselja Ljubija, u smeru juga prema naselju Stari Majdan, odnosno oko 20 km jugozapadno od Prijedora. Sastoji se od tri rudna tela: Ciganuša, Škorac i Paljevine. Ležište je jedno od niza ležišta (oko 35 ležišta) rude gvožđa rudnika Ljubija, koja su smeštena, gotovo u linijskom rasporedu, duž puta Ljubija-Stari Majdan. Eksploatacija se odvijala u industrijskom obimu od 1916. do 1992. godine, i na većini ležišta je završena. Rudarske aktivnosti su obustavljene zbog građanskog rata 1992. godine.

Prikaz trenutnog stanja rudarskih radova na površinskom kopu Ciganuša-Škorac (Google Earth satelitski snimak) dat je na Slici 1.



Slika 1. Prikaz trenutnog stanja rudarskih radova na površinskom kopu Ciganuša-Škorac (Google Earth satelitski snimak)

Ležište Ciganuša-Škorac se sastoji od rudnih tela izgrađenih od limonita i karbonatnih rudnih tela (siderit-ankerita) koja su daleko većih razmera od limonitnih tela. U višim nivoima ležišta nalaze se, uglavnom, limonitna tela.

Planom ArcelorMittala doo Prijedor, predviđeno je da se buduća proizvodnja rude na ležištima Ciganuša-Škorac odvija uporedo sa proizvodnjom u rudniku Omarska, tj. kombinacijom različitih vrsta rude, kupcu bi se isporučivao komercijalni proizvod. Eksploatacija karbonatne bazične rude gvožđa nije do sada vršena u rudniku Ljubija i ona predstavlja novu sirovinu koju je potrebno uvesti u proces proizvodnje i prerade.

S obzirom da je ArcelorMittala doo Prijedor dobio koncesiju za eksploataciju rude na ležištu Ciganuša-Škorac u količini od 3 miliona tona, plan je da u narednom periodu godišnji kapaciteti proizvodnje koncentrata rude gvožđa budu sledeći:

- 1,100,000 tona rude sa aktivnog površinskog kopa Buvač i
- 500,000 tona sa planiranog površinskog kopa Ciganuša-Škorac

Ovaj plan proizvodnje bi se realizovao u periodu od 2022. do 2027. godine saglasno projektovanim godišnjim kapacitetima. U skladu sa koncesionim količinama i godišnjim kapacitetima rude, izvršena je optimizacija granice kopa i definisana je dinamika razvoja rudarskih radova.

3. Optimizacija i izbor granične konture kopa

Optimizacija je urađena korišćenjem *Whittle* programskog paketa, koji podrazumeva upotrebu *Lerchs-Grossmann* algoritama [14] i pomoću koga je generisana serija konturi površinskog kopa na osnovu različitih faktora prihoda (*Revenue factor - RF*) sa iterativnim korakom promene cene metala u odnosu na baznu cenu. Svaka generisana kontura predstavlja inkrementalno povećanje količina rezervi rude prema inkrementalnom povećanju prodajne cene metala. Kriterijum optimizacije se bazira na određivanju maksimalne neto sadašnje vrednosti prihoda (NPV), odnosno diskontovane razlike prihoda od prodaje metala i ukupnih operativnih troškova [15].

Početni korak u pripremi optimizacije i projektovanja površinskog kopa je definisanje ulaznih parametara za optimizaciju.

3.1 Ograničenja za optimizaciju na terenu

Razmatrana su sledeća dodatna ograničenja na samom terenu koja su korišćena u procesu optimizacije i analizi projektnih rešenja:

- 20 m bafer zona oko regionalnog puta R406 i potoka Stara Rijeka u zoni površinskog kopa
- ograničenje prema ležištu Paljevine u jugozapadnoj zoni površinskog kopa Ciganuša;
- rezervisanje prostora pored puta R406 unutar kopa Ciganuša za postrojenje pripreme rude.
- nisu primenjena ograničenja po dubini/visini rudnog tela, odnosno blok modela - optimizacija kopa je stoga uzela u obzir sve resurse sa ekonomskom vrednošću blokova.

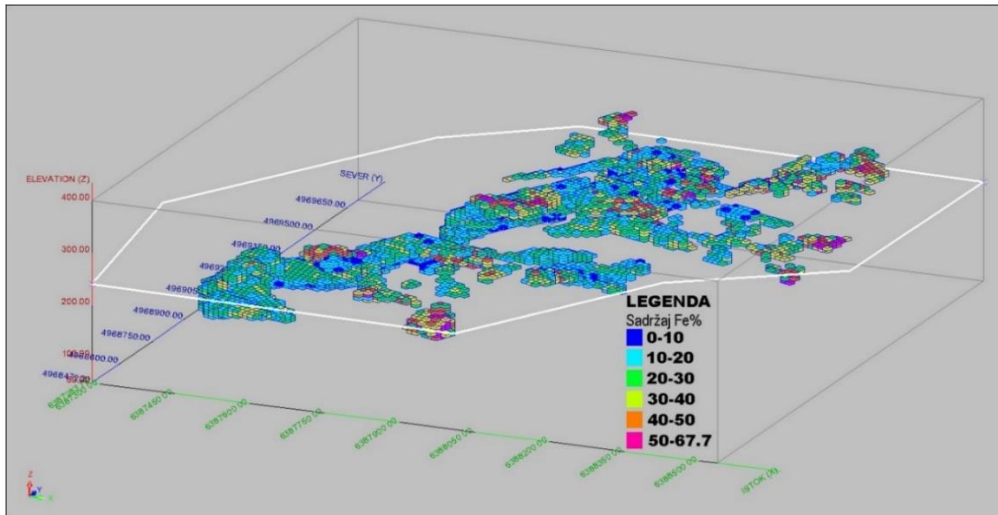
3.2 Whittle blok model i DTM model terena

Prvo je u odgovarajućoj formi u softver uvezen digitalni geološki blok model sa odgovarajućom topografijom terena. Originalni geološki blok model urađen je sa mini blokovima dimenzija 12.5*12.5*5 metara, ali je za potrebe optimizacije izvršen *reblocking* modela na dimenzije blokova 12.5*12.5*10 m, što omogućava lakše kreiranje tehnoloških blokova - etaža za potrebe planiranja eksploatacije.

U Tabeli 1 prikazani su prostorni parametri Whittle blok modela koje softver koristi za izvršavanje optimizacije, dok je na Slici 2 prikazan blok model sa sadržajem Fe% po blokovima u ležištu. Procenjene količine resursa iznose 28,902,512 t, sa prosečnim sadržajem 28.19% Fe (procenjeni resursi uključuju ležišta Ciganuša, Škorac i Paljevine).

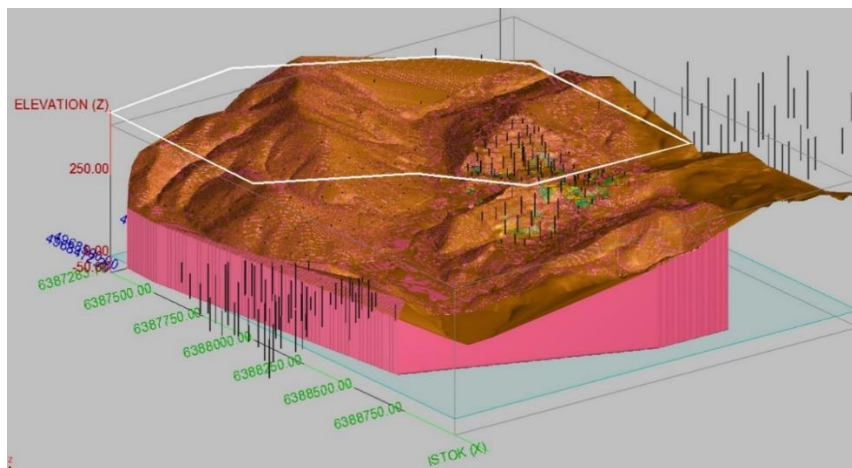
Tabela 1. Parametri Whittle blok modela

Tip	Y	X	Z
Minimalna koordinate	4,968,400	6,386,540	-210
Maksimalna koordinata	4,970,400	6,388,503	400
Veličina glavnog bloka	12.5	12.5	5
Veličina pod blokova (XYZ)	12.5	12.5	5
Rotacija	21	0.00	0.00
Ukupan broj blokova	1,532,320		



Slika 2. Blok model prema Whittle kodovima i tipovima rude

Na Slici 3 prikazan je DTM model terena, odnosno površ terena iznad modeliranih ležišta Ciganuše-Škorac. DTM model u suštini predstavlja trenutno stanje terena i starih rudarskih radova na površinskom kopu, i koristi se kao granična površ za potrebe projektovanja i procenu količina rude i jalovine.



Slika 3. Blok model prema Whittle kodovima i tipovima rude

3.3 Tehno - ekonomski parametri za optimizaciju

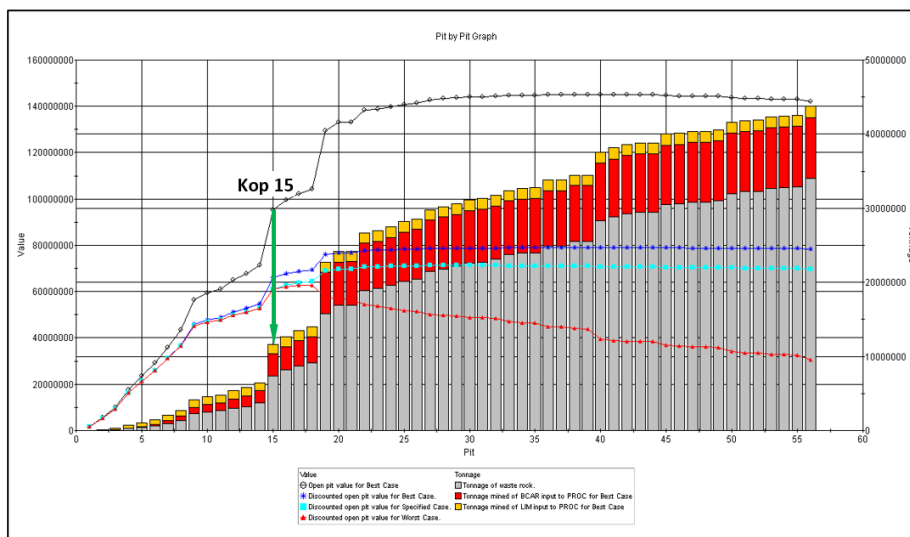
Sledeći korak u pripremi ulaznih podataka je definisanje i unos tehno-ekonomskih parametara na osnovu kojih softver određuje optimalne konture (školjke) kopova za odgovarajuće prodajne cene finalnog proizvoda po kriterijumu maksimalnog profita (NPV-a). U nastavku sledi prikaz tehno-ekonomskih podataka, pri čemu su novčane vrednosti svedene na valutu Euro (€).

Godišnji kapacitet kopa na rudi:	500,000 t/god
Godišnji maksimalni kapacitet na ukupnim iskopinama:	3,500,000 t/god
Generalni uglovi završnih kosina kopa:	36 ⁰
Iskorišćenje metala:	100%
Troškovi pripreme rude:	6.12 €/t
Troškovi otkopavanja jalovine:	2.12 €/t
Troškovi otkopavanja rude:	1.99 €/t
Troškovi transporta koncentrata do železare:	10 €/t
Prodajna cena koncentrata:	34.4€/t

Diskontna stopa: 10 %
Troškovi koncesione naknade:..... 0.98 €/t

3.4 Rezultati optimizacije

Optimizacijom je definisano 56 kontura mogućih kopova sa preliminarnim tehničkim parametrima (količinama jalovine i rude, sadržajima i količinama metala), i ekonomskim parametrima za *Best* i *Worst case* scenario. Prilikom optimizacije bazna cena metala je varirana u rasponu od 0.24 do 1.5 sa korakom *Revenue Factor* (RF) od 0.02. Rezultati optimizacije prikazani su Slici 4.



Slika 4. Grafički prikaz rezultata ekonomske optimizacije

Rezultati optimizacije pokazuju da kontura kopa broj 39 ima maksimalni NPV za polazne parametre optimizacije. Međutim, kako je projektom zadatkom definisana koncesiona količina rude od 3.000.000 t, kao optimalna kontura kopa je izabrana **kontura broj 15**. Odabrana kontura kopa poslužiće će kao podloga za detaljnu konstrukciju završne konture površinskog kopa koji obezbeđuje koncesione količine rude od 3.000.000 t, odnosno vek kopa od 6 godina sa kapacitetom od 500.000 t godišnje. Izabrana Whittle kontura kopa ima maksimalnu diskontovanu vrednost NPV za *Best case* oko 66 miliona evra, dok nediskontovani NPV iznosi oko 95 miliona evra.

Parametri optimalne konture površinskog kopa za koncesionu količinu rude navedeni su u Tabeli 2.

Tabela 2. Parametri optimalne konture površinskog kopa

Parametar	Jedinica	Vrednost	Sadržaj, %
Ukupna količina rude	tona	4,255,511	33% Fe
Karbonatna ruda	tona	2,939,617	26% Fe
Limonitna ruda	tona	1,350,894	48% Fe
Količina jalovine	tona	7,413,763	-
Koeficijent otkrivke	t/t	1.74	-
Best case NPV	€	95,389,108	-
Best case NPV-diskontovan	€	66,107,287	-
Worst case NPV	€	61,173,624	-

3.5 Završna kontura i eksploatacione rezerve rude i jalovine

Optimalna kontura površinskog kopa određena Lerchs-Grossmann algoritmom (kop br. 15) korišćena je kao smernica za detaljno projektovanje završne konture površinskog kopa Ciganuša-Škorac. Proces projektovanja završne konture površinskog kopa podrazumeva ugrađivanje transportnih rampi do dna kopa koristeći geotehničke parametre i geometriju etaža. Konstrukcija površinskog izvršena je u

softveru *Geovia Surpac*.

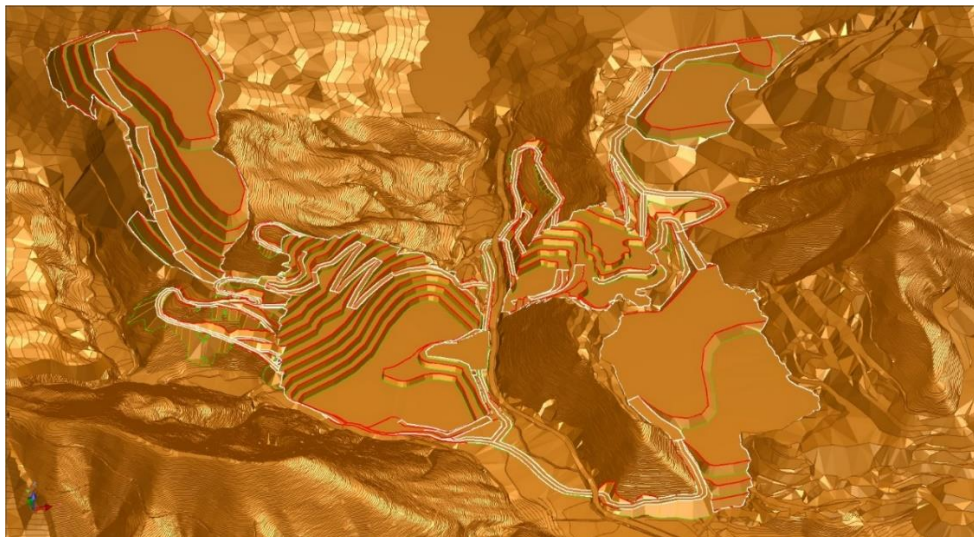
Usvojeni geometrijski elementi površinskog kopa Ciganuša-Škorac su sledeći:

- Visina radne etaže iznosi 10 m;
- Ugao kosine radne etaže iznosi 75°;
- Ugao završne kosine kopa u svim pravcima, bez transportnih puteva, iznosi 38°;
- Širina berme minimalno iznosi 10 m.

Na osnovu projektovane završne konture površinskog kopa u programu SURPAC sračunate su eksploatacione rezerve rude i pripadajuće jalovine, sa sadržajima Fe u rudi. Parametri projektovanog površinskog kopa prikazani su u Tabeli 3, dok je na Slici 5 dat 3D prikaz završne konture.

Tabela 3. Parametri projektovanog površinskog kopa

Parametar	Jedinica	Vrednost	Sadržaj, %
Ukupna količina rude	tone	3,506,471	31.9 % Fe
Karbonatna ruda	tone	2,505,308	25.7 % Fe
Limonitna ruda	tone	1,001,162	47.6 % Fe
Količina jalovine	tona	8,367,192	-
Koeficijent otkrivke	t/t	2.4	-



Slika 5. 3D prikaz završne konture površinskog kopa Ciganuša-Škorac

4. Planiranje faznog razvoja kopa i dinamike eksploatacije

Dugoročna dinamika otkopavanja definisana je na osnovu analize različitog broja faza razvoja i redosleda otkopavanja po fazama. U konkretnom slučaju, primarni ciljevi optimizacije faza razvoja rudarskih radova su sledeći:

- da se svake godine obezbedi projektovani kapacitet na eksploataciji rude (500,000 t),
- da se svake godine obezbedi projektovani kvalitet rude (30% \pm 3%),
- da se poboljša NPV po godinama rada balansirajući kvalitet rude na potrebni nivo koeficijenta otkrivke, i
- da se optimizira sistem eksploatacije (kraće transportne dužine, manje stope ulaganja u opremu, itd.).

Ovako definisani ciljevi, gde ostvarivanje maksimalnog NPV nije u prvom planu, otežavaju proces optimizacije faznog razvoja i zahtevaju ulaganje dodatnog napora od strane projekatanta. Naime, algoritam ugrađen u programski paket Whittle, ima za cilj da pronađe varijantu otkopavanja po fazama

kojom će se ostvariti maksimalan NPV, stavljajući u drugi plan ujednačavanje kvaliteta rude tokom pojedinačnih perioda eksploatacije. U skladu sa tim, bilo je neophodno da se proces optimizacije delimično kontroliše, u cilju obezbeđivanja projektovanih kapaciteta i kvaliteta rude, sa što manjim uticajem na smanjenje NPV.

S obzirom da je ležište po prirodi takvo, da je neophodno vršiti eksploataciju na fizički dva odvojena površinska kopa, prvo je sprovedena analiza prostornog rasporeda tipova rude (limonitna i karabonatna) i sadržaja Fe. Analizom projektovane završne konture, moglo se zaključiti da se na kopu Ciganuša uglavnom nalazi karbonatna ruda sa nižim sadržajem, dok se manji deo limonitne rude nalazi na površinskim etažama kopa. Što se tiče kopa Škorac, prostorna distribucija karbonatne i limonitne rude je mešovita po etažama sa preovlađujućim količinama limonitne rude sa znatno većim sadržajem gvožđa.

Takođe, izvršena je analiza geometrije površinskih kopova, u cilju određivanja maksimalnog broja faza razvoja, uzimajući u obzir minimalno rastojanje koje između njih mora postojati i koje je jednako minimalnoj širini etažne ravni. Ovom analizom utvrđeno je da se na površinskom kopu Ciganuša mogu formirati maksimalno 3 faze, dok površinski kop Škorac nema smisla razvijati prema fazama razvoja uzimajući u obzir njegovu veličinu i prostorni raspored rudnih blokova, te će on u celosti predstavljati jednu od faza razvoja.

Na osnovu prethodno navedenog, analiza se svela na dve moguće varijante u pogledu optimizacije faznog razvoja kopa Ciganuša-Škorac, i to na:

1. projektovanje faznog razvoja kopa sa ukupno 3 faze
2. projektovanje faznog razvoja kopa sa ukupno 4 faze

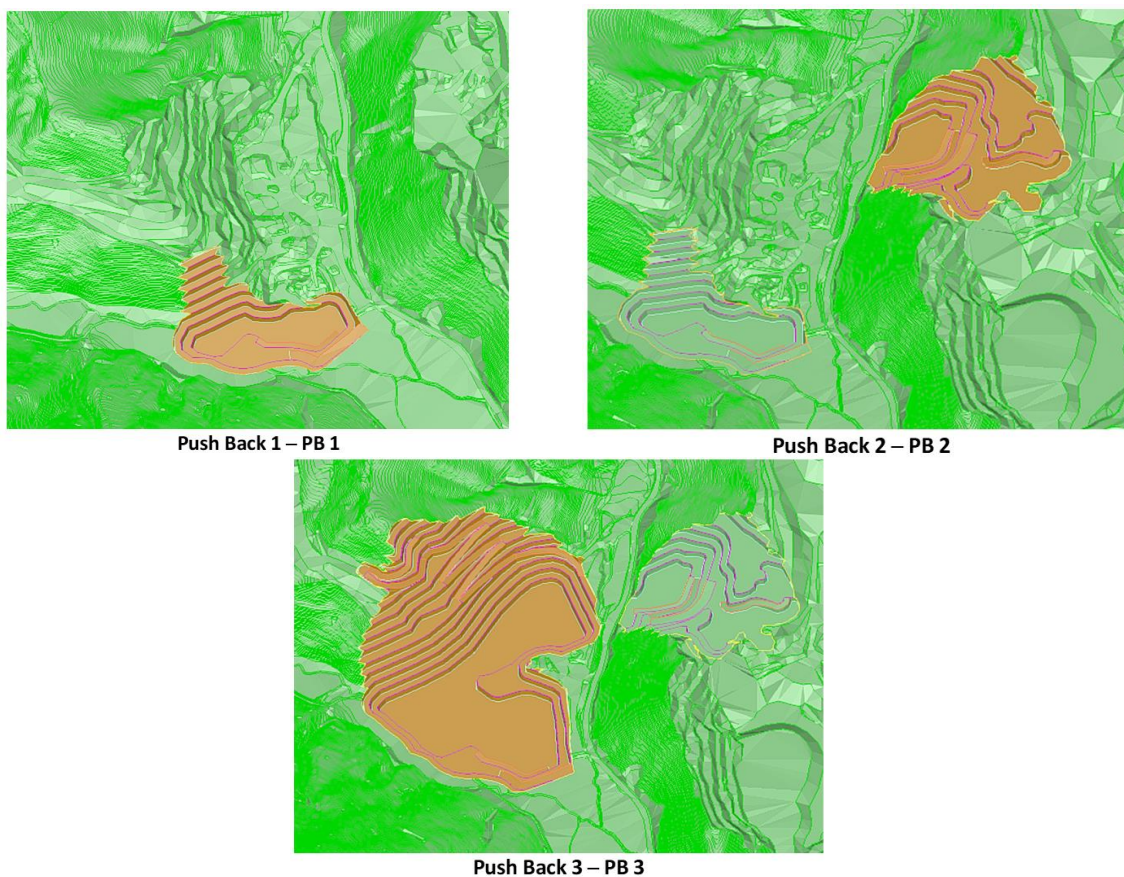
U obe varijante, najveći izazov odnosio se na kontrolisanje redosleda otkopavanja po fazama u programskom paketu Whittle, kako bi se ujednačio zahtevani godišnjeg kvaliteta otkopane rude. S obzirom da algoritam pronalazi varijantu otkopavanja koja generiše maksimalan NPV, on teži da zadovolji projektovani kapacitet na rudi uz što veći sadržaj gvožđa, jer na ovaj način ostvaruje veći profit u početnim godinama i daje najveću kumulativnu vrednost NPV-a.

Rezultati kalendarskog otkopavanja u zavisnosti od broja faza i redosleda otkopavanja, prikazani su u nastavku.

4.1 Dinamika otkopavanja sa tri faze (pushbacks)

Nakon analize dobijenih kontura kopova u procesu optimizacije, izabrane su moguće konture kopova za projektovanje faza razvoja i širenja zahvata u različitim zonama površinskog kopa.

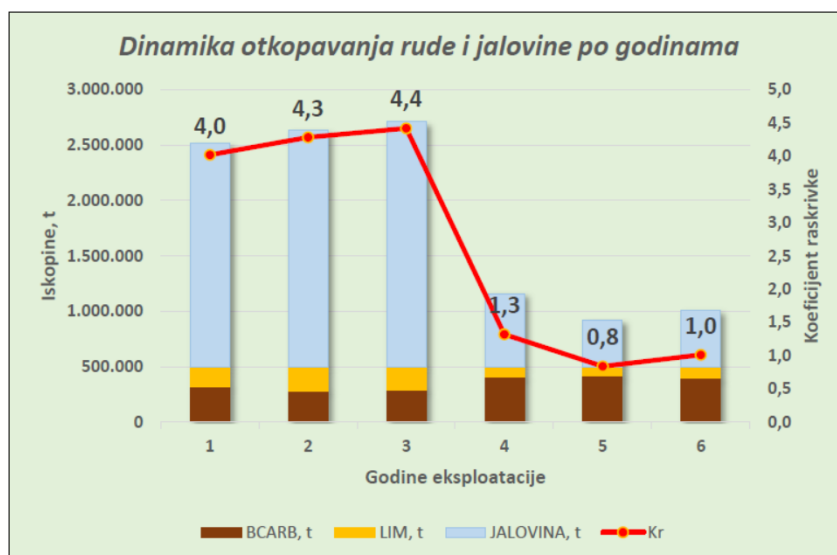
Na slici 6 prikazane su projektovane konture zahvata (*Push Backs - PB*) koje su izbrane za projektovanje faza razvoja i konačne konture kopa definisanih u Whittle optimizaciji. Kontura zahvata kopa u Fazi 1 (PB1) određena je na osnovu kopa broj 7, dok zahvati Faze 2 (PB2) i Faze 3 (PB3) predstavljaju delove konture kopa broj 15 iz optimizacije. Ovakav izbor faza otkopavanja uslovljen je potrebom mešanja karbonatne i limonitne rude u odgovarajućem odnosu tokom eksploatacije radi dobijanja odgovarajućeg prosečnog sadržaja Fe što je moguće približnije zahtevanom.



