



3D HIDRODINAMIČKI MODEL POVRŠINSKOG KOPA POLJE E (KOLUBARSKI UGLJONOSNI BASEN)

3D HYDRODYNAMIC MODEL OF OPEN PIT MINE FIELD E (KOLUBARA'S COAL BASIN)

Polomčić D.¹, Bajić D.², Buhač D.³

Apstrakt

Projektovanje zaštite površinskog kopa od podzemnih voda danas je olakšano uz primenu hidrodinamičkog modeliranja režima podzemnih voda, kako u prirodnim, tako i u uslovima rada kopa. Mogućnost odabira optimalne varijante tipa, broja i rasporeda drenažnih objekata, kao i vremena njihovog aktiviranja osnovne su karakteristike hidrodinamičkog modela koji se formira u navedene svrhe.

Posmatrano u vertikalnom profilu, prema hidrogeološkoj funkciji stenskih masa izdvojeno je ukupno sedam slojeva u površinskom kopu Polje E. Zbog toga je hidrodinamički model koncipiran i izrađen kao višeslojeviti model u okviru koga se nalaze tri izdani (u drugom, četvrtom i šestom modelskom sloju). Izdvajanje ovih slojeva kao i definisanje njihovih kontura, izvršeni su na osnovu analiza sprovedenih brojnih geoloških i hidrogeoloških istraživanja. Zbog složenih hidrodinamičkih uslova na širem području kopa Polje E, model karakteriše veći broj graničnih uslova. Kalibracija modela je izvedena u nestacionarnim uslovima, a jedan od rezultata predstavljaju definisani elementi bilansa prisutnih izdani.

¹ Prof. dr Dušan Polomčić, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, Srbija, E-mail: dupol2@gmail.com

² Dragoljub Bajić, dipl. inž., PD RB Kolubara d.o.o., Kolubara Projekt, Lazarevac, Srbija

³ Dragan Buhač, dipl. inž., PD RB Kolubara d.o.o., Kolubara Projekt, Lazarevac, Srbija

Model na kome je uspešno izvedeno etaloniranje predstavlja osnovno sredstvo u koncipiranju sistema zaštite kopa od podzemnih voda u svih fazama rada kopa.

Abstract

Design of open pit protection of groundwater is now easier with the use of hydrodynamic modeling of the groundwater regime, both in nature and in conditions of mine. The possibility of choosing the optimal variant type, number and distribution of drainage facilities, as well as the time of their activation are the main characteristics of hydrodynamic models that are formed for such purposes.

Observed vertical profile, the hydrogeological function of rock masses has been allocated a total of seven layers of open pit mine Field E. Therefore, the hydrodynamic model designed and built as multilayer model in which there are three aquifers (in the second, fourth and sixth model layer). Extraction of these layers as well as defining their contours, were carried out based on the analysis carried out of numerous geological and hydrogeological investigations. Due to the complex hydrodynamic conditions in the wider area of open pit mine Field E model features a number of boundary conditions. Calibration was performed in transient conditions, and results represent one of the elements defined present groundwater balance.

The model on which the calibration is successfully performed a basic tool in designing a system for protection of ground water mining in all stages of birth to mine.

1. UVOD

Kolubarski ugljonosni basen ubraja se u najveće basene uglja u Republici Srbiji. Obuhvata prostor od oko 600 km². Nalazi se na oko 50 km jugozapadno od Beograda i prostire se u srednjem i donjem toku reke Kolubare i njenih pritoka Tamnave sa leve i Peštana sa desne strane (Slika 1). U geološkoj građi istočnog Kolubarskog basena izdvajaju se delovi izgrađeni od paleozojskih i mezozojskih tvorevina i vulkanita (južni i jugoistočni deo) i delovi izgrađeni od neogenih sedimenata (severoistočni deo) (Slika 1).



Slika 1. Geološka karta istražnog područja

1.1. Hidrogeološke karakteristike površinskog kopa Polje E

Na širem prostoru Kolubarskog basena formirane su tri izdani: povlatna, međuslojna i podinska.

