

Zagađenost podzemnih voda organskim materijama na području Petnice

U ovom istraživanju ispitivan je kvalitet podzemnih voda na području Petnice i okoline primenom standardnih hidrogeoloških, hemijskih i mikrobioloških metoda. Uzorkovana je voda sa izvora i kopanih bunara. Utvrđeno je da su ispitivane vode hidrokarbonatno-kalcijumske ili -magnezijumske. Voda je u samo dva bunara ispravna za piće, dok je voda u ostalih osam bunara i tri izvora kako hemijski, tako i mikrobiološki neispravna. Povećane koncentracije azotovih jedinjenja i povećan broj bakterija ukazuju na prisustvo velikog broja organskih materija u podzemnoj vodi.

Uvod

Istražno područje se nalazi u Zapadnoj Srbiji, na oko 100 km jugozapadno od Beograda i na oko 7 km jugoistočno od Valjeva. Smešteno je u atarima sela Petnica, Beloševac i Klinci. Reljef istražnog područja je pretežno brdski, a prosečna nadmorska visina je oko 200 m (Đukanović 2000). Najveći vodotok područja istraživanja je reka Banja. Banja izvire u Petničkoj pećini na visini od oko 180 mnv. Prihranjuje je potok Zlatar koji ponire u Lelički karstni masiv, južno od Petničke pećine. Banja teče pravcem jugozapad-severoistok dužinom 10 km do sela Mrčić gde se uliva u Kolubaru. Potok Pocibrava je pritoka reke Banje, a istovremeno i otoka obližnje veštačke akumulacije, Petničkog jezera. Petničko jezero se nalazi na granici atara sela Petnica i Bujačić (Lazarević 1996).

Područje istaživanja se nalazi na kontaktu srednjetrijskih krečnjaka i neogenih sedimenata. Karstni tip izdani zastupljen je u srednjetrijskim krečnjacima pukotinsko-karstne poroznosti, u gornjem delu sliva reke Banje. Pukotinski tip izdani nalazi se u neogenim sedimentima donjeg dela sliva reke Banje, pukotinske poroznosti. Intergranularni tip izdani zastupljen je u kvartarnim tvorevinama u dolini reke Banje. Izdani se prihranjuju direktnom infiltracijom atmosferskih padavina i, eventualno, preko površinskih vodotokova (Lazarević 1996).

U ovom istraživanju, primenom osnovnih hidrohemijjskih i mikrobioloških analiza, ispitivan je kvalitet podzemnih voda na području atara sela Petnica i okoline. Dobijeni rezultati su upoređeni sa rezultatima ranijih istraživanja. Lokacije ispitivanih objekata date su na interpretacionoj geološkoj karti (slika 1). Osnovni podaci o lokaciji, geološkoj građi, hidrogeološkim karakteristikama terena (Lazarević 1996) kao i hidrohemijjske osobine vode (rezultati dobijeni ovim istraživanjem) dati su u tabeli 1.

U ranijim istraživanjima ovog područja M. Perović se 1997. godine bavila hidrogeološkim karakteristikama Petnice sa osvrtom na problem vodosnabdevanja. Od načina snabdevanja vodom najzastupljeniji su snabdevanje iz gradskog vodovoda ili sa pojedinačnih bunara. Na osnovu dobijenih rezultata, predlog za pogodniji način vodosnabdevanja bio bi gradski vodovod ili vrelo Banje. I. Simić i O. Đorđević su 2001. godine ispitivali osnovne hidrohemijjske karakteristike pojedinih vodnih objekata i vodotokova u Petnici. Utvrđeno je da su ispitivane vode hidrokarbonatno-kalcijumske ili magnezijumske. Veći

