

# Komparativna analiza završnih kontura površinskog kopa Drmno

Dejan Stevanović, Dragan Ignjatović, Tomislav Šubaranović, Mirjana Banković, Petar Marković



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Komparativna analiza završnih kontura površinskog kopa Drmno | Dejan Stevanović, Dragan Ignjatović, Tomislav Šubaranović, Mirjana Banković, Petar Marković | XV Međunarodna konferencija OMC 2022, Zlatibor, 12-15. oktobar 2022. | 2022 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0007109>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

**KOMPARATIVNA ANALIZA ZAVRŠNIH KONTURA POVRŠINSKOG KOPA DRMNO****COMPARATIVE ANALYSIS OF THE FINAL BOUNDARIES OF OPEN PIT MINE DRMNO**

Stevanović D.<sup>1</sup>, Ignjatović D.<sup>2</sup>, Šubaranović T.<sup>3</sup>, Banković M.<sup>4</sup>, Marković P.<sup>5</sup>

**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,

---

<sup>1</sup>Prof. dr Stevanović Dejan, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

<sup>2</sup>Prof. dr Ignjatović Dragan, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

<sup>3</sup>Prof. dr Šubaranović Tomislav, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

<sup>4</sup>Doc. dr Banković Mirjana, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

<sup>5</sup>Petar Marković, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu

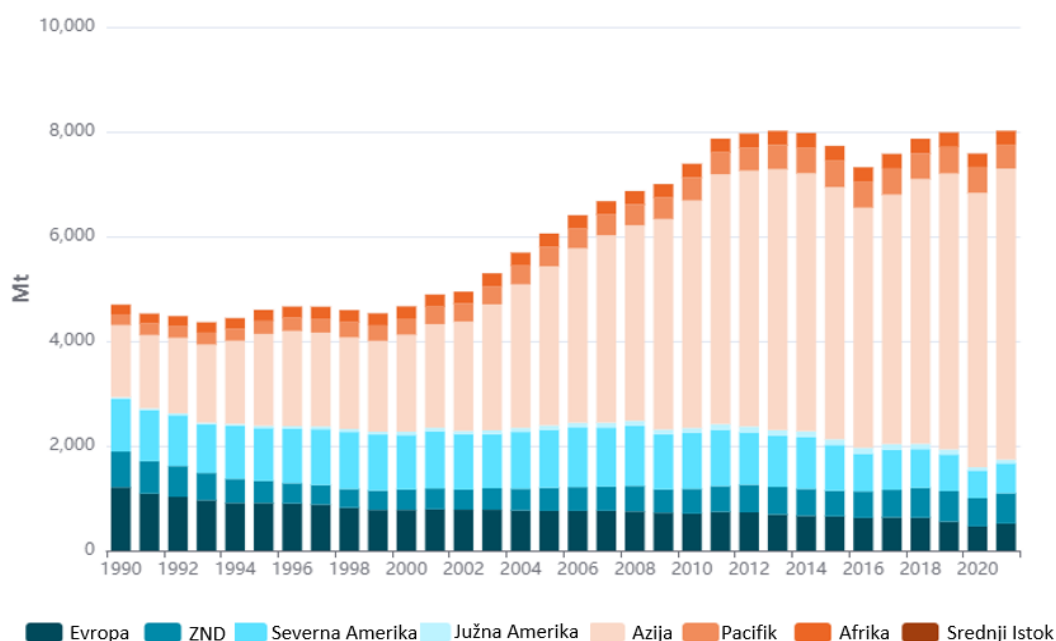
all with the aim of making the necessary strategic decisions, which certainly includes defining the boundaries of the mine.

**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 CO<sub>2</sub>. 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 CO<sub>2</sub> 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.