Povlatna izdan je formirana u aluvijalnim i gornjepontskim peskovima i šljunkovima u povlati gornjeg ugljenog sloja. U istočnom delu površinskog kopa Polje E i u susednom površinskom kopu Polje C, čiji je kop Polje E normalan nastavak, postoji takođe neposredni kontakt aluvijalne i međuslojne izdani. Obzirom da je u površinskom kopu Polje C došlo do erodovanja i glavnog ugljenog sloja ne postoji mogućnost prelivanja vode iz krovinske izdani glavnog ugljenog sloja u aluvijalnu izdan (lit. 1). Povlatna izdan je na severu presečena rudarskim radovima površinskog kopa Polje D, a na jugu i istoku je u vezi sa aluvijonom reke Peštan. Prihranjivanje izdani vrši se infiltracijom padavina i rečne vode Peštana, a dreniranje je difuzno u dolinskim stranama jaruga i potoka.

Međuslojna izdan je formirana između dva ugljena sloja u takozvanim međuslojnim peskovima. Po svom rasprostranjenju, položaju i debljini najznačajniji je kolektor u okviru kolubarskog ugljenog basena. U okviru površinskog kopa Polje E, ova izdan predstavlja produžetak povlatne izdani iz južnog krila kopa Polje D, gde glavni ugljeni sloj predstavlja hidrogeološki podinski izolator. Prihranjivanje međuslojne izdani se vrši u području slobodnog dela izdani gde se infiltrira voda od padavina i u pojedinim zonama kopa Polje C, gde je erodovan gornji ugljeni sloj, pa je u tim delovima aluvijon u neposrednom kontaktu sa međuslojnim peskovima (lit. 2). Dreniranje se vrši prirodnim putem preko aluvijona reke Kolubare, gde je ostvarena hidraulička veza između međuslojne izdani i izdani u aluvijonu reke Kolubare i veštačkim putem, preko vodozahvatnih objekata (bunara).

Podinska izdan - formirana je u donjepontskim peskovima ispod glavnog ugljenog sloja i nalazi se ispod nivoa erozionog bazisa i nivoa reka Turije i Peštana. Kako glavni ugljeni sloj zaleže duboko čak i do kote -200 m, to je ova izdan pod pritiskom, jer glavni ugljeni sloj čini povlatu podinske izdani (lit. 1). Prihranjivanje izdani vrši se na terenima van područja Polje E infiltracijom padavina u predelu erodovanog uglja i otkrivenih podinskih peskova, zatim preko infiltracije voda reke Turije. U području aluvijona reke Kolubare dolazi do dreniranja podinske izdani, a do sekundarnog dreniranja dolazi i kroz podinski deo uglja, kroz otvore ostale nakon bušenja, u području jame Junkovac (lit. 1).

2. FORMIRANJE HIDRODINAMIČKOG MODELA POVRŠINSKOG KOPA POLJE E

Izražena litološka slojevitost u vertikalnom profilu i nejednako horizontalno prostiranje litoloških članova imaju za posledicu izraženo horizontalno i vertikalno, odnosno prostorno strujanje podzemnih voda, koje je posebno izraženo u zonama kontakta vodonosnih aluvijalnih peskova i šljunkova sa međuslojnom izdani, i naniže podinskom izdani.

Ovih nekoliko pomenutih činjenica je uticalo na odluku pri izboru osnovnih karakteristika modela, da se pristupi izradi višeslojevitog modela, sa mogućnošću automatske promene karaktera strujnog polja, zavisno od uslova strujanja podzemnih voda.

2.1. Diskretizacija strujnog polja i geometrizacija šematizovanih slojeva površinskog kopa Polje E

Hidrodinamički model Površinskog kopa Polje E je koncipiran i izrađen kao višeslojeviti model, sa ukupno sedam 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 dati u Tabeli 1.

