



## IZBOR SISTEMA ODVODNJAVANJA POVRŠINSKOG KOPA DRMNO HIDRODINAMIČKIM PROGNOZNI PRORAČUNIMA

### DEWATERING SYSTEM SELECTION AT THE OPEN CAST MINE DRMNO USING HYDRODYNAMIC FORECASTING CALCULATIONS

Polomčić D.<sup>1</sup>, Pavlović V.<sup>2</sup>, Šubaranić V.<sup>3</sup>

#### Apstrakt

*U radu je prikazana je prva faza metodologije izbora objekata odvodnjavanja od podzemnih voda na površinskom kopu Drmno. Imajući u vidu veoma veliki priliv podzemnih voda u aluvijonu reka Dunav i Mlava, izvršena je detaljna hidrodinamička i tehnička analiza mogućnosti zaštite površinskog kopa Drmno samo linijama bunara ili kombinacijom vodonepropusnog ekrana i linija bunara sa umanjenim brojem bunara. Prikazan je hidrodinamički model ležišta uglja Drmno, a prva faza metodologije obuhvata rekalkibraciju hidrodinamičkog modela ležišta uglja Drmno, hidrodinamički proračun sniženja nivoa podzemnih voda i rezultate prognoznih proračuna. Rezultati prognoznih proračuna*

<sup>1</sup> Prof. dr Dušan Polomčić dipl. ing., Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu

<sup>2</sup> Prof. dr Vladimir Pavlović dipl. ing., Rudarsko-geološki fakultet, Univerziteta u Beogradu

<sup>3</sup> Mr Tomislav Šubaranić, dipl. ing., Rudarsko-geološki fakultet, Univerziteta u Beogradu

su pokazali da je rešenje odvodnjavanja sa kombinacijom vodonepropusnog ekrana i linija bunara znatno povoljnije, posebno imajući u vidu i pozitivan efekat u odnosu na zaštitu životne sredine.

### **Abstract**

*This paper presents a First Phase of methodology for selection of plants for groundwater dewatering at the open cast mine Drmno. Considering the very large inflow of groundwater in the alluvial part of the Danube and Mlava Rivers, it has been made a detailed hydrodynamic and technical economic analysis for the protection of the open cast mine Drmno against groundwater only by line of wells or by a combination of waterproof screen and line of wells with a reduced number of wells. It has been shown hydrodynamic model of coal deposit Drmno and methodology involves recalibration of hydrodynamic model of coal deposit Drmno, hydrodynamic calculation of groundwater levels reduction and results of the forecasting calculations. The results of the calculations has showed that dewatering solution by a combination of waterproof screen and wells lines is much better, especially considering the positive effect in relation to the protection of the environment.*

### **UVOD**

Kod izbora sistema odvodnjavanja površinskih kopova, gde se podrazumeva primena brojnih sistema i objekata odvodnjavanja, neizbežno je susresti se sa složenim problemima tehničke, tehnološke, ekonomske i organizacione prirode.

Izbor optimalnog sistema odvodnjavanja moguć je tek posle svestranog sagledavanja svih mogućih rešenja, što podrazumeva detaljnu obradu neophodnih podataka, koji su zajednički za sva rešenja, ili proističu iz specifičnosti određenih rešenja. Takav pristup zahteva obradu velikog broja podataka, a uvođenje računara i automatska obrada podataka otvorili su nove, skoro neslućene mogućnosti analize i selekcije velikog broja varijanti. Simulacija strujanja podzemnih voda na površinskom kopu Drmno je izvršena na programu Groundwater Vistas verzija 5.36b, a DCF analiza je poslužila za konačni tehno-ekonomski izbor optimalne varijante odvodnjavanja od podzemnih voda.

Hidrodinamički proračuni za potrebe dimenzionisanja broja bunara, njihovog međusobnog rastojanja i pojedinačnih kapaciteta, kao i za prognozu efekata rada sistema odbrane od podzemnih voda linijama bunara i ekrana, realizovani su na hidrodinamičkom modelu režima podzemnih voda šire zone ležišta uglja Drmno.

## 1. HIDRODINAMIČKI MODEL LEŽIŠTA DRMNO

Hidrodinamički model površinskog kopa Drmno je koncipiran i izrađen kao višeslojeviti model, sa ukupno šest slojeva, posmatrano u vertikalnom profilu. Svaki od ovih slojeva odgovara određenom realnom sloju, šematizovanom i izdvojenom na osnovu poznavanja terena i rezultata sprovedenih analiza obimnih terenskih istražnih radova. Posmatrano od površine terena, korespondentni slojevi modela i terena su:

<b>Prvi vodonosni sloj</b>	Povlatni aluvijalni i lesni sedimenti
<b>Drugi vodonosni sloj</b>	Pretežno šljunkoviti vodonosni sloj
<b>Treći vodonosni sloj</b>	Peskoviti i glinoviti sloj u povlati II ugljenog sloja, koji bočno (istočno) prelazi u povlatni peskoviti sloj III ugljenog sloja
<b>Četvrti kombinovani izolatorsko - vodonosni sloj</b>	II ugljeni sloj (izolator), koji bočno (istočno) prelazi u povlatni peskoviti sloj III ugljenog sloja
<b>Peti vodonosni sloj</b>	Peskoviti sloj koji leži u povlati III ugljenog sloja. U zapadnom delu terena on leži preko (modelskog) šestog vodonosnog sloja
<b>Šesti vodonosni sloj</b>	Prašinasto-peskoviti sloj, koji leži u povlati III ugljenog sloja. U delu terena gde on izostaje, povlatu III ugljenog sloja čine peskovi, čiji je glavni predstavnik na modelu peti vodonosni sloj.

