

Izbor metoda razrade bunara na primeru izvorišta mineralne vode „Vitinka polja“ u Kozluku (Bosna i Hercegovina)

NIKOLA Ž. NIKOLIĆ, DOO IPIN Institut za primijenjenu geologiju i

vodoinženjering, Bijeljina, Bosna i Hercegovina

ORCID: 0009-0004-0261-8776

VASO Đ. NOVAKOVIĆ, DOO IPIN Institut za primijenjenu geologiju i

vodoinženjering, Bijeljina, Bosna i Hercegovina

ORCID: 0009-0009-7999-3992

DEJAN A. PETROVIĆ, DOO IPIN Institut za primijenjenu geologiju i

vodoinženjering, Bijeljina, Bosna i Hercegovina

ORCID: 0009-0005-3688-2804

JASENKO A. ČOMIĆ, Georad DOO, Tuzla, Bosna i Hercegovina

ORCID: 0009-0000-2012-8093

Stručni rad

UDC: 553.7(497.6)

DOI: 10.5937/tehnika2405555N

Na prostoru Kozluka kod Zvornika, još krajem 19. veka utvrđeno je prisustvo mineralne vode, dok su prvi kaptažni radovi izvedeni 1954. godine. Tokom 2002. i 2003. godine, od strane autora rada izvedeni su istražni radovi, koji su omogućili zahvatanje mineralne vode i njeno flaširanje. Istraživanja ovog dela terena nastavljena su sve do danas, a od strane autora rada izvedena su dopunska istraživanja tokom 2023. godine. Rezultati su doprineli boljem poznavanju geološke građe i hidrogeoloških karakteristika terena, a sve za potrebe izvođenja novog bunara. Nakon izvođenja bunara, usledila je faza razrade, koja je često presudna za uspešan završetak izvođenja radova. U svojoj praksi, autori su se uverili da od pravilnog izbora metode razrade, kao i samog režima razrade, zavisi kapacitet bunara. Kapacitet istog bunara može biti i nekoliko puta veći u zavisnosti od izbora metoda i pravilnog režima razrade. U ovom radu su prezentovani rezultati primenjenih metoda razrade, te izvršena optimizacija režima razrade bunara u zavisnosti od karakteristika vodonosnog sloja.

Ključne reči: režim razrade, metode, kapacitet, bunar

1. UVOD

Izvođenje hidrogeoloških istraživanja za krajnji cilj ima obezbeđenje podzemne vode odgovarajućeg kvaliteta i dovoljne količine za različite potrebe. Neke od tih potreba su za vodosnabdevanje, flaširanje, melioraciju, turizam, rekreacione svrhe i slično. Danas se najčešće podzemne vode zahvataju preko vertikalno bušenih bunara [1].

Po završetku bušenja i ugradnji bunarske konstrukcije, sledeći korak hidrogeoloških istraživanja predstavlja faza razrada bunara i pribunarske zone (slika 1).

Adresa autora: Nikola Nikolić, IPIN doo, za primijenjenu geologiju i vodoinženjering, Bijeljina, Vidovdanska 48, Bosna i Hercegovina

e-mail: nikolanikolic@ipininstitut.com

Rad primljen: 20.06.2024.

Rad prihvaćen: 18.09.2024.

Sam proces razrade bunara vrši se iz nekoliko razloga [2], [3], a neki od njih su:

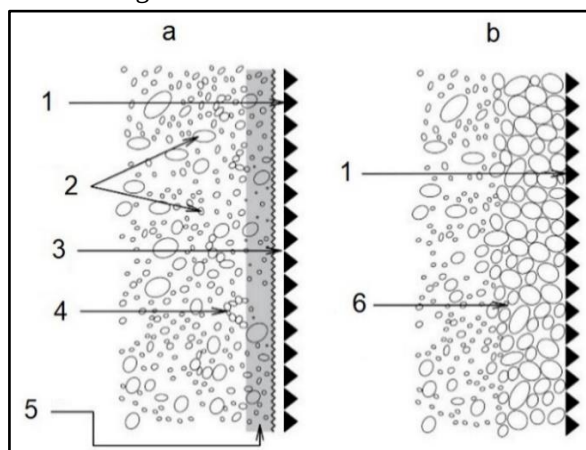
- Izbacivanje preostalog ispinog fluida i čestica nabušenog materijala iz bunara i sitnozrnih frakcija iz prifilterske zone bunara radi sprečavanja pokretanja istih prilikom eksploatacije bunara, te sprečavanja stvaranja većih hidrauličkih otpora i smanjenja kapaciteta bunara,
- Stvaranja zone visoke poroznosti i hidrauličke provodljivosti oko bunarskog filtera,
- Formiranje prifilterske zone bunara tako da se obezbedi filtraciona stabilnost,
- Povećanje efektivnog radijusa bunara.

