

Kako napraviti održivi plan upravljanja odvodnjavanjem?

Dragoljub Bajić, Dušan Polomčić



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Kako napraviti održivi plan upravljanja odvodnjavanjem? | Dragoljub Bajić, Dušan Polomčić | 10. Међународни симпозијум о управљању подземним ресурсима, Зaječар 2020. | 2020 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0007287>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на www.dr.rgf.bg.ac.rs

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: www.dr.rgf.bg.ac.rs

KAKO NAPRAVITI ODRŽIVI PLAN UPRAVLJANJA ODVODNJAVANJEM?

HOW TO MAKE A SUSTAINABLE DEWATERING MANAGEMENT PLAN?

Dragoljub Bajić
Dušan Polomčić

*Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Dušina 7, Beograd, e-mail: dragoljub.bajic@rgf.bg.ac.rs
Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Dušina 7, Beograd, e-mail: dusan.polomcic@rgf.bg.ac.rs*

REZIME

Sistemi za odbranu od podzemnih voda se koriste za zaštitu hidrotehničkih objekata, priobalja, meliorativnih područja, naselja, rudnika, predstavljajući značajne segmente bez kojih bi funkcionalnost ovih objekata bila dovedena u pitanje. Parcijalni pristup rešavanja ove problematike najčešće ne dovodi do efikasnog, odnosno, do optimalnog rešenja sistema odbrane od podzemnih voda. Integracijom različitih faktora koji podrazumevaju tehničke karakteristike sistema odbrane od podzemnih voda, uticaje na životnu sredinu, ekonomske kriterijume i njihove podkriterijume, moguće je sveobuhvatnije sagledati predmetnu problematiku. U radu je prikazan interdisciplinarni pristup rešavanja ove problematike koji dovodi do kreiranja algoritma za izbor efikasnog i optimalnog projektovanog alternativnog rešenja kod plana upravljanja odvodjavanjem. Za te svrhe primenjuje se numeričko modeliranje kao i prognozni hidrodinamički proračuni kojima se kreiraju alternativna rešenja. Krajnja faza algoritma podrazumeva višekriterijumsko odlučivanje, odnosno vrši se izvođenje matematičkih optimizacionih proračuna i donošenje konačne odluke o izboru održivog plana upravljanja odvodjavanjem. Celokupan proces izvođenja operacija prema algoritmu čini holistički sistem.

KLJUČNE REČI

upravljanje podzemnim vodama, numeričko/hidrodinamičko modeliranje, višekriterijumsko odlučivanje, holistički sistem

ABSTRACT

Groundwater control systems are used to safeguard hydraulic structures, riparian lands, hydraulic reclamation zones, populated areas, mining operations, and the like. They constitute important functional segments, without which the safety of such structures or areas would be compromised. A partial approach seldom leads to an effective or optimal protection solution. A comprehensive study of the problem is needed, which integrates various factors, including technical characteristics of the protection system, environmental impact, and economic criteria and sub-criteria. The algorithm for selecting an effective solution in dewatering management planning is best created through an interdisciplinary approach. The algorithm includes numerical modeling and simulation of the groundwater regime, as well as predictive hydrodynamic calculations that result in alternative solutions. The final stage involves a multiple-criteria decision-making model, or mathematical optimization calculations are undertaken and a final decision made concerning the selection of the sustainable dewatering management plan. The entire process of performing operations according to the algorithm constitute a holistic system.

KEYWORDS

groundwater management, numerical/hydrodynamic model, multiple criteria decision making, holistic system

1. UVOD

Rad “Kako napraviti održivi plan upravljanja odvodnjavanjem?” je proistekao iz istraživanja koja su izvedena tokom izrade doktorske disertacije (Bajić, 2015). Specijalistički segment odnosi se na primenu fuzzy logike u hidrodinamičkoj analizi za potrebe projektovanja sistema odbrane od podzemnih voda, odnosno kreiranja strategija za upravljanje vodama za različite slučajeve.

