

ODREDBA RANJIVOSTI PODZEMNIH VODA SJEVEROISTOČNE BOSNE DRASTIC METODOM

Dado Srkalović¹, Željka Stjepić Srkalović²

¹Rudarsko geološko građevinski fakultet Tuzla, e-mail: dadosrkalovic@gmail.com

²Prirodno matematički fakultet Tuzla, e-mail: zeljka.stjepic-srkalovic@untz.ba

U radu je izvršena ocjena ranjivosti vodnih tijela podzemnih voda u podslivu rijeke Bosne, odnosno Spreče, zatim podslivu rijeke Drine (Drinjača), kao i dijelovi neposrednog sliva rijeke Save (čeličko područje - rijeka Gnjica i sliv rijeke Turije) DRASTIC metodom. Sva vodna tijela analizirana su sa aspekta dubine podzemnih voda, debljine krovinskih sedimenata, infiltracije, nagiba padine, koeficijenta filtracije i litološkog sastava akvifera. Za ocjenu ranjivosti podzemnih voda korištena je formula potencijala zagađenja.

Ključne riječi: vodna tijela, podzemne vode, DRASTIC metoda, sjeveroistočna Bosna

GROUNDWATER VULNERABILITY DETERMINATION OF NORTHEASTERN BOSNIA ACCORDING TO DRASTIC METHOD

Srkalović Dado¹, Željka Stjepić Srkalović²

¹Faculty of mining, geology and civil engineering Tuzla, e-mail: dadosrkalovic@gmail.com

²Faculty of Sciences and Mathematics Tuzla, e-mail: zeljka.stjepic-srkalovic@untz.ba

The paper assesses the vulnerability of groundwater bodies in the basin of the river Bosna and Spreča, then the river basin of the Drina river (Drinjača), as well as parts of the immediate Sava river basin (Čelić area - Gnjica river and Turija basin) by the DRASTIC method. All water bodies were analyzed in terms of groundwater depth, roof sediment thickness, infiltration, slope angle, hydraulic conductivity and lithological composition of aquifers. The pollution potential formula was used to assess the vulnerability of groundwater.

Key words: groundwater bodies, groundwater, DRASTIC method, northeast Bosnia

UVOD

INTRODUCTION

Izraz "ranjivosti podzemnih voda na onečišćenja" prvi je upotrijebio MARGAT 1968. godine. Pojam "ranjivost podzemnih voda" koristi se kao suprotnost terminu „prirodna zaštita od zagađenja“. Iako su napravljani mnogi naponi da bi se došlo do zajedničkog pojma ranjivosti podzemnih voda, različiti autori i dalje ga koriste u različitim uslovima. FOSTER & Hirata 1988. godine definiraju „zagađenje i ranjivost vodonosnika“ kao osjetljivost različitih dijelova vodonosnika na negativne terete (FOSTER & HIRATA, 1988).

FIZIČKOGEOGRAFSKI POLOŽAJ SJEVEROISTOČNE BOSNE PHYSICAL-GEOGRAPHICAL POSITION OF NORTHEASTERN BOSNIA AND HERZEGOVINA

Geografski položaj. Istražno područje je okontureno rijekama: Savom na sjeveru, Drinom na istoku, Bosnom na zapadu i rijekama Drinjačom i Krivajom na jugu. Područje obuhvata prostor oko 6350km² i pripada najnaseljenijem dijelu BiH (slika 1).

Sjeveroistočna Bosna je smještena unutar geografskih koordinata od 43°55'19" do 45°05'40" s.g.š. i od 18°11'14" do 19°37'41" i.g.d.



Sl. 1. Geografski položaj istraživanog područja

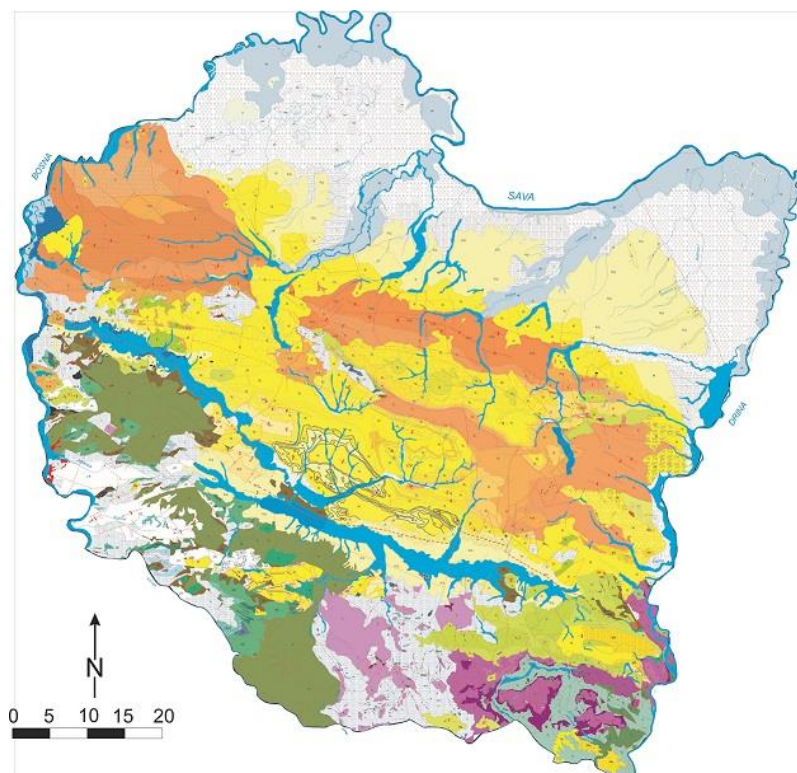
Fig.1. The geographic location of the research area (complemented by Srkalović, D. 2015)