U zavisnosti od metoda bušenja, karakteristika akvifera i tipa ugrađene bunarske konstrukcije, koriste se različite metode razrade [4]. Različite metode razrade bunara imaju svoje prednosti i mane, kao i specifičnosti u izvođenju, te se ne može svaka metoda

primeniti za razradu bunara u različitim uslovima. Takođe, razrada svakog bunara ne treba trajati isti vremenski period. Na osnovu toga, bitno je izabrati odgovarajuću metodu razrade bunara i odrediti optimalno vreme trajanja radova. Neretko su ova dva kriterijuma međusobno povezana, te se ne bi trebali razdvajati [4].

Na osnovu literaturnih izvora, izvedenih bunara od strane autora i iskustva iz prakse, odluka o metodi izbora razrade bunara zavisi od [3] [5]:

- Tipa poroznosti i mineraloško-hemijskih karakteristika vodonosnog sloja u kome je izveden bunar, te sadržaja glina i sitnozrnih čestica u porama, pukotinama ili kavernama vodonosnog sloja u pribunarskoj zoni;
- Dubine do nivoa vode odnosno debljine zavodnjelog dela vodonosnog sloja;
- Konstrukcionih karakteristika bunarskih cevi i filterskog dela bunara.



Slika 1 - Prikaz prifilterske zone pre i nakon sprovedene razrade (modifikovano [2]) Legenda: a - pre razrade bunara, b - nakon razrade bunara; 1 - filter, 2 - nesortirani materijal akvifera, 3 - otvor filtera, 4 - peščani most, 5 - ispirni fluid, 6 - sortirani materijal-formirana prifilterska zona

Pored izbora metode razrade bunara, jako je bitno i vreme trajanja razrade. Za određivanje optimalnog vremena trajanja razrade, neophodno je sagledati rezultate merenja nekoliko parametara tokom razrade bunara, a to su [6] [7] [8]:

- Nivo podzemne vode, odnosno razlika između nivoa u bunaru i dostupnim hidrogeološkim objektima u okolini, te analiza promena dinamičkog nivoa vode pri istom proticaju pri periodičnom kratkom crpljenju tokom trajanja razrade, odnosno promene specifičnog kapaciteta i analiza hidrauličkih otpora,
- Sadržaj sitnozrnih čestica (peskovitih i glinovitih) u crpljenoj vodi i
- Mutnoća vode.

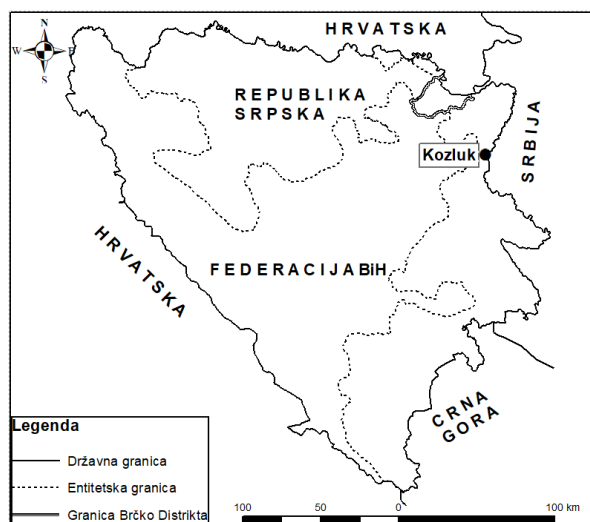
Prilikom izvođenja velikog broja bunara, u sredinama različitog tipa poroznosti, autori ovog rada su uočili neke pravilnosti. Tokom godina je utvrđeno da se specifični, a samim tim i optimalni kapacitet bunara može povećati i nekoliko puta, ako se primene odgovarajuće metode i dužina razrade. Razrada objekata može varirati od nekoliko sati (za pijezometre), pa sve do nekoliko sedmica (bunari većeg prečnika, sa velikim dužinama filtera).

Pored velikog broja bunara izvedenih u okviru vodonosnih slojeva intergranularne poroznosti, IPIN Institut je izveo i bunare u vodonosnim slojevima sa izraženim pukotinskim i kavernoznim tipom poroznosti [9].

Jedan od ovako izvedenih bunara je upravo i bunar K-7, na izvoristu „Vitinka polje“ kod Kozluka, a koji je izveden za potrebe proširenja kapaciteta kompanije „Vitinka eksploatacija“ DOO iz Kozluka. Više podataka o ovom prostoru i samom bunaru dato je u nastavku teksta.

2. OPŠTI PODACI O PROSTORU I BUNARU K-7

Naselje Kozluk, u kome se nalazi i izdan mineralne vode „Vitinka polje“, nalazi se na prostoru grada Zvornika, u severoistočnom delu Republike Srpske, odnosno Bosne i Hercegovine (slika 2). Prostor na kome se nalazi izdan mineralne vode „Vitinka polje“ nalazi se u dolini reke Drine, sa nadmorskom visinom od oko 127-129 m.n.m.



