



**PRIMENA PROGNOZNIH VARIJANTNIH HIDRODINAMIČKIH
PRORAČUNA U KONCIPIRANJU SISTEMA ODBRANE
KOPOVA OD PODZEMNIH VODA NA PRIMERU
POVRŠINSKOG KOPA POLJE C**

**IMPLEMENTATION OF ALTERNATIVE FORECASTING
HYDRODYNAMIC CALCULATIONS DURING DESIGNING OF
MINES DEFENSE SYSTEM AGAINST GROUNDWATER ON
OPENCAST MINE FIELD C EXAMPLE**

Polomčić D.¹, Bajić D.², Ilić Z.³

Apstrakt

Sprovedenim prognoznim varijantnim proračunima omogućeno je sagledavanje karakteristika drenažnog sistema na površinskom kopu Polje C, odnosno određivanje međusobnog rasporeda, pojedinačnih kapaciteta i dinamika uključenja i isključenja drenažnih bunara koji kaptiraju međuslojnu jalovinu. Bunari su generalno postavljeni linijski upravno na smer napredovanja Kopa duž ukupno šest bunarskih linija (posmatrano do kraja eksploatacije uglja na kopu), i dva bunara koja se već nalaze u radu. Bunari su locirani u lokalnim depresijama, duž ose sinkilinalne, kako bi u što dužem vremenskom periodu mogli da zahvataju podzemne vode. Međusobno rastojanje bunara je 100 - 200 m u okviru jedne linije bunara, a razmak između linija se kreće od 125-250 m.

¹ Prof. Dr Dušan Polomčić, dipl.ing., Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu

² Bajić Dragoljub, dipl.ing., Rudarsko-geološki fakulteti Univerziteta u Beogradu

³ Zoran Ilić, dipl.ing., Elektroprivreda Srbije, PD RB Kolubara, Lazarevac

Drenažni sistem u okviru međuslojne izdani sastoji se od ukupno 23 savršena (potpuna) bunara, uključujući i bunare Bc-4/05 i Eb-1/07 koji su danas u funkciji. U sledećoj fazi neophodno je kroz proces tehnokonomске ocene odabrati optimalnu od četiri varijante zaštite kopa od podzemnih voda.

Ključne reči: odvodnjavanje, hidrodinamički proračun, drenažni bunari, drenažni sistem, površinski kop

Abstract

By the implemented alternative forecasting calculations was provided review of the drainage system characteristics at the opencast mine Field C, i.e. by the determination of the mutual arrangement, individual capacities and dynamics of inclusion and exclusion of dewatering wells for interburden drainage. Wells are generally located in-line perpendicular to the direction of mine advancement along six wells in line (observed by the end of coal mining at the mine), and two wells that are already in operation. Wells are located in local depressions along the syncline axis, in order to catch groundwater in as much as longer periods of time. Distance between wells is 100-200 m within one line of wells, and distance between lines ranges from 125-250 m. Drainage system within the interburden aquifer consists of a total of 23 perfect (complete) wells, including wells Bc-4/05 and Eb-1/07 that are in use today. In the next phase it is necessary via the process of techno-economic evaluation to select the optimal between four variants for protection of mine against groundwater..

Keywords: dewatering, hydrodynamic analysis, dewatering wells, drainage system, opencast mine

1. UVOD

Sprovedena kompleksna hidrodinamička analiza režima podzemnih voda u postojećim i prognoznim uslovima na površinskog kopa Polje C predstavljali su veoma bitnu podlogu za konačno koncipiranje rešenja u okviru Idejnog programa sa studijom opravdanosti otvaranja i izgradnje površinskog kopa Polje C (Kolubara-projekt, 2008.) i Glavnog rudarskog projekta proširenja površinskog kopa Polje C (Kolubara-projekt, 2009.).

Na osnovu analize uticaja prirodnih faktora u zoni površinskog

kopa Polje C, stečenih iskustava i proverenih tehničkih rešenja u zaštiti ostalih površinskih kopova u Kolubarskom ugljonosnom basenu od podzemnih voda, tehnologije otvaranja i eksploatacije i pravca i dinamike razvoja rudarskih radova, definisano je tehničko rešenje zaštite kopa Polje C od podzemnih voda koje se zasniva na primeni drenažnih bunara (Polomčić 2008., Polomčić, Bajić, Buhač 2011.). Prednosti primene bunara u sistemu zaštite površinskog kopa od podzemnih voda se ogledaju pre svega u: manjim investicionim ulaganjima, jednostavnoj i brznoj izradi, elastičnosti celog sistema i mogućnosti dogradnje i prilagođavanja novonastaloj situaciji. U cilju uspešne zaštite kopa od priliva podzemnih voda iz aluvijalnih naslaga reke Peštan izvešće se izmeštanje rečnog korita Peštana na novu trasu, južno od površinskog kopa. Novo korito reke Peštan biće vodonepropusno, čime će se sprečiti infiltracija rečnih voda u radnu sredinu kopa. Akumulirane vode u okviru aluvijalne izdani dreniraće se isticanjem na kosinama radnih etaža. U sklopu projektnih rešenja zaštite kopa Polje C od podzemnih voda analizirana je zaštita površinskog kopa od priliva podzemnih voda iz međuslojne izdani formirane u miocenskim vodonosnim peskovima. Uslov za nesmetani proces otkopavanja, transporta i odlaganja jalovinskih masa i postizanje projektovanih kapaciteta na otkopavanju jalovine i uglja, na kopu Polje C je odvodnjena radna sredina. U slučaju postojanja viših nivoa podzemnih voda na radnim kosinama kopa doći će do isticanja podzemnih voda, sa svim pratećim manifestacijama kao što su odroni, sufozija i dr., i narušavanja stabilnosti i geometrije radnih etaža kopa. Kako bi se obezbedili adekvatni uslovi rada i sprečile pojave filtracione deformacije (mehanička sufozija, pojave tečenja i dr.) radnih i završnih kosina površinskog kopa, projektovani sistem odvodnjavanja mora biti pouzdan i efikasan, i njegovim radom visina isticanja podzemnih voda na kosinama radnih etaža ne sme biti veća od 1 m (Pavlović, Šubaranović, Polomčić 2012.).

