

Brankica Majki -Dursun*, An elka Petkovi ,
ulija Boreli-Zdravkovi

Institut za vodoprivredu „Jaroslav erni“, Beograd, Srbija

Nau ni rad

ISSN 0351-9465, E-ISSN 2466-2585

UDC:628.112.036(497.11)

doi: 10.5937/ZasMat1603404M



Zastita Materijala 57 (3)

404 - 411 (2016)

Potencijal korozivnosti aluvijalnih podzemnih voda u slivu Velike Morave

IZVOD

U prikazanom radu data je analiza agresivnosti podzemnih voda dva izvorišta (Klju i Trnov e) u aluvijonu Velike Morave. Sra unate su vrednosti naj eš e koriš enih pokazatelja korozivnog potencijala i stabilnosti vode: Langelierov-og indeksa zasi enja (LSI), Ryznarov-og indeksa stabilnosti (RSI), Larson-Skold-ov indeksa (LSkl) i Indeksa Agresivnosti (AI). U radu su dodatno analizirani parametri hemijskog sastava podzemnih voda koji imaju ulogu u procesima korozije. Na osnovu dobijenih vrednosti indeksa korozivnosti izvorište Trnov e karakterišu agresivnije podzemne vode u odnosu na podzemne vode Klju a. Prema vrednostima RSI 92,8% analiziranih uzoraka sa Trnov a i 84,2% sa Klju a pokazuje korozivna svojstva. LSI u 82% uzoraka podzemnih voda Trnov a i 36,8% uzoraka vode sa Klju a pokazuje negativnu vrednost, odnosno ne mogu nost taloženja CaCO₃ i korozivna svojstva. Vrednosti AI ukazuju da je 67,8 % uzoraka u klasi umereno agresivnih voda, za razliku od Klju a gde ova svojstva pokazuje 26,3 % uzoraka. LSkl indeks pokazuje da se ne može o ekivati formiranje zaštitnog filma, odnosno vrednosti LSkl su zna ajno ispod grani ne vrednosti od 0.8. Velika tvrdo a vode karakteristi na je za oba izvorišta, kao i povremeno povišene vrednosti kiseonika, mogu doprineti razvoju korozionih procesa. Klju ne re i: indeksi korozivnosti vode, aluvijalne podzemne vode, korozija, sliv Velike Morave.

1. UVOD

Geološka gra a teritorije Republike Srbije uslo- vila je formiranje i egzistenciju zna ajnih rezervi podzemnih voda, s tim da kvalitet i kvantitet podzemnih voda varira u izuzetno širokim granicama. Na osnovu podatka Vodoprivredne osnove Republike Srbije [1] ukupno zahvatanje podzemnih voda na teritoriji države iznosi oko 23 m³/s, a deo ovog vodnog resursa formiran je u plitkim aluvijalnim sedimentima. Procenat zahva enih voda iz aluviona je nekoliko puta ve i od zahvatanja iz ostalih vodonosnih sredina [1]. Eksploataciju podzemnih voda iz aluvijalnih sedimenata prate problemi vezani za starenje vodozahvatnih objekata. Starenje bunara podrazumeva se skup procesa koji dovode do opadanja kapaciteta bunara, a koji za posledicu imaju smanjenje njihove izdašnosti, pove avanje parazit- skih gubitaka i u krajnjem prestanak rada [2].

Autor za korespondenciju: Brankica Majki -Dursun

E-mail: brankica.majkic@jcerni.co.rs

Rad primljen: 22. 02. 2016.

Rad korigovan: 17. 04. 2016.

Rad prihva en: 11. 05. 2016.

Rad je dostupan na sajtu: www.idk.org.rs/casopis

Procese starenja bunara mogu izazvati korozija i kolmiranje. Korozija podrazumeva skup hemijskih, elektrohemijskih i biohemijskih procesa, ijim delovanjem dolazi do ošte enja i razaranja filterske i/ili bunarske konstrukcije, dok kolmiranje obuhvata procese istaložavanja i za epljavanja bunarskih filtera, potisnih cevovoda i prifilterske zone [2, 3].

Korozioni procesi i njihova kinetika zavise kako od hemijskog [4,5] i mikrobiološkog sastava podzemnih voda [6], tako i od materijala od kojih je izgra ena bunarska konstukcija [7,8]. Razaranje bunarskog filtra, kao posledica korozionog procesa, može se javiti kao: hemijska korozija, pri kojoj dolazi do ravnomernih razaranja po itavoj površini filterske konstrukcije, selektivna korozija, koja se javlja na bunarskoj i filtarskoj konstrukciji kada se sastoji od legura nekoliko materijala i elektrohemijska korozija, koja predstavlja rezultat rada mikro- galvanskih parova [9].

U uslovima temperatura i pritisaka koji vladaju u podzemnim vodama aluvijalnih izdani, brzina korozivnih procesa nije velika ali se efekti ipak mogu o ekivati posle dugotrajnog koriš enja bunara. Procesi korozije mogu dovesti do pove anja koncentracije metala u zahva enoj podzemnoj vodi [10].

Usled korozije vodovodnih cevi i/ili bunarski konstrukcija može do i do promene organoleptičkih osobina zahvaćenih voda. Procesi korozije i taloženja imaju uticaja na povećanje troškova otvaranja izvorišta a pre svega troškova održavanja istog.

Dosadašnja ispitivanja agresivnih svojstava pića i vode uglavnom su usmerena na utvrđivanje agresivnosti prema kalcijum karbonatu. Za ispitivanje potencijala korozivnosti podzemnih voda najčešće se koriste Langelier-ov indeks zasićenja i Ryzner-ov indeks stabilnosti [3,7,11,12] s tim da se u inostranoj literaturi veoma često koriste Larson-Skold-ov indeks i Indeks Agresivnosti [12,13,14], kao drugi indeksi za specifične uslove.

