

SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE



**39. MEĐUNARODNI
STRUČNO-NAUPČNI SKUP**

**zbornik radova
VODOVOD I KANALIZACIJA '18**

Valjevo, 09 -12. oktobar 2018.

**CIP- Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије**

628.1/.3(082)

**МЕЂУНАРОДНИ стручно-научни скуп Водовод и
канализација (39 ; 2018 ; Ваљево)**

Zbornik radova / 39. Međunarodni stručno-naučni skup
Vodovod i kanalizacija '18, Valjevo, 09-12. oktobar 2018. ;
[organizator] Savez inženjera i tehničara Srbije ; [glavni i
odgovorni urednik Časlav Lačnjevac]. - Beograd : Savez
inženjera i tehničara Srbije, 2018 (Zemun : "Dunav"). - 332 str. :
ilustr. ; 24 cm

Radovi na više jezika. - Tekst lat. i ćir. - Tiraž 250. - Napomene i
bibliografske reference uz radove. - Bibliografija uz svaki rad. -
Abstracts.

ISBN 978-86-80067-39-1

1. Савез инжењера и техничара Србије (Београд)

- a) Водовод - Зборници
-) Канализација - Зборници
-) Отпадне воде - Зборници
- d) Водозахвати - Зборници

COBISS.SR-ID 268057356

SADRŽAJ

<i>Božo Dalmacija, Mile Klašnja, Jasmina Agbaba, Milena Bečelić Tomin, Aleksandra Tubić, Malcolm Watson, Srđan Rončević</i> Primena pilot istraživanja za projektovanje tehnologija pripreme vode za piće	13
<i>Rada Petrović, Veljko Đokić, Anđelika Bjelajac, Đorđe Janačković</i> Primena fotokalizatora na bazi TiO₂ za razgradnju organskih zagađujućih materija u vodi	25
<i>Aleksandra Tojčić</i> Regionalni višenamenski hidrosistem „Stubo-Rovni“	31
<i>Tanja Đukić, Branka Stanimirović, Branka Miholjčić</i> Uticaj kvaliteta sirove vode na način prerade i kvalitet prečišćene vode na postrojenjima u Valjevu	43
<i>Zorica Lopičić, Vladimir Stojimirović, Tatjana Šoštarić, Jelena Milojković, Marija Mihajlović, Jelena Petrović, Vladimir Adamović, Jelena Avdalović</i> Nitrati u vodnim resursima – iskustva i nove tehnike	51
<i>Zagorka Stević Gojkov</i> Ostvarivanje ciljeva naučno stručnih skupova u lokalnim zajednicama - održivi razvoj nauke	58
<i>Matej Čehovin, Alojz Medic</i> Unapređena oksidacija vode za piće – potencijali stvaranja nusproizvoda	66
<i>Marko Germ, Armin Adrović, Ludvik Mekuč</i> Priprema pitke vode metodom ultrafiltracije – izazovi i rješenja u praktičnoj primjeni	72
<i>Irena Štulić, Branka Miholjčić, Nataša Ranisavljević</i> Kvalitet sirove i prečišćene vode na PPV „Divčibare“	80
<i>Milivoje Nedović, Dragoslava Đuran, Ana Brdar, Ljilja Kurćubić, Jovana Stanojlović, Marija Nedić</i> Mikrobiološko-ekološki kvalitet vode akumulacionog jezera „Gruža“	87
<i>Mladen Popov, Marijana Kragulj Isakovski, Aleksandra Tubić, Nenad Grba, Maja Lončarski, Nikica Ivić, Jasmina Agbaba</i> Monitoring kvaliteta vode na postrojenju za pripremu vode za piće grada Novog Sada u toku 2017. godine	94