Geološke karakteristike. Tereni koji pripadaju istraživanom području sjeveroistočne Bosne nalaze se u Središnjim i Unutrašnjim Dinaridima. Počev od juga, u Središnjim Dinaridima izdvojena je zona paleozojskih škriljaca i mezozojskih krečnjaka, a potom zona jursko-krednih i gornjokrednih fliševa (slika 3). Sjeverno od ovih fliševa prostiru se Unutrašnji Dinaridi, koji se mogu podijeliti na dvije zone (Hrvatović, 2006). Prva je centralna ofiolitska zona, koju rijeka Bosna presjeca na profilu koji počinje oko 5 kilometara sjeverno od Vranduka, a završava se u rejonu Doboja. Druga zona se nalazi sjeverno od Doboja prema rijeci Savi, na prostoru gdje korito rijeke Bosne presijecaju tvorevine zone horstova i rovova (Čičić, 2002).

Ofiolitska zona predstavljena je ultramafitnim stijenama (peridotit, dunit i serpentinit, koji je produkt hidrotermalnih izmjena peridotita i dunita) i podređeno gabrovima, dijabazima, bazaltima i spilitima. Dijeli se na gornjojurski ofiolitni melanž, ofiolitni kompleks i stijene koje su taložene preko masiva. Melanž se sastoji od škriljevito-muljeviteg matriksa sa fragmentima grauvake, ultramafita, gabra, dijabaza, bazalta, tufa, amfibolita, roznaca i blokova krečnjaka raznih starosti i uslova stvaranja. Najmlađi fragmenti krečnjaka su titonske starosti (J_3^3). U području rijeke Bosne, sjeverno od Žepča, veći dio melanža sastoji se od masivnih grauvaka, dok u drugim predjelima dominiraju krečnjaci.

Ultramafitne stijene javljaju se u vidu centimetarskih do decimetarskih fragmenata ili u vidu tijela kilometarskih razmjera i naravno kao veliki masivi (100-500km²), kao što je Krivajsko-konjuški masiv, koji je podijeljen na nekoliko blokova. Debljina ultramafitnih stijena varira od nekoliko stotina metara do 2 kilometra. Neki manji ultramafitni masivi, kao što je Ozren pokazuju često kompleksnije strukture nego krupniji (Babajić, 2009; Pamić, 1996; Pamić, 1964; Pamić & Olujić, J, 1974).

Cjelokupno područje Semberije nalazi se u aluvijalnoj ravni rijeke Drine, sa nadmorskim visinama terena od 85-90m, sa dosta jednostavnim geološkim sastavom. Sačinjavaju ga sedimentne stijene kvartarne starosti, a do dubine oko 2,5km u građi terena učestvuju terciarni i mezozojski sedimenti (Đurić & Radovanović, 2012).

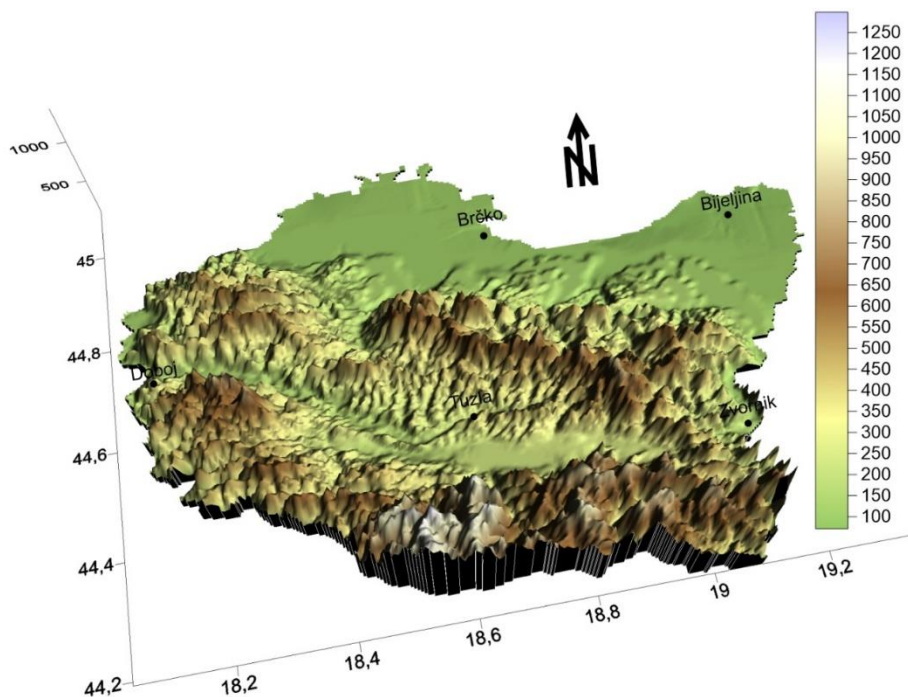


Sl. 2. Geološka karta područja sjeveroistočne Bosne (R = 1:25000, Čičić, 2002., edited: Srkalović, 2015.)
 Fig. 2. Geological map of southeastern Bosnia (scale 1:25000) (Čičić, 2002., edited: Srkalović, 2015.)

