

Tehno-ekonomska analiza varijanti sistema odvodnjavanja površinskog kopa Drmno od podzemnih voda do kraja eksploatacije

Tomislav Šubaranović, Dušan Polomčić, Vladimir Pavlović



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Tehno-ekonomska analiza varijanti sistema odvodnjavanja površinskog kopa Drmno od podzemnih voda do kraja eksploatacije | Tomislav Šubaranović, Dušan Polomčić, Vladimir Pavlović | XIII Međunarodna konferencija OMC, Zlatibor, 2018 | 2018 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0007299>



**TEHO-EKONOMSKA ANALIZA VARIJANTI SISTEMA ODVODNJAVANJA
POVRŠINSKOG KOPA DRMNO OD PODZEMNIH VODA DO KRAJA
EKSPLOATACIJE**

**TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF OPENCAST MINE DRMNO
GROUNDWATER DRAINAGE UNTIL THE END OF MINING**

Šubaranović T.¹, Polomčić D.², Pavlović V.³

Apstrakt

Odvodnjavanje površinskog kopa Drmno od podzemnih voda je jedan od najznačajnijih podsistema u procesu eksploatacije u veoma zavodnjenoj radnoj sredini Kostolačkog basena uglja. Već od 2006. godine, Inovirani dugoročni program razvoja eksploatacije uglja predviđa izradu ekrana, pored zadržavanja postojećih standardnih metoda odvodnjavanja od podzemnih voda linijama bunara. Iako je kasnijim Glavnim rudarskim projektom, takođe, bila predviđena izrada ekrana, njegova realizacija nije započela. Na osnovu realnog sagledavanja postojeće projektne dokumentacije, početak izrade ekrana se predviđa od 2023. godine. Znatno kašnjenje u izvođenju ovog objekta odvodnjavanja povlači određene dinamičke prostorne promene geoloških i rudarskih karakteristika u eksploatacionom polju. Ovo otvara mogućnost dodatnog inoviranog preliminarnog pristupa procesu i konceptu odvodnjavanja površinskog kopa Drmno od podzemnih voda, koji je obrađen kroz tri tehno-ekonomske varijante sa učešćem dinamike ulaganja kao finansijskog faktora.

***Ključne reči:** odvodnjavanje, bunari, ekran, dinamika, finansiranje*

Abstract

Groundwater drainage of opencast mine Drmno is one of the most important subsystems in the mining process of the highly watery working environment of the Kostolac basin. Already since 2006, the Innovated Long Term Coal Development Program planned setting up a cut-off wall, in addition to retaining existing standard underground water drainage methods via wells. Although the cut-off wall was already planned in the main mining projects, the realization of its construction did not begin. Based on the realistic evaluation of the existing project documentation, the construction of the cut-off wall should start in 2023. The significant delays in the execution of this drainage facility bring about a spatial change in geological and mining characteristics in the mining field. This opens up the possibility of an additional innovative preliminary approach to the process and the concept of groundwater drainage of opencast mine

¹ Doc. Dr Šubaranović Tomislav, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko geološki fakultet

² Prof. Dr Polomčić Dušan, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko geološki fakultet

³ Prof. Dr Pavlović Vladimir, Centar za površinsku eksploataciju, Beograd

Drmno, which is processed through three techno-economic variants with the participation of investment dynamics as a financial factor.

Key words: *drainage, wells, cut-off wall, dynamics, financing*

1. Uvod

Ležište uglja Drmno je u hidrogeološkom i hidrodinamičkom pogledu veoma složeno. S obzirom na litološku građu i hidrogeološke prilike, najveće rezerve podzemnih voda se formiraju u okviru kvartarnih sedimenata aluvijona reka Velike Morave i Dunava i Mlave. Na osnovu koeficijenta ovodnjivosti, koji je definisan odnosom količine ispumpanih voda i količine iskopanog uglja i čija je vrednost $3,58 \text{ m}^3/\text{t}$, ležište uglja Drmno se svrstava u ležišta sa srednjom ovodnjivošću.

U okviru sistema odvodnjavanja površinskog kopa Drmno u periodu od 2007. do 2018. godine, pa i do kraja eksploatacije, pored standardnih objekata odvodnjavanja (kanali, vodosabirnici, pumpne stanice, bunari i gravitacioni cevovodi), predviđeno je korišćenje ekrana.