Podinu petog, ili šestog sloja (kako gde), čini III ugljeni sloj, koji po svom hidrogeološkom i hidrauličkom mehanizmu predstavlja izolator, odnosno graničnu strujnu površ.

Područje obuhvaćeno modelom ima dimenzije 6.720\*10.320 metara. Model se sastoji od 6 šematizovanih slojeva, sa ukupno 726.461 aktivnih ćelija. Diskretizacija strujne oblasti je sa poljima, dimenzija od 10\*10 do 80\*80 m. Manja polja su u zonama od većeg interesa (linije bunara), dok su veća na udaljenijim delovima terena.

Kretanje podzemnih voda je na modelu računato i simulirano kao realno kretanje pod pritiskom, ili sa slobodnim nivoom, u svakom polju diskretizacije pojedinačno, pri čemu su uslovi izdanskog toka tokom vremena na modelu menjani u skladu sa realnim uslovima.

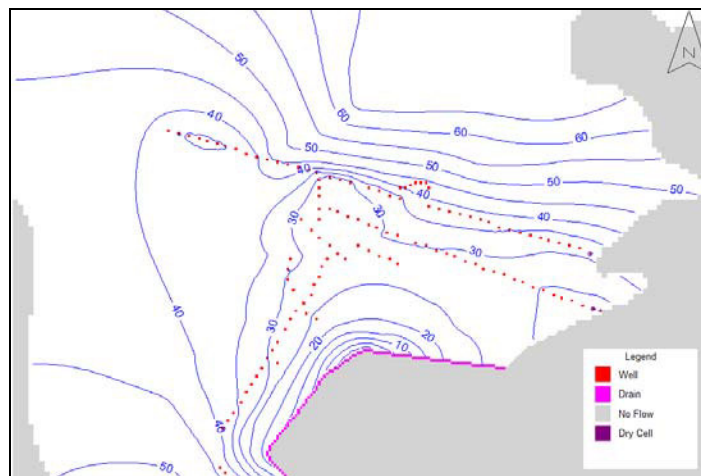
Za izradu, odnosno rekalkibraciju hidrodinamičkog modela površinskog kopa Drmno korišćeni su podaci o osmatranju režima podzemnih voda i radu drenažnih bunara u periodu novembar 2010. - april 2011. godine (Georad, Drmno, 2011. godine), vodostaji Dunava, Mlave, Dunavca i kanalske mreže između Dunava i Dunavca, kao i podaci o padavinama pribavljeni su od Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije.

U analizi prikupljenih podataka vezanih za rad drenažnog sistema može se zaključiti da znatan broj bunara nije u funkciji, da znatan broj bunara ne radi kontinualno, da su kapaciteti pojedinih drenažnih linija veoma mali, i da se kasni sa izradom i aktiviranjem drenažnih linija. Ovo je prouzrokovalo nedovoljno obaranje nivoa podzemnih voda, te je došlo do povećanja ovodnjenosti ležišta uglja, u prvom redu na zapadu i severu ispred fronta napredovanja rudarskih radova.

Na modelu formiranom 1999. godine (Pušić, Polomčić), u više navrata je vršena rekalkibracija (2005., 2006., 2007., 2008., 2009. i 2010. godine), a u skladu sa napredovanjem rudarskih radova, novim rezultatima geoloških istraživanja i novim podacima osmatranja režima podzemnih voda, kao i nastalim potrebama za primenom postojećeg matematičkog modela. Rekalkibracija modela iz 2008. godine izvedena je za potrebe izrade Glavnog rudarskog projekta. Tom prilikom, postojeći model je proširen na jug, južno od postojećeg vodonepropusnog ekrana i na sever do Dunava. Povećano je područje oko ležišta uglja obuhvaćenog modelom (od dimenzija modela 6.720\*5.550 m iz 1999. godine do 6.720\*10.320 m u 2008. godini) kao i u diskretizacija strujne oblasti, što je dovelo do povećanja broja modelskih ćelija (od 80.851 u 1999. do 726.461 aktivnih ćelija u 2008. godini).

Za potrebe analize uticaja vodonepropusnog ekrana na Deonici 1 (tačke T1 - T2) 2011. godine, model je ponovo rekalkibrisan [6]. Hidrodinamički proračuni su realizovani u nestacionarnom režimu strujanja. Period obuhvaćenom rekalkibracijom modela odgovara periodu režimskih osmatranja na površinskom kopu Drmno (novembar 2010. - april 2011. godine). Osnovni proračunski korak je bio jedan dan, koji je na nižem nivou iteracija podeljen da 10 delova, nejednakog trajanja (faktor 1.2).