Slika 6. 3D izgled kontura faza za projektovanje razvoja kopova

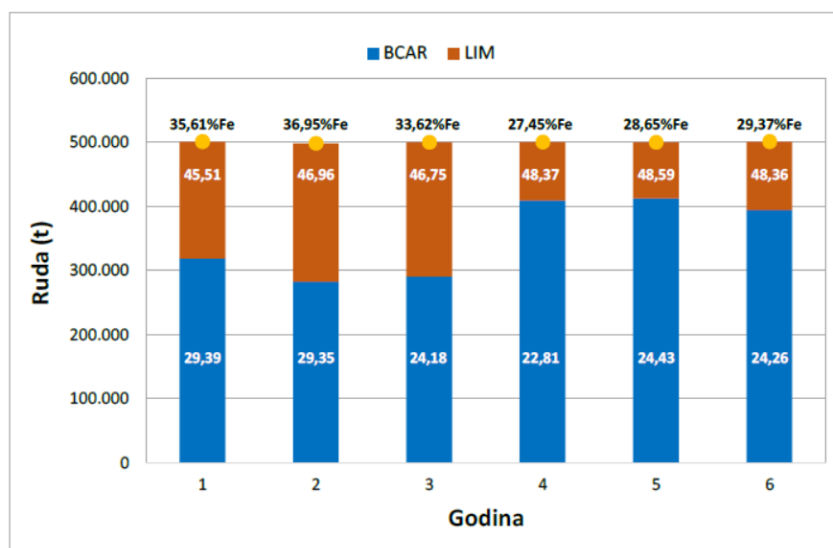
Zahvat PB-1 (Slika 6), predstavlja prvu fazu, za koju je kao podloga poslužila školjka kopa iz optimizacije u jugozapadnom delu kopa Ciganuša. Zahvat PB-2 (Slika 6), odnosno druga faza otkopavanja, definisana je na osnovu korišćenja konture kopa broj 15 iz optimizacije u severoistočnom delu kopa - Škorac. Za treću fazu (PB3), korišćena je kontura kopa broj 15 u centralnom i severnom delu kopa do završne konture - Ciganuša, kao proširenje zahvata PB1 do završne konture kopa Ciganuša - Škorac.

Na Slici 7 dat je grafički prikaz otkopavanja ukupnih količina rude i jalovine po godinama i koeficijent otkrivke.



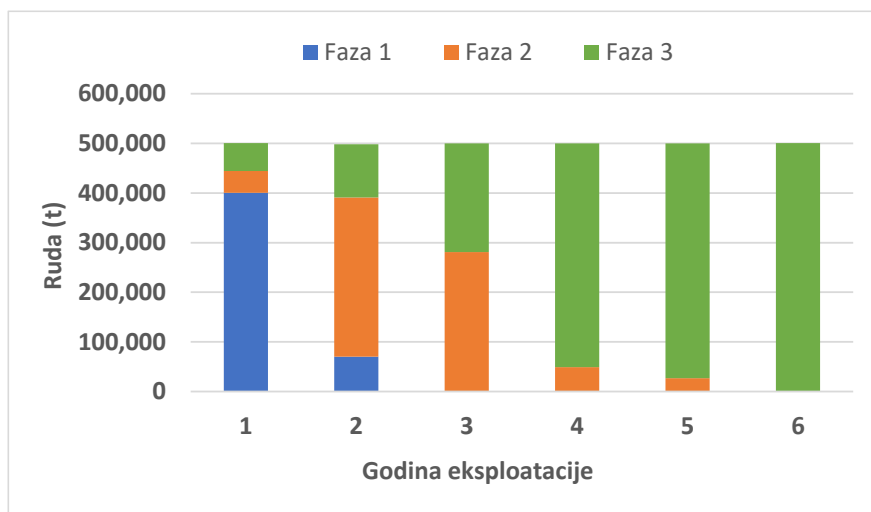
Slika 7. Dugoročna dinamika eksploatacije rude i jalovine

Na Slici 8 dat je grafički prikaz količina rude koje se otkopavaju (BCAR-karabonatna, LIM-limonitna) po godinama u veku površinskog kopa Ciganuša-Škorac.



Slika 8. Otkopavanje rude (BCAR, LIM) po godinama

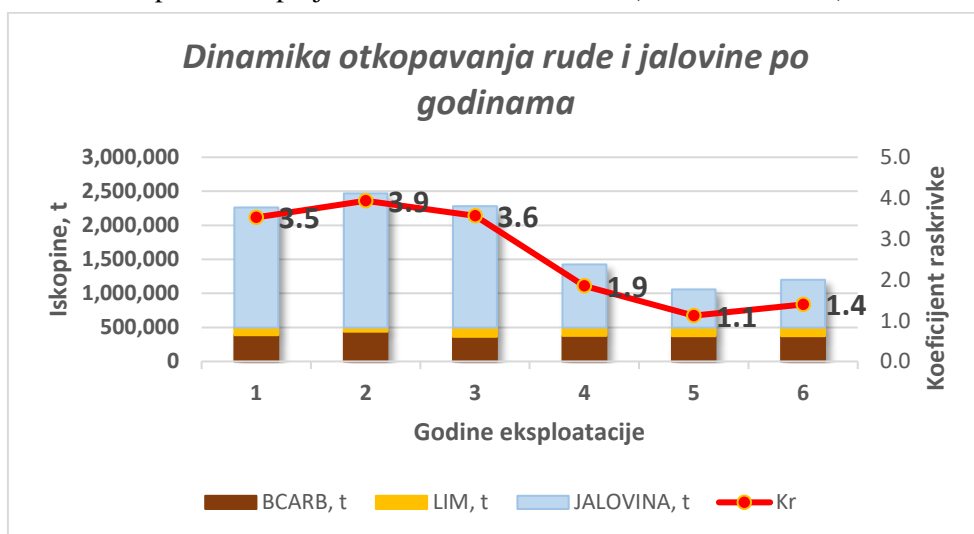
Na slici 9 dat je grafički prikaz otkopavanja ukupnih količina rude po godinama i fazama razvoja u veku površinskog kopa Ciganuša-Škorac.



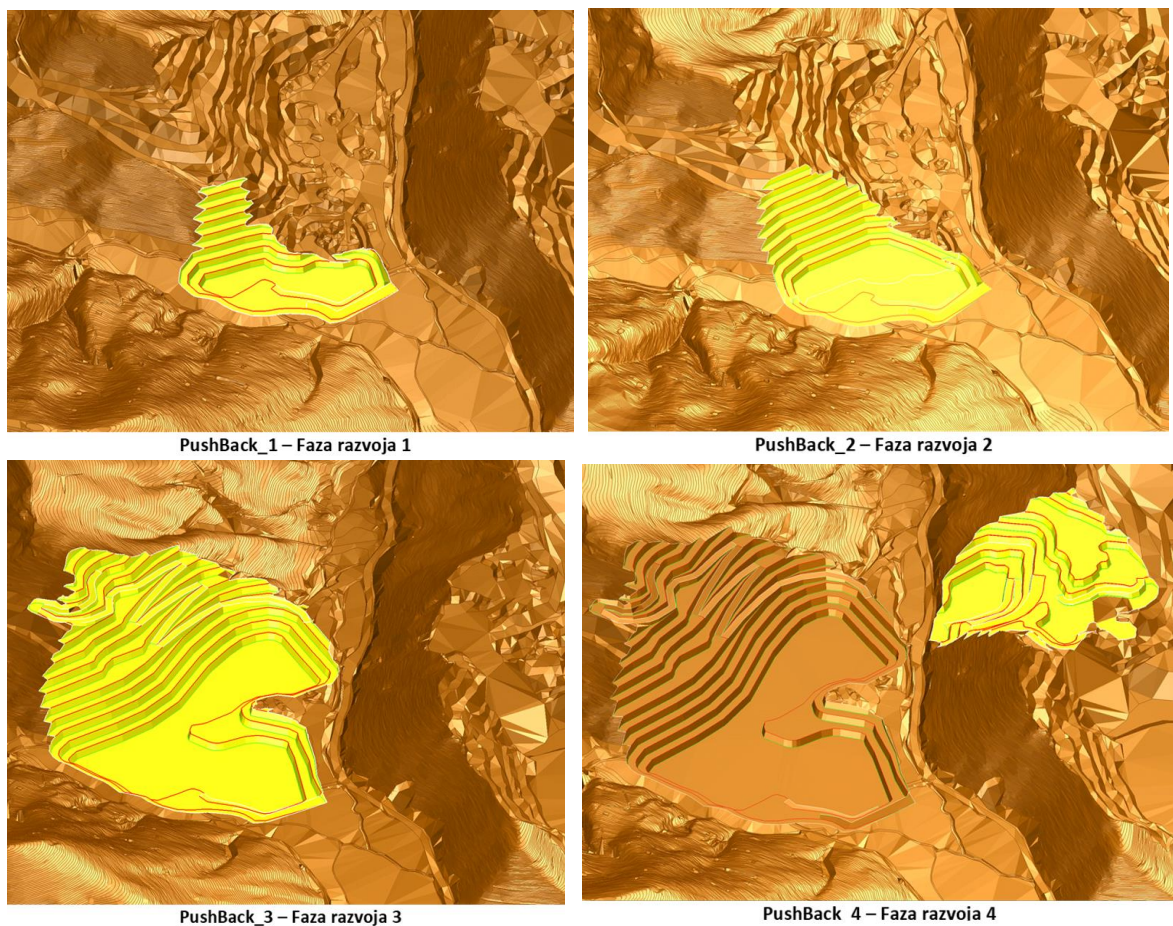
Slika 9. Dinamika eksploatacije rude po godinama i fazama razvoja

4.2 Dinamika otkopavanja sa četiri faze (pushbacks)

Kao i u slučaju razvoja kopa sa 3 faze, projektovanje faza razvoja izvršeno je na bazi kontura kopa definisanih u Whittle optimizaciji. Kontura kopa u Fazi 1 određena je na osnovu kopa broj 7, Faze 2 na osnovu južnog dela konture 13 dok zahvati Faze 3 i Faze 4 predstavljaju delove konture kopa broj 15 iz Whittle optimizacije. Projektovana detaljna dinamika otkopavanja po godinama prikazana je na Slici 10, dok su na Slici 11 prikazane projektovane konture zahvata (*Push Backs* - PB).

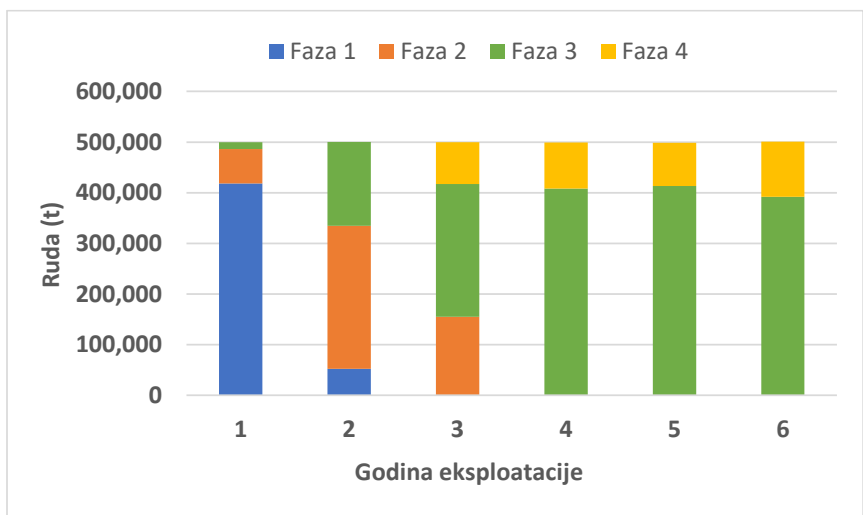


Slika 10. Dinamika otkopavanja rude i jalovine po godinama eksploatacije



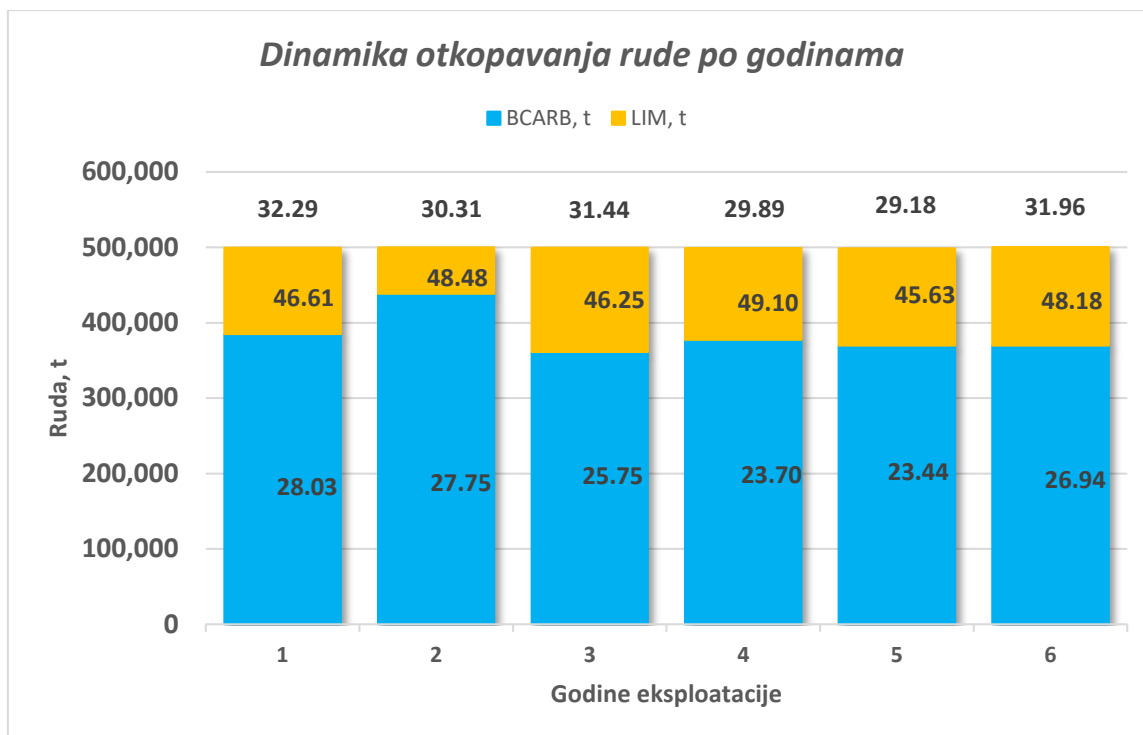
Slika 11. 3D izgled kontura faza za projektovanje razvoja kopova

Na Slici 12 dat je grafički prikaz otkopavanja ukupnih količina rude po godinama i fazama razvoja u veku površinskog kopa Ciganuša-Škorac.



Slika 12. Dinamika eksploatacije rude po godinama i fazama razvoja

Na Slici 13 dat je grafički prikaz količina rude (BCAR, LIM) sa prosečnim sadržajem Fe% koje se otkopavaju po godinama eksploatacije u veku površinskog kopa Ciganuša-Škorac.



Slika 13. Dinamika otkopavanje rude (BCARB, LIM) po godinama sa sadržajima Fe%

5. Zaključak

U okviru ovog radu, prikazana je metodologija optimizacije faznog razvoja i dinamike otkopavanja površinskog kopa, kao i problematika sa kojom se rudarski inženjer kao projektant suočava tokom procesa strateškog planiranja. U radu su prikazane dve varijante dinamike otkopavanja za različiti broj faza razvoja i redosled otkopavanja po fazama.

Detaljna analiza dinamike otkopavanja rude i jalovine na površinskom kopu, urađena je u Whittle softveru primenom Milawa balanced algoritama. Detaljnom analizom mogućih varijanti godišnje dinamike po fazama i etažama, u iterativnom postupku, od više dobijenih i analiziranih dinamika izabrana je varijanta dinamike kojom je dobijen maksimalni preliminarni NPV sa polaznim parametrima korišćenim i pri optimizaciji finalne konture kopa.

Prilikom izbora najpovoljnije varijante dinamike vodilo se računa da se u svakoj godini ostvaruje zahtevani godišnji kapacitet od 500,000 tona rude sa odgovarajućim prosečnim sadržajem gvožđa. Takođe, vodilo se računa i da koeficijent otkrivke bude ujednačen po godinama i da se minimiziraju oscilacije prosečnog sadržaja Fe po godinama.

Kako se može videti iz prikazanih rezultata, projektovana dinamika otkopavanja sa tri faze razvoja (*pushbacks*) obezbeđuje zahtevani godišnji kapacitet od 500.000 t rude u svakoj godini rada. Međutim, zahtevani prosečni sadržaj Fe u rudi nije bilo moguće u potpunosti ostvariti. Donja granica prosečnog sadržaja Fe u rudi je ostvarena, ali prosečni sadržaj Fe u rudi u prve dve godine nije bilo moguće ostvariti s obzirom na geološke karakteristike ležišta, odnosno prostornu raspodelu limonitne i karbonatne rude rudnih tela Ciganuša i Škorac po etažama. Kako je na prve 4 etaže na rudnom telu Škorac dominantna limonitna ruda sa visokim sadržajem Fe, u odnosu 5.7:1 prema karbonatnoj rudi, nije bilo moguće izbeći da u nekim godinama prosečni sadržaj Fe bude veći od 33%.

Analizom prikazanih rezultata projektovane dinamike otkopavanja sa 4 faze razvoja (*pushbacks*), može se zaključiti da je kao i u prethodnoj varijanti obezbeđen zahtevani godišnji kapacitet od 500.000t rude u svakoj godini rada. Prosečni sadržaj Fe u rudi se u periodu otkopavanja kreće u zahtevanim granicama, pri čemu je donja granica prosečnog sadržaja Fe iznosi 29,18%, a gornja 32,29%.

Komparativna analiza dveju prikazanih varijanti, ukazuje na značaj optimizacije faznog razvoja površinskog kopa, odnosno na pravilan odabir broja i veličine faza. Dinamika otkopavanja sa tri faze razvoja nije dala zadovoljavajuće rezultate, jer postoji značajna razlika u pogledu veličine faza na površinskom kopu Ciganuša (Faza 3 je značajno veća u odnosu na Fazu 1). U tom slučaju, neophodno je u početnim godinama vršiti otkopavanje većih količina rude sa površinskog kopa Škorac, jer se do rudnih blokova iz Faze 3 dolazi u kasnijim godinama zbog klasične metode otkopavanja *etaža po etaža*. Visok sadržaj gvožđa u otkopanoj rudi sa kopa Škorac, kao i nemogućnost zahvatanja rudnih bloka iz Faze 3 (kop Ciganuša), kao rezultat generišu neujednačen kvalitet korisne mineralne sirovine.

Ovaj problem rešen je uvođenjem dodatne faze u razvoju površinskog kopa Ciganuša, usled čega je omogućeno ranije pristupanje rudnim blokovima sa ovog kopa, dok je otkopavanje rude na kopu Škorac, sa višim sadržajem gvožđa, moguće odložiti za kasnije godine, kada dolazi do pada kvaliteta.

Tradicionalni pristup za definisanje faza razvoja i dinamike otkopavanja, često može dovesti do nezadovoljavajućih rešenja ukoliko primarni cilj nije ostvarivanje maksimalnog NPV-a. U slučajevima kao što je ovaj, ukazano je na značaj ljudskog faktora i primene specijalizovanih softverskih alata u procesu planiranja. U slučaju kada funkcija cilja primenjenog algoritma nije kompatibilna sa primarnim ciljevima projektanata, iskustvo i znanje su od presudnog značaja za definisanje optimalnih rešenja.

Literatura

- [1] Jélvez E., Morales N., Askari-Nasab H.: A new model for automated pushback selection, *Computers & Operations Research*, br. 115, 2020.
- [2] M. Menabde, G. Froyland, P. Stone, G. Yeates: Mining Schedule Optimisation for Conditionally Simulated Orebodies, *Advances in Applied Strategic Mine Planning*, pp. 91-100, 2018.
- [3] Milensko Savić, Mile Bugarin: Modeliranje ležišta sa procenom resursa i planiranjem otkopavanja na površinskim kopovima, Bor, Srbija: Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, 2019.
- [4] R. Goodfellow, R. Dimitrakopoulos: Algorithmic integration of geological uncertainty in pushback designs for complex multi-process open pit mines, *Mining Technology*, t. 122, br. 2, pp. 67-77, 2013.
- [5] F. R. Albor Consuegra, R. Dimitrakopoulos: Algorithmic approach to pushback design based on stochastic programming: method, application and comparisons, *Mining Technology*, t. 119, br. 2, pp. 88-101, 2010.
- [6] T. Elkington, R. Durham: Integrated open pit pushback selection and production capacity optimization, *Journal of Mining Science*, t. 47, br. 2, pp. 177-190, 2011.
- [7] P. Nancel-Penard, N. Morales Varela: Optimizing pushback design considering minimum mining width for open pit strategic planning, *Engineering Optimization*, t. 54, br. 9, pp. 1494-1508, 2022.
- [8] C. Meagher, S. A. Abdel Sabour, R. Dimitrakopoulos: Pushback design of open pit mines under geological and market uncertainties, *Advances in Orebody Modelling and Strategic Mine Planning*, t. 17, pp. 291-298, 2009.
- [9] D. Kržanović, N. Vušović, M. Ljubojev: Selection of the optimum pushbacks in a long-term planning process of the open pit: A condition for maximization the net present value: Case study: The open pit Veliki Krivelj, Serbia, *Mining and Metallurgy Engineering Bor*, pp. 37-44, 2018.
- [10] J.L. Yarmuch, M. Brazil, H. Rubinstein, T. Doreen: A model for open-pit pushback design with operational constraints, *Optimization and Engineering*, 2021.
- [11] Kržanović D.: Modeli za optimizaciju graničnog sadržaja metala u rudu u funkciji dugoročnog planiranja površinskih kopova, Beograd: Rudarsko-geološki fakultet, 2016.

- [12]Whittle D.: Open-Pit Planning and Design, SME Mining Engineering Handbook, 3rd ed., Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME), 2011.
- [13]C. Meagher, R. Dimitrakopoulos, D. Avis: Optimized open pit mine design, pushbacks and the gap problem - a review, Journal of Mining Science, t. 50, br. 3, pp. 508-526, 2014.
- [14]Lerchs, H. and Grossman, F.: Optimum Design of Open-Pit Mines, Transactions CIM Bullitin, t. 58, pp. 47-54, 1965.
- [15]Whittle, G.; Burks, S.: Simultaneous mining and mineral processing enterprise optimization for the platinum industry, u In Proceedings of the 4th International Platinum Conference, Platinum in transition Boom or, Johannesburg, South Africa, 2010.



STANJE I PERSPEKTIVE TERMOENERGETIKE ZAPADNOG BALKANA

STATE AND PROSPECTS OF THERMAL ENERGY IN THE WESTERN BALKANS

Stojanović C.¹

Apstrakt

Energetska kriza izazvana visokim cijenama električne energije i prirodnog gasa u suštini samo je bila povod da na površinu isplivaju problemi koji su godinama prisutni. To se prije svega odnosi na problematiku vezanu za dio sistema koji je zadužen za proizvodnju električne energije iz uglja, kao dominantnom izvoru energije. U radu je učinjen pokušaj da se sagleda veoma složena problematika koja se tiče stanja rudnika i termoeenergetike u regionu u kontekstu aktuelnih dešavanja.

Ključne riječi: ugalj, tranzicija, energetika

Abstract

The energy crisis caused by the high prices of electricity and natural gas was essentially just a trigger for problems that have been present for years to surface. This primarily refers to the issue related to the part of the system that is responsible for the production of electricity from coal, as the dominant source of energy. In the paper, an attempt was made to look at the very complex issues concerning the state of mines and thermal energy in the region in the context of current events.

Keywords: coal, transition, energy

1. Uvod

Duži niz godina svjedoci smo opšteg trenda koji se ogleda u masovnom lobiranju za *zelenu energiju* uz istovremene brojne pokušaje da se javnost uvjeri kako je upotreba uglja najveća prijetnja ekologiji. Ipak, posljednja energetska kriza, proistekla između ostalog i zbog preoptimističkih strategija energetske tranzicije, ukazuje na neminovnost korišćenja uglja za dobijanje električne energije u dugoročnom periodu. Evidentno je da postoje određeni tehnički aspekti koji ne dozvoljavaju tako olak prelazak na izuzetno osjetljiv izvor energije kakav su današnji Obnovljivi izvori energije (OIE), tako da će termoelektrane i dalje biti oslonac elektroenergetskog sistema sve dok se ne pronađe adekvatna i stabilna zamjena.

2. Istorijat

U Evropi nije postojala tema dekarbonizacije dok ogromna većina resursa ogledanih u fosilnim gorivima, prije svega u uglju, nije potrošena u većini evropskih zemalja. Nakon donošenja, tzv. Čistog energetskog paketa zakona, od strane Evropske Unije i veoma ambicioznih, a ispostavilo se i slabo promišljenih energetske ciljeva, čitav niz evropskih država krenuo je sa zatvaranjem termoelektrana.

Švedska i Austrija isključile posljednje termoelektrane. Francuska to namjeravala učiniti do 2022. godine, Slovačka i Portugalija do 2023. Velika Britanija do 2024. godine, Irska i Italija godinu dana

¹ Stojanović Cvjetko, RiTE Ugljevik

kasnije, Grčka, Finska, Holandija, Mađarska i Danska planirale su da termoelektrane zatvore najkasnije do 2030. godine.

Što se tiče svijeta situacija je sasvim je drugačija. U periodu 2017-2018. u svijetu se gradilo 260 energetske jedinice na uglj. Kina i Japan kao istinski giganti po proizvodnji električne energije iz uglja istog se ne odriču. Japan je nastavio sa izgradnjom termoelektrana novije generacije, zasnovane na uglju kao gorivu. Vladini podaci pokazuju da kompanije planiraju izgradnju 21 nove jedinice na uglj sa ukupnim kapacitetom većim od 12,5 GW u narednoj deceniji, pri čemu je više od 9 GW planirano do 2023. godine. Iako se proizvodnja električne energije iz uglja u SAD iz godine u godinu smanjuje, ova zemlja se i dalje ne odriče uglja, naprotiv.

Skoro identična situacija je i u ostalom dijelu svijeta kad je u pitanju izgradnja novih proizvodnih kapaciteta za proizvodnju el. energije na bazi uglja.

3. Aktuelno stanje

Prethodno opisani trend bio je prisutan sve do prije dvije godine kada počinje vrtoglavi rast cijena energenata čiji uzroci nisu u ovom radu predmet analize. Kao posledica dolazi do naglog zaokreta, u proklamovanim politikama i to najprije od istih onih koji su do pojave energetske krize bili najvatreniji protivnici fosilnih goriva.

Danas imamo situaciju da su cijene električne energije na berzama u Francuskoj i Nemačkoj, koje inače diktiraju cene u najvećem delu Evrope, kao i na regionalnim berzama, višestruko povećane, može se slobodno reći podivljale, i u odnosu na period od prije dvije godine uvećane čak i do deset puta, a ista je situacija i sa gasom. Hronični problemi u eksploataciji uglja, a kao posledica nedovoljnog ulaganja i neblagovremeno realizovanih strateških planova, za posledicu imaju povremene prekinde u isporukama prema krajnjim potrošačima. Ako se tome doda i struci poznat ali nedovoljno kontrolisani problem pada kvaliteta uglja, usled pogoršanih eksploatacionih uslova, problematika postaje još složenija. Danas, kada je većina zemalja u problemima da obezbedi električnu energiju za naredni period, u slučaju *ispada* nekog značajnijeg proizvodnog kapaciteta, slučaj TENT-a, prošle zime, vrlo lako može izazvati poremećaja u snabdijevanju kako na regionalnom tako i na širem tržištu, a nije isključena ni mogućnost većih havarija sistema.