Tehno-ekonomskom analizom izrade ekrana na površinskom kopu Drmno iz 2006. godine sa suženom konturom eksploatacionog polja, predviđen je početak njegove izrade 2007. godine, a Inoviranim dugoročnim programom razvoja eksploatacije uglja u Kostolačkom ugljenom basenu iz 2006. godine, predviđa se izrada ekrana od 2008. godine. Glavnim rudarskim projektom površinskog kopa Drmno za kapacitet $9 \cdot 10^6$ tona uglja godišnje iz 2008. godine odlaže se početak izrade ekrana za 2009. godinu, a Uprošćeni rudarski projekat izrade prve deonice vodonepropusnog ekrana na površinskom kopu Drmno iz 2011. godine predviđa pomeranje početka izrade ekrana za 2012. godinu. Dugoročnim programom od 2016. godine početak izrade ekrana je predviđen u 2017. godini. Na osnovu analize postojeće projektne dokumentacije i dokumentacije koja je još u fazi izrade, realno je očekivati da početak izrade ekrana, pored niza linija bunara, počne 2023. godine, pri čemu dužina skraćuje sa manjom promenom lokacije na severozapadnoj strani.

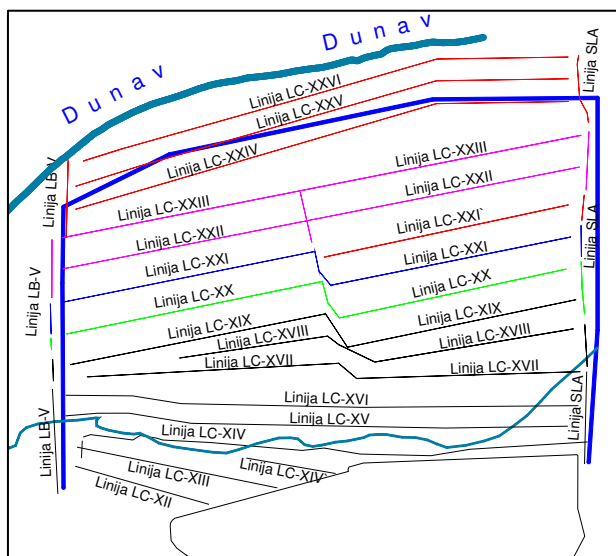
Decenijsko odlaganje izrade ekrana u okviru sistema odvodnjavanja od podzemnih voda ukazuje na potrebu dodatnih tehno-ekonomskih analiza, imajući u vidu, visinu i dinamiku ulaganja u objekte odvodnjavanja, kao i prostorne promene karakteristika radne sredine površinskog kopa Drmno.

2. Prognozni varijantni proračuni - postavka i varijante odvodnjavanja od podzemnih voda površinskog kopa Drmno

Sprovedeni prognozni varijantni proračuni imaju za cilj davanje osnova za izvođenje tehno-ekonomske ocene rada različitih sistema za odvodnjavanje površinskog kopa Drmno od podzemnih voda. Prognozni proračuni su obuhvatili tri vremenska preseka i to: kraj 2027., i kraj 2032. godine, dok je završna 2047. godina sa aspekta odvodnjavanja identična za sve varijante obzirom na uzak pojas između završne konture površinskog kopa i Dunava. U komentaru proračuna se iznose odgovarajući zaključci vezani za odvodnjavanje kopa u 2047. godini. Navedeni vremenski preseki uslovljeni su dinamikom pretpostavljenih rudarskih radova. Proračuni su sprovedeni u nestacionarnim uslovima sa osnovnim proračunskim korakom od mesec dana, koji je na nižem nivou iteracija podeljen na 10 delova, nejednakog trajanja (faktor 1.2).

U prognoznim proračunima zaštite kopa od podzemnih voda, analizirani su efekti rada tri koncepcije odvodnjavanja:

1. Varijanta 1 - Odvodnjavanje drenažnim bunarima uz aktiviranje celog vodonepropusnog ekrana 2027. godine (Slika 1 i Tabela 1).