<i>Gordan Vrbanec</i>	
Monitoring izvorišta	100
<i>Jelena Petrović, Marija Mihajlović, Marija Petrović, Mirjana Stojanović, Marija Kojić, Marija Koprivica, Jelena Milojković</i>	
Hidročadi kao potencijalni adsorbensi različitih polutanata iz otpadnih voda	103
<i>Marija Petrović, Tatjana Šoštarić, Jelena Petrović, Marija Kojić, Marija Koprivica, Zorica Lopičić, Mirjana Stojanović</i>	
Lignocelulozna biomasa: obnovljivi i efikasan adsorbent organskih polutanata	110
<i>Aleksandar Tanasković</i>	
Istraživanja u oblasti postojećih pristupa optimizacije, kontrole i upravljanja procesima koagulacije upotrebom online uređaja	116
<i>Ivan Milojković, Ivana Romanović</i>	
Analiza varijantnih rešenja rekonstrukcije KCS „Železnička stanica“ metodom PROMETHEE	121
<i>Vladimir Stojadinović, Irena Grujić, Dušan Stojadinović</i>	
Najznačajniji hidrogeološki akviferi podzemnih voda za vodosnabdevanje stanovništva i industrije Srbije	127
<i>Devad Koldžo</i>	
Statistička procjena termina i vrijednosti minimalnih noćnih protoka u BiH i Crnoj Gori	134
<i>Vladimir Šaraba, Olivera Krunić, Vesna Obradović</i>	
Mikrobiološki diverzitet gorkih mineralnih voda Torde – AP Vojvodina, Srbija	140
<i>Jelena Bekonja-Milošević, Aleksandra Marinković-Radulović</i>	
Praćenje emisije zagađujućih materija u vodi za period 2013-2018. godina i njihov uticaj na recipijent	147
<i>Goran Gavrilović, Bojana Korica</i>	
Hemijski monitoring Akumulacije „Grošnica“ u periodu 2013-2018. godina	153
<i>Duro Radmilović, Branka Miholjčić, Ivana Bojičić</i>	
Interna i eksterna kontrola kvaliteta vode za piće u mreži JKP „Vodovod-Valjevo“ u periodu 1.08.2017. – 31.07.2018.	159
<i>Olivera Doklešić, Ljiljana Pasuljević, Dragan Vlatković</i>	
Smanjenje fizičkih gubitaka vode u sistemu snabdijevanja vodom Herceg Novog sa sanacijom kvarova – primjena PI-a	164

<i>Denisa Đorđević, Vladana Rajaković-Ognjanović</i>	
Kontinualno praćenje kvaliteta pitke vode na vodovodnoj mreži	171
<i>Zoran Dimitrijević</i>	
Merno-regulaciona mesta vodovodne mreže grada Kraljeva u funkciji optimizacije rada sistema.....	178
<i>Milan Đorđević</i>	
Primena blok tarifa u cilju destimulacije potrošnje vode	188
<i>Željka Ostojić, Uroš Topalović, Vladana Rajaković-Ognjanović, Strahinja Nikolić</i>	
Ekološki i socijalni aspekti dogradnje ili rekonstrukcije postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda	194
<i>Gordan Vrbaneć</i>	
Upravljanje sistemima kanalizacije – savremena softverska rešenja.....	203
<i>Nemanja Branislavljević, Zorica Marović, Maja Lojpur, Aleksandar Krstić, Andreas Koch, Malte Martin</i>	
Upravljanje podacima sistema komunalne infrastrukture.....	207
<i>Miroslav Milosavljević</i>	
Održavanje sanitarnih kanizacionih sistema u uslovima smanjenjih investicionih ulaganja	214
<i>Ivan Krstić, Gordana Krstić-Đorđević</i>	
Primer projektovanja aerisanog peskolova u postrojenjima za preradu otpadnih voda.....	220
<i>Stanko Stankov</i>	
Upravljanje neutralizacijom otpadnih voda u pogonu za toplo cinkovanje.....	226
<i>Nenad Konjević</i>	
Komparativna analiza rizika i benefita projekata iz oblasti prerade komunalnih otpadnih voda finansiranih od međunarodnih kreditnih institucija	235
<i>Vaso Novaković, Nikola Nikolić, Sanel Buljubašić, Aleksandar Tomić, Ranko Grujić</i>	
Rezultati izvedene fizičko-hemijske revitalizacije bunara B-7 na izvoristu vodovoda Opštine Srebrenik	242
<i>Jovana Mirosavljević, Miroslava Vučković</i>	
Monitoring i uticaj industrijskih otpadnih voda na beogradski kanizacioni sistem	252

