

Kvalitativne karakteristike podzemnih voda izvorišta „Ključ“ u Požarevcu

Milica Stepanović, Dragoljub Bajić, Dušan Polomčić, Aleksanadar Avramović, Branko Mijatović



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Kvalitativne karakteristike podzemnih voda izvorišta „Ključ“ u Požarevcu | Milica Stepanović, Dragoljub Bajić, Dušan Polomčić, Aleksanadar Avramović, Branko Mijatović | Proceedings of the XVI Serbian Symposium on Hydrogeology, Zlatibor, Serbia, 28. September - 02. October, 2022 | 2022 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0007178>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на www.dr.rgf.bg.ac.rs

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: www.dr.rgf.bg.ac.rs

UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

HG

XVI SRPSKI SIMPOZIJUM
O HIDROGEOLOGIJI
sa međunarodnim učešćem
ZBORNİK RADOVA



ZLATIBOR
28. septembar - 02. oktobar
2022. godine



XVI SRPSKI SIMPOZIJUM O HIDROGEOLOGIJI
sa međunarodnim učešćem
ZBORNİK RADOVA

IZDAVAČ:

Univerzitet u Beogradu
Rudarsko-geološki fakultet
Đušina 7

ZA IZDAVAČA:

Prof. dr Biljana Abolmasov, dekan
Rudarsko-geološki fakultet

UREDNIK:

Doc. dr Ana Vranješ

TIRAŽ:

100 primeraka

ŠTAMPA:

Štamparija Grafolik, Beograd

GODINA IZDANJA: 2022.

Na 12/19-oj, sednici Departmana za hidrogeologiju doneta je odluka o organizaciji XVI srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, koja je utvrđena saglasnošću Nastavno-naučnog veća Rudarsko-geološkog fakulteta od 30.12.2019.

Naslovna strana: Sušičko vrelo, Zlatibor

CIP - Каталогизација у публикацији - Народна библиотека Србије, Београд

556(082)
628.1(082)

СРПСКИ симпозијум о хидрогеологији са међународним учешћем (16 ; 2022 ; Златибор)
Zbornik radova / XVI Srpski simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim
učešćem, Zlatibor 28. septembar - 02. oktobar 2022. godine ; [urednik Ana
Vranješ]. - Beograd : Univerzitet, Rudarsko-geološki fakultet, 2022
(Beograd : Grafolik). - [18], 514 str. : ilustr. ; 30 cm

Na vrhu nasl. str.: Departman za hidrogeologiju. - Radovi ćir.i lat. -
Tiraž 100. - Str. [5-6]: Uvodna reć / Dejan Milenić. - Abstracts. -
Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7352-380-4

a) Хидрогеологија - Зборници b) Снабдевање водом - Зборници

COBISS.SR-ID 74364937

ORGANIZACIONI ODBOR:

Predsednik:

Doc. dr Ana Vranješ, dipl. inž.

Članovi:

Prof. dr Petar Dokmanović, dipl. inž.

Doc. dr Ljiljana Vasić, dipl. inž.

Dr Tanja Petrović Pantić, dipl. inž.

Natalija Radosavljević, mast. inž.

Velizar Nikolić, dipl. inž.

Vukašin Vučević dipl.inž.

Andrej Pavlović, dipl. inž.

Dejan Drašković, dipl. inž.

Branko Ivanković, dipl. inž.

Nenad Toholj, dipl. inž.

Boban Jolović, dipl. inž.

Uroš Jurošević, dipl. inž.

NAUČNI ODBOR:

Predsednik:

Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.

Članovi:

Prof. dr Zoran Stevanović, dipl. inž.

Prof. dr Dušan Polomčić, dipl. inž.

Prof. dr Vesna Ristić Vakanjac, dipl. inž.

Prof. dr Igor Jemcov, dipl. inž.

Prof. dr Vladimir Živanović, dipl.inž.

Prof. dr Dragoljub Bajić, dipl. inž.

Doc. dr Jana Štrbački, dipl.inž

Doc. dr Saša Milanović, dipl. inž.

Prof. dr Veselin Dragišić, dipl. inž.

Prof. dr Milan Radulović, dipl. inž.

Prof. dr Zoran Nikić, dipl. inž

Doc. dr Nenad Marić, dipl. inž.

Prof. dr Petar Milanović, dipl. inž.

PROGRAMSKO-UREĐIVAČKI ODBOR:

Predsednik:

Prof. dr Dušan Polomčić, dipl. inž.

Članovi:

Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.

Prof. dr Nevenka Đerić, dipl. inž.

Doc. dr Ana Vranješ, 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

POKROVITELJ:

REHAU d.o.o.

SPONZORI:

Departman za hidrogeologiju, Rudarsko-geološki fakultet

Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet

BeoGeoAqua d.o.o.

Opština Čajetina

Turistička organizacija Opštine Brus

Hotel Zlatibor Mountain Resort&Spa

Knjaz Miloš

DONATOR:

Gold Gondola

Ibis-Inženjering

KVALITATIVNE KARAKTERISTIKE PODZEMNIH VODA IZVORIŠTA „KLJUČ“ U POŽAREVCU QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF GROUNDWATER SOURCE „KLJUČ“ OF THE CITY OF POZAREVAC

Milica Stepanović¹, Dragoljub Bajić¹, Dušan Polomčić¹, Aleksandar Avramović²,
Branko Mijatović³

¹ Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, 11 000 Beograd. E-mail: milica.stepanovic@rgf.rs ;
dragoljub.bajic@rgf.bg.ac.rs ; dusan.polomcic@rgf.bg.ac.rs