Na Slici 1, prikazan je raspored pjezometarskih nivoa u peskovitom vodonosnom sloju u povlati III ugljenog sloja, dobijen simulacijom režima podzemnih voda sa stanjem koje je vladalo na kraju perioda rekalkibracije modela - april 2011. godine.



Slika 1. Prikaz rasporeda pijezometarskog nivoa oko površinskog kopa Drmno na kraju perioda za koji je vršena rekalkibracija modela (april 2011. godine)

U cilju ocene kvaliteta izvedene rekalkibracije hidrodinamičkog modela površinskog kopa Drmno izvršena je statistička analiza rezultata simulacije režima podzemnih voda. Dobijeni su osnovni statistički pokazatelji vezani za rezidualne, odnosno razlike registrovanih i proračunatih vrednosti pijezometarskih nivoa u ukupno 179 osmatračka objekta. Statistički pokazatelji ukazuju na veoma dobru usaglašenost registrovanih i proračunatih vrednosti pijezometarskog nivoa u osmatračkim objektima.

## 2. HIDRODINAMIČKI PRORAČUN SNIŽENJA NIVOVA PODZEMNIH VODA

### *Prognozni proračuni - postavka*

U skladu sa usvojenom dinamikom razvoja površinskog kopa Drmno [4], definisane su konture fronta napredovanja kopa u celini, u karakterističnim vremenskim presecima. U varijantnim proračunima analizirane su dve varijante sistema odbrane kopa od podzemnih voda:

- Varijanta 1 - odbrana kopa drenažnim bunarima, i
- Varijanta 2 - kombinovani sistem odbrane kopa vodonepropusnim ekranom i drenažnim bunarima.

Za obe varijante, kao postojeće stanje uzeto je stanje rudarskih radova na kraju 2012. godine, a rezultati prognoznih proračuna su dati za tri vremenska preseka.

**Varijanta 1 - odbrana kopa drenažnim bunarima**

U Varijanti 1 drenažni bunari se zadaju duž baraža bunara paralelno frontu napredovanja kopa. Bunari dreniraju i šljunak i pesak u povlati glavnog ugljenog sloja. Dinamika izrade bunara do kraja 2020. godine data je u Tabeli 1.

Tabela 1. Dinamika izrade bunara do 2020. godine

Godina izrade	Objekti odvodnjavanja	Broj objekata ili dužina	Datum aktiviranja
2013.	LC-XIV+ŠLA+ZLB	89+10+40	01.01.2014.
2015.	LC-XV+ŠLA+ZLB	88+10+3	01.01.2016.
2019.	LC-XVI+ŠLA+ZLB	93+6+11	01.01.2020.

Dinamika izrade bunara kada nema ekrana do 2027. godine data je u Tabeli 2. Linija bunara LC-XVII je udaljena od linije LC-XVI za 400 m, kao i LC-XVIII od LC-XVII.

Tabela 2. Dinamika izrade bunara do 2027. godine

Godina izrade	Objekti odvodnjavanja	Broj objekata ili dužina	Datum aktiviranja
2022.	LC-XVII+ZLB+ŠLA	106+8+6	01.01.2023.
2026.	LC-XVIII+ZLB+ŠLA	103+8+6	01.01.2027.

Dinamika izrade bunara do 2038. godine data je u Tabeli 3. Svi bunari dreniraju i šljunak i pesak.

Tabela 3. Dinamika izrade bunara do 2038. godine

Godina izrade	Objekti odvodnjavanja	Broj objekata ili dužina	Datum aktiviranja
2030.	LC-XIX+ZLB+ŠLA	98+10+7	01.01.2031.
2032.	LC-XX+ZLB+ŠLA	92+10+7	01.01.2033.
2034.	LC-XXI+ZLB+ŠLA	66+26+7	01.01.2035.
2036.	LC-XXII+ZLB+ŠLA	36+28+4	01.01.2037.

