

ANALIZA UTICAJA NEKIH HIDROGEOLOŠKIH PARAMETARA NA POČETNI KAPACITET BUNARA SA HORIZONTALNIM DRENOVIMA

Milenko PUŠIĆ

Rudarsko geološki fakultet u Beogradu

Milan DIMKIĆ, Dragan VIDOVIĆ, Milan DOTLIĆ, Ilija OPARUŠIĆ

Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd

REZIME

Prognoza početnog kapaciteta bunara sa horizontalnim drenovima i danas uglavnom predstavlja nepoznatu veličinu. Iako se veliki broj istraživača bavio ovom problematikom, njihovi rezultati ne omogućavaju generalizaciju zbog mnogobrojnih nepoznatih činilaca u svakom konkretnom slučaju. Prognoza kapaciteta bunara se u praksi uglavnom zasniva na iskustvu izvođača u sličnim uslovima. Istražni radovi, usmereni pre svega ka definisanju geometrije i granulometrije akvifera, danas često ne zadovoljavaju u pogledu zahtevane kompleksnosti i detaljnosti. U ovom radu se daje rezultat preliminarne hidrodinamičke analize početnog kapaciteta jednog bunara na beogradskom izvorištu. Kroz parametarsku analizu se, za date hidrogeološke i hidrodinamičke uslove, ispituje zavisnost kapaciteta bunara od broja i dužine drenova, položaja u odnosu na reku i visinu vodosnog sloja, kao i uloge slabopropusnog proslojka. Rezultati proračuna pokazuju da kapacitet bunara nije linearna funkcija promene pojedinačnog parametra, nego da sa povećanjem njihove veličine teži asimptotskoj vrednosti. Dobijeni rezultati se ne mogu generalizovati, ali se metodološki pristup ovoj problematici kroz dati primer može preporučiti.

Ključne reči: podzemne vode, radijalni bunar, projektovanje, kapacitet bunara

UVOD

Radijalni bunari (bunari sa horizontalnim drenovima) zastupljeni su na izvorištima u aluvijalnim, plićim vodonosnim sredinama, kada je neophodno dobiti veće količine voda. Radijalno (zrakasto) postavljene drenove oko sabirnog šahta bunara omogućavaju zahvatanje

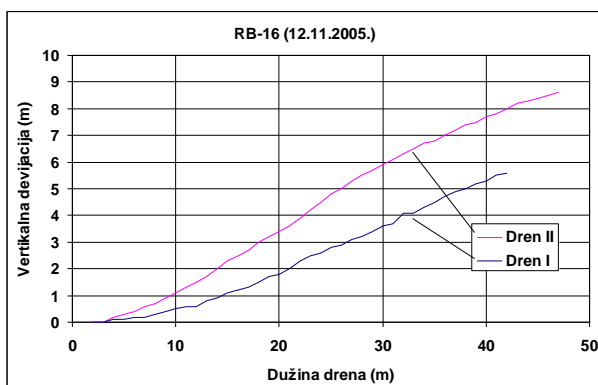
vode sa relativno velikog prostora. Ukupna vodoprijemna površina filtra drenova je daleko veća nego kod pojedinačnog cevastog bunara, što omogućava velike kapacitete i preko 100, pa i 200 l/s.

Iako relativno skup, ovaj objekat je prisutan na našim aluvijalnim izvorištima (Beograd, Novi Sad, Kragujevac, Kraljevo, Čačak ...). Izrađuje se tako, što se iz prethodno izgrađenog betonskog šahta, prečnika 2 do 5 m, na željenoj dubini, utiskuju drenovi u vodnosnu sredinu. Način utiskivanja i konstruktivne karakteristike drena uglavnom zavise od hidrogeoloških karakteristika vodonosne sredine (litoloških i granulometrijskih svojstava, debljine kolektora, hidrauličke veze sa rekam, karaktera i rezultata transformacije kvaliteta podzemnih voda na putu do bunara, itd.). Odgovarajući istražni radovi su veoma važni za uspešnu realizaciju utiskivanja, početni kapacitet i stabilnost rada ovakvog bunara. Kod projektovanja, veliki značaj ima ispravnost procene broja, pravca, dužine i dubine utiskivanja drena.

