

## UTICAJ OPADANJA NIVOVA PODZEMNIH VODA NA PROCESE STARENJA VODOZAHVATNIH OBJEKATA NA PRIMERU IZVORIŠTA „TRNOVČE“

Brankica MAJKIĆ-DURSUN<sup>1</sup>, Ljiljana POPOVIĆ<sup>2</sup>, Dušan MIOLSKI<sup>3</sup>, Oliver ANĐELKOVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ u Beogradu

<sup>2</sup>Geološki institut Srbije u Beogradu

<sup>3</sup>JKP „Vodovod“, Smederevska Palanka

### REZIME

Eksploatacija podzemnih voda iz aluvijalnih sedimenata često je praćena problemima vezanim za opadanje početnog kapaciteta bunara. Režim rada bunara može uticati na promenu fizičko-hemijskog i mikrobiološkog sastava podzemnih voda te neposredno uticati na procese koji dovode do starenja bunara. Mešanja podzemnih voda različitih hidrohemijskih osobina, prodor kiseonika do anoksičnih voda koje nose rastvoreno gvožđe i mangan, utiču na pojavu redoks fronta unutar samog objekta. Ovakvi slučajevi dovode do brzog formiranja taloga na filtarskim konstrukcijama, odnosno ubrzavaju procese starenja bunara.

Regionalno izvorište „Trnovče“ formirano za potrebe vodosnabdevanja Smederevske Palanke i Velike Plane, čini 20 bunara izbušenih u aluvijonu Velike Morave. Kapacitet izvorišta sa svih 20 bunara u radu iznosi između 100 i 120 l/s, s tim da je u periodu 2010-2011., usled različitih problema u funkcionisanju bunara kapacitet izvorišta iznosio 80-100 l/s.

U periodu od 2010-2011. intenzivirana su praćenja promene nivoa i hemijskog sastava podzemnih voda u eksploatacionim bunarima i pijezometrima. Dobijeni rezultati ukazuju na generalno opadanje nivoa podzemnih voda na celom području izvorišta, sa spuštanjem dinamičkih, pa i statičkih nivoa (tokom hidrološki nepovoljnih perioda) u zonu filtra bunara.

**Ključne reči:** starenje bunara, režim podzemnih voda, izvorište „Trnovče“

### 1. UVOD

Regionalno izvorište Trnovče, za vodosnabdevanje Smederevske Palanke i Velike Plane formirano je u

aluvijalnim naslagama na levoj dolinskoj strani Velike Morave. Prvobitnim planom izvorište je osmišljeno kao deo većeg regionalnog izvorišta Trnovče–Miloševac–Lozovik, projektovanog ukupnog kapaciteta 625 l/s, od čega je samo izvorište „Trnovče“ trebalo da obezbedi 250 l/s. Danas je na izvorištu Trnovče u funkciji 20 cevastih bunara koji sumarno daju do 120 l/s. Većina bunara na izvorištu opremljena je automatskim meračima protoka (17 opremljenih i 3 neopremljena). Prosečna dubina bunara iznosi 15 m. Bunari kaptiraju vodosnosni sloj sačinjen od šljunkova i peskova različite granulacije prosečne debljine 6 m (sa izuzetkom bunara Bn-8/2 gde je kaptirani sloj debljine 10 m). Prosečna debljina aluvijalnih naslaga iznosi 12,5-14,5 m. Na izvorištu postoji 5 aktivnih pijezometara.

Stalno povećavanje potreba za vodom, učestale regeneracije bunara i problemi sa kojima se suočava izvorište u sušnim periodima godine uslovlili su potrebu za istraživanjem režima podzemnih voda i režima rada bunara. Praćenje promene režima podzemnih voda neophodno je sa aspekta definisanja rezervi podzemnih voda, promene zasićenosti izdani u uslovima eksploatacije i praćenja procesa starenja bunara.

Pod režimom podzemnih voda podrazumeva se proces izmene nivoa, proticaja, hidrauličkog gradijenta, brzine, temperature, viskoziteta, hemijskog, radiološkog, mikrobiološkog i gasnog sastava izdanih voda u vremenu i prostoru, pod uticajem prirodnih i antropogenih faktora. (Dragišić, 1997.)