Geomorfološke karakteristike. U makroregionalnom području sjeveroistočne Bosne dominira blokovska struktura horstova i rovova oblikovana pliokvartarnom radijalnom tektonikom. Oticanje Save i donjih tokova Drine, Bosne, Spreče, Tinje i Tolise neotektonski je usmjereno desnim horizontalnim pomacima krila rasjeda Savskog grabena, Sprečkog rasjeda i Drinskog rasjeda

Najveći riječni meandri oblikovani su bočnom erozijom Save, vodom najbogatije tekućice u BiH, čiji srednji godišnji proticaji nizvodno od ušća Bosne premašuju 1000m³/sec (Žigić, I., Pašić-Škripić i Srkalović, 2011).

Postepeno izdizanje terena prema jugu morfološki je izraženo niskim predgorskim pobrđima, koja se direktno neotektonski vezuju za starije rasjedno-blokovske gorske morfostrukture sa predgorskim stepenicama: Konjuh 1328 m.nm., Ozren 918 m.nm, Majevicu 915 m.nm i Trebovac 692 m.nm. (Lepirica, 2015).



Sl. 3. Reljef područja sjeveroistočne Bosne
Fig. 3. The relief of northeastern Bosnia (Srkalović, D. 2015)

Prostorno manja zavalsko-kotlinska udubljenja: Tuzlansko, Kotorsko, Dobojsko, Starnarsko, Ugljevičko i dr. orografski uokviruju okolna planinska uzvišenja i niska pobrđa. Niske položaje zavala i kotlina makroregije reljefno izražavaju meandrirajuća riječna korita, naplavne ravnice i riječne terase (slika 3).

Klimatske karakteristike. Sjeveroistočna Bosna nalazi se u zoni rasprostiranja umjereno - kontinentalne klime sa dva jasno izražena godišnja doba (ljetno i zimsko) i dva prijelazna perioda (proljeće i jesen).

Osnovna obilježja ovog klimata su blage zime i umjereno topla i vlažna ljeta. Cjelokupno područje se nalazi pod uplivom južnih ogranaka sjevernog umjerenog pojasa i sjevernih dijelova subtropskog pojasa, koji se modifikuju nadmorskom visinom. Južna morfološka struktura u Sprečko-majevičkom kraju sa Semberijom značajno mijenja termički i izohijetni režim u odnosu na dolinsko-kotlinska područja. Ovaj kraj sektorno pripada priatlanskim uticajima, koji se prema istoku Bosne i Hercegovine modifikuju pa znatno umanjuju vrijednosti pluviometrijskog režima i svode ga, posebno u Semberiji, na polustepske odlike.

Tabela 1: Prosječna godišnja temperatura zraka (°C), količina padavina (l/m²), vlažnost zraka (%), oblačnost (1/10) i visina snježnog pokrivača (cm) na području Sjeveroistočne Bosne (1961-1990.)
Table 1: Average annual air temperature (°C), the rainfall amount (l/m²), air humidity (%), cloudiness (1/10) and snow depth (cm) in northeastern Bosnia

Meteo. stanica	Temp. zraka (°C)	Količina padavina (l/m ²),	Vlažnost zraka (%)	Oblačnost (1/10)	Visina snježnog pokrivača (cm)
Tuzla	10,0	894	78	5,9	97
Kladanj	9,2	1106	77	5,4	129
Gračanica	10,0	829	82	6,8	66
Zvornik	10,7	920	78	5,6	-
Bijeljina	10,9	735	80	5,5	68
Vlasenica	9,5	1120	79	5,3	120
Bratunac	10,4	848	81	6,6	55
Srebrenica	9,7	980	85	5,3	55
Sjeveroistočna Bosna	10,1	928	80	5,8	84

Izvor: Federalni hidrometeorološki zavod Sarajevo, 2010.

Prosječna godišnja temperatura zraka nad Sjeveroistočnom Bosnom iznosi 10,1°C, a srednja godišnja količina padavina 928 l/m². Najhladniji mjesec je januar (prosjeak -0,8 °C), a najtopliji juli (prosjeak 19,4°C), što ukazuje na relativno visoku godišnju amplitudu (oko 20,2 °C) odnosno izraženu kontinentalnost regije. Bitno je istaknuti da količine padavina opadaju od juga ka sjeveru. Najviša količina zabilježena je u Kladnju 1.106 l/m² i Vlasenici 1.120 l/m² (Konjuh i Javor), a najniža u Bijeljini (Semberija) 735 l/m² (Kudumović Dostović, Ahmetbegović, Stjepić Srkalović, 2019).