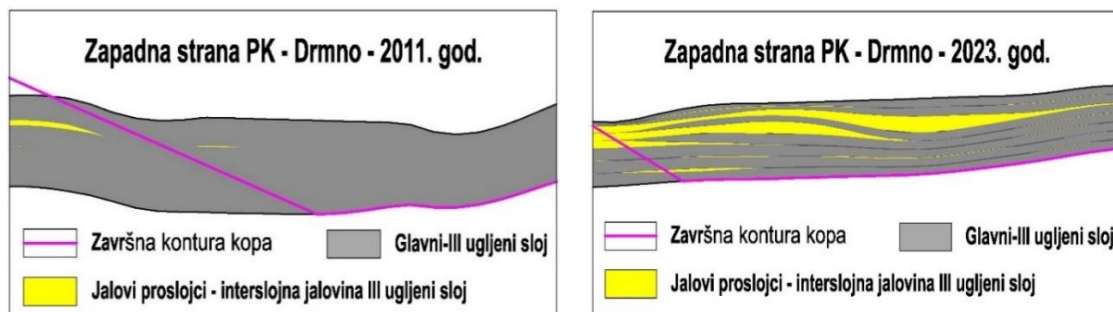
Parametri eksploatacionih karakteristika ležišta ugljeva presudni za održivost proizvodnje uglja su pre svega koeficijent otkrivke, raslojenost, dubina zaleganja uglja i kvalitet uglja. Predmet ovoga rada je površinski kop (PK) Drmno, za koji su konkretno prikazani neki od nekih od navedenih ključnih 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.)

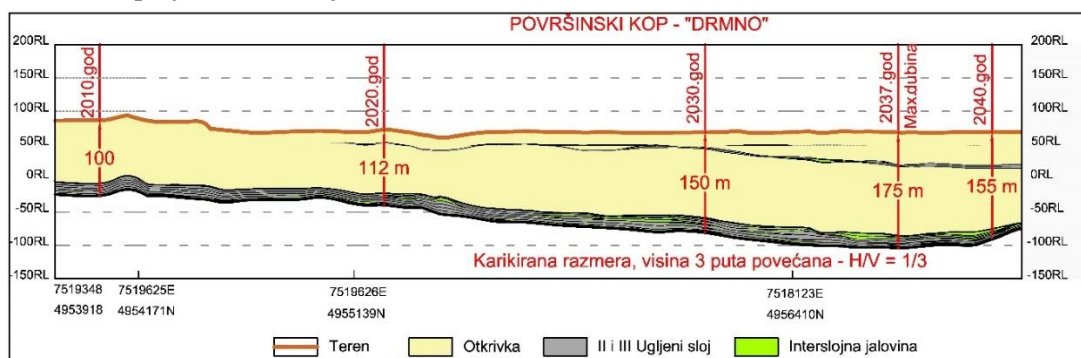
Pojava raslojenosti uglja velikim brojem jalovih proslojaka je još jedna karakteristika sa negativnim uticajem na parametre eksploatacije. Jalovi proslojci zahtevaju primenu selektivnog rada čime se smanjuju kapacitet proizvodnje i kvalitet uglja (dolazi do razblaženja) što je prepoznato kroz mnoga istraživanja 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 kopalju 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 kopalju 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

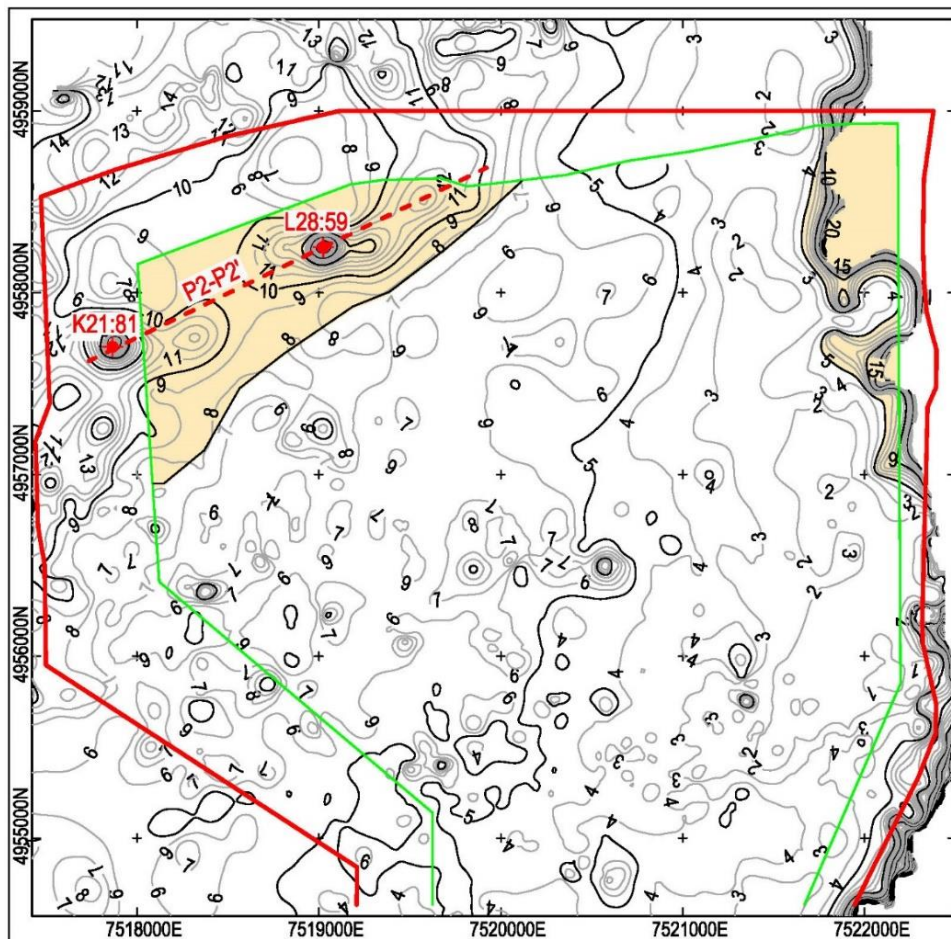
Značajna geološka karakteristika trenutne i buduće eksploatacije u ležištu Drmno, svakako je pojava jalovih prosljaka u bilansnim ugljenim slojevima. Uz ove pojave, sve češće se javljaju i zone sa naglim promenama u kotama krovine i podine (sinformni i antiformalni oblici). Ovakva situacija nepovoljno 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.) pomerena 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.

