



Никола Николић¹, Васо Новаковић²

Стручни рад
DOI: 10.5937/VIK26159G

ТЕХНИЧКИ ГУБИЦИ ВОДЕ НА ИЗВОРИШТУ БУНАРСКОГ ТИПА

Резиме: Технички губици воде представљају значајан проблем у управљању водоводним системима. Поред губитака у дистрибутивној мрежи, губици могу настати и на извориштима бунарског типа. У раду су анализирани основни узорци техничких губитака на извориштима бунарског типа водовода Сребреник и Грачаница, БиХ. Најчешћи узорци су изостанак периодичне ревитализације бунара и прекомерно црпљење бунара, што доводи до повећања хидрауличких отпора, развоја процеса колматације и постепеног смањења капацитета бунара, а тако и смањења производње воде. Из тог разлога јако је битно правилно одредити оптимални капацитет бунара и експлоатацију ускладити са тим.

Кључне речи: технички губици, извориште, бунар, капацитет

TEHNICAL WATER LOSSES AT A WELL-TYPE WATER SOURCE

Abstract: Technical water losses represent a significant challenge in the management of water supply systems. In addition to losses occurring within the distribution network, technical losses may also arise at well-field water sources. This paper analyzes the main causes of technical water losses at the well-field water sources of the Srebrenik and Gračanica, Bosnia and Herzegovina. The most common causes are the lack of periodic well revitalization and overpumping of wells, which lead to increased hydraulic resistance, the development of well colmation processes and a gradual reduction in well capacity, consequently decreasing water production. Therefore, determining the optimal well capacity and aligning the exploitation regime accordingly are essential for ensuring efficient and sustainable operation of well-field water sources.

Key Words: technical losses, water source, well, capacity

1. Увод

Подземна вода у многим градовима и насељима, на простору Босне и Херцеговине, представља главни извор водоснабдевања. За њено захватање један од главних начина представља управо израда вертикално бушених бунара и формирање изворишта. Значајне резерве подземне воде Босне и Херцеговине су акумулиране у водоносним слојевима различите литостратиграфске грађе. На простору Грачанице и Сребреника главна изворишта за водоснабдевање захватила су испуцале и кавернозне кре-

¹ ДОО ИПИН Институт за примјењену геологију и водоинжењеринг Бијељина, Бијељина, nikolanikolic@ipininstitut.com, ORCID 0009-0004-0261-8776

² ДОО ИПИН Институт за примјењену геологију и водоинжењеринг Бијељина, Бијељина, vasonovakovic@ipininstitut.com, ORCID 0009-0009-7999-3992



чњаке, односно формирана су у оквиру аквифера са кавернозно-пукотинским типом порозности [1], [7].

На подручју Сребреника налази се извориште Влахуље, на којем је 1987. године изведен бунар Б-7, дубине 142,0 m. Бунар је савршеног типа, јер захвата комплетну дебљину водоносног слоја, а каптира испуцале и кавернозне кречњаке миоценске старости. На основу резултата бушења и утврђене литологије уграђена је челична бунарска конструкција са мостићавим филтерима у интервалима 30,0–53,0 m и 80,0–130,0 m. Од изградње до данас бунар Б-7 представља један од значајних објеката система водоснабдевања Сребреника [7].

Анализом резултата тестирања из 1987. године утврђено је да је бунар, непосредно након изградње, имао мале бунарске („паразитске“) губитке (око 8.868), специфични капацитет од 0,486 l/s/m' и оптимални капацитет од 21 l/s, дефинисан са аспекта дозвољеног снижења. Насупрот томе, тестирањем изведеним 2018. године регистровано је значајно повећање бунарских губитака (око 114.848), што је указивало на озбиљно нарушено хидрауличко стање бунара. Ови резултати потврђени су и снимцима подводном бунарском камером, на којима су уочене значајне насlage минералних соли на бунарској конструкцији. Као последица тога, специфични капацитет смањен је на 0,185 l/s/m', док је оптимални капацитет износио приближно 8,0 l/s, односно око 2,6 пута мање у односу на стање непосредно након изградње. Због значајног пада експлоатационих карактеристика, током 2018. године изведена је физичко-хемијска ревитализација бунара Б-7 [7].

