

BILANS PODZEMNIH VODA NA PODRUČJU POVRŠINSKOG KOPA „TAMNAVA-ZAPADNO POLJE“ GROUNDWATER BALANCE AND ITS COMPONENTS AT TAMNAVA WEST FIELD OPEN-PIT COAL MINE

Dušan Polomčić¹, Dragoljub Bajić¹, Jelena Ratković¹, Marina Čokorilo Ilić¹

¹Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Departman za hidrogeologiju,
e-mail: osljane@orion.rs

APSTRAKT: Na osnovu rezultata brojnih geoloških i hidrogeoloških istraživanja na području površinskog kopa „Tamnava-Zapadno polje“ izdvojene su tri značajne vodonosne sredine: povlatna, međuslojna i podinska izdan. Primenom hidrodinamičkog modela definisane su i kvantifikovane zone prihranjivanja i dreniranja zastupljenih izdani, kao i elementi bilansa podzemnih voda na istražnom području u vidu doticaja ili oticaja u/z hidrogeološkog sistema: efektivna infiltracija, površinski tokovi, prihranjivanje ili dreniranje izdani. U sprovedenoj analizi, hidrualička uloga navedenih elemenata bilansa simulirani su brojnim graničnim uslovima kao što su: efektivna infiltracija, granični uslov reka, granični uslov opšteg pijezometarskog nivoa, granični uslov drenaža, granični uslov zdatog proticaja - drenažni bunari i polja bez strujanja podzemnih voda i granični uslov barijera.

Ključne reči: hidrodinamička analiza, hidrodinamički model, granični uslovi, oticaj, doticaj

ABSTRACT: Three distinct water-bearing layers - overlying, intermediate and underlying - have been identified in the general area of the Tamnava West Field open-pit coal mine based on extensive geological and hydrogeological exploration. A hydrodynamic model was used to define and quantify the recharge and discharge zones of the aquifers, as well as the groundwater balance components in the form of inflow into and outflow from the hydrogeological system: effective infiltration, surface flow, and aquifer recharge and drainage rates. The hydraulic roles of the groundwater balance components were simulated by numerous boundary conditions, including effective infiltration, river boundary, general head boundary, drain, "prescribed flux" boundary condition (drainage wells and no flow boundary condition) and barrier.

Key words: hydrodynamic analysis, hydrodynamic model, boundary conditions, outflow, inflow