2. IZRADA HIDRODINAMIČKOG MODELA KOPA POLJE C

Hidrodinamički model površinskog kopa Polje C je koncipiran i izražen 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 terenskih istražnih radova. Posmatrano od površine terena, korespondentni slojevi modela i terena su:

1. *Prvi izolatorski sloj* - heterogeni materijali odlagališta u centralnom delu terena i glinoviti povlatni sedimenti na površini preostalog dela terena.
2. *Drugi izolatorski sloj* - kvartarni glinoviti sedimenti.
3. *Treći vodonosni sloj* - kvartarni peskovi i šljunkovi povlatne izdani koji na severu terena prelaze u peskovite sedimente međuslojne izdani.
4. *Četvrti kombinovani izolatorsko-vodonosni sloj* - gornji ugljeni sloj u središnjem delu terena koji na jugu i severu prelazi u međuslojne peskove.
5. *Peti vodonosni sloj* - miocenski međuslojni peskovi.
6. *Šesti izolatorski sloj* - donji ugljeni sloj.

Osnovne dimenzije matrice, kojom je obuhvaćen izučavani teren su 3300 m*2800 m, odnosno 9.25 km². Diskretizacija strujnog polja u planu je izvedena sa osnovnom veličinom ćelija 25 m*25 m, homogeno za celo područje obuhvaćeno modelom.

Realna geometrija šematizovanih slojeva je na modelu predstavljena (simulirana) u skladu sa njihovim realnim rasprostranjenjem, kako u planu, tako i u profilu. *Geometrizacija* kontura slojeva, njihovo prenošenje u koordinatni sistem modela, izvršena je na osnovu podataka istražnih bušotina raspoređenih na širem području površinskog kopa Polje C, kako je prikazano u Tabeli 1.

Tabela 1. Prikaz broja bušotina kojima su određeni litološki članovi na Polju C

Podina Istočne kipe	35
Kvartarne gline	328
Peskovi i šljunkovi krovinske izdani	162
Gornji ugljeni sloj	101
Međuslojni peskovi	305
Donji (glavni) ugljeni sloj	320

Koeficijenti filtracije i specifična izdašnost izdani porodne sredine zadavani su kao reprezentativne vrednosti u svakoj ćeliji diskretizacije. Inicijalne vrednosti koeficijenata filtracije u okviru povlatne izdani usvojeni su na osnovu rezultata dobijenih izradom hidrodinamičkog modela Polja E (Kolubara-projekt, 2008. i 2009.) (Tabela 2).

U hidrodinamičkom modelu površinskog kopa Polja C, primenjeni su sledeći granični uslovi: granični uslov *reka*, granični uslov zadatog proticaja, efektivna infiltracija, i granica opšteg pijezometarskog nivoa.

Tabela 2. Inicijalne vrednosti filtracionih karakteristika

Kvartarne gline	$K = 4 \cdot 10^{-7}$ m/s, $\mu = 0.0003$
Kvartarni peskovi i šljunkovi	$K = 3 \cdot 10^{-5}$ m/s, $\mu = 0.001$
Gornji ugljeni sloj	$K_{x,y} = 1 \cdot 10^{-8}$ m/s, $K_z = 1 \cdot 10^{-7}$ m/s, $\mu = 0.01$
Miocenski peskovi međuslojne zdani	$K = 1 \cdot 10^{-5}$ m/s, $\mu = 0.003$
Glavni (donji) ugljeni sloj	$K_{x,y} = 1 \cdot 10^{-8}$ m/s, $K_z = 1 \cdot 10^{-7}$ m/s, $\mu = 0.01$.

Granični uslov *reka* - U površinskim slojevima, u okviru Polja C, određenu ulogu u definisanju režima podzemnih voda imaju površinski tokovi, od kojih je jedini stalan tok reka Peštan. Hidraulička uloga reke Peštan na modelu je simulirana sa graničnim uslovom *reka* koji je zadat u prvom sloju modela.