### 2. PRIMENJENA METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Za potrebe istraživanja promene režima podzemnih voda izbušena su tri bliska pijezometra uz bunare Bn-5, Bn-6 i Bnz-1. Njihova osnovna svrha je određivanje

lokalnih hidrauličkih gubitaka (LHR) kao i praćenje kinetike lokalnih hidrauličkih gubitaka (KLHR). (Dimkić et al. 2011.). Svi objekti na izvorištu su geodetski snimljeni 2010. godine. Iz ovih pijezometara uzimaju se i uzorci za hemijske analize podzemne vode.

Merenje nivoa na izvorištu vršile su paralelno tri institucije: Geološki Institut Srbije, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ i vodovod „Smederevska Palanka“ uz svesrdnu pomoć JP „Morava“, čime je sakupljen značajan fond podataka. Merenja nivoa podzemnih voda su intenzivno vršena u periodu 2010-2011. godina i svi dostupni podaci su uneti u programski paket „RockWorks“ u kom je izrađen geološki model izvorišta.

Praćenje proticaja bunara vršeno je preko instaliranih merača protoka. *In-situ* merenja obavljena su SEBA multiparametarskom sondom. Mereni su kiseonik, Eh, temperatura, elektroprovodljivost i pH vrednost. Merenja je izvršio „Jaroslav Černi“ u pet kampanja, pri čemu su merenja vršena u 4 bunara i 5 pijezometara na izvorištu. Divalentno gvožđe analizirano je iz filtrisanog uzorka na terenu, filtracijom kroz sito 0,45 µm.

Bunarski talozi su uzeti tokom regeneracija bunara, a njihova analiza izvršena je na Rudarsko-geološkom fakultetu, katedri za Mineralogiju i kristalografiju, korišćenjem SEM-EDS uređaja (JEOL JSM-6610LV). Više o ovoj metodi pisao je Reed (2005.). Pored primene skenirajuće elektronske mikroskopije, talozi iz bunara Bn-6 i Bn-9G analizirani su i primenom X-fluorescentne metode (XRF) na Institutu za nuklearne nauke „Vinča“. Ukupno je u 2011. analizirano 5 bunarskih taloga, radi određivanja hemijskog sastava, mikrobiološkog sastava i određivanja mineraloško-kristalografskih karakteristika.

### 3. PRIKAZ DOBIJENIH REZULTATA

Na osnovu merenja nivoa vode u bunarima i pijezometrima u periodu 2010.-2011., izvršena je analiza promene nivoa podzemnih voda na prostoru izvorišta Trnovče. Na osnovu podataka Republičkog hidrometeorološkog zavoda tokom 2010. godine na području Smederevske Palanke (najbliža klimatološka stanica), suma godišnjih padavina je iznosila 780,3 mm dok je u 2011. palo oko 400 mm kiše (izrazito sušna godina).

Merenjem nivoa utvrđeno je da su se dinamički nivoi mereni 2010. i 2011. nalazili u bunarskim filtrima. Na

slikama 1 do 4 su dati izlazi iz programskog paketa Rockworks na kojima se vidi da su gornji delovi filtra (na slikama označeni bordo) u nesaturisanom delu izdani. Posmatrajući sve unete podatke vidi se da se oscilacija nivoa izdani tokom godine menja u zavisnosti od hidrometeoroloških uslova, načina prihranjivanja i režima rada bunara. Pored dinamičkih nivoa u bunarima je česta pojava da se i statički nivoi spuštaju u zonu filtra (merenja vodovoda Smederevska Palanka u aprilu i oktobru 2011.).

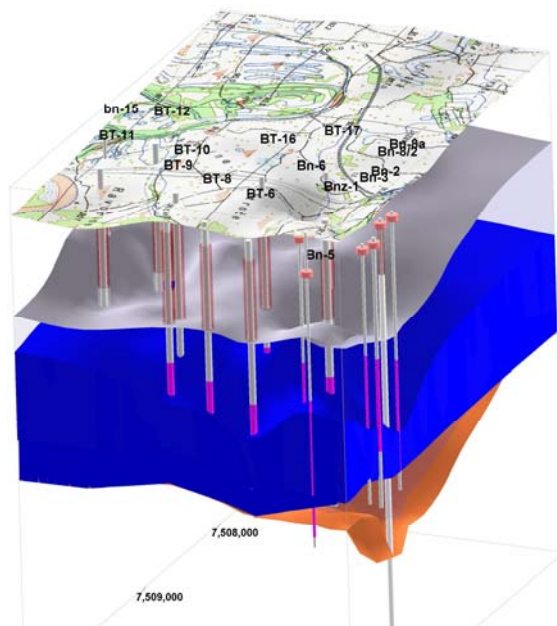
Kapaciteti bunara sa početnih 15 l/s opadali su tokom godina. Učestale potrebe za regeneracijama dovode do čestih isključivanja bunara iz rada. Izuzetno brzo kolmiranje bunarskih filtara dovodi do opadanja kapaciteta bunara, te je prosečna izdašnost bunara danas oko 5 l/s. Poseban problem su bunari sa veoma kratkim taložnikom, gde ne postoji mogućnost spuštanja pumpi ispod zone filtra.

