

Efekti regeneracije bunara na primeru Grabovičkog polja kod Kladova

IVANA J. CVEJIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

VESELIN S. DRAGIŠIĆ Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

VLADIMIR J. ŽIVANOVIĆ Univerzitet u Beogradu,

Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

TIJANA Z. VINČIĆ, BeoGeoAqua, Beograd

Stručni rad

UDC: 556.33:551.78(497.11)

628.112:556.332.2.04(497.11)

DOI: 10.5937/tehnika2204431C

Na mnogim izvorištima podzemnih voda javljaju se problemi smanjenja eksploatacionog kapaciteta kao posledica starenja bunara. Bunar tokom vremena menja svoje performanse, bilo da je u eksploataciji ili van radnog procesa. Na njegovo starenje utiče veliki broj faktora. Kao posledice javljaju se ekonomski, privredni i socijalni problemi. Regeneracija bunara je u praksi pokazala najbolje efekte za rešavanje ovih pitanja.

Na prostoru Kladovskog ključa u priobalju Dunava koristi se drenažni sistem bunara za odbranu od visokih vodostaja. Prilikom provere stanja bunara utvrđeni su produkti koji utiču na starenje bunara, pri čemu se pristupilo regeneraciji bunara hemijsko-hidrauličkom metodom. U radu su prikazani postupci regeneracije bunara, kao i dobijeni pozitivni efekti primenjene metode sagledani kroz ostvarene rezultate.

Ključne reči: regeneracija, starenje bunara, drenažni sistem bunara, Grabovičko polje

1. UVOD

Potreba za izvođenjem regeneracije, obično se javlja u trenutku kada dođe do smanjenja njegovog eksploatacionog kapaciteta, praćenog opadanjem nivoa i povećanjem depresije nivoa, za približno konstantan kapacitet bunara.

Ovaj proces degradacije kvaliteta bunara u stručnoj praksi poznat je kao starenje bunara. Ono je najčešće posledica niza pojedinačnih ili udruženih procesa, koji se mogu podvesti pod koroziju metalnih konstrukcija bunara, mehaničko, hemijsko i biohemijsko kolmiranje vodoprijemnog dela, što dovodi do smanjenja njegove propusne moći.

Nepovoljan hemijski i mikrobiološki sastav podzemnih voda, neadekvatno projektovana i izvedena ugradnja bunarskih konstrukcija, kao i nepoštovanje režima rada bunara, glavni su faktori koji utiču na aktiviranje ili intenziviranje procesa starenja bunara.

Mehaničkim kolmiranjem dolazi do zapunjavanja pornog prostora prifilterske zone bunara i začeppljavanja otvora na situ sitnozrnim materijalom iznetim iz vodonosne sredine u uslovima crpenja vode, a hemijskim kolmiranjem do istaložavanja soli (najčešće karbonati i oksidi gvožđa i mangana) iz podzemnih voda na filterskoj konstrukciji (inkrustacija) i u prifilterskoj zoni bunara (enkrustacija).

Jedan od najčešćih uzroka starenja bunara, posebno u aluvijalnim sredinama je biohemijsko kolmiranje kao posledica razvoja bakterija (najčešće gvoždevitih) i produkata njihovog metabolizma u porama prifilterske zone vodozahvata i na otvorima filterske konstrukcije, a neretko i u unutrašnjosti filtra [1]. Kao rezultat razvoja bakterija stvara se sluzav produkt poznat kao biofilm, koji smanjuje propusnu moć filterske konstrukcije [2, 3, 4].

Zavisno od tipa kolmatanata, za njihovo uklanjanje iz vodoprijemnih konstrukcija i uopšte iz bunara, primenjuju se tretmani različitim hemijskim jedinjenjima kao što su hlorovodonična, sulfaminska, fosforna i organske kiseline (hidrosirćetne, sirćetne i limunske). Često se regeneracija bunara kiselinama izvodi u kombinaciji sa fizičkom ili hidrauličkom metodom regeneracije [3, 5, 6].