Odbrana od podzemnih voda predstavlja skup tehničkih mera kojima se na određenom području reguliše režim podzemnih voda (nivoi i doticaji) prema zadatim kriterijumima. Takođe, uključuje izgradnju sistema za odbranu kojim se vrši odvodnjavanje nekog područja. Sistemi za odbranu od podzemnih voda koriste se za zaštitu naselja, hidrotehničkih objekata, priobalja, meliorativnih područja i ležišta mineralnih sirovina (rudnici, površinski kopovi).

Na područjima gde podzemne vode negativno utiču na ljudske radove potrebna je izgradnja sistema za odbranu. U naseljenim mestima, visoki nivoi podzemnih voda mogu ugrožavati stambene objekte ili uticati nepovoljno na geomehaničke karakteristike tla, pa se javljaju njegove deformacije u vidu rušenja ili sleganja, a takođe i aktiviranja procesa klizanja kod tla koja imaju te predispozicije. Isti je slučaj i kod hidrotehničkih objekata. Na meliorativnim područjima visoki nivoi podzemnih voda dovode do zasićenja tla vodom i time ugrožavaju useve.

Najkompleksniju problematiku odbrane od podzemnih voda imaju ležišta mineralnih sirovina, a upravo iz navedenih razloga ovakva područja su izdvojena kao kvalitetan poligon za razmatranje primenjenih metodoloških postupaka u radu, odnosno prognoznih hidrodinamičkih proračuna i matematičkih optimizacionih proračuna.

S jedne strane, karakteristike ležišta mineralnih sirovina su kompleksne s aspekta eksploatacije rude. Ogladaju se u nemogućnosti tačnog definisanja svih fizičkih, mehaničkih i geoloških uslova u tom sistemu, a ceo proces otkopavanja i eksploatacije rude zahteva konstantno “učenje” i prevazilaženje problema koji se javljaju tokom aktivnosti na rudniku (Bajić et al., 2020). S druge strane, sličan je problem i sa hidrogeološkim aspekta, odnosno pravljenja strategije odvodnjavanja.

U daljem tekstu je prikazan pregled metodologije hidrogeoloških istraživanja vezanih za ležišta mineralnih sirovina. Počev od šezdesetih godina prošlog veka razvijaju se hidrogeološka istraživanja u Srbiji koja se bave izučavanjem hidrogeoloških uslova ležišta mineralnih sirovina. U Srbiji temelje o problemima i zadacima hidrogeologije ležišta mineralnih sirovina i odbrane od podzemnih voda prvi su postavili: Damjanović (1965), Milojević & Filipović (1966), Filipović & Valjarević (1974), Jovičić & Čović (1975), a zatim savremenija tehnička i naučna dostignuća predstavili su Simić et al. (1984), Komatina (1990), Simić (1994), Dragišić (1995) i Pavlović et al. (2012). Strani eksperti čija istraživanja predstavljaju teorijsku podlogu ovog poglavlja su: Libicki (1985), Morton & van Mekerck (1993), Cashman & Preece (2001), Hartman & Mutmanský (2002), Younger et al. (2002), Wyllie & Mah (2004), Younger (2007), Deb (2013).

Za uspešnu zaštitu od podzemnih voda koristi se jedna ili više metoda odbrane i različiti objekti za odvodnjavanje. Kompleks svih radova i objekata kojima se vrši zaštita naziva se sistem odbrane od podzemnih voda, odnosno sistem odvodnjavanja. Zadatak sistema za odbranu od podzemnih voda kod ležišta mineralnih sirovina je da u svakom momentu obezbedi sigurnost rada na najnižoj etaži kopa, tj. da obezbedi suve uslove najniže etaže kopa.

Kako tokom tehnološkog procesa eksploatacije mineralnih sirovina odbrana ležišta od podzemnih voda predstavlja jedno od ključnih pitanja koje treba rešavati, tako sistem odbrane mora da bude projektovan i izvedan na taj način da pruža potpunu zaštitu rudnika od priliva podzemnih voda i omogućava nesmetan proces izdvajanja rude, a takođe da bude i ekonomičan.

