

Univerzitet u Beogradu
Rudarsko-geološki fakultet

Vladimir Živanović

**OCENA RANJIVOSTI PODZEMNIH VODA OD
ZAGAĐENJA NA PRIMERIMA KARSTA SRBIJE**

Magistarski rad

Beograd, mart 2011. godine

Mentor:

Dr Veselin Dragišić, redovni profesor
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Članovi komisije:

Dr Slobodan Vujasinović, redovni profesor
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Dr Zoran Stevanović, redovni profesor
Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

Dr Zoran Nikić, vanredni profesor
Šumarski fakultet, Beograd

Datum odbrane magistarskog rada:

OCENA RANJIVOSTI PODZEMNIH VODA OD ZAGAĐENJA NA PRIMERIMA KARSTA SRBIJE

Apstrakt:

U savremenoj hidrogeološkoj praksi sve više pažnje se poklanja zaštiti podzemnih voda. Preventivne mere su osnova za održivo upravljanje ovim dragocenim prirodnim resursom. Metode za ocenu ranjivosti podzemnih voda su razvijene kako bi se obezbedile neophodne podloge za sprovođenje preventivnih mera. Primenom ovih metoda dobijaju se karte koje pokazuju koliko lako se podzemne vode mogu zagaditi, a samim tim i koliko je lako ugroziti pojave i objekte preko kojih se te vode koriste. Ovo još više dobija na značaju kod karstnih terena u kojima je mnogo teže definisati uslove prihranjivanja, a samim tim i još teže predvideti mere za zaštitu karstnih voda.

U radu je prikazan postupak primene metoda za ocenu ranjivosti podzemnih voda. Poseban akcenat stavljen je na zaštitu karstnih podzemnih voda koje je u suštini i najteže zaštititi. Analizirane su 4 metode za ocenu ranjivosti: *DRASTIC*, *EPIK*, *PI* i *COP*. Prva metoda (*DRASTIC*) je nastarija i najviše primenjivana, ali bez mogućnosti da uključi parametre koji su svojstveni samo za karstnu izdan (infiltracioni uslovi). *EPIK* je prva metoda koja je napravljena upravo za ocenu ranjivosti karstnih voda. *PI* i *COP* su savremenije verzije *EPIK* metode koje uključuju mnogo više parametra, pa se samim tim dobijaju i detaljnije karte.

Metode čija je metodologija opisana u radu, primenjene su na tri test područja koja obuhvataju različite karstne predele Srbije: Nacionalni Park Tara, karstni sistem Bogovina i južni deo Stare Planine. Sve tri lokacije se dosta razlikuju, kako prema geološko-hidrogeološkim uslovima, tako i prema veličini područja istraživanja što je omogućilo ne samo da se prikažu prednosti i nedostaci pojedinih metoda, već i da se pokaže primenljivost metoda za ocenu ranjivosti podzemnih voda.

Primenom pomenutih metoda, dobijene su karte ranjivosti podzemnih voda za sva tri test područja, na kojima su jasno izdvojene zone sa različitim stepenom ranjivosti tj. zone sa različitim stepenom zaštite koju pruža nadizdanska zona. Ovako dobijene karte mogu se primeniti u različite svrhe (prostorno planiranje, izrada karata ugroženosti podzemnih voda i sl.). Trenutno je njihova primena najznačajnija u određivanju zona sanitarne zaštite karstnih izvorišta. Konkretno, na osnovu njih je u radu dat predlog za definisanje zona sanitarne zaštite izvorišta Mrljiš i Perućac.

Ključne reči: ranjivost podzemnih voda, karst, epikarst, karstna izdan, karstne izdanske vode, *DRASTIC*, *EPIK*, *PI*, *COP*

POLLUTION VULNERABILITY ASSESSMENT OF GROUNDWATER – EXAMPLES OF KARST IN SERBIA

Abstract:

In modern hydrogeological practice more and more attention is paid to the protection of groundwater. Preventive measures are the basis for the sustainable management of this precious natural resource. Groundwater vulnerability assessment methods have been developed to provide the necessary basis for implementing preventive measures. By using these methods we obtain maps which show how easily groundwater can be contaminated and also how easy it is to endanger the springs and wells through which the water is used. This becomes even more important in karst terrain where it is much more difficult to define the recharge conditions and predict measures for karst water protection.