Adresa autora: Ivana Cvejić, Univerzitet u Beogradu,
Rudarsko-geološki fakultet Beograd, Dušina 7

e-mail: ivana.cvejic@rgf.rs

Rad primljen: 06.05.2022.

Rad prihvaćen: 09.08.2022.

Na primeru drenažnih bunara na prostoru Grabovičkog polja kod Kladova, koji su u funkciji zaštite priobalja od visokih nivoa podzemnih voda izazvanih formiranjem akumulacije „Đerdap 2“, prikazana je metodologija regeneracija grupe bunara, čiji je eksploatacioni kapacitet bio značajno umanjen usled procesa starenja. Pored provere stanja bunara i sprovođenja regeneracije u radu je prikazana i analiza efikasnosti primene hemijsko-hidrauličkog postupka regeneracije.

2. OPIS METODE

Regeneracija bunara predstavlja proces primene mehaničkog, hidrauličkog ili hemijskog tretmana vodoprijemne (filterske) konstrukcije i prifilterske zone bunara, radi odstranjivanja naslaga mehaničkog, hemijskog ili biohemijskog porekla. Njenim izvođenjem moguće je sprečiti stvaranje velikih ekonomskih, socijalnih i privrednih problema [3]. Pre započinjanja procesa regeneracije, neophodno je utvrditi prethodno stanje bunara u cilju odabira adekvatnog postupka za njenu realizaciju. Da bi se stekao uvid u stanje filterske konstrukcije, prethodno treba utvrditi prohodnost i snimiti unutrašnjost eksploatacionog bunara video kamerom. Takođe, potrebno je prikupiti i podatke o materijalima od kojih je formirana bunarska konstrukcija, tipu bunarskog zasipa, kapacitetu i režimu rada bunara, kao i hemijskom i mikrobiološkom sastavu podzemnih voda [5,7].

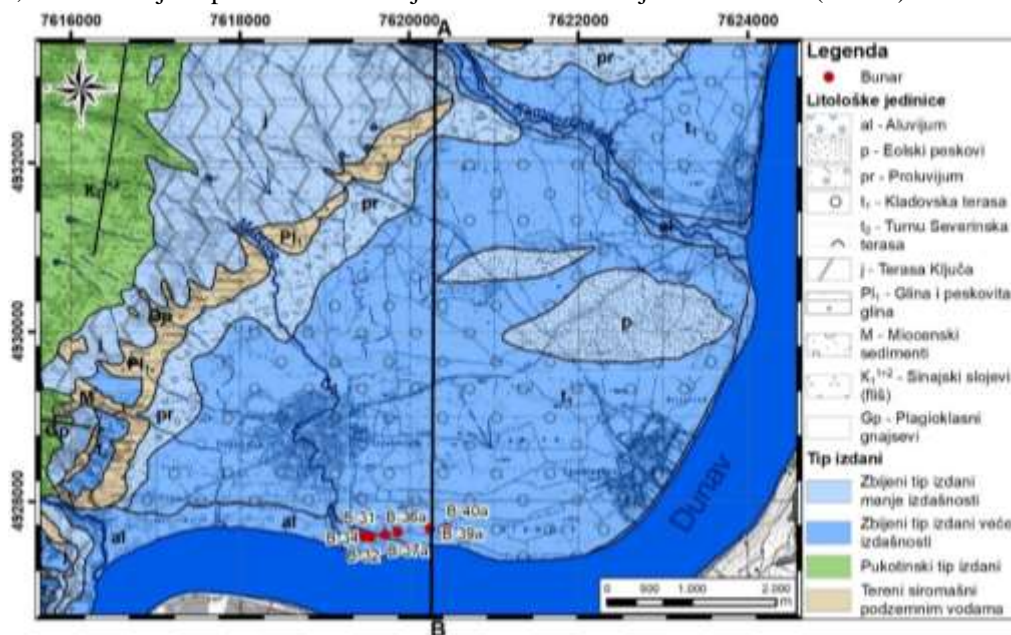
Sledeći korak predstavlja neposredni proces regeneracije uz primenu hemijskog tretmana zasnovanog na upotrebi hemijskih jedinjenja koja razaraju i razlažu kolmatante, odnosno koja ih prevode u rastvorljive soli