Slika 2 - Geografski položaj Kozluka

Prvi dostupni podaci o mineralnim vodama sa ovog terena potiču sa kraja 19. veka, i pominjani su kod brojnih austrougarskih naučnika, a prvi kaptažni radovi izvedeni su tokom 1954. godine [10].

Eksploatacija mineralne vode sa „Vitinka polja“ počela je 1976. godine, sa bunara bušenog izvedenog 1972. godine.

Nakon toga nastavljeni su istražni radovi na ovom prostoru. Tokom 2002. i 2003. godine od strane DOO IPIN izvedeni su novi istražni radovi za potrebe flaširanja mineralne vode. Tada je izvedeno geološko i hidrogeološko kartiranje terena, kao i geofizička ispitivanja terena metodama plitke seizmičke refleksije, geoelektričnog sondiranja i geoelektrične tomografije. Rezultati ovih istraživanja odredili su lokaciju novog bunara K-5, do dubine od 195,0 m. Bunar K-5 predstavlja prvi objekat na ovom prostoru kojim je definisana litologija terena, gde je utvrđeno da je sloj iz koga se drenira mineralna voda predstavljen ispucalim krečnjacima [11]. Izvedena je razrada i testiranje bunara.

Obradom podataka testiranja, dobijen je optimalni kapacitet bunara od 1,5 l/s, sa projektovanim dozvoljenim sniženjem nivoa podzemne vode od 29,3 m, za date hidrološke uslove koji su vladali u vreme testiranja.

Tokom 2003. godine DOO IPIN je izveo bunar K-6, a čija je lokacija određena na osnovu sprovedenih geofizičkih ispitivanja terena. Bunar K-6 se i danas koristi za potrebe rada fabrike Vitinka AD u Kozluku. Bušenje bunara izvedeno je do dubine od 158,0 m [12]. Tada je tokom bušenja izvršeno uzorkovanje nabušenog materijala za paleontološku i petrološku analizu. Paleontološke i mineraloško-petrografske analize su po prvi puta definisale starost odnosno stratigrafsku pripadnost vodonosnog sloja mineralne vode „Vitinka“ u Kozluku. Petrografskim analizama, osim dokazanog karakterističnog fosilnog materijala u krečnjacima, koji ukazuje da se radi o srednjeeocenskim krečnjacima (biosparitima), konstatovano je i prisustvo detritičnog kvarca i piritu [13].

Na bunaru K-6 izvedena je razrada, testiranje i uzorkovanje podzemne vode za laboratorijsku analizu. Obradom podataka testiranja, dobijen je optimalni kapacitet bunara od 6 l/s, sa projektovanim dozvoljenim sniženjem nivoa podzemne vode od 15,0 m, za date hidrološke uslove koji su vladali u vreme testiranja.

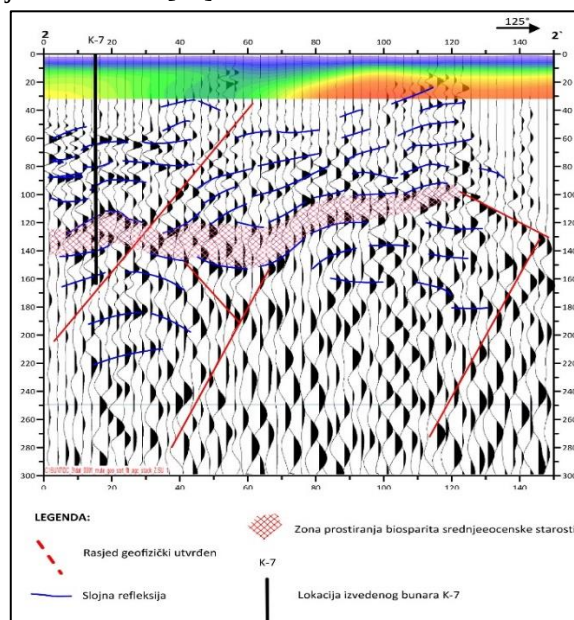
Međutim, na osnovu dostupnih podataka, u poslednje vreme je opao kapacitet bunara K-6, te se eksploatacija sa njega vrši kapacitetom koji iznosi oko 2,2 l/s. Potencijalni razlog opadanja kapaciteta je kolmiranje pribunarske zone, jer na istom nije izvršena fizičko-hemijska revitalizacija, od kako je isti izveden.