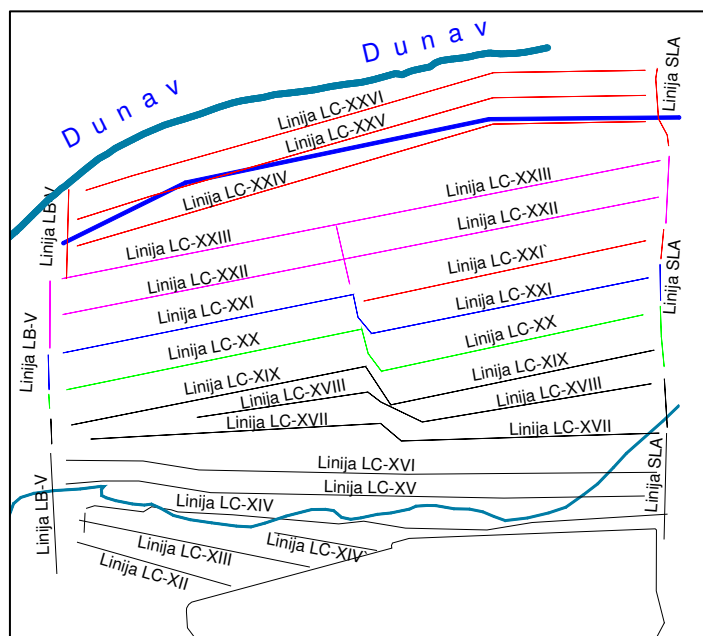


Slika 1. Lokacija linija bunara i ekrana po Varijanti 1

Tabela 1. Dinamika izrade i puštanja bunara u rad - Varijanta 1

Godina	Naziv linije bunara	Broj bunara	Godina aktiviranja
2025	LC-XXI + ŠLA	31+5	2026
2028	LC-XXII + ŠLA+LB-V+LB+5S	83+6+7+3	2029
2030	LC-XXIII+ŠLA+LB-V+LB+5S	83+6+6+4	2031
2035	LC-XXIV+ŠLA+LB-V	61+3+8	2036
2039	LC-XXV+ŠLA+LB-V	61+3+5	2040
2043	LC-XXVI+ŠLA+LB-V	62+3+5	2044

2. Varijanta 2 - Odvodnjavanje drenažnim bunarima uz aktiviranje dopunskih drenažnih bunara ispred i oko konture napredovanja kopa), i uz aktiviranje vodonepropusnog ekrana 2025. godine samo na krajnjem severnom delu kopa (Slika 2 i Tabela 2).

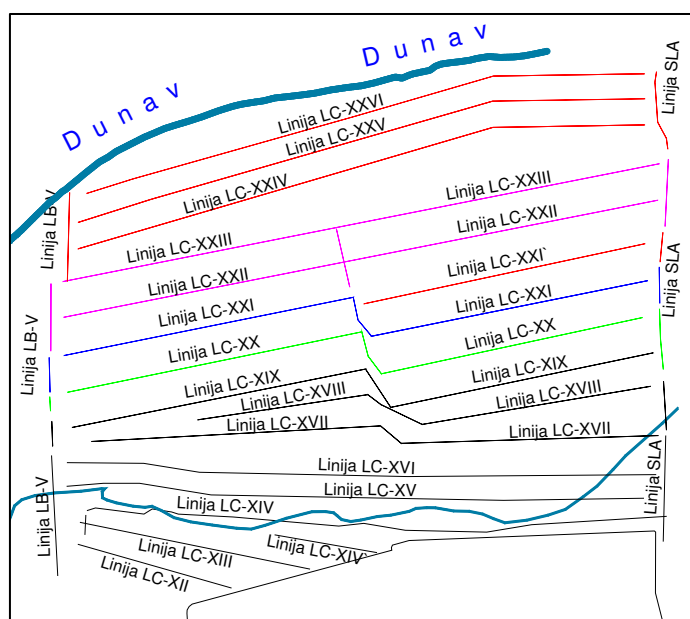


Slika 2. Lokacija linija bunara i ekrana po Varijanti 2

Tabela 2. Dinamika izrade i puštanja bunara u rad - Varijanta 2

Godina	Naziv linije bunara	Broj bunara	Godina aktiviranja
2025	LC-XXI + ŠLA	31+5	2026
2028	LC-XXII + ŠLA+LB-V+LB+5S	85+12+22+3	2029
2030	LC-XXIII+ŠLA+LB-V+LB+5S	85+12+20+4	2031
2035	LC-XXIV+ŠLA+LB-V	63+11+20	2036
2039	LC-XXV+ŠLA+LB-V	63+11+17	2040
2043	LC-XXVI+ŠLA+LB-V	62+10+22	2044