Eksploatacioni bunari (čelijski sa zadatim proticajem) - Na prostoru kopa Polje C radio je jedan bunar - Bc-4/05 (2007. i 2008. godine), sa kapacitetom od 10 l/s. Na modelu je kao ulazni podatak zadavana ova vrednost kapaciteta kao konstantna za ceo period kalibracije modela.

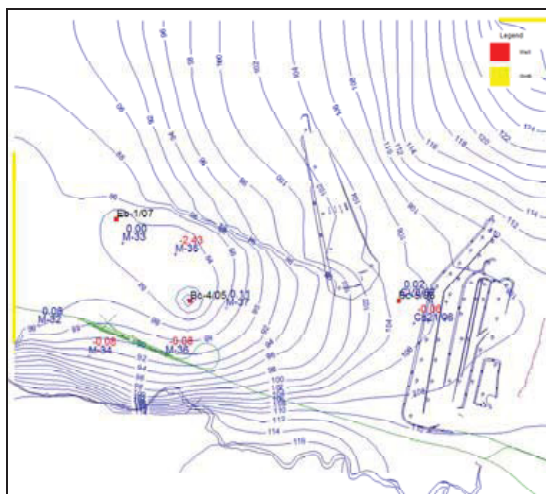
Efektivnu infiltraciju - čini suma infiltracije od padavina, isparavanja sa nivoa podzemnih voda i evapotranspiracija (Polomčić i dr. 2013.). U proračunima su inicijalno zadavane vrednosti efektivne infiltracije koja je procenjena na 10% srednjih mesečnih padavina koje su registrovane na kišomernoj stanici Stepojevac za period 1946.-2006. godina. U toku procesa etaloniranja ove vrednosti su menjane. Ovaj granični uslov na modelu je zadavan samo u prvom modelskom sloju.

Granica opšteg pijezometarskog nivoa - Smer kretanja podzemnih voda u okviru međuslojne izdani je iz pravca istoka prema zapadu sa kote 125.4 m u severoistočnom delu na kotu 97.45 m u zapadnom delu (Kolubara-projekt, 2008.). Ovakav smer kretanja podzemnih voda sa navedenim vrednostima pijezometarskog nivoa simuliran je preko granice opšteg pijezometarskog. Ovaj tip graničnog uslova zadan je samo u petom modelskom sloju, na krajnjem severoistočnom i na zapadnom delu terena (Slika 1).

3. ETALONIRANJE I VERIFIKACIJA HIDRODINAMIČKOG MODELA POVRŠINSKOG KOPA POLJE C

Etaloniranje modela je sprovedeno u nestacionarnim uslovima strujanja, sa vremenskim korakom od jednog meseca za analizirani vremenski period (01.04.2007.- 01.06.2008.). Osnovni proračunski korak bio je mesec dana, koji je na višem nivou iteracija podeljen na 10 delova, nejednakog trajanja (faktor 1.2). Model je etaloniran na osnovu relativno malog broja osmatračkih objekata, raspoređenih samo u centralnom delu istražnog područja.

Proces verifikacije modela, koji se nastavlja posle završenog etaloniranja modela zahteva postojanje novih podataka osmatranja režima podzemnih voda, i treba da pokaže (dokaže) kvalitet izrade modela za neke nove vrednosti graničnih uslova i registrovanih nivoa podzemnih voda. Tokom, 2009. godine izvršena su određena osmatranja na novoizgrađenim pijezometrima, koji se nalaze bliže Polju E (Slika 1), i na dva pijezometra koja su osmatrana tokom 2007. i 2008. godine (Kolubara-projekt 2009.). Pored ovih objekata na istražnom području se nalazi nov bunar Eb-1/07 u radu sa kapacitetom od 10 l/s. Takođe, merenjima sprovedenim 2009. godine registrovani su kapaciteti preostalih bunara u funkciji: Bc-4/05 (13 l/s) i Bc-5/06 (0.8 l/s). Prikupljeni podaci, pre svega vezani za zapadno područje obuhvaćeno modelom, poslužili su za dodatno preciziranje hidrodinamičkih uslova na istražnom području, kroz proces verifikacije modela. Na Slici 1 dat je prikaz rasporeda pijezometarskog nivoa u međuslojnoj izdani zajedno sa graničnim uslovim u petom modelskom sloju, na kraju perioda za koji je izvršena verifikacija modela.



Slika 1. Karta hidroizohipsi u međuslojnoj izdani (17.06.2009.) sa položajem osmatračkih objekata, vrednostima reziduala i graničnim uslovima

Sa prikazane karte hidroizohipsi u međuslojnoj izdani (Slika 1) uočava se generalno veoma dobro slaganje proračunatih vrednosti nivoa podzemnih voda i registrovanih na pijezometrima. Razlike između ovih vrednosti (reziduali) se kreću od 0.00 - 0.11 m. Izuzetak je pijezometar M-35 na kome je registrovana razlika od 2.43 m. Za ovu anomaliju nema racionalnog objašnjenja, obzirom da registrovani nivoi na pijezometrima

blizu bunara Bc-4/05 i Eb-1/07 pokazuju veoma dobro slaganje sa proračunatima nivoima.