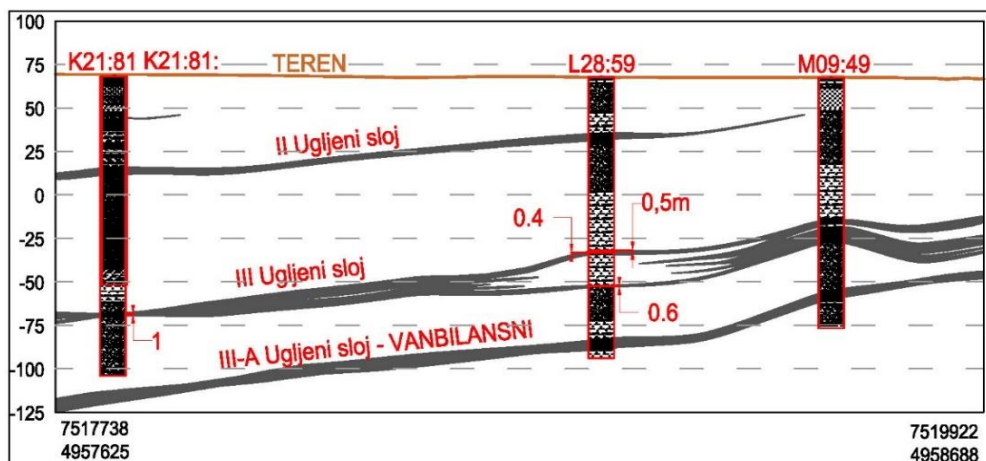
Prosečna debljina III ugljenog sloja u konturi iz Tehničkih rudarskih projekata (RGF, 2021. god.) kreće se nešto preko 16 m (prosek 16,25 m). U pravcu severa, idući ka Dunavu, debljina uglja se



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.

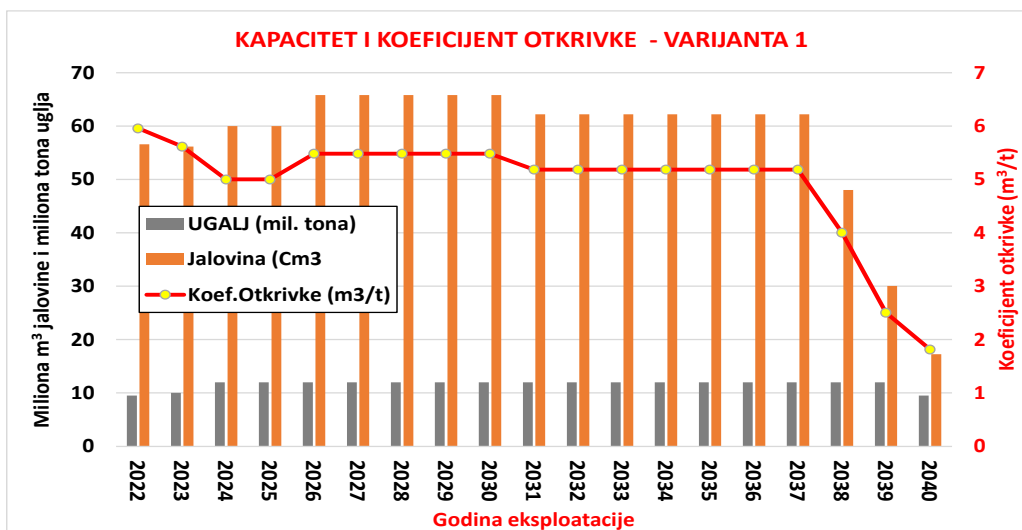
### 2.3 Varijanta 1 - Modifikovana važeća kontura PK Drmno