U radu su analizirani hidrohemijski parametri bitni za tumačenje korozivnih svojstava (temperatura, sadržaj rastvorenog kiseonika, sadržaj sulfata i hlorida, alkalitet, ukupna tvrdoća, pH vrednost) kao i sadržaji dvovalentnog gvožđa i cinka. Temperatura podzemne vode utiče na brzinu reakcija [8, 15], rastvorljivost gasova u vodi i intenzitet elektrohemijske korozije [8], i na brzinu taloženja oksihidroksida gvožđa [2,15]. Poznata je činjenica da afinitet metala prema koroziji u vodenim rastvorima zavisi od pH vrednosti vode. Povećanje kiselosti vode, $pH < 7$, pospešuje procese korozije [16]. Male promene pH vrednosti značajno menjaju korozivni potencijal elika u vodi [8]. Prisustvo rastvorenog kiseonika ubrzava elektrohemijsku koroziju te se smatra da je brzina korozije proporcionalna sadržaju kiseonika u podzemnoj vodi plitkih izdani [4, 9, 16]. Sadržaj rastvorenog kiseonika u vodi veći od 2 mg/l (kod plitkih aluvijalnih voda) smatra se koncentracijom koja pogoduje pojavi korozionih procesa [3,4,16]. Kiseonik na koroziju nastaje dejstvom kiseonika na gvožđe i elika. Kao produkti korozije eličnih cevi ili bunarskih konstrukcija mogu se javiti $-Fe_2O_3$, Fe_3O_4 , FeO . Osim u bunarima, procesi korozije mogu se razviti u distributivnom sistemu. U eličnim cevovodima koji nisu zaštićeni cementnim malterom, korozija troši $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ kiseonika na as [8].

Alkalitet vode utiče na stvaranje korozionih naslaga i kaustičnu koroziju [8]. Prema podeli koju daju Džonson [4] i Gavrilko [16] jedan od faktora koji pospešuju koroziju mogu biti povećane vrednosti ugljen-dioksida (ugljične kiseline) u podzemnim vodama, odnosno sadržaj preko 50 mg/L. Sadržaj hlorida u podzemnim vodama značajan je za analizu korozionih svojstava. Prema literaturnim izvorima [8,17] hlorid utiče na pojavu naponske, piting i vodonične korozije (smanjuju pH). Tvrdoća vode je glavni uzročnik pojave kalcijum karbonata i korozije pod naslagama [7,8]. U podzemnim vodama gvožđe se nađe i nalazi u obliku dvovalentnog jona, koji u kontaktu sa kiseonikom gradi nerastvorne gvoždene taloge. Sadržaj sulfata bitan je kod određivanja mogući formiranja zaštitnog filma na zidovima cevi.

2. GEOLOŠKE I HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE ISPITIVANIH IZVORIŠTA

2.1. Izvorište Klju

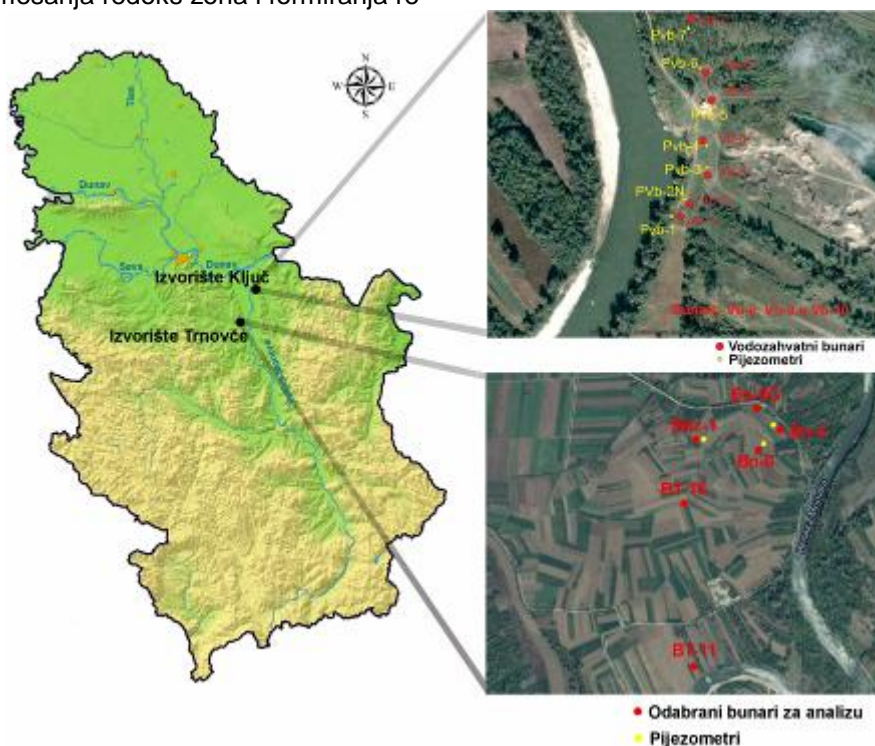
Izvorište Klju locirano je na desnoj obali Velike Morave kao izvorište za vodosnabdevanje Požarevca. Prostor na kome je formirano izvorište Klju predstavlja aluvijalnu ravan Velike Morave, izgrađenu od sedimenata facije korita, sprudova i plaža, kvartarne starosti. Debljina kvartarnih naslaga iznosi 15 do 20 m. Najpovoljnije filtracione karakteristike imaju peskoviti šljunkovi, koji su najstarije sedimente kvartara [18]. Oni predstavljaju osnovnu vodonosnu sredinu iz koje se zahvata podzemna voda. Debljina šljunkovitih naslaga u zoni izvorišta varira od 6-11 m a u zoni vodozahvata uz Veliku Moravu od 8 do 12 m. Preko šljunkovite serije lokalno su istaloženi peskovi debljine 2 do 6 m [2,18,19]. Povlatni su polupropusni, mahom lesni i glinoviti sedimenti debljine 3 do 5 m. Izdan je danas sa slobodnim nivoom. U zoni vodozahvata izdan je u hidrauličkom kontaktu sa Velikom Moravom. Hidrološki režim Velike Morave u značajnoj meri diktira režim izdani, kako sa aspekta hidrodinamičkih uslova tako i sa aspekta kvaliteta voda. Za nalivanje infiltracionih bazena na izvorištu Klju, izbušeno je deset bunara uz Veliku Moravu. Bunarske konstrukcije su elične, prenika $\phi 500 \text{ mm}$. Vodoprijemni deo konstrukcije bunara ima filter sličan tipu „Gavrilko“, rešetkaste konstrukcije obavijen bunarskim sitom. Ukupna dužina konstrukcije filtera je 4,1 m. elična rešetkasta konstrukcija filtera je zaštićena dvokomponentnim premazom. Oko skeleta filtera obmotanog pocinkovanom žicom namotano je bunarsko sito sa otvorima $0,8 \times 0,8 \text{ mm}$, i debljinom niti $0,8 \text{ mm}$ [18]. Položaj vodozahvatnih bunara na izvorištu Klju prikazan je na slici 1.