Na osnovu rezultata geofizičkih ispitivanja terena, tokom 2003. i 2004. godine izvedena je strukturno-istražna bušotina VS-1 (S-1). Bušotina je izvedena do dubine od 500,0 m, i njome su zahvaćeni kredni krečnjaci i laporci koji se nalaze u podini eocena [14]. I na bušotini VS-1 izvršena je razrada, testiranje i uzorkovanje podzemne vode za analizu. Obradom rezultata

bušenja bušotine VS-1, ali i korelacijom podataka sa bunarom K-6, utvrđeno je da na prostoru „Vitinka polje“ nalaze se 3 izdani, i to:

- prva po dubini je freatska izdan (pitka voda) akumulirana u šljunkovito-peskovitom sloju aluvijona reke Drine na dubini 4,0 do 10,4 m,
- druga izdan je (mineralna voda sa povišenim sadržajem CO₂) formirana u krečnjacima srednjeeocenske starosti nadubini 119,0 – 134,0 m u zoni bušotine S-1, i već se koristi za proizvodnju mineralne vode Vitinka preko bunara K-6,
- treća po dubini je izdan akumulirana u sloju krečnjaka značajne moćnosti na dubini 300 do 377 m, sa ispucalim zonama posebno u intervalima 312 do 319 m. Osim ovoga sloja nabušen je i ispucalo krečnjak i na dubini 415 do 419,5 m. Izvršena je petrografska i paleontološka analiza uzoraka i utvrđeno je da se radi o krečnjacima kredne starosti [14].

Na osnovu podataka svih ranijih istraživanja, a kako se javila potreba za većim količinama mineralne vode, tokom 2023. godine izvedeni su istražni radovi od strane IPIN Instituta, koji su imali za cilj zahvatanje dodatnih količina vode. Tom prilikom su izvedena geofizička ispitivanja terena seizmometrijskim metodama, bušenje istražne bušotine, proširenje i pretvaranje u bunar, zacjevljenje, razrada, ispiranje i testiranje bunara K-7 [15].



Slika 3 - Geofizički profil dobijen primenom seizmometrijskih metoda istraživanja

Obradom podataka geofizičkih ispitivanja seizmometrijskim metodama definisana je najpovoljnija lokacija izvođenja bunara K-7, kao i njegova prognozna dubina. Na slici 3 dat je prikaz obrađenog geofizičkog profila sa lokacijom bunara K-7.

Nakon dobijanja lokacije, usledilo je bušenje bunara K-7. U skladu sa litologijom terena, bunar je izveden DTH metodom uz korišćenje komprimovanog vazduha kao fluida za iznošenje nabušenog materijala [15]. Bunar je izveden do dubine 167,0 m. U ovaj bunar je ugrađen Johnson filter u zoni ispucalih i kavernoznih krečnjaka i INOX cevna konstrukcija. Nakon toga, na bunaru su sprovedeni radovi koji su obuhvatili razradu i testiranje bunara.

U ovom radu su prikazani rezultati merenja neopodnih parametara tokom razrade i analiza istih.

3. METODE ISTRAŽIVANJA

Primenjene metode razrade bunara mogu, sa više ili manje uspeha, dovesti bunar u optimalno stanje. Metode razrade bunara su podeljene u tri veće grupe [3], i to:

1. Klasične metode razrade
2. Hemijske metode razrade
3. Specijalne metode razrade.

Na našim prostorima najviše se koriste klasične metode razrade bunara. Postoji nekoliko razvijenih metodologija u okviru klasične metode razrade bunara [4], a najčešće se koriste:

- Razrada bunara klipovanjem;
- Razrada bunara naizmeničnim crpljenjem i nalivanjem čistom vodom;
- Razrada bunara aerliftovanjem komprimovanim vazduhom, sa i bez korišćenja mlaznica i/ili sekcionog ispirača;
- Ispiranje bunara crpljenjem.

Autori ovog rada su kroz primene odgovarajućih metoda i dužine razrade bunara, zatim testiranjima bunara, odredili optimalni kapacitet bunara kao krajnji rezultat izvedenih radova. Izabrane metode i optimalno trajanje razrade bunara, mogu doprineti da se iz jednog bunara dobije znatno veća količina vode, nego što je to moguće nakon primene neadekvatnih metoda i dužina razrade [9]. Osim toga kvalitetnom razradom pribunarske zone dolazi do ekonomičnosti eksploatacije bunara, usled smanjenja habanja radnih kola pumpe, te produžetka radnog veka bunara i ugrađene pumpe. Pored toga, dolazi do smanjenja bioloških problema, kao što je formiranje sloja gvožđevitih bakterija na bunarskom filteru [5] [8].

Razrada bunara K-7 u Kozluku prvenstveno je izvedena aerliftovanjem sa sekcionim ispiračem, dok je naknadna razrada izvedena kombinacijom aerliftovanja i klipovanja. Klip je izrađen od gumenih ploča, malo manjeg prečnika od bunarske konstrukcije [2]. Tokom klipovanja, dok se klip spušta na dole u nadfilterskoj bunarskoj cevi, vrši se utiskivanje vode u vodonosan sloj kroz otvore filtera. Nakon toga se klip

povlači ka gore i na taj način se voda izvlači iz sloja zajedno sa sitnozrnim česticama koje se nalaze u pribunarskoj zoni, odnosno te čestice se unose u bunar i nakon toga van bunara. Povremeno je klipovanje zaustavljeno i vršeno je aerliftovanje bunara primenom sekcionog ispirača, kojim su izbacivane sitnozrne čestice iz pribunarske zone i bunarske konstrukcije.