<i>Aleksandar Došić, Dragana Tomašević Pilipović, Đurđa Kerkez, Miladin Gligorić, Slavko Smiljanić, Ljubica Vasiljević</i>	
Procjena dostupnosti toksičnih metala stabilizovane jalovine primjenom sekvencijalne ekstrakcije.....	259
<i>Vladimir Šaraba, Olivera Krunić, Vesna Obradović</i>	
Mikrobiološki diverzitet termomineralnih lekovitih voda Selters banje - Srbija	266
<i>Sofija Adžić</i>	
Novi institucionalni okvir za upravljanje vodnim resursima	274
<i>Veljko Đukić</i>	
Monitoring kvaliteta vode vodotoka Gradačnica	281
<i>Slavjanka Pejčinovska-Andonova, Dragica Čamovska</i>	
Enviromental Due Diligence for the Company „Ohis“ ad.....	287
<i>Erhan Mustafa, Kiril Lisichkov, Mirko Marinkovski, Stefan Kuvendziev, Zoran Božinovski, Katerina Atkovska, Shaban Jakupi</i>	
Qualitative and Quantitative Characterisation of the Wastewater for Airport Terminals	291
<i>Dragan Milićević</i>	
Projektovanje, izgradnja i održavanje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda manjih naselja	298
<i>Zoran Pendić, Sanja Polak, Bojana Jakovljević, Vladimir Milovanović, Časlav Lačnjevac, Ljiljana Jovanović, Marina Strižak, Olivera Ćosović</i>	
O Nacrtu Zakona o vodi za ljudsku upotrebu	307
<i>Đuro Radmilović, Branka Miholjčić, Ivana Bojičić</i>	
Kvalitet vode seoskih vodovoda datih na upravljanje JKP „Vodovod Valjevo“	319
<i>Dragan Marinović, Zoran Milićević, Zorka Jugović, Marina Stojanović, Dušanka Marinović</i>	
Lokalni vodni objekti grada Kraljeva i okoline.....	326

**РЕЗУЛТАТИ ИЗВЕДЕНЕ ФИЗИЧКО-ХЕМИЈСКЕ
РЕВИТАЛИЗАЦИЈЕ БУНАРА Б-7 НА ИЗВОРИШТУ ВОДОВОДА
ОПШТИНЕ СРЕБРЕНИК**

**RESULTS OF PERFORMED PHYSICAL-CHEMICAL
REVITALIZATION OF WELL B-7 ON THE WATER SOURCE OF
THE MUNICIPALITY OF SREBRENİK**

ВАСО НОВАКОВИЋ¹, НИКОЛА НИКОЛИЋ², САНЕЛ БУЉУБАШИЋ³,
АЛЕКСАНДАР ТОМИЋ⁴, РАНКО ГРУЈИЋ⁵

Резиме: Физичко-хемијска ревитализација бунара који се користе за водоснабдевање представља периодични поступак одржавања бунара. Том приликом се врши чишћење бунара, растварање и уклањање оксида, хидроксида и минералних соли са бунарске цевне конструкције и филтера, те уклањање ситнозрних честица песка и глине из филтерског засипа и прибунарске зоне. То за резултат има побољшање карактеристика старих бунара, повећање њиховог капацитета, бољег квалитета воде, смањених трошкова црпења у погледу енергије, ремонта и застоја. У раду су дати резултати испитивања и корелација хидрауличких параметара бунара пре и након извођења физичко-хемијске ревитализације бунара Б-7. Осим тога у раду су приказане и коришћене методе ревитализације и повећање капацитета бунара након изведених радова.

Кључне ријечи: физичко-хемијска ревитализација, бунар, подземна вода

Abstract: Physical-chemical revitalization of wells which are used for water supply is a periodical maintenance procedure for wells. On that occasion, the wells are cleaned, oxides, hydroxides and mineral salts from the well pipes and screen are dissolved and removed, as well as fine particles of sand and clay from the gravel pack and area around waterwall. This results in improving the characteristics of old wells, increasing their capacity, improving the quality of water, reducing pumping costs in terms of energy, overhaul and deadlock. This pa-

¹ Васо Новаковић, ДОО ИПИН Институт за примјењену геологију и водоинжењеринг, Видовданска 48, Бијељина, Босна и Херцеговина

² Никола Николић, ДОО ИПИН Институт за примјењену геологију и водоинжењеринг, Видовданска 48, Бијељина, Босна и Херцеговина

³ Санел Буљубашић, ЈП „Водовод и канализација Сребреник“ дд, Ослободилачке бригаде 221, Сребреник, Босна и Херцеговина

⁴ Александар Томић, ДОО ИПИН Институт за примјењену геологију и водоинжењеринг Видовданска 48, Бијељина, Босна и Херцеговина

⁵ Ранко Грујић, ДОО ИПИН Институт за примјењену геологију и водоинжењеринг, Бијељина

302данска 48, Бијељина, Босна и Херцеговина

per gives a brief presentation of testing results and the correlation of hydraulic parameters of the well before and after the physical-chemical revitalization of well B-7. Moreover, this paper shows the methods of revitalization and an increased capacity of well after the works.