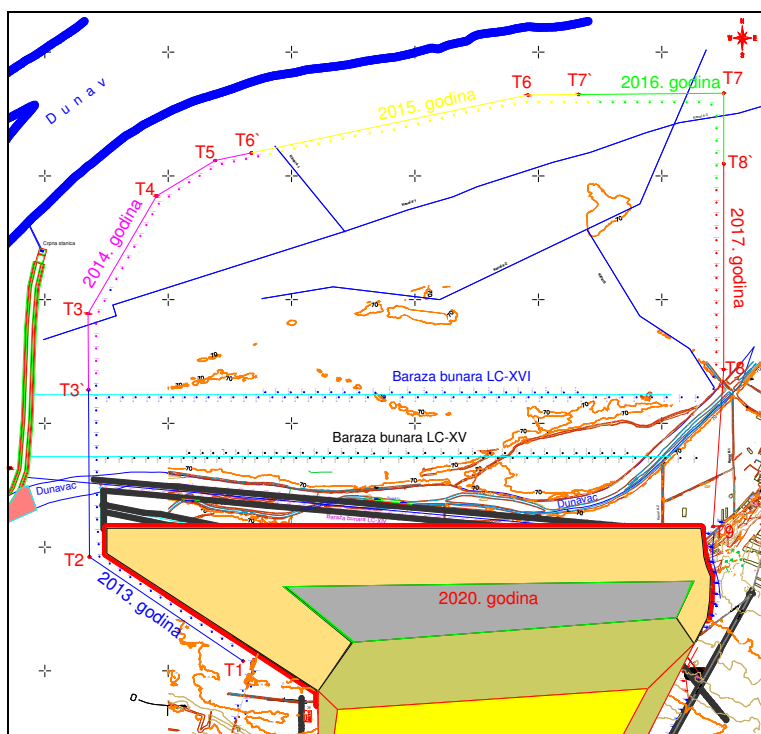
Ukupni troškovi odvodnjavanja podzemnih voda u periodu od 2012. do 2038. godine samo drenažnim bunarima prikazani su u Tabeli 4.

Tabela 4. Ukupni troškovi odvodnjavanja do 2038. godine - Varijanta 1

Period	Iznos (€)	5%	Ukupno (€)
2013-2020	53.742.580	2.687.420	56.430.000
2021-2027	38.801.840	1.948.160	40.750.000
2028-2038	81.639.810	4.080.190	85.720.000
Ukupno	174.184.230	8.715.770	182.900.000

**Varijanta 2 - odbrana kopa kombinovanim sistemom**

Ova varijanta zaštite kopa od podzemnih voda podrazumeva postojanje vodonepropusnog ekrana i drenažnih bunara. U Varijanti 2, zapadnu, severnu i istočnu granicu kopa (do kraja eksploatacije) čini vodonepropusni ekran dubine do drugog ugljenog sloja, odnosno vodonepropusnih glina. Izrada ekrana počinje 2013. godine, a završava se na kraju 2017. godine. Izrada ekrana po godinama prikazana je i na Slici 2.



Slika 2. Izrada ekrana po godinama

Dinamika izrade bunara i ekrana do kraja 2020. godine data je u Tabeli 5. Svi bunari dreniraju i šljunak i pesak, izuzev bunara LBE-53 do LBE-109 koji dreniraju samo pesak.

Tabela 5. Dinamika izrade bunara i ekrana do 2020. godine

Godina izrade	Objekti odvodnjavanja	Broj objekata ili dužina	Datum aktiviranja
2013.	LC-XIV+ŠLA	89+10	01.01.2014.
2013.	Deonica ekrana T1-T2-T3'	2853 m	01.01.2014.
2014.	LBE-1 do LBE-27	27	01.07.2014.
2014.	Deonica ekrana T3'-T3-T4-T5-T6'	2581 m	01.01.2015.
2015.	LC-XV+LBE-28 do LBE-52	75+25	01.01.2016.
2015.	Deonica ekrana T6'-T6-T7'	2701 m	01.01.2016.
2016.	LBE-53 do LBE-79	27	01.07.2016.
2016.	Deonica ekrana T7'-T7-T8'	1746 m	01.01.2017.
2017.	LBE-80 do LBE-95	16	01.07.2017.
2017.	Deonica ekrana T8'-T8-T9	2935 m	01.01.2018.
2018.	LBE-96 do LBE-110	15	01.07.2018.
2019.	LC-XVI	66	01.01.2020.

Dinamika izrade bunara do 2027. godine data je u Tabeli 6. Bunari ovih linija dreniraju samo pesak u povlati trećeg ugljenog sloja.

Tabela 6. Dinamika izrade bunara do 2027. godine

Godina izrade	Objekti odvodnjavanja	Broj objekata ili dužina	Datum aktiviranja
2022.	LC-XVII	61	01.01.2023.
2026.	LC-XVIII	43	01.01.2027.

Dinamika izrade bunara do 2038. godine data je u Tabeli 7. Bunari ovih linija dreniraju samo peskove.

Tabela 7. Dinamika izrade bunara do 2038. godine

Godina izrade	Objekti odvodnjavanja	Broj objekata ili dužina	Datum aktiviranja
2030.	LC-XIX	40	01.01.2031.
2035.	LC-XX	24	01.01.2036.

Ukupni troškovi odvodnjavanja podzemnih voda u periodu od 2012. do 2038. godine drenažnim bunarima i ekranom prikazani su u Tabeli 8.