4. Primjeri Njemačke, Češke i Poljske

Ove tri zemlje spadaju u najveće proizvođače uglja i el. energije iz uglja u Evropskoj Uniji. Uprkos proklamovanim ciljevima, te prethodno objavljenom planu Njemačke vlade da postepeno ukida proizvodnju električne energije iz uglja, 30. maja 2020. godine, puštena je u pogon termoelektrana Datteln 4, snage 1.100 MW. Interesantno je napomenuti da je ova elektrana, u vlasništvu kompanije Uniper inače jednog od većih akcionara kompanije Sjeverni tok. Nemačka vlada je iste godine donijela odluku da će zatvoriti svih 84 termoelektrana na uglj do 2038. godine, i da će se u tom period kretati ka čistijim izvorima električne energije. Zvaničnici regije Severna Rajna-Vestfalija rekli su da je ideja izgradnje i stavljanja u pogon TE Datteln 4 bila zamjena kapaciteta za osam manjih termoelektrana.

Zanimljiv je podatak da su se Njemačka vlada i regionalni zvaničnici složili o planu kompenzacije za industriju uglja od oko 40 milijardi evra. Vlada je rekla da će novac biti upotrebljen za finansiranje *društveno odgovornih rešenja* za radnike, uključujući nova radna mjesta, nove infrastrukturne projekte i, verovatno, obezbeđivanje nadoknade pogođenim kompanijama. Zvanični podaci pokazuju da je oko 20.000 ljudi radilo u nemačkoj industriji uglja, sa oko 15.000 u rudarskoj industriji i sa oko 5.000 zaposlenih u elektranama na lignit. Odšteta od 40 milijardi evra namjenjena je nemačkim regijama koje imaju rudnike lignita i termoelektrane na uglj: Saksonija-Anhalt, Saksonija, Severna Rajna-Vestfalija i Brandenburg. Zemlja trenutno zadovoljava trećinu svoje ukupne potrošnje električne energije iz termokapaciteta na uglj; a više od polovine sagorevaju domaći lignit.

Interesantno je istaći da i ako Njemačka posjeduje najveće rezerve uglja u EU istovremeno je i najveći uvoznik uglja (peta u svijetu). Sredinom ove godine, Njemačka, koja je većinu termoelektrana,

odnosno rudnika uglja, držala u statusu strateških rezervi, najavila je pokretanje najmanje 20 termoelektrana na ugalj širom zemlje kako bi se osigurala za predstojeću zimu.

U Češkoj, takođe velikom proizvođaču i korisniku ovog energenta, krajem 2020. godine, vladin savetodavni odbor predložio je da se eksploatacija i sagorevanje lignita prekine 2038. godine (datum koji je izabrala i Njemačka), vrijeme do kada će prema procenama rezerve ovog energenta već biti gotovo iscrpljene u toj zemlji. Što se tiče Poljske, situacija je sasvim drugačija u odnosu na druge zemlje, članice EU.

Poljska, koja proizvodi oko 70% električne energije iz uglja, jedina je zemlja EU koja se nije obavezala na nultu emisiju do 2050. godine. Uprkos međunarodnom negodovanju, Poljsko resorno ministarstvo produžilo je rudarsku koncesiju za površinski rudnik uglja u Turovu do 2044. godine. Nedavno je u Katovicama parafiran sporazum vlade sa industrijom uglja za ukidanje proizvodnje uglja do 2049. godine. Plan uključuje subvencije koje bi ublažile udar na radnike, kao i na kompanije. Prema sporazumu, vlada će postepeno ukidati korišćenje uglja tokom narednih 28 godina. U zamjenu, rudari će dobiti pravo da se presele iz zatvorenih rudnika u one koji još uvek rade ili će dobiti prevremene penzije sa 80% svojih plata. Oni koji odluče da napuste rudarstvo kvalifikovaće se za otpremninu u iznosu od 120.000 zlota (32.000 USD). Sporazum, takođe, predviđa ulaganje veće od 16 milijardi zlota (4,2 milijarde dolara) u eksploatacije uglja putem čistih tehnologija.

5. Region

Zemlje regiona, misli se prvenstveno na zemlje Zapadnog Balkana koje nisu članice EU; Srbija, BiH, Crna Gora i Sjeverna Makedonija, su poodavnu u procesu, sada se slobodno može reći, večnog pristupanja EU. U praksi, to je proces tokom kojeg se državama kandidatima samo prenose adaptirane regulative i direktive koje samo uključuju obaveze, dok su uskraćene da koriste bilo kakve benefite. Kao posledica želje da se pristupi članstvu u EU prihvata se gotovo sve što se od njih zahtijeva, ne bi li se na taj način dodvorile, pritom zanemarujući činjenicu da svaka nacija na ovom svijetu, koja poseduje određeno prirodno bogatstvo i znanje, kao i tehnologiju, drži se istog dokle god joj okolnosti dozvoljavaju.

Umjesto toga region je suočen sa ogromnim pritiscima kako stranih tako i domaćih raznoraznih lobista. I pored ravnomjerne regionalne zastupljenosti, kad su u pitanju ležišta uglja, odnosno eksploataibilnih rezervi, koje se mogu, sa današnjom produkcijom, eksploatisati najmanje do kraja ovog vijeka, kategorički se nameće prekid eksploatacije uglja i rad termoelektrana koje proizvode električnu energiju iz uglja.

U namjeri da se podrže opisana stremljenja, Evropska unija je još 2017. godine pokrenula Inicijativu za regione uglja u tranziciji. Tim za tranziciju uglja Svjetske banke, je 2018. godine usvojio globalni program pod nazivom: Upravljanje zatvaranjem rudnika - pravedna tranzicija za sve. *Just in transition fond*, naslednik *Coal regions in transition inicijative*, predstavlja pokušaj EU da finansijski asistira svojim članicama, koje su suočene sa socio-ekonomskim problemima usled planiranog gašenja rudnika i termoelektrana na ugalj.

Decembra 2020. godine zvanično je počela sa radom Platforma za podršku energetske tranziciji u regionima uglja na Zapadnom Balkanu i Ukrajini. Navodni cilj platforme je da pomogne zemljama potpisnicama da prestanu sa korišćenjem uglja u proizvodnji energije. Interesantno je napomenuti da je u navedenoj platformi bila, pored zemalja Zapadnog Balkana, uključena i Ukrajina. Poslednji događaji su potpuno uticali na tranzicioni proces tako da trenutno imamo situaciju da su ugljenokopi u Ukrajini koji su bili predviđeni za tranziciju, a radi se o regionu Donbasa, sada pripojeni Ruskoj federaciji, i već su ponovo aktivirani.

Istina, na Samitu EU sa liderima Zapadnog Balkana, održanom septembra 2021. godine u Sloveniji, zemljama zapadnog Balkana obećano je devet milijardi evra kao *grant*, plus 20 miliona evra na ime investicija. Obaveze koje zemlje potpisnice treba da ispune do 2024. godine, prije svega se odnose na harmonizaciju sa sistemom EU za trgovanje emisijama, te donošenje Akcionog plana za

Zelenu agendu do 2030. Da EU, odnosno velike sile u EU, iskreno žele to što tvrde, imali bismo na raspolaganju desetine milijardi evra za, kako je u EU nazivaju, Zelenu tranziciju, za zemlje regiona planirana su relativno mala sredstva, odnosno, primorane su da same finansiraju svoje privredno samoubistvo kroz *povoljne* kreditne linije međunarodnih finansijskih institucija. Uspostavljanje navedenog fonda je zaista simboličnog karaktera jer su predviđena sredstva jako mala i obuhvatila su samo mali broj rudnika prvenstveno sa podzemnom eksploatacijom.

Ovdje se može postaviti logično pitanje: Zašto se malim zemljama, koje se ekonomski ne mogu porediti ni sa jednom članicom EU, uporno spočitava i prebacuje odgovornost, kada je reč o zaštiti životne sredine i zbog čega ne mogu da izgrade bar zamjenske kapacitete. Postavlja se pitanje zašto nemaju pravo da iskoriste svoje prirodno bogatstvo, na način na koji je isti već iskorišćen u ostalim Evropskim zemljama, odnosno, na način na koji ga i dalje koriste ostale evropske države, primjer Nemačke, Češke i Poljske.

Koliko je autoru poznato, u regionu, osim BiH, koja je 2016. godine usvojila Nacionalni plan za smanjenje emisija, ni u jednoj drugoj zemlji u regionu, nisu usvojeni energetske i klimatski planovi razvoja koji trebaju da definišu budućnost energetike. Umjesto toga, nerijetko čak i iz samih resornih ministarstva, spominje se zabrana gradnje novih, odnosno moratorijumi na razvoj rudnika i proizvodnju električne energije iz uglja, te promovisu obnovljivi izvori. I ako takvi planovi postoje u Nemačkoj, Češkoj i Poljskoj svjedoci smo kako se ove države ponašaju prema svojim usko nacionalnim interesima.

Ukoliko te naprednije države Evropske Unije imaju šansu da odlože gašenje svojih kapaciteta do 2026. godine, pa dalje sa 2026. godine na 2044. godinu, primer Poljske, ukoliko te države imaju pravo da izgrade ogroman novi kapacitet za proizvodnju električne energije upravo iz uglja, primer Nemačke, pored hiljada megavata već instaliranih kapaciteta u vjetroparkovima i solarnim parkovima, ukoliko Češka nema namjeru da zatvori rudnike pre 2038. godine, kada je viđen i kraj njihovih rezervi uglja, kakvo pravo ima bilo ko u Evropskoj Uniji da spočitava to isto malim zemljama poput zemalja Zapadnog Balkana?

6. Energetski miks regiona

Ako pogledamo postojeće kapacitete uočljivo je da se radi, može se slobodno reći, o dobro koncipiranom energetskom miks, koji se, osim nuklearnih elektrana u Sloveniji (zajednička sa Hrvatskom) i Bugarskoj, oslanja isključivo na domaće resurse, uglj i vodu (Tabela 1).

Tabela 1. Instalirani kapaciteti za proizvodnje el. energije u okruženju

SLO MW	CRO MW	BiH MW	SRB MW	C. GORA MW	S. MAK MW	BUG. MW	RUM. MW
TE - 1.148	TE - 1.158	TE RS 900	TE - 3.936	TE - 218,5	TE - 800	TE - 3.740	TE - 2.895
HID - 859	HID - 2.078	HID RS - 730	HID 2.831	HID - 667	HID - 500	HID -2.480	HID -6.053
TE-TO-112	MHE -33,144	MHE RS - 15,9	MHE - 4			NE - 3.760	
NE - 696	TE - TO - 504	TE FBiH -1.175	TE - TO - 353				
	NE - 696	HID FBiH - 504					
		HID HZHB 732					
UK -2.815	UK-4.470	UK - 3.757	UK - 7.126	UK - 885.9	UK - 1.304	UK - 9.983	UK - 8.951

Bosna i Hercegovina

U Bosni i Hercegovini električna energija se proizvodi u četiri termoelektrane na uglj u većinskom državnom vlasništvu: Tuzla, Kakanj, Ugljevik i Gacko, što čini oko 60% ukupne proizvodnje električne energije, a 40% iz velikih i srednjih hidroelektrana. U Federaciji BiH (FBiH) još je veći procenat, nerijetko i do 80%, što prvenstveno zavisi od hidrologije.

Pored navedenih u rad je prije sedam godina puštena i termoelektrana Stanari, koja je 100% u privatnom vlasništvu, i koja nema obavezu snabdijevanja domaćih potrošača te svu proizvedenu

električnu energiju uglavnom izvozi. Svi drugi blokovi su relativno stari (prosjeak 40 oko god.) sa zastarjelim tehnologijama čija je efikasnost oko 30%.

Treba napomenuti da ni u jednoj termoelektrani nije ugrađen sistem za odsumporavanje i denitrifikaciju, osim TE Ugljevik, krajem 2019. godine. U termoelektranama Tuzla, Kakanj i Ugljevik vrši se kogenerativna proizvodnja električne i toplotne energije, čime je omogućeno daljinsko grijanje gradova Tuzla, Lukavac, Kakanj i Ugljevik.

Usled nedostatka dugoročnih kapitalnih investicija, kako u proizvodnju uglja tako i u proizvodnju električne energije, te izuzetno teških uslova eksploatacije uglja, naročito u rudnicima sa podzemnom eksploatacijom, nametnula se potreba državnog subvencionisanja rudnika uglja, što je slučaj u FBiH.

Niska produktivnost rudnika u BiH, u prosjeku oko 2.000 tona po radniku, sa izuzetkom Rudnika Stanari, govori da bi napredovanjem otvaranja domaćeg tržišta električne energije BiH bila izložena tržišnoj konkurenciji iz zemalja kao sto su Bugarska i Rumunija koje su neto izvoznici struje. Kao pozitivan primjer, uspješne izgradnje termoelektrane na prostoru bivše Jugoslavije, svakako treba istaći termoelektranu Stanari kod Doboja. Ova termoelektrana, zajedno sa rudnikom, ima oko 800 zaposlenih i proizvodi oko 3 mil. tona uglja i preko 2 TWh, el. energije, što je svrstava u red veoma uspješnih kompanija po pitanju produktivnosti, oko 6.000 tona uglja, odnosno 7 GWh po radniku godišnje.

Srbija

Proizvodnja električne energije u Srbiji je oko 70% iz termoelektrana na ugalj, dok je preostalih 30% električne energije se proizvodi u velikim hidrocentralama. Ležišta uglja locirana su u dva glavna basena, Kolubara i Kostolac. Rudnici uglja su u vlasništvu JP Elektroprivreda Republike Srbije (ERS) kojima upravljaju ogranci ovog javnog preduzeća.

Rudarski basen Kolubara obezbjeđuje oko 75% lignita koji se koristi u termoelektranama EPS-a. Godišnje se proizvede oko 30 miliona tona lignita, koji se isporučuje TE Nikola Tesla i TE Morava. TE Nikola Tesla, proizvodi više od 50% električne energije za domaću potrošnju. U basenu Kostolac se proizvede oko 25% ukupnog uglja i njime se snabdjevaju termoelektrane Kostolac A i B. Nivo produktivnosti je iznad prosječnih vrijednosti za region, oko 5.000 tona po zaposlenom, a primjetno je značajno poboljšanje tokom poslednjih 10 godina.

Kosovo i Metohija

Na Kosovu i Metohiji postoje dvije termoelektrane; Kosovo A i Kosovo B. Kosovo A ima ukupno 5 blokova od kojih su u radu samo tri. Planovi za izgradnju nove termoelektrane na lignit, Kosovo C, postoje već duže od decenije, a prvobitno planiranih 2.000 MW se u međuvremenu svelo na 500 MW. O ovom projektu dostupno je veoma malo konkretnih informacija budući da su još uvijek u toku pregovori sa jedinim ponuđačem, kompanijom KonturGlobal (*ContourGlobal*).

Severna Makedonija

Makedonija se pretežno oslanja na fosilna goriva i hidroenergiju, a zavisna je i od uvoza električne energije. Ukupna instalisana snaga u dvije termoelektrane; Bitolj i Oslomej, iznosi 800 MW. Takođe, postoji termoelektrana na teško lož-ulje u mjestu Negotino, koja je u radu kao rezervno postrojenje sa instalisanom snagom od 210 MW. U prošlosti su postojali planovi za izgradnju termoelektrane na ugalj snage 300 MW na tom istom mjestu, ali je projekat obustavljen i više se nigdje ne pominje u državnoj Energetskoj strategiji za period do 2035. Trenutno se eksploatacija uglja obavlja na dva površinska kopa; Oslomej koji snabdjeva TE Oslomej i Suvodol, koji snabdjeva TE Bitolj.

Crna Gora

Proizvodnja električne energije u Crnoj Gori zasniva se na solidnom hidro potencijalu i jedinoj termoelektrani u Pljevljima, dok je učešće iz ostalih izvora zanemarljivo. Ukupan domaći konzum na godišnjem nivou je reda veličine oko 3.500 GWh i direktno je izložen hidrologiji. Može se reći da je

proizvodnja u termoelektrani prilično stabilna, ali ne i efikasna, i kreće se u rasponu između 1.200-1.400 GWh. Budući da rad termoelektrane nije u skladu sa Direktivom o velikim ložištima, ostaje otvoreno pitanje njenog daljeg rada, dok je izgradnja Termoelektrane Pljevlja 2 za sada neizvjesna.

7. SWOT analiza stanja u regionu

Kako bi se na pregledniji način sagledali prednosti - snage i prilike te nedostaci - slabosti i prijetnje, a uvažavajući prirodu pisanja ovog rada, urađena je Ad hok SWOT analiza stanja u regionu:

<i>Strengths - Snage</i>	<i>Weaknesses - Slabosti</i>
<i>Proizv. El. Energ iz različitih izvora</i> <i>Dobra interkonkicija pr. mreža</i> <i>Dostupnost prirodnih resursa</i> <i>Višegodišne iskustvo</i> <i>Geograf. Položaj</i> <i>Kvalif. Radna snaga</i> <i>Zakonski i instit. okvir</i> <i>Konkurentnost</i>	<i>Niska efikanost</i> <i>Niska efektivnost</i> <i>Niska ekonomičnost</i> <i>Radna snaga</i> <i>Domin. uticaj politike</i> <i>Zastarjele tehnologije</i> <i>Stanje rudnika uglja</i> <i>Nedostatak vl. Sredst. Za inv</i>
<i>Opportunities - Prilike</i>	<i>Threats - Prijetnje</i>
<i>Interkonekcija pr. mreža</i> <i>Tržišni uslovi</i> <i>Dostupnost savr. Tehnologija</i> <i>Transfer znanja i iskustava</i>	<i>Neizvjesnost</i> <i>Nemoguć. obezb. stranih izvora fin.</i> <i>Ekološka ograničenja</i> <i>Nemoguć. nabavke opreme</i>

8. Taksa na emisiju ugljen dioksida kao alat za eliminaciju konkurencije

Sasvim je evidentno da je taksa na emisiju CO₂ (ETS) osmišljena kao alatka za borbu protiv konkurentskih privreda, kao i savršen alat za preuzimanje malih, nezavisnih nacionalnih sistema. Stoga, sa njihovim uvođenjem treba biti jako obazriv pogotovo što postoje jako oprečna mišljenja po pitanju klimatskih promjena, odnosno samog uticaja emisije CO₂.

Činjenica je da su Termoelektrane na ugalj danas neuporedivo čistiji kapaciteti za proizvodnju električne energije nego li prije par decenija te tako sve upućuje na zaključak da se ovdje radi o čisto ekonomskim, a ne ekološkim principima. Problematika postaje složenija ako tu dodamo i pitanje vlasništva jer u očima korporativnog kapitala državno vlasništvo nad energetske sistemom nije preferirana opcija

9. Zaključna razmatranja

Proizvodnja električne energije iz domaćih resursa, kao što su ugalj i voda, omogućava kontrolu nad elektroenergetskim sistemom odnosno energetske i političku bezbjednost zemlje. Upravo odlično koncipirani hidro-termokapaciteti, njihova koordinacija, te činjenica da se energija proizvodi iz domaćeg resursa, dovode do toga da region i dalje ima ubjedljivo najjeftiniju električnu energiju. Danas dostupna tehnologija OIE ima niz nedostataka, prvenstveno usled veoma izražene volatlnosti. Termoelektrane će zasigurno biti siguran oslonac elektroenergetskog sistema sve dok se ne pronađe adekvatna zamjena.

U slučaju regiona nezavisnost elektroenergetskog sistema, donose značajne rezerve uglja i odlično koncipirana hidro-termo koordinacija u elektroenergetskom sistemu. Aktuelna dešavanja vezana za opisanu problematiku nameću potrebu da se inoviranju strateški dokumenti i opredeljenja, jer

slijepo sleđenje direktiva EU vrlo lako može dovesti do uništenja nezavisnih nacionalnih elektroenergetskih sistema na širem prostoru pogotovo veoma ranjivom prostoru Zapadnog Balkana.

Gotovo da ne postoje države koje ne vode računa o svojim nacionalnim interesima, i to vrlo striktno i dosledno. Energetska nezavisnost, uz hranu i vodu su ključni resursi kako za stabilnost tako i za političku i svaku drugu nezavisnost. Stoga je potrebno uložiti značajna sredstva u tehnologiju prerade i korišćenja uglja, a ne da se pod pritiscima, ma koliki oni bili, odustane od sopstvenog resursa.

Naravno da povećanje efikasnosti, ekonomičnosti i efektivnosti, uz rekonstrukciju i revitalizacija postojećih energetske objekata te uvođenje savremenih tzv. čistih, uz napuštanje starih, neefikasnih i prljavih tehnologija ključni preduslov održivog razvoja. Ovome treba još dodati izgradnju novih nedostajućih ili zamjenskih kapaciteta uz gašenje starih neefikasnih i pogona, koji imaju značajan negativan uticaj na životnu sredinu. Sa uvođenjem taksi na emisije CO₂ i ostalih zagađujućih gasova treba biti jako obazriv jer bi se time u značajnoj mjeri ugrozila konkurentnost koju sada imamo. Isključivo sprovođenje direktiva EU, bez uvažavanja vitalnih nacionalnih interesa, vrlo lako može dovesti do uništenja nezavisnih nacionalnih elektroenergetskih sistema, a time i ukupne političke i svake druge nezavisnosti.

Literatura

- [1] Direktive Evropske unije 96/92/EC
- [2] Direktive 2001/80/EC u vezi ograničavanja emisija iz velikih postrojenja za sagorijevanje
- [3] Direktive 2010/75/EU o industrijskim emisijama
- [4] Policy Guidelines on the preparation of National Emission Reduction Plans), dec. 2014.
- [5] Nacionalni plan smanjenja emisija (National Emission Reduction Plan – NERP) za Bosnu i Hercegovinu, nov. 2015
- [6] Federalno Ministarstvo Energije, Rudarstva i Industrije BiH: Informacija o stanju u elektroenergetskom sektoru Federacije BiH sa prijedlogom mjera, januar 2016
- [7] M. Musić, E. Lapandić, A. Merzić: Budućnost korištenja uglja za proizvodnju energije u BiH, 13. savjetovanje – BH K-CIGRÉ-MEĐUNARODNO VIJEĆE ZA VELIKE ELEKTRIČNE SISTEME, 2017.
- [8] <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Artikel/Energy/monitoring-implementation-of-the-energy-reforms.html>
- [9] <https://www.worldenergy.org/data/resources/country/greece/coal/>
- [10] http://www.braunkohle.de/index.php?article_id=98&fileName=debriv_statistikfaltblatt_en_20140205.pdf
- [11] <http://euracoal.eu/info/country-profiles/germany/>
- [12] <https://www.epcg.com/o-nama/proizvodnja-i-elektroenergetski-bilans>
- [13] (http://geoenergetics.com/wp-content/uploads/2020/05/Tab11_2387465763245.png)
- [14] <https://energijabalkana.net/>



**TRETMAN PODRUČJA EKSPLOATACIJE MINERALNIH SIROVINA U SISTEMU
PROSTORNOG I URBANISTIČKOG PLANIRANJA U REPUBLICI SRBIJI**

**TREATMENT OF AREAS OF MINING OF MINERAL RAW MATERIALS IN THE SYSTEM
OF SPATIAL AND URBAN PLANNING IN THE REPUBLIC OF SERBIA**

Šljivančanin D.¹, Milošević D.²

Apstrakt

Razvoj, uređenje i zaštitu prostornih celina predviđenih za površinsku eksploataciju mineralnih sirovina moguće je integralno sagledati jedino u kontinualnom procesu izrade dokumenata prostornog i urbanističkog planiranja. Uticaj područja eksploatacije mineralnih sirovina na okruženje generiše različite konfliktne interese (prostorne, ekološke i socijalne) gde instrument planiranja i uređenja prostora može na sveobuhvatan način ustanoviti karakter i vrstu konflikata, utvrditi njihov intenzitet i predložiti alate za njihovu relativizaciju i/ili neutralisanje u prihvatljive okvire. U tom pogledu, u radu će biti predstavljen značaj i uloga sistema prostornog i urbanističkog planiranja u Republici Srbiji prilikom realizacije projekata eksploatacije mineralnih sirovina, i to od regionalnih prostornih sistema ka lokalnim okvirima. Takođe, idući u susret novom ciklusu planiranja u Republici Srbiji koji predstoji nakon donošenja novog Prostornog plana Republike Srbije do 2035. godine, u radu će se dati preporuke i smernice prilikom izrade buduće planske dokumentacije za potrebe područja eksploatacije mineralnih sirovina, a na osnovu dosadašnjih iskustava i stečenih saznanja u ovoj oblasti.

Ključne reči: prostorno i urbanističko planiranje, područja eksploatacije mineralnih sirovina, novi ciklus planiranja

Abstract

The development, arrangement and protection of spatial entities intended for the surface mining of mineral raw materials can only be viewed integrally in the continuous process of creating spatial and urban planning documents. The influence of the area of mining of mineral resources on the environment generates different conflicting interests (spatial, ecological and social), where the planning and spatial planning instrument can comprehensively establish the character and type of conflicts, determine their intensity and propose tools for their relativization and/or neutralization within acceptable frameworks. In this regard, the paper will present the importance and role of the spatial and urban planning system in the Republic of Serbia during the implementation of mineral resource exploitation projects, from regional spatial systems to local frameworks. Also, in order to meet the new planning cycle in the Republic of Serbia, which is to come after the adoption of the new Spatial Plan of the Republic of Serbia until 2035, the paper will give recommendations and guidelines for the preparation of future planning documents for the needs of the area of exploitation of mineral raw materials, based on previous experience and acquired knowledge in this area.

¹Šljivančanin Dušan, TERRAGOLD&CO, Beograd

²Milošević Dragan, TERRAGOLD&CO, Beograd

Key words: spatial and urban planning, areas of mining of mineral raw materials, new cycle of planning

1. Uvod

U eri intenzivnog tehničko-tehnološkog razvoja, ali i istovremeno aktuelne krize energetskog sektora, rudarstvo bi trebalo da se pozicionira kao jedna od najznačajnijih privrednih grana Republike Srbije, posebno ako uzmemo u obzir činjenicu istorijata i značaja razvoja rudarstva u našoj zemlji. Imajući u vidu da strateški okvir upravljanja mineralnim sirovinama u Republici Srbiji nije uspostavljen, da su geološki resursi još uvek nedovoljno istraženi, tehničko-tehnološke performanse velikih rudarskih basena uglavnom zastarele i nekompatibilne sa inovativnim pristupima iz visokorazvijenih rudarskih zemalja, uz činjenicu sve većeg otpora lokalnog stanovništva po pitanju razvoja novih rudarskih projekata, postavlja se otvoreno pitanje daljeg pravca i dinamike razvoja područja površinske eksploatacije mineralnih sirovina. Navedena područja karakterišu dinamične i kontinualne promene u prostornom okruženju, kao što su: zauzimanje i degradiranje manjih ili većih površina poljoprivrednog i/ili šumskog zemljišta, iniciranje izmeštanja infrastrukturnih sistema i koridora (saobraćajnih, elektroenergetskih, hidrotehničkih i dr.), narušavanje kvaliteta osnovnih medijuma zaštite životne sredine (vazduh, voda, buka i dr.), preseljenje stanovništva (u područjima velikih rudarskih basena) i transformacija u sistemu mreže naselja.

