

UNIVERZITET U BEOGRADU  
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET  
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

HG

XV SRPSKI SIMPOZIJUM  
O HIDROGEOLOGIJI  
sa međunarodnim učešćem  
**ZBORNİK RADOVA**



**KOPAONIK**  
14-17. septembar 2016. godine



**XV SRPSKI SIMPOZIJUM O HIDROGEOLOGIJI**  
sa međunarodnim učešćem

**ZBORNİK RADOVA**

**IZDAVAČ:**

Univerzitet u Beogradu  
Rudarsko-geološki fakultet  
Đušina 7, Beograd

**ZA IZDAVAČA:**

Prof. dr Dušan Polomčić, dekan  
Rudarsko-geološki fakultet

**TEHNIČKI UREDNICI:**

Dr Ana Vranješ, dipl.inž  
Milan Vukićević, dipl.inž  
Sonja Drobac

**TIRAŽ:**

150 primeraka

**ŠTAMPA:**

Štamparija Grafolik, Beograd 2016.

Naučno-nastavno veće Rudarsko-geološkog fakulteta na sednici održanoj 18.06.2015. dalo je saglasnost za organizovanje XV srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem u organizaciji Departmana za hidrogeologiju.

CIP - Katalogizacija u publikaciji - Narodna biblioteka Srbije, Beograd

556(082)  
628.1(082)

СРПСКИ симпозијум о хидрогеологији са међународним учешћем (15; 2016; Копачић)  
Zbornik radova / XV Srpski simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, Kopaonik 14-17. septembar 2016. godine. - Beograd : Univerzitet, Rudarsko-geološki fakultet, 2016 (Beograd : Grafolik).  
- [22], 690 str. : ilustr.; 30 cm

Na vrhu nasl. str.: Departman za hidrogeologiju. - Radovi ćir.i lat. -  
Tiraž 150. - Str. [5-6]: Uvodna reč organizatora / Dejan Milenić, Zoran Stevanović. - Abstracts. - Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7352-316-3

a) Хидрогеологија - Зборници b) Снабдевање водом - Зборници  
COBISS.SR-ID 225745420

## ORGANIZACIONI ODBOR:

### Predsjednik:

*Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.*

### Generalni sekretar i sekretar organizacionog i naučnog odbora:

*dr Ana Vranješ, dipl. inž.*

### Članovi:

- |  |   |
|--|---|
| 1. <i>Prof. dr Olivera Krunić, dipl. inž.</i>        | 9. <b>Dejan Drašković, dipl. inž.</b>   |
| 2. <i>Prof. dr Vesna Ristić Vakanjac, dipl. inž.</i> | 10. <b>Ivan Đokić, dipl. inž.</b>       |
| 3. <i>Prof. dr Zoran Nikić, dipl. inž.</i>           | 11. <b>Branko Ivanković, dipl. inž.</b> |
| 4. <i>Dr Vladimir Beličević, dipl. inž.</i>          | 12. <b>Zorica Vukićević, dipl. inž.</b> |
| 5. <i>Dr Adam Dangić, dipl. inž.</i>                 | 13. <b>Milan Radulović, dipl. inž.</b>  |
| 6. <b>Mihajlo Mandić, dipl. inž.</b>                 | 14. <b>Uroš Urošević, dipl. inž.</b>    |
| 7. <b>Velizar Nikolić, dipl. inž.</b>                | 15. <b>Zoran Radenković, dipl. inž.</b> |
| 8. <b>Dragan Mitrović, dipl. inž.</b>                |   |

## NAUČNI ODBOR:

### Predsjednik:

*Prof. dr Zoran Stevanović, dipl. inž.*

### Članovi:

- |   |  |
|---|--|
| 1. <i>Prof. dr Nenad Banjac, dipl. inž.</i>         | 12. <i>Prof. dr Zoran Nikić, dipl. inž.</i>                      |
| 2. <i>Prof. dr Petar Milanović, dipl. inž.</i>      | 13. <i>Dr Milenko Vasiljević, dipl. inž.</i>                     |
| 3. <i>Prof. dr Nadežda Dimitrijević, dipl. inž.</i> | 14. <i>Prof. dr Vojislav Tomić, dipl. inž. (u penziji)</i>       |
| 4. <i>Prof. dr Borivoje Mijatović, dipl. inž.</i>   | 15. <i>Prof. dr Ivan Matić, dipl. inž. (u penziji)</i>           |
| 5. <i>Prof. dr Milan Dimkić, dipl. inž.</i>         | 16. <i>Prof. dr Slobodan Vujasinović, dipl. inž. (u penziji)</i> |
| 6. <i>Prof. dr Mićko Radulović, dipl. inž.</i>      | 17. <i>Dr Metka Petrič, dipl. inž.</i>                           |
| 7. <i>Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.</i>        | 18. <i>Dr Tamara Marković, dipl. inž.</i>                        |
| 8. <i>Prof. dr Milojko Lazić, dipl. inž.</i>        | 19. <i>Prof. dr Neđo Đurić, dipl. inž.</i>                       |
| 9. <i>Prof. dr Veselin Dragišić, dipl. inž.</i>     | 20. <i>Dr Konstantin Jovanović, dipl. inž.</i>                   |
| 10. <i>Prof. dr Milenko Pušić, dipl. inž.</i>       | 21. <b>Jugoslav Nikolić, dipl. inž.</b>                          |
| 11. <i>Prof. dr Petar Papić, dipl. hem.</i>         |  |