The paper describes the application of methods for groundwater vulnerability assessment. Special emphasis is placed on the protection of karst groundwater which is essentially the most difficult to protect. Four methods for vulnerability assessment have been analysed and these are: *DRASTIC*, *EPIK*, *PI* and *COP*. The first method (*DRASTIC*) is the oldest and most applied, but without the possibility to include parameters which are typical only for karst aquifer (infiltration conditions). *EPIK* is the first method which was designed to assess karst water vulnerability. *PI* and *COP* are modern versions of *EPIK* method which involve more parameters, and because of this fact more detailed maps can be created.

Methods, whose methodology is described in this paper, have been applied to three test areas which cover different karst areas in Serbia: National Park Tara, karst system Bogovina and southern part of the Stara Planina Mountain. All three areas are quite different according to the geological and hydrogeological conditions, as well as according to the size of the research area. This made it possible not only to show the advantages and disadvantages of different methods, but also to demonstrate the applicability of methods for groundwater vulnerability assessment.

By applying the above mentioned methods, we obtained maps of groundwater vulnerability for all three test areas, which contain clearly separated zones with different levels of vulnerability, that is, areas with different levels of protection provided by unsaturated zone. Maps obtained in this way can be used for different purposes (spatial planning, preparation of groundwater risk maps etc.). At the moment their application is the most important in determining the sanitary protection zones of karst ground water sources. It should be emphasized that on the basis of these maps a proposal has been made in this paper for defining the sanitary protection zones of the groundwater sources Mrliš and Perućac.

Key words: groundwater vulnerability, karst, epikarst, karst aquifer, karst groundwater, *DRASTIC*, *EPIK*, *PI*, *COP*

SADRŽAJ

UVOD	1
1. KONCEPT OCENE RANJIVOSTI PODZEMNIH VODA	3
1.1. Prirodna zaštita podzemnih voda	3
1.2. Istorijat	5
1.3. Definicija ranjivosti podzemnih voda	6
1.4. Konceptualni model „Ulaz – Putanja – Odredište“	11
1.5. Ocena ranjivosti objekata i izdani podzemnih voda	12
1.6. Uticaj razmere pri oceni ranjivosti podzemnih voda	15
1.7. Ranjivost karstnih izdanskih voda	16
1.7.1. <i>Karst, epikarst i karstna izdan</i>	16
1.7.2. <i>Specifičnost karstne izdani u oceni ranjivosti podzemnih voda</i>	21
1.8. Ranjivost podzemnih voda i Evropska direktiva za vode	23
1.9. Konceptualni model za ocenu ranjivosti karstnih podzemnih voda – „Evropski pristup“	23
1.10. Primena GIS okruženja u izradi karata ranjivosti podzemnih voda....	27
2. METODE ZA OCENU RANJIVOSTI PODZEMNIH VODA	30
2.1. Klasifikacija metoda za ocenu ranjivosti karstnih podzemnih voda... 30	
2.2. Detaljan opis korišćenih metoda	
2.2.1. <i>DRASTIC metoda</i>	36
2.2.2. <i>EPIK metoda</i>	47
2.2.3. <i>PI metoda</i>	55
2.2.4. <i>COP metoda</i>	64
3. PRIMENA METODA ZA OCENU RANJIVOSTI KARSTNIH PODZEMNIH VODA NACIONALNOG PARKA TARA	69
3.1. Geografski položaj područja istraživanja	69
3.2. Klimatske karakteristike	70
3.3. Hidrografske i hidrološke karakteristike	71
3.4. Geomorfološke karakteristike	73
3.5. Vegetacioni prekrivač	76

3.6. Pedološke karakteristike tla.....	76
3.7. Geološka građa i tektonika terena	79
3.7.1. <i>Opis litostratigrafskih jedinica</i>	79
3.7.2. <i>Pukotinski tip izdani</i>	83
3.8. Hidrogeološke karakteristike istražnog područja	85
3.8.1. <i>Zbijeni tip izdani</i>	85
3.8.2. <i>Pukotinski tip izdani</i>	86
3.8.3. <i>Karstni tip izdani</i>	87
3.8.4. <i>Tereni siromašni vodom</i>	90
3.9. Ranjivost podzemnih voda Nacionalnog parka Tara	91
3.9.1. <i>Primena DRASTIC metode</i>	91
3.9.2. <i>Primena EPIK metode</i>	104
3.9.3. <i>Primena PI metode</i>	108
3.9.4. <i>Primena COP metode</i>	116