4. PROGNOZNI VARIJANTNI PRORAČUNI ODVODNJAVANJA POVRŠINSKOG KOPA POLJE C

Osnovna namena modela strujanja podzemnih voda je da se na njemu simuliraju pretpostavljena, željena stanja režima podzemnih voda. Prognoza režima podzemnih voda u novim, pretpostavljenim i planiranim uslovima je svrha modela (Polomčić, Pavlović, Šubaranović 2012., Šubaranović i dr. 2013.). Konceptija odvodnjavanja kopa Polje C zasniva se na radu drenažnih bunara, čiji su broj, raspored i pojedinačni kapaciteti bili predmet prognoznih proračuna.

U prognoznim proračunima proticaji bunara na kopu su zadavani, imajući u vidu nekoliko kriterijuma i ograničenja (Polomčić, Pavlović, Šubaranović 2012.):

- Na osnovu iskustva je poznato da vek trajanja bunara, koji se nalaze na pravcu fronta napredovanja Kopa, zavisi od dinamike napredovanja iskopavanja otkrivke. Tokom vremena, kako napreduju etaže otkrivki, bunar se postepeno skraćuje, a njegova izdašnost smanjuje, do konačnog isključenja, odnosno uništenja bunara;
- 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, kao posledica filtracionih i karakteristika porozne sredine međuslojnih peskovitih sedimenata;
- Paralelno sa postepenim ocedivanjem i opadanjem nivoa podzemnih voda duž bunarskih linija, proticaji bunara se smanjuju na odgovarajući način, kako bi se ostvario balans između proticaja bunara i sniženja nivoa, kako u njemu i njegovoj neposrednoj okolini, tako i u široj zoni svake od bunarskih linija.

Lokacije drenažnih bunara određene su na osnovu:

- projektnog rešenja razvoja rudarskih radova i položaja frontova rudarskih radova po godinama razvoja (do 2018. godine),
- geometrije hidrogeoloških kolektora i hidrogeoloških izolatora, filtracionih i karakteristika vodonosnih slojeva, dubine do nivoa podzemnih voda, visine zavodnjivosti međuslojne izdani i dr.,
- zona prihranjivanja međuslojne izdani, i
- hidrodinamičke analize sa prognozom efekata sniženja nivoa podzemnih voda pod uticajem superpozicije strujanja novoprojektovanih baraža bunara.

Pri određivanju lokacija bunara vodilo se računa da su debljine izdanske zone u međuslojnim peskovima na izabranom mestu što je moguće veće. Takođe, vodilo se računa i da je po mogućstvu poznat litološki stub na mikrolokaciji drenažnog bunara, na osnovu podaci dobijenih ranijim istražnim geološkim bušenjem.

Hidrodinamički prognozni proračuni su realizovani u nestacionarnom režimu strujanja, uzimajući kao osnovni proračunski vremenski interval mesec dana koji je na nižem nivou iteracija podeljen da 10 delova, nejednakog trajanja (faktor 1,2). Tokom ovih proračuna zadati su svi dominantni parametri režima podzemnih voda na području kopa, dobijeni na osnovu verifikacije modela.

U prognoznim proračunima, unutrašnja kontura iskopa povlatnih jalovinskih naslaga kopa predstavljaće, s hidrodinamičkog gledišta, najznačajniju konturu površinskog kopa Polje C. Dugotrajnim višegodišnjim radom na eksploataciji uglja formiraće se regionalna depresija u nivoima podzemnih voda, čije najniže kote odgovaraju upravo najnižim kotama konture iskopa. Ove zone će imati ulogu erozionog bazisa, prema kome gravitiraju sve podzemne vode područja. Ocedivanje podzemnih voda se odvija kroz kosine iskopa, pri čemu se one prikupljaju drenažnim sistemom (preko sabirnika) i odvođe izvan Kopa. Na modelu je unutrašnja kontura iskopa zadata kao drenažna linija sa kotom od 1 m iznad povlate uglja. Doticaj u ovu konturu u zavisnosti je od filtracionih karakteristika same drenaže, njenih dimenzija, i razlike pijezometarskog nivoa izdani i zadatog nivoa u samoj drenaži. Prednost ovako zadatog graničnog uslova ogleda se u tome što se u slučaju realno nižeg nivoa podzemnih voda od zadatog uslova, ovaj granični uslov automatski isključuje.

U skladu sa usvojenom dinamikom razvoja površinskog kopa Polje C, definisane su konture fronta napredovanja rudarskih radova u celini, u karakterističnim vremenskim presecima, na kraju kalendarskih godina 2008., 2009., 2010., 2011., 2012. i 2017. godine (Kolubara-projekt, 2008.).

Varijante prognoznih proračuna zaštite kopa od podzemnih voda

Ukupno je definisano četiri varijante proračuna koje se međusobno razlikuju po lokacijama drenažnih bunara i njihovom vremenu aktiviranja. Početni kapaciteti bunara su u svakoj varijanti identični. Svi proračuni po varijantama nadovezuju se na period za koji je osnovni hidrodinamički model kopa Polje C verifikovan, i nastavljaju se zaključno do 31.12.2018. godine. U tabeli 3 prikazano je vreme

uključenja drenažnih bunara po varijantama proračuna.