## UREĐIVAČKI ODBOR:

### Predsjednici:

*Prof. dr Dušan Polomčić, dipl. inž.*

*Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.*

### Članovi:

*Prof. dr Petar Dokmanović, dipl. inž.*

*Prof. dr Igor Jemcov, dipl. inž.*

**Nenad Toholj, dipl. inž.**

**Boban Jolović, dipl. inž.**

**Spasoje Glavaš, dipl. inž.**

**Ivana Demić, dipl. inž.**

**Žarko Veljković, dipl. inž.**

**Andrej Pavlović, dipl. inž.**

**Milan Vukićević, dipl. inž.**

**ORGANIZATOR SIMPOZIJUMA:**

*UNIVERZITET U BEOGRADU*

*RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET*

*DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU*

*u saradnji sa*

*DRUŠTVOM GEOLOŠKIH INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE*

*SRPSKIM GEOLOŠKIM DRUŠTVOM*

*NACIONALNIM KOMITETOM IAH*

**SPONZORI:**

***GENERALNI SPONZOR:***

**REHAU d.o.o.**

**G.P. KOMBO d.o.o.**

**THERMO OPTIMAL PROCESS COMPANY d.o.o.**

***POKROVITELJ:***

**MILLENNIUM TEAM**

***SPONZORI:***

DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU, RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET

UNIVERZITET U BEOGRADU, RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET

BEOGEOAQUA d.o.o.

GECO d.o.o.

INSTITUT ZA VODOPRIVREDU „JAROSLAV ČERNI“

SPA OVČA

***DONATORI:***

Ibis-Inženjering d.o.o.

Hidrogeocentar d.o.o.

## REGIONALNA ANALIZA RIZIKA OD ZAGAĐIVANJA PODZEMNIH VODA POD UTICAJEM NAPUŠTENIH RUDARSKIH RAODVA NA PROSTORU SRBIJE REGIONAL SCALE SCREENING OF GROUNDWATER POLLUTION RISK INDUCED BY ABANDONED MINING SITES IN SERBIA

Nebojša Atanacković<sup>1</sup>, Veselin Dragišić<sup>1</sup>, Vladimir Živanović<sup>1</sup>, Jana Štrbački<sup>1</sup>,  
Sunčica Gardijan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, 11000 Beograd. E-mail: n.atanackovic@rgf.rs

**APSTRAKT** Metodologija za preliminarnu procenu rizika od zagađivanja podzemnih voda kao posledica uticaja napuštenih rudarskih radova na prostoru Srbije primenjena u ovom radu, bazirana je na konceptu razvijenom za potrebe izrade karte rizika od zagađivanja podzemnih voda. Za navedene potrebe primenjene su odgovarajuće modifikacije kako bi se istakli i kvantifikovali procesi i faktori vezani za interakciju rudarskih objekata/otpada sa podzemnim vodama. Kao prvi korak, analizirana je prirodna ranjivost podzemnih voda primenom GOD metode. Analiza je izvršena na regionalnom nivou, i obuhvatila je teritoriju Srbije južno od Save i Dunava. Nakon analize ranjivosti, izvršena je klasifikacija 59 napuštenih radova vezanih za različite vrste ležišta mineralnih sirovina, prema potencijalnom negativnom uticaju na kvalitet podzemnih voda. U tu svrhu razvijena je proračunska šema za izračunavanje indeksa hazarda koja je bazirana fizičkim karakteristikama napuštenih rudnika i hidrohemijskim karakteristikama rudničkih voda. Izračunavanje indeksa rizika prema metodologiji primenjenoj u ovom radu za rezultat je imalo klasifikaciju napuštenih rudarskih radova prema njihovom potencijalu da negativno utiču na kvalitet podzemnih voda. Većina ispitivanih objekata se karakteriše niskim ili veoma niskim vrednostima indeksa rizika. Oko 17 % analiziranih pojava je svrstano u srednju grupu rizika, dok je 15 % napuštenih rudnika klasifikovano u grupu sa visokim stepenom rizika po zagađivanje podzemnih voda. Rezultati na primeru Srbije ukazuju da je moguće uspešno primeniti metodologiju u cilju izdvajanja napuštenih rudnika koji mogu predstavljati izvore zagađenja podzemnih voda, i na koje je potrebno usmeriti dalja istaživanja.