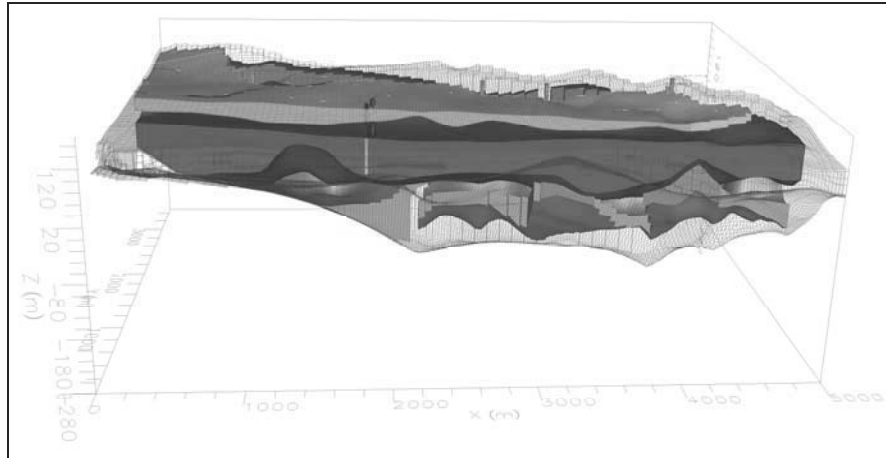
Tabela 1. Korespondentni slojevi modela i terena

| Sloj | Opis |
|--|---|
| Prvi izolatorski sloj | povlatni glinoviti sedimenti kvartarne starosti |
| Drugi kombinovani vodonosno izolatorski sloj | aluvijalni šljunkovi i peskovi u kojima je formirana povlatna izdan |
| Treći uglavnom izolatorski sloj | gornji ugljeni sloj, koji na severu i jugu terena prelazi u peskovite sedimente |
| Četvrti vodonosni sloj | pliocenski peskoviti sedimenti međuslojne izdani |
| Peti uglavnom izolatorski sloj | glavni ugljeni sloj koji na jugu isklinjava i gde se pojavljuju peskovi podinske izdani i raspadnuti škriljci |
| Šesti kombinovani vodonosno-izolatorski sloj | peskoviti sedimenti na severnom delu terena u kojima je formirana podinska izdan i koji južno prelaze u glinovite sedimente |
| Sedmi uglavnom izolatorski sloj | škriljci sa izolovanim partijama peskovitih slojeva u severnom delu terena |

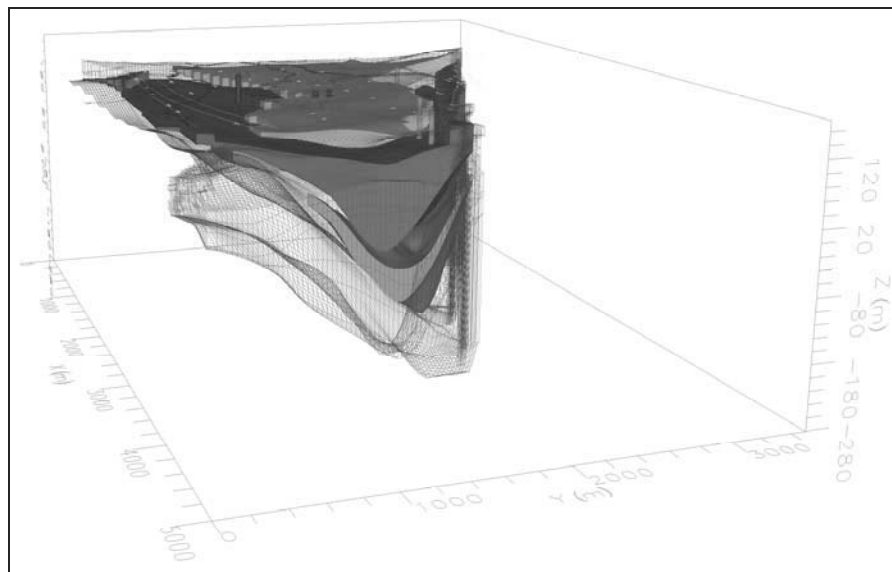
Kao ilustracija navedne šematizacije, na Slici 2 i 3 su prikazani prostorni položaji međuslojne i podinske izdani na površinskom koku Polje E.