3. Varijanta 3 - Odvodnjavanje kopa samo drenažnim bunarima uz aktiviranje dopunskih drenažnih bunara ispred i oko konture napredovanja kopa (Slika 3 i Tabela 3).

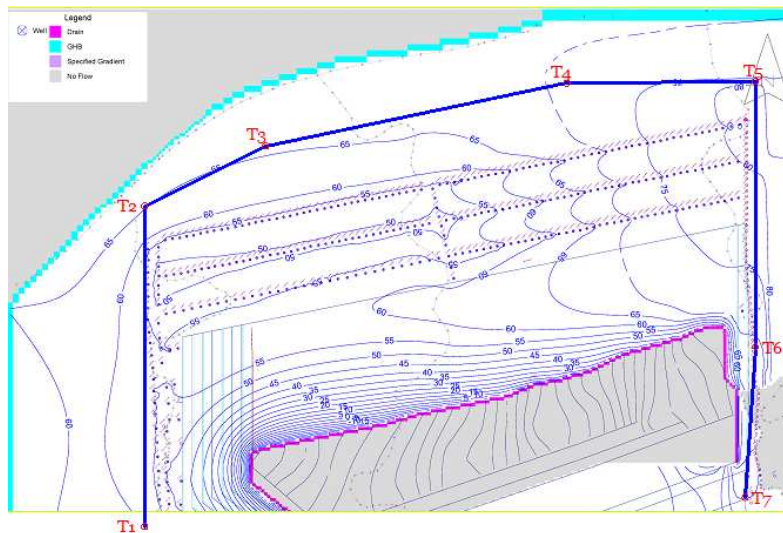


Slika 3. Lokacija linija bunara po Varijanti 3

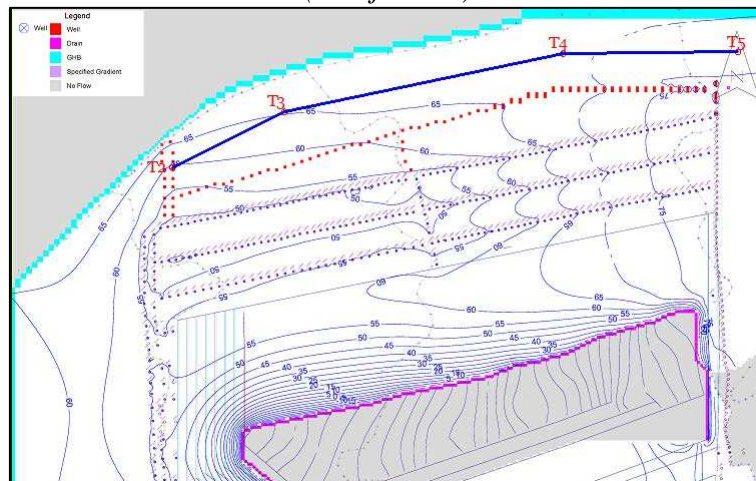
Tabela 3. Dinamika izrade i puštanja bunara u rad - Varijanta 3

Godina	Naziv linije bunara	Broj bunara	Godina aktiviranja
2025	LC-XXI + ŠLA	31+5	2026
2028	LC-XXII + ŠLA+LB-V+LB+5S	125+12+22+3	2029
2030	LC-XXIII+ŠLA+LB-V+LB+5S	124+12+20+4	2031
2035	LC-XXIV+ŠLA+LB-V	102+11+20	2036
2039	LC-XXV+ŠLA+LB-V	102+11+17	2040
2043	LC-XXVI+ŠLA+LB-V	101+10+22	2044