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  $13^\circ$  (u zapadnom delu kopa prema Viminacijumu), na istočnoj strani kopa nagib je iz tehnoloških razloga (ne geomehaničkih) oko  $12^\circ$  dok u ostalim delovima kopa (severozapad, sever) iznosi  $15^\circ$ .

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  $\text{čm}^3$ , a srednji koeficijent otkrivke je 4,94  $\text{m}^3/\text{t}$ . 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  $\text{čm}^3$  jalovine. Grafički prikaz osnovnih parametara dinamike razvoja radova dat je na Slici 7.

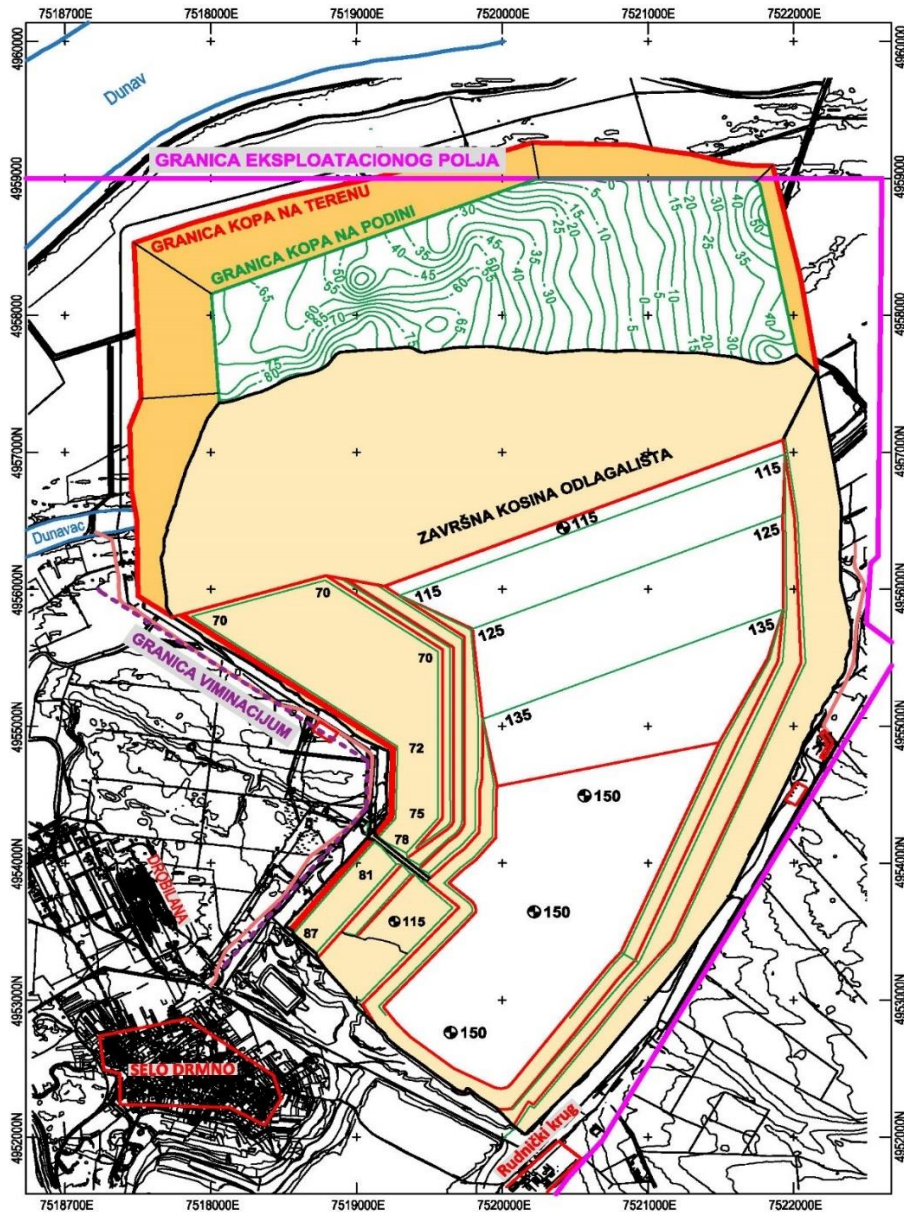