Osnovne dimenzije matrice, kojom je obuhvaćen izučavani teren su 5000*3750 m, što čini 18,75 km². Diskretizacija strujnog polja (Slike 2, 3 i 5) u planu je izvedena sa osnovnom veličinom ćelija 100*100 m, koje su u zonama bunara i budućih rudarskih radova smanjene na mrežu 12,5*12,5 m.

Geometrizacija kontura slojeva, njihovo prenošenje u koordinatni sistem modela, izvršena je na osnovu podataka brojnih istražnih bušotina (oko 220) raspoređenih po celom istražnom području.

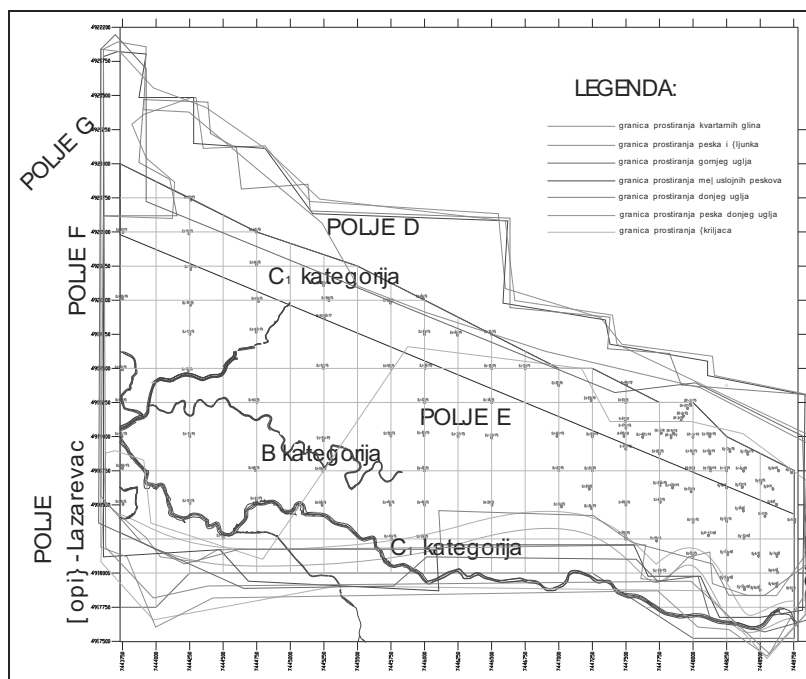


Slika 2. Diksretizacija i zastupljeni tipovi izdani (od površine terena: povlatna, međuslojna i podinska izdan) – presek zapad-istok



Slika 3. Diksretizacija i zastupljeni tipovi izdani (od površine terena: povlatna, međuslojna i podinska izdan) – presek jug-sever

Na Slici 4 data je lokacija bušotina u okviru ležišta uglja na površinskom kopu Polje E, korišćenih za definisanje prostornih karakteristika izdvojenih slojeva.



Slika 4. Karta položaja bušotina i kontura svih litoloških članova ležišta uglja na Polju E

Filtracione karakteristike porozne sredine

Koeficijenti filtracije i specifična izdašnost izdani porozne sredine zadavani su kao reprezentativne vrednosti u svakoj ćeliji diskretizacije na osnovu podataka ranijih istraživanja (lit. 1, lit. 5). U tabeli 2 se daje prikaz inicijalnih vrednosti hidrogeoloških parametara koje su uneti u model.