**ključne reči:** napušteni rudnici, rudničke vode, analiza rizika od zagađivanja, zaštita podzemnih voda,

**ABSTRACT** Methodology for regional scale screening of groundwater pollution risk induced by abandoned mines across Serbia, applied in this research, is based on a concept developed for groundwater contamination risk mapping. Suitable modifications were applied in order to highlight and quantify processes and factors related to the interaction of mining works/wastes with groundwater. As a first step, groundwater vulnerability analysis was undertaken with the use of GOD method. Groundwater vulnerability was assessed on a regional scale and covered part of Serbia south of Sava and Danube rivers. After vulnerability assessment, characterization of 59 abandoned mining sites of different ore types was conducted, according to the potential to have adverse effect on groundwater. For that purpose, calculation scheme for assessing hazard index was developed, based on the physical characteristics of abandoned mines and hydrochemistry of mine water originating from those sites. Calculation of risk index according to the methodology presented in this paper resulted in classification of abandoned mining sites according to their potential to cause adverse effect on groundwater quality. Majority of analysed sites is characterized with low risk index values. Approximately 17 % of analysed mines are classified in moderate groundwater pollution risk category, while 15 % of abandoned mines are characterized to have high groundwater pollution risk index. Results of the methodology applied on the example of Serbia show that this method can be successfully applied in order to delineate abandoned mining sites that can act as a groundwater polluters, and to pinpoint sites that should be a subject of detail explorations.

**Key words:** abandoned mines, mine water, groundwater pollution risk analysis, groundwater protection

## UVOD

U procesima eksploatacije, pripreme i prerade rude dolazi do stvaranja velikih količina čvrstog, tečnog i gasovitog otpada. Pored otpada, negativne posledice rudarstva na okolinu uključuju promene reljefa, klizišta, sleganje terena, zagađenje vode, vazduha i zemljišta kao i sniženje nivoa podzemnih voda (Dragišić 2005). Prestankom eksploatacije rude i zatvaranjem rudnika ne prestaje i negativan uticaj ovih objekata na životnu sredinu. On se najčešće odvija kroz nekontrolisano isticanje i mešanje kiselih, mineralizovanih rudničkih voda sa površinskim tokovima i podzemnim vodama.

Na nivou Evropske unije, problem napuštenih rudnika je razmatran u okviru direktive o rudarskom otpadu (2006/21/EC), koja propisuje izradu katastra rudarskog otpada. U okviru izrade katastra propisana je i preliminarna analiza rizika od zagađivanja podzemnih voda i prioritizacija napuštenih rudnika za potrebe usmeravanja budućih remedijacionih aktivnosti.

U kontekstu vodnih resursa, uticaj aktivnih i napuštenih rudnika je često razmatran na nivou sliva (Zobrist et al 2009, Younger and Wolkersdorfer 2004). Pored smernica za inspekciju i karakterizaciju zatvorenih i napuštenih rudnika koje proizilaze iz direktive o rudarskom otpadu, razvijeno je nekoliko metoda za procenu uticaja rudarskih radova na životnu sredinu na regionalnoj razmeri i na nacionalnom nivou (Rapantova et al. 2012; Mayes et al. 2009; Hudson-Edwards et al. 2008; Davis et al. 1997; Turner et al. 2011). Jedan od načina za analizu uticaja rudarske aktivnosti na različite činioce životne sredine (vodu, vazduh, zemljište, floru i faunu), kao i na ljudsko zdravlje predstavlja analiza rizika. Rizik od zagađivanja se karakteriše kroz kvantifikaciju verovatnoće da do zagađivanja dođe i posledicu koje to zagađenje može da izazove (DEFRA 2011). Generalno, analiza rizika se sastoji od izdvajanja hazarda, procene težine i verovatnoće posledica i procene rizika u okviru koje se rezultati prethodnih faza integrišu u formu rizika (Troldborg 2010). Analiza rizika od zagađenja je najčešće koncipirana tako da uključuje analizu izvora zagađenja, mehanizam transporta zagađenja i potencijalno ugroženih grupa, u razmatranom slučaju podzemnih voda (SPR - *Source-Pathway-Receptor*).