2.2. Izvorište Trnove

Locirano je na levoj obali Velike Morave u ataru istoimenog sela. Izvorište Trnove deo je regionalnog vodovoda Smederevske Palanke i Velike Planje. Aluvijalna ravan Velike Morave, u zoni izvorišta, prostire se na relativno velikoj širini od 3 - 7 km, dok je debljina aluvijalnih sedimenata 12.5 - 14.5m. U litološkom pogledu to je pretežno dvoslojevit sredina. Gornji povlatni sloj prostire se do dubine od 5 - 6 m. Ovaj povlatni sloj se sastoji pretežno od sitnih frakcija peskovitih i prašinih glina i glinovitih i prašinih peskova. Gornji sloj predstavlja relativno slabo vodopropusnu sredinu. U pojedinim delovima (veoma često u blizini bunara) izostaje kao posledica nekontrolisanog bagerovanja na samom izvorištu. Ispod slabo vodopropusnih sedimenata nalazi se vodonosni sloj koji je pretežno formiran od šljunkovito-peskovitih sedimenata prosečne debljine do 10 m, ali je najčešće debljina (aktivne) zasićene zone manja [2, 20]. Podinski sloj ima laporovite gline neogene starosti. Gornji deo

vodonosnog sloja, koji je danas vodonezasi en (vadozna zona), bogat je kiseonikom. U zavisnosti od režima rada bunara odnosno formiranog depressionog levka, dolazi do vertikalnog mešanja voda iz razli itih hidrohemijskih zona. Nedostatak kiseonika u dubljem, vodozasi enom delu izdani, dovodi do pojave redukcionih uslova sa povišenim sadržajem rastvorenog gvož a u vodi. U neadekvatnim eksploatacionim uslovima rada bunara, spuštanjem depressionog levka u zonu bunarskog filtra, dolazi do vertikalnog mešanja redoks zona i formiranja re-

doks fronta [15]. Kao posledica javlja se brzo opadanje kapaciteta bunara i procesi starenja [2, 20, 21]. Na izvorištu je u funkciji 20 bunara razli itog pre nika, konstrukcije i kapaciteta. U radu su analizirani: bunar pre nika $\phi 800$ mm, eli ne konstrukcije sa mosti avim eli nim filtrom, bušeni bunari pre nika $\phi 280/250$ mm sa ugra enim PVC filtrima i bunari pre nika $\phi 315/280$ mm sa filtrima obmotanim sitima. Odabrani bunari iz kojih je analizirana podzemna voda prikazani su na slici 1.



Slika 1 - Položaj izvorišta Ključ i Trnovce sa prikazom lokacija bunara i piježometara

3. MATERIJAL I METODE

Ispitivanja hemijskog sastava podzemnih voda na odabranim izvorištima vršeno je u periodu od tri godine, u različitim sezonama. *In situ* merenja obuhvatala su analize: pH vrednosti podzemne vode, temperature T ($^{\circ}C$), i koncentracije rastvorenog kiseonika O_2 (mg/L) korišćenjem SEBA multiparametarske sonde [22]. Laboratorijske analize hemijskog sastava podzemnih voda izvršene su u laboratoriji instituta Jaroslav Černi. Analizirane su koncentracije anjona (bikarbonati (HCO_3^-), sulfati (SO_4^{2-}), hloridi (Cl^-)) i katjona (natrijum (Na^+), kalijum (K^+), kalcijum (Ca^{2+}), magnezijum (Mg^{2+})), alkalitet (mg $CaCO_3/L$) i ukupna tvrdoća podzemnih voda, kao i sadržaj dvovalentnog gvožđa Fe^{2+} i sadržaj cinka u vodi, Tabela 1 [22].

etiri indeksa korozivnosti podzemnih voda analizirana su u radu: Langelierov indeks zasićenja (LSI), Ryznar-ov indeks stabilnosti (RSI), Larson-Skold-ov indeks (LSKI) i Indeks Agresivnosti (AI).

Tabela 1 - Analizirani parametri kvaliteta podzemnih voda i metode analize

Parametar	Metoda
Natrijum (Na^+)	SMEWW 21 st , metod 3120 B
Kalijum (K^+)	SMEWW 21 st , metod 3120 B
Kalcijum (Ca^{2+})	SMEWW 21 st , metod 3120 B
Magnezijum (Mg^{2+})	SMEWW 21 st , metod 3120 B
Hloridi (Cl^-)	SMEWW 21 st , metod 4500- Cl^- C
Bikarbonati (HCO_3^-)	SMEWW 21 st , metod 2320 B
Sulfati (SO_4^{2-})	SMEWW 21 st , metod 4500- SO_4^{2-} E
Alkalitet (mg $CaCO_3/L$)	SMEWW 21 st , metod 2320 B
Ukupna tvrdoća	SMEWW 21 st , metod 2320 B
Dvovalentno gvožđe (Fe^{2+})	SMEWW 21 st , metod 3500-Fe B
Cink ($\mu g/L$)	SMEWW 21 st , metod 3120 B

etiri indeksa korozivnosti podzemnih voda analizirana su u radu: Langelierov indeks zasi enja (LSI), Ryznar-ov indeks stabilnosti (RSI), Larson-Skold-ov indeks (LSkl) i Indeks Agresivnosti (AI).