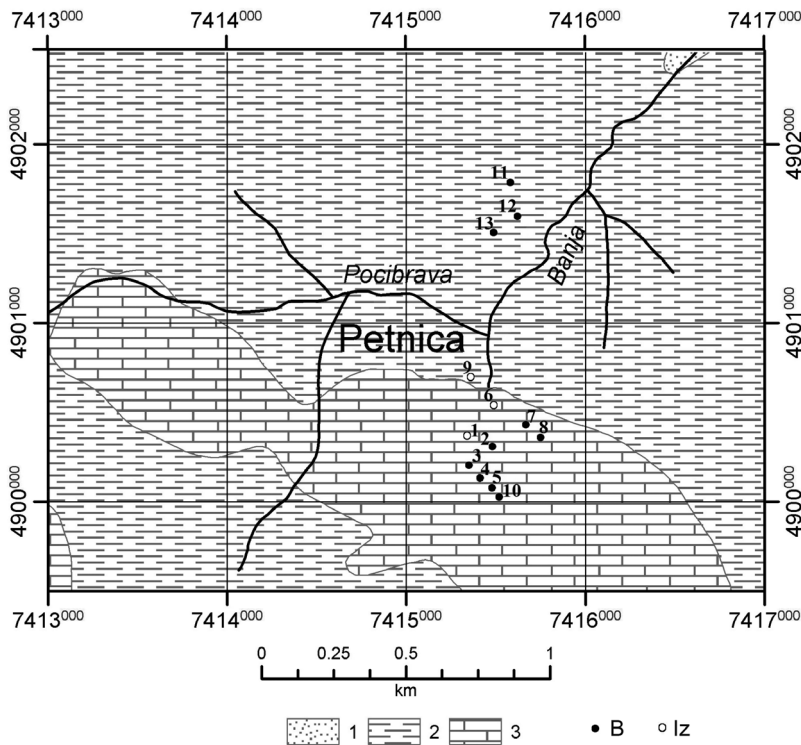
Danica Šarenac (1995), Beograd, Džona Kenedija 9, učenica 3. razreda Devete gimnazije „Mihailo Petrović-Alas”

Matija Barudžija (1995), Beograd, Borska 90/35, učenik 3. razreda Vazduhoplovne akademije u Beogradu

MENTORI:

Milenko Trijić, Geološka i hidrometeorološka škola „Milutin Milanković”, Beograd

Dejan Nešković, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu



Slika 1. Geološka karta područja istraživanja (crtež A. Avramović prema OKG SFRJ L34-136 Valjevo):

- 1 – aluvijum;
- 2 – laporci, gline, bituminozni glinci i šljunak;
- 3 – krečnjaci i krečnjačke breče (ladinski kat);
- B – bunar;
- Iz – izvor.

Figure 1. Geological map of investigated area (according to the geological map Valjevo):

- 1 – alluvium;
- 2 – marlstones, clay, bituminous shales and gravel;
- 3 – limestones and limestone breccia;
- B – well;
- Iz – spring.

broj ispitivanih voda se ne može koristiti za piće zbog hemijske (povišene koncentracije azotnih jedinjenja) i/ili mikrobiološke neispravnosti. Voda se po svojim svojstvima može svrstati u vode I i II klase. J. Radosavljević i N. Luković su 2010. godine ispitivale razlike u hemijskim karakteristikama vode iz karstnih i pukotinskih izdani u okolini Petnice. Prema dobijenim rezultatima voda iz oba tipa izdani je sličnog hemijskog sastava. Geološka građa terena ima neznatan uticaj zbog male dubine bunara i visokog vodenog stuba. Podzemne vode se lako i trajno mogu zagađiti usled ubrzane infiltracije i cirkulacije kroz podzemlje (Perović 1997; Simić i Đurđević 2001; Radosavljević i Luković 2010).

Materijal i metode

Istraživanje je realizovano primenom standardnih hidrohemijjskih metoda (Papić 1984). Voda je uzorkovana sa 13 vodnih objekata (3 izvora i 10 bunara), u periodu od 20. do 24. avgusta 2013. godine. Na terenu su utvrđena

osnovna fizička svojstva vode. Organoleptičkim putem su ispitani: boja, mutnoća i miris. pH vrednost je izmerena pH-metrom, električna provodljivost konduktometrom. Takođe je izmerena temperatura vode i vazduha.

