

**ANALIZA UTICAJA RUDARSKIH AKTIVNOSTI NA SADRŽAJ
TEŠKIH METALA U PODZEMNOJ VODI I VODI ZA PIĆE U
ZAVISNOSTI OD KLIMATSKIH PARAMETARA**

**ANALYSIS OF THE MINING ACTIVITIES IMPACT ON THE
CONTENT OF HEAVY METALS IN THE GROUNDWATER AND
DRINKING WATER DEPENDING ON CLIMATE PARAMETERS**

Marina Pešić¹, Radmila Marković²

¹Javno komunalno preduzeće „Vodovod“ Bor, R.J. Čoče 16, 19210 Bor

²Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Zeleni Bulevar 35, 19210 Bor
e-mail: marinabor030@gmail.com

Izvod

Svrha ove analize je da pokaže da li rudarske aktivnosti utiču na kvalitet podzemnih voda i vode za piće. Analiza uzoraka vode je vršena u tri nepovoljna klimatska perioda u toku zime 2018.-2019. godine. Dobijeni rezultati pokazuju da koncentracije teških metala u uzorcima vode nemaju vrednosti veće od dozvoljenih prema važećoj zakonskoj regulativi. Takođe, koncentracija teških metala se nije menjala sa promenama klimatskih parametara. Međutim, utvrđena je viša koncentracija molibdena od zakonom propisane u periodu otapanja snega. Ovim je pokazano da u krajnje nepovoljnim klimatskim uslovima kraške podzemne vode mogu da sadrže i pojedine metale čije poreklo može biti ili iz okolnog terena ili posledica rudarskih aktivnosti s obzirom da su dva površinska kopa u neposrednoj blizini izvorišta „Surdup“.

Ključne reči: teški metali, podzemna voda, voda za piće, klimatski parametri

Abstract

The purpose of this analysis is to show whether mining activities have an impact on the groundwater and drinking water quality. Water samples were analyzed in three unfavorable climatic periods during the winter of 2018-2019. The obtained results show that the heavy metal concentrations in water samples do not have values higher than the allowable according to the current statutory regulations. Also, the heavy metal concentration did not change with changes in climate parameters. However, a higher concentration of molybdenum than statutory by the law was found in the period of snow melting. This has shown that in extremely unfavorable climatic conditions, the karst groundwater can contain certain metals that can origin either from the surrounding field or as a result of mining activities, considering that there are two open pits in the immediate vicinity of the "Surdup" source.

Keywords: heavy metals, groundwater, drinking water, climate parameters

1. UVOD

Voda je ograničeni resurs od vitalne važnosti za zdravlje ljudi, životnu sredinu i ekonomski razvoj. Procenjuje se da usled klimatskih promena danas jedna trećina svetske populacije živi u zemljama izloženim srednjem do visokom vodnom stresu, a predviđanja ukazuju da će do 2025. godine polovina populacije živeti u bezvodnim regionima [1,2,3].

Takođe, sa druge strane i zagađenje vode koje je posledica različitih antropogenih aktivnosti, pre svega u industriji, poljoprivredi i domaćinstvima postaje sve veći problem [4,5]. Sve navedeno smanjuje količine dostupne čiste vode i povećava kompeticiju za vodom adekvatnog kvaliteta. Može se reći da su problemi kojima su danas izloženi vodni resursi posledica klimatskih promena, prekomernog korišćenja, zagađenja i neadekvatnog upravljanja, kako na globalnom nivou tako i u lokalnim zajednicama.

Poseban značaj u vodosnabdevanju imaju karstni tereni, zato što su vodni resursi ovih područja visokog kvaliteta i zahtevaju minimalnu preradu, kako bi se dobio kvalitet vode koji je propisan za vodu za piće [6,7]. U Srbiji, karstne izdanske vode predstavljaju značajan potencijal za sadašnje i buduće vodosnabdevanje, a kada su u pitanju pojedini delovi istočne i zapadne Srbije, ne postoji alternativno rešenje [8].