Tokom razrade bunara K-7 vršeno je praćenje mutnoće vode i sadržaja peska. Paralelno sa praćenjem sadržaja peska i mutnoće vode, vršena su povremena kratkotrajna testiranja bunara, radi definisanja specifičnog kapaciteta, odnosno da li dolazi do povećanja istog.

Na osnovu ovih analiza se donosi odluka o završetku razrade, odnosno definiše se da li nakog tog perioda rezultati se ne bi značajno menjali.

Nakon sprovedene razrade bunara vršeno je testiranje bunara, sa pratećim merenjima i obradom podataka radi proračuna specifičnog i optimalnog kapaciteta bunara [16]. Optimalni kapacitet bunara određen je prema kriterijumu dozvoljenog sniženja.

Za potrebe interpretacije rezultata crpljenja prilikom određivanja optimalnog kapaciteta bunara, korišćen je metod grafoanalitičke obrade podataka crpljenja u nestacionarnim uslovima [16]. Korišćena je metoda grafoanalitičkog rešenja osnovne jednačine podzemnog toka po Theiss-u, odnosno prilagođena metoda Jacoba-a [2]. Tom prilikom su formirani dijagrami $S=f(\log t)$ za prognozni period od godinu dana, za svaki primenjeni kapacitet crpljenja, gde S predstavlja sniženje podzemne vode (m). Tako dobijena prognozna sniženja iskorišćena su za formiranje dijagrama $S=f(Q)$, gde je Q optimalni kapacitet bunara (l/s), dobijen za dozvoljeno sniženje nivoa podzemne vode $S(m)$.

Za potrebe definisanja dozvoljenog sniženja nivoa podzemne vode, u praksi se koriste dva slučaja [2]. Ukoliko je ostvarena direktna hidraulička veza sa stalnim izvorom prihranjivanja, dozvoljeno je sniženje $1/2H$, odnosno do polovine zavodnjenog dela vodonosnog sloja. U slučaju da nije ostvarena direktna hidraulička veza sa stalnim izvorom prihranjivanja, dozvoljeno je oboriti nivo podzemne vode do $1/3 H$ zavodnjenog dela vodonosnog sloja. Ono na šta je potrebno obratiti pažnju prilikom definisanja dozvoljenog sniženja je da se isto ne računa od kvazistatičkog nivoa, jer se time postiže greška i dobija veće dozvoljeno sniženje. Dozvoljeno sniženje je neophodno računati od statičkog nivoa podzemne vode, jer se time sprečava precrpljivanje izdani.

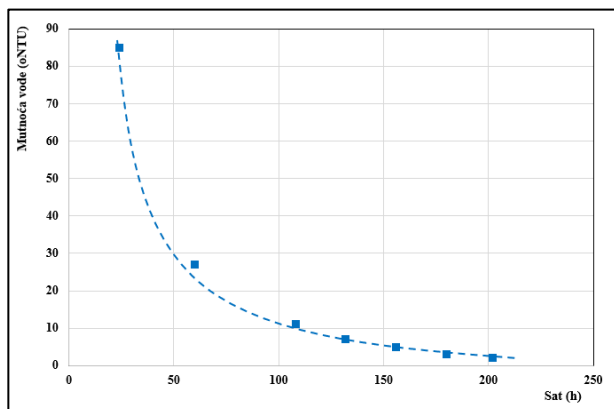
4. REZULTATI I DISKUSIJA

Iako je tokom razrade bunara vršeno praćenje mutnoće podzemne vode i sadržaja sitnozrnih čestica i

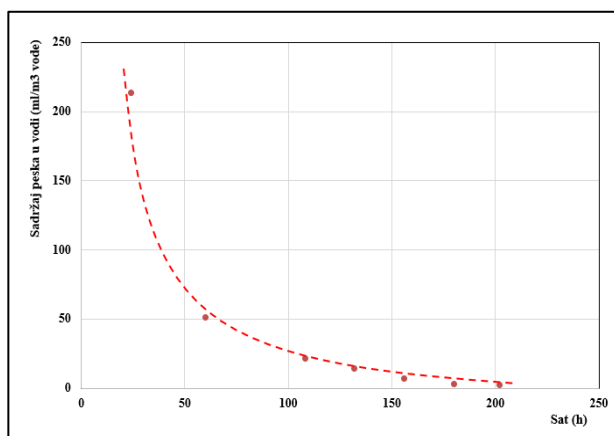
formiranje dijagrama, razrada je nekoliko puta prekidana radi izvođenja kratkotrajnog testa bunara K-1.