Langelier-ov i Ryznar-ov index razmatraju podzemne vode sa aspekta ravnoteže kalcijum karbonata, uzimaju i u obzir karbonate i bikarbonate sa jedne odnosno ugljenu kiselinu sa druge strane [3, 11,23]. Langelier-ov indeks zasi enja, LSI (1), opisuje isključivo sposobnost vode da taloži rastvoreni kalcijum-karbonat, i ne može koristiti za predviđanja taloženja kalcijum-sulfata ili kalcijum-fosfata [23].

$$LSI = pH - pHs \quad (1)$$

gde su : $pH - pH$ vrednost podzemne vode,
 pHs – vrednost indeksa vodonikovih jona

Vrednost indeksa vodonikovih jona računava se po jedna ini 2 [3]

$$pHs = 9.92 - \frac{t}{40} - \log[Ca^{2+}] - \log[HCO_3^-] + 0.2 \log[S.O.] \quad (2)$$

U jedna ini 2 figurišu sledeće vrednosti:

t – temperatura podzemne vode ($^{\circ}C$),

Ca^{2+} – koncentracija kalcijuma (mg/L),

HCO_3^- – koncentracija bikarbonata (mg/ekv/L),

S.O. – suvi ostatak (mg/L).

Indeks vodonikovih jona (pH_s) odgovara ravnotežnom stanju vode jedinjenjima ugljene kiseline. Vrednost pH predstavlja stvarnu koncentraciju vodonikovih jona u podzemnoj vodi izmerenoj in-situ.

Ryznar-ov indeks stabilnosti RSI (3), pogodan je za umereno tvrde do tvrde vode, ali nije primenljiv za meke ili zaslanjene vode [24]. Iako je upotreba ova dva indeksa široko rasprostranjena, smatra se da se oni mogu koristiti samo za približno određivanje korozivnosti i stabilnosti podzemne vode. Klasifikacija voda prema ovom indeksu data je u Tabeli 2.

Tabela 2 - Klasifikacije podzemnih voda prema vrednostima indeksa korozivnosti

Indeks	Vrednosti indeksa	Klasifikacija voda	Referenca
Langelier-ov indeks zasi enja (LSI)	LSI < 0	Voda je agresivna prema $CaCO_3$	[3,7,11,12,14]
	LSI = 0.0	Neutralne	
	LSI > 0.0	Voda ima tendenciju taloženja $CaCO_3$	
Ryznar-ov indeks stabilnost (RSI)	RSI > 8.5	Vrlo korozivne vode	[13,14]
	RSI = 6.8 – 8.5	Korozivne vode	
	RSI = 6.2 – 6.8	Neutralne vode	
	RSI = 5.5 – 6.2	Taloženje	
	RSI < 5.5	Izraženo taloženje	
Larson-Skolt-ov Indeks (LSkl)	LSkl > 1.2	Korozivne vode	[12,14, 24]
	LSkl = 0.8-1.2	Može do i do taloženja hlorida i sulfata; moguća korozija	
	LSkl < 0.8	Nema taloženja hlorida i sulfata	
Indeks agresivnost (AI)	AI < 10.0	Voda je vrlo agresivna	[14,25,26]
	AI = 10.0-11.9	Voda je umereno agresivna	
	AI > 12.0	Voda nije agresivna	

$$RSI = 2pHs - pH \quad (3)$$

Larson-Skold-ov (LSkl) indeks [14] baziran je na empirijskim podacima *in situ* osmatranja korozije transportnih cevi od mekog elika, koje se koriste za transport voda iz Velikih jezera (Great Lakes). Izra unava se kao odnos sulfata SO_4^{2-} i hlorida (Cl^-) u odnosu na alkalitet koji obuhvata bikarbonate i karbonate (4). Ovaj indeks nije predviđen da se koristi za meke vode niti za vode sa malim koncentracijama rastvorne materije (uobičajeno se koristi za vode kod kojih je sadržaj rastvorene materije od 250-1000 mg/L). Klasifikacija podzemnih voda prema ovom indeksu data je u Tabeli 2.

$$LSkl = \frac{Cl^- + SO_4^{2-}}{HCO_3^- + CO_3^{2-}} \quad (4)$$

Indeks agresivnosti (AI), razvijen je za potrebe praćenja korozivnih svojstava vode u azbestnim cevima. Ovaj parametar povremeno se koristi kao zamena Langelierovom indeksu kao indikator korozivnosti voda (Tabela 2). Indeks agresivnosti računava se na osnovu podataka o pH vrednosti, tvrdoći vode (mg $CaCO_3$) i ukupnog alkaliteta (mg/L $CaCO_3$) (jed. 5) [14].