² PD „Georad“ d.o.o., Cara Lazara bb, 12208 Drmno. E-mail: aleksandar.avramovic@georad.rs

³ JKP „Vodovod i Kanalizacija“, Jug Bogdanova 22-24, 12000 Požarevac. E-mail:
branko.mijatovic@vodovod012.rs

APSTRAKT: U novije vreme je sve prisutniji problem zagađenja prirodnih vodnih resursa, što za posledicu ima smanjivanje raspoloživih količina higijenski ispravne vode za piće. Takva situacija zabeležena je i na nekim izvorištima u našoj zemlji, uključujući i izvorište podzemnih voda „Ključ“ koje se koristi za vodosnabdevanje grada Požarevca i seoskih naselja Čirikovac i Klenovnik, ukupnog kapaciteta oko 250 l/s. Predmetno izvorište je formirano u aluvijonu Velike Morave, u okviru peskovito-šljunkovitih sedimenata kvartarne starosti. Ovde je ostvarena hidraulička veza sa rekam, zbog čega je i režim izvorišta uslovljen režimom rečnog toka. Inače, zahvaćene podzemne vode se nakon hlorisanja distribuiraju direktno do potrošača, dakle bez dopunskih postupaka prečišćavanja. Problem kvaliteta podzemnih voda na izvorištu ogleda se pre svega u povišenom sadržaju nitrata izazvanog antropogenim uticajem, odnosno korišćenjem različitih hemijskih sredstava u poljoprivredi i neizgrađenom komunalnom mrežom. Zbog prirode sredine u okviru koje je formiran vodonosni horizont, zabeležene su i povišene koncentracije gvožđa i mangana. Međutim, na datom istražnom području primenjene su mere veštačkog prihranjivanja izdani u cilju povećanja količina voda koje se eksploatišu ali i kako bi se poboljšao kvalitet podzemnih voda. Primenom ovih mera regulisana je i koncentracija mangana, tako da dolazi do aeracije i deponovanja istog na dnu basena.

Povišene koncentracije pojedinih elemenata u vodi u velikoj meri mogu da dovedu do njene ograničene upotrebe, naročito kada je u pitanju aspekt vodosnabdevanja stanovništva. Pored toga, iste mogu uticati i na funkcionisanje vodozahvatnih objekata, u smislu da utiču na njihovo starenje i kasnije isključenje iz eksploatacije. U ovom radu prikazani su rezultati obrade podataka dobijenih kompletnim fizičko-hemijskim analizama podzemnih voda na izvorištu „Ključ“.

ključne reči: izvorište podzemnih voda „Ključ“, vodosnabdevanje, kvalitet podzemnih voda, nitrati, kompletne fizičko-hemijske analize.

ABSTRACT: The problem of water resources' contamination is present recently, which causes reducing quantity of available healthy drinking water. It is a similar situation in our country, including groundwater source „Kljuc“ which is used to water supply for the city of Pozarevac and rural settlements called Cirikovac and Klenovnik, with total capacity of approximately 250 l/s. The groundwater source is formed in alluvion of the river Velika Morava, within sandy- gravelly sediments, quaternary age. There is a hydraulic link between groundwaters and the river, which is why the regime of groundwater source depends on the river's regime. Otherwise, pumping groundwaters are being distributed to the consumers after the chlorination, so there is no any additional treatment process beside. The problem of groundwaters' quality on this groundwater source is primarily a high level of nitrates caused by anthropogenic impact, respectively by using agricultural chemicals or because of unbuil communal network. Because of the nature of the porous within aquifer is formed, there are also high levels of manganese and iron. However, on the study area artificial recharge is applied in order to increase quantity of pumping water, but also to improve groundwaters' quality. Concentration of manganese is also regulated by applying these measures, so it aerates and deposits on the bottom of the basin.

High levels of some elements in water can cause its limited usage, especially when it comes to water supply aspect. Beside that, these high levels can also affect on functioning of water intake objects in terms of causing well clogging and its exclusion from exploitation. This paper shows the results of complete physically- chemical analysis of groundwaters on Kljuc groundwater source.

Key words: groundwater source Kljuc, water supply, groundwaters' quality, nitrates, complete physically-chemical analysis.