Hidrogeološke karakteristike. Obimnije akumulacije podzemnih voda egzistiraju u odvojenim naslagama trijaskih karstifikovanih krečnjaka Zvijezde, Javora, Romanije, Ozrena, Konjuha i sliva Gostelje južno od Sprečkog polja. Kod Doboja su otkriveni na lijevoj i desnoj strani rijeke Bosne hidrogeološki kolektori pukotinsko-karstne poroznosti (Čičić, 2002). U slivu rijeke Spreče u izvorišnom dijelu lijeve pritoke Gostelje, formirane su odvojene akumulacije podzemnih voda u srednje i gornjetrijaskim krečnjacima. Serpentiniti i peridotiti predstavljaju podinske izolatore, odnosno vodonepropusne stijene ispresijecane pukotinama. Srednjetrojaski krečnjaci su razvijeni u odvojenim zonama kod Brateljevića, Turalića i Draguše (Žigić, Pašić-Škripić, Srkalović, i saradnici, 2008). U nižim dijelovima terena na kontaktu sa vodonepropusnim naslagama iz ovih krečnjaka, izljevaju se povremeni ili stalni izvori (Brateljević, Kladanj, Bjelašnica).

U slivu rijeke Drine na teritoriji BiH razvijene su tri vrste vododjelnica: površinska (orografska), podzemna (hidrogeološka) i zonalna (hidrogeološka) (Žigić, Pašić-Škripić, i Srkalović, 2009).

Površinska prolazi kroz dijelove terena gdje litološki sastav i položaj stijena ne dozvoljavaju prodiranje voda dublje u litosferu. To su tereni izgrađeni od vodonepropusnih tvorevina verfena, paleozoika, vulkanogeno-sedimentne formacije i ultramafita. Podzemna hidrogeološka vododjelnica se pruža područjem gdje se površinska i podzemna vododjelnica ne podudaraju ili je ona duboko ispod površine terena.

Podzemne vode se dreniraju preko vrela u Brateljevićima, Podpauču, Plahovićima, Stanićima, Plazačama i Lovnici. U širem području Kladnja najznačajniji su izvori Podpauč, Pećina i Plahovići. Najveća akumulacija se izliva iz Velikog Bratnika ($Q_{min}=20$ l/s).

Iz planine Javornik u Drinjaču ističu vode na vrelima Kulješim ($Q_{min}=25$ l/s), Bjelašnica ($Q_{min}=40$ l/s) i Lovnica ($Q_{min}=10$ l/s).

Bilansne rezerve podzemnih voda sliva rijeke Drine na teritoriji BiH obzirom na veličinu sliva u pukotinsko-karstnim stijenskim masama, proračunate su na 4414 l/s. Od bilansnih rezervi oko 80% su C1 kategorije, dok su A i B rezerve zastupljene sa oko 20% (Srkalović, 2011).

METODE ISTRAŽIVANJA RESEARCH METHODS

Vodna tijela podzemnih voda su definirana prostorno, geološki i hidrogeološki. Prikupljeni podaci su kategorisani i analizirani sa aspekta mineraloškog sastava stijena, zbijenosti stijene, stepena ispucalosti stijenske mase, poroznosti, sadržaja organskih komponenti, sadržaja karbonata, sadržaja glinovitih komponenti, sadržaja oksida metala, pH vrijednosti, redoks potencijala, kapaciteta kationske izmjene, debljine pokrivača i stepena infiltracije. Također, uzeti su u razmatranje i hemijska svojstva samog tla kroz koju se infiltrira zagađujuća materija u litosferu, kao i procese biološke, hemijske i radiološke razgradnje te procese hidrolize, koji potpomažu zagađujuću materiju ili umanjuju njeno djelovanje. Od karakteristika akvifera u razmatranje su uzeti koeficijent filtracije i hidraulički gradijent. Za ocjenu ranjivosti korištena je DRASTIC metoda i podaci su prikazani na karti u razmjeri 1: 300 000 (slika 4).

DRASTIC METODA predstavlja akronim za:

D	Depth to water table– (Dubina do nivoa podzemnih voda)
R	net Recharge – (Infiltracija)
A	Aquifer media– (Tip akvifera)
S	Soil media– (Tip tla)
T	Topography – (Topografija)
I	Impact of the vadose zone– (Uticaj na nezasićenu zonu)
C	hydraulic Conductivity of the aquifer - (Koeficijent filtracije akvifera)

Za DRASTIC metodu moraju biti ispunjeni slijedeći uvjeti:

- zagađujuća materija je uvedena u akvifer kroz tlo,
- zagađujuća materija je došla do akvifera infiltracijom,
- zagađujuća materija ima mobilnost vode,
- područje istraživanja je minimalno 0,4 km².

Dubina do nivoa podzemnih voda. Ispod nivoa podzemnih voda su svi prostori i pore ispunjeni vodom. Iznad podzemne vode porni prostori su djelimično ispunjeni vodom i zrakom. Voda može biti prisutna u bilo kojoj vrsti medija, a može biti trajna ili sezonska.

Za potrebe ovog rada, dubina vode odnosi se na dubinu do površine vode. Kada je riječ o ograničenim vodonosnicima, zasićene zone iznad vrha vodonosnika nisu se razmatrali odvojeno. Dubina do podzemne vode je važna prije svega jer određuje debljinu materijala kroz koji zagađujuća materija mora putovati do vodonosnika. Općenito, postoji veća šansa za razgradnju zagađujuće materije sa povećanjem dubine, jer dublji nivoi vode uključuju i duže vrijeme putovanja.