Uspešna odbrana zahteva primenu kompleksnog pristupa, kao i posedovanje znanja iz različitih disciplina koje se odnose na oblast geologije, pre svega hidrogeologije, a potom i dinamike podzemnih voda, mehanike stena, izrade bunara, hidrotehnike, kao i iz oblasti rudarstva, što podrazumeva poznavanje metoda eksploatacije rude.

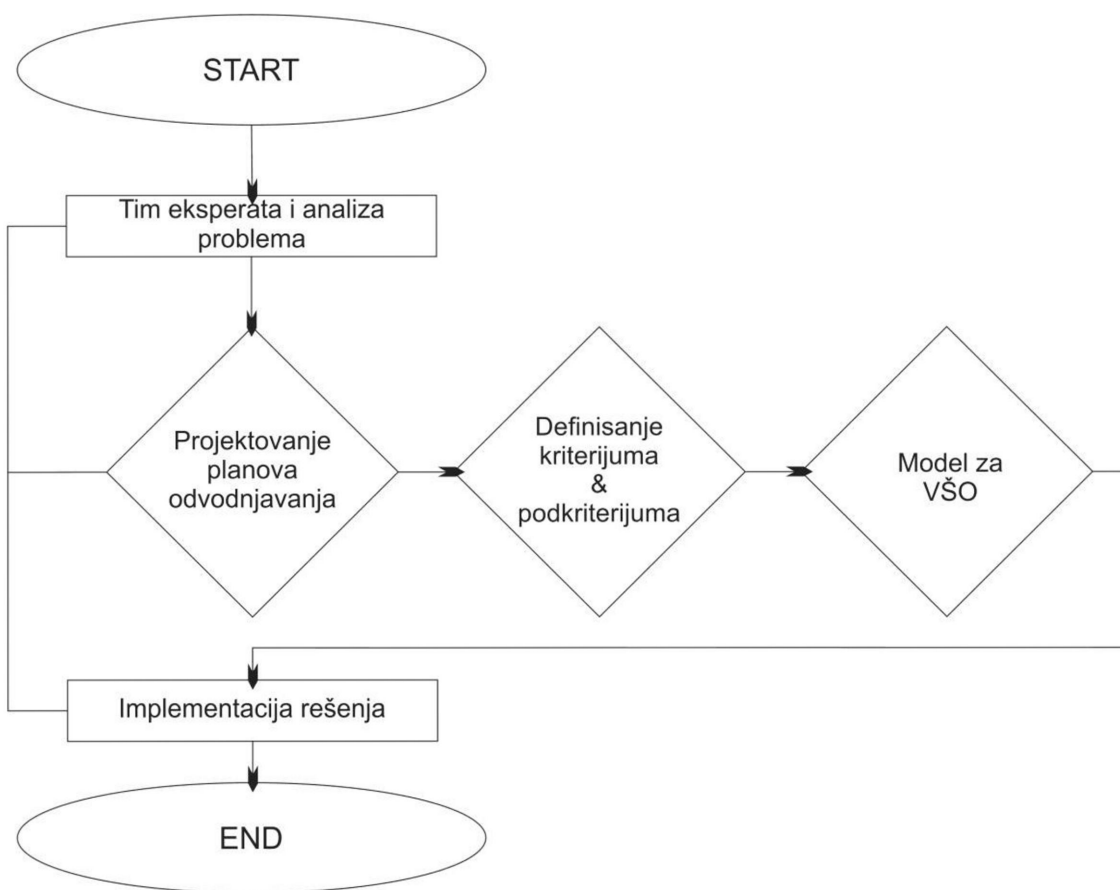
Interdisciplinarni pristup rešavanja ove problematike dovodi do kreiranja algoritma za izbor efikasnog i optimalnog projektovanog alternativnog rešenja kod plana upravljanja odvodnjavanjem.

2. KONCEPCIJA KREIRANJA ODRŽIVOG PLANA ODVODNJEVANJA I PREGLED PRIMENE ALGORITMA

Algoritam za projektovanje i izbor optimalnog i održivog plana odvodnjavanja se sastoji iz tri dela, koji čine holistički sistem (slika 1). Znanje, iskustvo, subjektivne procene i intuicija eksperata bitno utiču na sve tri dela od kojih se sastoji algoritam, odnosno projektovanje plana odvodnjavanja i rešavanje problema zaštite rudnika od priliva podzemnih voda.