i druga hemijska jedinjenja, koja se lako odstranjuju iz bunara ispiranjem i crpenjem vode. Ova jedinjenja ne smeju negativno da utiču na bunarsku konstrukciju i formiranje novih sekundarnih taloga u procesu regeneracije. Za razliku od hemijskih, primena fizičkih metoda regeneracije podrazumeva mehaničko uklanjanje produkata kolmatacije iz prifilterske zone. U konkretnom slučaju, za regeneraciju drenažnih bunara u Grabovičkom polju, primenjena je hemijsko-hidraulička metoda, sa ciljem smanjenja parazitskih gubitaka i povećanja njihovog eksploatacionog kapaciteta [7].

Utvrđivanje efikasnosti izvedene regeneracije vrši se upoređivanjem rezultata opita crpenja pre i nakon izvršene regeneracije. Pored veličine specifične izdašnosti q ($l/s/m'$), na uspešnost procesa regeneracije ukazuju i veličina dopunskih (parazitskih) gubitaka, odnosno veličina koeficijenata hidrauličkih gubitaka linearnog i kvadratnog karaktera u filterskoj i prifilterskoj zoni bunara [8].

3. OPIS PODRUČJA

Grabovičko polje kao istražni prostor, nalazi se u istočnoj Srbiji na desnoj obali Dunava, neposredno po izlasku iz Kladovskog Ključa. Ime je dobilo po selu Grabovica u blizini Kladova, koje leži na prvoj dunavskoj terasi, poznatoj kao Kladovska terasa. U pitanju je ravničarski teren sa nadmorskim visinama manjim od 40 m, nastao u rezultatu akumulacije velikih količina peskovito-šljunkovitog materijala. Istočnu granicu polja čini reka Dunav, a zapadnu, brdski tereni istočnih padina Miroča izgrađeni od prekambrijumskih i mezozojskih tvorevina (slika 1).



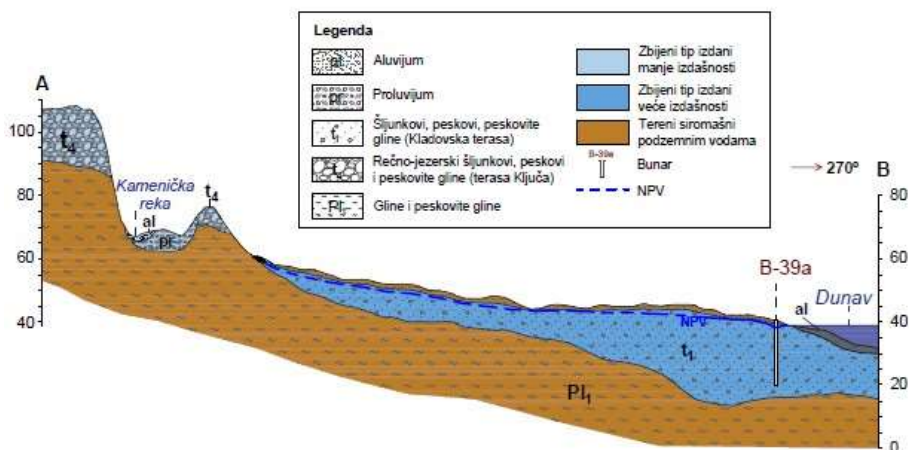
Slika 1 - Šematska geološko-hidrogeološka karta Grabovičkog polja [11]