Primer na slici 5 prikazuje merene nivoe u eksploatacionom bunaru Bnz-1 i njegovom bliskom pijezometaru Bnz-1/P-1. Pre regeneracije bunar je prosečno davao oko 5 l/s, a nakon regeneracije 12 l/s. Efekti regeneracije trajali su oko 6 meseci, a zatim je kapacitet bunara ponovo opao do 6 l/s. Bunar Bn-5 u periodu 2010. - 2011. isključen je dva puta, u oktobru 2010. radi zamene pumpe i septembru 2011. radi regeneracije. Prosečna izdašnost ovog bunara je 5 l/s. Bunar Bn-6 nije opremljen automatskim meračem protoka. Regenerisan je avgusta 2011. Pojava brzog opadanja kapaciteta nakon izvršene regeneracije tumači se kroz:

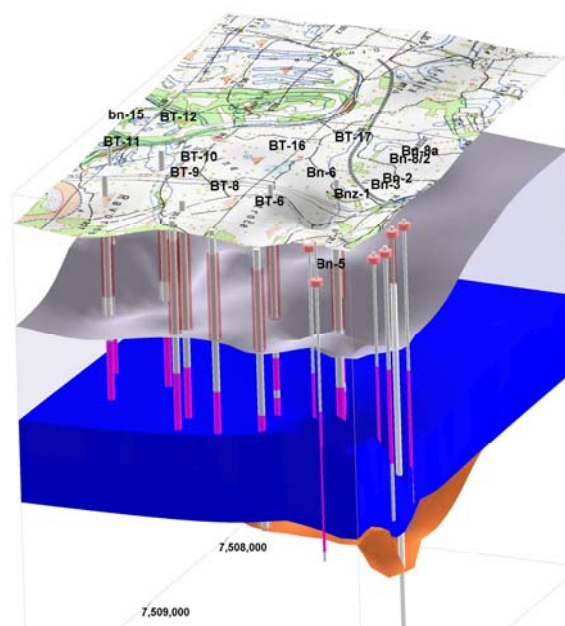
- Pad nivoa podzemnih voda na celom području izvorišta tokom izrazito sušne 2011. godine pri čemu je opao kapacitet svih bunara
- Posledicu brzog taloženja amorfnog gvožđa u vidu  $5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  kao posledica formiranja redoks fronta unutar filtra bunara i mešanja oksično-anoksičnih uslova
- Zadržavanje nivoa podzemnih u filtru bunara i nakon izvršenih regeneracija, što do dovodi do mešanja voda iz različitih hidrohemijskih zona
- Neadekvatnih mera regeneracije

Proračun lokalnih hidrauličkih gubitaka LHR (m/(m/s)), za bunar Bnz-1, vršen je po formuli (Dimkić et al. 2011.):