U laboratoriji je izvršena hemijska i mikrobiološka analiza uzoraka. Koncentracije hloridnih jona (Cl^-), hidrokarbonatnih jona (HCO_3^-), jona kalcijuma (Ca^{2+}), jona magnezijuma (Mg^{2+}), koncentracija kiseonika (O_2) i utrošak KMnO_4 utvrđene su volumetrijskom metodom. Koncentracije nitratnih jona (NO_3^-), nitritnih jona (NO_2^-), amonijum jona (NH_4^+), fosfatnih jona (PO_4^{3-}) i sulfatnih jona (SO_4^{2-}) utvrđene su kolorimetrijskom metodom. Metodom atomske apsorpcione spektrofotometrije utvrđene su koncentracije gvožđa (Fe ukupno) i mangana (Mn^{2+}). Računski (zbirom mmol Ca^{2+} i Mg^{2+}) izračunata je ukupna tvrdoća. Mikrobiološke analize podrazumevale su zasejavanje u agar čime je utvrđen ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija u uzorkovanoj vodi.

Tabela 1. Lokacije, geološka građa, hidrogeološke i hidrohemijske karakteristike voda ispitivanih vodnih objekata

R. b.	Lokacija objekta	Koordinate objekta	Tip	*Dubina bunara (m)	Geološka građa	Tip izdani	*Tip vode prema hemizmu	*Tvrdoća vode po Klutu (°dH)
1	Ponor	44°14'32.96"N 19°56'05.22"E	Kaptiran izvor	/	Krečnjaci i krečnjačke breče	Karstni	HCO ₃ , Ca-Mg	Tvrda
2	Rogljević (Klinci)	44°14'31.15"N 19°56'11.04"E	Bunar	20	Krečnjaci i krečnjačke breče	Karstni	HCO ₃ , Ca-Mg	Jako tvrda
3	Rogljević (Klinci)	44°14'29.82"N 19°56'11.94"E	Bunar	15.5	Krečnjaci i krečnjačke breče	Karstni	HCO ₃ , Ca-Mg	Tvrda
4	Rogljević (Klinci)	44°14'29.78"N 19°56'13.70"E	Bunar	17.5	Krečnjaci i krečnjačke breče	Karstni	HCO ₃ , Ca-Mg	Tvrda
5	Rogljević (Klinci)	44°14'29.23"N 19°56'12.75"E	Bunar	14.5	Krečnjaci i krečnjačke breče	Karstni	HCO ₃ , Ca	Tvrda
6	Petničko Vrelo	44°14'47.04"N 19°56'09.12"E	Kaptiran izvor	/	Krečnjaci i krečnjačke breče	Karstni	HCO ₃ , Ca-Mg	Srednje tvrda
7	Klinci	44°14'40.73"N 19°56'27.93"E	Bunar	12.5	Krečnjaci i krečnjačke breče	Karstni	HCO ₃ , Ca	Meka
8	Klinci	44°14'40.17"N 19°56'27.29"E	Bunar	13	Krečnjaci i krečnjačke breče	Karstni	HCO ₃ , Ca-Mg	Jako tvrda
9	Petnica	44°14'48.91"N 19°56'05.72"E	Kaptiran izvor	/	Krečnjaci i krečnjačke breče	Karstni	HCO ₃ , Ca-Mg	Tvrda
10	Rogljević (Klinci)	44°14'29.18"N 19°56'16.53"E	Bunar	13.5	Krečnjaci i krečnjačke breče	Karstni	HCO ₃ , Ca-Mg	Srednje tvrda
11	Petnica	44°15'24.37"N 19°56'28.20"E	Bunar	9.5	Laporci, gline, bituminozni glinci i šljunkovi	Pukotinski	HCO ₃ , Ca	Srednje tvrda
12	Petnica	44°15'22.62"N 19°56'26.34"E	Bunar	6.5	Laporci, gline, bituminozni glinci i šljunkovi	Pukotinski	HCO ₃ , Ca	Srednje tvrda
13	Petnica	44°15'19.94"N 19°56'23.39"E	Bunar	7	Laporci, gline, bituminozni glinci i šljunkovi	Pukotinski	HCO ₃ , Ca	Srednje tvrda

*Rezultati dobijeni ovim istraživanjem

Rezultati i diskusija

Parametri koji najviše odstupaju od dozvoljenih granica, a samim tim su i najveći faktori zagađenja vode su: azotova jedinjenja, organske materije merene kroz utrošak KMnO_4 i mikrobiloške osobine vode. Zbog toga su vrednosti ovih parametara u radu detaljno prikazane.