Key words: physical-chemical revitalization, well, groundwater

1. Увод

Обзиром да подземна вода представља главни извор водоснабдевања, потребно је обезбедити њено несметано захватање. Један од главних начина захватања подземне воде представљају вертикално бушени бунари. Одржавање бунара је неопходно током његовог радног века, а представља комплексан процес.

За потребе водоснабдевања становништва Општине Сребреник формирано је извориште које се састоји од 3 бунара, док је у плану и извођење заменског бунара бунару Б-5.

Бунар Б-7 један је од изведених бунара поменутог изворишта за потребе водоснабдевања и налази се у насељу Бабуновићи Општини Сребреник (слика 1). Налази се у дворишту подручне школе у делу терена који је слабије насељен и на нижој надморској висини од терена који га окружује.



Слика 1. Географска позиција бунара Б-7

Бунар Б-7 је изведен 1987. године и представља бунар савршеног типа, односно захватио је комплетан аквифер кречњака на локацији на којој је изведен,

у чијој подини су стене дијабаз-ројне формације. Приликом бушења регистрована су два кавернозна интервала спрудних органогених кречњака и то на дубинама 24,5-71,0 и 90,0-133,0 m. У складу са добијеним резултатима бушења уграђени су мостићави филтери у интервалима од 30,0 до 53,0 m и 80,0 до 130,0 m. Након извођења бунара спроведена су тестирања бунара у два наврата, одмах по завршетку бунара у трајању од 72 сата, као и у сушном периоду у трајању од 240 сати.

Како је бунар изведен 1987. године и никад није вршена ревитализација бунара, за очекивати је да се на зидовима бунарске конструкције и филтера налази значајна количина наталожених супстанци, која између осталог утиче и на смањење капацитета бунара. Смањење издашности бунара током експлоатације је појава која се популарно назива „старење“ бунара. По правилу она се јавља као резултат једног од два процеса, или њиховом комбинацијом [1] [2]:

- Корозија
- Инкрустација.

Корозија представља феномен који је везан за филтерску конструкцију бунара (у неким случајевима и за бунарску конструкцију) и представља његову физичку деградацију [1], [2].

Инкрустација представља процес таложења соли и нерастворних материја. Процес инкрустације се дешава у прифилтерској зони или на самој филтерској конструкцији, и настаје као последица хемијског или биолошког колмирања. Осим ових процеса, током вишегодишњег црпења бунара долази до колмирања прибунарске зоне ситнозрним честицама које смањују филтрационе карактеристике филтерског шљунчаног засипа и аквифера у прибунарској зони.

Ревитализација бунара се препоручује сваких 2 до максимално 5 година и имајући у виду смањен капацитет бунара, јасно се намеће одговор да је потребно извршити физичко-хемијску ревитализацију бунара Б-7 у Сребренику. Пре саме ревитализације потребно је било извршити проверу стања бунара. Провера стања бунара пре извођења ревитализације извршена је снимањем унутрашњости бунара подводном бунарском камером и извођењем степ-теста. Након ревитализације сагледани су ефекти исте извођењем степ-тест бунара и дуготрајног тестирања бунара.

Циљ овог рада је да кроз сагледавање и упоређивање резултата пре и након извршене физичко-хемијске ревитализације сагледа ефекте ревитализације и покаже да је она неопходна да се изводи на сваком бунару за потребе његовог одржавања.

2. Методе истраживања

Аутори овог рада су извршили реинтерпретацију резултата тестирања из 1987. године када је бунар изведен, обраду података тестирања добијених 2018.

године пре и након ревитализације и утврдили стање у коме се бунар налазио када је био нов и стања пре ревитализације.

Ради дефинисања почетних хидрауличких параметара бунара из 1987. године извршена је кабинетска обрада доступних и одговарајућих података тестирања Б-7. Приликом обраде података срачунати су оптимални капацитети бунара по више критерија (дозвољено снижење нивоа подземне воде, оптимални капацитет према критерију критичних улазних брзина) и вредности бунарских губитака, односно дефинисана је једначина бунара.