UVOD

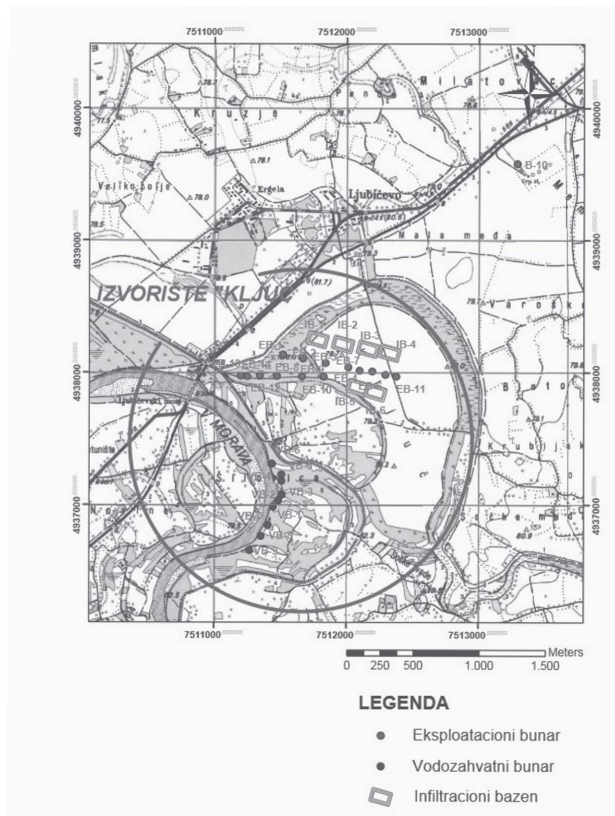
Na osnovu brojnih istraživanja sprovedenih na području naše zemlje, može se reći da je Srbija relativno bogata podzemnim vodama. U skladu sa dostupnošću ovog prirodnog resursa je i njegova iskoristivost, tako da od ukupnih količina voda koje se koriste se za potrebe vodosnabdevanja stanovništva, podzemne vode učestvuju sa čak 75%. Pri tome, najveće rezerve podzemnih voda akumulirane su u debelim naslagama kvartarne i neogene starosti, u okviru stena sa intergranularnim tipom poroznosti (Stevanović, 2011). Kvartarne naslage se najvećim delom nalaze duž aluvijona većih reka i često predstavljaju jedini izvor snabdevanja vodom. Izvorište podzemnih voda „Ključ” (slike 1 i 2), formirano je upravo u okviru kvartarnih peskovito-šljunkovitih sedimenata, u aluvijonu Velike Morave. Brojni autori vršili su istraživanja na ovom području, poput: Boreli- Zdravković & Radenković (2003), Radenković & Boreli- Zdravković (2003,2005), Radenković et al (; 2007), Miljević et al (2012; 2013), Dimkić et al (2012) Vujasinović et al (2014), Radaković et al (2016), Živančev et al (2020). S obzirom na prirodu porozne sredine, nivo podzemnih voda je najvećim delom slobodan, što dalje znači da u povlati vodonosnog horizonta praktično ne postoji prirodna barijera koja bi isti štitila od zagađivanja sa površine terena. Na taj način se zagađujuće supstance, infiltracijom atmosferskih padavina ali i usled postojanja hidrauličke veze površinskih i podzemnih voda, mogu prenositi i filtrirati sve do izdani. Problem kvaliteta voda na datom istražnom području u velikoj meri je posledica antropogenog uticaja, odnosno korišćenja različitih hemijskih sredstava u poljoprivredi, kao i nerešenog pitanja septičkih jama u naseljima Lučica, Prugovo, Poljana i Ljubičevo. Zbog toga je u nekoliko navrata dolazilo do velikog prodora nitarata u vodnosni horizont, što je rezultiralo i isključivanjem izvorišta iz eksploatacije (2006., 2015. godine). Pored toga, u podzemnim vodama je zabeležen i povišen sadržaj gvožđa i mangana. Konceptija mera protiv zagađenja aluvijalne izdani nitratima na istražnom području bazirana je na formiranju hidrauličke barijere radi sprečavanja priliva zagađenih podzemnih voda u zonu izvorišta. Zbog toga su napravljeni odgovarajući objekti koji ujedno služe i za veštačko prihranjivanje izdani. Cilj je da se nalivanjem novih količina voda razblaže odnosno smanje koncentracije ovih elemenata u zbirnoj vodi.

U ovom radu su prikazani rezultati kompletnih fizičko-hemijskih analiza („V” obima) koje su vršene kvartalno tokom prethodne godine, sa posebnim osvrtom na one parametre čije su vrednosti van opsega maksimalno dozvoljenih koncentracija prema Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode za piće („Službeni list SRJ” br 42/98 i 44/99), kao i rezultati mikrobioloških i radioloških ispitivanja („Službeni glasnik RS” br 86/11 i 97/13).

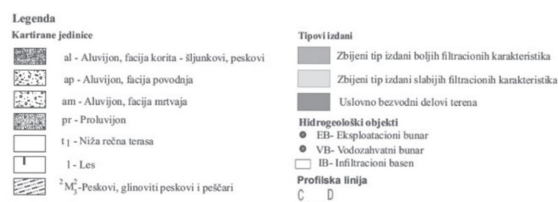
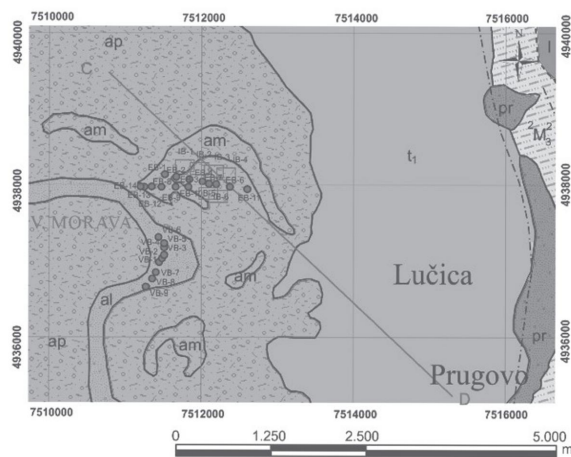
ISTRAŽNO PODRUČJE