Slika 7. Grafički prikaz dinamike razvoja rudarskih radova i koeficijenta otkrivke - Varijanta 1

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 m<sup>3</sup>. 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.

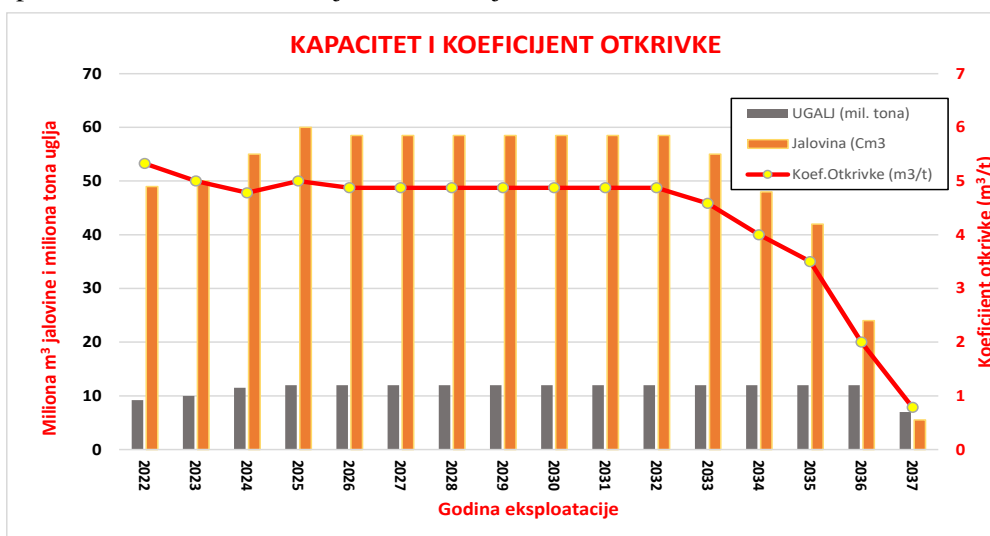
Identično kao i za konturu iz Varijante 1, generalni nagib završnih kosina na kopu, kreće se od  $13^\circ$  (u zapadnom delu kopa prema Viminacijumu), na istočnoj strani kopa nagib je iz tehnoloških razloga (ne geomehaničkih) oko  $12^\circ$ , dok u ostalim delovima kopa (severozapad, sever) iznosi  $15^\circ$ .

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  $\text{čm}^3$ , 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.