Једначина бунара искоришћена за потребе дефинисања бунарских губитака има следећи облик [3] [6]:

$$s = AQ + BQ^2 \quad (1)$$

За потребе интерпретације резултата црпења коришћен је дијаграм $S=f(t)$, док је приликом прорачуна оптималног капацитета бунара коришћен метод графоаналитичке обраде података црпења у нестационарним условима. Коришћена је метода графоаналитичког решења основне једначине подземног тока по Theiss-у, односно прилагођена метода Jacob-a: $S = f(\log t)$ [6], [7].

При том су кориштени и следећи обрасци за потребе прорачуна хидрогеолошких параметара водоносне средине, који су употребљени за потребе прорачуна оптималног капацитета са аспекта критичних улазних брзина:

$$T = \frac{0,183 \times Q}{dS} \quad u$$
$$k = \frac{T}{m} \quad (2)$$

где је:

T – трансмисивитет (m^2/s),

Q - капацитет црпења (m^3/s),

dS - прираст снижења (m),

m - дебљина водоносног слоја (m),

k - коефицијент филтрације (m/s).

Пре извођења физичко-хемијске ревитализације бунара, ради утврђивања стања у коме се бунар налази 2018. године, извршено је снимање унутрашњости бунара подводном бунарском камером. По снимању бунара извршен је краткотрајни степ-тест бунара (3 x 2 сата) и дуготрајно тестирање бунара у трајању од 80 сати.

По завршетку спроведених истражних радова изведена је физичко-хемијска ревитализација бунара. Процес физичко-хемијске ревитализације реализован је применом стандардних радова. Радови су обухватили испирање бунара аерлифтом и изношење талоба из бунара са пратећим теренским мерењима садржаја песка и мутноће, процес испирања прифилтерске зоне аерлифтом са секционим испирачем од дна до врха филтера. Након механичке

ревитализације извршено је ињектирање под притиском 8% раствора натријум-триполифосфата и 5% раствора хлороводоничне киселине под притиском и остављено 12 сати ради реакције [4].

Након хемијског третмана извршено је испирање бунара аерлифтом уз неутрализацију исцрпеног раствора из бунара. Током испирања бунара вршено је и праћење садржаја фосфата.

Након спроведене физичко-хемијске ревитализације бунара извршен је нови степ-тест бунара, са пратећом обрадом података која подразумева исте методе као и приликом тестирања пре ревитализације. Поред степ-теста бунара извршено је и дуготрајно тестирање бунара за потребе одређивање оптималног капацитета.

3. Резултати и дискусија

Обрадом података тестирања за примењене капацитете црпења бунара од 12,2 и 18,2 l/s из 1987. године добијена је следеће бунарска једначина:

$$S = 1.114,75 Q + 8.868,58 Q^2 \quad (3)$$

На основу изведених прорачуна, користећи податке тестирања у време када је бунар Б-7 изведен, а за потребе дефинисања стања у коме се бунар тада налазио (када је био нов), јасно се види да је вредност паразитских губитака В 8868,58. Вредност паразитских губитака је показатељ да је бунар квалитетно изведен и добрих карактеристика са малим квадратним одн. „паразитским“ хидрауличким губицима.

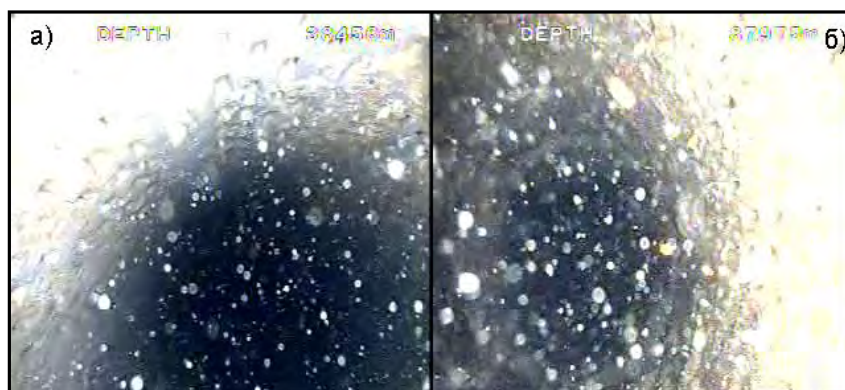
Обрадом података дуготрајног тестирања бунара из 1987. године срачунати су и хидрогеолошки параметри водоносне средине. Коефицијент филтрације који је накнадно искоришћен за прорачун оптималног капацитета бунара са аспекта критичних улазних брзина износи $k = 2,75 \times 10^{-5}$ m/s. Оптимални капацитет бунара са аспекта критичних улазних брзина је највише ограничен са аспекта задовољавања филтрационе стабилности бунара на 21,5 l/s.