U ovom radu je prikazana metodologija za preliminarnu procenu rizika od zagađivanja podzemnih voda kao posledica uticaja napuštenih rudarskih radova. Metodologija je razvijena za primenu u GIS okruženju. Prikazana metodologija je bazirana na konceptu razvijenom za potrebe izrade karte rizika od zagađivanja podzemnih voda (Hotzl 2004), uz odgovarajuće modifikacije kako bi se istakle specifičnosti i omogućila adekvatna kategorizacija i kvantifikacija napuštenih rudnika kao potencijalnih zagađivača. Predložena metodologija je testirana na regionalnoj razmeri, prilikom čega je, sa obzirom na geološke karakteristike koje su uslovile raspored rudarskih radova, obuhvaćen prostor Srbije južno od Save i Dunava. Istraživanjima je obuhvaćeno 59 napuštenih rudnika u okviru ležišta metaličnih (Cu, Pb-Zn, Au, Fe, Sb, Mo, Bi, Hg), nemetaličnih (ugalj, Mg, F, B) sirovina, kao i napušteni rudnici urana.

## METODE

Metodologija za preliminarnu procenu rizika od zagađivanja kao posledica uticaja napuštenih rudnika je bazirana na oceni ranjivosti podzemnih voda i karakterizaciji rudarskih radova prema stepenu štetnosti (hazard indeksu). Kroz terenska istraživanja prikupljeni su podaci o veličini i tipu rudarskih radova kao i prisustvu i okvirnim dimenzijama odlagališta i flotacijskih jalovišta. Takođe, izvršeno je uzorkovanje rudničkih voda za potrebe izrade hemijskih analiza. Ternskim istraživanjima prethodila je faza prikupljanja podataka kroz identifikaciju napuštenih rudnika na bazi satelitskih snimaka i topografskih karata, kao i na osnovu pregleda publikovane i fondovske dokumentacije.

Za potrebe hidrohemijske karakterizacije, analizirano je 80 uzoraka rudničkih voda iz 59 napuštenih rudnika formiranih u okviru različitih ležišta mineralnih sirovina. Od osnovnih fizičko-hemijskih parametara, T, Ep i pH su određivani na terenu, dok su tvrdoća i utrošak  $\text{KMnO}_4$  određivani u laboratoriji. Od makrokomponenti hemijskog sastava analizirani su glavni katjoni i anjoni ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ). Od mikrokomponenti analizirani su: nemetali ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ , P,  $\text{SiO}_2$ ) i metali i metaloidi (Fe tot., Mn tot., Cr tot., Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, As). U zavisnosti od tipa ležišta, u okviru hemijskih ispitivanja analizirani su i specifični parametri koji su karakteristični za razmatranu vrstu mineralne sirovine koja je eksploatisana (Mo, Sb, Pb, Hg, U).

S obzirom da su istraživanjima obuhvaćeni napušteni rudnici u okviru više tipova ležišta mineralnih sirovina, formiranih u različitim geološko-hidrogeološkim uslovima, u okviru analize hidrohemijskih karakteristika primenjene su višeparatarske statističke metode. Klaster analiza (HCA) je primenjena za potrebe klasifikacije i grupisanja rudničkih voda prema parametrima koji predstavljaju indikatore zagađenja (Atanacković et al 2013).

Ranjivost podzemnih voda je razmatrana na regionalnoj razmeri i obuhvatila je terene istočne, zapadne i južne Srbije. Sa obzirom na veličinu prostora koji je obuhvaćen analizom, za ocenu ranjivosti podzemnih voda primenjena je GOD metoda (Foster 1987), uz primenu modifikovane šeme za kvantifikaciju parametara (Živanović 2011).

## METODOLOGIJA ZA PRELIMINARNU PROCENU RIZIKA OD ZAGAĐIVANJA PODZEMNIH VODA

Predložena metodologija za preliminarnu procenu rizika od zagađivanja je bazirana na konceptu razvijenom za izradu karte rizika od zagađivanja podzemnih voda (Hotzl 2004) i uključuje upoređivanje prirodne ranjivosti podzemnih voda i potencijalnih zagađivača (hazarda). Karakterizacija napuštenih rudnika kao potencijalnih hazarda uključila je analizu fizičkih karakteristika napuštenih rudarskih radova i hidrohemijskih karakteristika rudničkih voda koje iz njih slobodno ističu; kroz razvoj jednostavne indeksne metode za kvantifikaciju hazarda. Napušteni rudnici su klasifikovani prema potencijalnom stepenu štetnosti na osnovu osam kriterijuma svrstanih u dve glavne grupe faktora: Faktor S (izvor – *source*) i Faktor T (transport). Za potrebe procene rizika, vrednost indeksa hazarda je pomnožena sa vrednošću indeksa ranjivosti dobijenog GOD metodom, prilikom čega rezultujuća vrednost predstavlja indeks rizika od zagađivanja.