Kraška područja su izuzetno vulnerabilna, a samim tim su podložnija zagađenju. Poznato je da se u periodima padavina ili otapanja snega naglo pogoršava mikrobiološki i hemijski kvalitet (mutnoća, suspendovane materije) kraških podzemnih voda [9]. Takođe, specifičnost kraških terena dovodi do brzog prenosa zagađivača u kojima potencijalno može biti i teških metala [10,11]. Ovo može biti posebno važno za vodosnabdevanje ukoliko su kraška izvorišta u oblasti rudarenja, kao što je slučaj sa izvorištem „Surdup“ koje se nalazi u blizini dva rudnika: „Serbia Zijin Copper doo“ (eksploatacija i prerada ruda bakra) i rudnik „Jugo - Kaolin“ (proizvodnja kvarcnog peska).

Cilj ovog rada je da se utvrdi da li postoji uticaj rudarenja, u zavisnosti od klimatskih parametara, na kvalitet podzemne vode izvorišta „Surdup“ i vode za piće iz distributivnog sistema.

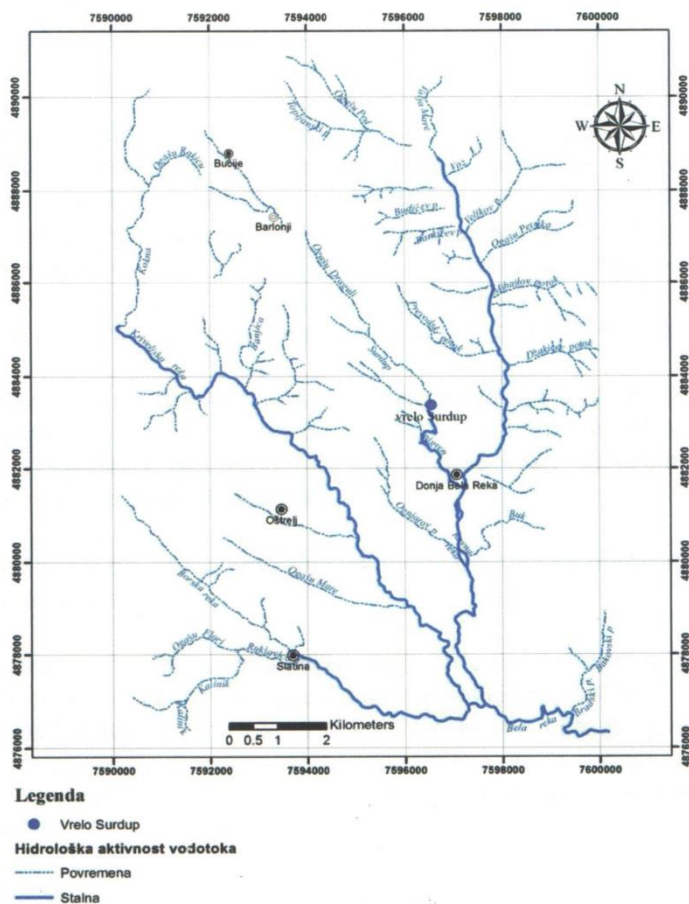
2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Prostor izvorišta „Surdup“ nalazi se na oko 1,5 km severno od sela Donja Bela Reka, na nadmorskoj visini 302 m (Slika 1.). Karstni tip izdani je razvijen u široj okolini istraživanog područja, kao i u slivu izvorišta „Surdup“.



Sl. 1. Geografski položaj istražnog područja

Najveći vodotok koji drenira terene okoline izvorišta „Surdup“, predstavlja istoimeni tok - Surdup koji ima karakter povremenog toka do predmetnog izvorišta, dok nizvodno od vrela ima karakter stalnog površinskog toka i pripada slivu Ravne reke (Slika 2.). Potok Surdup pored toga što drenira vode izvorišta „Surdup“, drenira i nekarstni deo terena severno od samog vrela. Bitni vodotoci šireg istraživanog područja koji dreniraju okolne planinske masive, predstavljaju vodotoci Ravna reka i Kriveljska reka. Slivna površina izvorišta „Surdup“ iznosi 14,97 km², od čega karstni tereni zahvataju 71 % ukupne površine, odnosno 10,67 km², nekarstni tereni 29 %, odnosno 4,3 km².



Sl. 2. Sliv Ravne reke

Površinski kop „Jugo – Kaolin“ nalazi se na oko 1 km severno od sela Donja Bela Reka. Eksploatacija kvarcnog peska se vrši na udaljenosti oko 600 metara vazdušnom linijom u pravcu jugoistoka od izvorišta „Surdup“.