Tabela 2. Vrednosti inicijalnih hidrogeoloških parametara koji su uneti u model

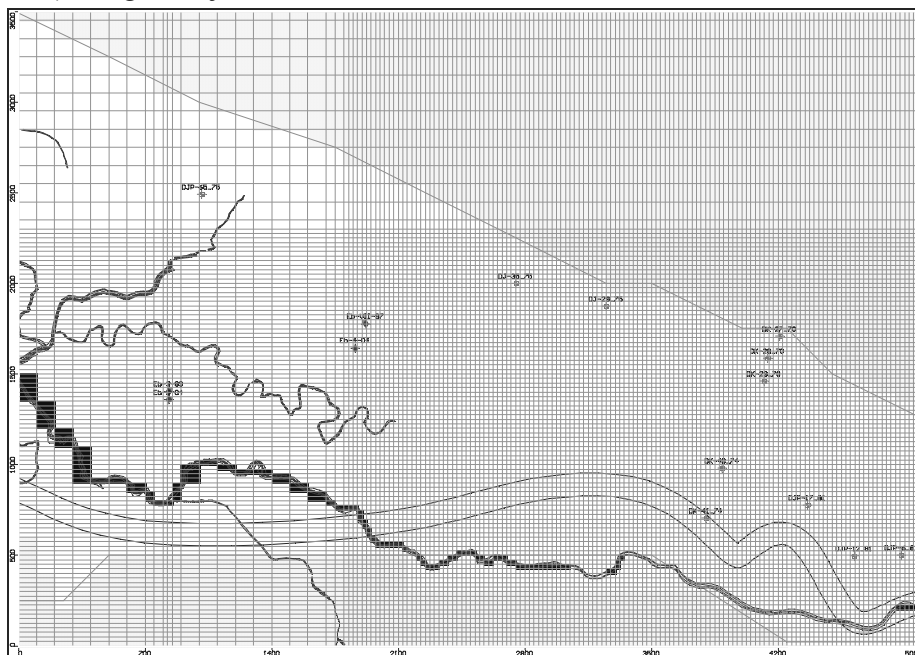
| Litostratigrafska jedinica | Koeficijent filtracije (m/s) | Specifično uskladištenje (1/m) | Poroznost (-) |
|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------|
| Kvartarne gline | $1 * 10^{-7}$ | $1 * 10^{-3}$ | 0,44 |
| Aluvijalni pesak i šljunak | $1 * 10^{-4}$ | $2,2 * 10^{-5}$ | 0,25 |
| Gornji ugljeni sloj | $1 * 10^{-8}$ | $6 * 10^{-5}$ | 0,1 |
| Pl peskovi međusl. izdani | $7 * 10^{-6} - 5,6 * 10^{-4}$ | $1,9 * 10^{-4}$ | 0,34 |
| Glavni (donji) ugljeni sloj | $1 * 10^{-8}$ | $6 * 10^{-5}$ | 0,08 |
| Podinski sitnoz. pesak | $8,7 * 10^{-7}$ | $1 * 10^{-5}$ | 0,36 |
| Podinske gline | $1 * 10^{-7}$ | $1 * 10^{-3}$ | 0,42 |
| Raspadnuti škriljci | $2,5 * 10^{-6}$ | $6,1 * 10^{-5}$ | 0,1 |

Granični uslovi

U hidrodinamičkom modelu površinskog kopa Polje E, primenjeni su sledeći granični uslovi:

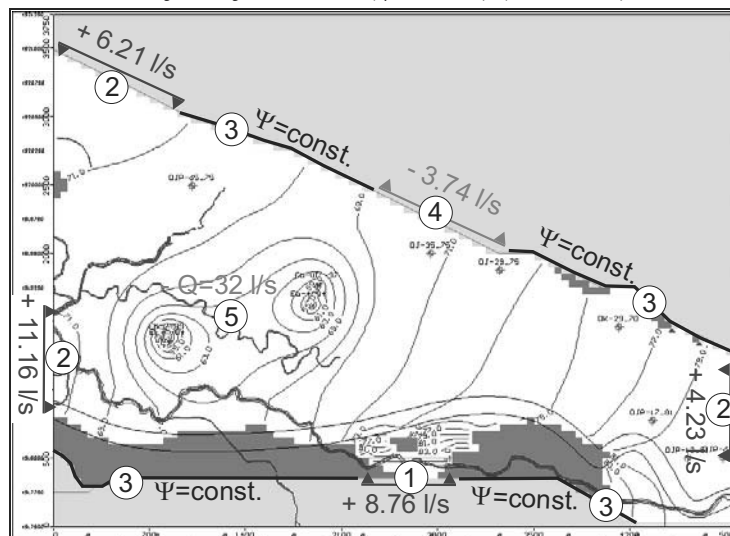
- Granični uslov *reka* (eng. "river boundary");
- Kontura sa poznatim (zadatim proticajem). Specijalan slučaj ovog uslova je vodonepropusna granica, odnosno, u prirodi, granica rasprostranjenja vodonosne sredine, bez doticaja iz zaleđa;
- Granica opšteg pjezometarskog nivoa;
- Polje mreže diskretizacije, *unutrašnja kontura*, polje sa poznatim, zadatim proticajem i
- *vertikalni bilans*, rezultatna (efektivna) infiltracija.