Faktor S se odnosi na karakterizaciju napuštenih rudnika kao izvora zagađujućih supstanci i procenjen je na osnovu 5 kriterijuma: hidrohemijskih karakteristika rudničkih voda izraženih preko pripadajućeg klastera/subklastera kao rezultat HCA analize (Atanacković et al 2013), vrste rude koja je eksploatisana, geološke građe u okviru koje je razvijeno ležište, veličina jalovišta i postojanje flotacijskog jalovišta. Kriterijumi su izabrani tako da budu relativno jednostavni i dostupni, ali takođe da budu i hidrogeološki relevantni sa aspekta procene potencijala za zagađivanje podzemnih voda. U okviru Faktora S, svakom od izdvojenih kriterijuma je dodeljen težinski faktor. Za potrebe izračunavanja težinskog faktora korišćena je logička matrica za poređenje kriterijuma (Saaty 1994; Turner et al. 2011). Vrednost faktora S je dobijena sumiranjem proizvoda svih kriterijuma ( $S_i$ ) i njihovih težinskih koeficijenata ( $w_i$ ).

U okviru Faktora T razmatrani su kriterijumi koji mogu imati uticaja na mogućnost transporta zagađenja, a pre svega: proticaj rudničkih voda koje ističu iz napuštenog rudnika, udaljenost do najbližeg vodotoka i red vodotoka. Vrednost faktora T je izračunata na osnovu pretpostavke da se potencijal za transport zagađenja povećava sa povećanjem proticaja i smanjenjem udaljenosti do površinskog toka, a smanjuje se sa povećanjem proticaja vodotoka u koji se rudničke vode ulivaju. Sa obzirom da podaci o proticajima za većinu vodotoka u neposrednoj blizini napuštenih rudarskih radova nisu dostupni jer se uglavnom radi o malim vodotocima u izvorišnim delovima slivova, umesto proticaja korišćena je vrednost reda površinskog toka, uz pretpostavku da što je veći red vodotoka time je i proticaj veći. Za potrebe kvantifikacije, faktor T se izračunava kao količnik zbira indeksa T1 (udaljenost do najbližeg vodotoka) i indeksa T2 (proticaj rudničkih voda), i indeksa T3 koji se odnosi na red najbližeg nizvodnog vodotoka.

Indeks koji opisuje stepen štetnosti određenog napuštenog rudnika tj. zagađujući potencijal (indeks hazarda  $H_i$ ) dobijen je prostim sabiranjem vrednosti Faktora S i Faktora T. Za preliminarnu procenu rizika od zagađivanja podzemnih voda, indeks rizika ( $R_i$ ) predstavlja proizvod indeksa ranjivosti podzemnih voda (GOD indeksa) i indeksa hazarda ( $H_i$ ), prema jednačini:

$$R_i = H_i * GOD$$

Dodeljivanje vrednosti za kriterijume u okviru faktora T i S, kao i klasifikacija hazarda i rizika u kategorije izvršena je na osnovu proračunske šeme prikazane na slici 1.