Izvorište podzemnih voda „Ključ” je locirano na oko 5 km od centra grada. Organizovano vodosnabdevanje vrši se za grad Požarevac i dva seoska naselja: Čirikovac i Klenovnik, odnosno za oko 55 000 ljudi. Osnovni problemi u vodosnabdevanju su deficit u vodi pogotovo ako se ima u vidu da industrija nije u zamahu kao i problem degradacije kvaliteta podzemnih voda zbog prisustva nitrata u koncentracijama neretko iznad zakonski dozvoljenih koncentracija- MDK <50 mg/l (Službeni list SRJ” br. 42/98 i 44/99). Na širem području izvorišta nalazi se 14 eksploatacionih bunara (prosečne dubine 20 m, prečnika bušenja 820 mm), 6 infiltracionih basena, 11 vodozahvatnih bunara na vodozahvatu „Morava” i oko 155 pijeometara za sistematsko osmatranje elemenata režima (slika 1). Infiltracioni baseni ustvari predstavljaju hidrauličku barijeru u koje se nalivaju podzemne vode zahvaćene bunarima u priobalju reke. Na svom putu od bunara do basena, podzemne vode se filtriraju kroz šljunkovito-peskovitu poroznu sredinu, tako da je i sadržaj nitrata u njima manji (5-20 mg NO₃/l). Pored toga, sadržaj ovih jedinjenja diktiran je i sadržajem u reci. Kao rezultat navedenih mera, došlo je do podizanja nivoa podzemnih voda duž linije basena, čime se sprečava dalji prodor podzemnih voda kontaminiranih nitratima unutar izvorišta (Vujasinović et al, 2014). Danas se preko infiltracionih basena naliva oko 230-240 l/s, sa prosečnim sadržajem nitrata oko 15 mg NO₃/l, čime je obezbeđen rad većine bunara. Sadržaj nitrata u zbirnoj vodi koja se distribuira do potrošača spušten je sa 75 mg NO₃/l (koliko je iznosio na početku rada ovog sistema, tokom 2006. godine) na oko 30 mg NO₃/l (Vujasinović et al, 2014). Pored navedenog, postoji još jedan bunar predviđen za prečišćavanje reversnom osmozom na izvorištu „Meminac”. Inače, ovo izvorište je 2001. godine isključeno iz eksploatacije zbog problema sa nitratima koji su bili znatno iznad MDK, pa je od tada izvorište „Ključ” ostalo jedini resurs vodosnabdevanja stanovništva. Izvorište obezbeđuje oko 250 l/s. Leti potrebe su veće za oko 100 l/s od navedene količine. Kao urgentna mera sanacije zagađenja, tokom 2015. godine, za nalivanje vode u infiltracione basene su se počele koristiti i vode iz kasete 1 i kasete 4, tako da su i ova dva napuštena okna za eksploataciju šljunka u priobalju Velike Morave postala sastavni deo izvorišta.

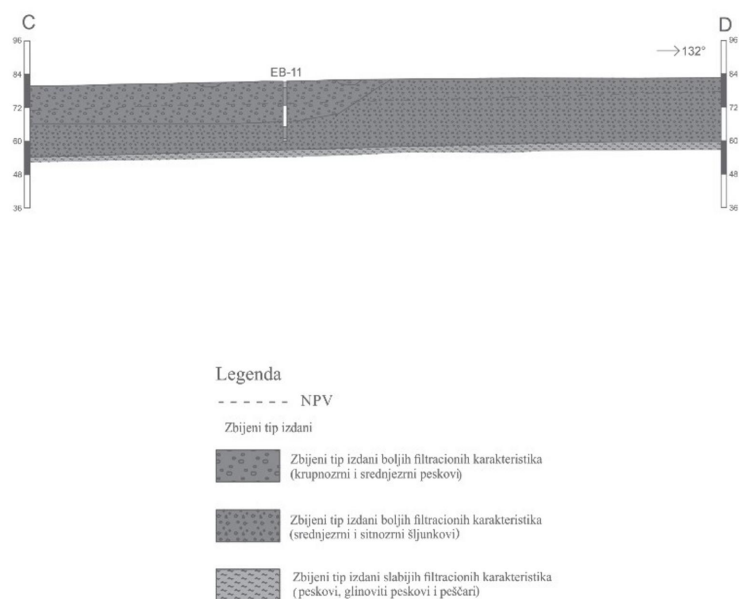
Na osnovu rezultata istražnog bušenja, opštih geološko-hidrogeoloških uslova, zastupljenosti stena, njihove strukturne poroznosti i hidrodinamičkih uslova, na istražnom području se mogu izdvojiti sledeći tipovi izdani (slike 2 i 3, Avramović, 2016): zbijeni tip izdani formiran u okviru aluvijalnih peskovito-šljunkovitih sedimenata kvartarne starosti i uslovno „bezvodni” delovi terena. Prvi tip izdani formiran je u okviru aluvijalnih naslaga Dunava i Velike Morave. Debljina ovih sedimenata iznosi od 4 do 30 m. Između peskovito- šljunkovitih sedimenata i rečnih tokova je ostvarena hidraulička veza. Prihranjivanje izdani odvija se iz pravca Velike Morave i iz zaleđa, gde se nalaze naselja. U užoj zoni izvorišta, vrednosti koeficijenta filtracije (dobijenih granulometrijskom analizom) iznose oko 4,4 x 10⁻⁴ m/s, a nivo podzemnih voda je na dubini od 2 do 8 m. U uslovno „bezvodne” delove terena svrstani su kvartarni sedimenti i lesoidi, predstavljeni glinama, lesom i lesoidnim alevritima.



Slika 1: Raspored hidrogeoloških objekata na istražnom području
Figure 1: Position of hydrogeological objects at the study area



Slika 2: Hidrogeološka karta istražnog područja
Figure 2: Hydrogeological map of the study area