3. FIZIČKO-HEMIJSKA SVOJSTVA I KVALITET PODZEMNIH VODA IZVORIŠTA „SURDUP“

Dosadašnja ispitivanja fizičko-hemijskih osobina podzemnih voda izvorišta „Surdup“ [12], pokazuju da se radi o prozračnim vodama, bez boje, mirisa (što ukazuje na odsustvo slobodnih gasova u podzemnim vodama) i ukusa. Vrednost temperature vode se kreće od 8,1 do 14,7°C. Vrednost pH ispitivanih voda kreće se u intervalu od 7,0 do 7,2 što ukazuje da ova voda pripada neutralnim do slabo alkalnim vodama. Ukupna tvrdoća vode je od 12,7 do 18,0°dH, odnosno srednje

vrednosti oko 15,4°dH što je svrstava u grupu tvrdih voda. Mineralizacija ispitivanih voda svojim vrednostima koje se kreću oko 302 mg/l, svrstava ove ispitivane vode, u vode male mineralizacije. Elektroprovodljivost se kretala u intervalu 408-480 μ S/cm. Na osnovu rezultata hidrohemijskih režimskih ispitivanja kvaliteta, tj. hemijskog sastava ovih podzemnih voda, može se reći da su ispitivane vode hladne, pripadaju kategoriji prirodnih mineralnih voda sa niskim sadržajem rastvorljivih mineralnih materija. Po klasifikaciji, ove vode spadaju u hidrokarbonatnu klasu voda, kalcijumskog tipa.

4. UZORKOVANJE VODE I METODE ANALIZE

Uzorkovanje vode za potrebe ispitivanja sadržaja teških metala u periodu decembar 2018. godine - februar 2019. godine, vršeno je na izvoru „Surdup“ i iz distributivne mreže koja se snabdeva vodom sa izvorišta „Surdup“. Posuda za uzimanje uzorka vode za hemijske analize je zapremine 1,5 l i mora biti hemijski čista. Uzorak vode je uziman na slavinama na pumpnim stanicama i na slavinama u distributivnom sistemu, gde se voda najviše koristi (kuhinja, toalet u javnim ustanovama). Pre uzimanja uzorka vode sa slavine uklonjeni su svi dodatni metalni ili plastični delovi (filteri, mrežice, i dr.). Tada je na slavini puštena voda da teče umeđenim mlazom 3-5 minuta. Zatim je posuda za uzimanje uzorka tri puta isprana vodom koja se ispituje i nakon toga je napunjena.

Sadržaj teških metala u svim uzorcima određivan je na Optičkom emisionom spektrometru sa induktivno spregnutom plazmom (ICP-OES, Perkin Elmer Optima 8300, USA). Određivanje teških metala spektrofotometrijskom tehnikom uključuje izbor optimalne, odnosno radne emisione linije (λ) sa pripadajućom granicom detekcije. Koncentracije teških metala u uzorcima vode određene su u hemijskoj laboratoriji na Tehničkom fakultetu u Boru, Univerziteta u Beogradu.

5. REZULTATI I DISKUSIJA

U periodu decembar 2018. – februar 2019. godine uzorkovana je voda na izvoru „Surdup“ i voda iz distributivnog sistema koji se snabdeva vodom sa ovog izvorišta. Rezultati su prikazani u Tabeli 1. Uzorkovanja su vršena tri puta u periodima sa različitim klimatskim karakteristikama, kako bi se utvrdilo da li postoji veza između podzemnih voda i površinskih kopova. Prvo uzorkovanje (I) je bilo 14.12.2018. godine i obuhvatilo je sušni period obzirom da više meseci nije bilo kišnih padavina, a sneg koji je pao krajem novembra, još uvek nije počeo da se topi. Drugo uzorkovanje (II) je bilo 14.01.2019. godine i obuhvatilo je period nakon otapanja snega koje je uslovalo povećanje količine podzemnih voda. Treće uzorkovanje (III) je sprovedeno 04.02.2019. godine u

periodu otapanja snega, s tim što je u ovom uzorku određivana i koncentracija molibdena.