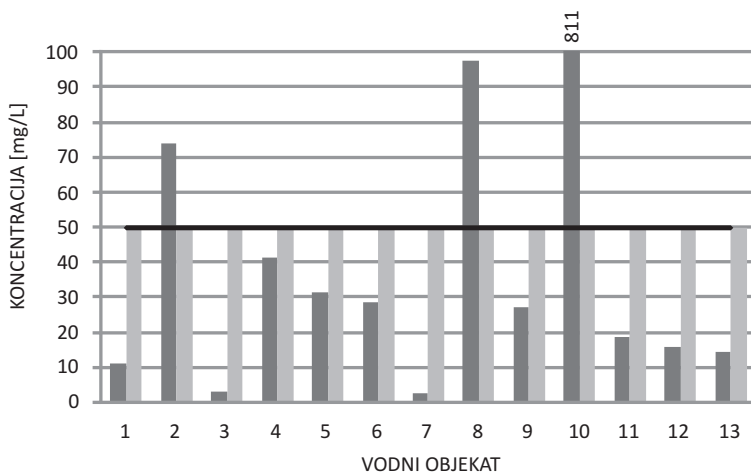
Treba napomenuti da su u ovom radu ispitane vode sa četiri nova vodna objekta (dalje u tekstu, stajne tačke 4, 5, 10 i 12), kao i da rezultati ranijih istraživanja nisu potpuni (2001. godine nije ispitan utrošak KMnO_4 i PO_4^{3-} , a 2010. godine nisu ispitani Cl^- , HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , O_2 , SO_4^{2-} , Fe , Mn^{2+}).

U okviru istraživanja ispitana je voda sa 10 kopanih bunara i tri izvora. Dubina bunara varira od 7 do 20 m. Voda u ovim uzorcima je većinom

bila bezbojna ili jedva primetno slabo žuta, bez mirisa i prozirna ili slabo opalesirajuća. Sa jednog izvora (stajna tačka 1) voda je bila mrko žute boje, vrlo mutna i sa mirisom zemlje.

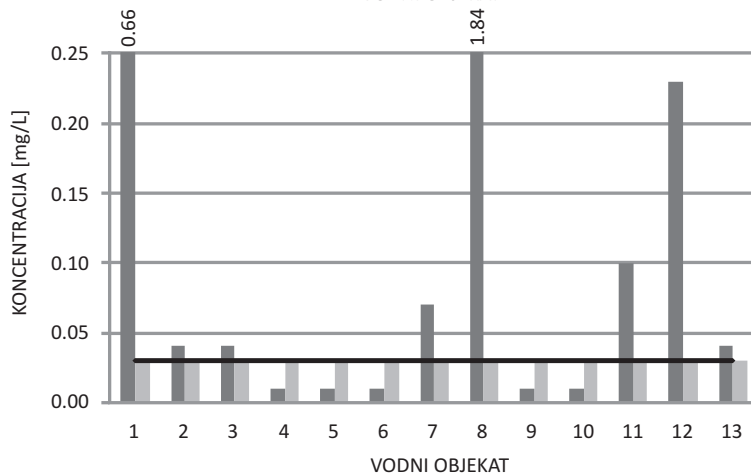
Na osnovu rezultata hemijskih analiza utvrđeno je da se koncentracija nitrata kreće od 2.3 mg/L do čak 810.6 mg/L (stajna tačka 10 – bunar), na tri bunara je koncentracija veća od maksimalne dozvoljene koncentracije u vodi za piće (50 mg/L) (slika 2). U odnosu na istraživanje iz 2001. godine povećana je koncentracija nitrata u vodi na stajnoj tački 2 (bila je 21.9 mg/L, a sada je 73.9 mg/L), i na stajnoj tački 8 (bila je 29.3 mg/L, a sada je 97.5 mg/L). Na ostalim stajnim tačkama koncentracija nitrata se neznatno promenila.