Slika 3: Hidrogeološki profil
Figure 3: Hydrogeological profile

METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Kontrola kvaliteta vode zahteva reprezentativnu fizičko-hemijsku i mikrobiološku analizu ali i odgovarajući izbor parametara kvaliteta. Da bi se ispitao kvalitet vode, nisu značajni samo oni parametri koji će biti analizirani, već i način uzorkovanja, konzerviranja ali i čuvanja uzorka vode do pristupanja analizi (Rajković et al, 2015). U cilju provere higijenske ispravnosti vode za piće, vršene su kompletne fizičko-hemijske i mikrobiološke analize („V“ obima) zbirnog uzorka vode iz rezervoara na izvorištu podzemnih voda „Ključ“ u Požarevcu od strane akreditovane laboratorije. Kako je ranije navedeno, zahvaćena podzemna voda se nakon hlorisanja isporučuje potrošačima bez ikakvog dopunskog tretmana. Uzorkovanje i analize vode vršene su tokom 2019. godine, počev od januara meseca, kvartalno. Metode ispitivanja kao i ocene kvaliteta podzemnih voda izvršeni su na osnovu Pravilnika o higijenskoj ispravnosti vode za piće („Službeni list SRJ“ br 42/98 i 44/99) i Pravilnika o granicama sadržaja radionukleida u vodi za piće, životnim namirnicama, stočnoj hrani, lekovima, predmetima opšte upotrebe, građevinskom materijalu i drugoj robi koja se stavlja u promet („Službeni glasnik RS“ br. 86/11 i 97/13) za ukupnu α - aktivnost i β - aktivnost. Merenja „in situ“ podrazumevala su samo merenje temperature vode. Navedene analize su poslužile da se ispitivanjem zbirnog uzorka vode za piće na izvorištu „Ključ“ utvrdi da li je voda zdravstveno ispravna ali i da se odredi da li antropogeni faktor utiče na kvalitet vode za piće.

REZULTATI I DISKUSIJA

Na datom istražnom terenu, kompletnim fizičko-hemijskim i mikrobiološkim analizama su bili obuhvaćeni svi parametri propisani važećim Pravilnicima. Kada su u pitanju fizičke komponente podzemnih voda ispitivani su boja, ukus, miris, mutnoća i temperatura. Što se tiče hemijskih parametara, analizirani su: elektroprovodljivost, mineralizacija, (ukupna) tvrdoća vode, pH vrednost kao i sastojci podzemnih voda. Ovi poslednji su raznovrsni, tako da se javljaju u vidu jona (katjona i anjona), mikrokomponentata, gasova, organskih supstanci i radioaktivnih sastojaka. Mikrobiološke analize obuhvatile su ispitivanja broja i/ili prisustva aerobnih mezofilnih i aerobnih bakterija, *Escherichia coli*, koliformnih bakterija, staptokoka, sulfatoredukujućih klostridija i *Pseudomonas aeruginosa* („Službeni list SRJ“ br 42/98 i 44/99).

Na datim zbirnim uzorcima podzemnih voda sa izvorišta „Ključ“ tokom kompletnih analiza, utvrđeno je da su isti bez boje, ukusa i mirisa. Mutnoća vode se obično vezuje za prisustvo suspendovanih, koloidnih materija (gine, organske ili neorganske materije i sl.), međutim analize ispitivanih uzoraka pokazuju da se vrednosti ovog parametra nalaze ispod MDK. Temperatura podzemnih voda merena je „in situ“, i ona je iznosila prosečno oko 13,5^o C, a s obzirom da je reč o plitkoj aluvijalnoj izdani, to približno odgovara i srednjegodišnjoj temperaturi vazduha na ovom području.

Vrednosti elektroprovodljivosti uzoraka podzemnih voda, definisane preko specifične električne provodljivosti, manje su od onih zakonski propisanih (MDK). Mineralizacija voda određena je merenjima suvog ostatka. Prosečna vrednost ovog parametara u analizama iznosi oko 560 mg/l. Na osnovu klasifikacije podzemnih voda prema veličini mineralizacije (Hem, 1970; Klimentov,1980), vode ovog izvorišta se svrstavaju u vode male mineralizacije (< 1000 mg/l). Ukupna tvrdoća vode može biti uslovljena sadržajem jona različitih elemenata (Ca²⁺,

Mg²⁺, Fe³⁺, Al³⁺, Mn²⁺ i dr.). Vrednosti ispitivanih uzoraka pokazuju da tvrdoća podzemnih voda varira u širokom rasponu, tako da se iste mogu svrstati u kategoriju dosta tvrdih do tvrdih voda (klasifikacija po Klut-Olszewskom; Holtling, 1984). pH vrednost podzemnih voda ovog izvorišta iznosi oko 7,4, odnosno iste variraju u domenu slaboalkalnih voda (Kirjuhin et al, 1988).