Inače, zabluda je da su drenovi bunara horizontalni i pravi. Obično su krivi, sa devijacijama u različitim pravcima, što je potvrđeno brojnim merenjima na beogradskom izvorištu, slika 1. Ovo je posledica više faktora, ali smatramo, najviše same metodologije postavljanja drenova (utiskivanje, bez mogućnosti ispravljanja eventualne greške tokom rada), kao i promenljivosti granulometrijskog sastava sedimenata na pravcima utiskivanja.

U praksi, projektovanje početnog kapaciteta radijalnog bunara se uglavnom oslanja na iskustvene rezultate sa sličnih terena i uslova eksploatacije. Pri tome, izvođači preporučuju odgovarajuće prečnike i dužine drenova za postizanje željenog kapaciteta, ne vodeći računa o ostalim relevantnim parametrima: hidrogeološkim, hidrauličkim,

konfiguraciji izvorišta, itd. [1]. Praktično redovno se dešava da se do kapaciteta bunara dolazi tek po završetku njegove izrade i po puštanju u rad.



Slika 1: Primer vertikalne devijacije dva drena (ostali nisu u funkciji) bunara RB-16 na beogradskom izvorištu. Snimak napravljen pre ugradnje novih drena (12.11.2005.)

Do sada je bilo mnogobrojnih istraživanja početne izdašnosti radijalnih bunara, naročito sredinom dvadesetog veka i uglavnom od strane sovjetskih i nemačkih autora. Njihove rezultate je analizirao i sintetizovao prof. Babac u svom delu „Bunari sa horizontalnim drenovima“ [2]. Zaključak D. Babca je „da u većini slučajeva date zavisnosti ne obuhvataju sve ključne parametre koji definišu izdašnost ovog tipa vodozahvata, tako da one ne mogu imati opšti značaj“ [2]. Njihov glavni nedostatak je u teškoći praktične primene u konkretnim realnim uslovima. Drugim rečima, nemogućnost determinisanja i neizvesnost tačne kvantifikacije „ključnih parametara“ u konkretnim uslovima su glavni razlozi otežane korektne procene početnog kapaciteta radijalnog bunara.

Pre prelaska na neposredni cilj ovog rada, treba pomenuti i značaj istražnih radova za potrebe izrade projekta utiskivanja drena, u ovom slučaju se misli na tip izvorišta tzv. „bank filtration“. Njihovu okosnicu čine istražne bušotine, postavljene na (unapred !?) planiranim pravcima postavljanja drena. Naša praksa pokazuje da se u koritu reke ne rade istražne bušotine, iako se veliki broj bunara nalazi neposredno pored ureza reke, sa drenovima, planiranim da se pružaju ispod njenog korita. Imajući u vidu izraženost prostornih promena sedimenata aluvijalnih akvifera, izlišan je dalji komentar.

U svakom slučaju, projektovanje početne izdašnosti radijalnog bunara predstavlja kompleksan zadatak, koji

traži odgovarajući pristup. Obzirom na neizvesnost rezultata izvođenja utiskivanja (konačnu dužinu i zakrivljenost drena), realnost sprovedenih proračuna je uvek pod izvesnim znakom pitanja.

U ovom radu su prikazani rezultati hidrodinamičke analize kapaciteta odabranog radijalnog bunara (RB-8m) na beogradskom izvorištu. Analiza je urađena za potrebe projektovanja novih drena, uz korišćenje matematičkog modela podzemnih voda ovog dela izvorišta. Analizirani su uticaji promene sledećih odabranih parametara na izdašnost bunara:

- broj drena,
- dužina drena,
- relativna visina drena unutar vodonosnog sloja,
- koeficijent filtracije slabije propusnog međusloja.