Pored Kladovske - t_1 koja ima najveće rasprostranjenje, u ovom delu istočne Srbije, prisutne su i

druge rečne i jezersko-rečne terase, od kojih su najbolje sačuvane Turnu Severinska - t_2 i rečno-

jezerska terasa Ključa – j [9, 10]. Mladi recentni nanosi Dunava - al potopljeni su formiranjem akumulacionog jezera „Đerdap 2“. Kladovska terasa u kojoj je formirana izdan zbijenog odnosno intergranularnog tipa (sika 2). Karakteriše se dvoslojevitom građom, pri čemu sedimente facije korita izgrađuju heterogene peskovito-šljunkovite naslage debljine 10 do 25 m dobrih filtracionih karakteristika ($K=2,0 \cdot 10^{-5}$ do $1,0 \cdot 10^{-3}$ m/s), koje leže

preko vodonepropusnih pontskih gline [12, 13]. Debljina vodosnih peskovito-šljunkoviti naslaga smanjuje se prema zapadu. Povlatni sloj izgrađen je od prašinih peskova sa debljinom od 4 do 8 m, slabih filtracionih karakteristika ($K=9,0 \cdot 10^{-8}$ do $3,6 \cdot 10^{-3}$ m/s). Izdan Kladovske terase u Grabovičkom polju je u direktnoj hidrauličkoj vezi sa Dunavom. Ova veza je posebno pospešena formiranjem akumulacionog jezera „Đerdap 2“ [14, 15].



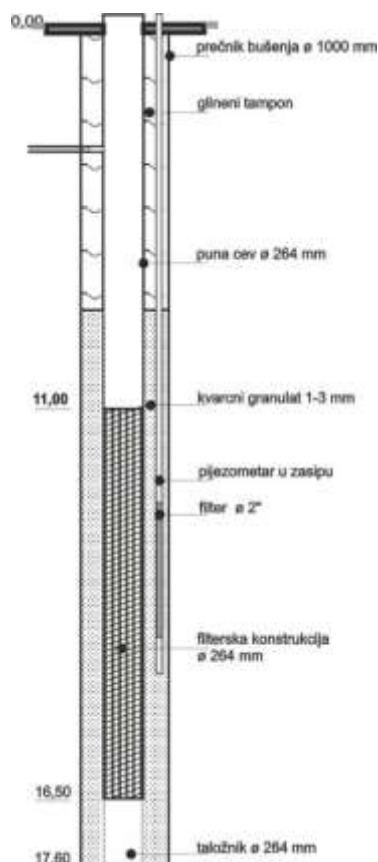
Slika 2 - Šematski hidrogeološki profil kroz izdan Kladovske terase u Grabovičkom polju

4. PRIMENA METODE

Regeneracija drenažnih bunara u Grabovičkom polju vršena je u tri faze. U prvoj fazi izvedeni su pripremni radovi koji su obuhvatali snimanje bunara video kamerom radi utvrđivanja prohodnosti bunarskih konstrukcija i položaja filtera (slika 3). Potom je izvedeno testiranje bunara metodom „step-testa“ sa tri različita kapaciteta u trajanju od po 3h. Nakon sprovedenih prethodnih postupaka i izvršene analize stanja bunara pristupilo se regeneraciji, u konkretnom slučaju primenom hemijsko-hidrauličkog tretmana filterskih konstrukcija [7].

Fizičko-hemijski tretman bunarskih konstrukcija vršen je primenom reagenasa za razaranje ferihidroksida i organogeno-mineralnog gela, u vremenskim zastojima od pola sata. Hemijski tretman bunara vršen je injektiranjem kiseline putem tzv. hemijske pumpe. U bunar je utiskivan 2,5 % rastvor limunske kiseline kojim se uspešno razgrađuju hidroksidi i karbonati gvožđa, karbonati kalcijuma i magnezijuma itd.

Da bi se sprečilo agresivno dejstvo na bunarsku konstrukciju, korišćeni su inhibitori, a zatim se pristupilo ispiranju bunarske konstrukcije u cilju iznošenja istaloženih čestica nastalih kao posledica reakcije hemijskih preparata sa kolmirajućim i inkrustacionim materijama. Postupak je ponavljan uz dodavanje jedinjenja iz grupe polifosfata.



