

**VIII MEĐUNARODNA KONFERENCIJA  
UGALJ 2017**

Zlatibor, 11.-14. oktobar 2017.

**8<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE  
COAL 2017**

Zlatibor, 11-14 October 2017

**ZBORNIK RADOVA  
PROCEEDINGS**

**VIII MEĐUNARODNA KONFERENCIJA UGALJ 2017**

**ZBORNİK RADOVA**

**8<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE COAL 2017**

**PROCEEDINGS**

**Izdavač**

Jugoslovenski komitet za površinsku eksploataciju

**Urednik**

Prof. Dr Vladimir Pavlović

**Tehnička priprema**

Marijana Korakianiti, master inž.

**Grafičko rešenje korica**

Petar Maksimović

**Tiraž**

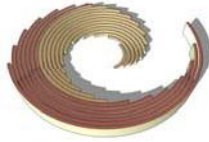
150 primeraka

**Štampa**

FineGraf, Beograd

© Sva prava zadržava izdavač

ISBN 978-86-83497-24-9



**ODREĐIVANJE OPTIMALNOG SISTEMA ODBRANE OD  
PODZEMNIH VODA KORIŠĆENJEM FUZZY-GWCS<sup>®</sup>  
APLIKACIJE**

**DETERMINING THE OPTIMAL GROUNDWATER CONTROL  
SYSTEM USING FUZZY-GWCS<sup>®</sup> APPLICATION**

Bajić D.<sup>1</sup>, Polomčić D.<sup>2</sup>, Dašić T.<sup>3</sup>, Ratković J.<sup>4</sup>, Čokorilo Ilić M.<sup>5</sup>,

**Apstrakt**

U cilju razvoja metodologije povodom rešavanja problema vezanih za odbranu od podzemnih voda i izbora optimalnog sistema odbrane od podzemnih voda, izrađena je namenska aplikacija FUZZY-GWCS<sup>®</sup> (Fuzzy - Groundwater Control System) u Centru za Modeliranje Podzemnih Voda. Ovom aplikacijom se vrše matematički proračuni pomoću jedne od metoda fuzzy optimizacije - fuzzy analitičko hijerarhijskog procesa. Od niza ponuđenih menadžment scenarija sistema odbrane od podzemnih voda dobijenih primenom metode hidrodinamičkog modeliranja, aplikacijom FUZZY-GWCS<sup>®</sup> se bira optimalno alternativno rešenje, analizirajući različite kriterijume i podkriterijume. U radu je prikazana primena ove aplikacije na površinskom kopu.

---

<sup>1</sup> Bajić Dragoljub, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

<sup>2</sup> Polomčić Dušan, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

<sup>3</sup> Dašić Tina, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet

<sup>4</sup> Ratković Jelena, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

<sup>5</sup> Čokorilo Ilić Marina, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

**Ključne reči:** Upravljanje podzemnim vodama, hidrodinamički model, fuzzy optimizacija

### **Abstract**

In order to develop a methodology for solving problems related to groundwater defense, and choosing the optimal groundwater defense system, a purposeful application FUZZY-GWCS® (Fuzzy-Groundwater Control System) was developed in the Groundwater Modeling Center. This application uses mathematical calculations using one of the fuzzy optimization methods - a fuzzy analytical hierarchical process. From a range of offered management scenarios of groundwater protection systems obtained using the hydrodynamic modeling method, the FUZZY-GWCS® application chooses an optimal alternative solution, analyzing different criteria and sub-criteria. This paper shows using this application on a surface mine.

**Key words:** Groundwater management, hydrodynamic model, fuzzy optimization

### **1. Uvod**

U mnogim slučajevima, kako bi se stekli povoljni uslovi za rad i život ljudstva mora se vršiti obaranje nivoa podzemnih voda. Za to su potrebni sistemi za odbranu od podzemnih voda, sačinjeni od objekata kojima se vrši dreniranje. Sistemi za odbranu od podzemnih voda koriste se za odbranu hidrotehničkih objekata, priobalja, meliorativnih područja, naselja i rudnika. Za potrebe rešavanja složenih hidrogeoloških i hidrodinamičkih problema kao što je odbrana od podzemnih voda kreiran je algoritam koji se sastoji iz 3 faze (Bajić, 2016).