Očigledno je da su za potrebe sprovedene analize mora biti uvedena nužna uprošćavanja i šematizacije prirodnih uslova.

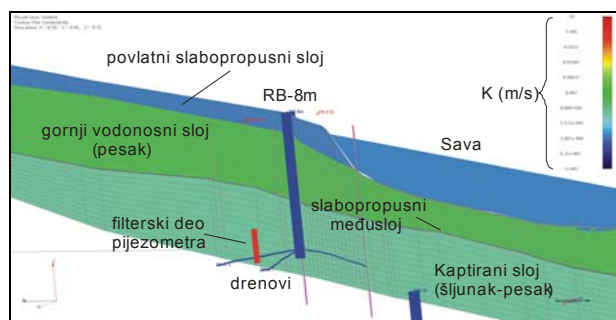
PRIMENJENE METODE

Za hidrodinamičku analizu kapaciteta bunara, proračuni su izvedeni na hidrodinamičkom, tzv. lokalnom modelu bunara RB-8m, na beogradskom izvorištu podzemnih voda [4]. Model je formiran u okruženju interfejsa Lizza [3] i softvera, namenski razvijanih u Institutu za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, za potrebe simulacije strujanja podzemnih voda prema bunarima sa horizontalnim drenovima. Bitna karakteristika ovog programskog paketa je da da je šaht i drenove bunara moguće zadati u realnim koordinatama, sa realnim dimenzijama i koeficijentom hidrauličkog otpora po obodu drena. Pored toga, rečno korito se zadaje u realnom obliku, zajedno sa hidrauličkim otporom na kontaktu sa akviferom.

Model bunara obuhvata deo Makiškog polja oko bunara RB-8m, deo toka Save, kao i deo terena na levoj obali, slika 2. Modlom su obuhvaćeni svi susedni bunari, jer je na taj način omogućeno dimenzionisanje ovog modela jasno određenim graničnim uslovima. U profilu modela su izdvojena tri šematizovana sloja, različitih hidrogeoloških karakteristika, slika 3. Slabopropusni međusloj se nalazi između kaptiranog i gornjeg vodonosnog (peskovitog) sloja. Njegovo prostiranje nije kontinualno. Tri postojeća drena bunara se nalaze u donjem vodonosnom sloju (na slici: kaptirani sloj).



Slika 2. Mikrolokacija bunara RB-8m na Makiškom polju



Slika 3. Profil kroz matematički model, duž drena upravnog na pružanje Save

Proračuni analize su sprovedeni, polazeći od nekoliko pretpostavki:

1. Lokalni model bunara RB-8m je formiran na osnovu rezultata veoma obimnih istraživanja na celom beogradskom izvorištu. Njemu je prethodila izrada i rad ne tzv. regionalnom modelu izvorišta, čija je svrha bila sagledavanje režima podzemnih voda u različitim uslovima rada celog izvorišta.

2. Model je kalibrisan simulacijom izvedenog opitnog crpenja, koja se inače sistematski realizuju na bunarima izvorišta. Opitna crpenja na beogradskom izvorištu se izvode u tzv. „eksploatacionim uslovima“. Deo izvorišta, kome pripada i analizirani bunar se prethodno „doveđe“ u kvazistacionarne uslove strujanja podzemnih voda, u skladu sa realnim mogućnostima. Zatim se analizirani bunar isključuje i prati se povratak nivoa podzemnih voda na njemu i svim hidrogeološkim objektima u zoni uticaja.

Posle postizanja lokalnog statičkog nivoa, bunar se uključuje u rad i prati do postizanja uobičajenog radnog režima. Uz zadovoljavajući broj pijezometara u zoni bunara, moguće je dobiti tražene parametre na zadovoljavajućem nivou.