Savremeni pristup planiranja i uređenja prostora zasniva se na polazištima održivog razvoja koji podrazumeva integralno sagledavanje ekonomske, ekološke i socijalne komponente razvoja. U tom kontekstu, institucija prostornog planiranja ima značajno mesto i ulogu u razvoju svih vrsta rudarskih projekata, sagledavajući integralno mogućnosti razvoja površinskih kopova i ostalih rudarskih objekata u prostornom okruženju uz definisanje mera zaštite životne sredine radi minimiziranja očigledno nepovoljnih uticaja na kvalitet životne sredine na lokacijama predodređenim za ovakvu vrstu projekata.

Izradom i donošenjem dokumenata iz oblasti prostornog i urbanističkog planiranja definišu se namene korišćenja zemljišta i organizacija prostora za potrebe realizacije rudarskih projekata, čime nosioci projekata dobijaju planski osnov i pravni legitimitet korišćenja lokacija za potrebe eksploatacije mineralnih sirovina u dugoročnom periodu (u narednih 25 godina ili do izmene postojećeg planskog osnova). Sa druge strane, radi pribavljanja odobrenja za eksploataciju i/ili izvođenje rudarskih radova, prema Zakonu o rudarstvu i geološkim istraživanjima (Sl. glasnik RS, br. 101/2015, 95/2018 i 40/2021), kao jedan od neophodnih elemenata koji dostavlja nosilac projekta jeste i *izjašnjenje organa jedinice lokalne samouprave nadležnog za poslove urbanizma u pogledu usaglašenosti eksploatacije sa urbanističko-planskom dokumentacijom i potrebe izrade planskog dokumenta nižeg reda*. Na taj način, legislativni okvir je determinisao neophodnost usaglašenosti planiranih rudarskih projekata sa plansko-urbanističkom dokumentacijom, uz neophodnost izrade planske dokumentacije nižeg hijerarhijskog nivoa ukoliko postoji potreba za sprovođenjem takve procedure¹.

2. Dosadašnja iskustva u praksi planiranja razvoja područja eksploatacije mineralnih sirovina

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 i 52/2021) definisan je sistem planskih dokumenata u Republici Srbiji, koga čine prostorni i urbanistički planovi. U svim vrstama prostornih

¹Odeljenje nadležno za poslove urbanizma u jedinicama lokalne samouprave kroz dokument Informacije o lokaciji definiše da li su planirane površine potrebne za realizaciju projektnih aktivnosti usaglašene u pogledu namene površina sa postojećom planskom dokumentacijom ili je potrebna izrada detaljnije planske razrade (najčešće kroz izradu Plana detaljne regulacije), radi definisanja novih površina ostalog/rudnog zemljišta i konkretnije organizacije neophodnih sadržaja u funkciji razvoja površinskog kopa.

planova (Prostorni plan Republike Srbije, Regionalni prostorni planovi, Prostorni planovi jedinica lokalnih samouprava, Prostorni planovi područja posebne namene), područja površinske eksploatacije su zastupljena u većem ili manjem obimu, a od urbanističkih planova to je najčešće slučaj sa Planovima detaljne regulacije¹.

Zakonom o Prostornom planu Republike Srbije do 2020. godine (Službeni glasnik RS, br. 88/10) definisani su osnovni ciljevi i strateški prioriteti razvoja mineralno-sirovinskog kompleksa na nacionalnom nivou, a koji su detaljnije razrađeni kroz Regionalne prostorne planove koji su doneseni u prethodnom periodu. Nacrtom novog Prostornog Plana Republike Srbije do 2035. godine, kao jedno od polazišta korišćenja, zaštite i upravljanja mineralnim sirovinama i razvoja rudarstva, navodi se neophodnost permanentnog procesa istraživanja i planiranja u oblasti korišćenja mineralnih resursa, prostornog razvoja i upravljanja životnom sredinom, jer je rudarstvo dinamična aktivnost sa poteškoćama u predviđanju razvoja, posebno u dužem vremenskom periodu.

U pogledu planskog tretmana velikih rudarskih basena, od posebnog značaja je izrada i donošenje Prostornog plana područja posebne namene koji se donosi za područja koja zahtevaju poseban režim organizacije, uređenja, korišćenja i zaštite prostora, a naročito (između ostalih) i za područja sa mogućnošću eksploatacije mineralnih sirovina. Za najveće rudarske basene u Republici Srbiji (Kolubarski, Kostolački, Borsko-Majdanpečki), navedeni planski dokumenti su donošeni i predstavljaju planski osnov korišćenja, organizacije, uređenja i zaštite prostora u predmetnim područjima.

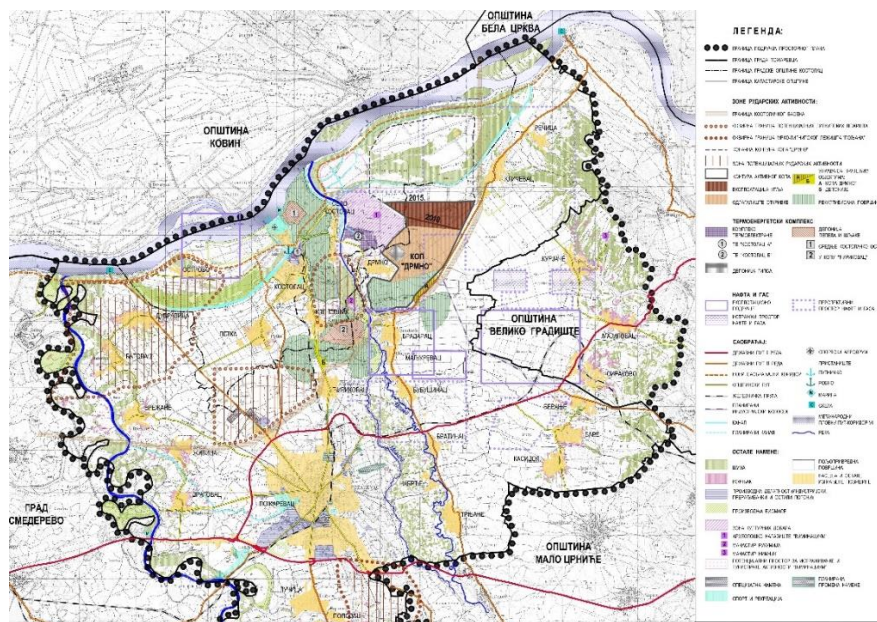
Dosadašnja iskustva u planiranju razvoja u područjima rudarskih basena vezana za rešavanje specifičnih i složenih prostornih i razvojnih konflikata kao posledice permanentnih promena u prostoru u dužem vremenskom periodu kao i za sprovođenje revitalizacije i rekultivacije degradiranog zemljišta u toku i nakon završene eksploatacije, nameće potrebu uspostavljanja specifičnog integralnog/originalnog pristupa u planiranju razvoja i uređenju prostora. U oblasti energetike, strateške koncepcije, a time i potreba otvaranja i projektovana dinamika napredovanja kopova, zasnivaju se na dugoročno prognoziranim potrebama potrošnje (20, 30 pa i više godina). Nepouzdanost planskih predviđanja za tako dugi period, prevazilazi se tako što se u prostorno-planskoj dokumentaciji za različite vremenske horizonte primenjuje različit nivo detaljnosti, odnosno za vremenski bliže horizonte utvrđuju se detaljnija i razrađenija rešenja, dok se za duže vremenske periode predlažu opšta rešenja, često u varijantama ili samo u domenu ciljeva. Uređivanje i obnavljanje prostora u rudarskom basenu je proces, koji se odvija po dinamici razvoja površinske eksploatacije i drugih procesa u basenu. Promene koje nastaju su dinamične i mogu se usmeravati samo razvojem dinamičnog i neprekidnog procesa planiranja i istraživanja.

Na objektivno složenu situaciju u rudarskim basenima ukazuju sledeće činjenice: sa jedne strane relativno visoka naseljenost i izgrađenost prostora, koncentracija privrednih aktivnosti i druga obeležja jedne dinamične sredine, a sa druge strane, specifični zahtevi površinske eksploatacije u pogledu zauzimanja zemljišta, izmeštanja naselja i stanovništva, saobraćajnica, vodotoka, industrijskih i drugih objekata koji se nalaze u zoni razvoja kopova. Otvaranje velikih površinskih kopova uvek ima za posledicu uticaj na razvoj naselja, kretanje stanovništva i procese urbanizacije, što dovodi do izvesnog stepena koncentracije u urbanim centrima i drugim naseljima koja se nalaze u neposrednoj blizini rudnika.

Upravo Prostorni planovi područja posebne namene predstavljaju najznačajnije planske instrumente radi identifikacije i predloga rešavanja prostornih konflikata realizacijom površinske eksploatacije, kao što su konflikti na relaciji: rudarstvo - poljoprivreda, rudarstvo - postojeća naselja i industrijski, infrastrukturni, vodoprivredni i dr. objekti, rudarstvo - zaštita životne sredine. U tom kontekstu, praksa prilikom izrade ove vrste planskih dokumenata iznedrila je više principa kao polazišta za rešavanje navedenih prostornih konflikata:

¹Generalni urbanistički planovi i Planovi generalne regulacije se donose najvećim delom za potrebe urbanističke razrade opštinskih centara, sa dominantnom namenom stanovanja, u kojima nisu planirane zone predviđene za eksploataciju mineralnih sirovina.

- Vreme zauzimanja zemljišta za potrebe rudarstva svesti na što kraći vremenski period;
- Proces rekultivacije i obnavljanja reproduktivnog potencijala zemljišta obavljati na osnovu temeljno urađenih dugoročnih i operativnih planova i projekata;
- Stanovništvu koje se preseljava i/ili ostaje bez poljoprivrednog zemljišta nužno je ponuditi mogućnost izbora u pogledu uslova naknade, odnosno mesta naseljavanja, ustupanja drugog poljoprivrednog zemljišta i sl.;
- Program izmeštanja naseljskih, industrijskih, infrastrukturnih i drugih objekata mora da obezbedi funkcionisanje postojećih sistema do potpunog osposobljavanja novih;
- Potrebno je obezbediti prihvatljive uslove za život i rad u naseljima koja se nalaze u neposrednoj blizini rudarskog kompleksa;
- Primeniti prihvatljiva tehničko-tehnološka rešenja kojim će se eksploatacioni radovi sa pratećim aktivnostima odvijati na način minimalnog uticaja na stanje životne sredine i zdravlje stanovništva u neposrednom okruženju površinskog kopa.

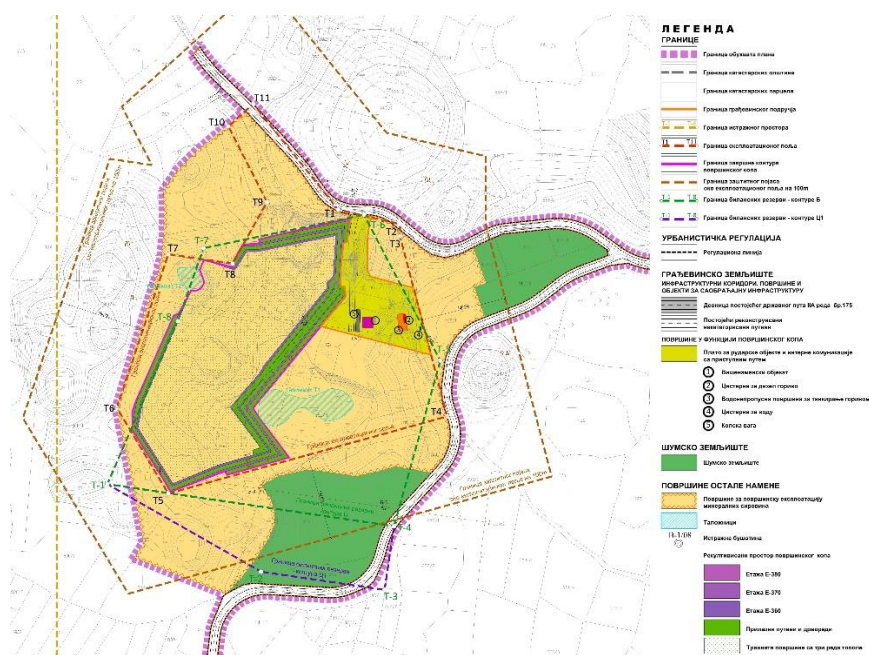


Slika 1. Izvod iz Referalne karte „Namena prostora“ iz Prostornog plana područja posebne namene Kostolačkog ugljenog basena (Službeni glasnik RS, br. 1/2013)

Prostornim planovima jedinica lokalnih samouprava definiše se način organizacije, uređenja i zaštite prostora na lokalnom (opštinskom) nivou. U ovoj vrsti planskog dokumenta (kroz tekstualni deo i grafički iskaz Plana kroz Referalnu kartu *Namena prostora*) definišu se potencijalne zone predviđene za eksploataciju mineralnih sirovina, u najvećoj meri zasnovane na propisanim uslovima nadležnog Ministarstva zaduženog za poslove rudarstva i energetike. Planirane površine su na grafičkim priložima predstavljene orijentaciono, poligonima ili simbolima, s obzirom da je u pitanju dokument strateškog karaktera, predstavljen na topografskim kartama krupnije razmere (1:50 000).

- U slučaju potrebe izmeštanja infrastrukturnih sistema i objekata u obuhvatu Plana, obavezno je predvideti alternativni način obezbeđenja priključka na infrastrukturne sisteme stanovništva i privrednih objekata u bližem okruženju.

Zemljište namenjeno rudarskim radovima može imati različite pojedinačne namene čija upotreba nije trajnog karaktera (aktivni kop, odlagalište, zaštitni pojas, transportni, infrastrukturni i objekti radionica i magacina i objekti od značaja za organizaciju rudarskih radova). Pre, u toku i po prestanku radova na eksploataciji mineralne sirovine, prema glavnom rudarskom projektu i projektu rekultivacije, obavezno se sprovode postupci rekultivacije zemljišta i sprovode druge mere kojima se obezbeđuje zaštita ljudi, imovine, životne sredine, prirode i zaštite voda.



Slika 3. Izvod iz Plana detaljne regulacije za površinski kop na lokalitetu Tolički vis (Službeni glasnik SO Mionica, br. 5/2019)

3. Preporuke i smernice za izradu planske dokumentacije za potrebe realizacije površinskih kopova u novom ciklusu planiranja u Republici Srbiji

Novim Prostornim planom Republike Srbije od 2021-2035. godine započinje novi ciklus planiranja u Srbiji za koji se očekuje da će generisati i veliki broj planskih dokumenata na regionalnom i lokalnom nivou, koji bi na osnovu prethodno stečenih iskustava i dobroj praksi i tradiciji planerske škole u Srbiji, trebalo da budu elaborirani i prezentirani u značajno unapređenom metodološkom postupku, integrišući osnovne postulate uravnoteženog, održivog razvoja teritorije podržanog digitalizovanim bazama podataka koje se mogu koristiti i nakon donošenja plana. Prema Nacrtu Prostornog plana Republike Srbije od 2021-2035. godine, u periodu do 2025. godine utvrđuje se obaveza izrade Prostornih planova područja posebne namene (u daljem tekstu: PPPPN) i to (između ostalih) za područja obimne površinske eksploatacije mineralnih sirovina (područje površinske eksploatacije energetskih, metaličnih ili nemetaličnih mineralnih sirovina u velim rudarskim basenima). Kao prioriteta za izradu i donošenje, navode se područja obimne eksploatacije mineralnih sirovina i zone remedijacije i prenamene napuštenih rudnika i deponija rudarskog otpada - Kolubarski, Kostolački, Kovinski, Sjenički, Borsko-Majdanpečki, Jadarski i Kosovsko-Metohijski basen.

Prilikom izrade PPPPN za područja eksploatacije mineralnih sirovina potrebno je metodološki i sadržajno primeniti sledeće osnovne smernice:

- Koordinacija procesa izrade PPPPN sa izradom tehničke dokumentacije, u cilju sagledavanja ekonomske, ekološke i tehničko-tehnološke opravdanosti, uklapanja planiranog razvoja aktivnosti i sistema u okruženje i povećanja učešća javnosti u svim fazama planiranja;
- Razrada PPPPN na nivou detaljne regulacione razrade, uz definisanje svih potrebnih pravila uređenja i građenja za sve objekte, sisteme i površine od nacionalnog i regionalnog značaja, u cilju direktnog sprovođenja i stvaranja osnova za rešavanje imovinskih odnosa nad zemljištem (privremena ili trajna eksproprijacija za zemljište javne namene).
- Uvažavanje svih oblika svojine nad zemljištem, kroz povećanje stepena fleksibilnosti planskih rešenja gde je to moguće na području posebne namene.

Jedan od problema sa kojima se suočava planerska struka prilikom izrade planske dokumentacije, a koji bi trebalo detaljnije razmotriti i preciznije definisati u novom ciklusu planiranja, jeste sprovođenje planskih rešenja na delovima teritorija na kojima nije predviđena detaljnija razrada odgovarajućim urbanističkim planovima. Iako se najveći broj lokacijskih uslova na teritoriji Opštine izdaje na osnovu smernica iz Prostornog plana opštine ili Prostornog plana područja posebne namene, pitanje je da li su ti elementi dovoljni za realizaciju pojedinih sadržaja u prostoru, čime se opravdano izražava bojazan o efikasnosti direktne primene Prostornog plana opštine i Prostornog plana područja posebne namene na delovima teritorije na kojima nije predviđena izrada odgovarajuće urbanističke dokumentacije, posebno ako se ima u vidu razmera grafičkih priloga Referalnih karata navedenih planskih dokumenata na kojim nije moguće videti konkretnu katastarsku/građevinsku parcelu. U tom kontekstu, prilikom smernica za sprovođenje Plana trebalo bi ostaviti mogućnost izrade odgovarajuće urbanističke dokumentacije na svim delovima teritorije Opštine na kojima nije konkretno navedena potreba izrade odgovarajućeg urbanističkog Plana, čime se ostavlja mogućnost (po potrebi) detaljnije urbanističke razrade područja za koje se naknadnim istraživanjima ustanovi kao potencijalna zona eksploatacije mineralnih sirovina.

Pravilnikom o klasifikaciji namene zemljišta i planskih simbola u dokumentima prostornog i urbanističkog planiranja (Službeni glasnik RS, br. 105/2020) bliže je propisana klasifikacija namena zemljišta i planskih simbola koji se primenjuju u planskim dokumentima. Na taj način, pravni osnov za izradu planskih dokumenata koji će biti izrađivani prema definisanim kriterijumima za grafički iskaz konačno su utemeljeni, te je isto potrebno dosledno primenjivati, čime će se vršiti lakša kontrola kvaliteta izrade plana, a u smislu sprovođenja, i jednostavnije tumačenje planskih rešenja od strane nadležnih Odeljenja za urbanizam pri opštinama. U novom ciklusu planiranja metodološki pomak u pogledu grafičke predstave Plana postigao bi se jedino zakonskom izmenom koja se odnosi na obavezu izrade Prostornog plana područja posebne namene samo u odgovarajućem GIS softverskom okruženju, umesto dosadašnje prakse gde je najveći broj planova grafički predstavljen AutoCad programom. Izradom Prostornog plana područja posebne namene u GIS softverskom okruženju omogućilo bi se formiranje baze geoprostornih podataka čije se promene u prostoru mogu jednostavno pratiti u postplanskom periodu, a na osnovu čega se mogu dobiti argumentovani podaci za eventualnu izradu novog i/ili dopunu postojećeg planskog osnova.

Možda i najznačajniji korak u izradi kvalitetnog planskog dokumenta u narednom periodu će biti zasnovan na daleko aktivnijem učešću lokalnog stanovništva tokom celokupne izrade Plana, pa i nakon njegovog donošenja. Dosadašnji način participacije koji se manifestovao uglavnom tokom perioda javnog uvida od 30 dana na Nacrt Plana nije u praksi doneo mnogo pozitivnih rezultata - zainteresovani akteri najčešće nisu bili upoznati sa planskim rešenjima na njima prijemčivom nivou, Komisije za planove jedinica lokalnih samouprava su uglavnom potvrđivale stavove obrađivača nakon dostavljenih primedbi, pa su se Javne sednice Komisija za planove u lokalnim samoupravama pretvorile u poligon za obračune između obrađivača Plana i podnosioca primedbi. Da bi se ovakve neželjene situacije izbegle u novom ciklusu planiranja, potrebno je promeniti pristup uključivanja svih zainteresovanih aktera, tj. njihovo delovanje usmeriti od samog početka izrade Plana, gde bi se preko organizovanja većeg broja radionica, tematskih stolova, anketiranja i dr. došlo do određenih konsenzusa i dogovora oko planiranih zona eksploatacije mineralnih sirovina, koje u sve većoj meri nailaze na otpor lokalnog stanovništva. Na taj način sigurno je da bi se do izrade Nacrta Plana smanjila i mogućnost nepredviđenih ili predimenzionisanih planskih rešenja, koja nisu u skladu sa zahtevima i željama svih zainteresovanih aktera na lokalnom/regionalnom nivou.

4. Zaključak

Izradom novog Prostornog plana Republike Srbije, promenama koje su se *de facto* dogodile u prostornom okruženju eksploatacionih područja i verifikovanim novim lokacijama za potrebe otvaranja novih površinskih kopova i podzemnih rudnika u poslednjoj deceniji, za očekivati je izradu nove serije planskih dokumenata u narednom periodu. Pozitivna iskustva iz prakse izrade planskih dokumenata potrebno je zadržati i u novom ciklusu planiranja, a određene nedostatke i nedoumice modifikovati i razrešiti, kako kroz izmene i dopune zakonske regulative (izrada metodoloških uputstava za izradu planova), tako i kroz samu praksu izrade planova. U izmenjenim tržišnim uslovima i eri liberalnog kapitalizma, gde se očekuje brzo izdavanje dozvola u cilju realizacije planiranih aktivnosti, od posebnog značaja će biti naći dobar balans između razvoja eksploatacionih područja i očuvanja životne sredine i prirodnih dobara, uz daleko veće učešće i ulogu svih zainteresovanih aktera na lokalnom nivou.

Literatura

- [1] Zakon o Prostornom planu Republike Srbije do 2020. godine (Službeni glasnik RS, br. 88/10)
- [2] Uredba o utvrđivanju Prostornog plana područja posebne namene Kostolačkog ugljenog basena (Službeni glasnik RS, br. 1/2013)
- [3] Prostorni plan opštine Lazarevac (Službeni list grada Beograd, br. 58/2008)
- [4] Plan detaljne regulacije za površinski kop na lokalitetu Tolički vis (Službeni glasnik SO Mionica, br. 5/2019).
- [5] Nacrt Prostornog plana Republike Srbije 2021-2035. god., Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture, Beograd, 2021.
- [6] Spasić N., Džunić G., Đurđević J.: Konflikti i ograničenja u prostornom razvoju rudarskih basena, časopis Arhitektura i urbanizam, Institut za arhitekturu i urbanizam Srbije, Beograd, 2008.
- [7] Šljivančanin D., Bojović V.: U susret novom ciklusu prostornog planiranja na lokalnom nivou - iskustva i preporuke, Zbornik radova sa naučnog skupa Lokalna samouprava u planiranju i uređenju prostora i naselja, Asocijacija prostornih planera Srbije, Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2022.



**ANALIZA GEOMEHANIČKE STABILNOSTI KOSINA NA ODLAGALIŠTIMA I
POVRŠINSKOM KOPU ČERAMIDE**

**ANALYSIS OF GEOMECHANICAL SLOPE STABILITY ON OPENCAST MINE CERAMIDE
AND ITS DUMPS**

Šubaranović T.¹, Čebašek V.², Dimitrijević B.³, Rupar V.⁴

Apstrakt

Kako bi se nastavila eksploatacija dacita na površinskom kopu Čeramide kod Rudnika, potrebno je izraditi novu projektnu dokumentaciju na osnovu novih overenih rezervi. Da bi se eksploatacija jalovine i dacita odvijala sigurno bez klizanja i obrušavanja stenskog materijala, neophodno je izvršiti proveru stabilnosti projektovanih kosina i na odlagalištima i na samom površinskom kopu. U ovom radu je upravo data analiza geomehantičke stabilnosti kosina na odlagalištima i površinskom kopu dacite Čeramide kod Rudnika.

Ključne reči: površinski kop, Čeramide, stabilnost kosina, dacit, Rudnik

Abstract

In order to continue dacite mining at the Ceramide opencast mine near Rudnik, it is necessary to create new project documentation based on new certified reserves. In order for the overburden removal and dacite mining to take place safely without sliding and collapsing of the rock material, it is necessary to check the stability of the projected slopes both at the dump sites and at the opencast mine itself. An analysis of the geomechanical slope stability at the dumps and the dacite opencast mine Ceramide near Rudnik is given in this paper.

Keywords: opencast mine, Ceramide, slope stability, dacite, Rudnik

1. Uvod

Eksploataciono polje Čeramide, a u okviru njega i ležište dacita, nalazi se u ataru sela Zagrađe koje pripada teritoriji Opštine Gornji Milanovac (Moravički okrug). Ležište je udaljeno od Gornjeg Milanovca oko 17 km, a od varošice Rudnik 3 km. Ležište je ne kategorisanim putem u dužini od 2,5 km povezano sa putem prvog reda - Ibarskom magistralom, na deonici između Gornjeg Milanovca i Ljiga.

Ležište se prostire na površini od oko 18,6 ha, dok je do sada istraženo tek oko 7 ha. Sam proboj dacita ima prilično izometričan oblik. Morfološki, istražni prostor je na strmoj i krševitoj padini sa prosečnim topografskim nagibom oko 30°. Istraženi deo se pruža pravcem SI-JZ. U okviru ležišta se

¹ Prof. dr Šubaranović Tomislav, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

² Prof. dr Čebašek Vladimir, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

³ Prof. dr Dimitrijević Bojan, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

⁴ Rupar Veljko, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

nalaze postrojenja za preradu i ona se koriste pri eksploataciji.

Na širem prostoru koje gravitira ka ležištu ne postoje stalni vodotokovi, niti izdani. Južnom granicom ležišta u zoni osnovne-manipulativne etaže kopa protiče potok Brezovica koji odvodi oborinske vode sa kopa. Potok je u zoni kopa regulisan. Sagledano u celini ležište Čeramide ima povoljne hidrogeološke uslove za eksploataciju i sem navedenih eventualnosti koje je moguće tehnički rešiti ne postoje druga ograničenja u ovom kontekstu.