Tabela 8. Ukupni troškovi odvodnjavanja do 2038. godine - Varijanta 2

Period	Iznos	5%	Ukupno
2013-2020	102884080	5145920	108030000
2021-2027	20815580	1034420	21850000
2028-2038	21046900	1053100	22100000
Ukupno	144746560	7233440	151980000

U prognoznim proračunima proticaji bunara na površinskom koku su zadavani, imajući u vidu nekoliko kriterijuma i ograničenja:

- Rad drenažnih bunara je simuliran u kontinuiranom radu u trajanju od jedne godine za svaki vremenski presek (01.01. - 31.12.).
- Početni kapaciteti bunara ne smeju da budu preveliki, jer se ne postiže željeni efekat odvodnjavanja i pored naglog sniženja nivoa u bunaru, u njegovoj okolini se ne formira odgovarajuća depresija. Ovo je posledica filtracionih i granulometrijskih karakteristika porozne sredine povlatnih (peskovitih) sedimenata uglja.
- Paralelno sa postepenim ocedivanjem i opadanjem nivoa podzemnih voda duž linija, proticaji bunara se smanjuju na odgovarajući način. Potrebno je ostvariti balans između proticaja bunara i sniženja nivoa, kako u njemu i njegovoj neposrednoj okolini, tako i u široj zoni svake od baraža.
- Bunari duž obodnih baraža trajno ostaju u pogonu. Njihovi kapaciteti se donekle smanjuju tokom vremena, ali sporije nego kapaciteti bunara u okviru zone otkopavanja otkrivke.

Hidrodinamički proračuni su realizovani u nestacionarnom režimu strujanja za određeni vremenski presek u trajanju od jedne godine, pri čemu je osnovni proračunski korak je bio mesec dana, koji je na nižem nivou iteracija podeljen da 10 delova, nejednakog trajanja (faktor 1,2)

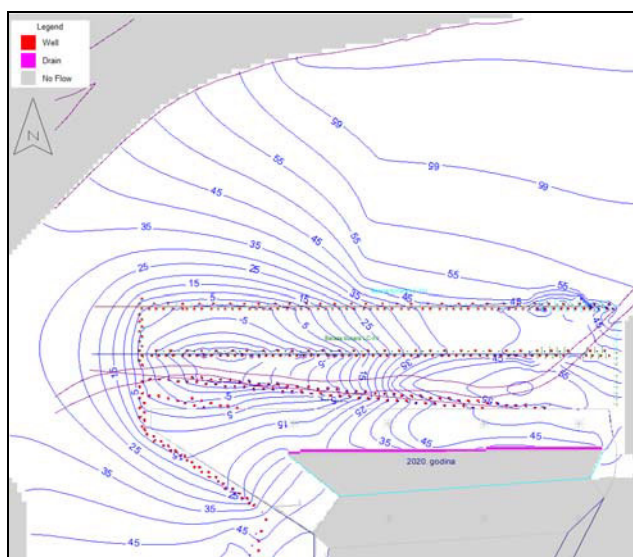
### 3. REZULTATI PROGNOZNIH PRORAČUNA

U sprovedenoj hidrodinamičkoj analizi zaštite kopa od podzemnih voda obrađene su dve varijante, a rezultati proračuna prognoze odvodnjavanja površinskog kopa Drmno su interpretirani i prikazani na sledeći način:

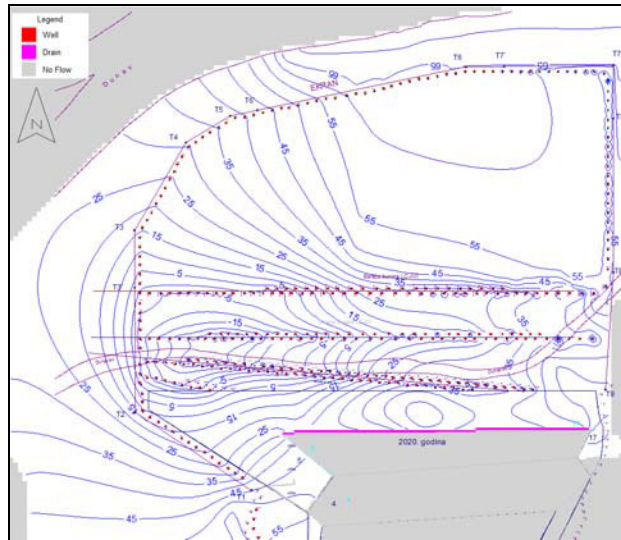
- Za prikaz rezultata proračuna usvojena su tri karakteristična vremenska preseka i to: kraj 2020., kraj 2027. i kraj 2038. godine (za svaku varijantu);

- Pijezometrijski nivoi u peskovitim sedimentima u povlati III ugljenog sloja dobijeni proračunima, prikazani su u obliku karata hidroizohipsi koje su date sa ekvidistancom od 5 m, za svaku varijantu i svaki vremenski presek;
- Bilans podzemnih voda dat je preko bilansa baražnih linija ispred konture napredovanja kopa, i preko bilansa pojedinačnih bunara u okviru ovih linija.