Nakon 24 sata razrade bunara aerliftovanjem kompresorom, izvršen je prvi test bunara, a do tog vremena su vrednosti mutnoće vode i sadržaja čestica peska i dalje bile visoke (slika 4 i 5). Razlog velikih vrednosti mutnoće i sadržaja peska u vodi je taj što je tokom razrade bunara aerliftovanjem dolazilo do velikih ulaznih brzina u bunar, usled velikog kapaciteta izbacivanja podzemne vode. Na taj način se vršilo i precrpljivanje bunara, a sve u cilju boljeg iznošenja sitnozrnih čestica.

Obrada podataka prve faze razrade bunara aerliftovanjem, nije dala očekivane rezultate, te je nastavljena razrada bunara kombinacijom naizmeničnog klipovanja i aerliftovanja. Merenje navedenih parametara i analiza promena tokom vremena je pokazalo da je nakon nešto više od 180 sati sadržaj peska opao ispod 3 ml/m^3 vode, dok je mutnoća znatno opala nakon 150 sati, na ispod 5°NTU skale. Razrada je obustavljena nakon 202 sata, kada je na osnovu dijagrama utvrđeno da se mutnoća i sadržaj peska u vodi neće značajnije više smanjivati.



Slika 4 - Dijagram promene mutnoće vode tokom razrade bunara K-7

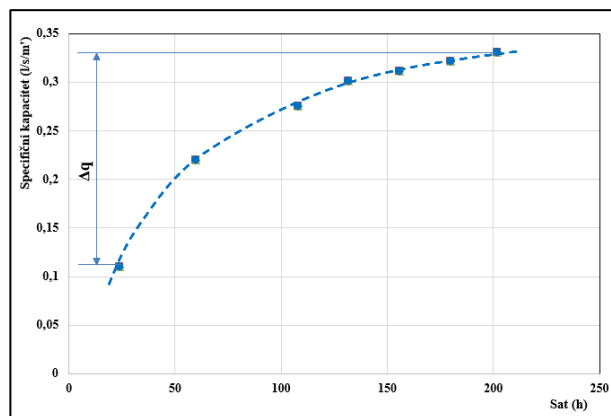


Slika 5 - Dijagram promene sadržaja peska u vodi tokom razrade bunara K-7

Tokom razrade bunara izvršeno je iznošenje velike količine sitnozrnih glinovito-laporovitih čestica, koje su izbačene iz pukotina bunara K-7. Razrada bunara je vršena dok nije izvršeno uklanjanje novih količina glinovito-laporovitih materijala iz pukotina bunara, odnosno dok se nije značajno smanjila količina izbačenog materijala tokom ispiranja, a što se vidi i sa dijagrama mutnoće i sadržaja peska u vodi.

Međutim, još jedan od parametara koji je praćen tokom razrade je i specifični kapacitet bunara. Naime, tokom razrade je u nekoliko navrata vršeno kratkotrajno testiranje bunara. Testiranja su vršena svaki put približnim kapacitetima, da bi se utvrdio stepen povećanja specifičnog kapaciteta (slika 6).

Nakon I faze razrade aerliftovanjem, odnosno nakon 24 h, dobijamo specifični kapacitet $q=0,11 \text{ l/s/m'}$. Nastavkom razrade bunara kombinacijom metoda klipovanja i aerliftovanja, dobijamo porast specifičnog kapaciteta koji je u trenutku kada je odlučeno da se razrada prekine iznosio $q=0,32 \text{ l/s/m'}$, odnosno isti je povećan skoro 3 puta.



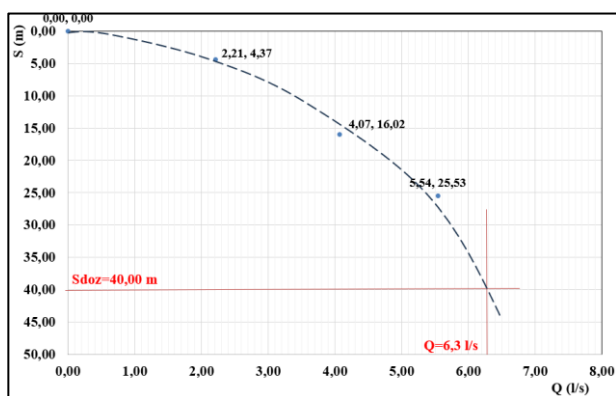
Slika 6 - Dijagram promene specifičnog kapaciteta tokom razrade bunara K-7