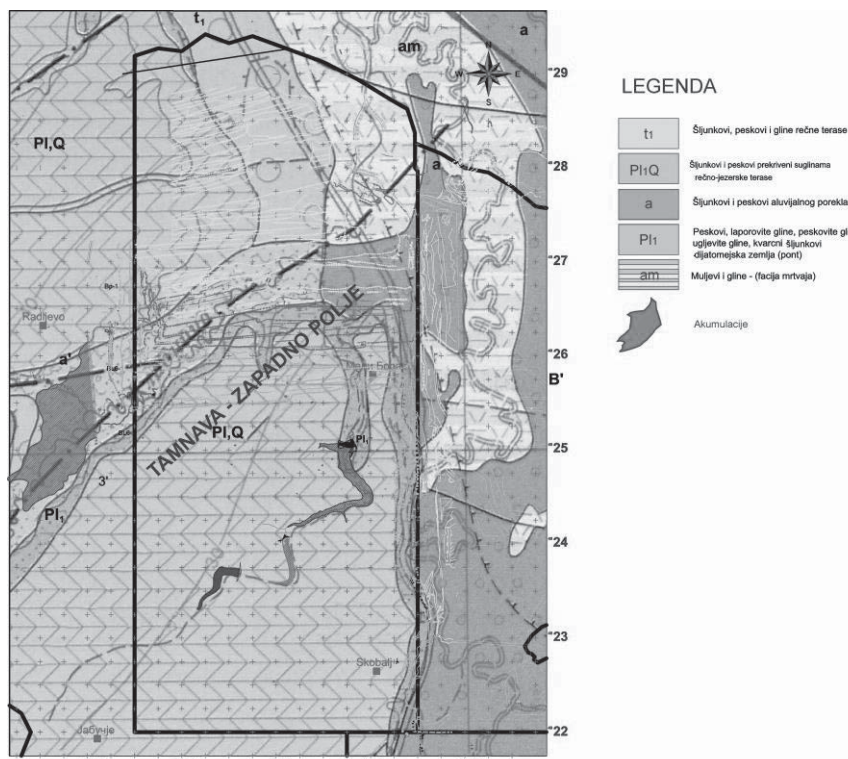
UVOD

Područje površinskog kopa „Tamnava - Zapadno polje“ bilo je predmet geoloških i hidrogeoloških istraživanja koja su sprovedena u različitim vremenskim periodima i može se zaključiti da su hidrogeološke i hidrodinamičke odlike terena veoma složene. Na širem prostoru istražnog terena formirane su tri izdani: povlatna, međuslojna i podinska. Najsloženija je povlatna izdan koja je sačinjena iz više litoloških članova. Složenost međuslojne izdani se ogleda u njenim geometrijskim karakteristikama, pogotovo u pravcu sever-jug. Podinsku izdan gradi jedinstvena litološka sredina i prostorni položaj joj je dosta jasno definisan. U okviru svih izdani formiran je zbijeni tip izdani pod pritiskom, sa subarteskim nivoom podzemnih voda. Na slici 1 prikazana je hidrogeološka karta površinskog kopa „Tamnava - Zapadno polje“.

Povlatnu izdan na prostoru „Tamnava - Zapadno polje” najvećim delom grade aluvijalni i rečno-jezerski, terasni šljunkovi neujednačenog granulometrijskog sastava kako u vertikalnom tako i horizontalnom pravcu. U njima su zastupljene frakcije od glinovitih do oblutaka veličine 50 mm. Obavljenim testovima na bunarima u aluvijalnim šljunkovima, u ranijim fazama istraživanja, utvrđen je koeficijent filtracije od 6×10^{-5} - 6×10^{-4} m/s.

Međuslojni peskovi se nalaze na širem prostoru površinskog kopa „Tamnava - Zapadno polje” u delu gde su istaloženi peskovi između dva sloja uglja. Peskovi se prostiru i van kopa u pravcu severozapada gde se spajaju sa peskovima podinske izdani. Njihova debljina je različita, od 30 m na severozapadnom delu polja od potpunog isklinjenja na severoistočnom delu kopa. U pogledu granulometrijskog sastava međuslojni peskovi grade relativno homogenu sredinu u vertikalnom i horizontalnom pravcu, predstavljenu sitnozrnim i srednjezrnim peskovima sa vrednostima koeficijenta filtracije oko 10^{-5} m/s (po granulometrijskom sastavu). Podinu i povlatu međuslojne izdani grade ugljeni slojevi, a na severnom delu kopa se u povlati spaja sa povlatnom izdani.

Podinsku izdan na prostoru površinskog kopa „Tamnava - Zapadno polje” izgrađuju sedimenti donjeg ponta, sačinjeni od kvarcnih peskova sivo-zelene boje. Rasprostiranje ovih peskova znatno je šire od površine površinskog kopa, pa tako dopire do obodnih delova kolubarskog basena odnosno dolina Turije, Tamnave i Peštana. Podinski peskovi u granicama PK „Tamnava - Zapadno polje” su veoma homogeni. Njihovu homogenost i izotropnost jedino narušavaju proslojci, slojevi i sočiva visokoplastičnih i ugljevitih gline. Koeficijent filtracije peskova iznosi $(1,3-2,5) \times 10^{-5}$ m/s, transmisibilnost $T=(2,5-6,0) \times 10^{-3}$ m²/s. U podini se nalaze ugljeni slojevi, a zatim i miocenski sitnozrni peskovi i alevriti i gline.