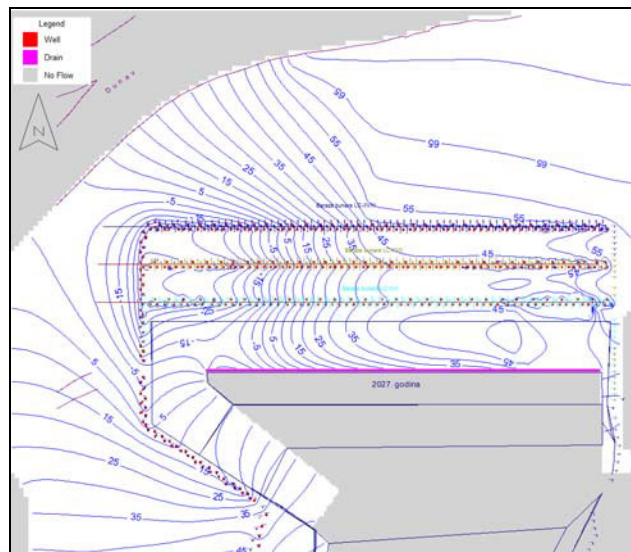
Na Slikama od 4 do 9, prikazane su karte rasporeda pijezometrijskog nivoa u peskovitom vodonosnom sloju u povlati III ugljenog sloja, za odabrane vremenske preseke.



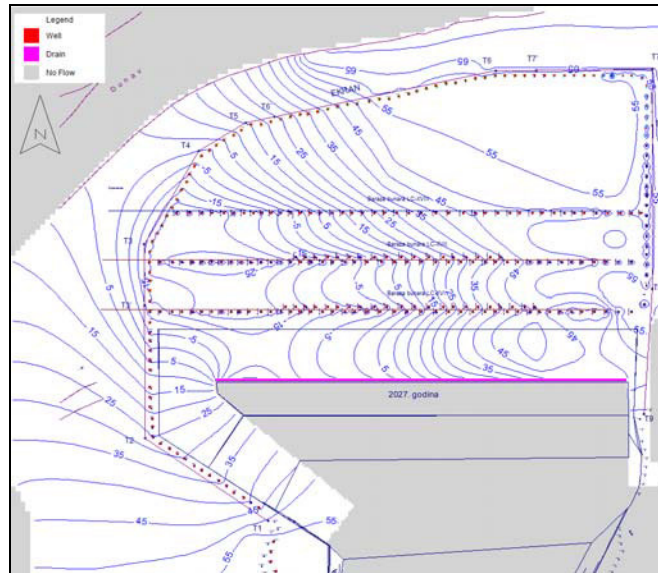
*Slika 4. Raspored pijezometrijskog nivoa u peskovima iznad III ugljenog sloja (kraj 2020. godine) - Varijanta 1*



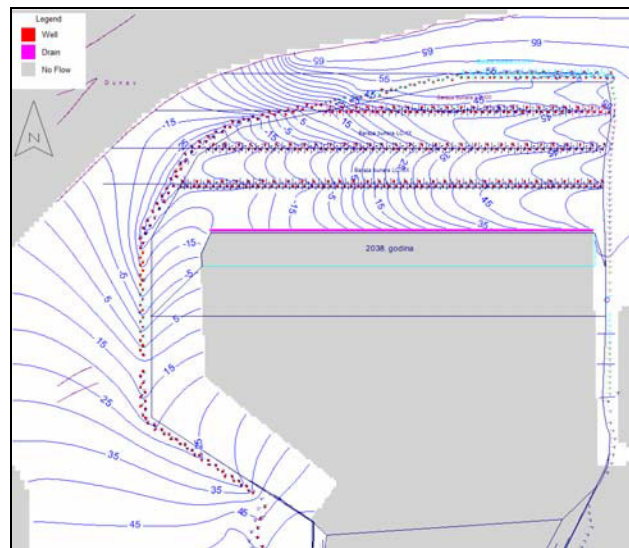
Slika 5. Raspored pijezometarskog nivoa u peskovima iznad III ugljenog sloja (kraj 2020. godine) - Varijanta 2



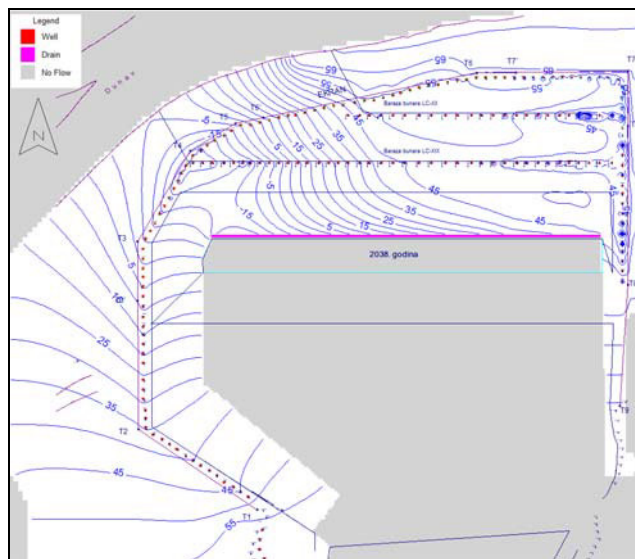
Slika 6. Raspored pijezometarskog nivoa u peskovima iznad III ugljenog sloja (kraj 2027. godine) - Varijanta 1



Slika 7. Raspored pijezometarskog nivoa u peskovima iznad III ugljenog sloja (kraj 2027. godine) - Varijanta 2



Slika 9.13. Raspored pijezometarskog nivoa u peskovima iznad III ugljenog sloja (kraj 2038. godine) - Varijanta 1