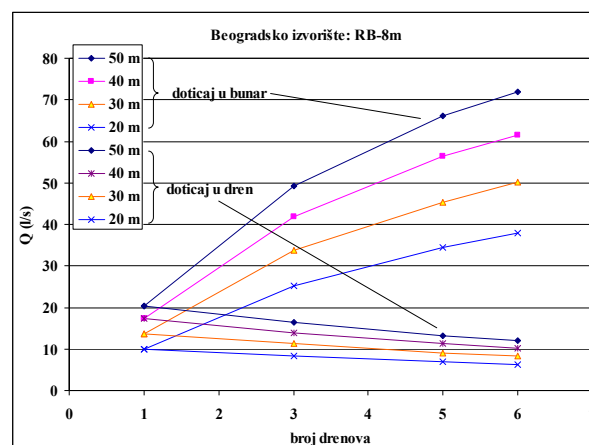
3. Lokalni hidraulički otpor na drenovima je kvantifikovan na osnovu dobijenih rezultata na drugim, sličnim bunarima izvorišta i odražava početno stanjeovog otpora na novim drenovima.

4. Granični uslovi modela su zadržani iz uslova kalibracije modela, odnosno testa bunara od 23.05.2011. godine (vodostaj Save je 71.28 mm, održavana radna kota nivoa vode u bunaru je na 52.8 mm).

5. U hidrodinamičkoj analizi kapaciteta bunara, menjana su četiri parametra: broj i dužina drenova, visina lepeze drenova u odnosu kaptirani vodonosni sloj i koeficijent filtracije slabopropusnog međusloja.

REZULTATI PRORAČUNA

Rezultati proračuna tokom kojih su menjani broj i dužina drenova, prikazani su na slici 4. Broj drenova je menjan na sledeći način: 1, 3, 5 i šest drenova. Prvi dren je postavljen upravno prema reci. Za svaku kombinaciju broja drenova, zadavane su dužine od 20, 30, 40 i 50 m.



Slika 4. Rezultati proračuna: kapacitet bunara u zavisnosti od broja i dužine drenova

Dijapazon vrednosti izračunatih proticaja za ovaj bunar je u intervalu od 10 l/s (jedan dren, dužine 20 m) do oko 72 l/s (za šest drenova, dužine po 50 m). Pored očekivanog povećanja proticaja bunara sa povećanjem broja i dužine drenova, može se uočiti tendencija postepenog relativnog

smanjenja povećanja proticaja, sa povećanjem broja drenova. Ovo potvrđuje činjenicu da se sa povećanjem broja drenova bunara, lokalno strujanje podzemnih voda približava strujanju prema cevastom bunaru.

Maksimalni doticaj u jedan dren je oko 20 l/s (bunar sa jednim drenom, dužine 50 m), što predstavlja gornju preporučenu granicu kapaciteta jednog drevena na beogradskom izvorištu. Srednja maksimalna ulazna brzina u dren je $5.3 \cdot 10^{-4}$ m/s, što se za granulometrijske karakteristike uže zone bunara uklapa u standardne kriterijume očuvanja filtracione stabilnosti porozne sredine [2], [5], [6].

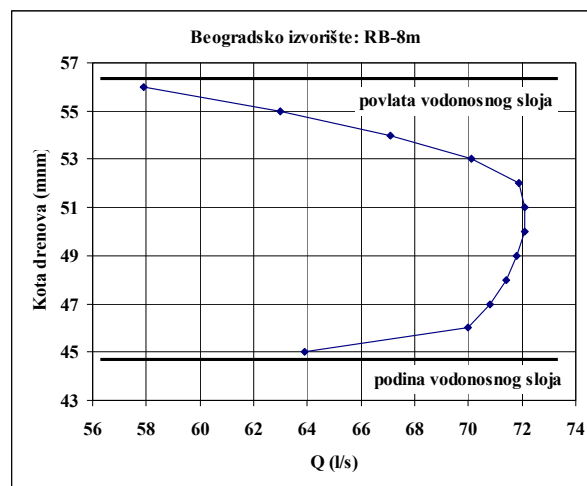
Povećanje broja drenova, sa jednog na šest, daje povećanje proticaja bunara od 3.5 do 3.8 puta, zavisno od dužine drenova. Povećanje dužine drenova sa 20 na 50 m, daje povećanje proticaja između 1.9 i 2 puta.