Koncentracija nitrita se kreće od 0.01 mg/L do 1.84 mg/L, pri čemu je u sedam bunara i



Slika 2. Koncentracije nitrata u podzemnoj vodi u mg/L

Figure 2. The concentrations of nitrate ions in groundwater in mg/L



Slika 3. Koncentracije nitrita u podzemnoj vodi u mg/L

Figure 3. The concentrations of nitrite ions in groundwater in mg/L

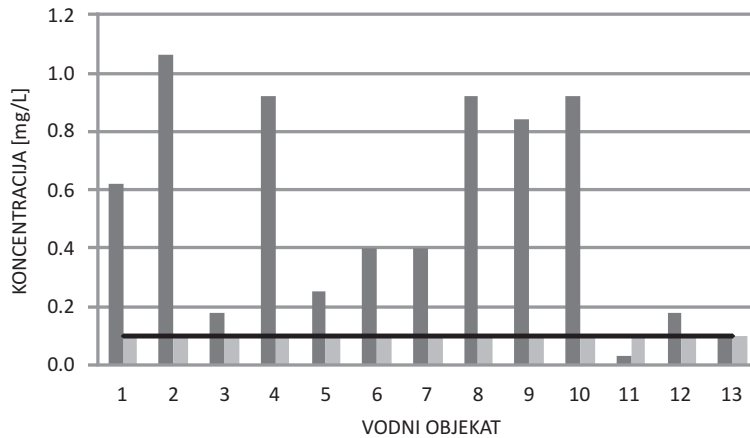
jednom izvoru vrednost veća od dozvoljene (0.03 mg/L) (slika 3). U vodi na stajnim tačkama 2, 3, 11, 13 u 2001. godini koncentracija nitrita nije bila detektovana, a sada ona prelazi maksimalno dozvoljene koncentracije. Na stajnoj tački 8 nitriti naglo rastu; koncentracija je bila 0.23 mg/L, a sada je čak 1.84 mg/L.

Amonijum jon je u velikoj meri prisutan u ovim podzemnim vodama (na 8 bunara i sva 3 izvora je koncentracija amonijum jona veća od dozvoljene), a najveća zabeležena vrednost iznosi 1.06 mg/L (slika 4). Na većem broju stajnih tačaka (osim stajnih tačaka 4, 5, 10 i 12) koncentracija amonijum jona je veća u odnosu na 2001. godinu. Povišene koncentracije azotovih jedinjenja verovatno su posledica nepostojanja kanalizacionog sistema u ovom području. Ukazuju i na to da su bunari loše urađeni (pa materije bogate ovim jedinjenjima lako prodiru u njih), kao i to

da su nepravilno izgrađeni pomoćni objekti u seoskim domaćinstvima (štale, septičke jame). Samim tim vrši se nekontrolisano odlaganje fekalija i stajskog đubriva koji su najveći izvori azotovih jedinjenja. Utrošak KMnO_4 kreće se u intervalu od 2.21 mg/L do 21.18 mg/L i u tri bunara i jednom izvoru prelazi maksimalnu dozvoljenu vrednost od 12 mg/L (slika 5). Približne vrednosti utroška KMnO_4 zabeležene su i 2010. godine na svim stajnim tačkama. Ovaj parameter pokazuje na zagađenje organskim materijama na šta ukazuju i povišene koncentracije azotovih jedinjenja.

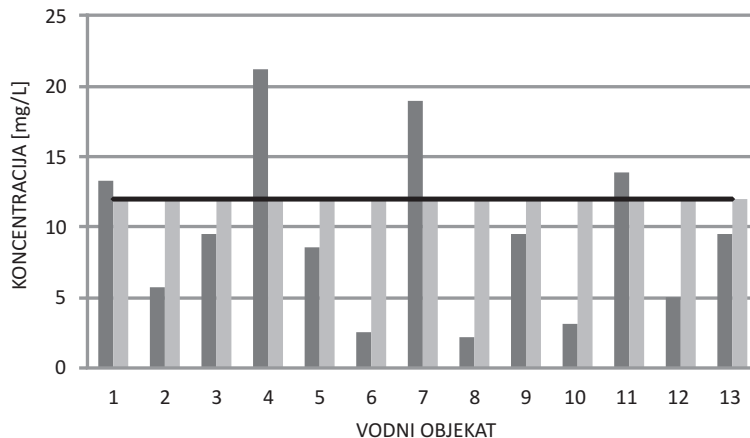
Na osnovu hemijskih analiza voda sa 8 bunara i sva 3 izvora nije ispravna za piće.