Поред коефицијента филтрације и оптималног капацитета са аспекта критичних улазних брзина, подаци добијени тестирањем су искоришћени за прорачун специфичног капацитета те 1987. године, када је бунар био нов и исти је 0,486 l/s/m'. При дозвољеном снижењу од 42,83 m оптимални капацитет бунара Б-7 је био 21 l/s рачунајући на период експлоатације од 25 година.

Приликом снимања унутрашњости бунарске конструкције утврђено је да на зидовима бунарске конструкције, а посебно на спојевима цеви, јавља инкрустација минералних соли.

На основу снимка види се да је уграђена филтерска конструкција у интервалу дубине снимка од 30 m до 54 m и од 80 до 130 m, с тим да и цев таложника на дубини испод 130 m тј. до талога у бунару има приметне слотове (слотирани филтер), иако је према литературним подацима филтер уграђен само до дубине 130 m.

На снимку је приметно да је горњи интервал филтера (слика 2а) у бољем стању од доњег (слика 2б), односно на филтерима у горњем делу конструкције је наталожено мање минералних соли него на доњем.



Слика 2. Приказ стања филтера приликом снимања бунара подводном бунарском камером

Након снимања бунара подводном бунарском камером извршен је краткотрајни степ-тест бунара чијом обрадом података је утврђена величина бунарских губитака и једначина бунара. Једначина бунара пре извођења ревитализације, а на основу обраде података тестирања има облик:

$$S = 1.676,85 Q + 114.848,62 Q^2 \quad (4)$$

Из једначине се јасно види да су квадратни бунарски губици бунара Б-7 (који приказују његово тренутно стање, тј. степен колмирања прибунарске зоне и инкрустације на отворима филтера и у засипу бунара) значајно порасли тј. скоро за 13 пута у односу на губитке из 1987. године када су износили до 8868,58.

Поред једначине бунара извршен је прорачун оптималног капацитета истог. Помоћу дијаграма $S = f(\log t)$ дата прогнозна вредност снижења нивоа подземне воде за период од 25 година и срачунат је специфични капацитет бунара, чија је вредност:

$$q = 12,70 : 68,63 = 0,185 \text{ l/s/m}' \quad (5)$$

Као што видимо специфични капацитет је пао за око 2,6 пута у односу на специфични капацитета бунара Б-7 у време када је бунар био нов тј. 1987. год.

Према параметру специфичног капацитета израчунатог на основу прогнозног снижења након 25 година црепања, оптимални капацитет бунара Б-7 рачунат на једну трећину дозвољеног снижења у појединачном раду у датим хидролошким условима (март 2018. г.) је:

$$Q = q \times Cnp = 0,185 \times 42,83 \text{ m} = 7,92 \text{ l/s} \approx 8 \text{ l/s} \quad (6)$$

По завршетку степ-теста бунара, вентил је одврнут до краја и настављено је дуготрајно тестирање бунара. По отварању вентила на максимум (пумпа је

почела да црпи воду капацитетом око 24 l/s, да би се након мање од 5 минута капацитет смањило на око 14 l/s).

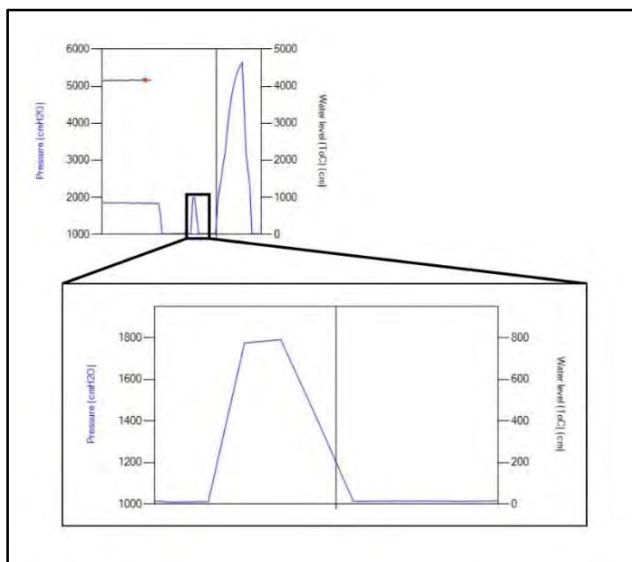
На наредној слици дат је дијаграм из којег се види да је дајвер, који је спуштен на дубину од 51,23 m, остао на сувом и да је ниво подземне воде брзо опао испод њега због прецрпљивања бунара односно одмах након поновног отварања вентила по завршетку степ-теста. Након нешто мање од 5 минута од отварања вентила на максимум долази до искључења пумпе у трајању од око 20 минута, што се манифестује на графику повратом нивоа подземне воде (горњи дио слике). Након 20 минута и поврата нивоа, пумпа је поново почела са радом.