Glavni katjoni podzemnih voda (> 5 mg/l)- kalcijum, magnezijum, natrijum, u svim analizama nalaze se ispod granica maksimalno dozvoljenih koncentracija prema odgovarajućem Pravilniku („Službeni list SRJ“ br 42/98 i 44/99), sa preovlađivanjem jona kalcijuma, a potom i magnezijuma. Takva situacija zabeležena je i kod glavnih anjona: hidrokarbonata, sulfata i hlorida. Najzastupljeniji su hidrokarbonati, potom sulfati. Kada su u pitanju sekundarni sastojci podzemnih voda (0,01-10,0 mg/l): kalijum, gvožđe, nitrati, fluoridi, analizama je utvrđeno da su njihove koncentracije niže od MDK, osim vrednosti gvožđa (sporadično u analizama, tabela 1). S obzirom na to da je povišen sadržaj nitrata (> 50 mg NO₃/l) na ovom izvorištu stvarao velike probleme, može se zaključiti da su preduzete mere na izvorištu ipak uticale na njihovo snižavanje, te su vrednosti istih u uzorcima svedene na oko 30 mg/l. Povišene koncentracije gvožđa u pojedinim analizama podzemnih voda sa ovog izvorišta, objašnjavaju se samom prirodom sredine, odnosno litološkim sastavom terena. Naime, istraživanjima je utvrđeno da se kvartarni bazalni šljunkovi, koji čine donji član vodonosnog horizonta javljaju u tonovima crvene i žuto-crvene boje, odnosno da se u njima može javiti veći sadržaj jedinjenja gvožđa (oksida odnosno hidroksida). Razlog zbog kojeg se povišene koncentracije ovog elementa javljaju sporadično u analizama se može objasniti time što je uzorak voda uziman sa zbirnog rezervoara, gde se skupljaju podzemne vode sa svih 14 bunara Požarevačkog izvorišta, koji opet nisu ni iste dubine, te da usled toga u manjoj ili većoj meri dolazi do mešanja voda i samim tim do razblaživanja koncentracije gvožđa u uzorcima. Što se tiče sadržaja mikrokomponentata u podzemnim vodama ovog izvorišta- mangan, nitriti, fluoridi, cijanidi, olovo, kadmijum, arsen, bakar, cink, nikl, živa, aluminijum i selen, svi se javljaju u granicama maksimalno dozvoljenih koncentracija, osim mangana i nikla (tabela 1). Ovi elementi, kao i gvožđe, posledica su litološkog sastava sedimentata i u analizama povišeni sadržaji ovih elemenata javljaju se zajedno. Prema tumačenju Majkić (2013), minerali mangana se talože u oksidnoj sredini, preko matriksa izdani, i ostaju u vidu manganovih oksihidroksida. U donjem delu vodonosnog horizonta, gde se sredina odlikuje nižim stepenom oksidnosti, dolazi do prelaska nerastvornih manganovih oksihidroksida u vodeni rastvor, tako da je količina nataloženog mangana u šljunkovima sredine manja. Zbog toga se može reći da je različit sadržaj mangana u različitim pijezometrima i bunarima (a posledično i u zbirnoj vodi koja se uzorkovala), posledica toga što su sedimenti stvarani u različitim facijama. Bazalni šljunkovi crvenkaste boje ustvari predstavljaju prvi ciklus aluvijalne sedimentacije. Tada je došlo do taloženja gvožđa i do daljeg transporta mangana, zbog čega se u dubljim vodonosnim horizontima javljaju niže koncentracije mangana. Postojanje visokog sadržaja manganovih oksida i hidroksida u aluvijalnim sedimentima, posledica je obaranja koje se dešava u uslovima pozitivnih vrednosti oksido-redukcionog potencijala i pri pH vrednostima većim od 6. U takvim, oksidacionim uslovima, Mn²⁺ lako prelazi u Mn⁴⁺, i tada sa kiseonikom gradi okside i hidrokside. Na taj način se formiraju prevlake preko zrna i dolazi do obogaćivanja podzemnih voda ovim jedinjenjima. Međutim, kao i u slučaju nitrata, mere veštačkog prihranjivanja izdani primenjene na izvorištu daju rezultata, u smislu da dolazi do aeracije i deponovanja mangana na dnu infiltracionih basena. Od gasova u podzemnim vodama izvorišta „Ključ“ ispitivani su ugljen dioksid i rastvoreni kiseonik. Vode ovog izvorišta sadrže velike količine rastvorenog kiseonika (prosečno više od 5 mg/l). Rečna voda Velike Morave, koja predstavlja i glavni izvor prihranjivanja izdani, filtrira se kroz krupan šljunak, tako da se i kiseonik mnogo manje troši tokom filtracije. Zbog visokog sadržaja ovog gasa, praktično ne postoji mogućnost da se gvožđe iz bazalnog sloja nađe kao dvovalentno (Majkić, 2015). Pored toga, Stufyand (1993) i Mendizibal et al (2001), navode da se redukcija nitrata može vršiti samo u suboksidnim podzemnim vodama. Prema klasifikaciji Dimkić et al (2011), koja se odnosi pre svega na aluvijalne izdani, podzemne vode je moguće svrstati u ovu kategoriju pri sledećim uslovima: Eh > 200 mV, O₂ 0,5-1,0 mg/l i Fe <0,1. Dakle, na Požarevačkom izvorištu problem pojave nitrata svakako da je potekao od ljudskog faktora, ali možemo reći da je i sama prirodna sredina takva da praktično otežava prirodnu bionitrifikaciju. Organske materije u uzorcima određene su preko utroška kalijum permanganata (KmnO₄) sadržaja amonijaka, fenola, deterdženata, mineralnih ulja, cijanida, organohlorinih i organofosforinih pesticida, polcikličnih aromatičnih ugljovodonika, polihlorovanih bifenila, sporednih proizvoda dezinfekcije, trihalometana, hlorovanih alkana, hlorovanih etena, hlorovanih benzola i aromatičnih ugljovodonika. Vrednosti organskih komponenti daleko su ispod MDK vrednosti. Radiološki parametri određeni su ispitivanjem ukupne α i β-aktivnosti. Analizirani mikrobiološki i radiološki parametri podzemnih voda sa predmetnog izvorišta, ne odstupaju od vrednosti propisanih Pravilnicima.