Mikrobiološke analize pokazale su loš kvalitet ispitane vode jer je u 4 bunara i sa 2 izvora voda mikrobiološki neispravna (slika 6). U 4 bunara zabeležen je povećan broj aerobnih mezo-



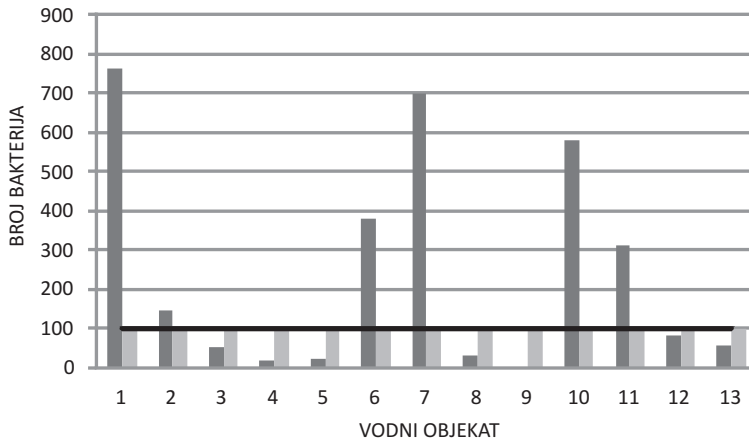
Slika 4. Koncentracije amonijum jona u podzemnoj vodi u mg/L

Figure 4. The concentrations of ammonium ions in groundwater in mg/L



Slika 5. Koncentracije utroška kalijum permanganata u podzemnoj vodi u mg/L

Figure 5. The concentrations of potassium permanganate consumption in groundwater in mg/L



Slika 6. Broj aerobnih mezofilnih bakterija po mililitru

Figure 6. Number of aerobic mesophilic bacteria per mL in groundwater

filnih bakterija dok se u jednom bunaru (stajna tačka 4), pored aerobnih mezofilnih bakterija, pojavljuju i koliformne bakterije koje su indikatori fekalnog zagađenja. Veliki broj aerobnih mezofilnih bakterija zabeležen je i tokom 2001. i 2010. godine na stajnim tačkama 1, 2, 3, 5, 6, 11 i 12. Ovi podaci ukazuju na prisustvo organskih materija u podzemnim vodama. Jedino u vodi sa stajne tačke 9 (izvor) bakterija nije bilo ni u ranijim ispitivanjima, a ni sada.

U tabeli 2 prikazane su vrednosti ostalih parametara koji određuju hemizam uzorkovane podzemne vode. Kao i u prethodnim istraživanjima u vodi na svim stajnim tačkama dominira hidrokarbonatni jon, kao i joni kalcijuma i magnezijuma, što je posledica geološke građe terena. Povećana koncentracija jona kalcijuma u vodi na stajnoj tački 8 verovatno potiče od dodavanja gašenog kreča ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) radi dezinfekcije.

Tabela 2. Koncentracije makrokomponenti uzorkovane podzemne vode

R. b.	pH vrednost	Elektroprovodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Koncentracija jona (mg/L)							
			HCO_3^-	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	PO_4^{3-}	Fe ukupno	Mn^{2+}
1	6.26	889	530.79	15.95	100.20	60.80	26.00	28.24	0.43	0.15
2	6.75	1250	524.69	79.76	98.20	59.58	43.73	15.15	0.09	0.00
3	6.84	710	390.46	15.69	54.17	51.07	50.38	28.42	0.07	0.01
4	6.55	1016	518.59	40.05	91.18	55.33	23.70	15.15	0.09	0.01
5	6.78	709	408.77	12.40	58.12	35.26	23.78	46.12	0.12	0.01
6	6.78	530	341.66	10.28	97.19	58.98	8.27	15.15	0.19	0.02
7	7.11	212	183.03	3.54	32.06	19.46	14.92	28.42	0.76	0.01
8	6.85	1480	481.40	155.98	234.47	142.27	81.42	12.94	0.04	0.00
9	6.85	650	427.07	9.97	132.26	80.26	19.35	28.42	0.08	0.01
10	6.94	1591	298.95	10.98	100.20	60.80	14.92	17.36	0.08	0.02
11	7.36	488	262.34	9.21	62.12	37.70	10.42	28.42	0.07	0.02
12	7.90	399	244.04	8.86	60.12	36.48	17.13	10.72	0.05	0.02
13	7.57	361	256.24	7.44	56.11	34.05	19.35	28.24	0.12	0.08