Neto infiltracija. Primarni izvor podzemne vode su padavine, koje se infiltriraju kroz površinu zemlje i ulaze u podzemne vode. Neto infiltracija pokazuje količinu vode po jedinici površine zemljišta, koja prodire kroz površinu tla i dolazi do podzemne vode. Tako infiltracija može služiti kao transporter zagađujuće materije okomito na podzemne vode i horizontalno unutar akvifera. Osim toga količina vode u nezasićenoj i zasićenoj zoni se također kontrolira ovim parametrom. U područjima gdje je vodonosnik u uslovima bez pritiska, punjenje se obično događa lakše i zagađenja su općenito veća nego u područjima s baražiranim akviferima. Vodonosnici pod pritiskom su djelimično zaštićeni od štetnih tvari, koji bivaju uvedeni na površinskim slojevima niske propusnosti, koji usporavaju kretanje vode ka vodonosnicima.

Tabela 4: Rejting za tip akvifera
Table 4: Aquifer type rating

Masivni škriljac	2
Metamorfisane/vulkanske stijene	3
Trošne metamorfisane/vulkanske stijene i tanko uslojeni pješčar/krečnjak	4
Uslojeni škriljac	6
Masivni pješčar	6
Masivni krečnjak	6
Pijesak i šljunak	8
Bazalt	9
Karstifikovani krečnjaci	10

Tabela 2: Rejting za dubine podzemnih voda

Table 2: Depth to groundwater rating

Dubina do nivoa podzemnih voda (m)	
Raspon	Rejting
0-1,5	10
1,5-4,5	9
4,5-9	7
9-15,25	5
15,25-23	3
23-30,5	2
30,5+	1

Tabela 3: Rejting za količinu padavina

Table 3: Rainfall rating

Neto infiltracija (cm)	
Raspon	Rejting
0-5	1
5-10	3
10-18	6
18-25	8
25+	9

Tip akvifera. Odnosi se na konsolidirane ili nekonsolidirane medije koji služe kao vodonosnik (kao što su pijesak i šljunak ili krečnjak). Vodonosnik je definiran kao stijena koja će dati dovoljnu količinu vode za upotrebu. Općenito, veća veličina zrna i više lomova ili otvora unutar vodonosnika = veća propusnost, pa stoga veći potencijal zagađenja (Tabela 4.)

Tip tla. Za potrebe ovog rada tlo se smatra gornjom trošnom zonom kojoj je prosjek debljine dva metra ili manje. Tlo ima značajan uticaj na infiltraciju, a time i na sposobnost prenošenja zagađujuće materije okomito u vadoznu zonu. Nadalje, kada je

Tabela 5: Rejting za tip tla
Table 5: Soil type rating

Tip tla	
Rastresito ili tanko uslojeno	10
Šljunak	10
Pijesak	9
Treset	8
Skupljajuće/bubreće gline	7
Ilovača pjeskovita	6
Ilovača	5
Ilovača muljevita	4
Ilovača glinovita	3
Blato	2
Neskupljajuće/nebubreće gline	1

ovise o nagibu padine. Topografija je značajna sa stajališta da se gradijent i smjer protoka često mogu zaključiti za podzemne vode iz općeg nagiba zemljišta. Obično, strmije padine znače veće brzine podzemnih voda.

Uticao nezasićene zone i koeficijent filtracije. Vadozna zona je definirana kao zona iznad po-dzemne vode koja je nezasićena. Za potrebe ovog rada, ova stroga definicija se može primijeniti na sve vodonosnike podzemne vode.

Tabela 6: Rejting za nagib terena
Table 6: Slope rating

Topografija(% nagiba terena)	
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
18+	1

Tabela 7: Rejting za litološki sastav nezasićene zone

Table 7: Unsaturated zone rating

Uticao nezasićene zone	
Mulj/glina	1
Škriljac	3
Krečnjak	6
Pješčar	6
Uslojeni krečnjaci/pješčari/škriljci, pijesak i šljunak sa znatnim učešćem laporovite i glinovite komponente	6
Metamorfne/vulkanske stijene	4
Pijesak i šljunak	8
Bazalt	9
Karstifikovani krečnjaci	10

zona tla prilično debela procesi usporavanja filtracije, biodegradacije, sorpcije i volatiliza-cije mogu biti prilično značajni. Općenito, na potencijal onečišćenja uglavnom utiče vrsta gline, potencijal skupljanja i bubrenja glina kao i veličine zrna tla. U principu, što se glina manje skuplja i bubri i što je manja veličina zrna manji je potencijal zagađenja. Količina organskih materijala prisutnih u tlu može biti važan faktor (Tabela 5).