U okviru ležišta izdvojene su tri kategorije dacitskih stena kao i sedimenti krednog fliša, te je sa geomehaničkog aspekta sredina anizotropna. Daciti prve faze izlivanja imaju visoka mehanička svojstva i predstavljaju kompleks čvrstih stena sa aspekta geomehaničkih karakteristika. Daciti druge faze izlivanja su nižih mehaničkih svojstava od dacita prve faze izlivanja. Površinski grusifikovani dacit, kao i sedimenti fliša predstavljaju kompleks mekih stena sa znatno nižim geomehaničkim svojstvima.

2. Konstruktivni parametri površinskog kopa i odlagališta

Površinski kop je konstruisan sa sledećim konstruktivnim parametrima:

- visina etaže: $h_1 = h_2 = 12$ m
- širina berme u završnoj kosini: $B_1 = B_2 = 6$ m
- ugao nagiba radne kosine u masivnom dacitu: $\beta_1 = 75^\circ$
- ugao nagiba završne kosine u masivnom dacitu: $\alpha_1 = 52^\circ$
- ugao nagiba radne kosine u alterisanom dacitu i jalovini: $\beta_2 = 40^\circ$
- ugao nagiba završne kosine u masivnom dacitu: $\alpha_2 = 31^\circ$

U završnoj konturi površinskog kopa Čeramide postojaće 5 odlagališta, od kojih su četiri spoljašnja. Konstruktivne karakteristike odlagališta date su u Tabeli 2.1.

Tabela 2.1. Konstruktivni parametri odlagališta

Odlagalište	Ugao nagiba radne kosine (°)	Ugao nagiba završne kosine (°)	Visina etaže (m)	Širina berme u završnoj kosini (m)
Spoljašnje jugozapadno	40 i 44	26	7 i 6	6
Spoljašnje istočno	38 i 50	26	8 i 5	6
Spoljašnje južno	35 i 44	26	9,5 i 6	6
Unutrašnje	33	26	12	6
Spoljašnje zapadno	38	26	8	6

3. Analiza geomehaničke stabilnosti kosina

Analize stabilnosti kosina izrađenih u stenskom masivu dacita i alterisanog dacita sa lokaliteta površinskog kopa Čeramide su izvedene sa vrednostima faktora oštećenja stenskog masiva D za kosine koje su formirane masovnim miniranjem na površinskim kopovima, $D = 1$.

Svojstva stenskog materijala sa površinskog kopa Čeramide kod Rudnika dobijena su na osnovu podataka o fizičko-mehaničkim svojstvima stenskog materijala koji su prikupljeni iz raspoložive dokumentacije. Na osnovu rezultata statističke obrade rezultata laboratorijskih ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava uzoraka GM-1 i GM-2 iz 2009. godine i rezultata ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava stenskog materijal odložene jalovine i alterisanog dacita iz 2020. godine, za stenski masiv dacita ležišta Čeramide usvojene su vrednosti GSI faktora u intervalu od 45 do 55, a za alterisani dacit usvojene su vrednosti GSI faktora u intervalu od 15 do 25. Takođe usvojeni računski parametri za stenski masiv dacita i alterisanog dacita su prikazani u Tabeli 3.1, a računski parametri za nasuti materijal (odloženu jalovinu) i jalovinski prekrivač prikazani su u Tabeli 3.2, dok su za peščar prikazani u Tabeli 3.3.

Tabela 3.1. Računski parametri stenskog materijala sa lokacije površinskog kopa Čeramide kod Rudnika za Hoek-Brown kriterijum

Parametri	Dacit	Alterisani dacit
Zapreminska težina, γ (kN/m ³)	25,08	24,04
Čvrstoća na pritisak, σ_{cm} (MPa)	144,432	17,756
GSI faktor	45 – 55 50	15 – 25 20
Koeficijent stenskog masiva, m_i	1,471	0,424
Materijalna konstanta, s	0,004	0,0001
Materijalna konstanta, a	0,506	0,544
Faktor oštećenja stenskog masiva, D	1,0	1,0

Tabela 3.2. Računski parametri nasutog materijala (odložene jalovine) i jalovinskog pokrivača

Lokalitet	Zapreminska težina γ (kN/m ³)	Ugao unutrašnjeg trenja φ (°)	Kohezija c (kPa)
Nasut materijal (odložena jalovina)	17,80	30,75	1,50
Jalovinski pokrivač	20,00	30,75	20,00

Tabela 3.3. Računski parametri peščara

Parametri	Vrednosti
Zapreminska težina, γ (kN/m ³)	22,00
Čvrstoća na pritisak, σ_{cm} (MPa)	50,00
GSI faktor	45 – 55 50
Koeficijent stenskog masiva, m_i	0,366
Materijalna konstanta, s	0,00024
Materijalna konstanta, a	0,5057
Faktor oštećenja stenskog masiva, D	1,0

3.1. Analiza stabilnosti kosina

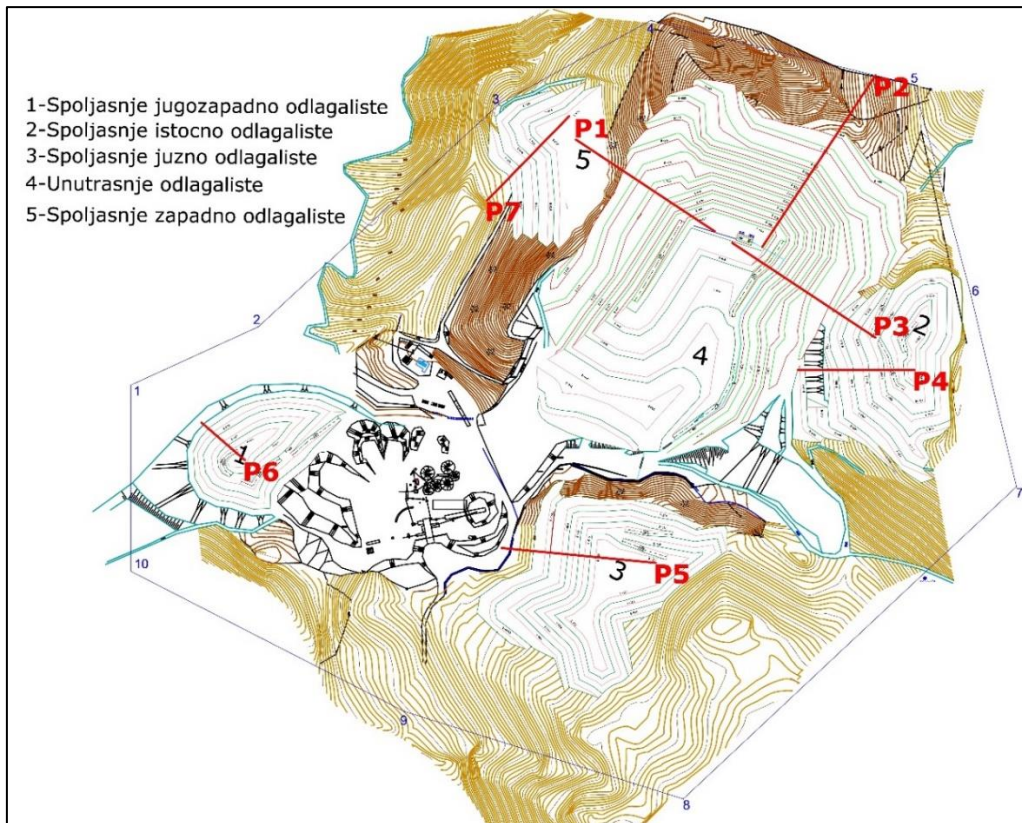
Analiza stabilnosti kosina površinskog kopa Čeramide je izvršena za završno stanje razvoja radova na površinskom koku na karakterističnim profilima koji su označeni sa P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 i P8. Položaj profila predviđenih za analizu stabilnosti kosina je izabran na osnovu geometrije kosina na ovim profilima, geološke građe stenskog masiva i potencijalnog uticaja površinskog kopa na okolne objekte. Položaj profila predviđenih za analizu stabilnosti kosina prikazan je na Slici 3.1.

Geometrija kosina na karakterističnim profilima je prikazana u Tabeli 3.4.

Tabela 3.4. Geometrija kosine pristupnog puta na karakterističnim profilima

Profil	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Visina kosine (m)	71,87	132,00	102,00	34,53	37,00	18,80	32,00	48,00
Ugao nagiba kosine (°)	38	47	47	26	29	29	28	27

Karakteristični profili kosina površinskog kopa, koji su korišćeni za analize se u litološkom pogledu sastoje iz: jalovinskog pokrivača, alterisanog dacita, dacita i peščara. Profili kosina spoljašnjih i unutrašnjeg odlagališta površinskog kopa, koji su korišćeni za analize se, u litološkom pogledu, sastoje iz: jalovinskog pokrivača, kao podloge, i nasutog materijala (odložene jalovine).

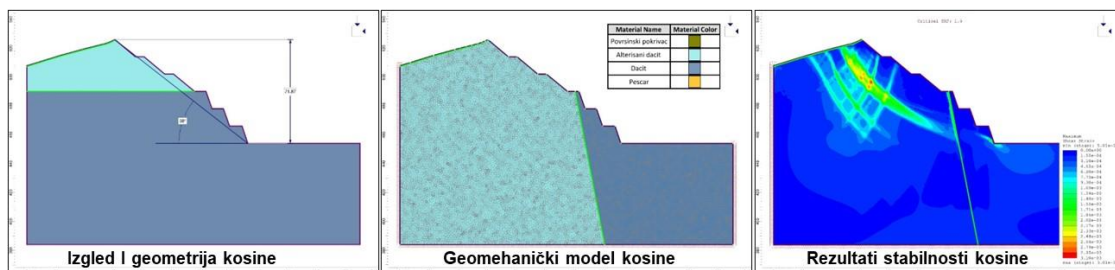


Slika 3.1. Položaj karakterističnih profila kosina površinskog kopa i spoljašnjih odlagališta Čeramide

Stabilnost kosina površinskog kopa Čeramide je analizirana u skladu sa važećim Pravilnikom o tehničkim normativima za površinsku eksploataciju ležišta mineralnih sirovina, gde faktor sigurnosti završne kosine površinskog kopa mora da zadovolji uslov $F_s \geq 1.30$.

Analiza stabilnosti kosina površinskog kopa Čeramide je izvršena metodom konačnih elemenata, dok je analiza stabilnosti kosina spoljašnjih odlagališta izvršena metodom Bishopa. Proračuni i analize stabilnosti kosina na karakterističnim profilima su izvršeni uz primenu savremenih specijalizovanih programskih paketa RS2 verzija 11.013 i Slide2 verzija 9.020, firme Rocscience Inc., koji su vlasništvo Katedre za mehaniku stena Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu.

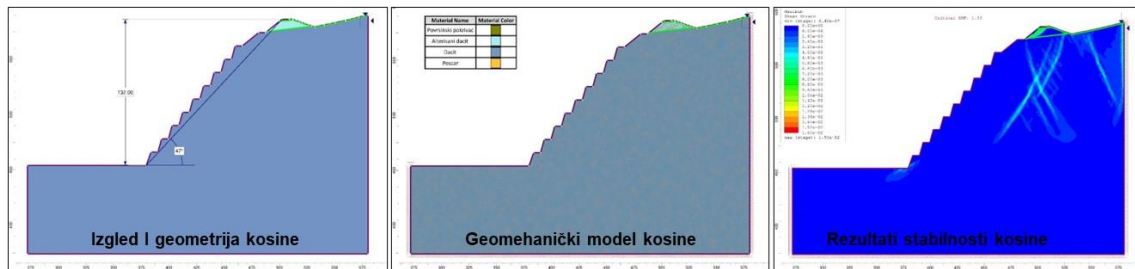
Položaj karakterističnog **profila P1** površinskog kopa Čeramide je prikazan na Slici 3.1, dok je izgled profila dat na Slici 3.2. Kosina na ovom profilu se, u litološkom pogledu, sastoji iz dacita (dacit I faze), alterisanog dacita (dacit II faze) i jalovinskog pokrivača. Analizom stabilnosti kosine na profilu P1 metodom konačnih elemenata, utvrđeno je da faktor sigurnosti ove kosine iznosi 1,50 (Slika 3.2). Rezultat navedene analize ukazuje na činjenicu da je kosina u zoni profila P1 stabilna.



Slika 3.2. Rezultat analize stabilnosti kosine na profilu P1

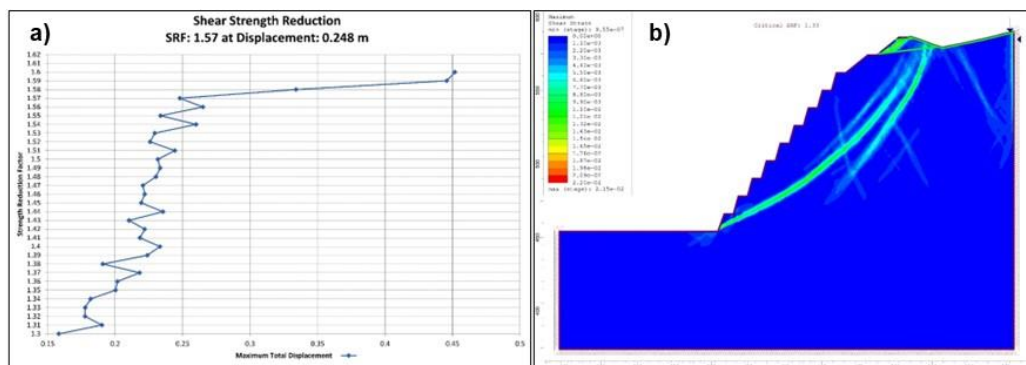
Položaj karakterističnog **profila P2** površinskog kopa Čeramide je prikazan na Slici 3.1, dok je izgled profila dat na Slici 3.3. Kosina na ovom profilu se, u litološkom pogledu, sastoji iz dacita (dacit

I faze), alterisanog dacita (dacit II faze) i površinskog sloja (humusa). Analiza stabilnosti kosine na profilu P2 je izvršena primenom metode konačnih elemenata, pri čemu je utvrđeno da faktor sigurnosti dela kosne formirane u alterisanom dacitu (dacit II faze) iznosi 1,33. (Slika 3.3).



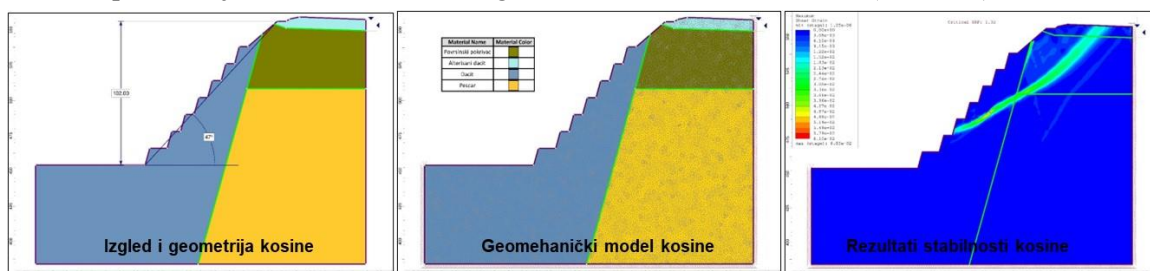
Slika 3.3. Rezultat analize stabilnosti kosine na profilu P2

Uvidom u rezultate detaljne analize stabilnosti kosine na ovom profilu konstruisan je dijagram maksimalnih pomeranja za odgovarajuće vrednosti faktora redukcije čvrstoće na smicanje koji je prikazan na Slici 3.4 pod a). Na osnovu ovog dijagrama se jasno može uočiti da vrednost faktora sigurnosti celokupne kosine na profilu P2 iznosi 1,57, položaj zone klizanja je prikazan na Slici 3.4 pod b). Rezultati navedene analize ukazuju na činjenicu da je kosina u zoni profila P2 stabilna.



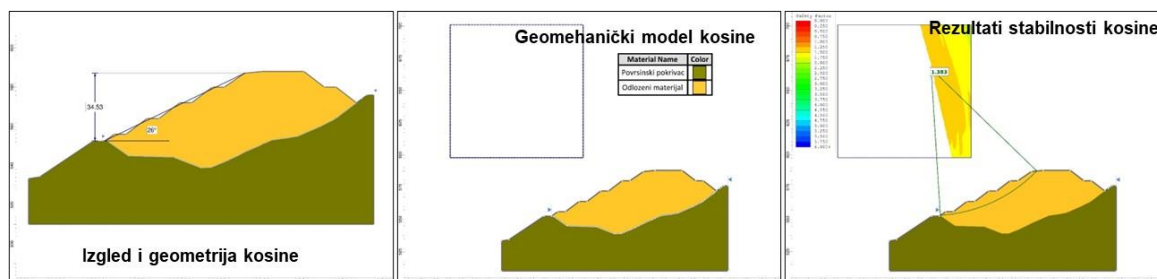
Slika 3.4. Dijagram maksimalnih pomeranja za odgovarajuće vrednosti faktora redukcije čvrstoće na smicanje; b) rezultati analize stabilnosti celokupne kosine na profilu P2

Položaj karakterističnog **profila P3** površinskog kopa Čeramide je prikazan na Slici 3.1, dok je izgled profila prikazan na Slici 3.5. Kosina na ovom profilu se, u litološkom pogledu, sastoji iz dacita (dacit I faze), alterisanog dacita (dacit II faze), nasutog materijala (odložene jalovine) i površinskog sloja (humusa). Analiza stabilnosti kosine na profilu P3 je izvršena primenom metode konačnih elemenata, pri čemu je utvrđeno da faktor sigurnosti ove kosine iznosi 1,32 (Slika 3.4).



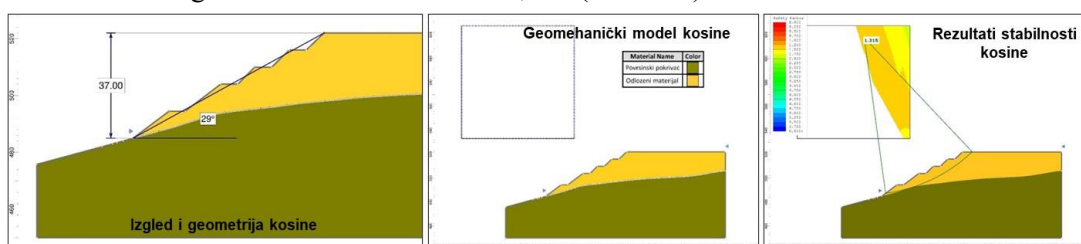
Slika 3.5. Rezultat analize stabilnosti kosine na profilu P3

Položaj karakterističnog **profila P4** istočnog spoljašnjeg odlagališta površinskog kopa Čeramide je prikazan na Slici 3.1, dok je izgled profila prikazan na Slici 3.6. Kosina na ovom profilu se, u litološkom pogledu, sastoji iz nasutog materijala (odložene jalovine) i jalovinskog pokrivača. Analiza stabilnosti kosine istočnog spoljašnjeg odlagališta na profilu P4 je izvršena primenom metode Bishop, pri čemu je utvrđeno da faktor sigurnosti ove kosine iznosi 1,383 (Slika 3.6).



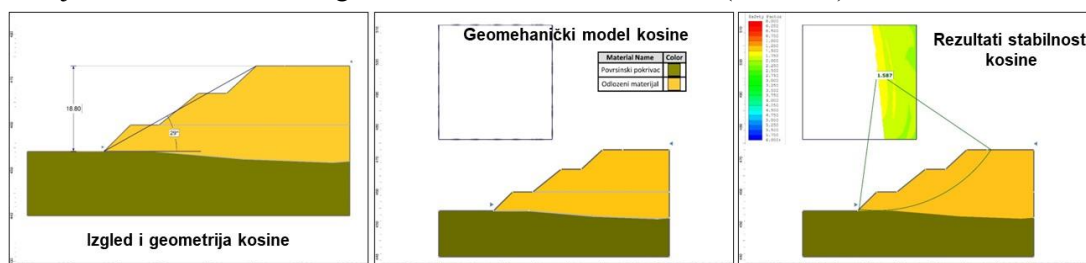
Slika 3.6. Rezultat analize stabilnosti kosine na profilu P4

Položaj karakterističnog **profila P5** južnog spoljašnjeg odlagališta površinskog kopa Čeramide je prikazan na Slici 3.1, dok je izgled profila prikazan na Slici 3.7. Kosina na ovom profilu se, u litološkom pogledu, sastoji iz nasutog materijala (odložene jalovine) i jalovinskog pokrivača. Analiza stabilnosti kosine južnog spoljašnjeg odlagališta na profilu P5 je izvršena primenom metode Bishop-a, pri čemu je utvrđeno da faktor sigurnosti ove kosine iznosi 1,315 (Slika 3.7).



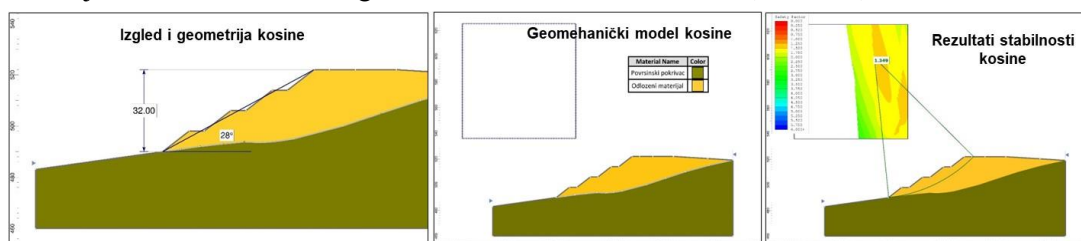
Slika 3.7. Rezultat analize stabilnosti kosine na profilu P5

Položaj karakterističnog **profila P6** jugozapadnog spoljašnjeg odlagališta površinskog kopa Čeramide je prikazan na Slici 3.1, dok je izgled profila prikazan na Slici 3.8. Kosina na ovom profilu se, u litološkom pogledu, sastoji iz nasutog materijala (odložene jalovine) i jalovinskog pokrivača. Analiza stabilnosti kosine jugozapadnog spoljašnjeg odlagališta je izvršena primenom metode Bishop, pri čemu je utvrđeno da faktor sigurnosti ove kosine iznosi 1,578 (Slika 3.8).



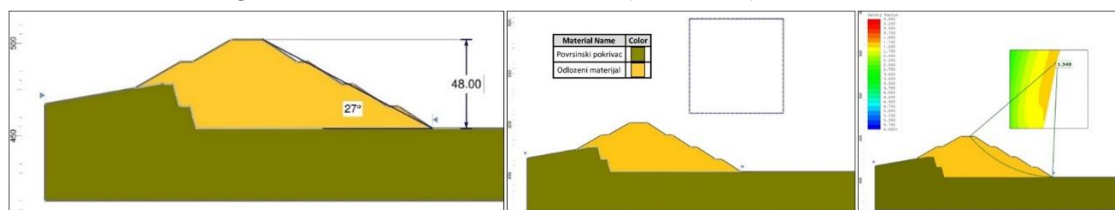
Slika 3.8. Rezultat analize stabilnosti kosine na profilu P6

Položaj karakterističnog **profila P7** zapadnog spoljašnjeg odlagališta površinskog kopa Čeramide je prikazan na Slici 3.1, dok je izgled profila prikazan na Slici 3.9. Kosina na ovom profilu se, u litološkom pogledu, sastoji iz nasutog materijala (odložene jalovine) i jalovinskog pokrivača. Analiza stabilnosti kosine zapadnog spoljašnjeg odlagališta na profilu P7 je izvršena primenom metode Bishop-a, pri čemu je utvrđeno da faktor sigurnosti ove kosine iznosi 1,349 (Slika 3.9).



Slika 3.9. Rezultat analize stabilnosti kosine na profilu P7

Položaj karakterističnog **profila P8** unutrašnjeg odlagališta površinskog kopa Čeramide je prikazan na Slici 3.1, dok je izgled profila prikazan na Slici 3.10. Kosina na ovom profilu se, u litološkom pogledu, sastoji iz nasutog materijala (odložene jalovine) i jalovinskog pokrivača. Analiza stabilnosti kosine unutrašnjeg odlagališta na profilu P8 je izvršena primenom metode Bishop, pri čemu je utvrđeno da faktor sigurnosti ove kosine iznosi 1,348 (Slika 3.10).



Slika 3.10. Rezultat analize stabilnosti kosine na profilu P8

4. Zaključak

Analiza stabilnosti kosina površinskog kopa Čeramide je izvršena na karakterističnim profilima koji su označeni sa P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 i P8. Završnu kosinu površinskog kopa izgrađuju jalovinski pokrivač, alterisani dacit (dacit II faze), dacit (dacit I faze) i peščar, dok završne kosine spoljašnjih i unutrašnjeg odlagališta izgrađuju jalovinski pokrivač i nasuti materijal (odložena jalovina). Geometrija kosina na karakterističnim profilima je data u Tabeli 3.4.

Analiza stabilnosti kosina površinskog kopa Čeramide izvršena je metodom konačnih elemenata i za ove potrebe je korišćen programski paket RS2 verzija 11.013, dok je za analizu stabilnosti kosine odlagališta izvršena metodom Bishop uz korišćenje programskog paketa Slide2 verzija 9.020. Oba programska paketa su proizvodi firme Rocscience Inc. i isti su vlasništvo Katedre za mehaniku stena Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu. U Tabeli 4.1, dat je prikaz rezultata analize stabilnosti kosine na karakterističnim profilima.

Tabela 4.1. Prikaz geometrije kosina sa rezultatima analize stabilnosti

Profil		Visina kosine H (m)	Ugao nagiba kosine α (°)	Metoda za analizu stabilnosti kosine	Faktor sigurnosti F_s
Oznaka	Kosina				
P1	Površinski kop	71,87	38	MKE	1,50
P2	Površinski kop	132,00	47	MKE	1,33 (1,57)
P3	Površinski kop	102,00	47	MKE	1,32
P4	Istočno spoljašnje odlagalište	34,53	26	Bishop	1,383
P5	Južno spoljašnje odlagalište	37,00	29	Bishop	1,315
P6	Jugozapadno spoljašnje odlagalište	18,80	29	Bishop	1,587
P7	Zapadno spoljašnje odlagalište	32,00	28	Bishop	1,349
P7	Unutrašnje odlagalište	48,00	27	Bishop	1,348

Prema rezultatima prikazanim u Tabeli 4.2, za analizirana stanja kosina površinskog kopa Čeramide na profilima P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 i P8 minimalni faktori sigurnosti iznose od 1,315 do 1,500 i zadovoljavaju kriterijum stabilnosti za završne kosine, $F_s \geq 1,3$, odnosno, na osnovu prethodne analize može se zaključiti da su analizirane kosine stabilne.