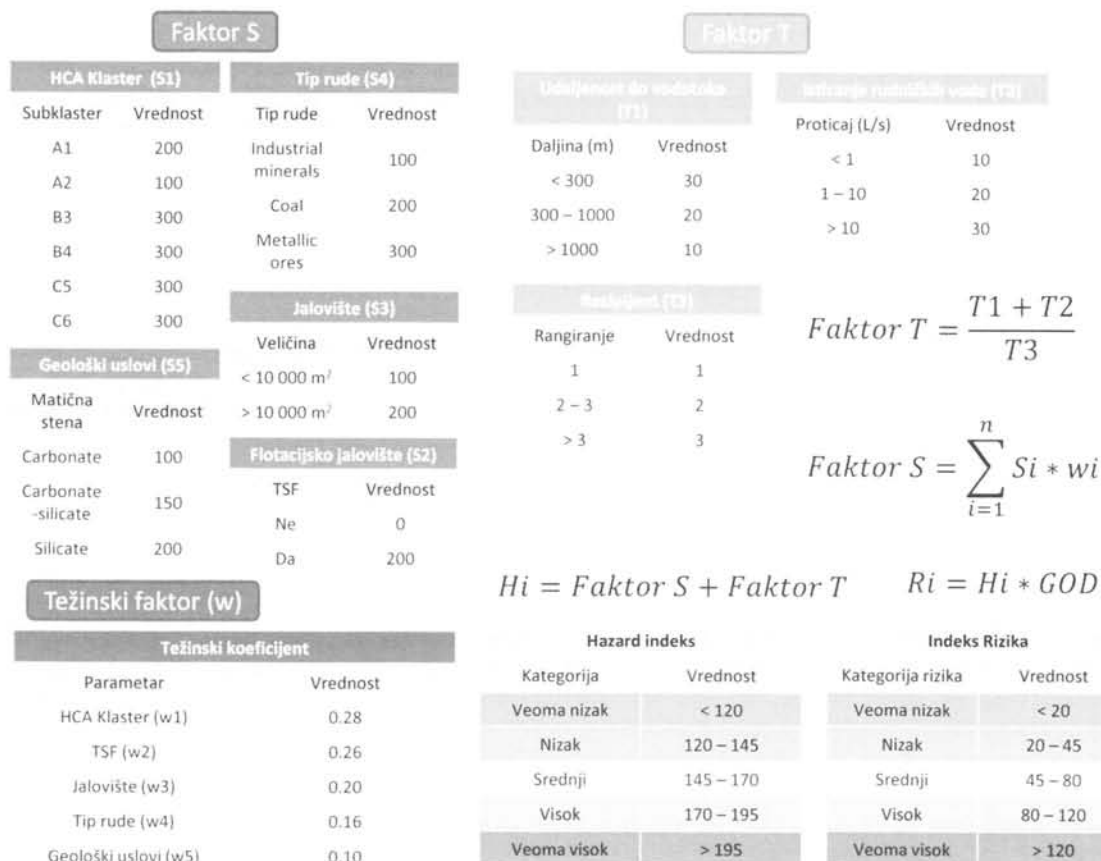
## REZULTATI I DISKUSIJA

Analizom ranjivosti na regionalnom nivou primenom GOD metode, utvrđeno je da 50 % područja na kome su detektovani napušteni rudarski objekti teritoriji Srbije južno od Save i Dunava pripada klasi niske ranjivosti, 25 % se karakteriše srednjom ranjivošću, dok oko 20 % terena, pretežno u okviru aluvijalnih sedimenata i u zoni rastprostranjenja karsta, pripada grupi sa visokom ranjivošću podzemnih voda (slika 2).

Ocena stepena štetnosti potencijalnih zagađivača (hazarda) ukazuje da nešto manje od 30 % analiziranih napuštenih rudnika pripada klasi sa niskim stepenom štetnosti. Najveći broj napuštenih rudarskih radova (40 %) je svrstan u srednju kategoriju prema hazard indeksu, dok preostalih 30 % pojava ima vrednosti hazard indeksa veće od 170 i mogu predstavljati značajne zagađivače. U kontekstu vrste mineralne sirovine, u najvišu kategoriju prema indeksu hazarda svrstani su napušteni rudnici bakra, olovo-cinka, žive i antimona. Napušteni rudnici utiču na životnu sredinu u najvećoj meri putem nekontrolisanog isticanja rudničkih voda u površinske tokove i kasnije mešanjem sa podzemnim vodama. U takvim okolnostima uticaj rudničkih voda se mora analizirati ne samo na mestu isticanja, već i u okviru sliva, u kontekstu transporta zagađujućih supstanci (Younger and Wolkersdorfer 2004).

Metodologija za preliminarnu procenu rizika od zagađivanja podzemnih voda primenjena u ovom radu, za rezultat je imala izdvajanje i klasifikaciju napuštenih rudnika prema njihovom potencijalu da izazovu

narušavanje kvaliteta podzemnih voda. Većina od 59 ispitivanih rudnika pripada grupi sa niskim ili veoma niskim rizikom po zagađivanje podzemnih voda. Od ukupnog broja, 17 % napuštenih rudnika se karakteriše srednjim stepenom rizika, dok je 15 % rudnika svrstano u grupu sa visokim ili veoma visokim rizikom da izazovu pogoršanje kvaliteta podzemnih voda (slika 2).