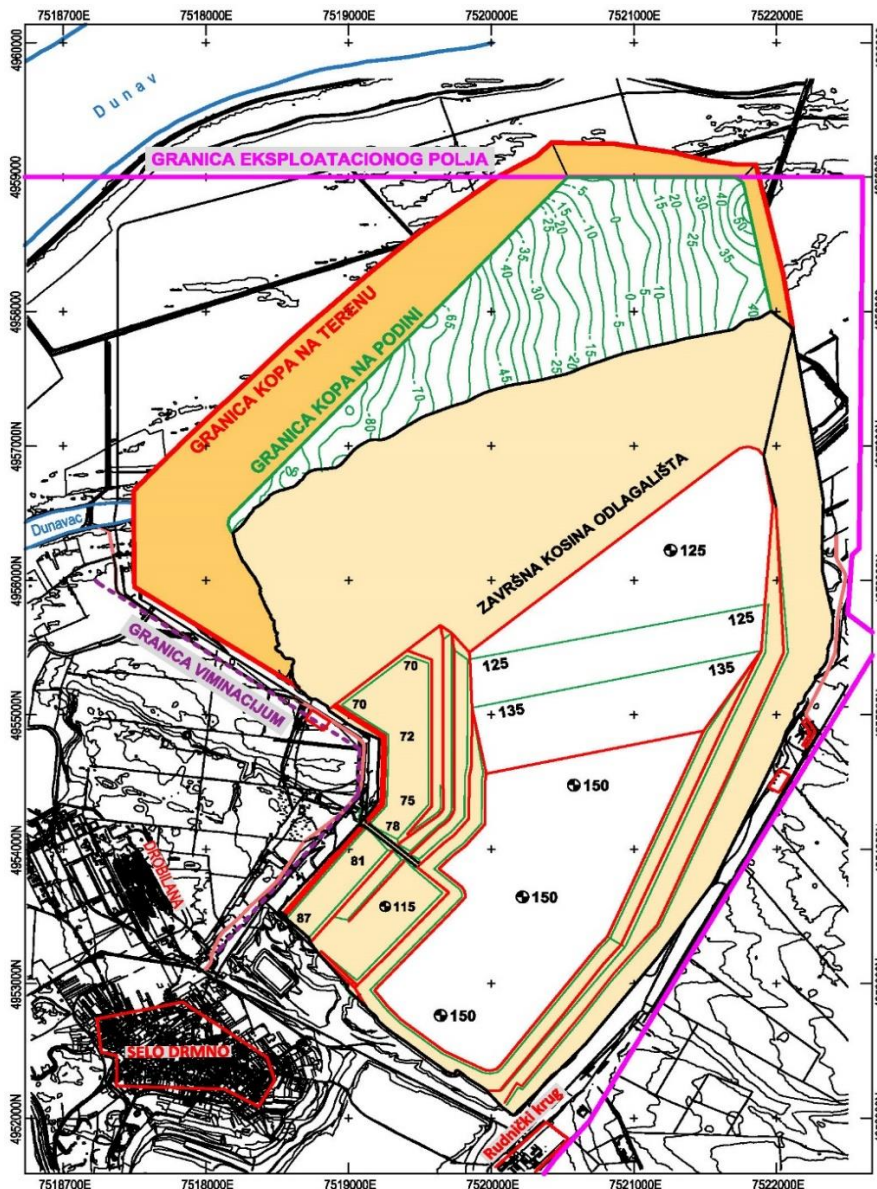
Godišnji kapacitet na uglju projektovan je na  $12 \cdot 10^6$  t (od 2025. godine) i da bi se on ostvario, neophodno je obezbediti vršni kapacitet na jalovini u iznosu od 60  $\text{čm}^3$  jalovine. Grafički prikaz osnovnih parametara dinamike razvoja radova dat je na Slici 9.



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 ugallj je 2025. godina.

**Tabela 1. Rekapitulacija projektovane kapaciteta po BTO sistemima za referentnu godinu**

Osnovna oprema		Varijanta 1	Varijanta 2
		65.800.000 čm <sup>3</sup>	60.000.000 čm <sup>3</sup>
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		<b>65.800.000</b>	<b>60.000.000</b>

**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		<b>12.000.000</b>

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).