Tabela 3. Vreme uključenja bunara po varijantama odbrane kopa Polje C od podzemnih voda

Oznaka bunara	Drenažna linija	Početni kapacitet (l/s)	Vreme aktiviranja bunara			
			Varijanta 1	Varijanta 2	Varijanta 3	Varijanta 4
Bc-4/05		8	2008			
BPC-1	1	5	2009	2009	2009	2009
BPC-2		6				
BPC-3		6				
BPC-4		10				
BPC-5		8				
BPC-6	2	6	2010	2011	2010	2011
BPC-7		8				
BPC-8		10				
BPC-9	3	7	2012	2013	2012	2013
BPC-10		10				
BPC-11		8				
BPC-12	4	10	2015			
BPC-13		8	2016			
BPC-14		8				

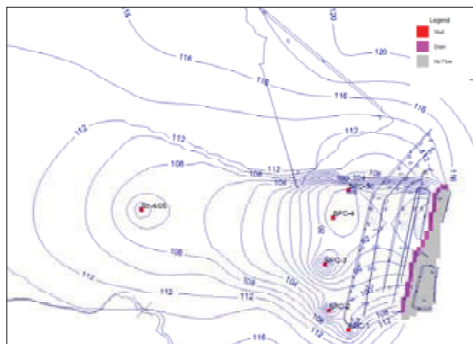
Obzirom da otkopavanje jalovine sa kopa započinje već u 2008. godini. Predodvodnjavanje kopa ne može adekvatno da prati dinamiku rudarskih radova u početnim godinama za koje je sprovedena prognoza. Ovo je uslovalo razmatranje varijanti odvodnjavanja u kojima se bunari nalaze prosečno na 200 metara od fronta radova početkom 2009. (Varijanta 1), odnosno prosečno 50 metara od fronta radova (Varijanta 2). Druga linija bunara (bunari BPC-6 do BPC-8) je za prosečno 125 metara bliža frontu napredovanja rudarskih radova po Varijantama 3 i 4 u odnosu na Varijante 1 i 2. Preostali drenažni bunari koji se uključuju od 2012., odnosno 2013. nalaze se na identičnim lokacijama u svim varijantama proračuna. U odnosu na Varijante 1 i 3, Varijante 2 i 4 razlikuju se po vremenu uključenja bunara. Za ove varijante razlike između početka uključenja u rad određenih bunara javljaju se u periodu 2010.-2013.

godina.

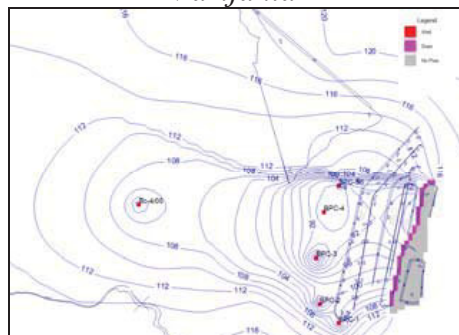
Osnovni kriterijum za dimenzionisanje potrebnog spuštanja nivoa podzemnih voda u međuslojnoj izdani je radna kota etaže na kraju svake godine napredovanja kopa Polje C. Tokom proračuna išlo se na nešto veće obaranje nivoa podzemnih voda kako bi dobijeni rezultati imali veći stepen sigurnosti, obzirom na skroman fond podloga koje su poslužile izradi hidrodinamičkog modela i prognozi stanja graničnih uslova tokom izvođenja prognoznih proračuna.

5. PRIKAZ REZULTATA PROGNOZNIH VARIJANTNIH PRORAČUNA ZAŠTITE PKOPA POLJE C OD PODZEMNIH VODA

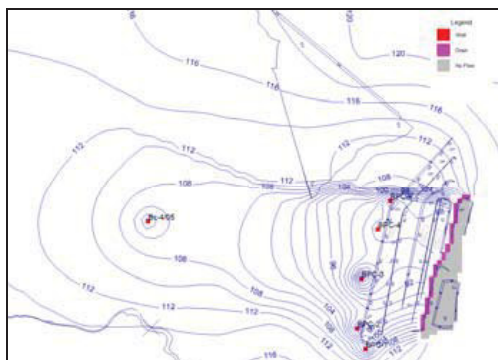
Rezultati proračuna prognoze odvodnjavanja PK Polje C interpretirani i prikazani za međuslojnu izdan preko karata hidroizohipsi za četiri karakteristična vremenska preseka, i to: kraj 2009. godine, kraj 2011. godine, kraj 2013. godine, i kraj 2018. godine (Slike 2-14).