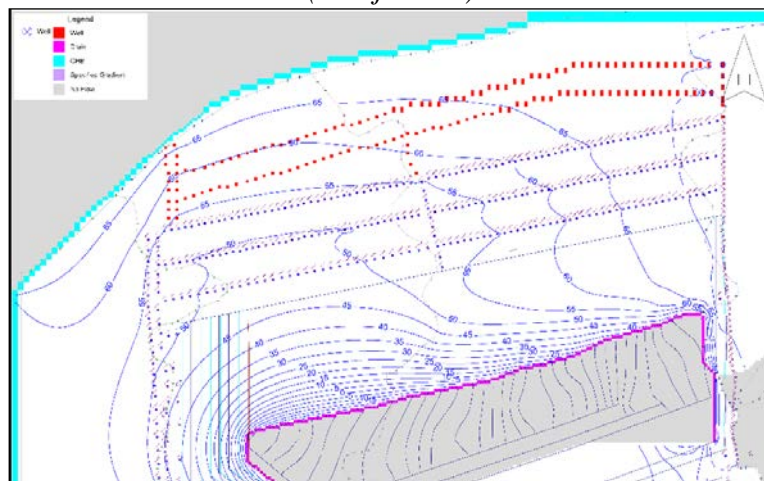
Na Slikama 4, 5 i 6 prikazane su karte rasporeda pijezometarskog nivoa u povlati III ugljenog sloja, za kraj karakteristične 2032. godine.



Slika 4. Raspored pijezometarskog nivoa u povlati III ugljenog sloja na kraju 2032. godine (Varijanta 1)

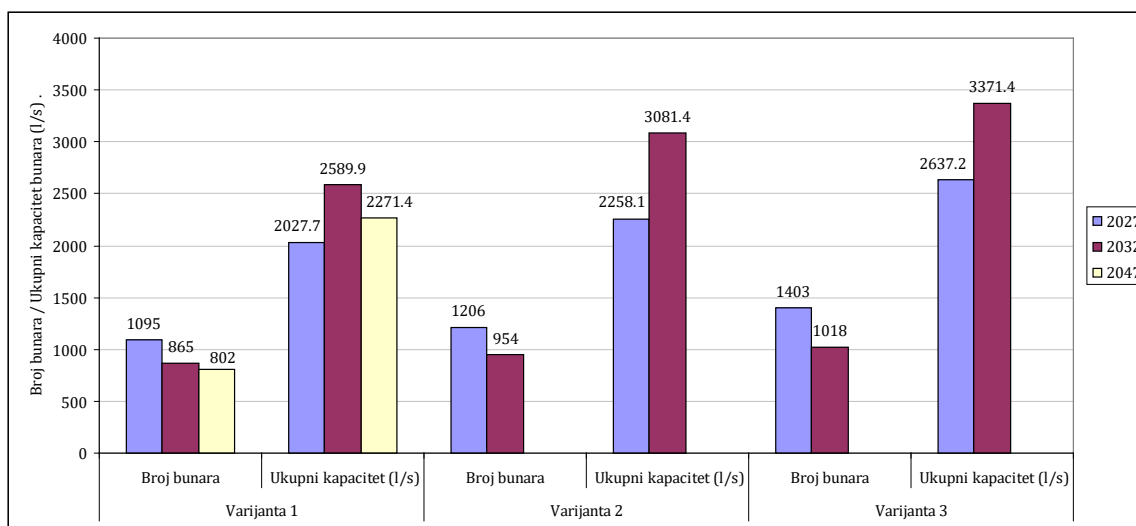


Slika 5. Raspored pijezometarskog nivoa u povlati III ugljenog sloja na kraju 2032. godine (Varijanta 2)



Slika 6. Raspored pijezometarskog nivoa u povlati III ugljenog sloja na kraju 2032. godine (Varijanta 3)

Na Slici 7 prikazani su: broj bunara za izabrane vremenske preseke i ukupne količine vode koje se zahvataju drenažnim bunarima.