4. PRIMENA EPIK METODE ZA OCENU RANJIVOSTI PODZEMNIH VODA KARSTNOG SISTEMA BOGOVINA125

4.1. Geografski položaj karstnog sistema „Bogovina“	125
4.2. Klimatske karakteristike	126
4.3. Hidrografske i hidrološke karakteristike	129
4.4. Geomorfološke karakteristike	132
4.5. Vegetacioni prekrivač	135
4.6. Pedološke karakteristike tla.....	136
4.7. Geološka građa i tektonika terena	138
4.7.1. <i>Opis litostratigrafskih jedinica</i>	138
4.7.2. <i>Pukotinski tip izdani</i>	142
4.8. Hidrogeološke karakteristike istražnog područja	144
4.8.1. <i>Zbijeni tip izdani u kvartarnim sedimentima</i>	144
4.8.2. <i>Izdani u tercijarnom kompleksu</i>	144
4.8.3. <i>Pukotinski tip izdani</i>	146
4.8.4. <i>Karstni tip izdani</i>	147
4.8.5. <i>Tereni siromašni podzemnim vodama</i>	150
4.9. Ranjivost podzemnih voda karstnog sistema „Bogovina“	151
4.9.1. <i>Izrada Karte E faktora</i>	151
4.9.2. <i>Izrada Karte P faktora</i>	152
4.9.3. <i>Izrada Karte I faktora</i>	153
4.9.4. <i>Izrada Karte K faktora</i>	155
4.9.5. <i>Tereni siromašni podzemnim vodama</i>	157

5. PRIMENA EPIK METODE ZA OCENU RANJIVOSTI PODZEMNIH VODA JUŽNOG DELA STARE PLANINE	158
5.1. Geografski položaj područja istraživanja	158
5.2. Klimatske karakteristike	159
5.3. Hidrografske i hidrološke karakteristike	160
5.4. Geomorfološke karakteristike	163
5.5. Vegetacioni prekrivač	169
5.6. Pedološke karakteristike tla.....	170
5.7. Geološka građa i tektonika terena.....	173
5.7.1. <i>Opis litostratigrafskih jedinica</i>	173
5.7.2. <i>Pukotinski tip izdani</i>	176
5.8. Hidrogeološke karakteristike istražnog područja	178
5.8.1. <i>Zbijeni tip izdani</i>	179
5.8.2. <i>Pukotinski tip izdani</i>	179
5.8.3. <i>Karstni tip izdani</i>	180
5.8.4. <i>Tereni siromašni vodom</i>	183
5.9. Ranjivost podzemnih voda južnog dela Stare planine	184
5.9.1. <i>Izrada Karte E faktora</i>	184
5.9.2. <i>Izrada Karte P faktora</i>	185
5.9.3. <i>Izrada Karte I faktora</i>	187
5.9.4. <i>Izrada Karte K faktora</i>	189
5.9.5. <i>Tereni siromašni podzemnim vodama</i>	190
6. OCENA DOBIJENIH REZULTATA	192
6.1. Usporedna analiza primene različite metodologije za ocenu ranjivosti podzemnih voda na području Nacionalnog parka Tara	192
6.2. Usporedna analiza primene EPIK metodologije na različitim područjima	197
6.3. Praktična primena karata ranjivosti podzemnih voda	200
6.3.1. <i>Određivanje zona sanitarne zaštite karstnih vrela Mrljiš i Perućac primenom metoda za ocenu ranjivosti podzemnih voda</i>	201
6.4. Nedostaci karata ranjivosti podzemnih voda	207
7. ZAKLJUČAK	208
LITERATURA	210

SPISAK PRILOGA

- PRILOG 1:** KARTA RANJIVOSTI PODZEMNIH VODA NACIONALNOG PARKA TARA (DRASTIC METODA), 1 : 80 000
- PRILOG 2:** KARTA RANJIVOSTI PODZEMNIH VODA NACIONALNOG PARKA TARA (EPIK METODA), 1 : 80 000
- PRILOG 3:** KARTA RANJIVOSTI PODZEMNIH VODA NACIONALNOG PARKA TARA (PI METODA), 1 : 80 000
- PRILOG 4:** KARTA RANJIVOSTI PODZEMNIH VODA NACIONALNOG PARKA TARA (COP METODA), 1 : 80 000
- PRILOG 5:** KARTA RANJIVOSTI PODZEMNIH VODA KARSTNOG SISTEMA BOGOVINA (EPIK METODA), 1 : 25 000
- PRILOG 6:** KARTA RANJIVOSTI PODZEMNIH VODA JUŽNOG DELA STARE PLANINE (EPIK METODA), 1 : 200 000