- u prvoj fazi primenjuje se kompleksna hidrodinamička analiza kojom se omogućava adekvatno formiranje menadžment scenarija za odbranu od podzemnih voda, tj. sistema odbrane od podzemnih voda, kao i analiza efekata odbrane od podzemnih voda (Polomčić & Bajić, 2015);

- u drugoj fazi postavljaju se i detaljno analiziraju faktori koji utiču na izbor optimalnog sistema odbrane od podzemnih voda. Izdvojeni su sledeći, a koji se mogu smatrati univerzalnim: tehnički kriterijumi (vreme, prilagođenost hidrogeološkim uslovima, efikasnost, fleksibilnost i pouzdanost), ekonomski kriterijumi (investicioni troškovi, troškovi funkcionisanja sistema i troškovi održavanja) i kriterijumi uticaja na životnu sredinu (opadanje nivoa podzemnih voda, kvalitet i količina iscrpljenih voda i štednja energije) (Bajić et al., 2015);

- u trećoj fazi vrši se ocenjivanje kriterijuma, podkriterijuma i alternativa pomoću metode fazi analitičko hijerarhijskog procesa i donosi se konačna odluka o optimalnom sistemu odbrane od podzemnih voda. Ovakvim postupkom je u hidrogeologiju implementirana fazi optimizacija, koja omogućava donošenje odluke kod rešavanja problema u uslovima gde treba uvažiti postojanje više rešenja, a suprostavljenih kriterijuma, pri čemu se analizom svih postavljenih faktora dobija optimalno rešenje (Bajić et al., 2017).

Specifični algoritam, čiji se doprinos ogleda u optimalnom izboru sistema odbrane od podzemnih voda, formiran je zarad rešavanja aktuelnih i kompleksnih hidrogeoloških problema odbrane od podzemnih voda, a posebno rudnika - površinskih kopova na kojima se eksploatišu različite rude, kao na primer ugljevi (lignit) u R. Srbiji - Kolubarski i Kostolački basen.

Sprovedeno istraživanje koje je doprinelo kreiranju ovog algoritma, ukazuje na neophodnost interdisciplinarnog pristupa u povezivanju hidrogeologije sa drugim naučnim oblastima: povezivanja hidrogeologije i hidrodinamike sa fazi logikom, baziranoj na matematici i psihologiji, i povezivanja hidrogeologije i hidrodinamike sa višekriterijumskom optimizacijom (fazi optimizacijom) i sa odlučivanjem. Shodno tome, omogućena je održiva odluka o izboru sistema odbrane od podzemnih voda dobijena prethodnom hidrodinamičkom analizom.

## **2. Metodologija**

U osnovi aplikacije FUZZY-GWCS® „nalazi se“ savremena metoda višekriterijumskog odlučivanja - fuzzy analitičko hijerarhijski proces. Postoji 7 koraka matematičkih proračuna kojima se dolazi do izbora optimalnog rešenja sistema odbrane od podzemnih voda. Prema pomenutim proračunima, koji su prikazani u radu (Bajić et al., 2017) kreirana je i ova aplikacija. Korišćenjem aplikacije FUZZY-GWCS® omogućeno je, u velikoj meri, brže rešavanje kompleksnih matematičkih proračuna i vršenje analize osetljivosti.

## **3. Istražno područje**

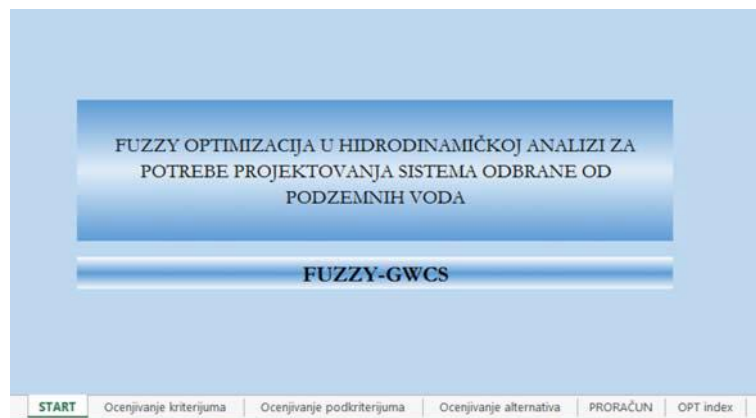
Na primeru površinskog kopa Buvač (Bosna i Hercegovina), prikazana je primena FUZZY-GWCS® aplikacije. Površinski kop Buvač, uzev u obzir njegove karakteristike, predstavlja složen sistem praćen intenzivnim promenama koje se dešavaju tokom eksploatacije mineralnih sirovina, a