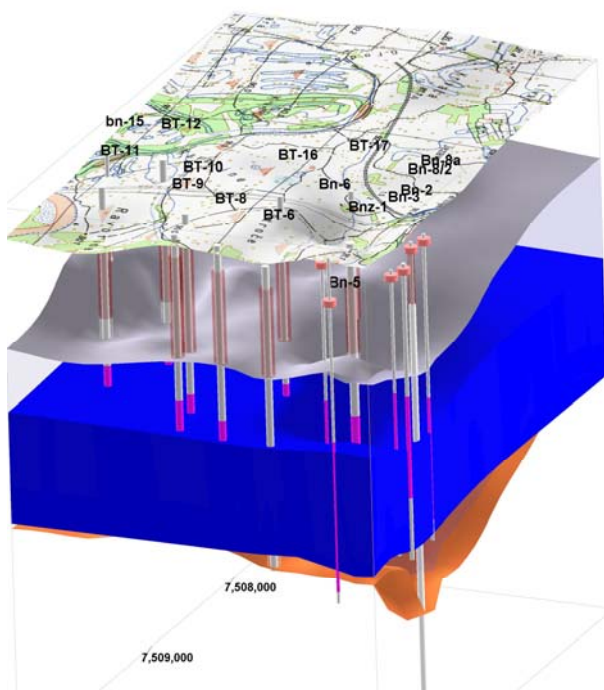
$$LHR = \frac{\Delta S}{v} = \frac{H_{\text{pijezo}} - H_{\text{bunar}}}{\frac{Q_{\text{bun}}}{\omega_{\text{bun}}}} = \frac{H_{\text{pijezo}} - H_{\text{bunar}}}{2r_{\text{bun}} \pi \cdot h_{\text{zavodnjenideobunara}}}$$



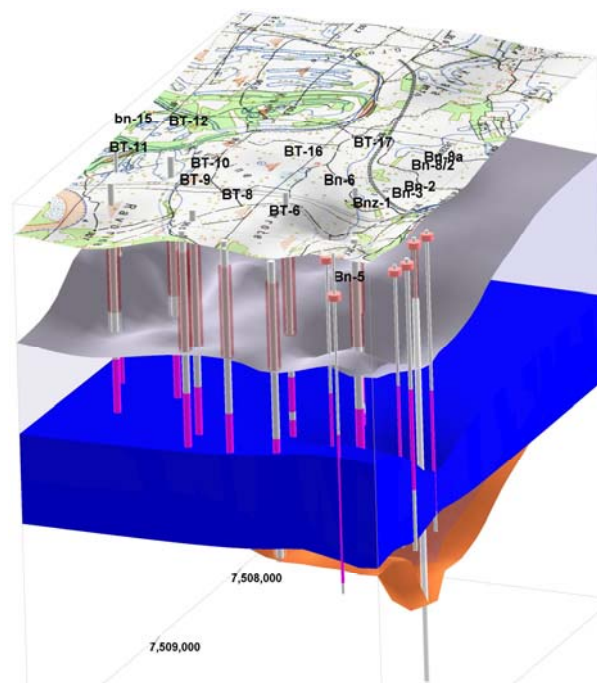
Slika 1. Modelski prikaz stanja nivoa podzemnih voda na izvorištu Trnovče u septembru 2010. Legenda: sivo – povlata akvifera, sivo do tamno plavo-bezvodni deo akvifera, tamno plavo – zasićeni deo akvifera, bordo-deo filtra van zone zasićenja



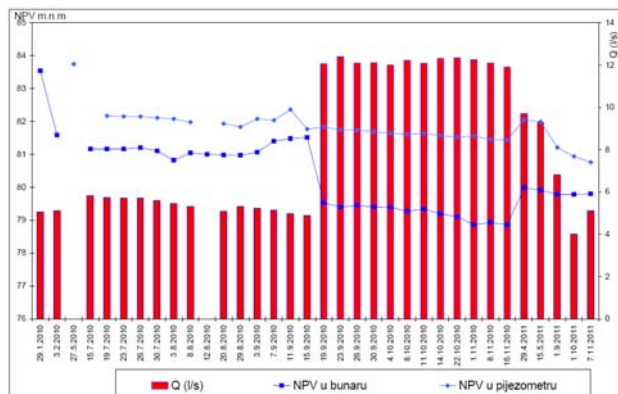
Slika 2. Modelski prikaz stanja nivoa podzemnih voda na izvorištu Trnovče u oktobru 2010.



Slika 3. Modelski prikaz stanja nivoa podzemnih voda na izvorištu Trnovče u aprilu 2011.



Slika 4. Modelski prikaz stanja nivoa podzemnih voda na izvorištu Trnovče u oktobru 2011.



Slika 5. Promena merenih nivoa podzemnih voda u bunaru Bnz-1 i piježometru Bnz-1/P-1 pre i posle regeneracije

Iz formule se vidi da lokalni hidraulički gubitak direktno zavisi od nivoa podzemnih voda, jer padom nivoa u zonu filtra smanjuje se proticajna površina bunara. Rezultati proračuna za pojedinačne bunare pokazuju rast lokalnih hidrauličkih gubitaka (LHR) tokom vremena do momenta regeneracije kada oni naglo padaju. Njihovo praćenje u vremenu može da ukaže na potrebu za regeneracijom bunara, odnosno, da ukaže na brzinu procesa starenja vodozahvatnih objekata.