S druge strane, eksperti sintetizuju celu sprovedenu analizu, a kao rezultat proističe višegodišnji plan sa unapred definisanim aktivnostima koje trebaju da se sprovedu u budućnosti na rudniku. Ako se uspešno implementira, proces eksploatacije rude i ostale rudarske aktivnosti se standardizuju.

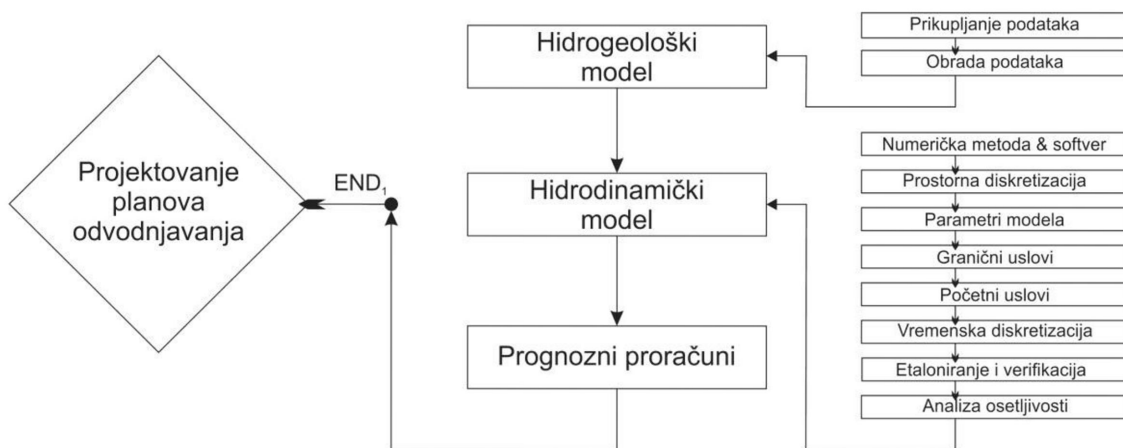
Rezultat toga je efikasno otkopavanje rude, a samim tim i povećana produktivnost koja uzorkuje konkurentnost na tržištu. Implementacija rešenja dreniranja rudnika može doneti benefite jedino ako se pravilno sprovede. U protivnom, ona može izazvati i negativne posledice, iako je izvršena detaljna analiza i sinteza svih kriterijuma koji obezbeđuju siguran rad u rudniku. Upravo zato, implementacija rešenja zahteva vrlo odgovoran i ozbiljan pristup, predanost projektnog tima i podršku menadžmenta, što ponovo dovodi do naglašavanja činjenice da znanje eksperta igra veoma važnu ulogu u celom procesu algoritma.



Slika 1. Algoritam holističkog pristupa za kreiranje održivog plana odvodnjavanja

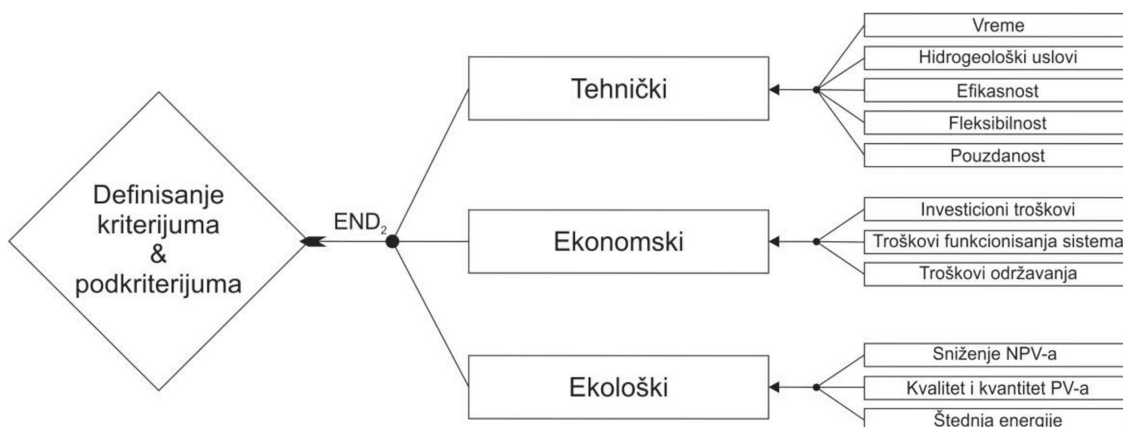
Prvi deo algoritma se odnosi na projektovanje varijantnih rešenja odbrane ležišta mineralnih sirovina od podzemnih voda. Za te svrhe primenjuje se hidrodinamičko modeliranje, kao i prognozni hidrodinamički proračuni kojima se kreiraju alternativna rešenja. Opisano na drugi način, osnovni problem koji se razmatra i rešava primenom hidrodinamičkog modeliranja je kreiranje različitih planova odvodnjavanja. Cilj je obaranje