Za ovaj period padavine nisu evidentirane (0.0 mm). Intenzivnijih padavina bilo je od 5. do 11. jula u ukupnom iznosu od 35 mm. Na osnovu ranijih istraživanja i analiza isticanja podzemnih voda sa Petničkog vrela (Nešković 2010) ustanovljeno je da se propagacija padavina kroz petnički karstni hidrogeološki sistem odvija brzo te ove padavine ni na koji način nisu uticale na izdašnost izvora (stajna tačka 6) i kvalitet podzemnih voda u periodu uzorkovanja. U periodu uzorkovanja 2001. i 2010. godine količina padavina je bila 0.0 mm pa ni tada padavine nisu mogle uticati na kvalitet ispitane vode.

Zaključak

Istraživanje podzemnih voda na ovom području potvrđuje neke od rezultata prethodnih ispitivanja (Perović 1997; Simić i Đurđević 2001; Radosavljević i Luković 2010): u ispitivanim vodama dominira hidrokarbonatni jon, kao i joni kalcijuma ili magnezijuma, pri čemu se ove vode, po Alekinu, svrstavaju u hidrokarbonatne vode kalcijске ili magnezijске grupe. Po Klutu vode su tvrde, srednje tvrde i jako tvrde. Međutim, koncentracije azotovih jedinjenja su povišene u odnosu na prethodne godine čime je kvalitet ispitane vode znatno opao. Voda sa samo dva bunara ispravna za piće, dok voda sa ostalih osam bunara i tri izvora pokazuje, kako hemijski, tako i mikrobiološku neispravnost, te ne zadovoljava kriterijume predviđene Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće. Povećane koncentracije azotovih jedinjenja i povećan broj bakterija ukazuju na prisustvo velikog broja organskih materija u podzemnoj vodi. Kako bi se sprečilo dalje opadanje kvaliteta vode, neophodno je rešavanje problema komunalija.

Literatura

Đukanović D. 2000. *Klima valjevskog kraja*. Valjevo: SO Valjevo

Lazarević R. 1996. *Valjevski kras*. Beograd: Srpsko geografsko društvo

Nešković D. 2010. Hidrogeološki uslovi formiranja podzemnih voda na izvoristu „Vujić voda” Valjevo. Diplomski rad.

Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, Đušina 7, 11000 Beograd

Papić P. 1984. *Praktikum za izradu hemijske analize voda*. Beograd: RGF

Perović M. 1997. Prilog poznavanju hidrogeoloških karakteristika Petnice sa osvrtom na problem vodosnabdevanja. *Petničke sveske*, 45: 231.

Radosavljević J., Luković N. 2010. Razlike u hemijskim karakteristikama vode iz karstnih i pukotinskih izvora okoline Petnice. *Petničke sveske*, 68: 329.

Simić I., Đurđević O. 2001. Osnovne hidrohemijske karakteristike pojedinih vodnih objekata i vodotokova u Petnici. *Petničke sveske*, 53: 157.

Danica Šarenac and Matija Barudžija

Pollution of Groundwater by Organic Substances in Petnica

In the area of Petnica and surroundings the research of groundwater was performed. Using the basic method of hydrogeological exploration, chemical and microbiological characteristics of the springs and wells were detected.

Research of groundwater in Petnica confirms some of the results of previous research work: in the tested waters hydro-carbonaceous ion is dominant, that is the ion of calcium or magnesium, so they are classified as hydro-carbonaceous waters of the calcium or magnesium group, according to Alekin. According to Klut, these waters are hard, medium hard and rather hard waters. However, the concentration of nitrogen compounds are elevated in comparison to the previous years, which means the quality of tested water has dropped significantly. The chemical and microbiological irregularity shows the existence of organic substances. That is why it cannot be consumed as drinking water. In order of preventing the further decrease of water quality it is necessary to rationalize the application of agro technical measures, as well as to solve the problem of communal facilities. 