Topografija. Topografija se odnosi na padine i nagib površine. Topografija pomaže u kontroli polutanata sa aspekta vjerovatnosti zadržavanja istog na površini ili će se infiltrirati. Dakle, veća mogućnost infiltracije i veći potencijal onečišćenja

Međutim, prilikom ocjenjivanja zatvorenih vodonosnika, "uticao" na vadoznu zonu je proširen na vadoznu zonu i sve zasićene zone koje leže iznad vodonosnika. Vrste medija vadoznih zona određuju karakteristike materijala tla i iznad horizonta podzemne vode. Biorazgradivost, neutralizacija, mehanička filtracija, hemijske reakcije, volatilizacija i disperzija su procesi, koji se mogu pojaviti unutar vadozne zone sa općim ublažavanjem

biorazgradnje i pretvaranja u paru s dubinom. Mediji također kontroliraju dužinu puta i usmjeravanje, čime utiče na vrijeme razgradnje i količinu zagađujuće materije.

U tabeli 8 prikazan je i rejting za koeficijente filtracije unutar akvifera, iz koje proizilazi da sa povećanjem brzine filtracije, raste i vrijednost rejtinga – tj. veće brzine imaju negativan uticaj na zaštitu vodnog tijela (USGS, 1999).

Tabela 8: Rejting za koeficijent filtracije akvifera

Table 8: Hydraulic conductivity rating

Koeficijent filtracije (m/dan)	
0,004-4	1
4-12	2
12-28	4
28-40	6
40-81	8
81+	10

Tabela 9. Težine faktora za izračunavanje DRASTIC indeksa

Table 9: Weight factor for the DRASTIC indeks calculation

Faktor	Težina
Dubina do nivoa podzemnih voda	5
Neto infiltracija	4
Tip akvifera	3
Tip tla	2
Topografija	1
Uticaj nezasićene zone	5
Koeficijent filtracije akvifera	3

Sve „Težine“ DRASTIC faktora su vrednovane te su dodijeljene relativne vrijednost u rasponu od 1 do 5 (tabela 9). Najznačajniji faktori imaju vrijednost 5, a najmanje značajni 1. Ovi ponderi su konstantni i ne mogu se mijenjati.

Potencijal zagađenja ili „DRASTIC index“ dobija se korištenjem formule:

Potencijal zagađenja = DR*DW + RR*RW + AR*AW + SR*SW + TR*TW + IR*IW + CR*CW. Gdje su R= rejting i W = težina

REZULTATI ISTRAŽIVANJA RESEARCH RESULTS

Za svako vodno tijelo izvršena je analiza faktora, pri čemu su na osnovu karakteristika vodnih tijela dodijeljene numeričke vrijednosti od 1 do 10 za svaki pojedinačni faktor te je izvršen proračun potencijala zagađenja (tabela 10).

Tabela 10. Ocjena vodnih tijela podzemnih voda DRASTIC metodom
Table 10: DRASTIC index determination

Redni broj	Naziv vodnog tijela	D	R	A	S	T	I	C	DRASTIC indeks
1	Kladanj	1	6	10	5	1	4	10	120
2	Kladanj1	1	6	10	5	1	6	10	130
3	Krabašnica	1	8	10	5	1	4	10	128
4	Izron Suha-Zavidovići	5	9	8	5	1	4	10	146
5	Stupari	1	6	10	5	1	4	10	120
6	Gračanica-Živinice	3	1	10	5	1	6	10	120
7	Toplice	1	1	8	10	1	8	6	112
8	Sapna	1	6	6	3	1	6	8	108
9	Teočak	3	6	6	3	1	6	6	112