Tabela 1: Elementi hemijskog sastava podzemnih voda iznad maksimalno dozvoljenih koncentracija
Tabela 1: Elements of groundwater chemistry composition higher than maximum allowed concentrations

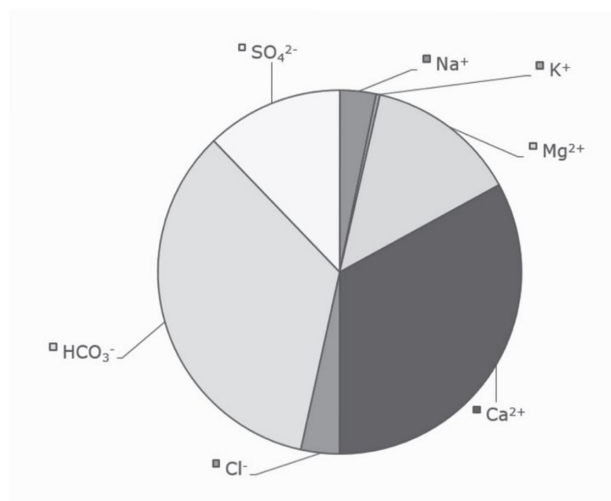
Element	Sadržaj u uzorku vode (mg/l)	MDK za pijaće vode
Gvožđe	0,45	0,3
Mangan	0,14	0,05
Nikl	0,12	0,02

Na osnovu glavnih anjona i katjona dobijenih kompletnim hemijskim analizama, moguće je definisati klasu, grupu i tip vode prema klasifikaciji Alekina (Alekin, 1970). Prema ovom autoru, podzemne vode izvorišta podzemnih

voda „Ključ“ pripadaju hidrokarbonatno-sulfatnoj klasi, kalcijско-magnezijskoj grupi (HCO₃-SO₄-Ca-Mg), drugom tipu. Karakteristike ovog tipa podzemnih voda prikazane su u tabeli 2. Na slici 4 je prikazan kružni dijagram hemijskog sastava podzemnih voda zbirnog uzorka.

Tabela 2: Karakteristike drugog tipa voda prema klasifikaciji Alekina
Table 2: Characteristics of the second type of water by Alekin's classification

Odnos između osnovnih anjona i katjona	Opšte karakteristike
$\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$	Malomineralizovane i mineralizovane, tvrde vode



Slika 4: Kružni dijagram hemijskog sastava podzemnih voda na izvorištu „Ključ“

Figure 4: Circular diagram of groundwater chemistry of Ključ groundwater source

Jedna od najčešće korišćenih formula za prikazivanje hemijskog sastava podzemnih voda u hidrogeološkoj praksi jeste formula Kurlova, koja za izvorište „Ključ“ ima sledeći oblik:

$$M_{0,56}O_{0,006}^2CO_{0,008}^2 \frac{HCO_{66}^3SO_{24}^4Cl_7}{Ca_{66}Mg_{27}Na + K_7} T_{13,5^\circ C} Q_{250}$$

ZAKLJUČAK

Kvalitet podzemnih voda širom sveta a posledično i u našoj zemlji, naročito onih koje se koriste kao izvorišta za vodosnabdevanje, u velikoj meri je ugrožen ili narušen zagađenjima uzrokovanih antropogenim faktorom. Kao najčešće zagađujuće supstance iz ovog domena navode se nitrati, čiji je povišen sadržaj gotovo uvek indikator nekog svežijeg zagađenja. S obzirom na to da se nitrati u porznoj sredini nalaze najčešće kao sekundarni sastojci, odnosno mikrokomponente (nitriti), jasno je da je njihova pojava u većim koncentracijama prouzrokovana uticajem otpadnih, fekalnih voda ili poljoprivrede. Veliki uticaj na redukciju nitrata ima i sama prirodna sredina. Istraživanja su pokazala da je biodenitrifikacija moguća u anaerobnim uslovima, međutim na izvorištu „Ključ“ su hemijskim analizama vode dobijene relativno visoke vrednosti rastvorenog kiseonika, što opet otežava taj proces. Bakterije koje se nalaze u tlu i podzemnim vodama bi trebalo da omoguće proces prirodnog razlaganja nitrata, međutim taj proces je veoma spor. Kao jedan od mogućih načina stimulacije anaerobne biodegradacije nitrata, može biti primena elulzifikovanog biljnog ulja. Pored toga, vode ovog izvorišta sporadično prate i povišene koncentracije gvožđa, mangana i nikla, koje su javljaju kao posledica litološkog sastava terena. Ovaj problem se prevazilazi mešanjem voda u zbirnom rezervoaru ali i aeracijom mangana na dnu infiltracionih basena. Preduzete mere od strane nadležnog komunalnog preduzeća na ovom području, koje podrazumevaju veštačko prihranjivanje izdani preko infiltracionih basena, u cilju razblaživanja odnosno smanjenja koncentracija nitrata u podzemnim vodama koje se eksploatišu, svakako da su dale rezultate. To dokazuju i prikazane kompletne fizičko-hemijske

analize, gde je koncentracija nitrata spuštana na oko 30 mg NO₃/l, u odnosu na 75 mg NO₃/l, koliko je iznosila 2006. godine, dok se iste nisu primenjivale. Sa takvom praksom ali i sa novim istraživanjima treba nastaviti i u budućnosti, uz redovno kontrolisanje kvaliteta vode, naročito spornih sastojaka, odnosno onih koji se javljaju iznad MDK. Na osnovu prikazanih fizičko-hemijskih, mikrobioloških i radioloških ispitivanja zbirnog uzorka podzemnih voda na izvorištu „Ključ“ u Požarevcu, može se zaključiti da je kvalitet istih zdravstveno bezbedan sa aspekta ispitivanih parametara („Službeni list SRJ“ br. 42/98 i 44/99 i „Službeni glasnik RS“ br 86/11 i 97/113) i da se uz odgovarajući tretman sterilizacije mogu koristiti za vodosnabdevanje.