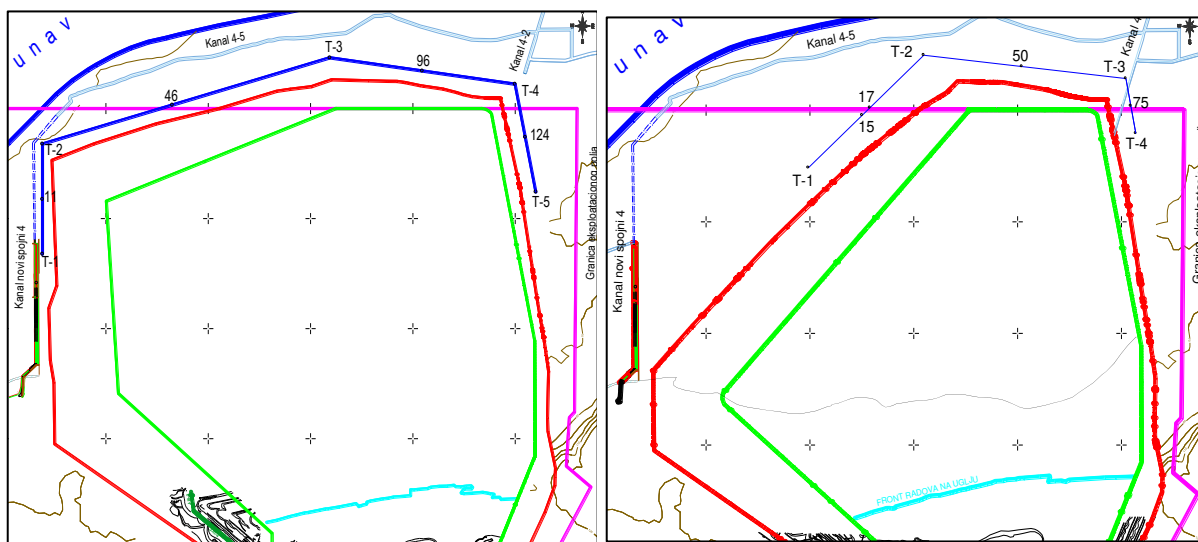
**Kontura Varijanta 2** - ekran u dužini od 4.457 m i sastoji se iz 3 deonice (Slika 11), sa uklinjenjem u od 1,5 m u II ugljeni sloj ili 2 m u prašinate sedimente gde nema II ugljenog sloja. Ovaj ekran se izrađuje sa širinama 0,8 i 1,0 m (u zavisnosti od dubine ekrana). U Tabeli 3, su date uporedne 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)	<b>221</b> miliona tona	<b>182</b> miliona tona	<b>39</b> mil. tona
Eksploatacione količine jalovine (čm <sup>3</sup> )	<b>1.093</b> miliona čm <sup>3</sup>	<b>798</b> miliona čm <sup>3</sup>	<b>295</b> mil. čm <sup>3</sup>
Vek kopa i kraj eksploatacije (god.)	Vek <b>18,8</b> god. do <b>2040.</b> god.	Vek <b>15,6</b> god. do <b>2037.</b> god.	<b>3,2</b> god.
Površina zemljišta za ekpropriaciju (hektara)	<b>1.350</b> hektara	<b>1.070</b> hektara	<b>280</b> hektara
Srednji koeficijent otkrivke (čm <sup>3</sup> /t)	<b>4,94</b> čm <sup>3</sup> /t	<b>4,40</b> čm <sup>3</sup> /t	<b>0,54</b> čm <sup>3</sup> /t
Maks. eksploatacioni koeficijent otkrivke (čm <sup>3</sup> /t)	<b>5,5</b> čm <sup>3</sup> /t	<b>5,0</b> čm <sup>3</sup> /t	<b>0,5</b> čm <sup>3</sup> /t
Projektovani kapacitet na uglju (mil.t/god)	<b>12</b> miliona tona/god.	<b>12</b> miliona tona/god.	<b>0</b> mil. tona
Maksimalan kapacitet na jalovini (mil.čm <sup>3</sup> /god)	<b>65,8</b> miliona čm <sup>3</sup> /god.	<b>60</b> miliona čm <sup>3</sup> /god.	<b>5,8</b> mil. čm <sup>3</sup>
Izlazak VI BTO sistema iz proizvodnje (god.)	Kraj <b>2037.</b> god.	Sredinom <b>2033.</b> god.	<b>4,5</b> god.
Tehnologija napredovanja otkopnog fronta	Većinom <b>paralelno</b>	Većinom <b>radijalno</b>	/
Tehnologija napredovanja odlagališnog fronta	Većinom paralelno i kombinovano	Većinom radijalno i kombinovano	/
Ukupne mase za odlaganje (rm <sup>3</sup> )	<b>1.312</b> miliona rm <sup>3</sup>	<b>958</b> miliona rm <sup>3</sup>	<b>354</b> mil. rm <sup>3</sup>
Ukupne mase za odlaganje (m <sup>3</sup> )	<b>36</b> mil. m <sup>3</sup>	<b>20</b> mil. m <sup>3</sup>	<b>16</b> mil. m <sup>3</sup>
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 <b>50</b> m
Dužina Ekрана (m)	6.782 m	4.457 m	<b>2325</b> m
Ulaganje u zaštitu od podzemnih voda u odnosu na ekran (€)	240,398,000	111,499,333	<b>129</b> 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 čm<sup>3</sup>/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., Sypniewski, 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.