Slika 3 - Tipska konstrukcija drenažnih bunara u Grabovičkom polju

Nakon hemijskog, pristupilo se hidrauličkom tretmanu kako bi se dodatno pospešila razgradnja produkata inkrustacije i mehaničkog kolmiranja. Hidraulički tretman predstavlja čišćenje, tj. „rastresanje“ prifilterske zone hidrodinamičkim putem promenom pritiska u bunarskoj cevi, što dovodi do pojave hidrauličkih udara. To za posledicu ima pokretanje najsitnijih čestica oko filterskog dela i njihovo iznošenje ispiranjem.

Po završenom procesu regeneracije pristupilo se ponovnom „Step-testu“ crpenja vode iz bunara, kako bi se sagledali efekti regeneracije predmetnih bunara. Utvrđivanje efekata po završenoj regeneraciji vrši se obradom podataka opita crpenja vode iz bunara. Podaci su grafoanalitički obrađivani po metodi $S/Q = f(Q)$, uz definisanje neophodnih hidrauličkih parametara koji određuju kvalitet izvedene regeneracije.

5. REZULTATI

Značajno smanjenje eksploatacionog kapaciteta drenažnih bunara u Grabovičkom polju bio je povod za njihovu regeneraciju. Snimanjem eksploatacionih drenažnih bunara video kamerom (slika 4), u pojedinim bunarima je konstatovano prisustvo inkrustracionih produkata na filterskoj konstrukciji, kao i taloga na dnu svih sedam ispitivanih bunara.



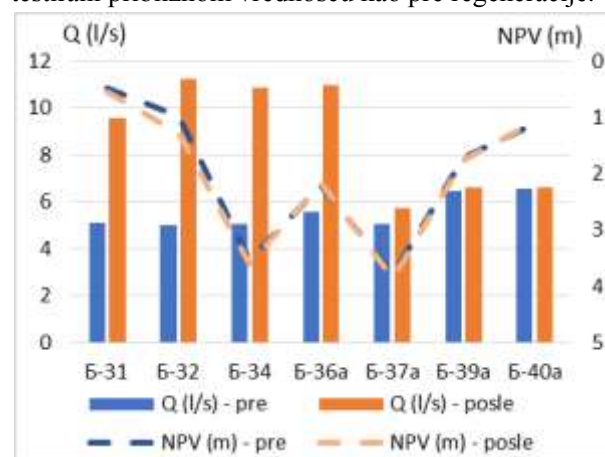
Slika 4 - Primer utvrđenog prisustva inkrustracionog produkta i taloga u bunaru 36a

Tabela 1. Prikaz vrednosti parametara hidrauličkih gubitaka pre i nakon regeneracije bunara i specifični kapacitet bunara

Bunar	Period	A (s/m ²)	B (s ² /m ⁵)	Q (l/s)	Ukupni gubici S (m)	q (l/s/m')	Povećanje q (%)
B-31	Pre	625	/	5,10	3,19	3,2	58
	Posle	398	/	9,57	3,80	3,8	
B-32	Pre.	594	13,12	5,01	3,03	3	82
	Posle	335	1,40	11,22	3,75	3,8	
B-34	Pre	20	13	5,03	0,11	0,7	44
	Posle	8,39	10	10,85	0,11	1,2	
B-36a	Pre	22,54	65	5,55	0,13	1,2	89
	Posle	1,82	54	10,97	0,03	0,8	

Na pet bunara (B-32, B-34, B-36a, B-37a i B-39a) nije bilo moguće snimiti celu dužinu filterskog intervala, zbog neprohodnosti prouzrokovane istaložavanjem velike količine taloga. Analizom video snimaka utvrđena je približno ista količina kolmatanta na svim bunarima. Inkrustracioni produkti se u većoj količini zapažaju na filterskim prorezima u odnosu na punu bunarsku cev.

Testiranje bunara izvedeno je kapacitetima od 5,0 do 6,1 l/s (slika 5). Nakon regeneracije bunara nivo je u svim bunarima bio niži do 7 cm, sem u bunaru B-32 gde je izmeren 30 cm niži statički nivo. Na bunarima B-31, B-32, B-34 i B-36a ostvaren je kapacitet od 9,6 do 11,2 l/s što je približno duplo veća vrednost u odnosu na početno stanje, dok su bunari B-39a i B-40a testirani približnom vrednošću kao pre regeneracije.