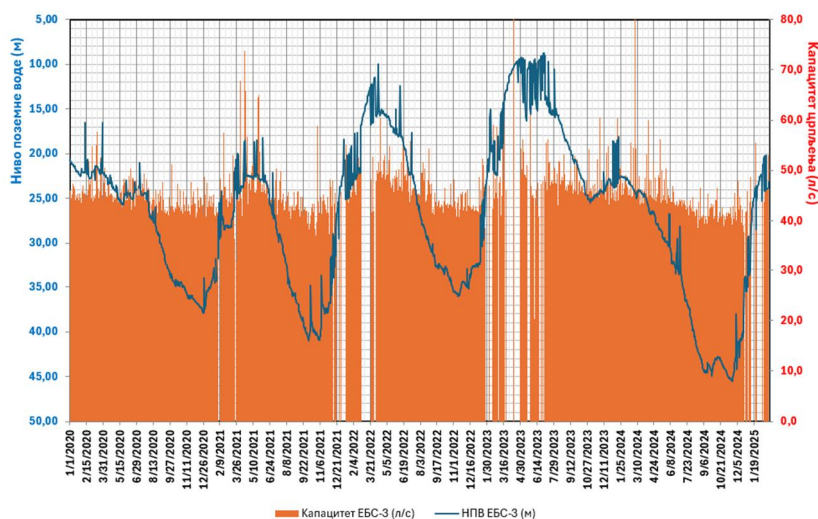
Након ревитализације и поновног тестирања утврђено је значајно побољшање хидрауличких параметара. Бунарски губици смањени су приближно осам пута (око 15.355), специфични капацитет повећан је на 0,52 l/s/m', док је оптимални капацитет достигао 22,27 l/s. Такви резултати представљају повећање од око 2,8 пута у односу на стање пре ревитализације, а чак су незнатно бољи од вредности регистрованих непосредно након изградње бунара [6], [7].

На подручју Грачанице формирано је више изворишта, од којих је извориште Склоп једно од најзначајнијих за водоснабдевање града. Сви бунари на овом локалитету каптирају испуцале и кавернозне кречњаке. Бунар С-1, изведен осамдесетих година прошлог века, дубок је 180,3 m, бунар С-2 250,0 m, бунар С-3, изведен 2002. године, 165,0 m, док је бунар ЕБС-4, изведен 2024. године, дубине 170,0 m. Иако се у расположивој документацији наводи да су капацитети бунара С-1 и С-2 око 20 l/s, а бунара С-3 око 30 l/s, није, нигде у техничкој документацији, приказана методологија којом су ове вредности одређене. Поред тога, бунар С-1 није у функцији због дотрајалости конструкције, док разлози некоришћења бунара С-2 нису познати [1].

Анализа режима рада приказаног на слици 1 показује да су повремено остваривани капацитети од скоро 40 l/s, али само током краћих временских интервала. Истовремено, ниво подземне воде испољава изражене сезонске осцилације, са тенденцијом опадања у периоду од јула до децембра, што указује да се прихрањивање аквифера претежно одвија инфилтрацијом атмосферских падавина. Највећи пад нивоа подземне воде забележен је током 2024. године, услед неповољних хидролошких услова и продуженог рада бунара, при чему динамички ниво није прешао дубину од

46,0 m. Након смањења интензитета експлоатације крајем 2024. године регистрован је постепени опоравак нивоа подземне воде. Иако су овако високи капацитети остваривани само повремено, јасно је да њихова дугорочна примена није одржива, јер су знатно већи од препорученог капацитета од 30 l/s, чији начин одређивања такође није познат [8].

Из наведених разлога, правилно дефинисање оптималног капацитета бунара представља један од основних предуслова дугорочно одрживе експлоатације подземних вода. Неадекватно одређивање експлоатационих параметара може довести до прецрпљивања бунара и водоносника, убрзаног старења бунарске конструкције, смањења капацитета током експлоатације и повећања техничких губитака на изворишту.



Слика 1. Дијаграм осматрања режима бунара ЕБС-3

Figure 1. Diagram of the regime of water-well EBS-3

Полазећи од наведеног проблема, циљ овог рада је да прикаже методологију обраде података тестирања бунара и поступак одређивања оптималног капацитета бунара и изворишта са аспекта дозвољеног снижења. Допринос рада огледа се у приказу методологије која се заснива на анализи прогнозног снижења нивоа подземне воде, током дугорочне одрживе експлоатације, чиме се обезбеђује реалнија процена експлоатационих параметара и смањује ризик од прецењивања бунара.