LITERATURA

- ALEKIN OA., 1970: *Osnovi gidrohemi*, Gidrometeoizdat, Leningrad, 1-443.
- AVRAMOVIĆ A., 2016: *Elaborat o zonama sanitarne zaštite izvorišta „Ključ“ u Požarevcu* (fondovski materijal).
- BORELI-ZDRAVKOVIĆ Đ. & RADENKOVIĆ Z., 2003: *Nitrati u podzemnim vodama šireg područja izvorišta „Ključ 1“ za vodosnabdevanje grada Požarevca*, Zbornik radova 32. Jugoslovenske konferencije „VODA 2003“, Jugoslovensko društvo za zaštitu voda i Srpsko društvo za zaštitu voda, Zlatibor, 3-6. jun 2003., str. 357-360
- DIMKIĆ M., PUŠIĆ M., OBRADOVIĆ V. & KOVAČEVIĆ S., 2011: *The Effects of Certain Biochemical Factors on Well Clogging Under Suboxic and Mildly Anoxic Conditions*, Proceedings on IWA Specialist Groundwater Conference, 08-10 September 2011, Belgrade, Serbia, p 225-230
- HEMM JD., 1970: *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*, 2nd U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1473, 1-363
- HOLTING B. (1984): *Hydrogeologie*, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 1-370
- KLIMENTOV PP., 1980: *Obščaja gidrogeologija*, Visšaja škola, Moskva, 1-303
- KIRJUHIN VA., KOROTKOV AL., PAVLOV AN., 1988: *Groundwater age*, New Jersey, John Wiley & Sons, inc., 1-325
- MAJKIĆ B., 2013: *Starenje bunara u aluvijalnim sredinama različitog stepena oksičnosti* (doktorska disertacija u rukopisu), Beograd: Rudarsko- geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu
- MENDIZIBAL I., STYFZAND P. & WIERSMA A., 2011: *Hydrochemical system analysis of public supply well fields, to reveal water quality patterns and define groundwater bodies*, The Netherlands, Hydrogeology Journal 19: 83-100
- MILJEVIĆ N., BORELI-ZDRAVKOVIĆ Đ., OBRADOVIĆ V., GOLOBOČANIN D., MAJER B., 2012: *Evaluation of the origin of the nitrate influencing the Ključ groundwater source, Serbia*, Water Science and Technology, vol. 66, br. 3, str. 472-478
- MILJEVIĆ N., BORELI-ZDRAVKOVIĆ Đ., VELIČKOVIĆ J., GOLOBOČANIN D., MAJER B., 2013: *Evaluation of the origin of sulphate at the groundwater source Ključ, Serbia*, Isotopies in environmental and health studies, vol. 49, br. 1, str. 62-72
- PRAVILNIK o granicama sadržaja radionukleida u vodi za piće, životnim namirnicama, stočnoj grani, lekovima, predmetima opšte upotrebe, građevinskom materijalu i drugoj robi koja se stavlja u promet („Službeni glasnik RS“ br. 86/11 i 97/13)
- PRAVILNIK o higijenskoj ispravnosti vode za piće („Službeni list SRJ“ br 42/98 i 44/99)
- RADAKOVIĆ B., JEFTENIĆ G., KOLAKOVIĆ S., PESKO I., MUCENSKI V., KOVAČEVIĆ S., 2016: *Effects of oxic conditions on behavior of pollutants in groundwater*, In conference proceedings of people, building and environment 2016, an international conference, vol. 4, Luhačovice, Czech Republic, pp 243-251 ISSN: 1805-6784
- RADENKOVIĆ Z., BORELI-ZDRAVKOVIĆ Đ., 2003: *Uzroci naglog pogoršavanja kvaliteta vode izvorišta „Ključ 1“*, Zbornik radova 32. Jugoslovenske konferencije „VODA 2003“, Jugoslovensko društvo za zaštitu voda i Srpsko društvo za zaštitu voda, 3-6. jun 2003., Zlatibor, str. 361-366
- RADENKOVIĆ Z., BORELI-ZDRAVKOVIĆ Đ., 2005: *Sistem zaštite izvorišta „Ključ“ grada Požarevca: faza realizacije objekta*, Zbornik radova 34. Jugoslovenske konferencije „VODA 2005“, Jugoslovensko društvo za zaštitu voda i Srpsko društvo za zaštitu voda, 7-10 jun 2005, Kopaonik, str. 449-456
- RADENKOVIĆ Z., BORELI-ZDRAVKOVIĆ Đ., ZUBER-RADENKOVIĆ V., 2007: *Effects of urgent measures implemented to protect the Ključ groundwater source*, Proceedings Regional IWA conference on Groundwater management in the Danube river basin and other large river basins, 7-9 June 2007, „Jaroslav Černi“ Institute for the development of water resources, Belgrade, p. 291-297
- RAJKOVIĆ M., STOJANOVIĆ M., MILOJKOVIĆ S., 2015: *Ispitivanja kvaliteta vode za piće iz individualnih bunara u selu Dubravica u Braničevskom okrugu*, Zaštita materijala 56, broj 2, vol., str. 213-223
- STEVANOVIĆ Z., 2011: *Menadžment podzemnih vodnih resursa*, univerzitetski udžbenik, Beograd: Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu
- VUJASINOVIĆ S., ZARIĆ J., KALUĐEROVIĆ D., MATIĆ I., 2014: *Mogućnosti anaerobne biodegradacije nitrata u podzemnim vodama Požarevačkog izvorišta „Ključ“- primenom emulzifikovanog biljnog ulja*, Zaštita materijala 55, broj 1, vol. 104, str. 69-75
- ŽIVANČEV N., KOVAČEVIĆ S., PETROVIĆ M., ČALENIĆ A., DIMKIĆ M., 2020: *Influence of oxic and anoxic groundwater conditions on occurrence of selected agrochemicals*, Water Supply, Volume 20, Issue 2, p. 487-498.