Literatura

- [1] Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, (2009): Izveštaj o rezultatima ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava dacita sa lokacije Čeramide sa analizom stabilnosti kosina, Beograd

- [2] Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, (2022): Glavni rudarski projekat eksploatacije dacita kao tehničkog-građevinskog kamena na površinskom kopu Ćeramide kod Rudnika, Beograd
- [3] Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, (2020): Izveštaj o laboratorijskim ispitivanjima geomehaničkih svojstava stenskog materijala i proveri stabilnosti kosina sa lokaliteta površinskog kopa i odlagališta Ćeramide kod Rudnika, Beograd



**MOGUĆNOSTI UNAPREĐENJA UPRAVLJANJA MEHANIZACIJOM NA POVRŠINSKOM
KOPU DRMNO PRIMENOM KONCEPTA PAMETNOG RUDARSTVA**

**POSSIBILITIES OF IMPROVING THE MANAGEMENT OF MACHINERY ON OPENCAST
MINE DRMNO BY APPLYING THE CONCEPT OF SMART MINING**

Todorović F¹, Anđelić G.²

Apstrakt

U ovom radu su prikazane mogućnosti unapređenja upravljanja mehanizacijom na površinskom kopu (PK) Drmno u Ogranku TE-KO Kostolac - JP EPS. Unapređeno upravljanje bi obezbedilo efikasniju i troškovno racionalnu podršku radu mehanizacije, a suština je podići nivo raspoloživosti, gotovosti i pouzdanosti sistema. U tu svrhu, ideja je da se u perspektivi primene savremena tehnička znanja, procesni pristup, nove IKT tehnologije, kao i pojedini elementi pametnog rudarstva (Industrije 4.0). Rad takođe pruža analizu mogućnosti dalje primene pametnog rudarstva u sistemu održavanja, a u cilju prevazilaženja različitih izazova kao npr. produktivnosti, bezbednosti na radu, ekologije i zaštite životne sredine.

Ključne reči: mehanizacija, radne mašine, prikupljanje podataka, površinski kop, pametno rudarstvo

Abstract

This paper presents the possibilities of improving the management of machinery at opencast mine Drmno in the Branch TE-KO Kostolac - JP EPS. Improved management would provide more efficient and cost-effective support to the operation of machinery, and the essence is to raise the levels of availability, readiness and reliability of the system. For this purpose, the idea is to apply modern technical knowledge, process approach, new ICT technologies, as well as certain elements of smart mining (Industry 4.0) in the future. The paper also provides an analysis of the possibility of further application of smart mining in the maintenance system, in order to overcome various challenges such as. productivity, occupational safety, ecology and environmental protection.

Keywords: mechanization, working machines, data collection, opencast mine, smart mining

1. Uvod

Dugoročni cilj bi bio definisati okvir i elemente Industrije 4.0 za površinski kop Drmno (Koncept pametnog površinskog kopa), polazeći od razvijenih modela Informacionog sistema.

Ranija zajednička istraživanja inženjera sektora Pomoćne mehanizacije PK Drmno, Ogranak TE-KO Kostolac, JP Elektroprivrede Srbije (EPS), Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu i Instituta Mihajlo Pupin, Beograd, dovela su do realizacije i implementacije informacionog sistema/sistema informacionih i komunikacionih tehnologija (IS/IKT sistema) pomoćne mehanizacije (ISPM) na površinskom kopu uglja TE-KO. U ovom radu je prezentirano unapređenje sistema upravljanja

¹ Todorović Filip, JP EPS, Ogranak TE-KO Kostolac

² Anđelić Goran, JP EPS, Ogranak TE-KO Kostolac

sistemom održavanjem rezervnim delovima mašina i održavanja pomoćne mehanizacije u rudarstvu ogranku JP EPS, TE-KO Kostolac. Takođe, u svetu je sve prisutniji koncept pametnog rudarstva, baziran na Industriji 4.0 koju su lansirale najrazvijenije industrijske zemlje u svetu, i danas otišle najdalje u njenoj primeni.

U sklopu poboljšanja procesa upravljanja održavanja mašina pomoćne mehanizacije koju čine: buldozeri, pomerači, rovokopači, utovarivači, dizalice, kao i druge mašine i vozila, postavljeni su ključni indikatori performansi (KPI) procesa.

Realizacija i implementacija obuhvata sledeća savremena tehnička znanja, nove tehnologije u održavanju mašina i vozila, kao i savremene pristupe i tehnologije u upravljanju poslovnim sistemima:

- Savremeni pristup upravljanja sistemom održavanjem mašina i vozila PM;
- Savremeni pristup upravljanja sistem rezervnih delova;
- Poslovnu procesnu organizacionu strukturu (izvršenja poslova operativnog rada i održavanja);
- Informacioni sistemi (sa aplikativnim softverima i hardverom);
- Sistem GPS/GPRS informaciono komunikacionih tehnologija (za praćenje parametara rada mašina i vozila: pozicija, gorivo, rad motora, pređeni put i dr.);
- Upravljanje na bazi raspoloživosti mašina i vozila pomoćne mehanizacije;
- Upravljanje na bazi gotovosti mašina i vozila pomoćne mehanizacije;
- Ocenu uspešnosti sistema održavanja na bazi gotovosti i troškova (eksploatacije) i održavanja mašina i vozila;
- Pouzdanost mašina i vozila pomoćne mehanizacije;
- Elementi Sistema kvaliteta.

2. Koncept pametnog rudarstva

Šta je pametni površinski kop?

Industrija 4.0 je postala globalna strateška inicijativa naučno-tehnološkog razvoja. U suštini, to je novi model primene informaciono-komunikacionih sistema, zasnovan pre svega na njihovoj integraciji sa objektom primene (proizvodnja (BTO), transport, rudarstvo, itd.), a radi podizanja kvaliteta proizvoda i usluga, brzine odgovora na zahteve kupaca i korisnika, fleksibilnosti proizvodnje i usluge i produktivnosti proizvodnje i vršenja usluga. Površinski kopovi i teška mehanizacija koja na njima radi, predstavljaju specifične proizvodne sisteme, a u okviru ovog Projekta oni će biti postavljeni kroz model održavanja teške mehanizacije (bager i ostale mašine), prema održavanju po stanju kao sajber fizičkog sistema, a planiranje i upravljanje eksploatacijom se vrsi prema ERP i MES modelu za Industriju 4.0 (cloud).

U radu, u narednim poglavljima, dat je opis sistema održavanja PM. U Poglavlju 3 opisan je korišćenja i praćenja rezervnih delova u sistemu održavanja. Sagledavanje koncepta pametnog rudarstva u upravljanju održavanja i rezervnih delova je opisan u Poglavlju 4. Razvijen model IS/IKT sistema pomoćne mehanizacije koji je baziran na savremenim informaciono-komunikacionim tehnologijama za potrebe održavanja je predstavljen u Poglavlju 5. Zaključna razmatranja ukazuju su dalje pravce unapređenja postojećeg IS/IKT sistema prevođenjem u model pametnog rudarstva.

3. Upravljanje održavanjem radnih mašina

Trenutno saznanje kroz korišćenje OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) i KPI-je o stanju da li je oprema u lošem operativnom stanju ili nedovoljno iskorišćena, omogućava menadžmentu da izvrši brze intervencije. Prosečno vreme između otkaza (MTBF) i prosečno potrebno vreme za popravku (MTTR), omogućava rudniku da izbegne neočekivane i skupe zastoje kroz proaktivno održavanje. Predstavljanje iznosa korektivnih, preventivnih i troškova održavanja pomaže da se otkrije koliko vremena i novca

rudnik troši na aktivnosti održavanja. Dostupnost opreme pomaže da se utvrdi koliko dugo je oprema bila dostupna za rad tokom vremena proizvodnje. Ovo pomaže menadžmentu da utvrdi koja oprema obično nije dostupna i istraži osnovne razloge. Vreme ciklusa za posao koji se izvodi na mašini je važno za upravljanje učinkom proizvodnje. Prema tome, vreme potrebno za proizvodnju planirane količine uglja se izvodi sabiranjem raspoloživih kapaciteta radnih mašina sa planiranim radnim vremenom. Učinak se izračunava deljenjem stvarnih i planiranih količina uglja. Poznavanje vremena ciklusa mašine i performansi nije dovoljno ako nisu priložene informacije o kvalitetu iskopanog uglja. Dakle, informacije o kvalitetu postaju dostupne u rudniku tako što se porede količine kvalitetnog iskopanog uglja sa ukupnom količinom proizvedenog uglja. Posedovanje kvalitetnih informacija u realnom vremenu pomaže menadžmentu rudniku da upravlja realnim procesima proizvodnje.

4. Upravljanje rezervnim delovima

Polazeći od cilja upravljanja rezervnim delovima (R/D) je da se obezbede R/D za uspešno održavanje mašina i vozila na površinskom kopu uglja. To znači da je neophodno za sprovođenje održavanja mašina/vozila da se blagovremeno obezbedi i skladišti R/D u magacinima pomoćne mehanizacije: 09 Magacin pomoćne mehanizacije Drmno, 10 Magacin goriva i maziva Drmno (05 Magacin delova Ćirikovac). Cilj unapređenja upravljanja R/D je da se unapredi ovaj proces, kako bi se efikasnije i efektivnije koristili R/D za održavanje mašina/vozila, uz smanjenje troškova. Ovim se obezbeđuje ciljna raspoloživost i gotovost mašina i vozila za obavljanje pomoćnih radova na površinskom kopu uglja.

Implementacija izveštaja Industrije 4.0 omogućava menadžmentu da vidi važne informacije o svim rezervnim delovima, kao što su: cena, vek trajanja, prosečni kvar prema tipu i drugi važni atributi. Poznavanje ove vrste informacija pomaže u optimizaciji procesa upravljanja zalihama rezervnih delova.

5. IS/IKT sistem za održavanje i rezervne delove

IS/IKT sistem PM obuhvata IS/IKT za podršku upravljanju sistemom održavanja pomoćne mehanizacije, a ISPMO i IS/IKT za podršku upravljanju sistemom eksploatacije pomoćne mehanizacije. ISPME. ISPMO i ISPME su logički paketi integrisanog informacionog sistema za upravljanje pomoćnom mehanizacijom. Glavni procesi upravljanja pomoćnom mehanizacijom se izvršavaju uz podršku IS/IKT sistema PM.

Razvoj i projektovanje ISPMO je integrisan sa postojećim ISPME, odnosno, pored drugih obuhvata (na primer, delimično i infrastruktura), obuhvaćeno je održavanje podataka opštih i tehničkih karakteristika mašina i vozila. To se odnosi na podatke o: mašinama/vozilima, radnicima i podatke opštih šifarnika (npr. pozicije mašina i vozila). Navedeni podaci su važni za integraciju podataka o radu mašina-vozila u sistem za praćenje PM, uz primenu GPS/GPRS tehnologija, kao i u sistem za upravljanje procesima operativnog rada - eksploatacije pomoćne mehanizacije (ISPME), kao i u budućem sistemu upravljanja održavanjem PM (ISPMO). Ovim je obuhvaćeno održavanje podataka o više skupova podataka koji se odnose na tehničke karakteristike mašina, radnike i grupe radnika koje rade na mašinama, po smenama i druge šifarnike.

5.1. Logička arhitektura ISPMO

Glavni procesi PM u održavanju-PMO su razvijeni i projektovani tako da se izvršavaju uz podršku sistema IS PMO koji obuhvata aplikativne softvere za podršku:

- Glavnim poslovnim procesima:
 - a) Održavanje mašina/vozila
 - b) Usluge održavanja kod trećih lica
 - c) Troškovi održavanja (R/D, rad radnika u održavanju)
 - d) Merenje performansi procesa održavanja
 - e) Podrška godišnjem planiranju održavanja PM
 - f) Obezbeđenje određenih kvalifikacija radnika u održavanju

- g) Informisanje za menadžment
- h) Podrška upravljanju R/D;
 - Prezentaciju informacija na mobilnom uređaju;
 - Integraciju sa drugim sistemima (postojeći IS/IKT)
- a) ISPME (npr. opšti i tehnički podaci o mašinama i vozilima)
- b) GPS/GPRS za praćenje lokacija mašina/vozila i pokazatelja rada
- c) FIS (npr. podaci o R/D, podaci o R/D u magacinima PM).

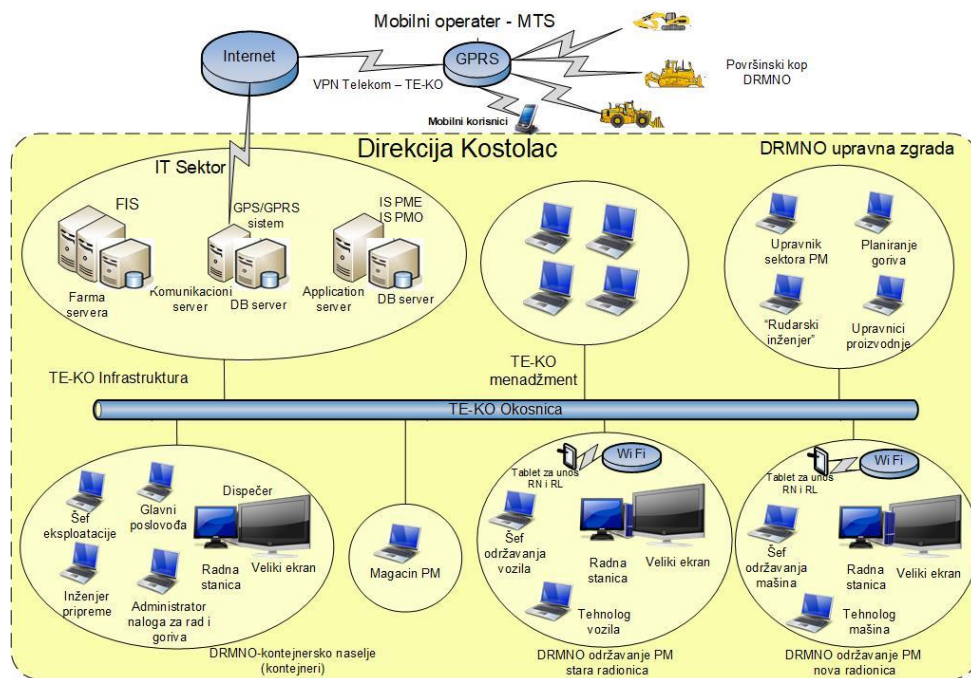
IS/IKT podrška upravljanju R/D je razvijena i projektovana tako da obuhvata podršku aktivnostima sledećih poslovnih procesa sa podrškom aplikativnih softvera:

- Evidentiranje i održavanje pripadnosti R/D (agregata, sklopa, podsklopa, dela mašini/ vozilu (koji je integrisan sa FIS-om);
- Praćenje *kružećih* delova sa mašine/vozila do ugradnje istih u mašinu/vozilo, kao i za otpis;
- Evidentiranje ulaza i izlaza R/D u tzv. *nove magacine*;
- Pregledi i izveštaji o R/D u tzv. *novim magacinima*.

5.2. Fizička arhitektura ISPMO u okviru ISPM

ISPM (sa obuhvatom ISPMO) je razvijen i projektovan kao jedinstvena infrastrukturu IKT za ISPMO I ISPME koja se u potpunosti oslanja na TE-KO IKT infrastrukturu koju čini računarska i komunikaciona oprema. Komponente ISPMO se raspoređuju na više lokacija, u skladu sa fizičkom distribucijom poslovnih procesa održavanja i eksploatacije mašina i opreme PM (Slika 1):

- Direkcija Kostolac (TE-KO menadžment, IT sektor u kome je smeštena serverska i komunikaciona oprema);
- Drmno Upravna zgrada (radne stanice korisnika);
- Drmno kontejnersko naselje (radne stanice opšte i specijalne namene);
- Drmno održavanje PM - stara i nova radionica (računarske radne stanice za unos, pretraživanje i prikaz podataka, mobilni uređaji za pristup podacima ISPMO);
- Magacin PM (radne stanice);
- Površinski kop Drmno (komunikaciona oprema, GPS/GPRS uređaji na mašinama/vozilima, mobilni uređaji za pristup ISPMO);
- TE-KO okosnica (komunikaciona magistrala)
- Fizička arhitektura ISPM je otvorena za dalja funkcionalna i tehnološka proširenja, u skladu sa potrebama daljeg razvoja Sistema.



Slika 1. Fizička arhitektura ISPMO

6. Zaključak

Realizovani IS/IKT sistem PM obuhvata IS/IKT za podršku upravljanju sistemom eksploatacije i sistemom održavanja pomoćne mehanizacije (PMO), obezbeđujući dobijanje prave informacije u pravo vreme za definisani kontekst fleksibilnosti.

Za analizu rentabilnosti rada pojedine mašine ili pomoćne mehanizacije u celini radi se analiza troškova i prihoda u kontekstu ostvarene proizvodnje uglja na PK. Minimalna vrednost eksploatacije koja obezbeđuje poslovanje bez gubitaka je definisana jednakošću ukupnih troškova i ukupnih prihoda. U procesu proizvodnje uglja na površinskim kopovima, pomoćna mehanizacija se pojavljuje sa svojom uslugom - pomoćnim radovima koji prate proizvodnju uglja kao prethodni radovi, prateći radovi, naknadni radovi (npr. radovi na kopanju, utovaru, kopanju kanala). Ovi radovi su proizvod pomoćne mehanizacije i kao takvi imaju cenu koštanja, a i ulaze u cenu proizvodnje.

Prevođenje sistema upravljanja PM na model Industije 4.0 na površinskim kopovima uglja ići će, pre svega u pravcu horizontalne i vertikalne integracije. Horizontalna integracija će stvarati dodatnu vrednost kroz nove i unapređene usluge PM. Biće obuhvaćena podrška automatskom unosu – automatskom prihvatanju podataka za radni nalog (RN) i radne liste (RL) sa digitalnih nosača informacija sa čipom. To će omogućiti brže i efikasnije evidentiranje samog procesa rada zaposlenih (servisera) prema izdatom radnom nalogu i radnoj listi, dalje, korišćenjem beskontaktno smart ID kartice (kakve već postoje u TE-KO za kontrolu pristupa), biće omogućeno evidentiranje početka i završetka rada po RN odnosno RL, kao i vreme prekida rada servisera koji je upućen ili raspoređen na drugi RN. Ovaj podsistem će omogućiti serviseru za dati RN, prijavljivanje početka i kraja rada po RN, prinošenjem beskontaktno smart ID kartice NFC mobilnom uređaju.

Vertikalna integracija će ići ka efektivnijem povezivanju tehnološkog sistema proizvodnje uglja velikim bagerima (na kojima je već postavljen izvestan broj lokacijskih senzora) i sistema pomoćne mehanizacije (sa lokacijskim sensorima na jedinicama PM). Ovo će voditi ka daljoj optimizaciji korišćenja PM u procesu proizvodnje uglja.

Dalje, analizom dobijenih podataka sa senzora i drugih izvora podataka doći će se do parametara produktivnosti i konkurentnosti, a broj parametara koji se prate i/ili analiziraju praktično nije ograničen,

čime se dolazi do suštinske prednosti modela Industrija 4.0 u primeni, a posebno u garantovanju visoke tačnosti i kvaliteta proizvoda i usluga.

Literatura

- [1] Pantelić S., Stošić D., Ivanović G., Dimitrijević S., Stefanović B., Radiša Đurić R.: Pogled na unapređenje upravljanja operativnim radom pomoćne mehanizacije na površinskom kopu uglja sa ikt podrškom
- [2] Simeunović V., Stošić D., Majstorović V., Pantelić S., Dimitrijević S., Todorović F., Mitrović R.: Razvoj modela industrija 4.0 na površinskom kopu uglja



**MENADŽMENT POSLOVNIH FUNKCIJA U SKLOPU MENADŽMENT SISTEMA
PREDUZEĆA MINERALNOG SEKTORA U AKTUELNIM USLOVIMA POSLOVANJA**

**MANAGEMENT OF BUSINESS FUNCTIONS WITHIN THE SYSTEM MANAGEMENT OF
MINERAL SECTOR ENTERPRISES IN CURRENT BUSINESS CONDITIONS**

Tošović R.¹

Apstrakt

U savremenim turbulentnim i promenljivim uslovima poslovanja preduzeća mineralnog sektora i mineralne ekonomije, menadžment predstavlja nezaobilazni metod upravljanja preduzećem kao nosiocem ekonomskih aktivnosti. Pri tome menadžment integriše određene poslove i funkcije, što obezbeđuje uspešnost obavljanja poslovnih aktivnosti u geološko-rudarsko-tehnološkom domenu na rudnim ležištima uz ostvarivanje različitog nivoa pratećih pozitivnih ekonomskih efekata. Bez obzira na složenost uslova, u skladu sa značajem odluka o postavljenim ciljevima poslovanja preduzeća mineralnog sektora i njihovog ostvarivanja, izdvajaju se tri osnovna oblika upravljačkih aktivnosti, koji pripadaju strategijskom menadžmentu, operativnom menadžmentu i menadžmentu poslovnih funkcija. Strukturno i funkcionalno svaki navedeni menadžerski segment ima odgovarajuće mesto i ulogu, ali se sa stanovišta neposredne funkcionalne realizacije poslova u aktuelnim uslovima prema značaju posebno izdvaja menadžment poslovnih funkcija.

Ključne reči: menadžment, menadžment poslovnih funkcija, mineralni sektor, mineralna ekonomija

Abstract

In the modern turbulent and changing business conditions of companies in the mineral sector and the mineral economy, management is an indispensable method of managing the company as a carrier of economic activities. At the same time, the management integrates certain jobs and functions, which ensures the success of business activities in the geological-mining-technological domain on the ore deposits with the achievement of different levels of accompanying positive economic effects. Regardless of the complexity of the conditions, in accordance with the importance of the decisions on the set business goals of mineral sector companies and their realization, three basic forms of management activities are distinguished, which belong to strategic management, operational management and management of business functions. Structurally and functionally, each mentioned managerial segment has a corresponding place and role, but from the point of view of the immediate functional realization of jobs in current conditions, the management of business functions is especially distinguished according to its importance.

Keywords: management, management of business functions, mineral sector, mineral economy

1. Uvod

¹Prof. dr Tošović Radule, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Departman Ekonomske geologije, e-mail: toshovic@yahoo.com, tosovic@rgf.bg.ac.rs

Ostvarivanje materijalne proizvodnje mineralnih sirovina u preduzećima mineralnog sektora i mineralne ekonomije, zahteva obezbeđenje i međusobno povezivanje elemenata predmetne mineralne proizvodnje metaličnih, nemetaličnih i energetskih mineralnih sirovina kao konačnog tržišnog proizvoda [1]. Prema klasičnoj ekonomskoj podeli poslovnih sredstava preduzeća [2, 3, 4], neophodno je obezbediti sredstva rada, predmete rada i radnu snagu, čija je najvažnija funkcija namenska upotreba i transformacija, koja omogućuje proizvodnju mineralnih proizvoda i mineralnih komponenata. Osim generalnih specifičnosti navedena tri elementa, koji su neophodni za mineralnu proizvodnju, postoje i posebne specifičnosti, koje naročito obuhvataju mineralne rezerve, kao specifična obrtna sredstva. Njihovo pronalaženje, istraživanje, kvalitativno-kvantitativno definisanje, eksploatacija, tehnološko tretiranje i tržišna valorizacija zahtevaju posebne organizacione i menadžerske aktivnosti i procese, odnosno nezaobilaznu primenu savremenog menadžmenta i odgovarajućih menadžment funkcija.

U suočavanju sa složenim uslovima mineralne proizvodnje u Srbiji i kompleksnim tržišnim kretanjima u uslovima prisutnih posledica pandemije COVID 19 [5] i naročito posledica aktuelnih vojno-ratnih operacija na relaciji Rusija-Ukrajina, uz dodatnu umešanost zapadno-evropskih zemalja i SAD [6], organizovanje proizvodnih elemenata u mineralnoj ekonomiji, njihovo povezivanje i uključivanje u aktivnu proizvodnju postaje još složenije i zahteva posebno unapređenje primene menadžment procesa i aktivnosti. Uspešno obavljanje funkcija i poslova u preduzeću mineralnog sektora zahteva menadžerski usklađeno i povezano, komplementarno delovanje ljudi i materijalnih elemenata proizvodnje, kao uslov uspešne mineralne proizvodnje, operativnog funkcionisanja i poslovnog opstanka preduzeća, kao osnovnog privrednog subjekta. Pri tome upravo funkcije menadžmenta predstavljaju ključne aktivnosti usmerene na efikasno obezbeđivanje, raspoređivanje i korišćenje kadrovskih i materijalnih resursa [3, 7, 8], radi postizanja ciljeva mineralne proizvodnje u preduzećima mineralnog sektora i mineralnoj ekonomiji zemlje.

U menadžment sistemu preduzeća, upravljačke aktivnosti menadžera mineralnog sektora, u zavisnosti od stepena nadležnosti i ovlašćenja u procesu menadžerskog odlučivanja, kao i menadžerske odgovornosti za ostvarivanje ciljeva preduzeća, prema opštem pristupu [3, 9, 10] obuhvataju tri osnovna oblika aktivnosti: (a) strategijske menadžment aktivnosti; (b) operativne menadžment aktivnosti; i (c) menadžment poslovnih funkcija; uz prateće vrste menadžerskog postupanja. Navedeni oblici upravljačkih menadžerskih aktivnosti, razlikuju se po obuhvatu i složenosti odlučivanja o ciljevima, načinu koordinacije i kontrole poslovanja, kao i hijerarhijskom položaju pojedinih menadžera u sistemu upravljanja i rukovođenja preduzećem mineralnog sektora.

Problematika tretirana ovim radom jednim delom polazi od osnovnih postavki menadžmenta, menadžmenta mineralnih resursa i mineralne ekonomije [1-4, 7-10, 12-17, 29-31], 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 [5, 6, 11, 18-28]. Osnovni cilj ovog rada je da generalno ukaže na posebno mesto, ulogu i značaj menadžmenta poslovnih funkcija u menadžment sistemu preduzeća i menadžmentu mineralnog sektora, kako bi se preko njega poboljšali proizvodni i ekonomski efekti mineralne proizvodnje u preduzećima mineralnog sektora Srbije.

2. Strategijska menadžerska aktivnost kao osnova menadžment funkcija

Strategijski menadžment je suštinski veoma važan za mineralnu ekonomiju zemlje i mineralnu proizvodnju pojedinačnih preduzeća mineralnog sektora [11]. Osnovno razmatranje polazi od evidentne činjenice u menadžmentu kao nauci, da strategija, polazeći od opšteg pristupa [12-14], primenjenog na mineralni sektor, predstavlja upravljačku aktivnost preduzeća, koja se odnosi na izbor pravaca, metoda i instrumenata za ostvarivanje ciljeva mineralne proizvodnje, kao i funkcionisanja i razvoja preduzeća mineralnog sektora. Neophodnost izbora odgovarajuće menadžment strategije proističe iz uticaja dva značajna faktora, i to: (a) strategijskog značaja mineralnih sirovina; i (b) strategijskih okolnosti poslovanja preduzeća u određenom privrednom i društvenom okruženju, sa delovanjem različitih uticaja i ograničenja. Pri tome naročito treba imati u vidu da preduzeće mineralnog sektora raspolaže

ograničenim proizvodnim resursima i poslovnim mogućnostima, a kod određenih mineralnih sirovina, naročito nemetalnih postoji veoma izražena konkurencija drugih preduzeća u mineralnoj proizvodnji, koja ih primorava na izbor prave tržišne strategije poslovanja i unapređenja menadžment sistema.