Granični uslov reka - hidraulička uloga reke Peštan na modelu je simulirana sa graničnim uslovom "reka" u površinskim slojevima u okviru Polja E. Smer kretanja vode između reke i izdani zavisi od hipsometrijskog odnosa nivoa podzemnih voda i nivoa u reci. Ukoliko je nivo u reci viši od nivoa podzemnih voda, reka "hrani" izdan, tj. smer tečenja vode je iz reke u izdan. U suprotnom, reka drenira izdan, tj. smer tečenja vode je iz izdani u rečno korito. U hidrodinamičkom modelu ovaj granični uslov je zadat u prvom (Slika 5) i drugom sloju modela.



Slika 5. Prikaz diskretizacije strujnog polja na površinskom koku Polje E i položaja graničnog uslova reka u okviru prvog sloja modela (crna polja)

Kontura sa poznatim (zadatom) proticajem - za razliku od južne granice modela, čija je kontura definisan delom preko otvorenog rečnog toka (reka Peštan), ostale konture modela nisu mogle biti zadate na ovakav način. Na Slici 6 prikazani su granični uslovi na modelu, u okviru četvrtog šematizovanog sloja u kome egzistira međuslojna izdan. Specijalan slučaj graničnog uslova zadatog proticaja jeste kada proticaj ne postoji ($q = 0$ l/s), odnosno kada se zadaje strujna kontura ($\psi = \text{const.}$) (Slike 6 i 7).

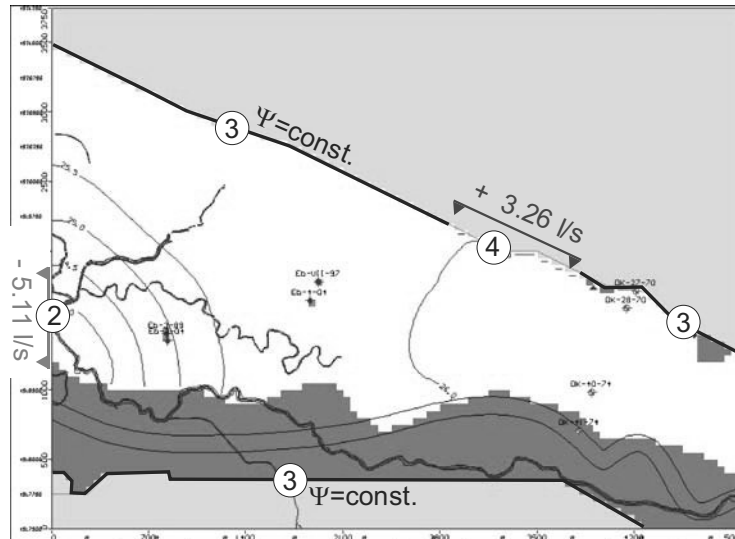


Slika 6. Karta rasporeda pijezometarskog nivoa i elementi bilansa u međuslojnoj izdani (Legenda: 1. infiltracija vode reke Peštan, 2. granični uslov opšti pijezometarski nivo – podzemni doticaj sa zapada, 3. vodonepropusna kontura, 4. granični uslov opšti pijezometarski nivo – isticanje duž radne kosine kopa „Polje D“, 5. granični uslovu nutrašnja kontura sa zadatom proticajem – bunari izvorišta Medoševac)

Eksploatacioni bunari – “unutrašnja kontura” - čelije sa zadatom proticajem - na prostoru budućeg površinskog kopa Polje E danas rade 4 eksploataciona bunara na izvorištu Medoševac koja su uključena u sistem vodosnabdevanja stanovništva (Slike 5 i 7). Kapaciteti ovih bunara su zadavani prema registrovanim vrednostima službe na izvorištu (lit. 1).