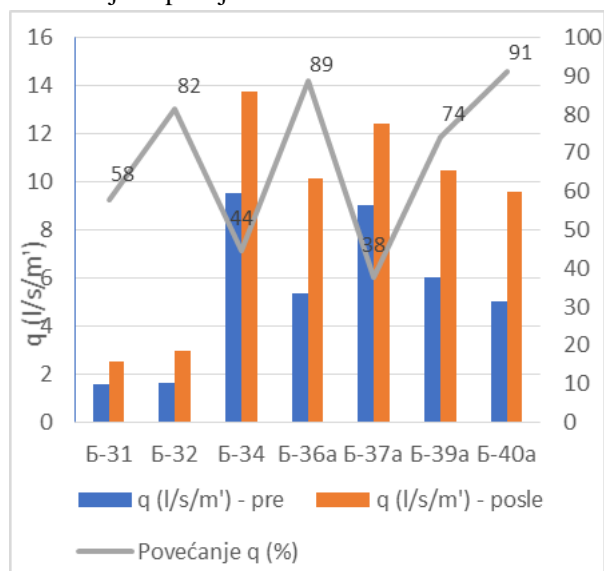


Slika 5 - Izmereni nivoi podzemnih voda i kapaciteti bunara pre i posle regeneracije drenažnih bunara

Efekti regeneracije drenažnih bunara sagledani kroz obradu podataka opita crpenja grafoanalitičkom metodom $S/Q=f(Q)$ i proračunom specifične izdašnosti bunara prikazani su u tabeli 1. Uspešnost primenjene metode iskazana je smanjenjem dopunskih parazitskih gubitaka na 4 bunara od 7 bunara (na bunaru B-34 ukupni gubici ostali nepromenjeni).

Bunar	Period	A (s/m ²)	B (s ² /m ⁵)	Q (l/s)	Ukupni gubici	S (m)	q (l/s/m')	Povećanje q (%)
B-37a	Pre	111	0,34	5,04	0,56	0,6	9,01	38
	Posle	45	6,94	5,70	0,26	0,5	12,40	
B-39a	Pre	185	/	6,46	1,19	1	6,02	74
	Posle	95	/	6,63	0,63	0,6	10,49	
B-40	Pre	210	/	6,56	1,38	1,3	5,01	91
	Posle	72	5,24	6,60	0,48	0,7	9,57	

Specifični kapacitet bunara (q) kao direktni pokazatelj uspešne regeneracije je na bunarima B-32, B-36a, B-39a i B-40a povećan je preko 70%, dok se na bunarima B-31, B-34 i B-37a beleži povećanje izdašnosti od 38-58% u odnosu na prethodno stanje (slika 6). Najbolji učinak regeneracije beleži se na bunaru B-36a gde su hidraulički gubici svedeni sa 0,13 na 0,03 pri čemu je specifični kapacitet povećan sa 5,38 na 10,15 l/s/m', odnosno ostvaren duplo veći kapacitet za 23% manju depresiju.



Slika 6 - Specifični kapacitet bunara pre i posle regeneracije

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata sprovedenih opita regeneracije drenažnih bunara koji kaptiraju izdan u peskovito-šljunkovitim nanosima Kladovske terase u Grabovičkom polju kod Kladova, dat je prikaz efekata njene primene. Nakon faze provere stanja drenažnih bunara (snimanje video kamerom i probno crpenje metodom step-testa), doneta je odluka da se pristupi njihovoj regeneraciji.

Regeneracija je izvedena primenom postupka hemijsko-hidrauličkog tretmana sa pratećom proverom efikasnosti sprovedenih postupaka. Rezultati opita crpenja „regenerisanih“ bunara pokazali su da je njihov ukupni kapacitet povećan sa 38,8 l/s na 65,5 l/s,

odnosno za 59 % što direktno utiče na produžavanje „životnog veka“ sistema bunara i određuje izvedenu metodu regeneracije kao adekvatnu i uspešnu.