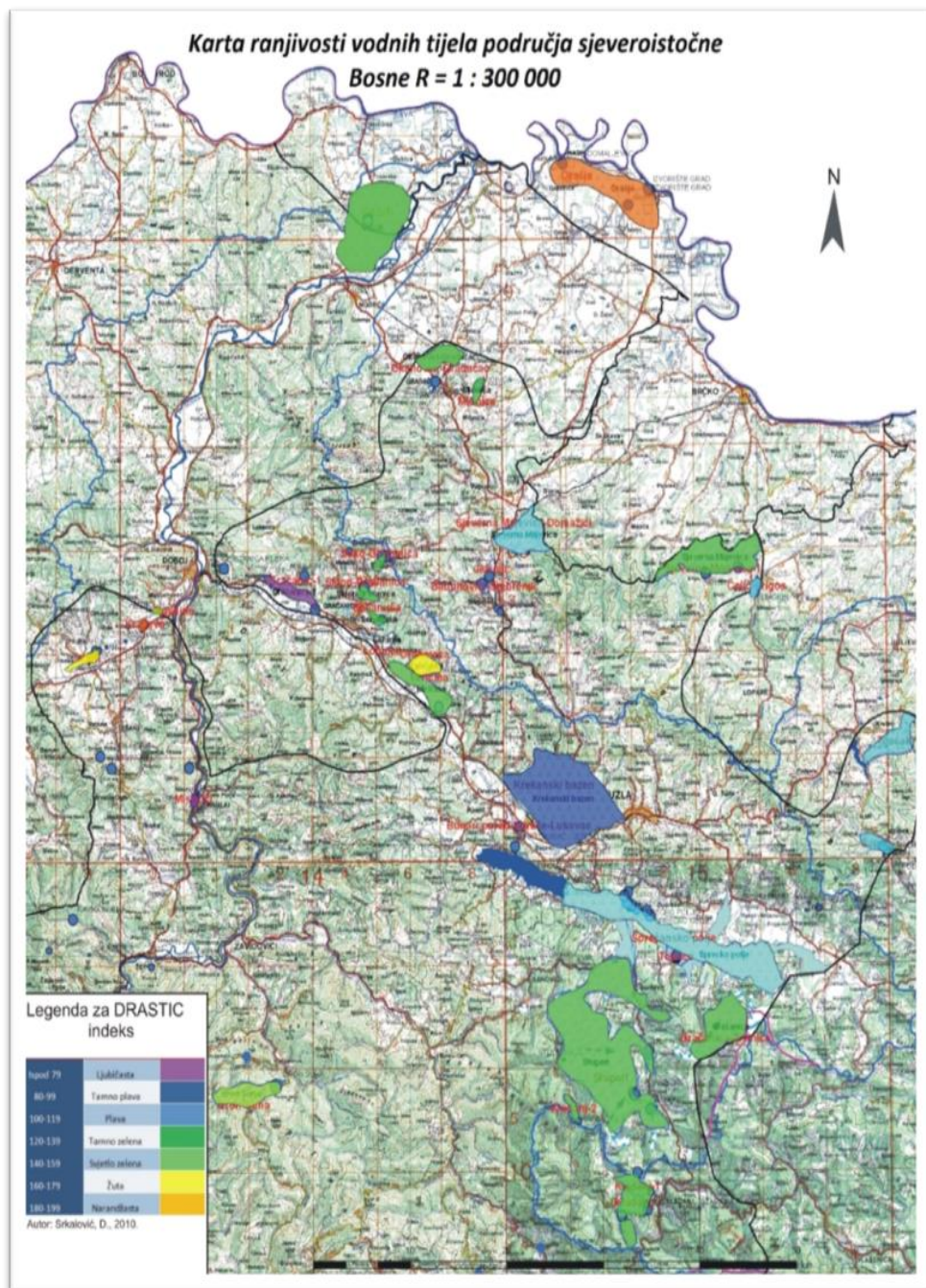
10	Miričina	2	9	6	5	9	6	8	137
11	Orahovica	7	9	8	5	9	6	10	174
12	Sklop, Soko, Seljanuša	3	6	6	5	5	6	10	132
13	Sjeverna Majeвица 1	3	8	8	5	1	6	6	130
14	Sjeverna Majeвица-Domažići	3	8	4	5	1	6	6	118
15	Mionica	5	8	6	5	3	4	4	120
16	Sprečko polje	1	9	8	10	10	1	6	118
17	Krekanski bazen	1	9	8	5	3	1	2	89
18	Spreča- Lukavac	1	9	8	10	10	1	2	106
19	Misurići	1	1	8	3	1	4	4	72
20	Havdine	5	9	8	10	10	6	4	157
21	Jelah	7	9	8	10	10	6	4	167
22	Kraševo	9	9	8	10	10	6	10	195
23	Gračanica 1	1	9	8	1	1	1	1	76
24	Čelić-Frigos	7	1	4	5	3	4	10	114
25	Okanović- Gradačac	7	1	8	3	5	4	10	124
26	Odžak	9	9	8	9	1	1	2	135
27	Orašje- Domaljevac	9	9	8	9	1	8	6	182

Dobivene vrijednosti DRASTIC indeksa prikazane su numerički i grafički (tabela 10, slika 3), ukazujući na prostornu distribuciju, kao i DRASTIC vrijednosti za svako vodno tijelo te oznaku boje kojom se vrši obilježavanje DRASTIC indeksa.

Vrijednosti ranjivosti vodnih tijela podzemnih voda variraju od 72 za vodno tijelo Misurići, do maksimalnih 195 za vodno tijelo Kraševo. Sva vodna tijela sa niskim indeksom ranjivosti su na velikim dubinama ili imaju veliku debljinu krovinskih izolatora.

Na istraživanom području analizirano je 27 vodnih tijela DRASTIC metodom. Vodna tijela Gračanica 1 i Misurići imaju vrijednosti ispod 79, dok vodno tijelo Krekanski bazen ima vrijednost od 89 - što znači da su ova vodna tijela veoma dobro zaštićena i da je mogućnost da se zagađujuća materija infiltrira do akvifera veoma mala. Vodna tijela Toplice, Sprečko polje, Teočak, Sapna, Čelić-Frigos i Sjeverna Majeвица-Domažići imaju raspon vrijednosti od 108-118 i pripadaju skupini zaštićenih vodnih tijela, kod kojih postoji mala vjerovatnoća da dođe do infiltracije zagađujuće materije u akvifer. Vodna tijela Orahovica i Jelah spadaju u skupinu visoko ranjivih vodnih tijela, gdje je mogućnost infiltracije zagađujuće materije u akvifer velika. Vodna tijela Orašje i Kraševo su vodna tijela bez zaštite. Ostala vodna tijela spadaju u skupinu srednje ranjivih vodnih tijela.

Očito je da baraziranost akvifera ima najveću ulogu u zaštiti samog vodnog tijela. Kod vodnog tijela Kraševo ne postoji zaštitni nadsloj, a dubina do nivoa podzemnih voda iznosi nešto više od dva metra, dok kod vodnog tijela Misurići postoji velika debljina nadslojeva i samo prihranjivanje se vrši vodama rijeke Bistrice preko upojnih bunara, te je i mogućnost zagađenja akvifera minimalna.