2. Методологија

Аутори овог рада су користећи опште прихваћене методе одређивања дозвољеног снижења, специфичног капацитета и оптималног капацитета бунара, те на основу вишегодишње праксе дали пример правилног одређивања оптималног капацитета бунара са аспекта дозвољеног снижења, током дугорочне одрживе експлоатације. За те потребе дали су пример из праксе дуготрајног тестирања бунара Б-7 на простору



Сребреника, али и групног тестирања бунара С-2 и С-3 на простору Склопа код Грачанице. Први корак приликом обраде података тестирања је формирање графика на којем је приказано снижење у функцији времена, према следећој формули [2], [4]:

$$S = f(\log t) \quad (1)$$

где је:

S – снижење нивоа воде (m) – омогућава читање карактеристичног снижења након одређеног периода (често након 25 година експлоатације колико је радни век бунара, али и након 1 године, уколико се бунар не користи континуирано),

t – дужина трајања црпљења (min).

Формирањем графика према формули 1 добија се прогнозно снижење нивоа подземне воде при тестираном капацитету црпљења бунара. Тек по добијању овог параметра, могуће је срачунати специфични капацитет бунара према следећој формули:

$$q = Q / S \quad (2)$$

где је:

q – специфични капацитет бунара (l/s/m'),

Q – примењени капацитет црпљења (l/s),

S – прогнозно снижење нивоа воде за одређени дугорочни период (m).

Након дефинисања специфичног капацитета бунара, према формули 2, може се приступити прорачуну оптималног капацитета бунара. Оптимални капацитет бунара се рачуна према следећој формули [2], [4]:

$$Q_{opt} = q \times S_{doz} \quad (3)$$

где је:

Q – оптимални капацитет бунар (l/s)

q – специфични капацитет бунара (l/s/m'),

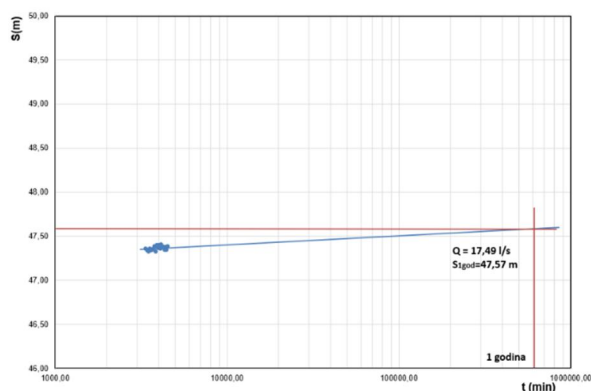
S_{doz} – дозвољено снижење нивоа подземне воде (m).

Оно што је битно напоменути да се при прорачуну дозвољеног снижења често се у пракси прави више грешака при избору улазних параметара. Тако се често прави грешка да се дозвољено снижење рачуна од квазистатичког нивоа подземне воде (тренутног приликом црпљења), а не од статичког. На тај начин се, због израчунатог мањег оствареног снижења добија и привидно већи специфични капацитет, а у истовремено се добија и привидно веће дозвољено снижење нивоа подземне воде, него што је стварно дозвољено снижење. Други погрешан случај рачуњања дозвољеног снижења, који се још чешће среће у пракси је дозвољено снижење нивоа подземне воде до „изнад горње ивице филтера“ или „два метра изнад усиса пумпе“, што је релативно променљив параметар и не може бити улазни податак за прорачуне. Дозвољено снижење нивоа подземне воде се увек рачуна од статичког нивоа. Уколико је остварена директна хидрауличка веза са сталним извором прихрањивања дозвољено је снижење од 1/2 Н, односно до половине заводњеног дела водоносног слоја. У случају да није

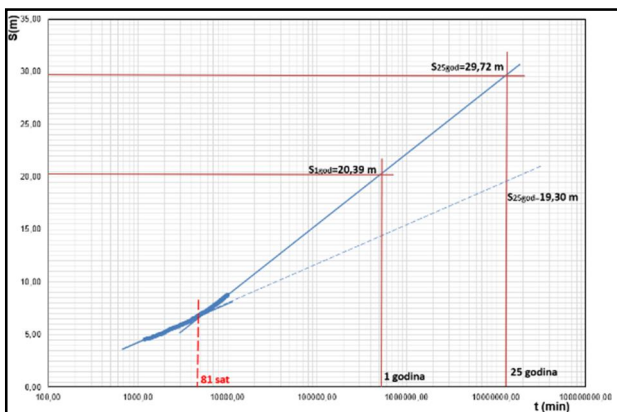
остварена директна хидрауличка, дозвољено је обарање до $1/3$ Н заводњеног дела водоносног слоја [3] [5]. У оквиру Правилника о категоризацији, класификацији, прорачуну резерви подземне воде, важећег у Републици Српској, наводи се у члану 18. да су резерве Ц категорије управо оне које се могу захватити, а да радом неће бити неповољно измењене хидрогеолошке карактеристике водоносника и околног екосистема, а генерално снижење неће прећи $1/3$ дебљине водног тела ($S \leq 1/3$) [11]. Веома битно је нагласити и погрешан приступ при избору улазних података за прорачун оптималног и дугорочно одрживог капацитета, а који се често примењује у пракси, огледа се у томе што се оптимални капацитет неправилно одређује на основу тренутно измереног снижења, него би требало на основу прогнозног снижења добијеног екстраполацијом зависности $S=f(\log t)$. Управо овај приступ представља основу анализе приказане у наставку рада.