Postupcima regeneracije drenažnih bunara u Grabovičkom polju postignuti su i značajni ekonomski efekti koji se ogledaju u uštedi troškova za izradu nove linije drenažnih bunara.

LITERATURA

- [1] Majkić B, *Starenje bunara u aluvijalnim sredinama različitog stepena oksičnosti* (doktorska disertacija), Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 2013.
- [2] Schnieders M. I, *Microbial Geography of the Well System*. Paper read at Groundwater Summit. National Ground Water Association, Denver, Colorado, USA, 2002.
- [3] Sterrett R. J, *Groundwater and Wells*, 3rd Edition, Johnson Division, New Brighton, 2007.
- [4] Polomčić D, *Izvorišta i zahvati podzemnih voda*. Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, 2021.
- [5] Driscoll F. G, *Groundwater and Wells*, 2nd Edition, Johnson Division, St. Paul, 2003.
- [6] Bruce Misstear, David Banks, Lewis Clark PhD, *Water Wells and Boreholes*, John Wiley & Sons, 413-447, 2006.
- [7] Vinčić T, Izveštaj o rezultatima regeneracije bunara na lokacijama Veliko Gradište, Grabovičko polje i Banatski Brestovac. BeoGeoAqua, Beograd (Nepublikovano), 2018.
- [8] Pušić M, Polomčić D, *Step-test (opitno crpenje iz bunara) koncepcija, realizacija, interpretacija*. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 1997.
- [9] Cvijić J, *Derdapske terase*, Glas, Srpske kraljevske akademije, knj. CI (43), Beograd, 1921.
- [10] Rakić M, *Geneza i stratigrafija kvartarnih sedimenata u slivu Južne i Zapadne Morave*. Rasprave zavoda za geološka i geofizička istraživanja, Vol. XVIII, 88 s, Beograd, 1977.

- [11] Bogdanović P, Marković D, Dragić D, Dolić D, Rakić M, Babović M, Rajčević D, Popović V, Milojević Lj, Osnovna geološka karta Donji Milanovac, Baja de Arama, Oršova, Turnu Severin, 1: 100 000, Savezni geološki zavod, 60 s, Beograd, 1980.
- [12] Dragišić V, Polomčić D, Prilog poznavanju hidrogeologije Kladovske terase u velikom Dunavskom Ključu. *Zapisnici Srpskog geološkog društva za 1992, 1993, 1994, 1995, 1996 i 1997*, 259-263, Beograd, 1998.
- [13] Polomčić D, Pušić M, Prilog poznavanju karakteristika Grabovičkog polja. *Vesnik, Serija A, B – Geologija*, knjiga 48, Hidrogeologija i Inženjerska geologija, 439-446, Beograd, 1998.
- [14] Dragišić V, Polomčić D, Hidrogeološke karakteristike kvartara Kladovskog Ključa, *Zbornik referata XI jugoslovenskog simpozijuma o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji*, 45-57, Budva, 1996.
- [15] Polomčić D, Dragišić V, Hidrogeološke karakteristike kvartarnih naslaga Dakijskog basena na području Srbije. *Zbornik radova „100 godina hidrogeologije u Jugoslaviji“*, 159-167, Beograd, 1997

SUMMARY

EFFECTS OF WELL REGENERATION ON THE EXAMPLE OF GRABOVIČKO POLJE NEAR KLADOVO

Many groundwater sources face a reduction in the exploitation capacity due to well aging. The well changes its performance over time, whether in operation or out of work. The well aging is influenced by many factors. Consequently, economic, business and social problems arise. Well regeneration has shown the best effects in practice to address these issues.

In the area of Kladovski Ključ on the banks of the Danube, a drainage system of wells is used to defend against high water levels. During the inspection of the wells, the products that affect the aging of the well were determined, and the regeneration of the wells was conducted using the chemical-hydraulic method. The paper presents the procedures of well regeneration and the obtained positive effects of the applied method seen through the achieved results.

Key Words: *regeneration, aging of wells, drainage system of wells, Grabovičko polje*