$$AI = pH + C + D \quad (5)$$

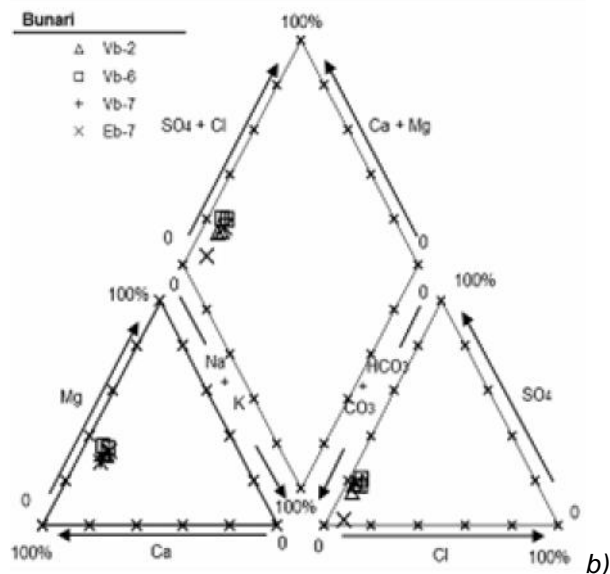
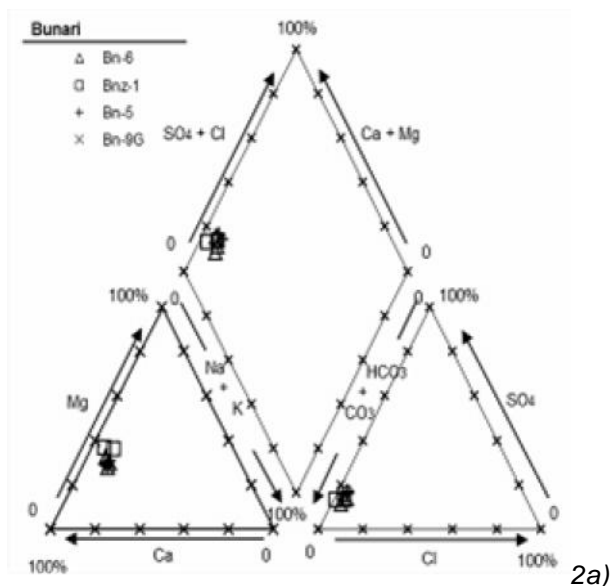
Pri čemu su: C-Ukupni alkalitet (mg/L $CaCO_3$), D-ukupna tvrdoća (mg/L $CaCO_3$)

Proračun indeksa agresivnosti vode izvršen je korišćenjem excel spreadsheet u okviru softverskog paketa *Water Chemistry Analysis for Water Conveyance, Storage and Desalination Projects* [14]. Proračun AI izvršen je u skladu sa KRWA nomogramom [25].

Klasifikacija podzemnih voda prema dobijenim vrednostima indeksa prikazane su u Tabeli 2. Za Langelier-ov indeks osim osnovne podele date u Tabeli 2, korišćena je i detaljnija podela [14].

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Trilinearni, Pajperovi dijagrami hemijskog sastava podzemnih voda izvorišta Trnov e i Klju , prikazani su na slikama 2a i 2b. Na osnovu hemijskih analiza podzemnih voda, vode oba izvorišta su svrstana u grupu neutralnih sa prose nom vrednosti $pH=7.1$ odnosno 7.3. Sa aspekta tvrdo e podzemne vode oba izvorišta spadaju u grupu veoma tvrdih voda ($> 300 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$), te je koriš enje Ryznarov-og indeksa opravdano u oba slu aja. Prose na temperatura podzemnih voda oba izvorišta kretala se $13 \text{ }^\circ\text{C}$. Minimalna zabeležena temperatura iznosila je 8.1°C (Trnov e) odnosno 11°C (Klju), dok je maksimalna merena temperatura iznosila 15.5°C na Trnov u odnosno 17.9°C na Klju u. Sadržaj rastvorenog kiseonika na izvorištu Trnov e kre u od $0.1 - 7.1 \text{ mg/l}$, a prose na vrednost iznosi 1.7 mg/l . Pojave pove ane koncentracije rastvorenog kiseonika vezane su za opšte smanjenje rezervi podzemnih voda i ovazdušenje gornjeg dela vodonosnog sloja na izvorištu Trnov e. U 12 % analiziranih uzoraka vrednosti O_2 merenog *in-situ*, na izvorištu Trnov e bile su iznad 2 mg/L , što pogoduje razvoju korozivnih procesa.



Slika 2 - Trilinearni dijagrami hemijskog sastava podzemnih voda izvorišta Trnov e i Klju na osnovu odabranih uzoraka bunarske vode

Na Klju u, prose ne vrednosti rastvorenog kiseonika kre u se oko 4.8 mg/l , što je zna ajno iznad grani ne vrednosti od 2 mg/L (75% analiziranih uzoraka). Sadržaj sulfata i hlorida u podzemnim vodama izvorišta Trnov e (Tabela 3a), odnosno za Klju (Tabela 3b), ne pokazuje pove ane vrednosti ovih parametara u vodi. Maksimalni sadržaj sulfata ne prelazi 150 mg/L ni u jednom ispitivanom uzorku, što je znatno ispod vrednosti od 250 mg/L koja se smatra za grani nu vrednost preko koje su vode sulfatno agresivne [27].

Sadržaj dvovalentnog gvož a u podzemnoj vodi izvorišta Trnov e (tabela 3a) pokazuje zna ajno variranje tokom godine i vezuje se za na in prihranjivanja izdani. Vrednosti gvož a u uzorcima podzemne vode zna ajno su pove ane. U periodima malih voda bunari crpe vodu iz zale a sa povišenim sadržajima gvož a, koja u kontaktu sa kiseonikom brzo kolmira bunarske konstrukcije (Slika 3).