Bazična uloga strategije u tekućem poslovanju i razvoju preduzeća mineralnog sektora je u pronalaženju najboljih mogućnosti i alternativa za ostvarivanje planiranih ciljeva mineralne proizvodnje, pod najpovoljnijim proizvodnim i ekonomskim uslovima. Navedeno uključuje veoma specifično kombinovanje potrebnih specijalizovanih ljudskih resursa (geoloških, rudarskih, tehnoloških i dr. specijalnosti) i raspoloživih materijalnih proizvodnih elemenata, među kojima su posebno bitne kvalitativno-kvantitativno definisane rudne rezerve i proizvodno-tehnički kapaciteti za njihovo istraživanje, eksploataciju, iskorišćenje, a potom tržišnu valorizaciju konačnih mineralnih proizvoda i mineralnih komponenata. Predmetna strategija takođe treba da uključi i ostvarivanje dodatnih konkurentskih prednosti preduzeća mineralnog sektora, kako bi se, na najbolji strategijski i poslovni način, odgovorilo na izazove i ograničenja privrednog i tržišnog okruženja i ujedno ostvario optimalni stepen efektivnosti poslovanja i efikasnosti privređivanja preduzeća mineralnog sektora.

Definisanju odgovarajuće menadžment strategije i neophodnih strategijskih aktivnosti preduzeća mineralnog sektora treba da prethodi analiza: (a) uslova tržišne konkurencije; i (b) dinamične promene u okruženju. Otuda u izboru prave poslovne i proizvodne strategije, shodno opštem pristupu [15, 16] neophodna je primena praktično proverenih naučnih metoda istraživanja, uz razmatranje širokog spektra pravaca, metoda i instrumenata primenjivih zavisno od postavljenih ciljeva i uslova poslovanja preduzeća mineralnog sektora u mineralnoj ekonomiji i predmetnoj mineralnoj proizvodnji.

Konačni izbor menadžment strategije preduzeća zavisi od veličine, razvijenosti, vrste i raznovrsnosti poslovne delatnosti preduzeća, ali isto tako i od stepena decentralizacije menadžerskog upravljanja preduzećem mineralnog sektora [11]. Predmetno strategijsko određenje u praksi treba sprovesti preko prethodno određene razvojne i poslovne politike preduzeća, koje, u krajnjem, ekonomski posmatrano, treba da omogući: (a) uspešno poslovanje; (b) ostvarenje profita kao ciljanog tekućeg poslovanja; i (c) razvoj celine preduzeća i njegovih pojedinačnih organizacionih delova. Celovito menadžerski posmatrano odluke o strateškim ciljevima poslovanja, koje pripadaju strategijskom menadžmentu, donose se na tri osnovna nivoa menadžerske upravljačke hijerarhije, i to: (a) preduzeća kao celine; (b) pojedinačnih poslovnih jedinica preduzeća; i (c) poslovnih funkcija preduzeća mineralnog sektora.

Na nivou celine preduzeća primarno se utvrđuje osnovna globalna strategija poslovanja, a ona se dalje razrađuje i spušta na poslovne jedinice i poslovne funkcije, kao funkcionalne delove organizacione strukture preduzeća, koje se bavi mineralnom proizvodnjom. Zato se u praktičnom strategijskom definisanju prvo sagledavaju elementi strategije celine preduzeća, a zatim utvrđuju specifičnosti strategijskih menadžerskih odluka na nivou poslovnih jedinica i poslovnih funkcija. Dodatna specifičnost kod preduzeća mineralnog sektora je potreba usklađenosti strategijskog menadžment postupanja shodno definisanoj mineralnoj strategiji na nivou mineralnog sektora i mineralne ekonomije zemlje.

3. Operativna menadžerska aktivnost kao osnova menadžment funkcija

U neposrednom proizvodnom procesu u mineralnoj proizvodnji, odgovarajuće strategijske odluke top menadžmenta, kao najvišeg upravljačkog organa preduzeća, shodno opštem pristupu u menadžmentu [7, 12], sa praktičnog stanovišta neophodno je pretvoriti u operativne poslove i zadatke, radi uspešnog ostvarivanja ciljeva poslovanja preduzeća mineralnog sektora.

Neophodnost navedene transformacije u operativne odluke proističe iz činjenice da su strategijske menadžerske odluke obično opšte, globalne i načelne, a potrebno ih je razraditi kao posebne, zaokružene zadatke pojedinih izvršnih funkcija preduzeća. Time se kroz operativno menadžersko upravljanje definišu neposredni, odnosno konkretni ciljevi i zadaci poslovnih jedinica i funkcija, koje je neophodno kvalitativno-kvantitativno izraziti radi uspešnije realizacije mineralne proizvodnje [11]. Kroz kvantitativno uobličavanje i izražavanje dobijaju se precizni menadžerski nalozi i uputstva neophodna

neposrednim izvršiocima, radnim i terenskim grupama i radnim i terenskim timovima, čime se dobijaju potrebni elementi za obezbeđenje kontrole njihovog ostvarivanja.

Operativno menadžersko upravljanje, prema opštem pristupu [3, 7, 8] važećem i za preduzeća mineralnog sektora i odvijanje mineralne proizvodnje, obuhvata: (a) upravljačke aktivnosti na prevođenju strategijskih ciljeva u operativne ciljeve i zadatke; i (b) aktivnosti menadžera na nivou poslovnih funkcija i organizacionih, odnosno poslovnih jedinica preduzeća mineralnog sektora. Menadžerski posmatrano upravljačke aktivnosti operativnog menadžmenta usmerene su na planiranje, organizovanje, vođenje i kontrolisanje odgovarajućih izvršnih poslova značajnih za mineralnu proizvodnju. Na taj način se praktično i u preduzećima mineralnog sektora održava obostrana povezanost strategijskog i operativnog menadžmenta. S jedne strane aktivnosti operativnog menadžmenta direktno proističu iz odgovarajućih funkcija strategijskog menadžmenta i predstavljaju njihovu razradu na konkretne ciljeve i zadatke. S druge strane aktivnostima operativnog menadžmenta se omogućuje ostvarivanje strategijskih ciljeva preduzeća, kao celovitog poslovnog i proizvodnog sistema u mineralnom sektoru i mineralnoj ekonomiji zemlje.

Operativne menadžerske aktivnosti u preduzećima mineralnog sektora, shodno opštem pristupu [17-19], obuhvataju: (a) donošenje odluka o operativnim ciljevima i zadacima organizacionih jedinica i poslovnih funkcija preduzeća mineralnog sektora; (b) planiranje visine i strukture ulaganja kapitala u proces specifične mineralne reprodukcije; (c) planiranje troškova poslovanja u mineralnoj proizvodnji; (d) planiranje rezultata poslovanja u mineralnoj proizvodnji; (e) koordinaciju rada na ostvarivanju operativnih ciljeva i zadataka u mineralnoj proizvodnji; i (f) kontrolu sprovođenja operativnih odluka i planova organizacionih jedinica i funkcija preduzeća mineralnog sektora [11].

Donošenje odgovarajućih odluka o operativnim ciljevima i zadacima organizacionih jedinica i poslovnih funkcija preduzeća mineralnog sektora podrazumeva detaljnu razradu uslova i načina implementacije odluka o strateškim ciljevima, politikama i planovima preduzeća mineralnog sektora. Pri tome je neophodno maksimalno uzimanje u obzir specifične strukture i uloge pojedinih delova, odnosno podsistema u sistemu preduzeća, kao i specifične uloge i domena obuhvata svake poslovne funkcije u poslovanju preduzeća mineralnog sektora.

Operativne menadžerske odluke, koje se odnose na organizacione jedinice preduzeća, neposredno usmerene na tržište, razlikuju se po karakteru i sadržini u odnosu na operativne menadžerske odluke proizvodnih ili drugih jedinica. S druge strane operativne menadžerske odluke, koje se odnose na poslovne funkcije takođe se razlikuju usled njihove specifičnosti u mineralnoj proizvodnji i poslovanju preduzeća.

Na osnovu odgovarajućih finansijskih i poslovnih planova preduzeća mineralnog sektora, koji se obično pripremaju na godišnjem nivou, a realizacija prati i na kvartalnom ili polugodišnjem nivou, zatim planiranih ulaganja i planiranih rezultata mineralne proizvodnje, operativni menadžment planira i finansijski uspeh poslovanja određene organizacione jedinice, koja učestvuje u mineralnoj proizvodnji. Pri tome je operativni menadžment poslovnih jedinica i funkcija u mineralnoj proizvodnji obavezan da, ekonomski efekat rada, tj. odnos rezultata i ulaganja u svom organizacionom delu uskladi sa planiranim poslovnim uspehom, kao usmeravajućim, na nivou preduzeća mineralnog sektora kao proizvodne celine.

Operativni zadatak menadžera u preduzećima mineralnog sektora [11] je koordiniranje rada i aktivnosti na ostvarivanju operativnih ciljeva i zadataka određene poslovne jedinice ili poslovne funkcije. On obuhvata povezivanje pojedinačnih izvršilaca, radnih grupa i timova u jedinstven poslovni proces, kao i vođenje radnih grupa i timova u okviru organizacione strukture određene poslovne jedinice ili poslovne funkcije preduzeća.

Proces menadžerskog koordiniranja podrazumeva uspostavljanje veza po horizontalnoj i vertikalnoj liniji, motivisanje i zalaganje svih članova radnih timova i grupa. On uključuje i vođenje kao menadžerski način uključivanja pojedinaca u odlučivanje o promenama u određenoj organizacionoj jedinici.

Menadžerska aktivnost koordiniranja obuhvata i preduzimanje mera za što racionalnije korišćenje

mineralnih i materijalnih proizvodnih resursa, kojima raspolaže određeni organizacioni deo. Ove mere proističu iz strateških odluka upravljačkog vrha o načinu pribavljanja i korišćenja mineralnih i materijalnih resursa i njihovog davanja na raspolaganje određenoj poslovnoj jedinici i njenom operativnom menadžmentu.

Kontrola ostvarivanja operativnih odluka i planova organizacionih jedinica i funkcija preduzeća, u savremenim uslovima poslovanja mineralnog sektora i mineralne ekonomije, predstavlja kontinuiranu aktivnost operativnog menadžmenta [11]. Posebna pažnja posvećuje se upoređivanju ostvarenih rezultata i stvarnih ulaganja sa planiranim rezultatima i planiranim ulaganjima. Proces kontrolisanja stoga zahteva utvrđivanje i standarde uspešnosti svake organizacione jedinice, koji upravljačkom vrhu služe za kontrolisanje aktivnosti njenog operativnog menadžmenta u cilju obezbeđenja proizvodne i poslovne uspešnosti preduzeća mineralnog sektora.

4. Menadžment poslovnih funkcija i aktuelno poslovanje

Organizaciona, menadžerska, procesna i radno-tehnološka složenost mineralne proizvodnje metaličnih, nemetalnih i energetskih mineralnih sirovina zahteva obuhvatanje manjeg ili većeg broja srodnih poslova i aktivnosti i njihovo grupisanje u odgovarajuće funkcije, odnosno poslovna područja. I pored pojedinačnih specifičnosti proizvodnog procesa različitih grupa, ali i vrsta mineralnih sirovina, koje se proizvode u mineralnoj ekonomiji zemlje, u preduzećima mineralnog sektora prema opštem pristupu [3, 11, 20, 21], generalno posmatrano prvenstveno se mogu izdvojiti poslovne funkcije i područja: (a) proizvodnje; (b) robne razmene (marketinga i nabavke); i (c) finansiranja.

S obzirom na potrebu unapređenja poslovanja usled delovanja tržišnih zahteva i uticaja konkurencije, a naročito obezbeđivanja što veće efektivnosti poslovanja i efikasnosti korišćenja proizvodnih resursa, u preduzeću mineralnog sektora se formiraju posebne grupe srodnih poslova, koje se konstituišu kao posebne poslovne funkcije: (a) planiranja; (b) istraživanja i razvoja; (c) tehnička; (d) finansija i računovodstva; (e) komercijalna; (f) kadrovska; (g) pravna; (h) administrativna; (i) informaciona; (j) kontrole i dr.

U aktuelnim turbulentnim uslovima poslovanja mineralne ekonomije, naglim tržišnim promenama na berzama mineralnih sirovina i mineralnih proizvoda, sve većoj energetske i ekonomske krizi, pojedine menadžment poslovne funkcije su veoma važne za uspešnije poslovanje preduzeća mineralnog sektora. Zbog toga je neophodno, u neposrednoj praksi mineralne proizvodnje, utvrditi njihove posebne menadžment strateške ciljeve i operativno ih menadžerski razraditi [11]. Sagledavajući hijerarhijski i funkcionalni značaj obično se utvrđuju posebne menadžment strategije osnovnih poslovnih funkcija, koje obuhvataju oblasti proizvodnje, marketinga, nabavke, finansija, komercijale, kadrova, istraživanja i razvoja i informacionih sistema. Za ostale grupe menadžment poslova, kao prateća, ali obavezujuća, praktična i funkcionalna je opšta menadžment strategija preduzeća ili menadžment strategije zasebne poslovne jedinice u čijem sastavu se predmetne funkcije obavljaju.

Polazeći od opšte menadžment strategije preduzeća i posebnih menadžment strategijskih ciljeva poslovanja, vrši se odgovarajuće razrađivanje neposrednih operativnih zadataka pojedinačnih nosilaca ovih poslova i menadžment poslovnih funkcija, uz parcijalno ostvarivanje ciljeva i uloge opšte menadžment strategije preduzeća i posebnih menadžment strategija poslovnih jedinica preduzeća mineralnog sektora. Kroz blagovremeno planiranje, pripremu, organizovanje i sprovođenje odgovarajućih poslovnih funkcija, preduzeće mineralnog sektora ostvaruje uvid u sledeće: (a) kretanja na tržištu mineralnih sirovina i mineralnih proizvoda, kao i šire poslovno okruženje; (b) nova tehničko-tehnološka dostignuća značajna za geološka istraživanja, eksploataciju, pripremu i preradu mineralnih sirovina, kao i tehnike neposrednog poslovanja; i (c) izvore pribavljanja potrebnog kapitala za mineralnu proizvodnju pod najpovoljnijim uslovima.

Menadžment poslovne funkcije imaju značajnu ulogu, kako u delu pripreme, tako i u delu sprovođenja poslovnih odluka top menadžmenta preduzeća mineralnog sektora. U procesu operacionalizacije za svaku od navedenih poslovnih funkcija priprema se operativni plan rada i potreban

budžet, uz upošljavanje odgovarajućih kadrova i raspodelu potrebnih finansijskih sredstava. Zavisno od veličine, složenosti i vrste delatnosti preduzeća mineralnog sektora, kao i od usvojenog i primenjenog menadžment sistema upravljanja, vrši se utvrđivanje posebnih zadataka svake osnovne funkcije.

U manjim preduzećima i preduzećima sa jednostavnijim mineralnim proizvodnim programima, osnovne poslovne funkcije se definišu uže na istom hijerarhijskom nivou i neposredno su podređene upravljačkom vrhu preduzeća. U velikim i organizaciono složenim preduzećima mineralnog sektora poslovne funkcije se slojevito organizuju. Generalno posmatrano, navedeno znači da menadžment poslovne funkcije na nivou preduzeća imaju pretežno strategijsku, usmeravajuću i objedinjavajuću ulogu, dok na nivou pojedinačnih poslovnih jedinica uglavnom neposredno obuhvataju odgovarajuće operativne zadatke u složenoj mineralnoj proizvodnji.

Sadašnji aktuelni makroekonomski uslovi funkcionisanja nacionalnih mineralnih ekonomija, a time i pripadajućih preduzeća mineralnog sektora, značajno su izmenjeni usled globalnih geopolitičkih kretanja, zbog vojnih operacija u sklopu ratnih događanja na relaciji Rusija - Ukrajina [24]. Iako se ratna dejstva odvijaju na području Ukrajine, ukupna posledična kretanja se strategijski višestruko prenose na evropsko, i svetsko tržište roba i kapitala. Ekonomski posmatrano u širem razmatranju uticaja, strategijski se mogu izdvojiti [24]: (a) inflatorna ekonomska kretanja; (b) poskupljenje energenata i mineralnih sirovina; (c) pad proizvodnje i (d) pad potrošnje. Nacionalne mineralne ekonomije pokazuju značajne promene intenziteta proizvodne aktivnosti u mineralnim sektorima i mineralnim ekonomijama. Dejstvo političkih faktora se odrazilo i na ekonomsku sferu, a posebno izraženo na domen energetskog mineralnog sektora. Pri tome se strategijski naročito izvajaju podsektori [24]: (a) nafte; (b) prirodnog gasa; (c) uglja; i (d) urana. Apsolutna dominacija ekonomskih i tržišnih turbulencija se vezuje za prirodni gas i naftu, kao strategijski značajne energente za materijalnu proizvodnju u mnogim privrednim granama.

Po principima ekonomije i posledične povezanosti faktora koji utiču na proizvodne i ekonomske efekte mineralne proizvodnje navedeni aktuelni uticaji se veoma značajno odražavaju na menadžment sisteme preduzeća mineralnog sektora, posebno na strategijske, ali i operativne menadžment aktivnosti, uz dodatno komplikovanje uslova realizacije menadžment poslovnih funkcija. Objektivno otežavajuće eksterne okolnosti imaju direktni influentni uticaj na interne okolnosti u preduzeću mineralnog sektora, što bitno otežava obezbeđenje potrebnih materijalnih i finansijskih resursa za menadžment poslovne funkcije i njihovo praktično sprovođenje. Poseban uticaj ima na menadžerske aktivnosti u sklopu menadžment poslovnih funkcija, kojima, s obzirom na okolnosti, opada menadžerska efikasnost i efektivnost. Stoga je u postupanju menadžera veoma važna prethodna menadžment analiza, koja se dodatno mora izvršiti po svakoj poslovnoj funkciji uz primenu elemenata kriznog menadžmenta i detaljnog razmatranja uslova i načina planiranja, ostvarivanja i valorizacije rezultata mineralne proizvodnje.

Poseban aspekt menadžmenta poslovnih funkcija preduzeća mineralnog sektora se odnosi na specifičnu polaznu povezanost sa mineralnim rezervama i menadžmentom mineralnih resursa, kao bazičnim menadžment segmentom. U sklopu navedenog poseban značaj ima polazna geološko-rudarsko-tehnološka činjenica da mineralne rezerve predstavljaju prvu polaznu kariku u lancu materijalne proizvodnje mineralnih sirovina, te kao takve direktno utiču na planiranje proizvodnje, kapacitet i vek eksploatacije, uslove i način pripreme i prerade mineralnih sirovina, kao i tržišne cene i uslove i način tržišne valorizacije mineralne sirovine, mineralnih proizvoda i mineralnih komponenata. Stoga je veoma bitno, shodno karakteristikama rudnog ležišta, predmetne mineralne sirovine i mineralnog proizvodnog procesa, primeniti odgovarajuće menadžment aktivnosti od kojih, u krajnjoj liniji, direktno zavise menadžment rezultati mineralne proizvodnje, kao i proizvodni, poslovni, ekonomski i finansijski rezultati preduzeća mineralnog sektora.

Navedeno menadžersko sagledavanje menadžment poslovnih funkcija preduzeća mineralnog sektora je značajno ne samo za menadžment poslovanja, menadžment mineralnih resursa, menadžment kvaliteta i menadžment rizika, već naročito za ostvarivanje značajne strategijske, proizvodne, funkcionalne i ekonomske uloge preduzeća mineralnog sektora i mineralne ekonomije u predstojećem periodu privrednog, ekonomskog i društvenog razvoja Srbije.

5. Zaključak

U veoma složenim uslovima rada, funkcionisanja i poslovanja preduzeća mineralnog sektora, uz aktuelne dinamične promene i ograničenja vezana za turbulentna tržišna kretanja, cenovne i berzanske promene, pandemijska ograničenja, posledice regionalnih vojno-ratnih dejstava, u cilju obavljanja, poboljšanja i unapređenja mineralne proizvodnje neophodna je brža i uspešnija primena savremenog menadžment koncepta, posebno strategijskog i operativnog menadžmenta i naročito izvršenja odgovarajućih menadžment poslovnih funkcija.

Strategijski menadžment je suštinski veoma važan za mineralnu ekonomiju zemlje i mineralnu proizvodnju pojedinačnih preduzeća mineralnog sektora, zbog uticaja dva značajna faktora: (i) strategijskog značaja mineralnih sirovina; i (ii) strategijskih okolnosti poslovanja preduzeća u određenom okruženju, sa delovanjem različitih uticaja i ograničenja. Konačni izbor menadžment strategije preduzeća zavisi od veličine, razvijenosti, vrste i raznovrsnosti poslovne delatnosti preduzeća, ali isto tako i od stepena decentralizacije menadžerskog upravljanja preduzećem mineralnog sektora.

Operativno menadžerskim upravljanjem definišu se neposredni, odnosno konkretni ciljevi i zadaci poslovnih jedinica i funkcija, koji se kvalitativno-kvantitativno izražavaju radi uspešnije realizacije mineralne proizvodnje. Menadžerski posmatrano upravljačke aktivnosti operativnog menadžmenta usmerene su na planiranje, organizovanje, vođenje i kontrolisanje odgovarajućih izvršnih poslova značajnih za mineralnu proizvodnju, čime se praktično u preduzećima mineralnog sektora održava veoma značajna obostrana povezanost strategijskog i operativnog menadžmenta.

Organizaciona, menadžerska, procesna i radno-tehnološka složenost mineralne proizvodnje mineralnih sirovina zahteva obuhvatanje manjeg ili većeg broja srodnih poslova i aktivnosti i njihovo grupisanje u odgovarajuće menadžment poslovne funkcije. U aktuelnim turbulentnim uslovima poslovanja mineralne ekonomije, naglim tržišnim promenama na berzama mineralnih sirovina i mineralnih proizvoda, sve većoj energetske i ekonomske krizi, pojedine menadžment poslovne funkcije su veoma važne za uspešnije poslovanje preduzeća mineralnog sektora.

Menadžment poslovne funkcije imaju značajnu ulogu, kako u delu pripreme, tako i u delu sprovođenja poslovnih odluka top menadžmenta preduzeća mineralnog sektora. Zavisno od veličine, složenosti i vrste delatnosti preduzeća mineralnog sektora, kao i od usvojenog i primenjenog menadžment sistema upravljanja, vrši se utvrđivanje posebnih zadataka svake osnovne funkcije, važnih za praktično sprovođenje, što je osnovni preduslov za realizaciju uspešne mineralne proizvodnje u preduzećima mineralnog sektora.

Započeta analiza primene menadžmenta poslovnih funkcija u menadžment sistemu preduzeća i menadžmentu mineralnog sektora biće nastavljena kroz dalji intenzivni naučno-istraživački, geološko-ekonomski i aplikativni rad. Pri tome će, osim dodatnih pozicionih razmatranja u menadžment konceptu preduzeća, predmet biti i analiza menadžmenta pojedinačnih poslovnih funkcija, njihovog uticaja na donošenje menadžerskih, proizvodnih i poslovnih odluka u cilju poboljšanja uslova, načina i rezultata 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] Tošović R.: Ekonomika mineralnih resursa, udžbenik, Rudarsko-geološki fakultet, 230 s., ISBN 978-86-7352-360-6, Beograd, 2020.
- [2] Mankiw N. G.: Principles of Microeconomics, Cengage Learning; 8th Edition, 816 pp., Boston, 2017.
- [3] Živković M.: Ekonomika poslovanja, Megatrend Univerzitet, 329. pp., Beograd, 2006.

- [4] Keat P., Young K. P., Erfle S.: *Managerial Economics*, Pearson, 7th Edition, 624 pp., New York, 2013.
- [5] Tošović R.: *Application of Economic Evaluation of Ore Deposits in Monitoring Mineral Production in Conditions of the New Reality of the COVID19 Pandemic*, Zbornik radova IX internacionalnog naučnog skupa EkonBiz, Ekonomija i biznis, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Fakultet poslovne ekonomije Bijeljina, 22-23. Jun 2021 pp. 233-248, Bijeljina, 2021.
- [6] Tošović R.: *Implications of Military-Strategic Events on Geoecological Aspects of the Use of Energy Mineral Raw Materials*, International Scientific Conference Sustainable Development and Green Economy, 78-79 pp., Belgrade, 2022.
- [7] Drucker P. F.: *Management*, HarperBusiness, Revised edition, 608 pp., New York, 2008.
- [8] Robbins S. P., Coulter M. A.: *Management*, Pearson, 14 edition, 752 pp., New York, London, 2017.
- [9] Render B., Stair Jr. R. M., Hanna M. E., Hale T. S.: *Quantitative Analysis for Management*, Pearson, 12th Edition, 608 pp., Boston, 2014.
- [10] Drucker P. F.: *The Effective Executive*, HarperCollins Publishers, Inc., 2002.
- [11] Tošović R. Č.: *Management in Modern Conditions of Serbian Mineral Economy*, MISKO 10, 411-434, Belgrade, 2010.
- [12] Williams Ch.: *Principles of management*, South-Western Cengage Learning, 10 edition, 448 pp., Boston, 2017.
- [13] Ansoff H. I., McDonnell E. J.: *Implanting Strategic Management*, Prentice Hall, 1990.
- [14] Mašić B.: *Menadžment: principi, koncepti i procesi*, Univerzitet Singidunum, 556 pp., Beograd, 2009.
- [15] Drucker P. F.: *Management Challenges For The 21st Century, The Central Management Issues of Tomorrow*, 1999.
- [16] Babić M., Stavrić B., *Manadžment - koncept i proces*, Viša poslovna škola, 343 pp., Beograd, 1999.
- [17] Froeb L., McCann B., Shor M., Ward M., Shor M.: *Managerial Economics, A Problem Solving Approach*, Sout - Western, Cengage Learning, 4 edition, 352 pp., Boston, 2015.
- [18] Tošović R.: *Business Programs as Elements of Planning Decisions in the Company*, Proceeding of 6th International Conference COAL 2013, pp. 357-370, Zlatibor, 2013.
- [19] Tošović R.: *Business Policies, Procedures and Rules as Operational Framework for Managerial and Economic Decision Making and Planning in the Company*, Proceeding of ICDQM-2013, pp. 363-373, Belgrade, 2013.
- [20] Tošović R., Milovanović D.: *Influence of Surrounding on the Management of Geological Exploration*, Proceedings of Clay 2005, Yugoslav Opencast Mining Committee, 362-372, Arandelovac, 2005.
- [21] Tošović R., Milovanović D.: *Manager Functions in Management of Mineral Resources*, Proceeding of 10th International Conference Dependability and Quality Management DQM-2007, pp. 850-858, Beograd, 2007.
- [22] Tošović R.: *Elements of Efficiency and Effectiveness of Business Enterprises*, Proceeding of 10th International Opencast Mining Conference OMC 2012, pp. 353-365, Zlatibor, 2012.
- [23] 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.