Slika 1. Proračunska šema za kvantifikaciju izdvojenih faktora u procesu preliminarne procene rizika od zagađivanja podzemnih voda

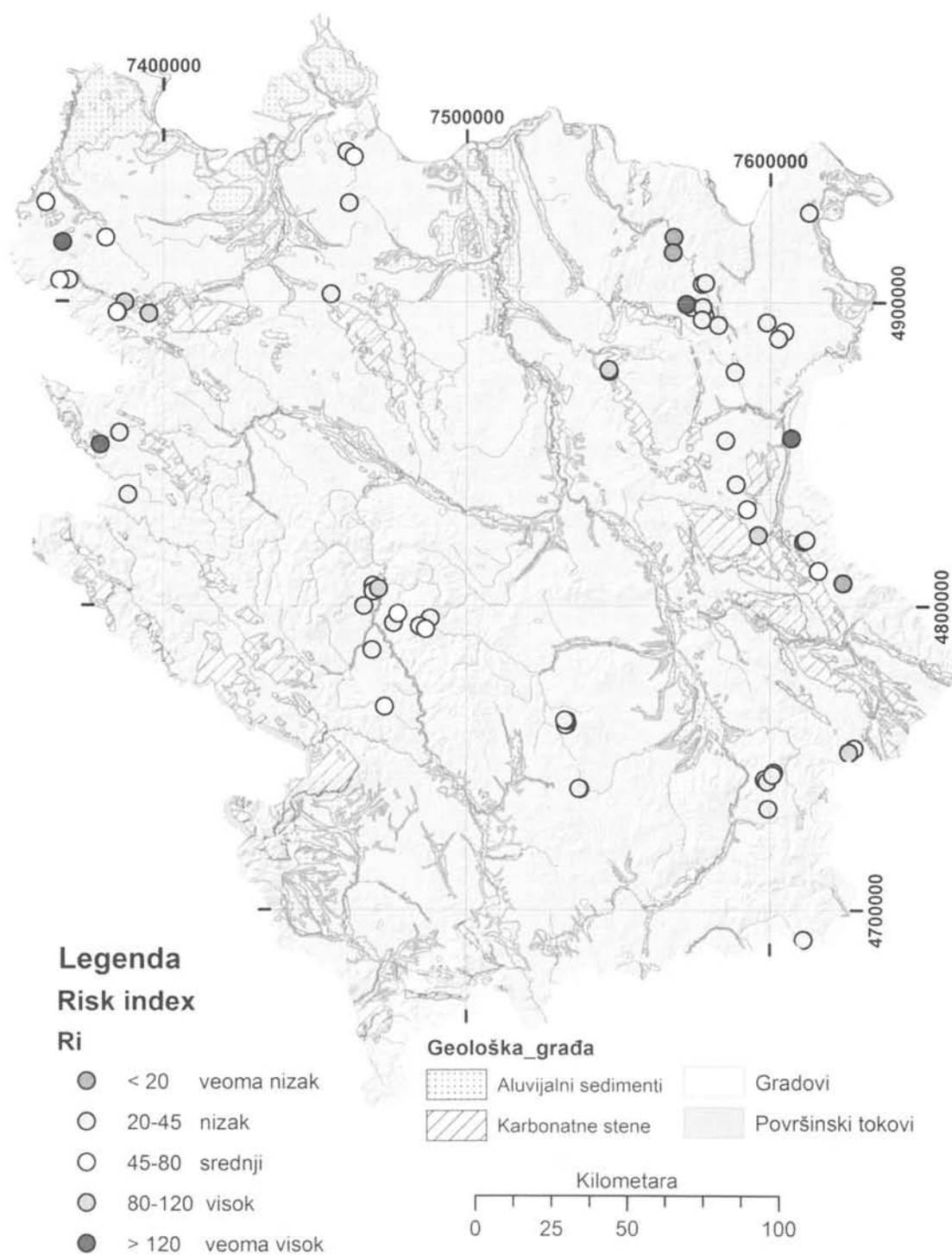
Figure 1. Calculation model applied for quantification of relevant factors in the process of screening of groundwater pollution risk

Preliminarna analiza rizika je pokazala da najveći rizik po pogoršanje kvaliteta podzemnih voda postoji u zapadnoj Srbiji. Iako je najveći broj napuštenih rudnika, koji predstavljaju značajne hazarde, lociran na prostoru istočne Srbije, većina je svrstana u grupu sa srednjim do niskim rizikom od zagađivanja podzemnih voda. Glavni uzrok može biti to što je većina ovih rudnika locirana u okviru Timočkog magmatskog kompleksa, koji predstavlja značajnu metalogenetsku zonu, ali nema veliki potencijal sa aspektom hidrogeologije za formiranje značajnijih izdani.