Slika 8. Raspored pijezometrijskog nivoa u peskovima iznad III ugljenog sloja (kraj 2038. godine) - Varijanta 2

Neophodno je dati objašnjenje, vezano za pravilno tumačenje rezultata proračuna, koji se odnose na rad drenažnih bunara. Bunari su u modelu zadavani preko svojih proticajja. Pijezometrijski nivoi u poljima sa zadatim proticajjima (bunarima) nikako ne mogu biti i realni u bunarima, iz dva razloga. Prvi i osnovni je taj, što se ni približno ne znaju hidrauličke karakteristike projektovanih bunara i njihove prifiltarske zone. Analogija sa postojećim bunarima nije mogla biti izvedena zbog nedostatka odgovarajućih podataka.

Drugi razlog je na određeni način posledica prvog, a to je da su bunari reprezentovani sa poljima diskretizacije dimenzija 10\*10 m. Dakle, pijezometrijski nivoi u poljima sa zadatim bunarskim proticajjima su u stvari reprezentativni nivoi u ovim poljima. Inače, svaki bunar je postavljen u posebnom polju diskretizacije, a maksimalna greška u postavljanju njegove lokacije (koordinatama) je do  $\pm \sim 5$  m.

Od suštinskog značaja za pravilno planiranje i projektovanje bunarskog sistema jeste definisanje kriterijuma njegovog racionalnog rada, kao što su: početni kapaciteti, željena brzina opadanja nivoa, referentni nivoi prelaska većeg proticajja na manji, veličina novih, manjih proticajja, referentni nivoi minimalnog kapaciteta, itd.

Da bi se pomenuti kriterijumi definisali, neophodno je da se raspolože sa odgovarajućim podlogama, podacima o filtracionim karakteristikama sredine, posebno u užoj zoni budućih baraža,

hidrauličkim karakteristikama projektovanih bunara, podacima o procesima starenja postojećih bunara, podacima o projektovanoj (i što je još važnije raspoloživoj) opremi, itd.

Sa prikazanih karata rasporeda pijezometarskih nivoa se može zaključiti da se u povlatnim peskovima trećeg ugljenog sloja uočava značajan efekat rada drenažnog sistema u obe varijante. Evidentna je razlika između strujne slike podzemnih voda unutar krajnjih kontura drenažnog sistema i područja izvan ove konture. Usled intenzivnog rada bunarskog sistema, unutar kontura drenažnog sistema dolazi do znatnog obaranja pijezometarskog nivoa podzemnih voda u povlatnim peskovima. Za prvi vremenski presek (kraj 2020. godine), po Varijanti 2 ostvareno je nešto veće obaranje nivoa podzemnih voda, kako ispred fronta napredovanja kopa, tako i u zapadnom delu baraže LC-XV, gde je ostvareno 5-10 m veće sniženje u odnosu na Varijantu 1. Za drugi vremenski presek (kraj 2027. godine), ostvareno je gotovo identično obaranje nivoa podzemnih voda ispred kopa, dok je po Varijanti 2 unutar područja obuhvaćenog ekranom na širem prostoru oboren nivo podzemnih voda i do 10 m više nego po Varijanti 1. Na kraju prognoznih proračuna, na kraju 2038. godine, neposredno ispred konture ostvareno je veće obaranja nivoa podzemnih voda u Varijanti 2, dok je po Varijanti 1 ostvareno veće obaranje nivoa podzemnih voda u neposrednom priobalju Dunava.

Dalja analiza vezana je za bilans drenažnih bunara. Utvrđeni su pojedinačni početni kapaciteti bunara u drenažnim linijama za prvu, odnosno drugu varijantu za prvi vremenski presek (kraj 2020. godine), drugi (kraj 2030. godine) i za treći vremenski presek (kraj 2038. godine). U Tabeli 9 su prikazane uporedne vrednosti broja bunara, ukupnih kapaciteta novih bunara i njihove prosečne vrednosti za obe varijante i za sva tri vremenska preseka. Bunari drenažnih linija ŠLA, ZLB, LEB i LC-XVI su prikazani samo pri prvom pojavljivanju. Izuzev bunara linije LC-XVI koji se pojavljuju i u drugom vremenskom preseku, ostali bunari koji se nalaze u obodnim baražama ostaju u funkciji i u poslednjem vremenskom preseku.

Tabela 9. Uporedni prikaz broja bunara po varijantama odbrane kopa od podzemnih voda, ukupnog kapaciteta drenažnih bunara i prosečnog kapaciteta bunara.