Može se konstatovati da povećanje proticaja bunara ne odgovara linearnoj funkciji povećanja broja i dužine drenova. Pre se može zaključiti da sa povećanjem numeričkih vrednosti ova dva parametra, proticaj bunara teži nekoj konstantnoj vrednosti. Dakle, sa povećanjem finansijskog ulaganja u bunar (povećanje broja i dužine drenova) ne dobija se i linearno odgovarajući proticaj. Tako posmatrajući, može se postaviti (opravdano) pitanje gde je granica racionalnog ulaganja u drenove radijalnog bunara. Odgovor nije tako jednostavan, jer se u datim uslovima (beogradsko izvorište, aluvijon Save) otvaraju i druga pitanja, a naročito pitanje starenja bunara.

Starenje bunara je bitan faktor projektovanja bunara, jer se postavlja pitanje prognoze (procene) razvoja ovog procesa, a samim tim i očuvanja početnog proticaja bunara i stabilne eksploatacije u njegovom budućem radu. Dosadašnji rezultati istraživanja pokazuju da su ulazne brzine u drenove od odlučujućeg značaja za procese starenja. Određene u svakom konkretnom slučaju, kritične ulazne brzine koje u sebi sadrže i ovaj, dodatni kriterijum (u odnosu na opšte prihvaćeno pravilo očuvanja filtracione stabilnosti prifilterske zone), garantuju izostanak, ili smanjenje u velikoj meri, procesa starenja. Očigledno je da primena ovakve preventivne mere u projektovanju drenova bunara ima svoje opravdanje, naročito dugoročno gledano.

Promena proticaja bunara u zavisnosti od hipsometrijskog položaja lepeze drenova u vodonosnom sloju, data je na slici 5. Napominje se da je ovaj sloj u modelu šematizovan kao homogen i izotropan, što realno nije slučaj i što je nedostatak ove analize. Povlata vodonosnog sloja, prikazana na slici na koti 56.5 mm, dok je podina

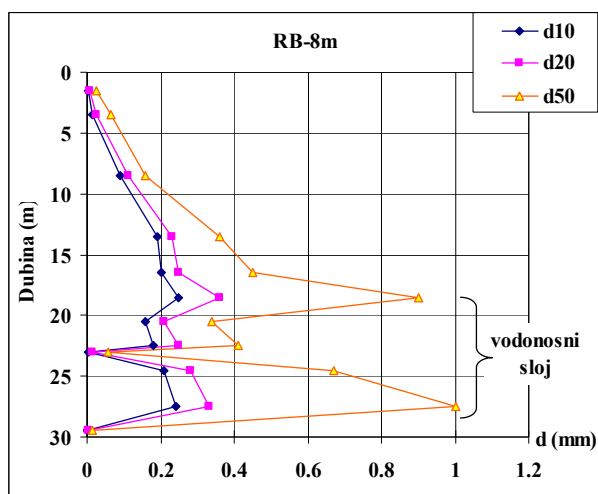
oko kote 44.8 mm. Rezultati proračuna pokazuju da postoji znatna razlika u proticaju bunara u zavisnosti od visinskog položaja drevena (u ovom slučaju 6 drenova, dužine 50 m). Najveći proticaji se ostvaruju u položaju drenova u središnjoj zoni vodonosnog sloja. Na osnovu ove analize može se zaključiti da se karakter strujanja podzemnih voda u relativno tankom vodonosnom sloju približava strujanju između dva paralelne ploče.