nivoa podzemnih voda ispod kote rudarskih radova, odnosno dreniranje rudnika. Takođe, hidrodinamičko modeliranje i prognozni proračuni omogućavaju analizu efekata svih predloženih varijanti sistema za odvodnjavanje, kao i razlike između tih dobijenih rešenja. Neke teorijske osnove, objašnjenja svih koraka prema slici 2 (Polomčić, 2001; Krešić, 2006), kao i rešavanje kompleksnih problema u hidrogeologiji uz primenu prognoznih hidrodinamičkih proračuna u Srbiji i pojedinih delova Balkana prikazano je u radovima: Polomčić et al. (2013); Šubaranović et al. (2013); Polomčić & Bajić (2015); Polomčić et al. (2015) i Polomčić et al. (2018). Celokupna faza izrade hidrodinamičkog modela i prognoznih hidrodinamičkih proračuna za potrebe definisanja strategija odvodnjavanja, a kojoj predhodi faza izrade hidrogeološkog modela, prikazana je na slici 2. Ovi koraci se sprovode u softverima za modeliranje režima podzemnih voda, a najširu primenu ima kod „modflow“ (Harbaugh, 2005), odnosno programi koji koriste numeričke metode koje predstavljaju bazu pomenutom kodu (Rumbaugh & Rumbaugh, 2011).



Slika 2. Projektovanje plana odvodnjavanja

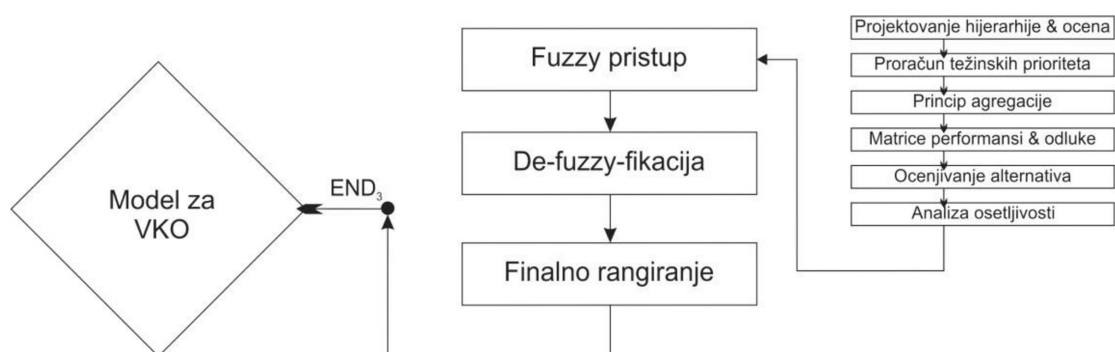
U drugoj fazi, vrši se analiza i diskusija kriterijuma koji utiču na odluku prilikom izbora optimalnog rešenja odvodnjavanja ležišta mineralnih sirovina (slika 3). Faktore koji imaju uticaj na karakteristike plana odvodnjavanja, kao i značenje svakog kriterijuma sa podkriterijumima prikazani su u radu Bajić et al. (2017). Prikaz rešavanja problema za pomenute slučajeve su prikazani u nekim izabranim radovima: Bajić & Polomčić (2014); Polomčić & Bajić, (2014) i Bajić et al. (2017a).