Vremenski presek (godina)	Varijanta 1					Varijanta 2				
	Drenažna linija	Ukupan broj bunara	Ukupan Q (l/s)	Qsr (l/s)	Doticaj u kop (l/s)	Drenažna linija	Ukupan broj bunara	Ukupan Q (l/s)	Qsr (l/s)	Doticaj u kop (l/s)
2020	ŠLA	26	78	3,00	104,7	ŠLA	10	30	3,00	92
	LC-XIV	89	720	8,09		LC-XIV	89	720	8,09	
	ZLB	54	484	8,96		LEB	110	856	7,78	
	LC-XV	88	646	7,34		LC-XV	75	610	8,13	
	LC-XVI	93	682	7,33		LC-XVI	66	542	8,21	
	<b>UKUPNO</b>	<b>350</b>	<b>2610</b>			<b>UKUPNO</b>	<b>350</b>	<b>2758</b>		
2027	ŠLA	12	36	3,00	101,0	LC-XVII	61	470	7,70	86
	LC-XVII	106	760	7,17						
	ZLB	16	144	9,00						
	LC-XVIII	103	744	7,22		LC-XVIII	43	362	8,42	
	<b>UKUPNO</b>	<b>237</b>	<b>1684</b>			<b>UKUPNO</b>	<b>104</b>	<b>832</b>		
2038	ŠLA	25	75	3,00	97,0				78	
	ZLB	74	674	9,00						
	LC-XIX	98	478	4,88		LC-XIX	40	266		6,65
	LC-XX	92	512	5,56		LC-XX	24	174		7,25
	LC-XXI	66	434	6,58						
	LC-XXII	36	280	7,78						
	<b>UKUPNO</b>	<b>391</b>	<b>2453</b>			<b>UKUPNO</b>	<b>64</b>	<b>440</b>		

#### 4. ZAKLJUČAK

U sprovedenoj hidrodinamičkoj analizi zaštite kopa Drmno od podzemnih voda obrađene su dve varijante: Varijanta 1 - odbrana kopa drenažnim bunarima i Varijanta 2 - kombinovani sistem odbrane kopa vodonepropusnim ekranom i drenažnim bunarima. Nakon analize dat je uporedni prikaz rezultata proračuna prognoze odvodnjavanja površinskog kopa Drmno, sa vrednostima broja bunara, ukupnih kapaciteta novih bunara i njihove prosečne vrednosti za obe varijante i za sva tri vremenska preseka. Na osnovu podataka iz Tabele 7 može se zaključiti sledeće:

- U Varijanti 1 izrađuje se 561 bunar više nego u Varijanti 2 gde pored manjeg broja drenažnih bunara postoji i vodonepropusni ekran.
- Na kraju 2020. godine (prvi analizirani presek rada drenažnog sistema) broj novoizvedenih bunara je identičan sa približno istim ukupnim kapacitetom ovih bunara, pri čemu u Varijanti 2 svih 110 bunara drenažne linije LEB ostaju u funkciji do kraja rada kopa.
- U drugom vremenskom preseku, u Varijanti 2 se zahvata 50% manje podzemnih voda uz lokalno veće obaranje nivoa.

- U trećem vremenskom preseku, nešto veće obaranje nivoa podzemnih voda ostvareno je sistemom odbrane simuliranim u Varijanti 2, uz učešće 6 puta manje drenažnih bunara nego u Varijanti 1 i zahvatanjem 5,5 puta manje podzemnih voda.
- Doticaj podzemnih voda u površinski kop, mimo drenažnih bunara opada vremenom, a nešto niže vrednosti (za 13-20%) dobijene su u Varijanti 2.

Na kraju hidrodinamičke analize može se zaključiti da se nešto veće obaranje nivoa podzemnih voda ostvaruje u varijanti zaštite kopa koja uključuje i drenažne bunare i vodonepropusni ekran. Najveća ulaganja po Varijanti 2 su u početnim godinama, kada se izrađuje ekran i obodni drenažni bunari linije LEB. Međutim, naknadni investicioni i eksploatacioni troškovi su višestruko niži u odnosu na Varijantu 1. Rešenje odvodnjavanja sa kombinacijom vodonepropusnog ekrana i linija bunara je i znatno pouzdanije, posebno imajući u vidu i pozitivan efekat u odnosu na zaštitu životne sredine.

### Literatura

1. Polomčić D. (2008), *Hydrodynamical model of groundwater regime in limonite ore body Buvac (Republika Srpska)*, 4<sup>th</sup> International Conference - COAL 2008, pp. 392-406, Belgrade
2. Polomčić D., Bajić D., Buhač D. (2011), *3D hidrodinamički model površinskog kopa Polje E (kolubarski ugljonosni basen)*, Zbornik radova sa V Međunarodne konferencije UGALJ2011, str. 320-330, ISBN: 978-86-83497-17-1, Zlatibor
3. Pavlović V., Šubaranović T. (2012), *Pouzdanost, optimizacija i upravljanje sistemima odvodnjavanja površinskih kopova*, Monografija, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
4. Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet (2009), *Glavni rudarski projekat površinskog kopa Drmno za kapacitet  $9 \cdot 10^6$  tona uglja godišnje*, Beograd
5. Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet (2009), *Uprošćeni rudarski projekat zaštite površinskog kopa drmno od podzemnih voda zamenskim bunarima na delovima baraža LC-IX' i LC-X*, Beograd
6. Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet (2011), *Uprošćeni rudarski projekat izrade prve deonice vodonepropusnog ekrana na površinskom kopu Drmno u kostolačkom ugljenom basenu*, Beograd