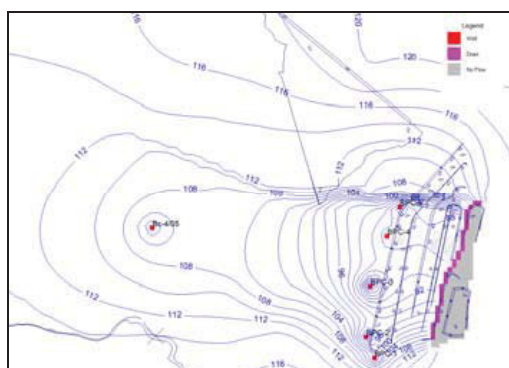
Slika 2. Prikaz hidroizohipsi u međuslojnoj izdani na kraju 2009. godine - Varijanta 1



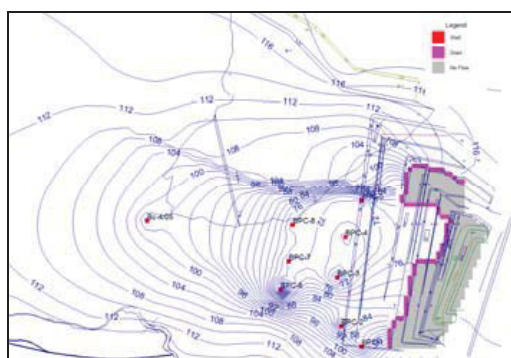
Slika 3. Prikaz hidroizohipsi u međuslojnoj izdani na kraju 2009. godine - Varijanta 2



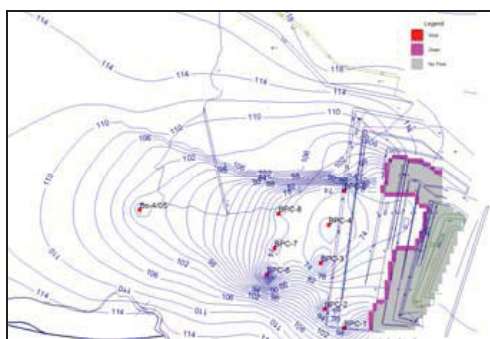
Slika 4.: Prikaz hidroizohipsi u međuslojnoj izdani na kraju 2009. godine
- Varijanta 3



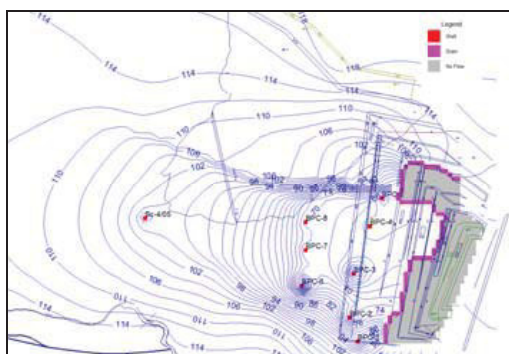
Slika 5.: Prikaz hidroizohipsi u međuslojnoj izdani na kraju 2009. godine
- Varijanta 4



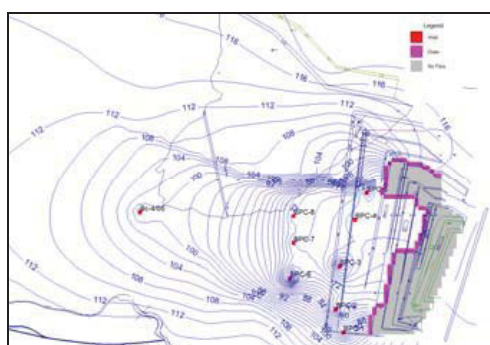
Slika 6. Prikaz hidroizohipsi u međuslojnoj izdani na kraju 2011. godine
- Varijanta 1



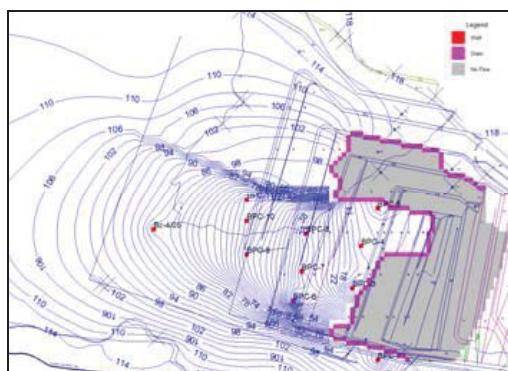
*Slika 7. Prikaz hidroizohipsi u međuslojnoj izdani na kraju 2011. godine
- Varijanta 2*



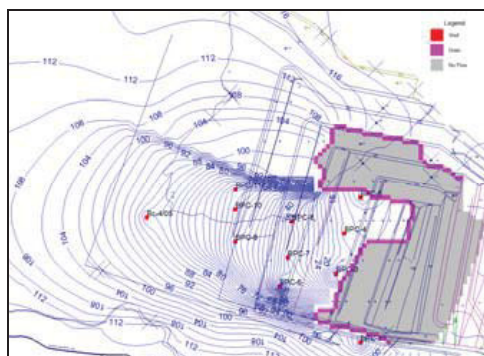
*Slika 8. Prikaz hidroizohipsi u međuslojnoj izdani na kraju 2011. godine
- Varijanta 3*