Slika 3. Definisanje faktora koji utiču na izbor plana odvodnjavanja

Treća faza algoritma podrazumeva model za višekriterijumsko odlučivanje (slika 4). Ova faza obuhvata pravljenje matrica ocena svih kriterijuma i podkriterijuma međusobno i matrica ocena svih alternativnih rešenja u odnosu na sve postavljene kriterijume i podkriterijume. Nakon toga vrši se izvođenje matematičkih

optimizacionih proračuna i donošenje konačne odluke o izboru održivog plana upravljanja odvodnjavanjem. U ovom slučaju, na slici 3 je prikazan model gde se primenjuje metoda FAHP (Chang, 1996; Deng, 1999) za donošenje odluke o optimalnom planu odvodnjavanja. Detaljan opis svih koraka prema višekriterijumskom modelu (slika 4) prikazan je u radu Bajić (2015) & Bajic et al. (2017). Kao olakšica za izvođenje kompleksnih matematičkih optimizacionih proračuna namenski je razvijena aplikacija „FUZZY-GWCS“ u *Centru za modeliranje podzemnih voda & Laboratoriji za projektovanje i menadžment izvorišta podzemnih voda* u okviru Rudarsko-geološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu (Bajić & Polomčić, 2015). Primenu fuzzy logike (Bajić et al., 2014) kod višekriterijumskih optimizacionih proračuna za svrhe kreiranja plana odvodnjavanja, kao i prognozu budućeg režima podzemnih voda, prikazani su na nekoliko izdvojenih primera, a takođe su predstavljene i prednosti primene FAHP metode za pomenute slučajeve u odnosu na klasične i druge ne-fuzzy metode: Bajić et al. (2017); Polomčić et al. (2017); Polomčić et al. (2019) i Bajić & Polomčić (2019).



Slika 4. Model za višekriterijumsko odlučivanje i izbor optimalnog plana odvodnjavanja

3. ZAKLJUČAK

Rad prikazuje savremen pristup problematici istraživanja u naučnoj oblasti geo-nauka i menadžmenta podzemnih voda.

Tokom dugogodišnjih i nimalo lakih istraživanja za potrebe kreiranja algoritma za donošenje odluke prilikom izbora optimalnog plana odvodnjavanja, primenjene su savremene metode koje se koriste u nauci. Prvo, to je metoda hidrodinamičkog modeliranja (prognozni hidrodinamički proračuni) korišćena za potrebe kreiranja plana odvodnjavanja. Drugo, to je primena fuzzy logike u višekriterijumskoj analizi, uz pomoć koje je donešena odluka o optimalnom planu odvodnjavanja.

Specifičnost algoritma se ogleda i u postavljenim kriterijumima i njihovim podkriterijumima, koji su mogu smatrati univerzalnim za sve planove odvodnjavanja, odnosno bilo koje objekte ili područja koje treba štiti od voda.

Veoma bitna činjenica se odnosi na mogućnost primene samo pojedinih delova algoritma, ili izmenu njegovih delova. To je najviše ogleda u trećem delu algoritma i mogućnost zamene neke druge metode fuzzy optimizacije koja se primenjuje prilikom donošenja odluke.

Sprovedeno istraživanje ukazuje na neophodnost interdisciplinarnog pristupa kod različitih problema u nauci. Prikazanim algoritmom, to se odnosi i na probleme u rudničkoj hidrogeologiji. Analizom navedenih referenci u predhodnom delu teksta, kao i na osnovu novijih istraživanja obavljenih tokom 2020. godine, može se primetiti da je celokupan proces kreiranja plana odvodnjavanja primenjen na najvećim ležištima uglja u Srbiji - Kolubarski basen i Kostolački basen, zatim ležištu uglja „Suvodol“ u Severnoj Makedoniji, ležištu limonita „Buvač“ u Bosni i Hercegovini, ležištu bakra „Čukaru Peki“, ležištu jadarita - Jaderski basen i dr. manjim ležišta mineralnih sirovina u Srbiji i regionu.