Са слике се види пад притиска воденог стуба изнад дајвера, односно пад ниво подземне воде. У тренутку када је линија графика постала хоризонтална у том тренутку је дајвер остао на сувом.

Након максималног отварања вентила, а по опадању капацитета на око 14 l/s дошло до повлачења ваздуха са водом, тј. ниво подземне воде је очигледно опао до усисне корпе пумпе и заједно са водом повлачи и ваздух.

Након тога, у наредна 4 дана током црпења уграђеном пумпом, ниво воде је падао испод сонде што се манифестовало честим гашењем пумпе.

Из ових резултата се дошло до закључка да је извођење физичко-хемијске ревитализације бунара неопходно. По извршеној физичко-хемијској ревитализацији бунара извршена је провера успешности исте и тестирања на бунару.



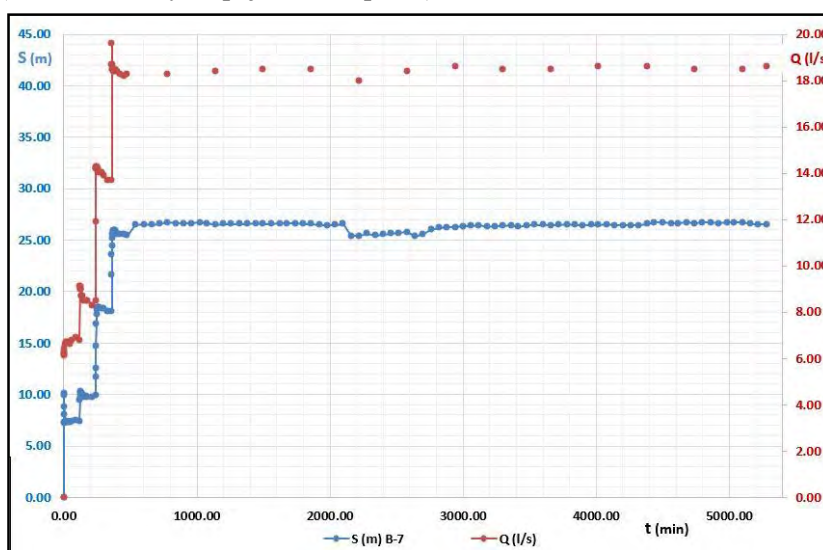
Слика 3. График осматрања нивоа подземне воде добијен са дајвера

Степ-тест бунара изведен је применом 4 различита капацитета у трајању од по два сата. Обрадом података тестирања и прорачуном бунарских губитака за трећи и четврти капацитет црпења, добијена је следећа бунарска једначина:

$$S = 1.110,79 Q + 15.355,52 Q^2 \quad (7)$$

Из добијених вредности види се да су квадратни бунарски губици бунара Б-7 значајно опали, чак око 8 пута у односу на добијене податке пре ревитализације бунара, што указује на велику ефикасност извршене ревитализације.

Након краткотрајног степ-теста, приступило се извођењу дуготрајног тестирања бунара. Бунар је тестиран просечним капацитетом од 18,5 l/s у периоду од 27.4. до 30.4.2018. године. Како је настављено тестирања без прекида, на наредној слици дат је приказ дијаграма $S=f(t)$ за комплетан период тестирања (степ-тест и дуготрајно тестирање).



Слика 4. Дијаграм $S=f(t)$ тестирања бунара Б-7 у Сребренику у периоду 27-30.4.2018. године

Са претходног дијаграма се види да је ниво подземне воде након престанка степ-теста и почетка дуготрајног тестирања прилично уједначен, односно да постоје мање осцилације у зависности од капацитета црпења.