značajnim i u pogledu problematike odbrane od podzemnih voda. Kompleksnim hidrodinamičkim modelom analizirana su 3 scenarija za odbranu od podzemnih voda, tj. sistema odbrane od podzemnih voda, kao i njihove karakteristike, broj drenažnih objekata i njihov raspored, potrebno vreme za maksimalne efekte snižavanja nivoa podzemnih voda i efekti rada sistema u funkciji obaranja pijezometarskih nivoa. Detaljna hidrodinamička analiza prikazana je u radu (Polomčić & Bajić, 2015).

#### 4. Rezultati istraživanja - primena aplikacije FUZZY-GWCS® na primeru površinskog kopa

Fazi optimizacija, metodom fazi analitičko hijerarhijskog procesa (FAHP), i određivanje optimalne alternative sistema odbrane od podzemnih voda površinskog kopa Buvač urađeni su u aplikaciji Fuzzy-GWCS®, specijalno napravljenoj za te namene. Na slikama od 1 do 8 predstavljeni su „prozori” pomenute aplikacije.

Na Slici 1 predstavljen je osnovni „prozor” aplikacije Fuzzy-GWCS®, gde se u donjem delu mogu videti i ostali prozori: „ocenjivanje kriterijuma”, „ocenjivanje podkriterijuma”, „ocenjivanje alternativa”, „proračuni” i „OPTindex”.



Slika 1. Prozor Start aplikacije Fuzzy-GWCS®

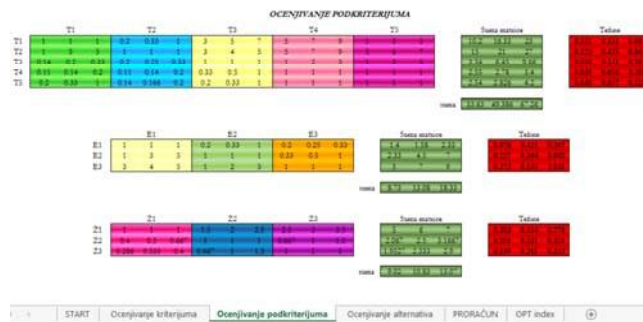
Ulazne elemente u program Fuzzy-GWCS® predstavljaju numeričke vrednosti lingvističkih varijabli (Bajić et al., 2014), koje su definisane FAHP skalom. Na Slici 2 prikazane su matrice kriterijuma u bojama, i to: za tehničke kriterijume - žuta boja, za ekonomske kriterijume - narandžasta boja i za ekološke kriterijume zelena boja, dok se u desnom delu, obleženog crvenom bojom, nalaze proračunate

vrednosti vektora težinskih prioriteta tih kriterijuma.

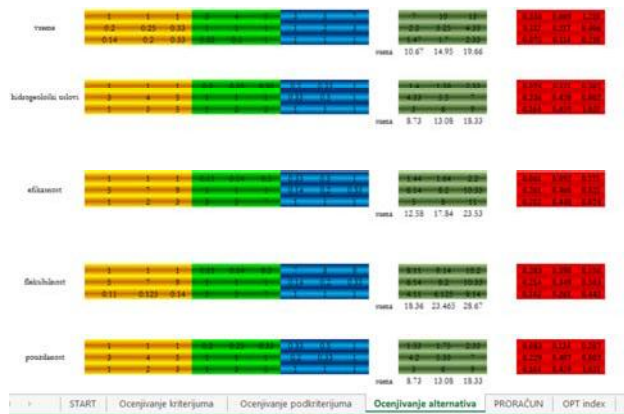


Slika 2. Prozor Ocenjivanje kriterijuma aplikacije Fuzzy-GWCS®

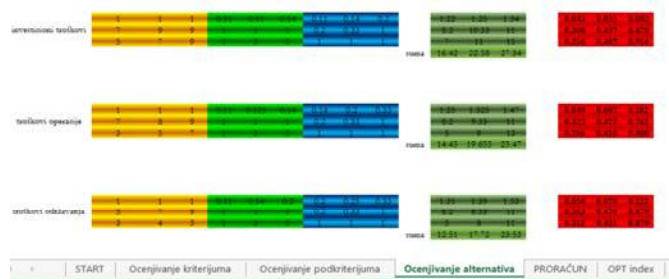
Na Slikama od 3 do 6 prikazane su matrice podkriterijuma, matrice alternativa, takođe, u crvenoj boji, kao i vrednosti proračunatih vektora težinskih prioriteta podkriterijuma u odnosu na posmatrani kriterijum i težine alternativa, poštujući sve navedene podkriterijume.