Razvijeni kompleksni interdisciplinarni algoritam doprinosi kvalitetnom i održivom upravljanju problematikom zaštite rudnika od priliva podzemnih voda. Ovakav integrisani pristup kreiranja optimalnog plana odvodnjavanja, verifikovanim na mnogobrojnim primerima u Srbiji i pojedinim delovima Balkana, ima izražen praktičan značaj u rešavanju problematike dreniranja ugroženih područja od podzemnih voda.

ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije za pružanje podrške naučno-istraživačkoj delatnosti, neophodnoj za napredak društva zasnovanog na znanju.

REFERENCE

- Bajić D. (2015). Fuzzy optimization in the hydrodynamic analysis for the purposes of groundwater control system design. Ph.D. thesis, University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, 296 pp.
- Bajić D. & Polomčić D. (2015). Aplikacija FUZZY-GWCS. Beograd: Centar za Modeliranje podzemnih voda, Rudarsko-geološki fakultet.
- Bajić D. & Polomčić D. (2014). Fuzzy optimization in hydrodynamic analysis of groundwater control systems: Case study of the pumping station "Bezdan 1", Serbia. *Geološki anali Balkanskoga poluostrva*, 75: 103-110. DOI: 10.2298/GABP1475103B
- Bajić D. & Polomčić D. (2019). Development of the algorithm of the fuzzy optimization in the hydrodynamic analysis for the purposes of groundwater control system design. *Tehnika*, 70(4): 527-536. DOI: 10.5937/tehnika1904527B
- Bajić D., Polomčić D., Jemcov I. (2014). The purpose of fuzzy logic in hydrogeological practice. In Cvetković V. (Ed.), *Proceedings of the XVI Serbian Geological Congress, Donji Milanovac, Serbia, 22-25 May 2014*, pp. 424-429. Belgrade: Serbian Geological Society.
- Bajić D., Polomčić D. & Ratković J. (2017). Multi-criteria decision analysis for the purposes of groundwater control system design. *Water Resources Management*, 31(15): 4759-4784. DOI: 10.1007/s11269-017-1777-4
- Bajić D., Polomčić D., Ristić Vakanjac V., Ratković J. & Čokorilo Ilić M. (2017a). Application of the VIKOR and FAHP multi-criteria optimisation methods for choosing the optimal groundwater control system: case of pumping station Bezdan 1 (Serbia). *Proceedings of the national conference with international participation „Geosciences 2017“*, Sofia, Bulgaria, 07-08 December, 2017; Yotzo Y., Ed.; Bulgarian Geological Society: Sofia; pp. 131-132.
- Bajić S., Bajić D., Glušević B. & Ristić Vakanjac V. (2020). Application of Fuzzy Analytic Hierarchy Process to Underground Mining Method Selection. *Symmetry*, 12(2): 192. DOI: <https://doi.org/10.3390/sym12020192>
- Cashman P.M., Preene M. (2001). *Groundwater lowering in construction: a practical guide*, 674 pp. London: Spon Press.
- Chang D.Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95: 649-655.
- Damjanović D. (1969) *Odvodnjavanje površinskih otkopa u rudarstvu*, 152 pp. Beograd: Građevinska knjiga
- Deb K.P. (2013). *An Introduction to Mine Hydrogeology*, 70 pp. New York: Springer International Publishing.
- Deng H. (1999). Multicriteria analysis with fuzzy pair-wise comparison. *International Journal of Approximate Reasoning*, 21: 215-231.
- Dragišić V. (2005). *Hidrogeologija ležišta mineralnih sirovina*, 242 pp. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet.
- Filipović B, Valjarević R. (1974). *Hidrogeologija ležišta mineralnih sirovina*, 371 pp. Sarajevo: Univerzitet u Sarajevu.
- Harbaugh A.W. (2005). *Modflow-2005, the U.S. Geological Survey modular ground-water model - the ground-water flow process*. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16 (variously paginated).
- Hartman H.L. & Mutmansky J.M. (2002). *Introductory mining engineering*, 571 pp. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Jovičić V, Čović A. (1975). *Odvodnjavanje rudnika*. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet.
- Komatina M. (1990). *Rudnička hidrogeologija. Hidrogeološka istraživanja III, primenjena hidrogeologija*, 391 pp. Beograd: Geozavod.
- Krešić N. (2006). *Hydrogeology and Groundwater Modeling*, 828 pp. CRC Press/Taylor & Francis Group
- Libicki Y. (1985). Proposal of criteria for selection of dewatering methods in surface mining, pp. 105-112. *Proceedings of the 2nd International mine water assoc congress*. Granada: International Mine Water Association.
- Milojević N, Filipović B. (1966). *Odabrana poglavlja iz predmeta hidrogeologija rudnih ležišta*. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet.
- Morton K.L., van Meerk F.A. (1993). A phased approach to mine dewatering. *Mine Water and Environment*, 12: 27-33
- Pavlović V., Šubaranović T., Polomčić D. (2012). *Sistemi odvodnjavanja površinskih kopova*. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet.