Nakon završetka razrade, pristupilo se testiranju bunara radi definisanja optimalnog kapaciteta, primenom 3 različita kapaciteta u ukupnom trajanju od 72 h. Imajući u vidu da se bunar K-7 izveo za potrebe izrade zahvatanja dodatne količine mineralne vode, proračun optimalnog kapaciteta bunara u paralelnom radu sa bunarom K-6, sa aspekta kriterijuma dozvoljenog sniženja će se računati na dozvoljeno sniženje, koje ne bi smelo preći $1/3H$. Kvazistatički nivo podzemne vode je pre početka testiranja bio na 5,90 m od površine terena. Međutim, kako je na ovom delu terena u ranijim periodima (posebno pri povremenim zastojsima u radu bunara K-6), nivo podzemne vode bio na površini terena, odnosno javljao se samoizliv, jasno se nameće da je statički nivo podzemne vode ovde na 0,0 m (odnosno nešto iznad površine terena). Kako je donja ivica vodonosnog sloja na lokaciji bunara K-7 je na dubini od 148,0 m, dobija se da je dozvoljeno

sniženje na ovoj lokaciji $(148,0 - 0,0) / 3 = 49,33$ m. Samim tim, nivo podzemne vode se ne bi smeo oboriti ispod pomenute dubine od 49,33 m.

Ipak, zbog konstrukcionih karakteristika bunara, te neophodne ugradnje pumpe iznad zone filtera bunara K-7, na ovom bunaru se ne preporučuje obaranje nivoa podzemne vode više od 40,0 m.

Obradom podataka testiranja za svaki kapacitet, dobijeni su dijagrami $S=f(\log t)$, za prognozni period od godinu dana. Prognozna sniženja su upotrebljena za formiranje dijagrama $S=f(Q)$, koji je iskorišten za određivanje optimalnog kapaciteta bunara K-7, u grupnom radu sa bunarom K-6.



Slika 7 - Dijagram promene specifičnog kapaciteta tokom razrade bunara K-7

Na osnovu formiranog dijagrama vidi se da je optimalni kapacitet bunara K-7, prema kriterijumu dozvoljenog sniženja nivoa podzemne vode od 40,0 m iznosi 6,3 l/s, za period eksploatacije od godinu dana, u istovremenom radu sa bunarom K-6 (kapacitetom od 2,24 l/s) za date hidrološke uslove.

Na osnovu prikazanih rezultata, autori ovog rada žele izneti da je sadržaj glinoviti čestica u vodonosnom sloju od velikog značaja kod ocjene efikasnosti primjenjene metode razrade bunara tokom trajanja tih radova, što se vidi na primeru bunara K-7. U slučaju sadržaja glinoviti čestica, izborom metode razrade bunara aerliftovanjem sa komprimovanim vazduhom, može doći do sabijanja glinoviti čestica u porama ili pukotinama vodonosnog sloja, te na taj način dolazi do dodatnog smanjenja filtracionih karakteristika akvifera, sa sve manjim šansama da se te glinovite čestice ikada isperu. U ovakvom slučaju je bolje izabrati razradu bunara klipovanjem, čime se postiže efikasnije iznošenje glinoviti čestica van vodonosnog sloja, što je prikazano kroz primer bunara K-7.

Sadržaj peska u vodi tokom razrade bunara treba opadati, ukoliko se primenjuje adekvatni režim i metoda. Međutim, ukoliko nema iznošenja sitnozrnih čestica tokom razrade bunara, može se očekivati da u nastavku razrade nema poboljšanja hidrauličkih

parametara bunara, pa treba ili menjati metodu ili obustavljati nastavak razrade.

Tokom razrade bunara i mutnoća podzemne vode treba da se smanjuje ako je primenjena adekvatna metoda razrade.

Hidraulički otpori i optimalni kapacitet bunara su direktnoj funkcionalnoj vezi. Sa opadanjem vrednosti „kvadratnih“ hidrauličkih otpora, rastu vrednosti specifičnog i optimalnog kapaciteta bunara. Najbolji način za određivanje promene specifičnog kapaciteta je povremeno izvođenje i obrada podataka step-testa nakon svake faze razrade. Obradom rezultata merenja parametara tokom step-testa bunara, utvrđuju se specifični, odnosno optimalni kapacitet bunara. Kada se utvrdi da je postignut zadovoljavajući rezultat razrade, odnosno dovoljno povećanje specifičnog, a samim tim i optimalnog kapaciteta ili njihovo stagniranje u značajnom vremenskom periodu, razrada se završava ili se menja metoda razrade.

5. ZAKLJUČAK

U radu je prezentovan značaj izbora pravilne metode i trajanja razrade bunara, kao i optimizacija režima iste.

Namera autora je da kroz ovaj rad prikažu da se pravilnim izborom metoda i optimizacijom dužine razrade mogu dobiti znatno bolji rezultati, te da može doći do značajnog prirasta specifičnog i optimalnog kapaciteta bunara tokom trajanja razrade, i po nekoliko puta. Primenom prikazanih metoda istraživanja u ovom radu, može se odrediti tok razrade bunara, da li dolazi do napretka tokom izvođenja radova, kao i odabira trenutka završetka iste.