Подаци тестирања искоришћени су и за израду графика $S=f(\log t)$ помоћу кога су одређени оптимални капацитет бунара са аспекта дозвољеног снижења. На наредној слици дат је график $S=f(\log t)$.

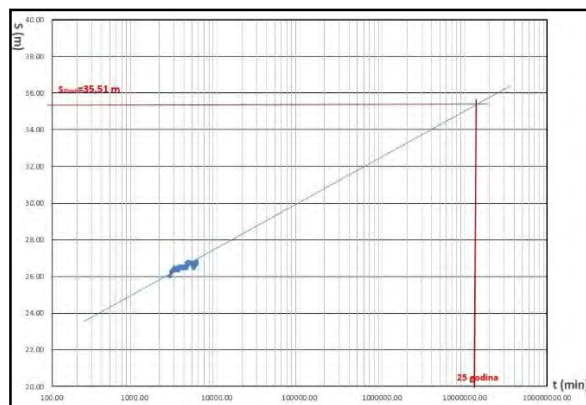
Са графика се види да је пројектовано снижење при капацитету црпења од 18,5 l/s за период експлоатације од 25 година 35,51 m. Самим тим добијамо специфични капацитет бунара након ревитализације:

$$q = 18,5 \text{ l/s} : 35,51 \text{ m} = 0,52 \text{ l/s/m}' \quad (8)$$

Ако упоредимо специфични капацитет након изведене ревитализације од $q=0,52 \text{ l/s/m}'$ видимо да је он ревитализацијом бунара повећан за око 2,8 пута у односу на период пре ревитализације када је био $q=0,185$, а нешто мало већи и од вредности $q=0,486$ колико је износио прије 40 година, када је био нов.

На основу специфичног капацитета бунара и дозвољеног снижења водоносног слоја одређен је оптимални капацитет бунара који након изведене ревитализације износи:

$$Q = 0,52 \times 42,83 = 22,27 \text{ л/с.} \quad (9)$$



Слика 5. Пројектовано снижење бунара Б-7 при тестирању бунара капацитетом црпења 18,5 l/s у периоду 27-30.4.2018. године за период експлоатације од 25 година

Поређењем резултата прорачуна оптималног капацитета (са аспект дозвољеног снижења нивоа подземне воде) пре и после ревитализације, види се да је оптимални капацитет након ревитализације повећан за скоро три пута одн. 2,78 пута у односу на капацитет од 8 l/s пре ревитализације.

То је и нешто више од оптималног капацитета бунара Б-7 од 21 l/s колико је износио пре 40 година, када је био нов. Ово се може објаснити хемијским методама ревитализације одн. разраде и испирања прибунарске зоне која није вршена у време када је бунар тек изведен.

4. Закључак

У раду су презентовани и обрађени сви доступни подаци раније изведених тестирања бунара Б-7, резултати до којих се дошло приликом извођења снимања и тестирања бунара пре спровођења физичко-хемијске ревитализације и резултати тестирања након ревитализације бунара. Поред приказа резултата дато је поређење добијених резултата након изведене ревитализације са резултатим пре ради сагледавања резултата изведене ревитализације. Из истих се јасно види да су постигнути добри резултати који се огледају у смањењу бунарских отпора и повећању специфичног капацитета, а самим тим и оптималног капацитета бунара Б-7 са 8 на 22,2 l/s

5. Литература

- [1] Вуковић М, Соро А, Хидраулика бунара-теорија и пракса, Грађевинска књига, Београд, 1990.

- [2] Driscoll F. i dr, Groundwater and wells, second edition, Johnson Screens, Minnesota, 2003.
- [3] Коматина М, Хидрогеолошка истраживања- Прорачуни II, Геозавод, Београд, 1986.
- [4] Лазих М, Методе разраде и регенерације бунара, Универзитет у Београду, Рударско геолошки факултет, Институт за хидрогеологију, Београд, 2004.
- [5] Милановић П, Хидрогеологија карста и методе истраживања, ХЕТ, Требиње, 1979.
- [6] Пушић М, Динамика подземних вода, Универзитет у Београду, Рударско геолошки факултет, Институт за хидрогеологију, Београд, 2000.
- [7] Пушић М, Хидраулика бунара, Универзитет у Београду, Рударско геолошки факултет, Институт за хидрогеологију, Београд, 2012.