### 3.1 Hemijski sastav podzemnih voda

Rezultati *in-situ* merenja u bunarima i piježometrima, pokazuju promenu koncentracije rastvorenog kiseonika od 0,3 do 7,1 mg/l. Od 34 *in-situ* merenja (17 merenja u bunarima i 17 merenja piježometara) 10 uzoraka je imalo koncentraciju rastvorenog kiseonika ispod 0,5 mg/l (60% uzoraka sa koncentracijom < 0,5 mg/l odnosi se na piježometre). Najveća elektroprovodljivost podzemnih voda beleži se u bunaru Bnz-1 i njegovom bliskom piježometru iznad 820 $\mu$ S. Najnižu elektroprovodljivost imaju piježometri Bn-5/P-1 i Bn-6/P-1. Merena temperatura podzemnih voda kretala se u intervalu od 11,5 tokom zimskih meseci do 13,4 °C u letnjem periodu. Vrednost pH podzemnih voda kreće se u intervalu od 6,9 do 7,3. Najniža vrednost redoks potencijala (izražena kao Eh (mV)) zabeležena je nakon regeneracije bunara Bn-6 (7.11.2011.) i iznosila je +78,3 mV. Najviša vrednost +360 mV zabeležena je u plitkom piježometru Pp-1/04 u novembru 2010. Za sve kompletne hemijske analize podzemnih voda (37 kompletnih hemijskih analiza koje je izvršio Institut „Jaroslav Černi“<sup>4</sup>) određen je dominantni redoks

proces i redoks kategorija, prema kriterijumima postavljenim od strane (McMahon i Chapelle 2008., Jurgens et al. 2010.). Primena ovih kriterijuma na izvorištu Trnovče i preliminarni rezultati istraživanja detaljnije su objašnjeni u radovima (Majkić et al., 2011, Dimkić et al. 2011.) Anoksična kategorija utvrđena je 9 puta (26%) i svih 9 puta je dominantni redoks proces pokazao redukciju Fe(III). Od ukupnog broja izvršenih analiza 71% pokazivale su mešavinu oksidno-anoksičnih uslova (62% dominantni redoks proces izražen kao O<sub>2</sub>-Fe(III) odnosno 9% uzoraka pokazalo je dominantni redoks proces O<sub>2</sub>-Mn(IV)). Oksidna sredina javila se u 3% uzoraka. Da bi se tačnije definisao dominantni redoks proces, u mešano oksidno-anoksičnoj sredini, između redukcije gvožđa O<sub>2</sub>-Fe(III) odnosno redukcije sulfata O<sub>2</sub>-Fe(III)/SO<sub>4</sub>, korišćeni su podaci o sadržaju ukupnih sulfida izraženih preko H<sub>2</sub>S (Chapelle et al., 2009.). Koncentracije sulfida bile su ispod 0,02 mg/l, čime je za gore pomenutih 62 % uzoraka utvrđeno da pripadaju mešanoj oksidno-anoksičnoj kategoriji sa dominantnim procesom O<sub>2</sub>-Fe(III).

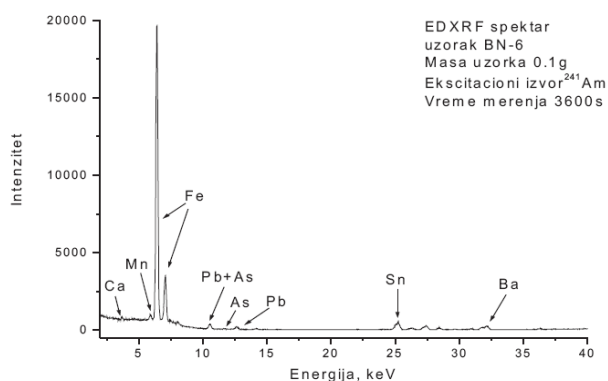
### 3.2 Analiza taloga

Analize bunarskih taloga od velikog su značaja za razumevanje procesa koji dovode do starenja vodozahvatnih objekata. Njihov sastav, stepen kristaliniteta minerala i sastav mikrobioloških konzorcijuma treba da ukažu, ne samo na procese koji dovode do njihovog formiranja, već i da daju predlog mera koje treba preduzeti da bi regeneracije imale dugotrajniji efekat.