Slika 5: Kapacitet bunara u zavisnosti od kote lepeze drenova u vodonosnom sloju

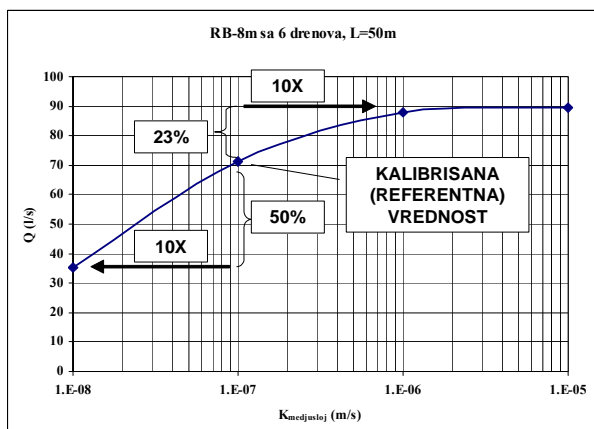
Uloga slabopropusnog međusloja je analizirana analizom uticaja promene njegovog koeficijenta filtracije. Treba naglasiti ulogu i značaj postojanja međuslojeva u akviferima izvorišta podzemnih voda. Iz iskustva je poznato koliko je neizvesno uočavanje i izdvajanje tankih, prašinih do glinovitih proslojaka, na osnovu rezultata bušenja, kakva se kod nas najčešće izvode. Pored toga, nepouzdana su podaci o veličini sitnijih frakcija sedimenta, koji odlučuju o veličini koeficijenta filtracije, što je rezultat načina uzorkovanja materijala. Pojave slabopropusnih proslojaka, relativno česte u aluvijalnim sedimentima, mogu bitno da utiču na kapacitet pojedinog bunara, kao i izvorišta u celini.

Na bunaru RB-8m je istražnim bušenjem konstatovano postojanje tankog slabopropusnog međusloja u okviru kaptiranog, slika 6. Međutim, on je utvrđen tek poslednjim istraživanjima, kada je metodološki postavljena znatno veća detaljnost i sveobuhvatnost analiziranih parametara. Kao detalj, ali od relativno velikog značaja, napominje se primer uzimanja uzoraka i granulometrijske analize svih uočenih promena u profilu bušotine. Naročito uzoraka sitnijih frakcija, što ranije nije bio slučaj.



Slika 6: Promena veličine zrna d_{10} , d_{20} i d_{50} po dubini u zoni bunara RB-8m

Rezultati proračuna sa promenljivim vrednostima koeficijenta filtracije su prikazani na slici 7. U odnosu na kalibrisanu (realnu) vrednost od $1 \cdot 10^{-7}$ m/s, povećanje od 10 puta daje povećanje proticaja bunara od oko 23%. Dalje povećanje koeficijenta filtracije praktično nema uticaja na proticaj bunara i očigledno je da postojeći međusloj gubi svoju sadašnju hidrogeološku funkciju. Sa druge strane, smanjenje koeficijenta filtracije 10 puta dovodi do smanjenja proticaja za oko 50%.



Slika 7: Kapacitet bunara u zavisnosti od veličine koeficijenta filtracije slabopropusnog međusloja

Iz prikazanog se može zaključiti da detektovanje i kvantifikovanje karakteristika slabopropusnih međuslojeva u okviru akviferskog kompleksa može da ima i odlučujući značaj za uspešnost realizacije utiskivanja drenova bunara.

ZAKLJUČAK

Poznato je da broj i dužina drenova dominantno utiču na kapacitet radijalnih bunara. Rezultati ove hidrodinamičke analize pokazuju da i drugi činioci mogu da budu od bitnog značaja. Pored pomenutih, analizirani su: uticaj slabopropusnog međusloja, koji se nalazi iznad lepeze drenova, kao i položaj drenova u vertikalnom profilu vodonosnog sloja.