Granica opšteg pijezometarskog nivoa - na hidrodinamičkom modelu površinskog kopa Polje E ovaj tip graničnog uslova je zadan je duž dela zapadne i dela severne konture, i u međuslojnoj i u podinskoj izdani (Slike 6 i 7). Doticaj sa severne kosine (podinksa izdan) je od oko 3-5 l/km/s (lit. 2).

Efektivna infiltracija - u ukupnom bilansu podzemnih voda, tzv. “vertikalni bilans” ovde se podrazumeva efektivna, rezultatna infiltracija. Ovu veličinu čini suma infiltracije od padavina, isparavanja sa nivoa podzemnih voda i evapotranspiracija.



Slika 7. Karta rasporeda pijezometarskog nivoa i elementi bilansa u podinskoj izdani (Legenda: 2. granični uslov opšti pijezometarski nivo – isticanje na zapad, 3. vodonepropusna kontura, 4. granični uslov opšti pijezometarski nivo – podzemni doticaj sa severa)

Za potrebe analize veličine efektivne infiltracije obezbeđene su jedino mesečne sume padavina sa kišomerne stanice Stepojevac za period 1991-2006. Vrednosti efektivne infiltracije procenjene na 10% srednjih mesečnih padavina.

2.2. Etaloniranje modela

Etaloniranje hidrodinamičkog modela površinskog kopa Polje E je sprovedeno u nestacionarnim uslovima strujanja, sa vremenskim korakom od jednog dana za analizirani vremenski period od godinu dana koji je na nižem nivou iteracija podeljen da 10 delova, nejednakog trajanja (faktor 1,2).

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

U procesu izrade modela, odnosno etaloniranja, za verifikaciju dobijenih rezultata korišćeni su u prvom redu registrovani nivoi u pijezometrima.

Na Slikama 6 i 7 prikazani su rasporedi pijezometarskih nivoa u međuslojnoj i podinskoj izdani sa elementima bilansa podzemnih voda, kao rezultat procesa kalibracije modela.

U analizi bilansa podzemnih voda na kraju vremenskog perioda za koji je obavljeno etaloniranje, zaključeno je da se izdani u površinskom koku Polje E prihranjuju na račun: efektivne infiltracije, infiltracije voda reke Peštan, procurivanjem iz viših izdani u niže, i obodnim horizontalnim doticajem. Sa druge strane, izdani se dreniraju podzemnim oticajem i preko eksploatacionih bunara (međuslojna izdan). Na kraju proračunskog perioda efektivna infiltracija u prvom modelskom sloju je iznosila 3,11 l/s. Infiltracija površinskih voda reke Peštan iznosi 8,76 l/s. U Tabeli 3 dat je prikaz osnovnih elemenata bilansa podzemnih voda međuslojne i podinske izdani obuhvaćene modelom u proračunskom periodu etaloniranja.

Tabela 3. Bilans podzemnih voda međuslojne i podinske izdani hidrodinamičkog modela površinskog kopa Polje E - rezultati etaloniranja (februar 2006.)

| Elementi bilansa | Međuslojna izdani | | Podinska izdan | |
|----------------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| | Doticaj u model (l/s) | Oticaj iz modela (l/s) | Doticaj u model (l/s) | Oticaj iz modela (l/s) |
| Podzemni doticaj sa severozapada | 6,21 | - | - | - |
| Podzemni doticaj sa istoka | 4,23 | - | - | - |
| Podzemni doticaj sa jugoistoka | 11,16 | - | - | - |
| Procurivanje na jugu | 8,76 | - | - | - |
| Oticaj na severu | - | 3,74 | - | - |
| Bunari izvorišta | - | 32,00 | - | - |
| Podzemni doticaj sa severa | - | - | 3,26 | - |
| Podzemni oticaj na zapadu | - | - | - | 5,11 |
| Suma | 30,36 | 35,74 | 3,26 | 5,11 |