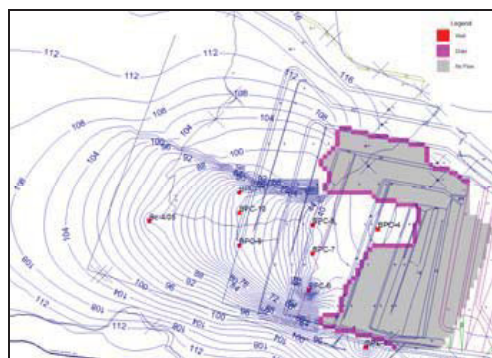
*Slika 9. Prikaz hidroizohipsi u međuslojnoj izdani na kraju 2011. godine
- Varijanta 4*



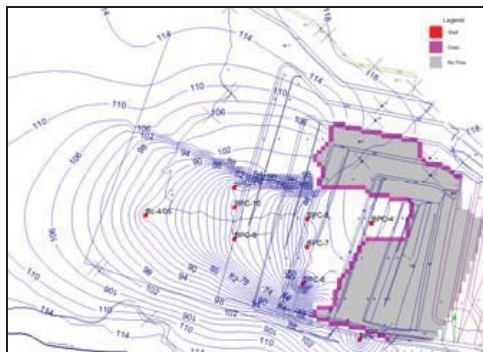
*Slika 10. Prikaz hidroizohipsi u međuslojnoj izdani na kraju 2013. godine
- Varijanta 1*



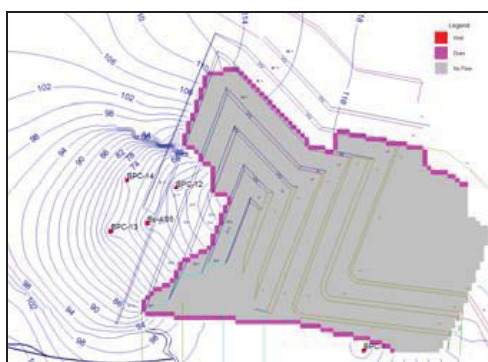
*Slika 11. Prikaz hidroizohipsi u međuslojnoj izdani na kraju 2013. godine
- Varijanta 2*



*Slika 12. Prikaz hidroizohipsi u međuslojnoj izdani na kraju 2013. godine
- Varijanta 3*



*Slika 13. Prikaz hidroizohipsi u međuslojnoj izdani na kraju 2013. godine
- Varijanta 4*



*Slika 14. Prikaz hidroizohipsi u međuslojnoj izdani na kraju 2018. godine
- Varijante 1-4*

Na osnovu prikazanih rezultata varijantnih prognoznih hidrodinamičkih proračuna efekata rada sistema zaštite kopa od podzemnih voda (Slike 2 - 14) može se zaključiti sledeće:

- Kraj 2009. godine - u Varijantama 3 i 4 ostvarena su očekivano veća sniženja nivoa podzemnih voda ispred fronta napredovanja rudarskih radova u odnosu na varijante 1 i 2. Ova razlika generalno iznosi oko 2 - 3 m.
- Kraj 2010. godine - najintenzivnija obaranja nivoa su u Varijantama 1 i 3 u kojima se uključuje drenažna linija 2 sa bunarima BPC-6 do BPC-8, s tim što je u Varijanti 3 najveće obaranje nivoa podzemnih voda. U središnjem delu konture napredovanja rudarskih kopova, po ovoj varijanti obaranja nivoa podzemnih voda veća su za 4-6 m u odnosu na varijantu 1, za oko 12 m od Varijante 2, i za oko 8 m od Varijante 4.

- Kraj 2011. godine - u Varijantama 2 i 4 uključuju se u rad bunari drenažne linije 2 (bunari BPC-6 - BPC-8). U užoj zoni ispred fronta napredovanja kopa obaranje nivoa podzemnih voda je veće za oko 2 - 4 m u odnosu na varijante 1 i 3.
- Kraj 2012. godine - napredovanjem rudarskih radova došlo je do isključenja bunara BPC-5 iz rada u Varijantama 3 i 4. Ovo je rezultiralo nešto više nivoa podzemnih voda u odnosu na Varijante 1 i 2. Najniži nivoi podzemnih voda su ostvareni u Varijanti 1, i niži su za 10 - 12 m u odnosu na varijantu 2, 6 m od Varijante 3 i 10-12 m od ostvarenih efekata po Varijanti 4.
- Kraj 2013. godine - u Varijantama 3 i 4 usled blizine drenažnih linija frontu napredovanja rudarskih radova, dolazi do ispadanja iz rada bunara BPC-2 i BPC-3, dok je u Varijantama 1 i 2 van funkcije samo bunar BPC-2. Najveće obaranje nivoa podzemnih voda je ostvareno radom drenažnog sistema po Varijanti 1 i obaranja nivoa je veće za 2 m u odnosu na Varijantu 2, 10-16 m od Varijante 3 i 12-18 m u odnosu na Varijantu 4.
- Kraj 2018. godine - kompletne drenažne linije 1, 2 i 3 su van funkcije, tokom 2015. i 2016. godine puštaju se u rad bunari BPC-12, BPC-13 i BPC-14. Rezultati svih varijantnih rešenja za ovaj vremenski presek su gotovo identični (Slika 14), što se i moglo očekivati u odnosu na identično uključenje novih bunara u rad u svim varijantama i *nagli* skok napredovanja rudarskih radova (nova pozicija nakon 5 godina) koji je rezultirao znatno smanjenje strujnog polja i identičan broj bunara koji su ispali iz funkcije u istom vremenskom preseku.