Slika 7. Prikaz ukupnog broja angažovanih bunara i ukupnih količina vode koje se zahvataju po varijantama prognoznih proračuna

Kako rudarski radovi napreduju ka severu, uslovi zavodnjenosti sedimenata u povlati III ugljenog sloja se znatno pogoršavaju kao posledice približavanju Dunavu i većeg zaleganja ugljenog sloja ka severozapadu, što uzrokuje povećanje zapremine akumuliranih podzemnih voda. U Varijanti 1 prognoznih proračuna broj bunara opada vremenom, pri čemu egzistuje vodonepropusni ekran na projektovanim lokacijama. Prema ovoj varijanti, najintenzivnije zahvatanje podzemnih voda je na kraju 2032. godine, što je posledica veće zapremine preostalih akumuliranih podzemnih voda unutar pojasa pod zaštitom vodonepropusnog ekrana. Veći broj bunara zadavan je u Varijantama 2 i 3, pri čemu je to u Varijanti 3 znatno izraženije. Broj bunara i ukupne količine vode koje se zahvataju drenažnim bunarima u 2047. godini treba detaljno proračunati pri izradi nove Prethodne studije opravdanosti za izbor sistema odvodnjavanja površinskog kopa Drmno od podzemnih voda.

Obzirom na relativno uzak pojas između krajnje konture površinskog kopa i Dunava, gde po Varijanti 1 već postoje tri baražne linije bunara, fizički nije moguće postaviti još jednu liniju bunara. Stoga, za Varijanti 3 se mora izvršiti detaljna analiza koja treba da pokaže da li je moguće obezbediti potrebnu zaštitu površinskog kopa od priliva podzemnih voda infiltriranih od Dunava. Dakle, prema ovoj preliminarnoj analizi, u poslednjim godinama rada kopa jedinu realnu zaštitu od podzemnih voda obezbeđuju projektovane linije drenažnih bunara i vodonepropusni ekran. Ovaj zaključak ukazuje na potrebu optimizacije vremena početka izrade ekrana sa tehno-ekonomskog aspekta što potvrđuje i preliminarna analiza piježometarskih nivoa datih na Slikama 4, 5 i 6.

3. Varijantni troškovi sistema odvodnjavanja površinskog kopa Drmno od podzemnih voda

Za sve varijante odvodnjavanja površinskog kopa Drmno od podzemnih voda usvojena je cena bunara od 550 eura/m. To je srednja cena u odnosu na nekoliko poslednjih linija bunara koje su izrađene. Uračunato je bušenje, kao i opremanje bunara bunarskom konstrukcijom, pumpom, ROP i svim drugim materijalom. Takođe, za servisne, odnosno pristupne puteve kod linija bunara i gravitacionih cevovoda, uzeta je cena od 33 eura/m. To je srednja cena u odnosu na nekoliko poslednjih linija bunara kao uključujući i izrađene puteve.

Troškovi izrade ekrana širine 900 mm, izračunati su u odnosu na srednju dubinu ekrana od 35 m sa srednjom neto površinom po lameli od 180 m². Ukupni troškovi izrade ekrana po m² dati su u Tabeli 4.

Tabela 4. Troškovi izrade ekrana po m²

Troškovi	€/m²
Operativni troškovi	86.3
Isplaka od bentonita	10.0
Pomoćne operacije	33.0
Nepredviđeno - Zarada (5%)	7.2
Ukupno	136.5

U Tabeli 5 su dati troškovi sistema odvodnjavanja površinskog kopa Drmno do kraja eksploatacije u Varijanti 1.

Tabela 5. Varijanta 1 - Zaštita površinskog kopa Drmno bunarima i ekranom duž cele konture kopa

Godina	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Iznos (€)	13057982	12955628	14694231	12936264	12841524	8912752	2217113
Godina	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Iznos (€)	9319798	2506836	2434251	2372984	2146187	9069998	2277887
Godina	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
Iznos (€)	2011647	1848374	8313365	1937748	1858764	1779780	8339335
Godina	2044	2045	2046	2047			
Iznos (€)	2095411	2070620	2045829	2021038			

Po Varijanti 1 za zaštitu površinskog kopa Drmno od podzemnih voda potrebno je uložiti ukupno 142,065,346 Eura. Za odvodnjavanje do kraja 2053. godine, ovom preliminarnom analizom su predviđena dodatna ulaganja u ukupnom iznosu od 15% vrednosti ulaganja do kraja 2047. godine.

U Tabeli 6 je dat deo iznosa predviđenog za izradu ekrana u Varijanti 1 za dužinu od 11.518 m, koji je obuhvaćen u Tabeli 5.