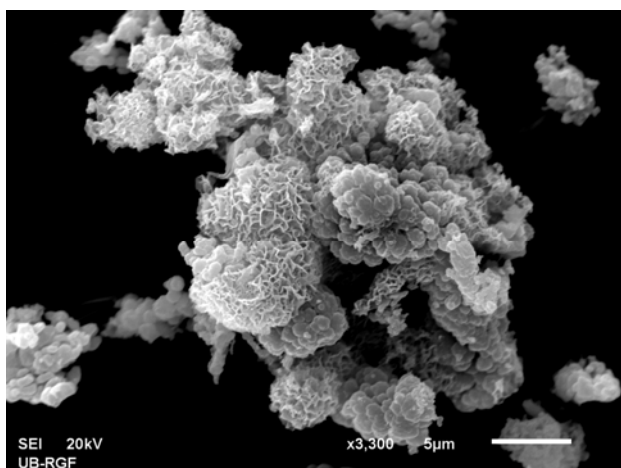
Kao glavni hemijski elementi koje čine taloge u bunarima na izvorištu Trnovče izdvajaju se: Fe, C, Mn, zatim Ca, Si i P, dok se kao elementi u tragovima javljaju As, Pb, Sn, Sb, Sr i Ba, za koje je poznato da sorbiraju na amorfnim talozima gvožđa. (Stumm and Morgan 1996., Houben and Treskatis 2007.) Silicijum se javlja u formi alumosilikata, dok prisustvo SiO<sub>2</sub> je veoma retko za razliku od npr. taloga sa beogradskog izvorišta (gde bunari peskare) (slika 6).

Hemijski sastav ispitanih taloga pokazuje dominantno prisustvo amornog ferihidroksida 5Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 9H<sub>2</sub>O. Ovaj mladi želatinozni talog narandžaste boje u roku od 1-2 godine može da rekrystalizuje do crveno-mrkog getita  $\alpha$ -FeOOH. (Appelo and Postma 2005., Beek 2010.). U analiziranim uzorcima sa izvorišta Trnovče, getit nije detektovan. Pored amornog taloga gvožđa u bunarima se u manjoj meri javljaju amorfni talozi mangana

MnOOH. Oksidacija mangana (II) zahteva veći oksidacioni potencijal (0,6 – 1,2 V) u poređenju sa gvožđem (II) (0,0 – 0,5 V), te su mešani talozi gvožđa i mangana relativno retki, a i u ovakvim uzorcima maseni udeo gvožđa je dominantan (Houben and Treskatis 2007.) (slika 7).



Slika 6. EDXRF spektar taloga iz bunara Bn-6



Slika 7. Fotografija taloga iz bunara Bn-5 sa uvećanjem 3 300 puta u kom se vidi zajedničko taloženje amorfnih  $5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  i MnOOH.

U bunarskim talozima primenom SEM –a potvrđeno je prisustvo gvoždevitih bakterija *Gallionella ferruginea* i *Leptothrix sp.* na čijim telima je takođe nataložen amorfnih ferihidrit. Njihov broj u uzetim uzorcima, kao i formirani zaštitni omotači oko tela bakterija, ukazuju da im sredina ne odgovara za brzo razmnožavanje i da hemijsko taloženje ima mnogo značajniji udeo u formiranju inkrustracija na izvorištu Trnovče, u odnosu na neka druga izvorišta u Srbiji (Obradović et al. 2012.)

#### 4. DISKUSIJA REZULTATA

Nivoi podzemnih voda na izvorištu Trnovče osciluju tokom godine. Tokom osmatranog perioda oscilacije nivoa podzemnih voda u samim bunarima kretale su se od 0,5 m (BT-18) do čak 4,8 m (bunar Bnz-1). Velike oscilacije nivoa zabeležene su u bunaru Bn-5 mada ovaj bunar zbog čestih isključivanja iz rada treba posebno detaljno analizirati. Dinamički nivoi uglavnom se nalaze u filtrima, a tokom sušnih perioda povremeno se u filtere spuste i statički nivoi. Merene vrednosti nivoa podzemnih voda i mogućnost kontinualnog praćenja proticaja bunara omogućuje sagledavanje režima rada eksploatacionih objekata kao i određivanje hidrauličkih parametara (lokalnih hidrauličkih otpora i njihovu promenu tokom vremena, ulaznih brzina u bunar, itd ).