Tabela 3a - Vrednosti fizi kohemijskih parametara podzemnih voda izvorišta Trnov e

	pH	O_2	Cl^-	Ca^{2+}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Alkalitet	Tvrdo a	Fe^{2+}	Zn
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	*	*	(mg/L)	($\mu\text{g/L}$)
Aver.	7.1	1.7	11.0	91.6	423.1	74.5	346.8	365.6	1.2	16.5
stdev	0.1	1.9	2.8	27.6	99.7	24.7	81.7	103.4	1.6	14.0
median	7.1	0.8	10.9	84.9	454.1	80.0	372.3	339.9	0.6	10.8
max	7.7	7.1	19.0	137.7	568.5	122.8	466.0	564.5	6.5	62.5
min	6.9	0.1	3.2	40.7	230.6	23.0	189.0	207.4	0.1	3.7

*Alkalitet i tvrdo a izraženi su u ($\text{mgCaCO}_3 / \text{L}$)



Slika 3 - Bunar Bnz-1 Trnov e izvla enje potisnog cevovoda iz bunara

U periodima hidrološkog maksimuma deo izdani se prihranjuje re nom vodom a zona redoks fronta pomera se na više. Na in prihranjivanja izdani zavisi umnogome i od režima rada bunara. Vrednosti dvovalentnog gvož a u vodi vodozahvatnih bunara na Klju u nalaze se ispod granica detekcije i na ovom delu izvorišta formiranje taloga gvož a

ne treba o ekivati (Slika 4). Koncentracije cinka u podzemnim vodama pokazuju dvostruko ve e vrednosti na Trnov u u odnosu na vode sa Klju a (Tabele 3a i 3b). Ovaj metal naj eš e ukazuje na koroziju pocinkovanih cevi, potencijalno i žice kojim je obmotano bunarsko sito a ije propadanje uslovljava pove anu osetljivost bunarske konstrukcije za primene mera regeneracije ili može doživesti do potpunog kolapsa bunara.



Slika 4 - Korpa pumpe izvla ena iz bunara na izvorištu Klju

Tabela 3b - Vrednosti fizi kohemijskih parametara podzemnih voda izvorišta Klju

	pH	O ₂ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Alkalitet *	Tvrdo a *	Fe ²⁺ (mg/L)	Zn (µg/L)
<i>Aver.</i>	7.3	4.2	13.9	104.7	369.0	90.2	302.5	389.5	<LOD	8.1
<i>stdev</i>	0.4	2.4	5.7	29.7	86.8	35.6	71.2	125.3	-	10.2
<i>median</i>	7.1	4.8	13.2	109.0	364.5	96.4	298.8	385.6	<LOD	4.5
<i>max</i>	8.2	7.8	24.6	152.1	508.1	148.1	416.5	633.5	<LOD	48.7
<i>min</i>	6.8	0.1	5.7	57.4	219.0	27.3	179.5	191.0	<LOD	0.9

*Alkalitet i tvrdo a izraženi su u ($mgCaCO_3 / L$), <LOD – ispod granice detekcije metode

Analize vrednosti dobijenih indeksa agresivnosti podzemnih voda date su u tabeli 4.

Tabela 4 - Rezultati prora una razli itih indeksa korozivnosti za podzemne vode izvorišta Trnov e i Klju

Indeks	Vrednosti indeksa	Broj uzorka	Procentualni udeo %	Broj uzorka	Procent. udeo %
Izvorište		Trnov e		Klju	
Langelier-ov indeks zasi enja (LSI)	LSI < 0.0	23	82.0	7	36.8
	LSI = 0.0	3	10.7	5	26.3
	LSI > 0.0	2	7.3	7	36.8
Ryznar-ov indeks stabilnosti (RSI)	RSI > 8.5	0	0	0	0
	RSI = 6.8 – 8.5	26	92.8	16	84.2
	RSI = 6.2 – 6.8	2	7.2	3	15.8
	RSI = 5.5 – 6.2	0	0	0	0
	RSI < 5.5	0	0	0	0
Larson-Skold – ov Indeks (LSkl)	LSkl > 1.2	0	0	0	0
	LSkl = 0.8-1.2	0	0	0	0
	LSkl < 0.8	28	100	19	100
Indeks agresivnost (AI)	AI < 10.0	0	0	0	0
	AI = 10.0-11.9	19	67.8	5	26.3
	AI > 12.0	9	32.2	14	73.7

Sra unate vrednosti Ryznarov-og indeksa stabilnosti vode pokazuju da ak 92,8% podzemnih voda sa izvorišta Trnov e ima potencijal da razlaže CaCO₃, odnosno korozivna svojstva. Pozitivne vrednosti Langelier-ovog indeksa (LSI 0) pokazuje voda iz bunara BT-16 sa izvorišta Trnov e, od-

nosno iz bunara Bnz-1 (polovina uzetih uzorka iz ovog bunara). Bunar Bnz-1 ima ošte enja na eli -noj bunarskoj konstrukciji ali je u eksploataciji duže od 30 godina. Za ostale bunare sra unate su negativne vrednosti LSI što ukazuje na agresivnost voda ka CaCO₃. Treba imati u vidu da re e koriš-

ena podela vrednosti Langelierovog indeksa za-
sija [14] bolje opisuje podzemne vode ovih iz-
vorišta. Prema ovoj podeli 14.3 % uzoraka pod-
zemnih voda sa Trnov a spadaju u grupu izrazito
agresivnih voda koja mogu dovesti do ozbiljne ko-
rozije (LSI $-2,0 < -0,5$), umereno korozivne poten-
cijale ali bez afiniteta ka taloženju CaCO_3 pokazuje
67,8% uzetih uzoraka podzemnih voda izvorišta
Trnov e (LSI $-0,5 < 0$), dok neutralne vode sa mo-
gu noš u pojave piting korozije (LSI = 0.0) po-
kazuje 11% analiziranih uzoraka. Samo 3.6% uzo-
raka pokazuje slabu sposobnost taloženja kalcijum-
karbonata. Potvrdu da sredina nije pogodna za
kolmiranje karbonatima osim sra unatog Langelier-
ovog indeksa, pokazuju i rezultati hemijsko-mine-
raloškog sastava taloga sa ovog izvorišta. Težinski
udeo CaO u uzorcima bunarskih taloga iznosi sa-
mo 4.3-7.2%, dok je udeo gvož a kao Fe_2O_3 62.6-
72.8% [21].