3. Резултати и дискусија

Као што је речено, за потребе овог рада приказан је начин обраде података тестирања и дефинисања оптималног капацитета бунара на простору Среберника и Склопа код Грачанице. Тестирање бунара Б-7 у Сребренику изведено је након физичко-хемијске ревитализације и снимања бунара подводном бунарском камером у априлу 2026. године. Тестирање бунара изведено је у трајању од 72 сата, а просечним капацитетом од 17,49 l/s у трајању од 14 сати. На крају тестирања измерен је ниво подземне воде на 49,15 m од површине терена [9]. Како је раније утврђени статички ниво подземне воде на овој локацији на 1,83 m од површине терена [7], добија се да је остварено снижење након 72 сата тестирања бунара износило 47,32 m. Примењујући формулу (2) добија се специфични капацитет бунара који након 72 сата тестирања износи 0,369 l/s/m', односно оптимални капацитет који износи 15,8 l/s (раније дефинисано дозвољено снижење од 42,83 m). Међутим, како је речено, првенствено је неопходно урадити дијаграм $S=f(\log t)$ према формули (1), да би се одредило прогнозно снижење за одређени период. Како се бунар Б-7 не користи континуирано, довољан је период од 1 године. Дијаграм је приказан на наредној слици.



Слика 2. Дијаграм $S=f(\log t)$ тестирања бунара Б-7 капацитетом 17,49 l/s
Figure 2. Diagram $S=f(\log t)$ of testing of water-well B-7 with capacity 17,49 l/s



Слика 3. Дијаграм $S=f(\log t)$ тестирања бунара С-2 капацитетом 19,10 l/s у паралелном раду
Figure 3. Diagram $S=f(\log t)$ of testing of water-well S-2 with capacity 19,10 l/s in parallel testing

Са слике 3 се види да је добијено прогнозно снижење за период од 1 године које износи 47,57 m, односно нешто веће него што је то на крају 72 сата. Даљом применом формуле (2), добија се специфични капацитет бунара који износи:

$$q = 17,49 / 47,57 = 0,367 \text{ l/s/m'}$$

Овако добијени специфични капацитет је за око 1 % мањи од онога након 72 сата. Разлог томе је тај што се ниво подземне воде на бунару Б-7 приликом достизања одређеног снижења практично устаљује, односно даља снижења су мала, али за период од годину дана се уочавају. Тиме се добија и оптимални капацитет, за прогнозно снижење од годину дана, који износи:

$$Q = 0,367 \times 42,83 = 15,7 \text{ l/s}$$

Односно капацитет који је мањи за око 1% од онога који би се добио да се рачунало на тренутно остварено снижење.

На простору Склопа код Грачанице изведен је групни тест црпљења бунара С-2 и С-3 у трајању од 7 дана [10]. Пре тога, дефинисан је статички ниво за овај локалитет, а све ради одређивања дозвољеног снижења. На основу утврђених статичких нивоа подземне воде на овом локалитету, дефинисано је дозвољено снижење од 1/3Н на бунару С-2 од 78,13 m, док је на бунару С-3 49,9 m. Међутим, услед техничких карактеристика бунар С-2, на њему је тренутно могуће извршити обарање нивоа воде до дубине од 36,0 m (јер је дубље мањи пречник бунара, који је недовољан за уградњу пумпе), те снижење на њему износи 20,4 m. У наредној табели дати су забележени подаци током дуготрајног теста.