- [24]Tošović R.: The influence of Current Economic Problems on the Mineral Economy and Implications on the Green Economy. International Scientific Conference Sustainable Development and Green Economy, 82-83 pp., Belgrade, 2022.
- [25]Tošović R.: Strategic and Operational Possibilities of Application of Expert Geological-economic Evaluation of Mineral Reserves in the Conditions of the New Reality of Mineral Production, Proceedings of 26th International Scientific Conference, SM2021 Strategic Management and Decision Support System in Strategic Management, Faculty of Economics Subotica, Subotica, 2021.
- [26]Tošović R.: Specificity of Control as Management Functions in the Mineral Sector. Proceedings of the IX International Conference "Coal 2019", Yugoslav Opencast Mining Committee, pp. 323-330, Belgrade, 2019.
- [27]Tošović R.: Resursi organizacije kao osnova menadžmenta geoloških istraživanja, Proceeding of 8th International Conference Dependability and Quality Management DQM-2005, 572-579, Beograd, 2005.
- [28]Tošović R.: Application of Method Analogies in the Economic Evaluation of Mineral Projects, XXI Internacionalni simpozijum iz projektnog menadžmenta, YUPMA 2017, pp. 51-55, Beograd, 2017.
- [29]Filipović S.: Ekonomija, Univerzitet Singidunum, 374. pp., Beograd, 2021.
- [30]Krugman P.: Wells R., Economics, Worth Publishers; Second Edition edition, 1200 pp., 2009.
- [31]Farnham P. G.: Economics for Managers, 3rd Edition, Pearson, 550 pp., London, 2014.



OBUKA ZA RUKOVAOCE RUDARSKIH MAŠINA - PRIMER UPUTSTVA ZA KREIRANJE TRENINGA

TRAINING FOR MINING EQUIPMENT OPERATORS - INSTRUCTIONS FOR CREATING A TRAINING MANUAL

Žujović L.¹, Miletić F.², Lazić M.³, Miljković M.⁴

Apstrakt

U ovom radu je predstavljen primer uputstva za kreiranje obuke za pregled rudarskog kamiona. Iako je rudarska industrija zahtevna, kompleksna i delimično opasna, ona je važan segment privrede. Bezbednost i zdravlje na radu i obuka zaposlenih su sastavni deo procesa rada. Zbog toga, obuka zaposlenih je alat koji je suštinski važan za održavanje radnog procesa na odgovarajućem nivou, istovremeno čuvajući bezbednost i zdravlje zaposlenih, imovinu, i životnu sredinu. Postoje različite karakteristike zaposlenih kao i isplativost ulaganja koje takođe treba razmotriti prilikom kreiranja obuke zaposlenih.

Ključne reči: obuka zaposlenih, bezbednost i zdravlje na radu u rudarstvu, rudarske mašine

Abstract

This paper presents instructions for developing a training manual for mine haul trucks. Even though the mining industry is demanding, complex, and potentially dangerous, mining is a valuable segment of the economy. Safety and health and mine training are parts of the work process in the mining industry. Thus, employee training is a tool that is essential for maintaining the work process at an appropriate level while protecting the safety and health of employees, property, and the environment. Besides, various employee characteristics and Return on Investment should be considered when developing such training.

Keywords: training, mine safety and health, mining equipment

1. Uvod

Rudarska industrija je veoma značajan deo privrede mnogih država. Kao takve, površinska i podzemna eksploatacija mineralnih sirovina sa sobom nose brojne izazove kao što su složeni uslovi rada, otežani vremenski uslovi, povrede na radu itd. Takođe, rad sa kompleksnim i velikim rudarskim i građevinskim mašinama predstavlja dodatnu odgovornost i obavezu za poslodavca i rukovaoce teških mašina. Istraživači su pronašli skoro 11 hiljada radova objavljenih tokom 110 godina istraživanja obuke zaposlenih, od 1909. do 2018. godine. Skoro dve trećine analiziranih publikacija je nastalo u periodu od 2009. do 2018 (64%), dok je u čitavim sto godina (1909.-2008.) nastalo 36% objavljenih članaka. Dakle, jasno se uočava kakav je akcenat stavljen na obuku zaposlenih u poslednjih petnaest godina [1].

Ovaj rad želi da ukaže na važnost pravovremene i adekvatne obuke zaposlenih na primeru

¹ Žujović Lazar, doktorand Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu

² Miletić Filip, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

³ Lazić Marko, PRO TENT d.o.o., Površinski kop Tamnava-Zapadno Polje

⁴ Miljković Milan, Gosafe

rudarskog kamiona CAT 789, kao i troškova i isplativosti u obuku zaposlenih. Obično se može učiniti nešto novo ili više od postojećeg kako bi se unapredila obuka zaposlenih. Važno je da se naša sopstvena očekivanja od nas samih i od zaposlenih odraze u pogledu veće posvećenosti u poboljšanju obuke zaposlenih.

U suprotnom, nedovoljna i nejasna obuka se, dugoročno gledano, može negativno odraziti na bezbednost i zdravlje na radu zaposlenih kao i na čitavu rudarsku kompaniju (reputaciju, finansije i dr.).

Rudarski kamioni su velike mašine koje se obično koriste na površinskim kopovima. Postoje različiti proizvođači ovakvih kamiona (npr. CAT, Komatsu, Hitachi, Liebherr, Belaz, Volvo). U okviru ovog rada, kao primer biće posmatran kamion Caterpillar 789 (CAT 789), nosivosti 194 tona sa dizel agregatom koji razvija snagu od 1566 konjskih snaga (Slika 1) [2].



Slika 1. Caterpillar 789

2. Obučavanje rukovaoca

Kako bismo najpre razumeli kako obrazovanje i učenje odraslih funkcioniše, trebalo bi konsultovati andragogiju - nauku koja se bavi proučavanjem obrazovanja i učenja odraslih. Iako se andragogija najpre spominje u 19. veku od strane nemačkog nastavnika Kapa, dolaskom tog termina u SAD, američki predavač Knowls jasnije definiše termin, i pravi razliku između andragogije kao učenja odraslih i pedagogije kao učenja dece [3]. Postoje bitne karakteristike koje bi trebalo uvažiti prilikom obučavanja zaposlenih. Neke od osnovnih će biti navedene u ovom segmentu rada [4, 5]:

1. Samostalnost

Odrasli često imaju potrebu za samostalnošću i nezavisnošću pri donošenju odluka. Želeli bi biti tretirani kao samostalni, istovremeno prihvatajući odgovornost za sopstvene odluke. Naravno, postoje odrasli koji teže prihvataju samostalnost, ali je cilj rukovodioca, trenera da zajedno rade na tome. U ovo slučaju, rukovalac dampera ili neke druge mašine se nalazi sam u kabini vozila što povećava njegovu odgovornost pri donošenju odluka u toku rada.

2. Relevantnost

Izuzetno je važno da zaposleni razumeju važnost i relevantnost radnih zadataka koje će obavljati. Svrha same obuke bi trebalo da bude poznata i razjašnjena pre obuke. U vezi sa tim, spremnost zaposlenih da uče je u direktnoj vezi sa tim kako će obuka uticati na njihove radne zadatke. Prilikom obuke je važno da se iznose i rešavaju realni problemi i situacije sa radnog mesta zaposlenih. Imajući u vidu da zaposleni mogu biti takmičarski nastrojani, uspostavljanje jasnih principa i stavova čini obuku zaposlenih svrsishodnom.

3. Raznolikost iskustava

Zaposleni sa sobom donose različita profesionalna i životna iskustva koja bi trebalo iskoristiti u toku njihove obuke. Njihova iskustva mogu predstavljati temelj za njihov dalji razvoj na radnom mestu. Takođe, ona mogu biti pomoć za napredovanje i ostalim učesnicima obuke. Zaposleni imaju očekivanja

od obuke i imaju izgrađene načine kako će savladati zadatke koji se u toku obuke od njih očekuju.

4. Praktična primena

Zaposleni su fokusirani na rezultate i žele da brzo primene nova znanja. Ponekad su, takođe, oprezni i sumnjičavi ka novim znanjima, što može značiti da će pre prihvatanja najpre proveriti ideje. Osobe koje se obučavaju u glavi često već imaju ishode obuke i kako će iste primeniti.

5. Motivacija

Najbolji rezultati u toku obuke, ali i kasnije u radu, se pokazuju kada postoje jasni ciljevi. U toku obuke, zaposleni pokazuju najbolje radne učinke kada su uključeni u formiranje i postizanje ostvarivih ciljeva. Put do takvih ciljeva treba da bude oslonjen na realne segmente njihovih radnih zadataka. Zbog toga je motivacija veća kada su radni zadaci blagovremeni i odgovarajući.

Uočljivo je da ovakve karakteristike zaposlenih mogu biti korisne za njihov budući posao kao rukovaoca teškim mašinama. Određena životna iskustava koja možda poseduju, kao što su vožnja automobila ili kamiona bi bila od koristi prilikom obuke za damper. Na taj način bi već bili upoznati sa osnovnim pojmovima i problemima koji se mogu dogoditi.

Iako odrasli uglavnom brzo pređu sa teorije na praksu, odnosno na primenu teorijskih znanja, sa tim treba biti oprezan. Naime, u toku obuke, zaposleni mogu preskočiti ili ne obraćati dovoljno pažnje na važne činjenice u vezi sa pojmovima, proverom mašine ili pravilnim rukovanjem istom. Zbog toga bi trebalo da budu svesni budućeg radnog mesta i dužnosti koje će obavljati.

3. Metodologija razvoja treninga

Ovim uputstvom za kreiranje treninga predlaže se podela obuke na dva segmenta - za osobu koja podučava (trener) i za osobu koja se obučava (rukovalac opremom). Dijagram toka obuke je dat na Slici 2, i prikazuje dva odvojena procesa koji imaju zajednički cilj - bezbedno i efikasno korišćenje rudarskog kamiona.

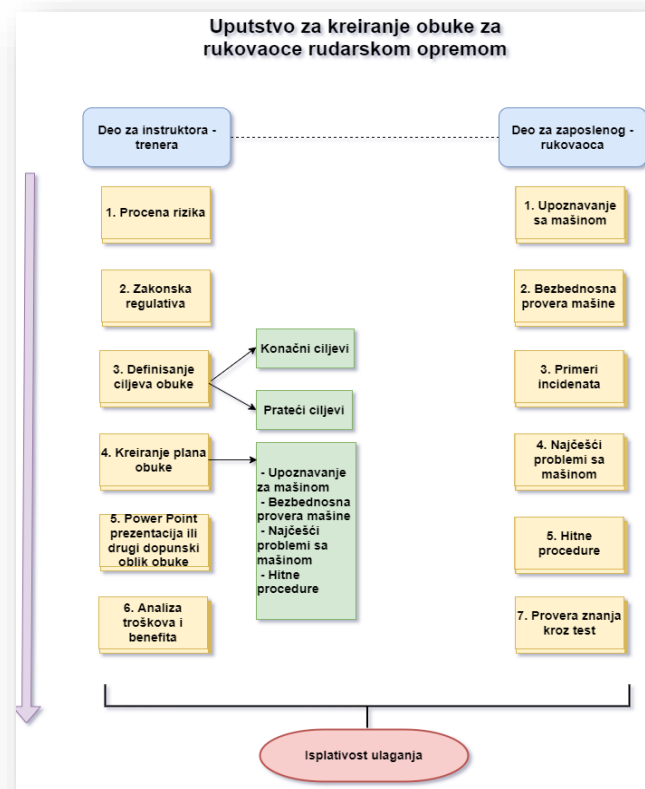
Trener treba biti upoznat i izvršiti procenu rizika za dato radno mesto u skladu sa zakonskom regulativom. Zakonom o rudarstvu i geološkim istraživanjima Republike Srbije i članom 129, privredni subjekat je dužan da sprovede mere zaštite. U tom smislu se navode obezbeđivanje bezbednosti i zdravlja na radu, obuke zaposlenih, zaštite od požara, ličnih zaštitnih sredstava i drugo [6]. Obuka zaposlenih, dakle, spada u nadležnost poslodavca koji ima obavezu da, u skladu sa specifičnostima poslovanja, organizuje obuku po utvrđenom planu i programu. Obično se kao osnovni način obuke zaposlenih koristi materijal u papirnom obliku, fotografije i video zapisi.

U sledećim koracima trebalo bi definisati ciljeve obuke. Ciljevi se mogu podeliti na krajnje (konačni) i prateće (pojedinačni), odnosno krajnji ciljevi se sastoje od više pratećih ciljeva. Na primer, jedan krajnji cilj bi bio da će zaposleni, na kraju obuke, moći prikazati pravilan i potpun način provere kamiona. Prateći ili pojedinačni ciljevi u okviru istog konačnog cilja bi mogli biti da će (i) zaposleni moći da izvrši proveru nivoa ulja u motoru; (ii) objasni pravilno startovanje mašine; (iii) nabroji pet nezaobilaznih segmenata koje treba proveriti. Na ovakav način se može kreirati nekoliko konačnih sa po više praktičnih ciljeva. Izuzetno je bitno pravilno navesti i definisati sve ciljeve obuke, jer bi se na taj način potencijalno poboljšali rezultati obuke.

Sledeći korak treba da predstavlja kreiranje jasnog plana obuke. Instruktor bi trebalo da bude upoznat sa opremom (mašinom) za koju kreira obuku, kako bi na adekvatan način zaposlenom preneo informacije važne za buduće radne obaveze. Trener u toku obuke može da prikazuje prezentacije, fotografije ili koristi simulatore, aplikacije za obuku, virtuelnu realnost i drugo [7]. Trener bi zatim trebalo da izvrši analizu kreiranog plana obuke u smislu troškova treninga i benefita koje bi obuka zaposlenih trebalo da donese.

Sa druge strane, zaposleni ima obavezu da obuku prati savesno, imajući u vidu ranije navedene osnovne karakteristike u obučavanju odraslih. Zaposleni će na kraju završene obuke pristupiti proveru znanja, odnosno polaganju testa, kako bi se na kraju otklonile potencijalne nedoumice i analizirali rezultati. Na kraju bi trebalo sagledati isplativost obuke, razmotriti moguće nedostatke i greške i prostor

za unapređenje same obuke.



Slika 2. Primer uputstva za kreiranje obuke zaposlenih

Provera radne mašine, u ovom slučaju kamiona, je jedna od najvažnijih obaveza rukovoaca pre samog početka rada. Potrebno je izvršiti vizuelnu proveru mašine, registrovati moguća curenja ulja/goriva, probleme sa točkovima, gumama, ispravnost svetala i drugo. U toku pregleda mašine veoma je važno zabeležiti sve promene ili stanja koja su bila drugačija nego prethodnog dana. Takve informacije je potrebno preneti nadređenima u cilju konsultovanja i daljeg rešavanja primećenog problema.

Takođe, potrebno je izvršiti proveru ispravnosti unutrašnjosti kabine vozila. U tom smislu neophodno je proveriti sve kontrole, uređaje, tastere, prozore i drugo kako bi se utvrdilo da je damper spreman za pravilno i bezbedno korišćenje.

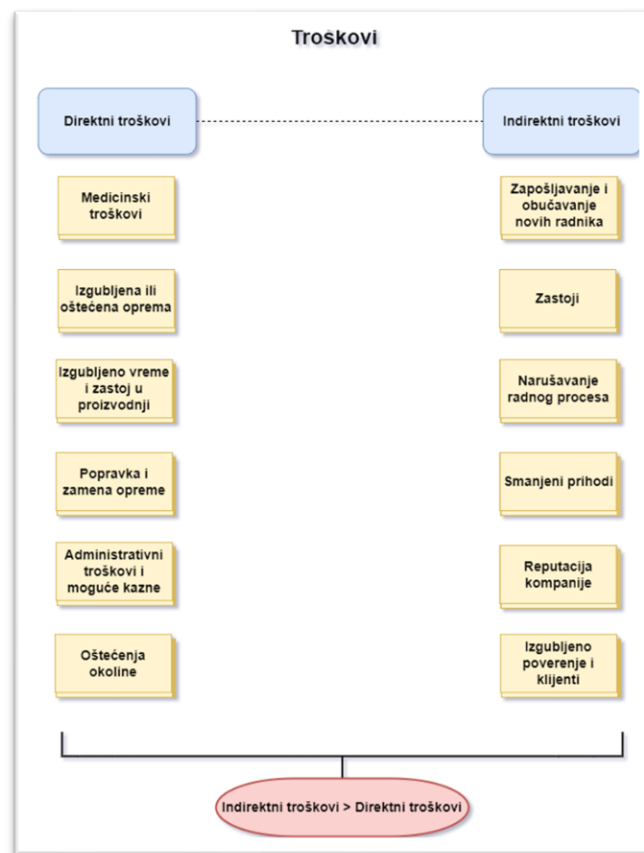
Problemi primećeni tokom pregleda opreme mogu uticati na eliminaciju potencijalnih povreda, vremena zastoja i troškova. To je značajna vrednost imajući u vidu da se proces pregleda obavlja za oko 15 minuta.

Kompanije bi trebalo da razvijaju i neguju politiku obuke zaposlenih kao i da kreiraju pisane planove za obuku. Ipak, iako važne, procedure i sam trening neće potpuno eliminisati opasnosti sa radnog mesta, već bi kvalitetna obuka trebalo da omogući zaposlenima da prepoznaju potencijalno opasne situacije. Obuka bi trebalo da da uputstva za dalje delovanje i postupanje zaposlenih, sve sa ciljem bezbednog obavljanja poslova na radnom mestu u radnom okruženju. Takođe, trening omogućava smanjivanje broja grešaka zaposlenih koje mogu da dovedu do povreda na radu.

4. Troškovi, benefiti i isplativost investicije

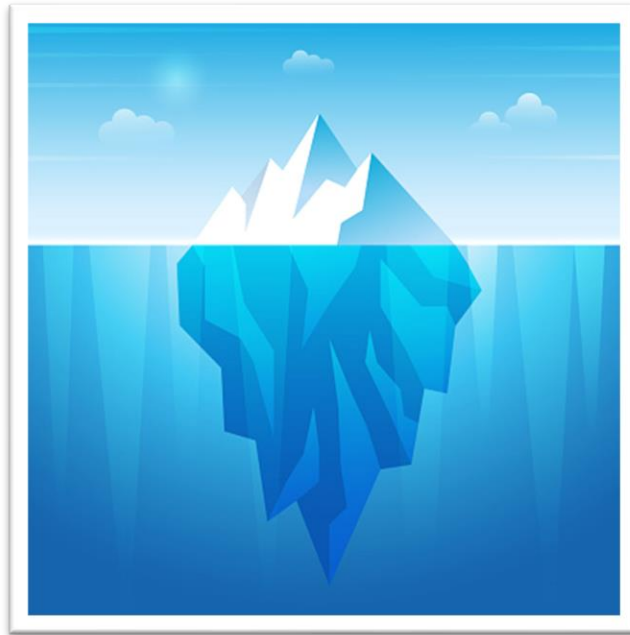
Jedan od izazova koji se tokom kreiranja plana obuke nalazi ispred lica zaduženih za bezbednost i

zdravlje na radu, je kako izmeriti bezbednost zaposlenih. Da li postoji način kvantifikovanja bezbednosti? Drugim rečima, trebalo bi pretvoriti troškove svakog incidenta u smislenu i realnu vrednost koja će predstaviti jasnu sliku izvršene obuke zaposlenih, učinka zaposlenih i njihove bezbednosti. Način na koji se to može postići je uključivanjem svih poznatih troškova u izveštaje, komunikacija sa menadžerima i rukovodiocima, kao i kroz edukacije/vežbe koje su posebno orijentisane na nadzor i rukovođenje rudnikom (Slika 3). Prema Američkom društvu inženjera bezbednosti, svaki dolar potrošen na prevenciju može dovesti do 3-6 dolara u izbegavanju gubitaka [8]. Pošto su troškovi incidenata često indirektni (reaktivni) indikatori učinka bezbednosti i zdravlja, teško je efikasno upravljati ovim troškovima. Ako bi se o ukupnim troškovima nesreće brzo i jasno obavestili nadležni, bilo bi lakše dobiti podršku za finansiranje projekata za sprečavanje različitih incidenata. Takvo delovanje bi moglo umanjiti broj incidenata i ublažiti posledice neželjenih događaja. Ovi troškovi prevencije se smatraju direktnim (proaktivnim) indikatorima performansi bezbednosti i zdravlja. Direktni i Indirektni troškovi treba da se koriste u merenju bezbednosnih i zdravstvenih performansi kako bi se mogao tačno proceniti povraćaj ulaganja u trening i bezbednost i zdravlje zaposlenih.



Slika 3. Direktni i Indirektni troškovi

Troškovi incidenta se, dakle, mogu podeliti na vidljive i skrivene. Ukupni trošak vidljivih stavki predstavlja trošak koji se tradicionalno pripisuje incidentu koji se desio. Za razliku od vidljivih troškova, skriveni troškovi nesreće su one stavke koje se tradicionalno ne pripisuju incidentu i obično zahtevaju značajne istraživačke napore kako bi se razvila potpuna lista skrivenih troškova. Treba imati na umu da ponekad nije moguće identifikovati svaku skrivenu stavku troškova [9]. Vidljivi i skriveni troškovi (direktni i indirektni troškovi) se mogu predstaviti na primeru ledenog brega, gde su direktni troškovi vrh ledenog brega, dok su indirektni (skriveni) troškovi ispod nivoa vode (Slika 4). Ovakva analogija sugeriše da su indirektni troškovi veći od direktnih troškova.



Slika 4. Analogija ledenog brega

Isplativost ulaganja (*eng. Return on Investment - ROI*) u obuku, poboljšanje uslova, i uvođenje modernijih ili drugačijih načina obuke je nešto o čemu treba razmišljati prilikom kreiranja uputstva za obuku zaposlenih. ROI [10] zapravo predstavlja indeks koji pokazuje odnos između troškova i planirane dobiti projekta, u ovom slučaju obuke. Takav indeks profitabilnosti se računa količnik svih troškova (direktnih i indirektnih) i ukupne cene obuke. Na primer, ukoliko su troškovi nekog incidenta označeni sa X , a troškovi razvoja i održavanja obuke Y , krajnji indeks profitabilnosti se može predstaviti kao:

$$IP = \frac{X}{Y} \times 100 \text{ [%]}$$

Gde je: IP - Indeks Profitabilnosti, X - ukupni troškovi (ušteda usled izbegnutog incidenta), Y - troškovi obuke.

Indeks profitabilnosti utiče na donošenje daljih odluka i na sledeći način:

1. Ukoliko je veći od 1 ($IP > 100\%$) - Investicija je profitabilna
2. Ukoliko je manji od 1 ($IP < 100\%$) - Investicija nije profitabilna
3. Ukoliko je jednak 1 ($IP = 100\%$) - Minimalni pozitivni ili negativni efekti

5. Zaključak

Rudarska industrija se, iako značajno bezbednija, sigurnija i savremenija nego u prethodnim decenijama, i dalje karakteriše kao opasna, zahtevna i teška delatnost. Da bi do neželjenih događaja dolazilo manje, potrebno je da donosioci odluka, kompanije i zaposleni obraćaju dodatnu pažnju i kontinuirano unapređuju obuku zaposlenih. Cilj ovog rada je bilo predstavljanje jednog uputstva za kreiranje obuke zaposlenih u rudarstvu na primeru rudarskog kamiona. Navedena metodologija bi se mogla primeniti i na druge rudarske mašine i opremu, kako u površinskoj tako i u podzemnoj eksploataciji. Ovaj rad takođe prikazuje nekoliko osobina odraslih koje bi trebalo razmotriti prilikom kreiranja plana obuke. Dakle, nešto do čega bi svaka dobra obuka zaposlenih trebalo da dovede su a) znanje; b) veštine; v) razumevanje (ZVR).

a) Zaposleni bi trebalo da stekne jasna i nedvosmislena znanja i uputstva u vezi sa poslovima koje će obavljati

b) Veštine koje zaposleni stekne u toku obuke treba da budu korišćene u toku radnih aktivnosti kako bi se očuvali bezbednost i zdravlje zaposlenih i imovine.

c) Potrebno je da zaposleni razume ciljeve obuke i zbog čega su takvi ciljevi korisni za njega/nju, zaposlene, okolinu i imovinu.

Predstavljeni su i pojmovi troškova, benefita i isplativosti ulaganja u obuku zaposlenih. Razvoj preciznih i kvalitetnih trening kurseva za rukovaoce teškom mehanizacijom u rudarstvu treba da doprinese i bezbednijem radnom okruženju za sve zaposlene.

Literatura

- [1] Sarfraz, Muhammad & Shah, Dr & Bin, Rollah & Abdul Wahab, Shah Rollah & Syed, Nausheen & Akram, Muhammad Wasim & Salahuddin, Muhammad & Hussain, Zahid & Hashim, Azman (2020): 110 Years of Training Transfer Research: A Bibliometric Analysis of Global Research Trends, and Patterns on Training Transfer using the Scopus Database
- [2] CAT 789 (2022): Preuzeto sa https://www.cat.com/en_MX/products/new/equipment/off-highway-trucks/mining-trucks/18107706.html
- [3] El-Amin, Abeni (2020): Andragogy: A Theory in Practice in Higher Education. *Journal of Research in Higher Education*. 4, 54-69. 10.24193/JRHE.2020.2.4.
- [4] Cercone, K. (2008): Characteristics of adult learners with implications for online learning design, *AACE Journal*, 16(2), 137-159
- [5] Bryson, J. D. (2013): *Engaging Adult Learners, Philosophy, Principles and Practices*
- [6] Zakon o rudarstvu i geološkim istraživanjima, Službeni glasnik RS, br. 101/2015 i 95/2018 - drugi zakon 40/2021 (član 129)
- [7] Zujovic, L., Kecojevic, V., & Bogunovic, D. (2020): Application of a content management system for developing equipment safety training courses in surface mining. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 120(8), 467-474. <https://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/1233/2020>
- [8] ASSE (2010): *Reducing/Ignoring Workplace Safety Programs During Economic Downturn a Wrong Move for Business*. American Society of Safety Engineers
- [9] CSM (2011): *Accidents - The Total Cost, A Guide for Estimating the Total Cost of Accidents*. Mine Safety and Health Program Technical Staff
- [10] Nwude EC (2016). A review on the calculation of return on investment. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 3(9): 110-119