## ZAKLJUČAK

Preliminarna karakterizacija rizika od zagađivanja podzemnih voda pod uticajem napuštenih rudarskih radova je sprovedena na bazi ispitivanja ranjivosti podzemnih voda i procene stepena štetnosti napuštenih rudnika. Ranjivost podzemnih voda je procenjena primenom GOD metode, dok je procena hazarda izvršena na osnovu razvijene proračunske šeme koja je bazirana na fizičkim karakteristikama napuštenih rudnika i hidrohemijским karakteristikama rudničkih voda koje iz njih ističu. Ovaj pristup je primenjen na 59 napuštenih rudnika na prostoru Srbije i rezultirao je izdvajanjem onih rudnika za koji je vezan najveći rizik da negativno utiču na kvalitet podzemnih voda. Ovo je prvi korak u razvoju metode, i dalja istraživanja će biti usmerena ka uključivanju dodatnih parametara, kao i ka validaciji same metode. Ovako koncipirano, metoda se može primenjivati u inicijalnim fazama planiranja monitoringa podzemnih voda, kao i u pravilnom planiranju i usmeravanju sredstava za detaljna istraživanja i remedijacione aktivnosti.





Slika 2. Karta ispitivanog područja sa napuštenim rudarskim radovima klasifikovanim na osnovu indeksa rizika  
 Figure 2. Map of studied region showing abandoned mining sites categorized according to the risk index

## REFERENCE

- ATANACKOVIĆ N, DRAGIŠIĆ V, STOJKOVIĆ J, PAPIĆ P, ŽIVANOVIĆ V (2013): *Hydrochemical characteristics of mine waters from abandoned mining sites in Serbia and their impact on surface water quality*. Environ Sci Pollut Res 20(11): 7615—7626. doi: 10.1007/s11356-013-1959-4
- DAVIS G, BUTLER D, MILLS M, WILLIAMS D (1997) *A survey of ferruginous mine water impact in the Welsh coalfields*. J Chart Inst Water Environ Manag 11(2): 140—146
- DEFRA (2011): *Guidelines for Environmental Risk Assessment and Management - Green Leaves III*, The Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), Cranfield University, UK.
- DRAGIŠIĆ V (2005) *Hidrogeologija ležišta mineralnih sirovina*, Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultete, Beograd
- European Commission (2006) Directive 2006/21/EC. *The management of waste from extractive industries*
- FOSTER S (1987) *Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability, Pollution Risk and Protection Strategy*, In: Van Duijvenboden W and Van Waegeningh HG (Eds.), *Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants*, TNO Committee on Hydrogeological Research, Proceedings and Information 38: 69—86
- HUDSON-EDWARDS KA, MACKLIN MG, BREWER PA, DENNIS IA (2008) *Assessment of Metal Mining-Contaminated River Sediments in England and Wales*. Science Report: SC030136/SR4, Environment Agency, Bristol, UK
- MAYES WM, JOHNSTON D, POTTER HAB, JARVIS AP (2009) *A national strategy for identification, prioritization and management of pollution from abandoned non-coal mine sites in England and Wales*. I. Methodology development and initial results. Sci Total Environ 407: 5435 – 5447. doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.06.019
- RAPANTOVA N, LICBINSKA M, BABKA O, GRMELA A, POSPISIL P (2012) *Impact of uranium mines closure and abandonment on groundwater quality*. Environ Sci Pollut Res 20(11): 7590—7602 doi: 10.1007/s11356-012-1340-z
- SAATY TL (1994) *Highlights and critical points in the theory and application of the analytic hierarchy process*. European Journal of Operational Research 74(3): 426—447
- TROLDBORG M (2010) *Risk assessment models and uncertainty estimation of groundwater contamination from point sources*. Dissertation, Technical University of Denmark
- TURNER AJM, BRAUNGARDT C, POTTER H (2011) *Risk-Based Prioritisation of Closed Mine Waste Facilities Using GIS*. – In: Rüde RT, Freund A, Wolkersdorfer C (Eds), *Mine Water – Managing the Challenges*, Aachen, p 667—671
- YOUNGER P AND WOLKERSDORFER C (2004) *Mining Impact on the Fresh Water Environment: Technical and Managerial Guidelines for Catchment Scale Management*. Mine Water and Environ 23: 2–80. doi:10.1007/s10230-004-0028-0
- ŽIVANOVIĆ V (2011) *Pollution vulnerability assessment of groundwater – examples of karst (in Serbian)*. Msc Thesis, University of Belgrade
- ZOBRIST J, SIMA M, DOGARU D, SENILA M, YANG H, POPESCU C, ROMAN C, BELA A, FREI BD, BALTEANU D (2009) *Environmental and socioeconomic assessment of impacts by mining activities-a case study in the Certej River catchment, Western Carpathians, Romania*. Environ Sci Pollut Res 16 (Suppl 1): 14—26. doi: 10.1007/s11356-008-0068-2