Slika 1. Hidrogeološka karta istražnog područja
Figure 1. Hydrogeological map of the study area

METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Metoda koja je korišćena za određivanje bilansa podzemnih voda na istražnom području je hidrodinamičko modeliranje. Izrada hidrodinamičkih modela režima izdani područja površinskih kopova omogućuje kako sagledavanje bilansa tako i određivanje međusobnog uticaja podzemnih voda i rudarskih radova. Najzanimljivije primere iz Srbije i sveta kod određivanje bilansa podzemnih voda rudnog ležišta i doticaja podzemnih voda u rudarske radove prikazali su: Bajić et al., 2013; Brawner 1982, Rapantova & Grmela, 2000; Zaidel et al., 2010; Ogola, 2011; Polomčić & Bajić, 2011; Polomčić & Bajić, 2015; Polomčić et al., 2012; Polomčić et al., 2013a; Polomčić et al., 2013b; Polomčić et al., 2016. Trodimenzionalni hidrodinamički model istražnog područja, baziran na metodi konačnih priraštaja, je izrađen korišćenjem koda MODFLOW (Harbaugh et al., 2000) sa grafičkim korisničkim interfejsom Groundwater Vistas Advanced verzija 64-Bit 6.74 b.24 (Rumbaugh and Rumbaugh, 2011). Hidrodinamički model površinskog kopa „Tamnava - Zapadno polje” je koncipiran i izrađen kao višeslojeviti model, sa ukupno osam 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. Unos inicijalnih vrednosti koeficijenata filtracije izvršen je na osnovu dosadašnjih terenskih hidrogeoloških istraživanja za sve litološke članove.

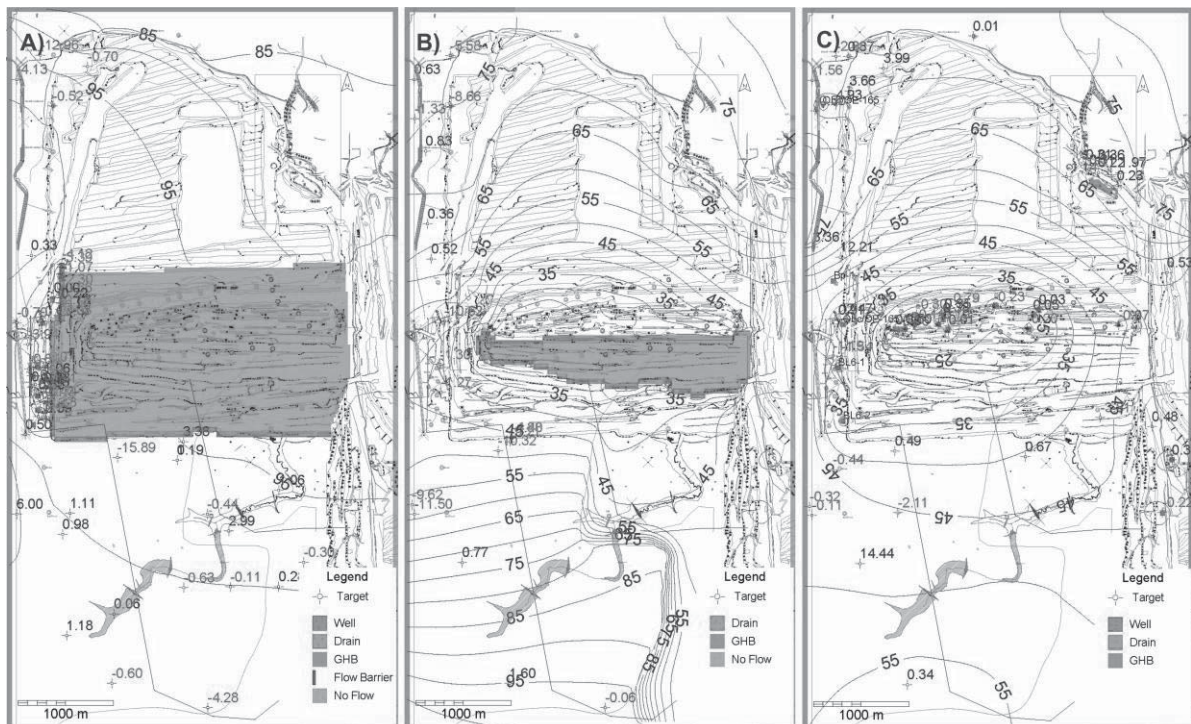
Za potrebe izrade modela, izvršena je hidrodinamička analiza režima podzemnih voda. Od graničnih uslova, primenjeni su sledeći:

1. efektivna infiltracija,
2. granični uslov reka,
3. granični uslov opšteg pijezometarskog nivoa,
4. granični uslov drenaža,
5. granični uslov zadatog proticaja - drenažni bunari,
6. granični uslov zadatog proticaja - polja bez strujanja podzemnih voda i
7. granični uslov barijera.

Etaloniranje modela površinskog kopa „Tamnava - Zapadno polje“ je sprovedeno u stacionarnim uslovima u skladu sa prikupljenim podlogama. Strujanje podzemnih voda je na modelu računato i simulirano kao realno strujanje, pod pritiskom, ili sa slobodnim nivoom, u svakom polju diskretizacije pojedinačno. U procesu etaloniranja modela kao ciljne tačke u strujnoj oblasti korišćeni su u prvom redu registrovani nivoi podzemnih voda u brojnim pijezometrima. Osmatračka mreža obuhvata ukupno 116 pijezometara, od čega 54 u povlatnoj izdani, 22 u međuslojnoj izdani i 40 u podinskoj izdani. Kalibracija modela rađena je manuelno i automatski uz pomoć programa PEST sa opcijom regularizacije, koja podrazumeva zadavanje tzv. „pilot points“, odnosno kontrolnih tačaka koje u procesu kalibracije modela omogućavaju zadavanje heterogenih zona sa vrednostima hidrogeoloških parametara sredine. Ukupno je zadano 729 kontrolnih tačaka sa horizontalnom komponentom i 286 kontrolnih tačaka sa vertikalnom komponentom koeficijenta filtracije. Etaloniranje modela je bilo završeno kada je dobijena zadovoljavajuća saglasnost između registrovanih nivoa podzemnih voda i nivoa dobijenih proračunom, uz kontrolu bilansa podzemnih voda.