Ovde je analiziran jedan realan bunar beogradskog izvorišta, RB-8m, koji se nalazi pored reke Save, u Makiškom polju. Napominje se da kalibrisani model ipak predstavlja uprošćenu šematizaciju prirodnih uslova.

Rezultati proračuna su pokazali da povećanje broja drenova, sa jednog na šest, daje povećanje proticaja bunara od 3.5 do 3.8 puta, zavisno do dužine drenova. Takođe, povećanje dužine drenova sa 20 na 50 m, daje povećanje proticaja između 1.9 i 2 puta.

Značaj hipsometrijskog položaja lepeze drenova je evidentan i ovaj prikaz treba da ukaže projektantima o potrebi detaljnog upoznavanja sa hidrogeološkim karakteristikama uže zone bunara. Više partije litološkog profila takođe treba da budu predmet pažljivih istraživanja, jer prisustvo (nezapaženih) slabopropusnih proslojaka može značajno da kompromituje ideju o dobijanju velikih količina voda iz radijalnog bunara.

U svetlu prikazanih rezultata, treba posmatrati i veličinu neophodnih finansijskih ulaganja u istraživanja hidrogeoloških uslova akvifera u cilju smanjenja rizika dobijanja neodgovarajućeg tehničkog rešenja, a u odnosu na ukupnu veličinu investicije izrade drenova.

LITERATURA

- [1] Anonymus: Preussag Horizontal Collector Wells, BHG Brechtel GmbH, Industriestr. 11 A D-67063, Ludwigshafen, Germany, www.bhg-brechtel.de
- [2] Babac, D.: Bunari sa horizontalnim drenovima, Balby International, Beograd, 1993.
- [3] Grupa autora: Lizza - Program for pre- and post-processing of models for ground water flow, R&D Center for Bioengineering, Kragujevac and Jaroslav Černi Institute for the Development of Water Resources, Belgrade, Serbia, 2004.

- [4] Grupa autora: Studija beogradsko izvorište podzemnih voda – stanje i pravci razvoja, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, 2007.
- [5] Dimkić M., Pušić M.: Preporuke za projektovanje bunara uzevši u obzir kolmiranje gvožđem na osnovu iskustva beogradskog izvorišta, Građevinski kalendar, Vol. 40, p. 430-496, Beograd, 2008.
- [6] Vuković M., Soro A.: Hydraulics Of Water Wells, Water Resources Publications, Littleton, Colorado, USA, p. 354, , 1990.

A CASE STUDY OF IMPACT ANALYSIS OF CERTAIN HYDROGEOLOGICAL PARAMETERS ON THE INITIAL CAPACITY OF WELLS WITH HORIZONTAL DRAINS

by

Milenko PUSIC

Faculty of Mining and Geology, Belgrade

Milan DIMKIC, Dragan VIDOVIC, Milan DOTLIC, Ilija OPARUSIC
Jaroslav Černi Institute for Development of Water Resources, Belgrade

Summary

Even today, the initial capacity prognosis of wells with horizontal drains represents unknown value. Although a large number of researchers have dealt with this problem, their results can not be generalized due to large number of unknown facts in each case study. In practice, well capacity prognosis is mostly based on the researcher's experience in similar conditions. Investigation works, directed towards defining aquifer geometry and grain-size distribution, are often unsatisfactory concerning complexity and represented details. This paper presents the results of preliminary hydrodynamic analysis of the initial capacity of a well at Belgrade water source. Parameter analysis, for the given hydrogeological and

hydrodynamic conditions, investigates well capacity dependency onto the drain length and number, their position regarding the river and height of the water-bearing layer, and the role of low-permeable interlayer. The calculation results show that the well capacity is not a linear function of single parameter change, but with the increase of parameter value tends towards the asymptotic value. The obtained results can not be generalized, but the case study presents the recommended methodology for this type of problem.

Key words: groundwater, radial well, design, well capacity

Redigovano 17.09.2012.