Hemijske analize podzemnih voda ukazuju na mešanje oksidno-anoksičnih uslova, tačnije postojanje redoks fronta, što je izuzetno nepovoljno za same bunare. Nadeksploatacija i spuštavanje podzemnih nivoa u zonu filtera uslovljava mešanje kiseonika iz gornjeg ovazušenog bezvodnog dela izdani sa anoksičnim podzemnim vodama bogatim dvovalentnim mobilnim gvožđem i manganom.

Analize taloga takođe ukazuju na mešanje redoks zona. Applin and Zhao (1989.) napominju da u izdanima sa slobodnim nivoom u aluvijonima, gornji slojevi izdanske zone najverovatnije sadrže rastvoreni kiseonik koji u izdan dolazi putem atmosferskih padavina ili difuznim kretanjem kiseonika kroz nezasićenu zonu. Veoma slična razmišljanja navodi i Beek (2010.) koji objašnjava ovaj proces kroz promenu redoks uslova usled spuštavanja nivoa odnosno formiranja depresionog levka oko bunara.

#### 5. ZAKLJUČAK

Pojava mešavine oksidnih i anoksičnih uslova je izrazito nepovoljna, jer je praćena brzom oksidacijom pre svega dvovalentnog gvožđa. Kada redoks front nastaje u samom filtru bunara u bunarima će dolaziti do brzog obaranja dvovalentnog gvožđa iz vode i formiranje nerastvornih taloga. U uslovima povišenih koncentracija kiseonika, metal oksidišuće bakterije nisu u mogućnosti da se za izvore hrane i energije bore sa hemijskom oksidacijom. Hemijsko taloženje preuzima primarnu ulogu u formiranju nerastvornog gvožđe oksihidroksida koji začepљуje otvore filtra. Ove pojave su u svetu zabeležene usled nadeksploatacije izdani i označene su kao izuzetno rizične za pojavlju začepljenja bunarskih filtera. (Applin and Zhao, 1989).

Monitoring nivoa podzemnih voda i hemijskog sastava neophodno je nastaviti u budućem periodu kako bi se pratio režim podzemnih voda. Naročita pažnja treba da se usmeri na praćenje koncentracije kiseonika, nitrata, ukupnog i dvovalentnog gvožđa, mangana, sulfata i sulfida, redoks potencijala i bakterijskog sastava. Monitoring je neophodan i za pravilno upravljanje radom i razvojem izvorišta, kao i određivanje optimalnog načina regeneracije i održavanja eksploatacionih objekata.

Izvršene regeneracije na bunarima Trnovča imaju kratkotrajne efekte, ali su neophodne za funkcionisanje objekata. U budućem radu svakako treba dati odgovor na pitanje koje metode regeneracije i u kom periodu (treba) primeniti da bi efekti bili što dugotrajniji.

#### ZAHVALNOST

Publikovani rad je rezultat projekta TR37014 – „Metodologija ocene, projektovanja i održavanja izvorišta podzemnih voda u aluvijalnim sredinama u zavisnosti od stepena aerobnosti“ koji finansira Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije

#### LITERATURA

- [1] Appelo C.A.J and D. Postma: *Geochemistry, groundwater and pollution*. Balkema, Rotterdam, 2nd ed. , 2005
- [2] Applin R. K and N. Zhao: The kinetics of Fe(II) oxidation and well screen encrustation, *Ground water* 27, No 4, 168-174., 1989
- [3] Vann Beek C.G.E.M: *Caouse and prevention of clogging of wells abstractiong groundwaters from unconsolidated aquifers*, ISBN 978-90-74741-93-4, 2010.
- [4] Chapelle, H. F., Bradley P.M., Thomas, M.A., and McMahon, P.B.: Distinguish iron-reducing from sulfate reducing conditions in groundwater systems; *Ground Water* Vol.47, No.2, p. 300-305,2009.
- [5] Dimkić M., Pušić M., Majkić-Dursun B., Obradović V.: *Certain Implications of Oxidic Conditions in Alluvial Groundwater*, *Journal of Serbian Water Pollution Control Society „Water Research and Management“*, ISSN 2217-5237, Vol. 1, No. 2, p. 27-43,2011.
- [6] Dimkić M. i M.Pušić: Preporuke za projektovanje bunara uzevši u obzir kolmiranje gvožđem na osnovu iskustva sa Beogradskog izvorišta, *Građevinski kalendar*, str 430-496, Beograd, 2008.
- [7] Dragišić V.: *Opšta hidrogeologija*, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 1997.
- [8] Grupa autora: *Starenje bunara i održavanje objekata*, Ministarstvo poljoprivrede, trgovine, šumarstva i vodoprivrede, Republička direkcija za vode, fondovska dokumentacija Instituta za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, 2008-2012.
- [9] Grupa autora: *Metodologija ocene projektovanja i održavanja izvorišta podzemnih voda u aluvijalnim sredinama u zavisnosti od stepena aerobnosti*, projekat TR37014, Realizatori: Institut „Jaroslav Černi“, Rudarsko-geološki fakultet, BIOIRC, Poljoprivredni fakultet i Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije, 2011-
- [10] Jurgens B. C., McMahon P. B., Chapelle F. H. and S. M. Eberts: *An Excel Workbook for Identifying Redox Processes in Ground Water*, USGS, 2010.
- [11] Houben, G.: Iron oxide incrustations in wells— Part 1:Genesis, mineralogy and geochemistry. *Applied Geochemistry* 18, no. 6: 927-939., 2003.
- [12] Houben G. and C. Treskatis: *Water Well Rehabilitation and Reconstruction*, ISBN -13: 978-0-07-148651-4, The McGraw-Hill Companies, p 391, 2007.
- [13] McMahon, P.B and F.H Chapelle: Redox processes and water quality of selected principal aquifer systems, *Ground Water* , Vol.46 No.2, p 259-271, 2008.
- [14] Majkić-Dursun B., Radanović J., Vojt P.: Measurement of Characteristic Parameters of Wells Related With Its Aging, 1<sup>st</sup> Danube - Black Sea Regional Young Water Professionals Conference „Innovations in the Field of Water Supply, Sanitation and Water Quality“, 14-15 June 2011, Bucharest, Romania, str. 20-26,2011.
- [15] Obradović V., Majkić – Dursun B., Petković A. i M.Dimkić: Prilog poznavanju prirode okera i pridruženih taloga u bunarima, *Zbornik radova „VODA 2012“*, Zlatibor, 2012.
- [16] Reed S.J.B: *Electron microprobe analyses and Scanning electron microscopy in Geology*, Cambridge University Press, UK, 2005.
- [17] Stumm W. And J.Morgan: *Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters*, John Wiley and Sons, Itc. 3rd Ed., 1996.

## EFFECTS OF GROUNDWATER LEVEL DECLINING ON WELL AGEING PROCESSES AT „TRNOVČE“ WATER SUPPLY SOURCE

by

Brankica MAJKIĆ-DURSUN, Institute for the development of water resources „Jaroslav Černi“ Belgrade  
Ljiljana POPOVIĆ, Geological Institute of Serbia, Belgrade  
Dušan MIOLSKI, PWC „Vodovod“, Smederevska Palanka  
Oliver ANĐELKOVIĆ, Institute for the development of water resources „Jaroslav Černi“ Belgrade

### Summary

Groundwater exploitation from alluvial sediments is often accompanied with a number of problems related to the decrease in initial wells capacity. Declining of groundwater levels during exploitation, may cause changes in chemical and microbiological composition which directly impact well ageing process. Mixing of waters with differing hydrochemical conditions, the penetration of oxygen to the anoxic water carrying dissolved iron and manganese, affecting the appearance redox front inside the well. These cases lead to the rapid formation of mineral deposits on the well screens, as well speed up the aging process.

The regional water supply source of Trnovče was developed to provide water supply to the cities of Smederevska Palanka and Velika Plana. The aggregate

capacity of the 20 wells comprising the source is 100-120 l/s. However, in 2010 and 2011 the capacity of the source was only 80-100 l/s because of a number of problems associated with well operation.

In the 2010-2011 period, monitoring of groundwater level and chemical composition variations in the production wells and piezometers was intensified. Results show that there is a general groundwater level decline across the water supply source, with the lowering of both dynamic levels and even static levels (during hydrologically unfavorable periods) in the well screen zone.

Key words: water well ageing process, groundwater regime, water supply source „Trnovče“

Redigovano 12.09.2012.