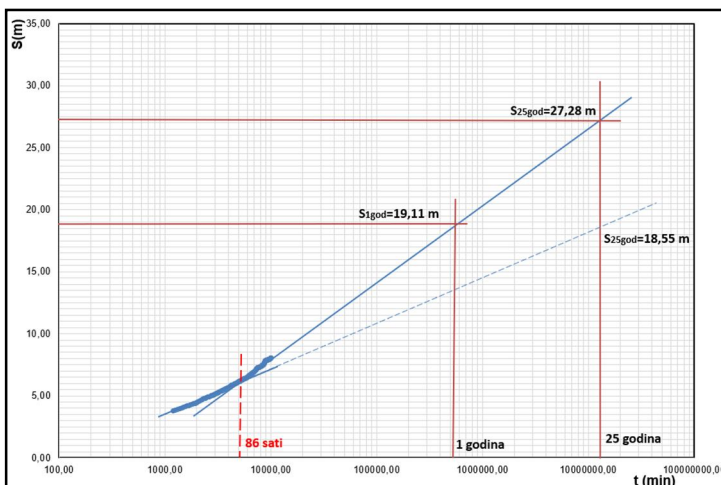
Табела 1. Подаци тестирања бунара С-2 и С-3 у паралелном раду

Table 1. Data of testing of water-well S-2 and S-3 in parallel testing

Капацитет црпљења С-2 (l/s)	Остварено снижење С-2 (m)	Капацитет црпљења С-3 (l/s)	Остварено снижење С-3 (m)
19,10	8,79	29,10	8,07

Уколико би се рачунао специфични капацитет на основу забележених вредности снижења нивоа подземне воде, оствареног на крају дуготрајног теста бунара, а према формули (2), специфични капацитет бунара С-2 износи 2,17 l/s/m', док специфични капацитет бунара С-3 износи 3,60 l/s/m'. Међутим, већ је речено да се на овај начин не одређује специфични капацитет, већ је неопходно формирање дијаграма $S=f(\log t)$ према формули (1).

Са формираних дијаграма $S=f(\log t)$ за бунаре С-2 и С-3 се види да долази до промене тренда, односно до лома линије након нешто више од 3 дана. Потенцијални разлог лома линије може бити долазак утицаја бунара до слабије водопрпусне зоне, што је чест случај у испуцалим и кавернозним срединама, које се одликују знатном хетерогености средине. Из тог разлога је и дужина трајања тестирања и испуцалим и кавернозним срединама битна.



Слика 4. Дијаграм $S=f(\log t)$ тестирања бунара С-3 капацитетом 29,40 l/s у паралелном раду
Figure 4. Diagram $S=f(\log t)$ of testing of water-well S-3 with capacity 29,40 l/s in parallel testing

Са дијаграма се уочава да би се неправилним избором тренда добило мање прогнозно снижење, а самим тим и већи капацитет. Избором тренда који се добија након 7 дана тестирања види се да прогнозно снижење за период од 1 године износи 20,39 m за бунар С-2, односно 19,11 m за бунар С-3.

Разлика у односу на снижења која би се добила истом методологијом, да је црпљење прекинуто након 3 дана би била око 35% код бунара С-2 (снижење од око 13,3 m), односно 30% код бунара С-3 (снижење од око 13,5 m). У случају неадекватног времена тестирања бунара, добили би се резултати оптималног капацитета бунара који нису тачни, и исти би били скоро за трећину већи него што је стварно случај.

У наредној табели дат је приказ прорачуна оптималног капацитета са аспекта дозвољеног снижења за варијанту према приканој методологији, али и за пример неправилног одређивања након оствареног снижења на крају тестирања бунара.



Из табеле се види да постоје разлике у добијеним оптималним капацитетима бунар, у зависности да ли је рачунато на основу снижења забележеног на крају тестирања бунара или прогнозног снижења на основу формираног дијаграма $S=f(\log t)$ за период од годину дана.

Табела 2. Одређивање оптималног капацитета бунара С-2 и С-3 у паралелном раду

Table 2. Define of optimal capacity of water-well S-2 and S-3 in parallel testing

		Бунар С-2	Бунар С-3
Снижење након 7 дана тестирања	Снижење (m)	13,3	13,5
	Специфични капацитет (l/s/m')	1,43	2,18
	Оптимални капацитет(l/s)	29,17	108,8
Прогноза снижења за период од 1 године на основу података након 7 дана	Снижење (m)	20,39	19,11
	Специфични капацитет (l/s/m')	0,94	1,54
	Оптимални капацитет(l/s)	19,2	76,8

Разлика у добијеним оптималним капацитетима је прилична, и за бунар С-2 правилно срачунат оптимални капацитет износи 19,2 l/s (што је за око 35% мање од капацитета који би се добио на основу тренутног снижења).