Tabela 6. Deo iznosa za izradu ekrana koji je dat u Tabeli 5

Godina	Deonica	Površina (m²)	Cena po m² (€)	Ukupno (€)
2023	T1-T2	79420	136.5	10840830
2024	T1-T2+T2-T3+T3-T4	79420	136.5	10840830
2025	T3-T4+T4-T5	79420	136.5	10840830
2026	T4-T5+T5-T6	79420	136.5	10840830
2027	T5-T6+T6-T7	79420	136.5	10840830
	Ukupno	397100		54204150

U Tabeli 7 su dati troškovi sistema odvodnjavanja površinskog kopa Drmno do kraja eksploatacije u Varijanti 2.

Tabela 7. Varijanta 2 - Zaštita površinskog kopa Drmno bunarima i ekranom duž severnog dela ispred Dunava

Godina	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Iznos (€)	10661997	10559644	12511901	2095434	2000694	10804943	2391733
Godina	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Iznos (€)	11361263	2848568	2775983	2714716	2487919	11345636	2786688
Godina	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
Iznos (€)	2520448	2357175	10714891	2613618	2534638	2455650	11070679
Godina	2044	2045	2046	2047			
Iznos (€)	2938350	2913559	2888768	2863978			

Po Varijanti 2 za zaštitu površinskog kopa Drmno od podzemnih voda potrebno je uložiti ukupno 133,218,873 Eura. Za odvodnjavanje do kraja 2053. godine, ovom preliminarnom analizom su predviđena dodatna ulaganja u ukupnom iznosu od 20% vrednosti ulaganja do kraja 2047. godine.

U Tabeli 8 je dat deo iznosa predviđenog za izradu ekrana u Varijanti 2 za dužinu od 5.314 m, koji je obuhvaćen u Tabeli 7.

Tabela 8. Deo iznosa za izradu ekrana koji je dat u Tabeli 74

Godina	Deonica	Površina (m ²)	Cena po m ² (€)	Ukupno (€)
2023	T2-T3+T3-T4	61867	136.5	8444846
2024	T3-T4+T4-T5	61867	136.5	8444846
2025	T4-T5	61866	136.5	8444709
	Ukupno	185600		25334401

U Tabeli 9 su dati troškovi sistema odvodnjavanja površinskog kopa Drmno do kraja eksploatacije u Varijanti 3.

Tabela 9. Varijanta 3 - Zaštita površinskog kopa Drmno samo bunarima

Godina	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Iznos (€)	2217151	2114799	4252477	2095434	2000694	13307204	2585145
Godina	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Iznos (€)	14106316	3235305	3162719	3101452	2874656	14443268	3402248
Godina	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
Iznos (€)	3136008	2972736	14014713	3282542	3010190	2931206	14080303
Godina	2044	2045	2046	2047			
Iznos (€)	3670121	3645330	3620539	3595748			

Po Varijanti 3 za zaštitu površinskog kopa Drmno od podzemnih voda potrebno je uložiti ukupno 130,858,304 Eura. Za odvodnjavanje do kraja 2053. godine, ovom preliminarnom analizom su predviđena dodatna ulaganja u ukupnom iznosu od 30% vrednosti ulaganja do kraja 2047. godine.

4. Sadašnja vrednost ukupnih ulaganja u sistem odvodnjavanja od podzemnih voda

Sistemi odvodnjavanja površinskih kopova od podzemnih voda u aluvijonima su, po pravilu, opterećeni sa visokim troškovima. Dinamika realizacije ulaganja u sisteme odvodnjavanja je promenljiva u vremenu, pa je i finansijski uticaj na tako ostvarene troškove veoma važan. Zbog toga je dobro koristiti u proračunima sadašnju vrednost (*PV - Present Value*) za ukupne troškove u zadatom vremenu t_n preko poznate jednačine $PV_n = C_n/(1+r)^{t_n}$, gde je r interesna stopa povraćaja, a C_n troškovi odvodnjavanja u zadatom vremenu. Takođe je pogodno i uobičajeno analizirati neto sadašnju vrednost (*NPV - Net Present Value*) za ocenu varijante u odnosu na ukupne troškove prema formuli: $NPV = \sum_{n=0}^N C_n/(1+r)^n$.