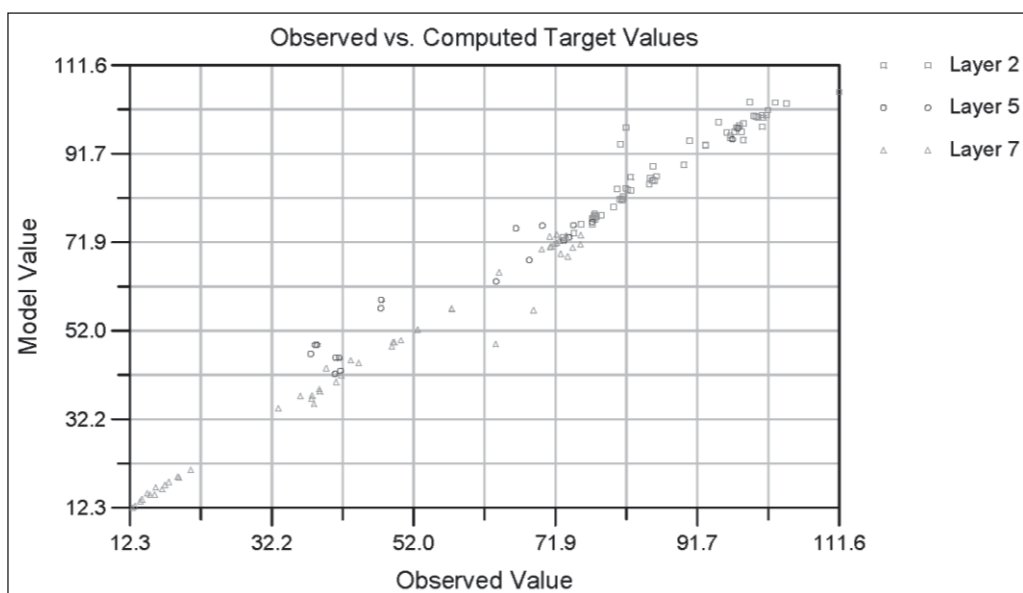
PRIKAZ REZULTATA

Na slici 2 prikazani su rasporedi pijezometarskog nivoa u povlatnoj, međuslojnoj i podinskoj izdani za ceo površinski kopa „Tamnava - Zapadno polje“. Na slici 3 prikazana je korelaciona zavisnost registrovanih i proračunatih vrednosti pijezometarskog nivoa u ukupno 147 osmatračkih objekata (pijezometara i kota nivoa u vodosabirnicima) za vremenski presek za koji je obavljena kalibracija. Prikazana korelaciona zavisnost ukazuje na generalno dobru usaglašenost registrovanih i proračunatih vrednosti pijezometarskog nivoa u osmatračkim objektima, sa izuzetkom nekoliko pijezometara duž zapadnog dela strujne oblasti, praktično u svim izdanima.



Slika 2. Karta rasporeda pijezometarskog nivoa na PK „Tamnava - Zapadno polje“ (2013. god.): A) u povlatnoj izdani B) u međuslojnoj izdani C) u podinskoj izdani

Figure 2. Distribution map of piezometric levels of open cast mine "Tamnava - West Field" (2013 god.): A) overlying aquifer B) interlayered aquifer C) substrate aquifer



Slika 3. Korelaciona zavisnost registrovanih i proračunatih vrednosti pijezometarskog nivoa u osmatračkim objektima

Figure 3. Correlation dependence of registered and calculated values of piezometrical levels in observation wells

Bilans podzemnih voda je analiziran na nivou svake od postojećih izdani bez proračuna pretakanja podzemnih voda iz jedne u drugu izdan, a treba naglasiti da se dreniranje podinske izdani vrši vodosabirnicima. Po graničnim uslovima, bilans podzemnih voda hidrodinamičkog modela PK „Tamnava - Zapadno polje“ prikazan je u tabeli 1.

Tabela 1. Bilans podzemnih voda na PK „Tamnava - Zapadno polje“ (2013. god.)

Table 1. Groundwater balance at open cast mine "Tamnava - West Field" (2013.)

Izdan	Granični uslov	Doticaj u model (l/s)	Oticaj iz modela (dreniranje) (l/s)
Povlatna	Efektivna infiltracija	8.72	
	Površinski tokovi	37.15	13.81
	GHB sever-severoistok		36.63
	GHB jug	29.36	39.36
	GHB zapad	46.21	
	Drenažni bunari		13.00
Međuslojna	Isticanje duž radnih etaža		24.68
	GHB zapad	31.20	12.78
	GHB severozapad	37.13	
	GHB jug	21.35	
	Drenažni bunari		
Podinska	Isticanje duž radnih etaža		89.57
	GHB sever	58.37	
	GHB istok	85.44	
	GHB jug	26.63	14.61
	GHB zapad	41.22	
	Drenažni bunari		52.00
	Vodosabirnici		155.71
	Suma	422.78	452.15

ZAKLJUČAK

Primenom hidrodinamičkog modeliranja režima podzemnih voda dobijeni su i zaključci o bilansu izdani zastupljenih na istražnom prostoru. Pored kvantitativnog prikaza, utvrđeno je i prihranjivanje i dreniranje izdani u vidu doticaja i oticaja u model koji ukupno iznosi 422.78 l/s, odnosno 452.15 l/s. S obzirom da radi sistem odbrane od podzemnih voda, jasno je da je količina zahvaćenih voda veća od količine voda kojom se vrši prihranjivanje izdani. Što se tiče povlatne izdani, doticaj u model iznosi 121.44 l/s, a oticaj 127.48 l/s. Kod međuslojne izdani, doticaj u model iznosi 89.68 l/s, a oticaj 102.35 l/s. Najveće količine voda zabeležene su u podinskoj izdani, pa tako doticaj u model iznosi 211.66 l/s, a oticaj 222.32 l/s.

ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije za finansiranje projekata „OI-176022“, „TR-33039“ i „III-43004“.