Pozitivne vrednosti LSI na izvorištu Klju utvr-
ene su u uzorcima iz prole ne i jesenje kampanje
uzorkovanja 2013 godine. Ako se primeni detaljnija
podela LSI indeksa, podzemne vode na Klju u
pokazuju umereno korozivni potencijal bez afiniteta
ka taloženju CaCO_3 u 36,8% (LSI $-0,5 < 0$). Ni jedan
uzorak ne pokazuje izrazito agresivne vode. 21 %
analiziranih uzoraka spada u grupu neutralnih voda
u kojima je mogu a pojava piting korozije, a 26,2%
uzoraka ukazuje na slabu sposobnost taloženja
 CaCO_3 . Za razliku od voda Trnov a, 10,5% uzetih
uzoraka ima LSI $> 0,5$, te su vode klasifikovane sa
potencijalom za taloženje kalcijum-karbonata bez
korozivnog dejstva. Vrednosti LSI se kre u od
0.19 do 0.35 (Trnov e) odnosno 0.24 do 0.53
(Klju) što su izuzetno niske vrednosti, te se ne
može o ekvati formiranje kalcijum hlorida niti
sulfata. Indeks agresivnosti AI je u 67.8% slu ajeva
ukazao na umereno agresivne vode na Trnov u,
što je zna ajno ve i procenat u odnosu na podze-
mne vode sa Klju a (26,3%).

5. ZAKLJU AK

U radu su analizirani široko koriš eni indeksi
koji su pre svega usmereni na agresivnost voda
prema kalcijum-karbonatu i pojavu korozije. Plitke
aluvijalne podzemne vode izvorišta Trnov e i Klju
mogu se smatrati umereno korozivnim do koro-
zivnim vodama. Vode izvorišta Trnov e, upore u-
ju i dobijene vrednosti LSI, RSI i AI su agresivnije
u odnosu na podzemne vode Klju a, s tim da je na
podru ju Klju a nešto izraženiji potencijal taloženja
kalcijum-karbonata (dobijene pozitivne vrednosti
LSI).

O igledno je da postavljene klasifikacije kao ni
dati indeksi, koji su postavljeni pre svega kao pa-
rametri za definisanje korozivnih procesa i kolmi-
ranja kalcijum karbonatom, ne ukazuju dovoljno na
proces kolmiranja gvož em koje je naj eš i oblik
kolmiranja u našim aluvijalnim sredinama. Analizi-
rani indeksi bez obzira na široku upotrebu ne mogu
se smatrati dovoljno efikasnim u proceni koro-
zivnosti voda. Osim toga, klasifikacije ne uzimaju u
obzir vrednosti rastvorenog kiseonika koji može biti

od presudnog zna aja za pojavu korozije i kol-
miranja. Visoke vrednosti rastvorenog kiseonika
(iznad 2 mg/L) u vodama oba izvorišta, ukazuju na
mogu nost pojave kiseoni ne korozije. Piting koro-
zija ne mora biti samo posledica hemijskog sastava
podzemnih voda, ve je isto tako mogu izazivati
bakterije u podzemnim vodama. Indekse koro-
zivnosti je neophodno posmatrati u širem kontekstu
uz ostale parametre hemijskog sastava. Zna ajne
vrednosti sulfata pružaju mogu nost za pojavu sul-
fata-redukuju ih bakterija, koje se mogu o ekvati
ispod nasaga služi u bunarima ili formiranih mladih
taloga gvož e(oksi)hidroksida. Mikrobiološka koro-
zija, koja nije analizirana u radu, svakako pred-
stavlja dodatni stepen pouzdanosti prilikom ocene
agresivnosti voda.

S obzirom da su podzemne vode izvorišta
Trnov e sa povišenim sadržajem gvož a, umereno
agresivne prema indeksima korozije i sa povišenim
sadržajem kiseonika, i velikom tvrdo om vode, bu-
narske konstrukcije treba praviti od PVC ili PE
materijala, uz izbegavanje slepih sita koja mogu
doprineti bržem kolmiranju. Neophodna su esta
mehani ka iš enja potisnih cevovoda i filterske
zone. Izvorište Klju odlikuju niske vrednosti dvo-
valentnog gvož a u podzemnoj vodi (ispod granica
detekcije) pa se ne o ekuje kolmiranje gvož-
e(oksi)hidroksidima. S druge strane, visoke vred-
nosti kiseonika i velika tvrdo a vode, ukazuju na
mogu u piting koroziju. Bunarske konstrukcije je
potrebno praviti od PVC, PE ili INOX cevi, a izbe-
gavati primenu eli nih konstrukcija.

Zahvalnost

*Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete,
nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije za
finasiranje projekta TR37014.*

6. LITERATURA

- [1] Vodoprivredna osnova Republike Srbije (2001),
Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede –
Republi ka direkcija za vode, Beograd
- [2] B.Majki (2013) Starenje bunara u aluvijalnim
sredinama razli itog stepena oksii nosti, Doktorska
disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u
Beogradu 301 str.
- [3] M.Dimki , M.Puši (2008) Preporuke za projektovanje
bunara uzevši u obzir kolmiranje gvož em na osnovu
iskustva beogradskog izvorišta, Gra evinski kalendar,
vol.40, str.430-496
- [4] E.E.Johnson (1972) Groundwater and wells, 2nd Ed.,
Universal Oil Products Co., Saint Paul, Minnesota
- [5] R.Loewenthal, I.Morrison, M.Wentzel (2004) Control of
corrosion and aggression in drinking water systems,
Water Science and Technology, 49 (2) 9-18;
- [6] B.Beech, C.C.Gaylarde (1999) Recent advances in the
study of biocorrosion - an overview, Rev. Microbiol
30(3) São Paulo July/Sept. 1999
- [7] R.Gruji , V.Novakovi , M.Gligori (2008) Izbor vrsta
materijala za izradu bunara u zavisnosti od hidro-
hemijskih karakteristika podzemne vode i namjene
bunara, Zaštita materijala, 49(4), 60-64