За бунар С-3 срачунати оптимални капацитет према приказаној методологији износи 76,8 l/s (што је за око 30% мање од капацитета који би се добио на основу тренутног снижења). На приказани начин се добијају мањи капацитети изворишта, али сигурнији са аспекта заштите од будућих губитака на изворишту насталих као последица прецрпљивања.

4. Закључак

У овом раду је извршена анализа и обрада података тестирања бунара на простору Сребреника и Грачанице у циљу приказа начина и методологије правилног одређивања оптималног капацитета бунара.

На основу приказаних резултата намеће се закључај да се оптимални капацитет бунара не може дефинисати искључиво на основу снижења измереног на крају теста црпљења. За правилну процену неопходно је анализирати развој снижења у функцији



времена према приказаној методологији, те приступити даљим прорачунима специфичног и оптималног капацитета.

На примеру бунара Б-7 утврђено је да је разлика између оптималног капацитета добијеног на основу тренутног и прогнозног снижења мала, скоро занемарљива. За разлику од њега, код бунара С-2 и С-3 уочена је првенствено промена тренда снижења након 3 дана тестирања. Добијени резултати потврђују да је у испуцалим и кавернозним водоносним срединама неопходно спроводити довољно дуготрајне тестове црпљења, како би се регистровале промене режима струјања и обезбедила поуздана процена експлоатационих параметара. Прерани прекид тестирања или одређивање капацитета искључиво на основу тренутно измереног снижења може довести до прецрпљивања, а самим тим и до повећаног ризика од пропадања и деградације бунара. Обрадом финалних података код бунара С-2 и С-3 према датом методологији добијено је знатно веће прогнозно снижење и мањи оптималног капацитет за приближно 30–35%, у односу на прорачун на основу тренутног снижења на крају теста.

Приказана методологија представља поуздан приступ за дефинисање оптималног капацитета бунара са аспекта дугорочно одрживе експлоатације подземних вода. Овако добијени капацитети могу бити мањи у односу на вредности добијене применом погрешних улазних података за прорачуне оптималног, а уједно и максималног капацитета црпљења бунара при дугорочно одрживој експлоатацији. Ово је веома значајно ради обезбеђења веће поузданости у планирању експлоатације и ефикасности заштите водних ресурса.

5. Литература

- [1] Алић Е. И др, *Елаборат новелирања и допуна зона санитарне заштите изворишта водоводног система Грачаница*, Завод за водопривреду дд, Сарајево, 2016.
- [2] Ahmed N. and others, *Hydraulics of well*, American Society of Civil Engineers, Virginia, 2014.
- [3] Delleur J. and others, *The handbook of groundwater engineering*, School of Civil Engineering, Prude University, Indiana, 1999.
- [4] Driscoll F. and others: *Groundwater and wells*, second edition, Johnson Screens, Minnesota, 2003.
- [5] Misstaer B. and others: *Water wells and boreholes*, John Wiley and sons Ltd, Chichester, 2006.
- [6] Новаковић В. и др: Резултати изведене физичко-хемијске ревитализације бунара Б-7 на изворишту водовода општине Сребреник, *39. Међународни стручно-научни скуп Водовод и канализација '18*, Савез инжењера и техничара Србије, Ваљево, 2018.
- [7] Новаковић В. и др: *Елаборат о извршеној физичко-хемијској ревитализацији и тестирању бунара Б-7 ЈП „Водовод и канализација Сребреник“ ДД Сребреник, ДОО ИПИН, Бијељина*, 2018.
- [8] Новаковић В. и др: *Елаборат о класификацији, категоризацији и прорачуну резерви подземне воде бунара ЕБС-4 на црпилишту Склоп код Грачанице са стањем на дан 01.03.2025. године*, ДОО ИПИН, Бијељина, 2025.



- [9] Новаковић В. и др: *Елаборат о изведеној физичко-хемијској ревитализацији, снимању и степ-тесту бунара Б-7 у Сребренику*, ДОО ИПИН, Бијељина, 2026.
- [10] Новаковић В. и др: *Елаборат о изведеним допунским испитивањима и тестирања бунара С-2 и С-3 Склоп*, Сребреник, ДОО ИПИН, Бијељина, 2026.
- [11] Правилник о категоризацији, класификацији и прорачуну резерви подземне воде и вођењу евиденције о њима, *Службене новине ФБиХ*, број 47, Сарајево, 2011.