- Polomčić D. (2001). Hidrodinamička istraživanja, otvaranje i upravljanje izvorištima izdanskih voda u intergranularnoj poroznoj sredini, 196 pp. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet.
- Polomčić D. & Bajić D. (2014). Application of the hydrodynamic predictive modeling on the example of the pumping station „Bezdan 1“. *Tehnika*, 69(6): 956-962.
- 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. & Ratković J. (2018). Assessment of historical flood risk to the groundwater regime: case study of the Kolubara Coal Basin, Serbia. *Water*, 10 (5): 588. DOI: 10.3390/w10050588
- Polomčić D., Hajdin B., Stevanović Z., Bajić D., Hajdin K. (2013). Groundwater management by riverbank filtration and an infiltration channel: The case of Obrenovac, Serbia. *Hydrogeology Journal*, 21 (7): 1519-1530. DOI: 10.1007/s10040-013-1025-9.
- Polomčić D., Ristić Vakanjac V., Bajić D., Čokorilo Ilić M., Jovanov K. & Močević J. (2015). Hydrodynamic analysis of groundwater regime of coal deposit „Suvodol“ (the former Yugoslav Republic of Macedonia). *Zapisnici Srpskog Geološkog Društva za 2015. godinu*, 31-42.
- Polomčić D., Gligorić Z., Bajić D. & Cvijović Č. (2017). A hybrid model for forecasting groundwater levels based on fuzzy C-mean clustering and singular spectrum analysis. *Water*, 9(7): 541. DOI: 10.3390/w9070541
- Polomčić D., Gligorić Z., Bajić D., Gligorić M. & Negovanović M. (2019). Multi-criteria fuzzy-stochastic diffusion model of groundwater control system selection. *Symmetry*, 11(5): 705. DOI: 10.3390/sym11050705
- Rumbaugh J.O. & Rumbaugh D.B. (2011). *Guide to using Groundwater Vistas, Version 6*. New York: Environmental Simulations Inc., p 307
- Simić R., Mršović D. & Pavlović V. (1984). *Odvodnjavanje površinskih kopova*, 261 pp. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet.
- Simić R. (1994). *Tehnologija odvodnjavanja površinskih kopova*, 471 pp. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet.
- Šubaranić T., Pavlović V., Polomčić D., Malbašić V. (2013). Influence on Environment of Sealing Screen at Lignite Opencast Mines. *Metalurgia International*, 18(5), 169-176.
- Younger P.L. (2007). *Groundwater in the environment: an introduction*, 336 pp. Oxford: Blackwell.
- Younger P.L., Banwart S.A., Hedin R.S. (2002). *Mine water: hydrology, pollution, remediation*, 442 pp. Dordrecht: Kluwer.
- Wyllie D.C., Mah C.W. (2004). *Rock slope engineering: civil and mining*, 456 pp. NYC: Spon Press.

[\(POVRATAK NA SADRŽAJ\)](#)