Izvršena je finansijska analiza ulaganja u odvodnjavanje površinskog kopa Drmno od podzemnih voda po varijantama na osnovu procene neto sadašnje vrednosti i sadašnje vrednosti, uzimajući u obzir troškove prikazane u Poglavlju 3. Usvojena interna stopa povraćaja je $r = 10\%$, a vreme realizacije projekta odvodnjavanja površinskog kopa Drmno od podzemnih voda prema NPV je u toku $N = 31$ godine i vreme realizacije projekta do završetka izrade ekrana prema NP iznosi $N = 5$ godina. Rezultati proračuna dati su u Tabeli 10.

Tabela 10. Sadašnja vrednost ulaganja u odvodnjavanje po varijantama

Varijanta	Ukupna ulaganja (Mln euro) 2023. - 2053.	Neto sadašnja vrednost (Mln euro) $NPV = \sum_{n=0}^N \frac{C_n}{(1+r)^n}$	Ukupna ulaganja (Mln euro) 2023. - 2027.	Sadašnja vrednost (Mln euro) $PV = C_n/(1+r)^n$
Varijanta 1	-162.4000	-74.7084	-66.5	-41.3
Varijanta 2	-165.3000	-60.7288	-37.9	-23.5
Varijanta 3	-170.8000	-46.7612	-12.7	-7.9

Iz Tabele 10 se može jasno zaključiti da je sa aspekta neto sadašnje vrednosti kao i sadašnje vrednosti najpovoljnija Varijanta 3, iza koje sledi Varijanta 2 i konačno Varijanta 1. Rangiranje je suprotno u odnosu na ukupni nivo ulaganja po varijantama za životni vek projekta od 51 godine, kada je u pitanju NPV, imajući u vidu dinamiku ulaganja, gde se u početnim godinama projekta ulažu najveća sredstva u izradu ekrana u Varijantama 1 i 2.

Pri konačnom izboru varijante odvodnjavanja površinskog kopa Drmno od podzemnih voda neophodno je imati u vidu određena prirodna, tehnička i tehnološka ograničenja. Zato je neophodno u što kraćem roku izraditi Prethodnu studiju opravdanosti za izbor sistema odvodnjavanja površinskog kopa Drmno od podzemnih voda, kojom bi se precizno utvrdili ulazni podaci i izvršila optimizacija dinamike ulaganja.

5. Zaključak

Zbog objektivnih i subjektivnih razloga u proteklom vremenu, uglavnom vezanih za nedostatak investicija, došlo do decenijskog odlaganja izrade ekrana kao elementa sistema odvodnjavanja površinskog kopa Drmno od podzemnih voda. Kako se, prema trenutnim sagledavanjima, predviđa početak izrade ekrana predviđa 2023. godine, otvara se mogućnost tehno-ekonomskog preispitivanja projektnih rešenja sistema odvodnjavanja od podzemnih voda imajući u vidu nastale značajne promene uslova radne sredine u prostoru, dinamike razvoja i ulaganja i potrebu za optimizacijom u finansijskom i tehnološkom smislu.

Date tri varijantne prognozne preliminarne tehno-ekonomske analize ukazuju na potrebu da se uradi detaljna Prethodna studija opravdanosti za izbor sistema odvodnjavanja površinskog kopa Drmno od podzemnih voda sa optimizacijom elemenata podsistema.

Literatura

- [1] Pavlović V, Šubaranović T., Polomčić D.: Sistemi odvodnjavanja površinskih kopova, Univerzitetski udžbenik, str. 522, ISBN: 978-86-7352-244-9, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2012
- [2] Pavlović V., Šubaranović T.: Pouzdanost, optimizacija i upravljanje sistemima odvodnjavanja površinskih kopova, Naučna monografija, str. 140, ISBN: 978-86-7352-240-1, COBISS.SR-ID 192077836, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2012
- [3] Pavlovic V., Polomcic D., Subaranovic T., Design of the Opencast Coal Mine Drmno Dewatering System, Proceedings of the 12th International Symposium Continuous Surface Mining, Aachen 2014, DOI: 10.1007/978-3-319-12301-1-11, p.p. 101-116, Germany, 2014
- [4] Investiciono-tehnička dokumentacija JP EPS-Ogranak TE KO Kostolac