LITERATURA

- BAJIĆ D., POLOMČIĆ D., RISTIĆ-VAKANJAC V. & ČOKORILO M. (2013). *Groundwater balance at open pit mine „Buvač“ (Republic of Srpska)*. Zapisnici Srpskog Geološkog Društva, 69-80.
- Brawner CO (1982) *Control of groundwater in surface mining*. Mine Water and the Environment, 1(1): 1-16.
- HARBAUGH, A. W., BANTA, E. R., HILL, M. C. AND MCDONALD, M. G. (2000). *MODFLOW-2000: The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model, User Guide to Modularization Concepts and the Ground-Water Flow Process*, U.S. Geological Survey Open-File Report 00-92, Reston, VA, USA, pp 121.
- OGOLA J., MAIYANA B. & YIBAS B. (2011). *Water Balance Determination in Mine Residue Deposits: Case Studies in the Witwatersrand Basin, South Africa*. In: Rude R. T., Freund A. & Wolkersdorfer Ch. (Ed.), *Proceedings of the 11th International Mine Water Association Congress: Mine Water - Managing the Challenges*, pp. 615-619. Aachen, Germany.
- RAPANTOVA N. & GRMELA A. (2000). *Water balance of coal mines and its determination under the conditions of humid climate of Central Europe*. *Proceedings of the 7th International Mine Water Association Congress*, pp. 615-623. Ustron, Poland.
- RUMBAUGH J.O. & RUMBAUGH D.B. (2011). *Guide to using Groundwater Vistas: version 6*. New York: Environmental Simulations.
- POLOMČIĆ D. & BAJIĆ D. (2011). *3D Hydrodynamic model of open pit mine „Polje E“ (Kolubara coal basin)*. In Pavlović V (Ed.), *Proceedings of the V International Conference „Coal 2011“*, pp 19-22. Belgrade, Serbia: Yugoslav Opencast Mining Committee.
- POLOMČIĆ D. & BAJIĆ D. (2015). *Application of Groundwater modeling for designing a dewatering system: Case study of the Buvač Open Cast Mine*, Bosnia and Herzegovina. *Geologia Croatica*, 68(2):123-137 doi:10.4154/gc.2015.07
- POLOMČIĆ D., BAJIĆ D. & RISTIĆ-VAKANJAC V. (2012). *Groundwater balance, natural recharge and drainage zones at open pit mine „Polje E“ of Kolubara Coal Basin (Republic of Serbia)*. In Ban M., Duic N., Guzovic Z., Klemeš J.J., Markovska N., Schneider D.R. & Varbanov P., (Ed.), *CD Proceedings of the 7th Conference on Sustainable Development of Energy Water and Environmental Systems, SDEWES2012_FP_80*. Zagreb, Croatia: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture.
- POLOMČIĆ D., BAJIĆ D., PAPIĆ P. & STOJKOVIĆ J. (2013a). *Hydrodynamic model of the open-pit mine „Buvač“ (Republic of Srpska)*. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 1(3): 260-271. DOI: 10.13044/j.sdewes.2013.01.0019
- POLOMČIĆ D., PAVLOVIĆ V., BAJIĆ D. & ŠUBARANOVIĆ T. (2013b). *Multiannual effects of Peštan source operation in the function of predewatering the future Kolubara basin opencast mines*. In Pavlović V, (Ed.), *Proceedings of the VI International Conference „Coal 2013“*, pp 259-266. Belgrade, Serbia: Yugoslav Opencast Mining Committee.
- POLOMČIĆ D., RISTIĆ VAKANJAC V., BAJIĆ D., ČOKORILO ILIĆ M., JOVANOVIĆ K. & MOČEVIĆ J. (2016). *Hydrodynamic analysis of groundwater regime of coal deposit „Suvodol“ (the former Yugoslav Republic of Macedonia)*. *Zapisnici Srpskog Geološkog Društva za 2015. godinu*, 31-42.
- ZAIDEL J., MARKHAM B. & BLEIKER D. (2010) *Simulating seepage into mine shafts and tunnels with ModFlow*. *Ground Water*, 48(3): 1-11.