- [8] V.Rajakovi -Ognjanovi (2011) Uticaj kvaliteta vode na koroziju elika, Doktorska disertacija, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu
- [9] D. Babac Ed. (2004) Vodossnabdevaje Ba ke Palanke, ju e-danas-sutra, Javno komunalno preduze e „Komunalprojekt“, Ba ka Palanka, str. 212
- [10] H.Taghipour, M.Shakerkhatibi, M.Pourakbar, M. Belvasi (2012) Corrosion and Scaling Potential in Drinking Water Distribution System of Tabriz, Northwestern Iran, Health Promot Perspect., 2(1), 103–111.
- [11] D.Ljubisavljevi , B.Babi , I.Šušić (2006) Prora un doza hemikalija za stabilizaciju vode, Vodoprivreda, 38 , 77-83
- [12] P.R.Roberge (2007) Corrosion Inspection and Monitoring, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA
- [13] Ala'a H.E. Al-Husseini (2012) Study of potential Corrosion and Scaling for Treated Water of Two Water Treatment plants in Al-Hilla City, Journal of Babylon University/Engineering Science, 4(20), 234-241.
- [14] F.Leitz, K.Guerra (2013) Water Chemistry Analysis for Water Conveyance, Storage and Desalination Projects Manuals and Standards Program, Technical Service Center, Water Treatment Group, Colorado USA;
- [15] B. Majki -Dursun, A. Petkovi , M. Dimki (2015a) The effect of iron oxidation in the groundwater of the alluvial aquifer of the Velika Morava River, Serbia, on the clogging of water supply wells, Journal of Serbian Chemical Society, 80(7), 947-957
- [16] V.M.Gavrilko, V.S.S.Alekseev (1985) Water wells screen, Publishing House Nedra, Moscow, p. 300-304.
- [17] B.Stojanovi , B. uki , N.Stojanovi , S.Smiljani (2012) Korozija i zaštita rashladnog sistema, Zaštita materijala, 53 (1), 51-56
- [18] Institut za vodoprivredu "Jaroslav erni" (2007) Generalni razvojni plan vodossnabdevanja opštine Požarevac - generalni projekat, Beograd
- [19] S.Vujasinovi , J.Zari , D.Kalu erovi , I.Mati (2014) Mogu nosti anaerobne biodegradacije nitrata u podzemnim vodama požareva kog izvorišta "Klju " - primenom emulzifikovanog biljnog ulja, Zaštita materijala, 55 (1), 69-75
- [20] B.Majki -Dursun, Lj.Popovi , D.Miolski, O. An elkovi (2012) Uticaj opadanja nivoa podzemnih voda na procese starenja vodozahvatnih objekata na primeru izvorišta „Trnov e“, Vodoprivreda, 44 (4-6), 256-272
- [21] B.Majki -Dursun, P.Vuli , M.Dimki (2015 b) Clogging of water supply wells in alluvial aquifers by mineral incrustations, central Serbia, Annales Geologiques De Da Peninsule balkanique, 76, 73-83
- [22] Standard Methods for the Examination Water and Wastewaters, SMEWW (2005) 21st Edition, American Public Health Association (APHA), the American Water Works Association (AWWA) and the Water Environment Federation (WEF).
- [23] R.Cavano (2005) Saturation, Stability and Scaling Indices (2005), CORROSION 2005, proceedings, paper No. 05063, www.nace.org (10.02.2016.)
- [24] EPA (1982) Corrosion in Potable Water Systems, Final Report, Austin, Texas, USA
- [25] Kentucky Rural Water Association, KRWA, Aggressive Index Formula, <http://www.krwa.org/docs/Aggressive%20Index%20Formula.pdf> (18.02.2016.)
- [26] M.Shams, A.Mohamadi, S Ali Sajadi (2012) Evaluation of Corrosion and Scaling Potential of Water in Rural Water Supply Distribution Networks of Tabas, Iran World Applied Sciences Journal, 17 (11), 1484-1489
- [27] N.Dimitrijevi (1988) Hidrohemija, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd

ABSTRACT

CORROSION POTENTIAL OF ALLUVIAL GROUNDWATERS IN VELIKA MORAVA RIVER BASIN

This paper discusses the corrosion and scaling potential of shallow groundwater from two aquifers (Klju and Trnov e) in the Velika Morava River alluvium. Values of the most commonly used indicators, such as Langelier Saturation Index (LSI), Ryznar Stability Index, Larson-Skold Index and Aggressive Index were calculated to determine corrosion potential and stability. Additionally, the paper analyzes the physico-chemical parameters that impact corrosion processes. The calculated results show that Trnov e water source has more aggressive groundwater than the Klju water source. Based on the calculated RSI values, 92.8% of the samples from Trnov e and 84.2% of the samples from Klju groundwater sources show corrosive potential. Calculated LSI shows that 82% of the groundwater samples from Trnov e and 36.8% of the samples from Klju have negative values, which implies corrosive properties and inability to retain existing CaCO₃. The Aggressive Index indicates that 67.8% of the samples from Trnov e belong to moderately corrosive waters, unlike groundwaters from Klju water source, where only 26.3% of the samples show these properties. The small calculated values of LSI Index, which are significantly below the limit of 0.8, imply that protective layer (film) cannot be formed. High water hardness is characteristic for both water sources, also as periodically elevated concentrations of dissolved oxygen, could contribute to the development of corrosion processes.

Keywords: corrosion indices, scaling potential, alluvial groundwater, corrosion, Velika Morava river basin

Scientific paper

Paper received: 22. 02. 2016.

Paper corrected: 17. 04. 2016.

Paper accepted: 11. 05. 2016.

Paper is available on the website: www.idk.org.rs/journal