Promena sumarnih kapaciteta drenažnih bunara u varijantama zaštite kopa od podzemnih voda je prikazana u Tabeli 3.

Tabela 3. Promena sumarnih kapaciteta bunara u varijantama zaštite kopa

	2009	2010	2011	2012	2013	2018
Var. 1	43.0	66.5	62.5	79.5	66.0	34.0
Var. 2	43.0	42.5	65.0	62.5	69.5	35.0
Var. 3	43.0	66.5	60.5	71.0	56.5	34.0
Var. 4	43.0	42.5	63.5	51.0	59.0	34.5

Iz prikazane tabele, uočljiva je relativno mala promena ukupnih količina vode koje se zahvataju drenažnim bunarima. Prvi veći skok javlja se u 2010. godini, kada po Varijantama 1 i 3 dolazi do uključivanja nova tri bunara duž drenažne linije 2. Naredne godine je registrovano

povećanje kapaciteta u varijantama kada se uključuju bunari u drenažnoj liniji 2. Međutim, ovde se već registruje opadanje kapaciteta bunara prve drenažne linije, kao posledice blizine rudarskih radova i postojanja druge linije drenažnih bunara. Tokom 2013. godine registrovano je opadanje početnih kapaciteta bunara uz značajnije smanjenje broja bunara u Varijantama 2 i 4 koje su posledica trajnog ispadanja iz funkcije većeg broja bunara prve drenažne linije. Relativno veliki ukupni kapacitet drenažnih bunara po varijanti 4 posledica je uključenja u rad drenažne linije 3 na početku analizirane godine, dok je broj isključenih bunara identičan Varijanti 2. Na kraju 2018. godine, vlada relativno ujednačen režim podzemnih voda po svim varijantama odbrane kopa od podzemnih voda.

6. ZAKLJUČAK

Sprovedenom hidrodinamičkom analizom definisana je izgradnja i rad drenažnih bunara koji su u funkciji odbrane površinskog kopa Polje C od podzemnih voda iz međuslojne izdani. U hidrodinamičkim varijantnim proračunima za prognozni period od 01.2009. do 12.2018. godine na matematičkom modelu su analizirani broj drenažnih bunara, njihov međusobni raspored, vreme uključenja i pojedinačni kapaciteti bunara.

Analizirano je ukupno četiri varijante zaštite kopa od podzemnih voda u kojoj figurišu različite lokacije drenažnih bunara i različito vreme uključenja određenih grupa bunara raspoređenih u linijskom rasporedu upravnom na front napredovanja rudarskih radova. U izboru najbolje šeme odbrane kopa treba analizirati efekte odvodnjavanja - veličinu i brzinu sniženja nivoa, postojanost kapaciteta objekata i dužina rada bunara, kao i tehno-ekonomsku ocenu ponuđenih rešenja.

U narednom periodu, neophodno bi bilo projektovati detaljna hidrogeološka istraživanja i po završetku njih postojeći matematički model dopuniti i verifikovati, odnosno izvršiti kontrolu dobijenih rezultata prognoznih proračuna.

Literatura

1. Kolubara-projekt: Idejni program sa studijom opravdanosti otvaranja i izgradnje površinskog kopa Polje C, Lazarevac, 2008
2. Kolubara-projekt: Glavni rudarski projekat proširenja površinskog kopa Polje C, Lazarevac, 2009
3. Pavlović V., Šubaranović T., Polomčić D.: Sistemi odvodnjavanja površinskih kopova, Univerzitet u Beogradu Rudarsko-geološki

- fakultet, str. 1-522, Recenzenti: R. Simić i B. Kolonja, ISBN: 978-86-7352-244-9, Beograd, 2012
4. Polomčić D.: Hydrodynamical model of the open pit Field C (Kolubara's coal basin, Serbia), IV International Conference Coal 2008 pp. 407-419, Belgrade, 2008
 5. Polomčić D., Bajić D., Buhač D.: 3D Hydodynamical model of open pit mine Field E (Kolubara's coal basin), Proceedings of the V International Conference COAL 2011, pp. 320-330, 2011
 6. Polomčić D., Pavlović V., Šubaranović T.: Dewatering system selection at the opencast Drmno using hydrodynamical forecasting calculations, X International Scientific Opencast Mining Conference OMC 2012, Zlatibor, 17-20.10.2012., pp. 275-290, ISBN: 978-86-83497-19-5, Yugoslav Opencast Mining Committee, Belgrade, 2012
 7. Polomčić D., Bajić D., Papić P., Stojković J.: Hydrodynamic model of the open-pit mine Buvač (Republic of Srpska), Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (JSDEWES) Vol. 1, Issue 3, pp 260-271, 2013
 8. Šubaranović T., Pavlović V., Polomčić D., Malbašić V.: Influence on Environment of Sealing Screen at Lignite Opencast Mines, Metalurgia International Vol. XVIII (2013), No. 5, pp. 169-176, ISSN 1582-2214