Tabela 1. Koncentracija teških metala i ostalih elemenata u uzorcima vode na izvorištu „Surdup“ i u distributivnom sistemu

Element	Mesto uzorkovanja						MDK mg/l
	Izvorište „Surdup“			Distributivni sistem			
	Koncentracija ispitivanih elemenata mg/l						
	I	II	III	I	II	III	
Ag	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-
Al	<0,0027	<0,01	0,029	<0,0027	<0,01	<0,01	0,2
As	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,01
B	<0,001	0,41	0,40	<0,001	0,34	0,19	1,0
Ba	0,011	0,015	0,018	0,011	0,014	0,01	0,7
Bi	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,07	-
Ca	118,78	124,81	138,51	120,37	128,81	134,85	200,0
Cd	<0,0006	0,0120	0,0019	<0,0006	<0,0006	<0,0006	0,003
Co	0,0050	0,0150	<0,01	0,0058	0,0092	<0,01	-
Cr	<0,000425	0,0096	<0,02	<0,000425	0,003	<0,02	0,05
Cu	<0,000057	0,0041	<0,004	0,097	0,0165	<0,004	2,0
Fe	<0,000472	0,0033	0,032	<0,000472	<0,03	<0,03	0,3
K	<1,748	0,608	0,859	<1,748	0,612	0,353	12,0
Li	0,0006	0,0124	0,0050	0,0005	0,0053	0,0018	12,0
Mg	3,345	5,643	4,253	3,364	5,810	4,910	50,0
Mn	<0,001058	0,013	0,0039	<0,001058	0,0059	0,0014	0,05
Mo	n.a.*	n.a.*	0,29	n.a.*	n.a.*	0,12	0,07
Na	1,086	1,757	2,273	1,327	1,755	0,885	200,0
Ni	<0,002	0,00624	0,00211	<0,002	0,00202	<0,002	0,02
Pb	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,01
Sr	0,049	0,070	0,084	0,050	0,066	0,074	-
Tl	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	-
Zn	<0,02	0,0027	<0,02	0,3401	0,0413	0,0229	3,0

n.a.* nije analizirano

Na osnovu rezultata prikazanih u Tabeli 1 zaključuje se da koncentracije teških metala u vodi ne prelaze zakonom propisane vrednosti za vodu za piće [13], izuzev sadržaja molibdena u vodi uzorka III, kada je sneg počeo da se topi i kada se podzemne vode kreću turbulentno. Koncentracija molibdena je bila iznad zakonom propisane vrednosti za vodu za piće (MDK - maksimalno dozvoljena koncentracija je 0,07 mg/l) u uzorku vode sa izvorišta „Surdup“, ali i u uzorku vode iz distributivnog sistema. Obzirom da se izvorišta u periodu otapanja snega ili intenzivnih kišnih padavina, po pravilu zamućuju, ona se isključuju iz sistema vodosnabdevanja i tako se sprečava ulazak neispravne vode u distributivni sistem. Moguće je da se u delu distributivnog sistema gde je uzet uzorak za analizu nalazila još uvek i određena količina vode iz pravca „Surdup“, a koja je dospela u distributivni sistem na početku zamućenja

izvorišta i pre njegovog isključenja, pomešana sa vodom iz drugog pravca koji je imao higijenski ispravnu vodu, što je uslovalo prisustvo niže koncentracije molibdena od one koja je detektovana u vodi izvorišta „Surdup“, ali je ona i dalje bila viša od propisane.

Izvorište „Surdup“ nalazi se u oblasti koja je bogata rudom bakra i kvarcnog peska, tj. u blizini dva rudnika: „Serbia Zijin Copper doo“ (eksploatacija rude bakra) i rudnik „Jugo – Kaolin“ (proizvodnja kvarcnog peska), a poznato je da je molibden komponenta koja prati rudu bakra, pa njegovo prisustvo u vodi može biti posledica rudarenja, ali i prirodnog luženja u podzemne vode, posebno u periodu njihovog turbulentnog kretanja. Molibden se ne pojavljuje u prirodi kao slobodan metal, već kao molibdenit (MoS_2), manje kao vulfenit (PbMoO_4), povelit (CaMoO_4) ili kao nusproizvod u procesu rudarstva bakra i volframa. Većina jedinjenja molibdena ima malu rastvorljivost u vodi, ali kada minerali koji sadrže molibden dodju u kontakt sa kiseonikom i vodom, nastaje molibdatni jon MoO_4^{2-} koji je rastvorljiv u vodi. Takođe, viša koncentracija molibdena je prisutna u sedimentu, stenama, posebno u glini, glinenim škriljcima i ilovači, dok je u peščaru i peščanim stenama koncentracija molibdena niža [14].

ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazani su rezultati ispitivanja sadržaja teških metala u podzemnim vodama izvorišta „Surdup“ i u vodi za piće iz vodovodnog sistema koji distribuira vodu iz pravca navedenog izvorišta. Ispitivanja su vršena u zimskom periodu (decembar 2018. – februar 2019. godine) koji je sa aspekta klimatskih uslova najnepovoljniji za kvalitet vode. Uzorkovanja su vršena u tri karakteristična perioda: pre početka otapanja snega (I), nakon otapanja snega (II) i u toku otapanja snega (III), a rezultati su pokazali da izuzev molibdena u vodi koja je uzorkovana u periodu otapanja snega, ostali teški metali nisu detektovani u izvorištu „Surdup“ ni u nepovoljnim klimatskim uslovima. Ovim je pokazano da u krajnje nepovoljnim klimatskim uslovima kraške podzemne vode mogu da sadrže i pojedine metale čije poreklo može biti iz okolnog terena ali i posledica rudarenja.

LITERATURA

- [1] S. Rehanna, P.P. Mujumdar, Climate change induced risk in water quality control problems, *Journal of Hydrology*, 444-445 (2012) 63-77.
- [2] A. Mondal, P.P. Mujumdar, Regional hydrological impacts of climate change: implications for water management in India, *Hydrological Sciences and Water Security: Past, Present and Future*, 366 (2015) 34-43.

-
- [3] WHO, Klimatske promene i samit COP 27, Egipat, 2022.
- [4] K. Mohankumar, V. Hariharan, P.N. Rao, Heavy metal contamination in groundwater around industrial estate vs residential areas in Coimbatore, India, *Journal of Clinical and Diagnostic Research, Biochemistry Section*, 10 (2016) 5-7.
- [5] N. Akhtar, M.I.S. Ishak, S.A. Bhawani, K. Umar, Various natural and anthropogenic factors responsible for water quality degradation: A review, *Water*, 13 (19) (2021) 2660.
- [6] D.J. Vesper, W.B. White, Spring and conduit sediments as storage reservoirs for heavy metals in karst aquifers, *Environmental Geology*, 45 (2004) 481-493.
- [7] I. Nikolić, V. Kocić, V. Ristić Vakanjac, Monitoring podzemnih voda u državnoj mreži stanica Srbije, XIV Srpski simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, Zlatibor, Srbija, 2012, pp. 45-50.
- [8] M. Pešić, V. Ristić Vakanjac, B. Vakanjac, M. Antonijević, N. Marković, Good monitoring as a precondition for high drinking water quality: Case study of Zlot water supply sources (Bor, Serbia), XXIII International Conference Ecological Truth, Ed. Pantović and Marković, University of Belgrade, Technical Faculty Bor, 2015, pp. 583-589.
- [9] M. Pešić, S. Milić, M. Nujkić, M. Marić, The impact of climatic parameters on the turbidity and natural organic matter content in drinking water in the City of Bor (Eastern Serbia), *Environmental Earth Sciences*, 79 (2020) 267.
- [10] A. Giurginca, C.M. Munteanu, M.L. Stanomir, G. Niculescu, M. Giurginca, Assessment of potentially 353 toxic metals concentration in karst areas of the Mehedinți Plateau Geopark (Romania), *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 3.103-110 (2010) 355.
- [11] F. Gutierrez, M. Parise, J. de Waele, H. Jourde, A review on natural and human-induced geohazards and 356 impacts in karst, *Earth-Science Reviews*, 138 (2014) 61-88.
- [12] S. Živanović, J. Lazović, V. Tomić, A. Avramović, Elaborat o rezervama podzemnih voda na izvorištu „Surdup“, JKP „Vodovod“ Bor, Geoinženjering BGP, Beograd, 2016.
- [13] Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće, Sl. list SRJ, br. 42/98, 44/99, 40/03.
- [14] M. Pešić, S. Milić, M. Nujkić, M. Marić, Determination of heavy metal concentration and correlation analysis of turbidity: A case study of the Zlot source (Bor, Serbia), *Water, Air and Soil Pollution*, 231 (2020) 98.