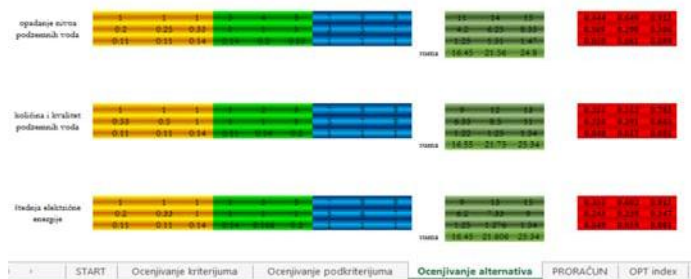
Slika 3. Prozor Ocenjivanje podkriterijuma aplikacije Fuzzy-GWCS®



Slika 4. Prozor Ocenjivanje alternativa aplikacije Fuzzy-GWS® za tehničke podkriterijume



Slika 5. Prozor Ocenjivanje alternativa aplikacije Fuzzy-GWCS® za ekonomske podkriterijume



Slika 6. Prozor Ocenjivanje alternativa aplikacije Fuzzy-GWCS® za ekološke podkriterijume

Na Slici 7 prikazani su primena principa agregacije i proračun težina kriterijuma sa težinama svojih podkriterijumima i konačne vrednosti „težina“ podkriterijuma. Pored toga, računskim operacijama između „prozora“ dobija se matrica performansi prikazana žuto-zeleno-ljubičastom bojom. Naposljetku, u desnom uglu prikazane su proračunate konačne vrednosti sve tri alternative u vidu trougaonog fazi broja.



Slika 7. Prozor Proračun aplikacije Fuzzy-GWCS®



Na Slici 8 prikazani su defazifikacija i konačne težine alternativa u vidu ne-fazi broja.



Slika 8. Prozor OPT index aplikacije Fuzzy-GWCS<sup>®</sup>

## 5. Zaključak

Specifični algoritam, čiji se doprinos ogleda u optimalnom izboru sistema odbrane od podzemnih voda, formiran je zarad rešavanja aktuelnih i kompleksnih hidrogeoloških problema odbrane od podzemnih voda, kao i povodom odvodnjavanja različitih objekata, pod kojim se podrazumevaju: naselja, hidrotehnički objekti, priobalja, meliorativna područja i rudnici.

U radu je primenjen i testiran koncept određivanja optimalnog sistema odbrane od podzemnih voda pomoću aplikacije FUZZY-GWCS<sup>®</sup>, kreiranoj u Centru za Modeliranje Podzemnih Voda (Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Departman za Hidrogeologiju), na izuzetno složenom primeru sa gledišta hidrogeologije odnosno hidrodinamike - odbrana od podzemnih voda ležišta mineralnih sirovina.

Primenom prikazanog algoritma doprinosi se kvalitetnom i održivom upravljanju problematikom odvodnjavanja na područjima i na objektima ugroženim od podzemnih voda.

## Zahvalnica

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

## Literatura

1. Bajić D.: Fazi optimizacija u hidrodinamičkoj analizi za potrebe projektovanja sistema odbrane od podzemnih voda. (Fuzzy optimization in the hydrodynamic analysis for the purposes of groundwater control system design). Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, 296 pp., 2016.
2. Bajić D., Polomčić D. & Jemcov I.: 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. ISBN: 978-86-86053-14-5, 2014.
3. Bajić D., Polomčić D. & Močević J.: Factors that influence the selection of an optimal groundwater protection system at open-pit mines, Proceedings of the VII International Conference Coal 2015, Zlatibor, Serbia, 14-17 October, 2015, Pavlović V, Eds., Yugoslav Opencast Mining Committee: Belgrade; pp. 9-16, 2015.
4. Bajić D., Polomčić D. & Ratković J.: Multi-criteria decision analysis for the purposes of groundwater control system design, *Water Resources Management*, DOI: 10.1007/s11269-017-1777-4, 2017.
5. Polomčić D. & Bajić D.: 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, 2015.