Obradom podataka i prikazom rezultata dokazano je da dolazi do značajnog smanjenja mutnoće podzemne vode i sadržaja peska u njoj, odnosno prirasta specifičnog, a samim tim i optimalnog kapaciteta bunara K-7. Povećanjem trajanja razrade sa 24 sata na 202 sata na bunaru K-7 došlo do povećanja specifičnog kapaciteta bunara sa 0,11 l/s/m' na 0,32 l/s/m', odnosno skoro 3 puta. Optimalni kapacitet bunara nakon sprovedenog testiranja istog iznosi 6,3 l/s u paralelnom radu sa bunarom K-6.

LITERATURA

- [1] Fitts C. *Groundwater science*, Academic press, London, 2002.
- [2] Driscoll F. G. *Groundwater and wells, second edition*, Johnson Screens, Minnesota, 2003.
- [3] Lazić M. *Metode razrade i regeneracije bunara*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Institut za hidrogeologiju, Beograd, 2004.
- [4] Hamil T, Bell F.G. *Groundwater resource development, first edition*, Elsevier, Amsterdam, 1986.

- [5] Hater T. *Water well design and construction*, Groundwater cooperative extension program, University of California, Berkley, 2003
- [6] Nazzer A, Stewart T, Zhuping S. *Hydraulics of well*, John Wiley and sons, Chichester, 2014.
- [7] Sterrett R.J, *Groundwater and wells, third edition*, Johnson Division, New Brighton, 2007.
- [8] Delluer J. *The handbook of groundwater engineering*, CRC Press, Florida, 1999.
- [9] Nikolić N, Novaković V, Skopljak F, Petrović D, Radić M. Izbor metode i trajanje razrade bunara, XVI Srpski hidrogeološki simpozijum sa međunarodnim učešćem, Zlatibor, Srbija, pp 423-428, 28. septembar - 02. oktobar 2022.
- [10] Josipović J. Mineralne, termalne i termomineralne vode na teritoriji Bosne i Hercegovine, *Geološki glasnik broj 15*, pp 233-277, 1971
- [11] Novaković V. i drugi *Elaborat o izvedenim istražno-eksploatacionim radovima te bušenju i testiranju istražno-eksploatacionog bunara mineralne vode K-5 fabrike Vitinka AD Kozluk*, DOO IPIN, Bijeljina, 2003.
- [12] Novaković V. i drugi *Elaborat o bušenju i testiranju istražno-eksploatacionog bunara mineralne vode K-6 fabrike Vitinka AD Kozluk*, DOO IPIN, Bijeljina, 2003.
- [13] Novaković V, Tomić V, Andrić M, Knežević M, Rabrenović M, Grujić R. Hidrogeološke karakteristike izdani mineralne vode „Vitinka“ u Kozluku, 33. konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda Voda 2004, Borsko jezero, Srbija, pp 391-394, 8-11. jun 2004.
- [14] Novaković V. i drugi *Elaborat o bušenju i ispiranju duboke istražne strukturne bušotine VS-1 za potrebe fabrike Vitinka u Kozluku, opština Zvornik*, DOO IPIN, Bijeljina, 2004.
- [15] Novaković V. i drugi *Elaborat o izvedenim dopunskim detaljnim geofizičkim i hidrogeološkim istraživanjima nalazišta mineralne vode „Vitinka polje“, Kozluk kod Zvornika*, DOO IPIN, Bijeljina, 2024.
- [16] Pušić M. *Hidraulika bunara*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Institut za hidrogeologiju, Beograd, 2012.

SUMMARY

SELECTION OF METHODS OF WATER WELL DEVELOPMENT ON EXAMPLE MINERAL WATER SOURCE „VITINKA POLJE“ IN KOZLUK (BOSNIA AND HERCEGOVINA)

In the area of Kozluk near Zvornik, the presence of mineral water was established at the end of the 19th century, while the first collection works were carried out in 1954. During 2002 and 2003, the author of the paper carried out investigative works, which enabled the capture of mineral water and its bottling. The research of this part of the terrain has continued until today, and the author of the paper carried out additional research during 2023. The results contributed to a better knowledge of the geological structure and hydrogeological characteristics of the terrain, all for the purpose of building a new water well. After the drilling of the water well, the development phase followed, which is often crucial for the successful completion of the works. In their practice, the authors were convinced that the capacity of the well depends on the correct choice of the development method, as well as the development regime itself. The capacity of the same water well can be several times higher, depending on the choice of methods and proper development regime. This paper presents the results of the applied development methods, as well as the optimization of the well development regime depending on the characteristics of the aquifer.

Key Words: *development regime, methods, capacity, water well*