Slika 4. Ranjivost vodnih tijela podzemnih voda SI Bosne prema DRASTIC metodi

Fig. 4. Vulnerability of NE Bosnia groundwater bodies according to DRASTIC method

Reference References

- FOSTER, S. & HIRATA, R. (1988): Groundwater Pollution Risk Assessment – A Methodology Using Available Data. - Pan-American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences (CEPIS), 73 p.; Lima/Peru.
- Lepirica, A. (2015) Reljef geomorfoloških makroregija Bosne i Hercegovine, 2013.
- Žigić, I., Pašić-Škripić, D. i Srkalović, D. (2011) Studija karakterizacije podzemnih voda sliva rijeke Save.
- Hrvatović, H. (2006) Geološki vodič kroz BiH, Zavod za geologiju FBiH, Sarajevo.
- Čičić, S. (2002) Geological map of Bosnia and Herzegovina, Earth Science Institute, Sarajevo.
- Babajić, E. (2009) Petrološko - geoheмиjska i geotektonska obilježja mafitnih magmatskih stijena Krivajsko-konjuškog ofiolitnog kompleksa, RGGF, Tuzla. - Disertacija
- Pamić, J. (1996) Magmatske formacije Dinarida-Vardarske zone i južnih dijelova Panonskog bazena, Časopis Nafta Zagreb.
- Pamić, J. (1964) Magmatske i tektonske strukture u ultramafitima bosanske serpentinske zone, Geološki Zavod u Sarajevu.
- Pamić, J. & Olujić, J. (1974) Hidrotermalne metasomatske stijene sa sjeverne granice ozrenskog ultramafitnog masiva. Jugoslovenska akademija znanosti i umjetnosti, Beograd.
- Đurić, N. & Radovanović, S. (2012) Energetska potencijalnost geotermalnih resursa i mogućnost njihovog korištenja za toplifikaciju grada Bijeljine, Tehnički institut, Bijeljina.
- Žigić, I., Pašić-Škripić, D., Srkalović, D. i saradnici (2008) Studija ranjivosti Tuzlanskog kantona, Bosna SOil, Sarajevo.
- Žigić, I., Pašić-Škripić, D. i Srkalović, D. (2009) Studija karakterizacije podzemnih voda podsliva rijeke Drine.
- Srkalović, D. (2011) Ranjivost vodnih tijela podzemnih voda područja sjeveroistočne Bosne – magistarski rad, RGGF, Tuzla
- USGS (1999.): Improvements to the DRASTIC Ground-Water Vulnerability Mapping Method NATIONAL WATER-QUALITY ASSESSMENT PROGRAM – NAWQA
- Kudumović Dostović, F., Ahmetbegović, S., Stjepić Srkalović, Ž., (2019): Klima kao faktor razvoja rekreativnog turizma Sjeveroistočne Bosne, Acta geographica Bosniae et Herzegovinae, Sarajevo.

SUMMARY

GROUNDWATER VULNERABILITY DETERMINATION OF NORTHEASTERN BOSNIA ACCORDING TO DRASTIC METHOD

Srkalović Dado¹, Željka Stjepić Srkalović²

¹Faculty of mining, geology and civil engineering Tuzla, e-mail: dadosrkalovic@gmail.com

²Faculty of Sciences and Mathematics Tuzla, e-mail: zeljka.stjepic-srkalovic@untz.ba

Analyzing the groundwater bodies of northeastern Bosnia by the DRASTIC method, it was found that 50% of water bodies are with a medium vulnerability, 22% are with a low vulnerability, 11% without vulnerability and that 17% of water bodies have high to extreme vulnerability.

Some water bodies that are of karst - fractured porosity exhibit medium groundwater vulnerability values because they are trapped at relatively high depths, however, the lack of a

protective overlay makes these water bodies very vulnerable. The first disadvantage of the DRASTIC method is that it is not suitable for water bodies of karst - fissure porosity, which lack a protective overlay. A PI or EPIK method is recommended for these water bodies, which takes into account the development of karst and epicarst. Another drawback of the DRASTIC method is the large amount of input parameters from which the vulnerability of water bodies is further calculated.

The DRASTIC method, unlike other methods, takes into account the slope of the terrain, the hydraulic conductivity coefficients, the soil - as a filtration medium and the geological composition of aquifers and layers above the water body. For this reason, the DRASTIC method yields the best results of groundwater vulnerability assessment in intergranular environments.

Authors

Željka Stjepić Srkalović, master of geographical sciences, graduated at the Faculty of Sciences and Mathematics, University of Tuzla. Elected for senior associate assistant at the Faculty of Sciences and Mathematics, Geography Department in Tuzla, scientific field Physical geography. Author and coauthor of numerous scientific and professional papers published in scientific journals and one scientific book "Pedogeografija".

Dado Srkalović, PhD in geology - senior assistant at the Faculty of Mining, Geology and Civil engineering, University of Tuzla, Bosnia and Herzegovina. In 2017. defended PhD Thesis "Hydrochemical zoning of the groundwater bodies in northeastern Bosnia" at Geology Department of Faculty of Mining, Geology and Civil engineering, University of Tuzla. Author and coauthor of numerous scientific and technical articles.