Iz prikazane tabele može se zaključiti da postoji deficit prihranjivaja međuslojne izdani, odnosno da se ona drenira za 5,38 l/s više nego što se prihranjuje (u analiziranom periodu). Ovo potvrđuje ranije navode da se međuslojna izdan vremenom precrpljuje radom lokalnih izvorišta podzemnih voda, ali i presecanjem podzemnog doticaja usled napredovanja površinskog kopa Polje D. Takođe, i kod podzemne izdani, prema rezultatima etaloniranja modela, prisutan je deficit u rezervama u iznosu od 1,85 l/s. Obzirom da je podinska izdan veoma malo istražena, dobijen deficit u bilansu ove izdani treba uzeti sa rezervom.

3. ZAKLJUČAK

U zonama kontakta aluvijalnih peskovito-šljunkovitih sedimenata sa peskovima međuslojne izdani i naniže peskovima podinske izdani, gde se zapaža litološka slojevitost u vertikalnom profilu i nejednako horizontalno rasprostiranje litoloških članova, izraženo je prostorno (3D) strujanje podzemnih voda.

Pri izboru osnovnih karakteristika modela ovo je imalo uticaja, pa je izrađen višeslojeviti hidrodinamički model sa sedam slojeva u vertikalnom profilu.

Za verifikaciju dobijenih rezultata u procesu etaloniranja korišćeni su prikupljeni podaci o nivoima podzemnih voda u piježometrima. Rezultati matematičke simulacije režima podzemnih voda u odnosu na registrovane nivoe podzemnih voda se relativno dobro slažu i usaglašeni su.

Kao rezultat kalibracije modela kvantifikovano je da se izdani u površinskom kopu Polje E prihranjuju na račun efektivne infiltracije (3,11 l/s), infiltracije voda reke Peštan (11,4 l/s), procurivanjem iz viših izdani u niže, i obodnim horizontalnim doticajem. Takođe je utvrđeno da se izdani dreniraju podzemnim oticajem i preko eksploatacionih bunara (međuslojna izdan). Podinska izdan se prihranjuje na delu severne konture u količini od 3,26 l/s, a drenira se na zapadnom delu u količini od 5,11 l/s. Utvrđeno je i da se međuslojna izdan vremenom precrcpljuje (odnosno da se ona drenira za 5,38 l/s više nego što se prihranjuje, u analiziranom periodu) radom lokalnih izvorišta podzemnih voda, ali i presecanjem podzemnog doticaja usled postojanja i napredovanja površinskog kopa Polje D.

LITERATURA

- [1] Bogdanović V., Ilić Z. i dr., (2007), *Izbor ograničenja i otvaranja površinskog kopa Južno Polje u Kolubarskom ugljonosnom basenu*, Kolubara projekt, Lazarevac
- [2] Buhač D., Polomčić D., (2008), *3D Hydrogeological model of Polje E (Kolubara's coal basin, Serbia)*, IV International Conference Coal 2008 pp. 22-31, Belgrade
- [3] Polomčić D., (2002), *Schematization types of hydrogeological system for setting up the hydrodynamic model*, Proceedings of the XIII Yugoslav symposium of hydrogeology and engineering geology, Herceg Novi, pp. 389-396
- [4] Polomčić D., (2004), *The influence of size of discretization of space and time on the accuracy of results in the conception of the hydrodynamic model*, Papers of Geoinstitut, Belgrade, pp. 197-209
- [5] Polomčić D., (2008), *Hydrodynamical model of the open pit mine Polje C (Kolubara's coal basin, Serbia)*, IV International Conference Coal 2008, pp. 407-419, Belgrade

Napomena: Ovaj rad je proistekao iz Projekta 33039 Unapređenje tehnologije površinske eksploatacije lignita u cilju povećanja energetske efikasnosti, sigurnosti i zaštite na radu, kojeg finansira Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije.