Izvedba zdenca Z-1/1 na crpilištu Bikana kod Virovitice

Vučković, Alan

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:847294

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

IZVEDBA ZDENCA Z-1/1 NA CRPILIŠTU BIKANA KOD VIROVITICE

Diplomski rad

Alan Vučković

GI299

Zagreb 2018.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski studij

IZVEDBA ZDENCA Z-1/1 NA CRPILIŠTU BIKANA KOD VIROVITICE

Alan Vučković

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

Sažetak

Kako bi se nadoknadio gubitak zdenca Z-1 na crpilištu Bikana uslijed javljanja problema s pjeskarenjem, krenulo se u izvedbu zdenca Z-1/1. Cilj ovog rada je prikazati sve korake koji su se morali proći kako bi se zdenac izveo. Prvi dio rada prikazuje geografske, geološke, hidrogeološke i hidrološke značajke područja na kojem se nalazi crpilište. U drugoj polovini rada prikazani su parametri zdenca i vodonosnika na temelju pokusnog crpljenja. Prvi korak pokusnog crpljenja je bilo crpljenje u koracima, pomoću kojeg smo odredili pojedine parametre zdenca, te linearne gubitke vodonosnika i nelinearne gubitke zdenačkog zacijevljenja. Narednom fazom, crpljenjem stalnom količinom prikazani su transmisivnost vodonosnika te hidraulička vodljivost. Na temelju prikupljenih podatak prikazan je zaključak o kvaliteti izvedbe zdenca.

Ključne riječi: crpilište Bikana, zdenac Z-1/1, pokusno crpljenje, parametri

Diplomski rad sadrži: 32 stranice, 5 tablica, 11 slika, 1 prilog i 12 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Izv. prof. dr. sc. Željko Duić, RGNF

Ocjenjivači: Izv. prof. dr. sc. Željko Duić, RGNF
Izv. prof. dr. sc. Jelena Parlov, RGNF
Doc. dr. sc. Dario Perković, RGNF

Datum obrane: 28. rujna 2018.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Master'sThesis

THE DESIGN OF WELL Z-1/1 ON THE WELLFIELD BIKANA NEAR VIROVITICA

Alan Vučković

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

Abstract

In order to compensate for the loss of the Z-1 well at the Bikana wellfield due to the problem of sandblasting, it was necessary to make the Z-1/1 well. The goal of this thesis is to present all the steps necessary for the creation of the well. The first part of the thesis presents geographic, geological, hydrogeological and hydrological features of the area where the wellfield is located. In the second part of the thesis, parameters of the well and aquifer are presented on the basis of the test pumping. The first step of the test pumping was the divergent rate test pumping, by which we determined certain parameters of the well, as well as the linear loss of the quifer and the non-linear loss caused by the curvature of the well's tube. In the next phase, the test pumping at a constant rate showed the aquifer's transmissibility and hydraulic conductivity. Based on the collected data, the conclusion on the quality of the well performance was presented.

Keywords: Bikana wellfield, Z-1/1 well, test pumping, parameters

The thesiscontains: 32 pages, 5 tables, 11 figures, 1 appendix and 12 references

Original in: Croatia

Thesis deposited at: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Associate Professor Željko Duić, PhD

Reviewers: Associate professor Željko Duić, PhD
Associate professor Jelena Parlov, PhD
Assistant professor Dario Perković, PhD

Date of defense: September 28, 2018.

Sadržaj:

1. Uvod....1
2. Prethodna istraživanja....2
3. Značajke terena....6
3.1 Geografski položaj....6
3.2 Geološke značajke šireg virovitičkog područja....7
3.3 Hidrogeološke i geološke značajke vodonosnika....10
3.4 Napajanje vodonosnika....13
3.5 Hidrologija....15
4. Izvedba zdenca....16
4.1 Bušenje....16
4.2 Ugradnja konstrukcije zdenca....17
4.3 Šljunčani zasip....18
4.4 Osvajanje i čišćenje zdenca....18
4.5 Pokusno crpljenje....19
4.6 Kakvoća podzemne vode....20
5. Parametri zdenca i vodonosnika....23
5.1 Lokalni parametri vodonosnika....23
5.2 Parametri zdenca Z-1/1....25
5.3 Izdašnost zdenca i položaj crpke....29
6. Zaključak....31
7. Literatura....32

Popis slika:

Slika 2.1 Položaj zdenaca na crpilištu 3

Slika 2.2 Profil dubljih bušotina na crpilištu 5

Slika 3.1 Geografski položaj crpilišta 6

Slika 3.2 Geološka karta Virovitičkog područja 7

Slika 3.3 Geografski prikaz bušotina sa slike 3.4 11

Slika 3.4 Litološki profil kvartarnog vodonosnika 12

Slika 3.5 Regionalni ocrt hidroizohipsi kvartarnog vodonosnika na širem virovitičkom području prema podacima mjerenja DHMZ 14

Slika 4.1 Prikaz razine podzemne vode i crpne količine tijekom pokusnog crpljenja zdenca Z-1/1 na crpilištu Bikana u Virovitici 19

Slika 5.1 Polulogaritamski dijagram vrijeme-sniženje za stalnu količinu pri pokusnom crpljenju zdenca Z-1/1 24

Slika 5.2 Dijagram kolebanja razine podzemne vode i prirasta sniženja pri pokusnom crpljenju u koracima 26

Slika 5.3 Grafička analiza ekvivalentnog specifičnog sniženja i ekvivalentne izdašnosti zdenca Z-1/1 prema podacima iz tablice 5-2 27

Slika 5.4 Dijagram s=f(Q) i pojedine vrste gubitaka za satno crpljenje zdenca Z-1/1 29

Popis tablica:

Tablica 4-1. Sadržaj karakterističnih kemijskih sastojaka u podzemnoj vodi iz zdenaca i piezometarske bušotine PV-1 na crpilištu Bikana preuzet iz ranijih istraživanja 21

Tablica 4-2. Prosječne vrijednosti pokazatelja kakvoće vode tijekom izvedbe zdenca Z-1/1 22

Tablica 5-1..Vrijednosti lokalnih parametara vodonosnika 24

Tablica 5-2. Podaci pokusnog crpljenja u koracima.....27

Tablica 5-3. Parametri zdenca Z-1/1.....28

Popis priloga:

PRILOG 1 Dnevnik pokusnog crpljenja zdenca Z-1/1

Popis korištenih oznaka i jedinica:

Q (l/s)	izdašnost zdenca
T (m^2/dan)	transmisivnostvodonosnika
Δs (m)	prirast sniženja
K (m/dan)	hidraulička vodljivost
d (m)	debljina vodonosnika
B (s/m^2)	parametar linearnih gubitaka u vodonosniku
C (s^2/m^5)	parametar linearnih gubitaka u i oko zdenačkog zacjevljenja
δs_i (m)	razlika sniženja između dva susjedna koraka u crpljenju
δQ_i (m^3/s)	razlika izdašnosti između dva susjedna koraka u crpljenju
$\delta s_i/\delta Q_i$ (s/m^2)	ekvivalentno specifično sniženje
$\frac{Q_i^2 - Q_{i-1}^2}{\delta Q_i} = Q_q$ (m^3/s)	ekvivalentna izdašnost između pojedinih koraka u pokusnom crpljenju
S (-)	koeficijent uskladištenja vodonosnika
R_z (m)	efektivni polumjer zdenca

1. Uvod

Crpilište Bikana osnovno je izvorište vodoopskrbnog sustava grada Virovitice, te se nalazi na samome sjeveru grada. Crpilištem upravlja tvrtka Virkom koja se bavi crpljenjem i distribucijom vode, te pročišćavanjem otpadne vode. Nakon problema sa pjeskarenjem unutar zdenca Z-1 pristupilo se gradnji zdenca Z-1/1.

Glavna tema ovog rada je izvedba zdenac Z-1/1 koji se počeo raditi 15.12.2012. nakon što su se pojavili problemi sa pjeskarenjem unutar zdenca Z-1. Cilj rada je prikazati uvjete (geografske, geološke, hidrogeološke i hidrološke) u kojima se zdenac izvodio, način izvedbe bušotine u kojoj se zdenac nalazi, opremanje i osvajanje zdenca, te naposljetku prikaz svih parametara koje je potrebno izračunati i odrediti prilikom izvedbe jednog zdenca.

2. Prethodna istraživanja

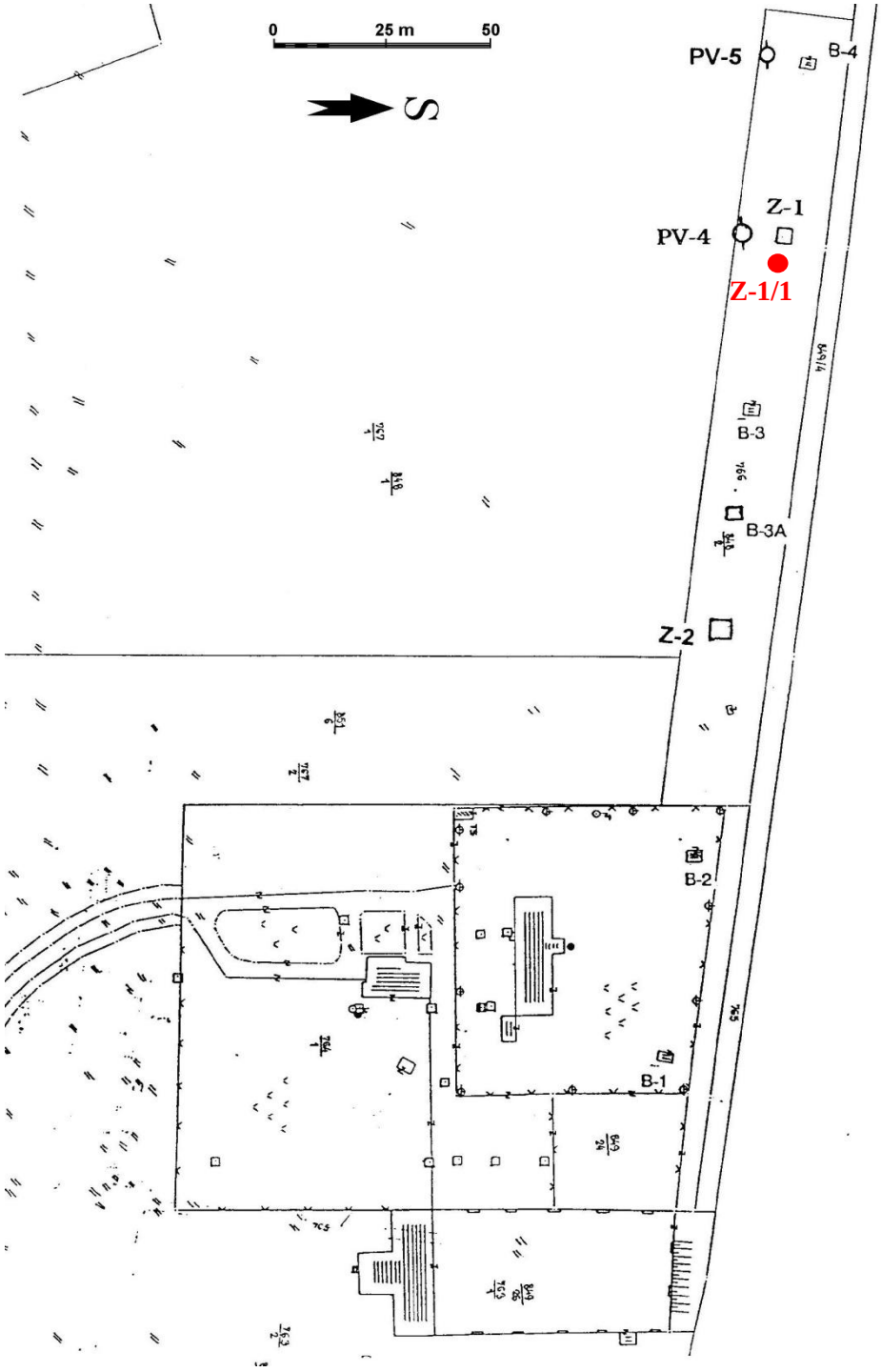
Crpilište Bikana danas je najveće crpilište na virovitičkom teritoriju, te se sastoji od dva novije izbušena zdenca i četiri starija zdenca (slika 2.1). Davne 1962. godine, nakon provedenog geoelektričnog snimanja, provedena su prva istraživanja za lokaciju crpilišta (Kovačević, 1962). Nakon duljeg vremena, početkom sedamdesetih godina krenulo se u projekt izrade eksploatacijskog zdenca (Petrović, 1971). Cijeli projekt sadržavao je izradu strukturno-piezometarske bušotine i jednog zdenca. Konačna dubina obiju bušotina iznosila je 60 m jer su tadašnji inženjeri smatrali da se u blizini dna bušotina nalazi i konačna dubina zalijeganja vodonosnika zbog pojave sitnijeg materijala.

Prvi zdenac na crpilištu Bikana izgrađen je 1971. godine pod nazivom B-2. Geotehnika-Zagreb je izvodila radove izvedbe zdenca, te su se služili reverznom metodom bušenja uz ispiranje čistom vodom. Zdenac je bušen do dubine od 63 m, promjera bušotine 800 mm. Do dubine od 23,80 m zacjevljenje bušotine bilo je promjera 500 mm, a od navedene dubine do dna bušotine promjer je iznosio 400 mm. Unutar zdenca su postavljena mostićava sita u tri intervala. Od površine do dubine od 20 m postavljen je glineni tampon kako bi zaštitio zdenac od vanjskih utjecaja, dok se na dubini od 20 m pa sve do dna bušotine nalazi šljunčani zasip granulacije 1-4 mm. Rezultat izvedbe zdenca je bio zdenac specifične izdašnosti od 26-35 l/s/m. Naredna dva zdenca, B-3 i B-4, su načinjena 1978. godine. Nažalost postupak izvedbe zdenaca te pokusna crpljenja nisu dokumentirani. Prema zapisniku o izvedbi zdenaca, te podacima koji se nalaze unutar zdenca može se zaključiti da su geološki uvjeti bili slični kao i kod izgradnje zdenca Z-2.

Početkom 1994. crpilište je bilo primorano krenuti u izvedbu novog zdenca, B-3A. Razlog tomu je bilo pjeskarenje unutar zdenca B-3. Kao i prethodni zdenci, ovaj zdenac je reverzno bušen, ali promjerom 700 mm. Sito unutar zdenca B-3A je žičano sa "V" otvorom, tipa "Johnson". Otvori unutar sita su dva milimetra sa promjerom od 300 mm u intervalu od 40 do 52 m. Iznad sita bušotina je zacijevljena punom cijevi promjera 400 mm. Zasip zdenca čini šljunak granulometrije 1-4 mm, dok je specifična izdašnost zdenca iznosila 8,91 l/s/m.

Posljednji od starih zdenaca bio je zdenac B-1. Njegova izvedba započela je 1988. godine. Zdenac B-1 je jednako kao i prva tri zdenca bušen do dubine od 63 m, jednakim promjera bušotine veličine 800 mm. Mostićavo sito promjera 500 mm postavljeno je u tri

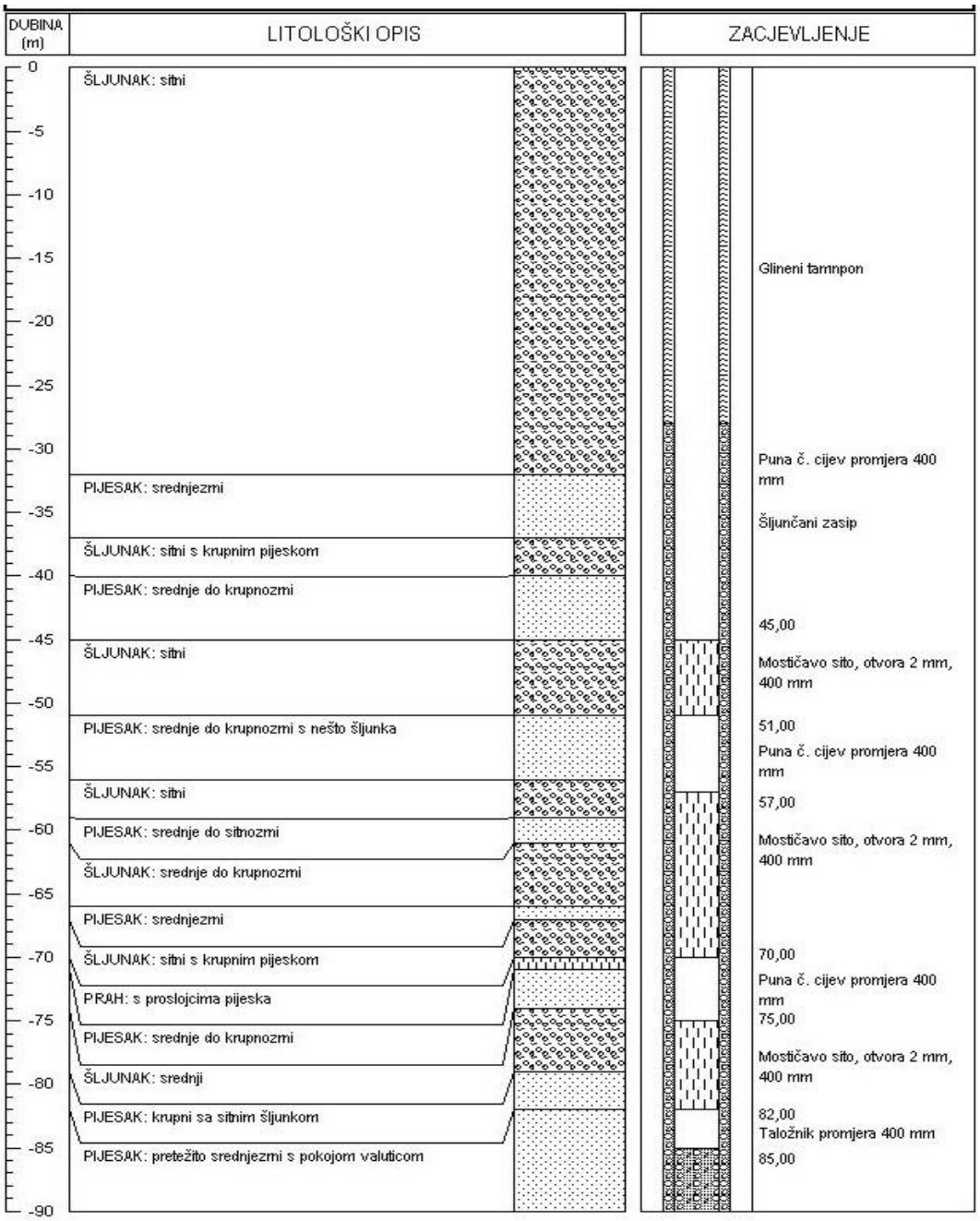
različita intervala unutar vodonosnog sloja. Zdenac je zasut granuliranim šljunkom 1-3 mm od dna bušotine do 20 m dubine. Na šljunčani nasip, do površine se nastavlja glineni tampon. Pokusna crpljenja u ovom zdencu nisu obavljena, iako je zdenac osvojen s crpnim količinama od 24 d 57 l/s.



Slika 2.1 Položaj zdenaca na crpilištu

Sredinom devedesetih godina prošlog stoljeća izvedena su istraživanja s ciljem dobivanja detaljnih informacija vezanih uz uvjete rada crpilišta i regionalnih hidrogeoloških odnosa provedenih u sklopu "Hidrogeološke studije o modeliranju vodonosnika i prijedlogu rješavanja zaštite crpilišta Bikana" (Urumović i dr., 1996). Istraživanja su rezultirala izmjenom i moderniziranjem postupka eksploatacije podzemnih voda na crpilištu Bikana. Do modernizacije je došlo jer su rezultati istraživanja pokazali da je dubina zalijeganja vodonosnika puno veća od one za koju se smatralo. Također se došlo do zaključaka da bi donji dio vodonosnika, koji do tada nije bio zahvaćen, mogao imati znatno veće propusnosti od gornjeg dijela vodonosnika. Kako bi se potvrdile indikacije izvedena je duboka istraživačko-piezometarska bušotina PV-4, koja je naposljetku i potvrdila tadašnja razmišljanja (Urumović i Hlevnjak, 1996). Nova saznanja su otvorila mogućnosti izrade novih zdenaca, te su se uskoro i izveli novi zdenci Z-1 i Z-2.

Zdence Z-1 i Z-2 izvela je osječka tvrtka Vodovod u dvogodišnjem razmaku (1996 i 1998). Zdenci su po načinu izvedbe te karakteristikama vrlo slični. Oba zdenca bušena su reverznom metodom promjera bušotine 700 mm. Zdencima su ugrađena mostićava sita sa otvorima od dva milimetra, promjera 400 mm. Sita se unutar zdenca Z-1 nalaze na dubini od 46,5 do 82,5 m, dok je sito u slučaju zdenca Z-2 na dubinama od 45 do 82 m (slika 2.2). Iznad sita u oba zdenca su ugrađena zacjevljenja punim cijevima promjera 400 mm, dok se ispod sita nalazi taložnik duljine četiri metra, također promjera 400 mm. Šljunčani zasip oba zdenca čini granulirani šljunak 1-4 mm. Bitna razlika među zdencima je u pokusnom crpljenju. Naime, kod prvog zdenca pokusno crpljenje je izvedeno sa tri crpne količine, 66, 94 i 122 l/s, čime se postigla specifična izdašnost zdenca u vrijednosti preko 35 l/s/m. Za razliku od prvog, zdenac Z-2 karakteriziraju četiri različite crpne količine od 53, 86, 106 i 129 l/s. Prilikom maksimalne crpne količine postignuta je specifična izdašnost zdenca u vrijednosti 27 l/s/m. Na temelju poznatih podataka, preporučena maksimalna eksploatacijska izdašnost oba zdenca je veličine Q = 80 l/s.

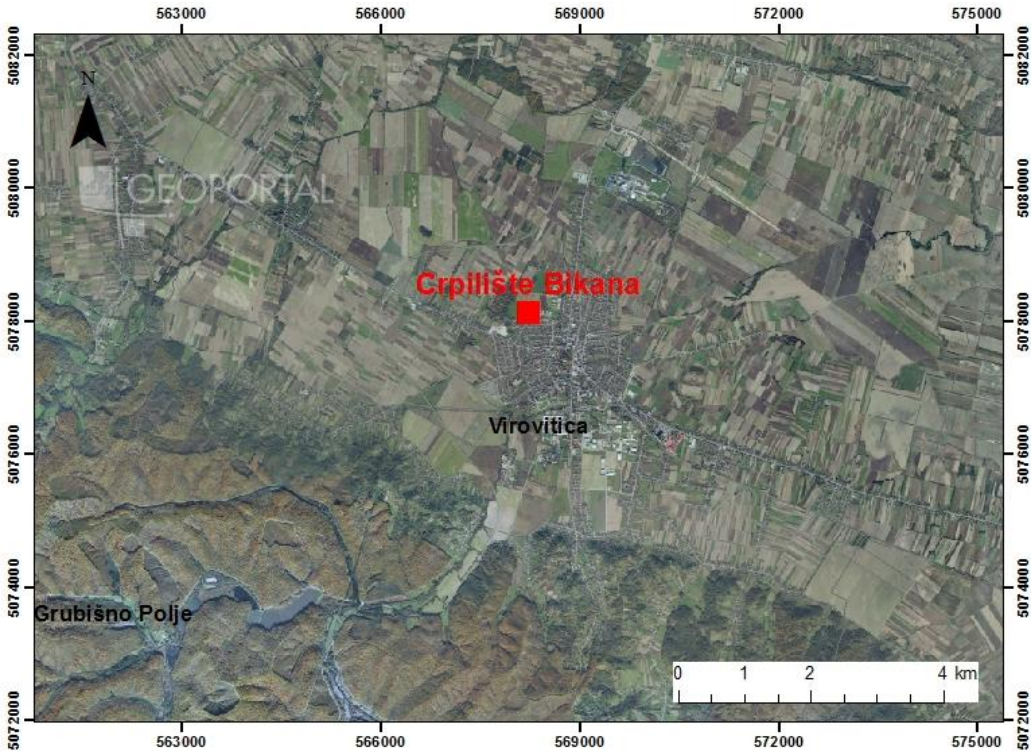


Slika 2.2 Profil dubljih bušotina na crpilištu (Urumović i Hlevnjak, 1998)

3. Značajke terena

3.1 Geografski položaj

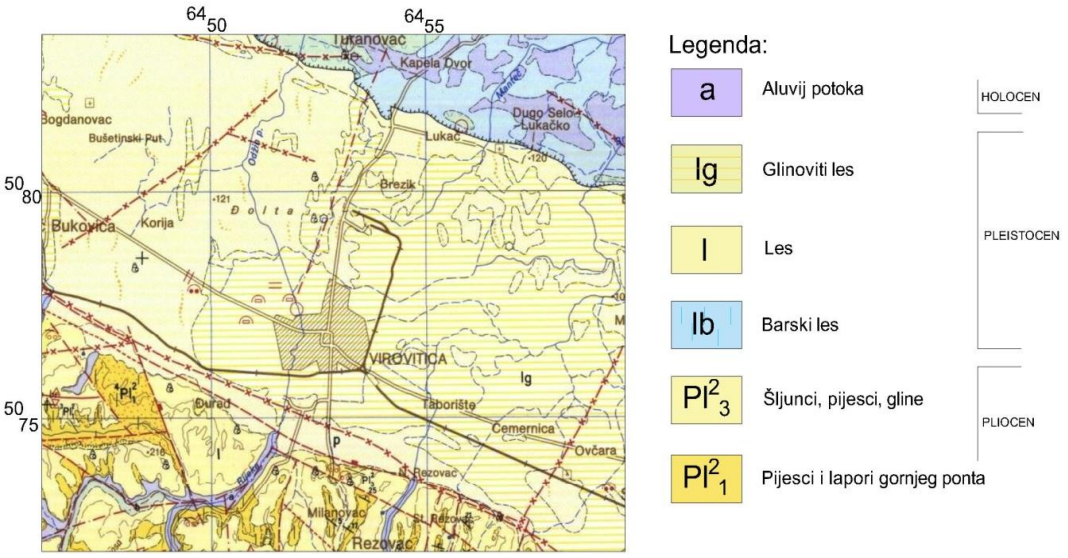
Zdenci tvrtke Virkom d.o.o., među kojima se nalazi i zdenac Z-1/1, nalaze se u prostoru Bilogorske Podravine, 12 kilometara južno od Hrvatske granice sa Republikom Mađarskom. Za diplomski rad je značajan grad Virovitica, sjedište Virovitičko-podravske županije, jer se crpilište nalazi u sjevernom dijelu grada (slika 3.1). Južno od Virovitice nalazi se reljefno više područje, gora Bilogora, dok sjeverno od grada teče rijeka Drava. Sam grad se nalazi na ravničarskom području nadmorske visine oko 123 metra. Područje se nalazi u jugoistočnom dijelu Panonskog bazena, te je prekriveno humusom i aluvijalnim nanosima.



Slika 3.1 Geografski položaj crpilišta (Izvor : Geoportal)

3.2 Geološke značajke šireg virovitičkog područja

Virovitičko područje je, geološki gledano, podijeljeno u dvije cjeline, jednako kao i veći dio Podravine. Zdenac Z-1/1 se nalazi u dravskoj nizini, koja čini jednu od dvije cjeline na koje se teritorij dijeli. Druga cjelina je Bilogora. Formiranju Bilogore i nizine kojom teče rijeka Drava bitno su pridonijele tektonske aktivnosti, te različiti tipovi sedimentacija kroz geološku povijest. Rezultat svih aktivnosti u povijesti je relativno jednolična (kako kronostratigrafski tako i litološki) građa cijelog površinskog područja jer se na površini nalaze najmlađe gline, prahovi i pijesci holocenske i pleistocenske starosti (slika 3.2). Na geomorfologiju terena kojeg danas poznajemo najviše su utjecali stari blokovi formirani u vrijeme Alpske orogeneze (Galović i Marković, 1976).



Slika 3.2 Geološka karta Virovitičkog područja (Galović i Marković, 1979)

Bilogorski masiv pruža se generalno u smjeru JI-SZ, jednako kao i dinarski smjer pružanja. Sama gora je jedan oblik forme, antiklinale, koja je razlomljena poprečnim i uzdužnim rasjedima na već spomenute, manje blokove. Prema tumaču 'Osnovne geološke karte Virovitica', manji blokovi zasebno čine strukturne forme duž vertikalnih rasjeda. Jedan takav blok, dužine 20-ak kilometara se nalazi u zaleđu Virovitice, te ima oblik antiklinale. Antiklinala virovitičkog bloka je razlomljena mnogobrojnim rasjedima dinarskog smjera pružanja. Najstarije stijene koje možemo naći na površini Bilogore taložene su u gornjem pontu, dok su se bušenjem utvrdile i stijene iz razdoblja mezozoika

te paleozoika. Predstavljaju ih sivi pjeskoviti lapori, koji sadrže zrna kvarca, feldspata, čestice stijena te u manjim količinama zrna karbonata, pelita te listića muskovita, dok se također mogu pronaći i minerali teške frakcije. Na laporima normalno leže rhomboidejski fosilizirani pijesci (Galović i Marković, 1976), također taloženi u gornjem pontu. Naslage se odlikuju izrazitom slojevitošću, te raznovrsnim i velikim brojem fosila koji dokazuju već navedenu, gornjopontsku starost. Pijesci su smeđi do sivi, srednje veličine zrna od 29 do 170 mikrona te se većinom sastoje od zrna kvarca i manjih količina feldspata, muskovita, čestica glina, pelita, čerta i niskometamorfnih škriljavaca. Na rhomboidejske pijeske se nastavljaju dobro uslojeni glinoviti lapori. Litološki su to sivi do smeđiglinoviti i pjeskoviti dobro uslojeni lapori, čije debljine variraju od jednog do nekoliko desetaka centimetara. Ukupna debljina sloja lapora varira između 25 do 35 metara. U krovini lapora, se sve učestalije izmjenjuju lapori i pijesci do trenutka kada se na lapore normalno nastavljaju gornjorhomboidejski pijesci. Debljina žuto do smeđih pješčanih naslaga je otprilike deset metara, te je karakterizirana izrazitom slojevitošću, pogotovo u podini. Količina pijeska varira od 50-95%, te sadrži srednje veličine zrna od 0,073 do 0,2 mm.

Krajem pliocena dolazi do transgresije gornjopliocenskih naslaga te se sve starije stijene prekrivaju. Diskordantno na rhomboidejskim pijescima leže gornjopliocenske naslage koje predstavljaju šljunci, pijesci i gline u međuslojnoj izmjeni (Galović i Marković, 1976). Do taloženja naslaga krajem pliocena došlo je zbog transgresije koja je potopila cijelo kopneno područje. Žutosmeđi do sivi šljunci i pijesci karakteriziraju ove naslage, čije valutice šljunka mogu biti veličine do pet centimetara u promjeru izgrađene pretežito od kvarca, te rjeđe od pješčenjaka, magmatskih i metamorfnih stijena te vapnenaca. Srednja veličina zrna ovih naslaga je 6,7-27 milimetara, dok je granulometrijskom analizom sedimenata određeno da se naslage sastoje od 50-90% valutica i 10-50% pijeska.

Do regresije na širem virovitičkom području dolazi početkom kvartara, što rezultira stvaranjem riječnih tokova te novih jezera (Galović i Marković, 1976). Početak regresije je označio i početak stvaranja geografskog oblika terena kakav i danas poznajemo. Dravsku depresiju čine, već opisane, stijene tercijara i kvartarne naslage koje će biti prikazane u nastavku. Početak formiranja današnjih geografskih oblika također obilježava formiranje toka rijeke Drave koji uzrokuje taloženje gruboklastičnih materijala, šljunaka, pijesaka i siltova. Krajem pleistocena, nakon izdizanja cijelog područja te stvaranja dravske terase, na cijelom području se taloži les. Les se taložio u dva oblika, u obliku

barskog i kontinentalnog lesa. Barski les su naslage eolske prašine taložene u vodenim sredinama. Naslage se odlikuju zeleno-tamnosivom do plavkastom bojom, zatim većim postotkom gline uz pomanjkanje $CaCO_3$. Bitno za spomenuti je da se barski les taložio u području grada Virovitice ispod naslaga eolskog pijeska na dubini od dva metra, dok sama debljina sloja u prosjeku iznosi pola metra. Jednako kao i barski les, kopneni les diskordantno leži na pliocenskim šljuncima, pijescima i siltovima. Kopneni les je svjetlo žute boje te je nevezan zbog njegovog transporta vjetrom. Njegova poroznost je dosta velika, no smanjuje se sa dubinom. U naslagama su karakteristične karbonatne konkrecije. Ukupna debljina lesa na cijelom području varira od nekoliko metara do čak 20 metara.

Presedimentiranjem naslaga sa Bilogore te uslijed poplava rijeke Drave na dravskoj terasi nastaju lesoidne gline. Lesoidne gline predstavljaju glinovite i pjeskovite leće unutar sedimenata, također pleistocenske starosti. To dokazuju i slični fosilni ostatci koji su karakteristični za les. Dominantne čestice unutar ovih sedimenata u prahovi i gline, koji mogu činiti i do 90% sredine. Maksimalna debljina ovih naslaga je do deset metara.

Kako se u holocenu rijeka Drava kretala prema sjeveru zbog ranijeg uzdizanja Bilogore, tako se rijeka micala sa virovitičke terase, te ostavljala materijale kao što su pijesci i siltovi. Prema tumaču 'Osnovne geološke karte Virovitica', eolskom aktivnošću nastale su dine koje se na svojim grebenima sastoje od krupnozrnatijeg detritičnog materijala, dok se u udolinama između dina nalaze pjeskovite ilove. Fosilni ostatci unutar eolskih dina su izuzetno rijetki uslijed prijenosa materijala vjetrom. Eolski pijesci na području Virovitice karakteristični su jer sadrže veće količine teških minerala, što je rezultat prirodne separacije detritusa u fluvijalnoj i eolskoj sredini.

Najmlađe holocenske naslage su pijesci i šljunci, taloženi djelovanje rijeke Drave unutar riječnog korita ili za vrijeme velikih voda ili ogromnih poplava. Oni se talože i danas, te se nalaze na hipsometrijski izdignutijim dijelovima terena te u području uz rijeku Dravu. Karakterizira ih žućkasta, svijetlosmeđa ili sivosmeđa boja, te pojedini ostatci mikrofosila uz pretaloženestarije fosile. Ove naslage sadrže već navedene fragmente, pijeske, šljunke i siltove, ali 90% njihovog sadržaja čine šljunci, dok su ostatak pijesci i siltovi.

3.3 Hidrogeološke i geološke značajke vodonosnika

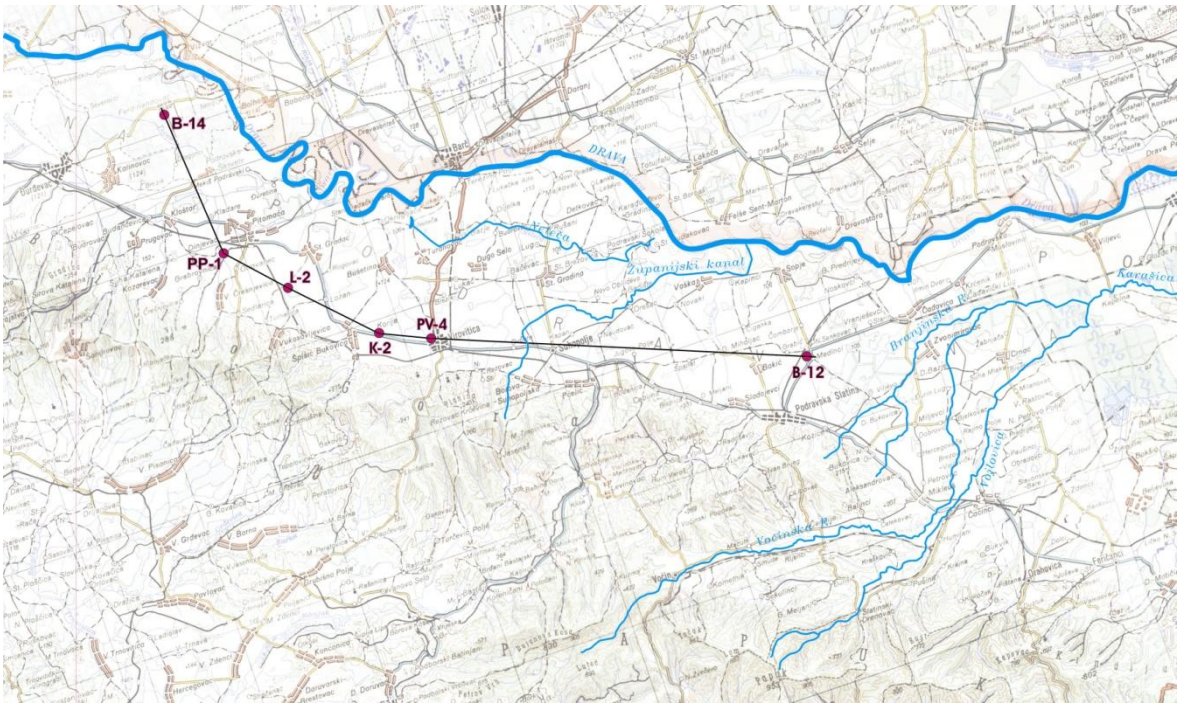
Teritorij Republike Hrvatske uz rijeku Dravu izuzetno je vezan za samu rijeku te za vode koje se nalaze u njezinom podzemlju. Na cijelom području se nalazi i nekoliko ležišta nafte i plina, no bez obzira na njih glavni prirodni resurs Podravine je voda. Obzirom na važnost podzemnih voda, veliki dio Podravine je proglašen potencijalnim rezervama pitke vode druge razine (Program zaštite okoliša Virovitičko-podravske županije, 2003), kako bi se smanjio rizik od zagađenja i onečišćenja istih.

Podzemne vode nalaze se u vršnim dijelovima kvartarnih naslaga, te čine veliki vodonosni kompleks iz kojeg se crpi voda za cijelu Podravinu te obližnje regije koje imaju manji broj izvorišta. Crpljenje se, u podravskom bazenu, može izvoditi u dvije jedinice, nizinskom predjelu i rubnim terasama bazena. Crpljenje se, u podravskom bazenu, može izvoditi u dvije jedinice. Nizinski predjeli bazena prate tok rijeke Drave, dok se rubne terase nalaze na rubovima bazena, najčešće u zapadnim predjelima. Najveće razlike između dviju cjelina su debljine vodonosnika koje su u nizinskim predjelima dravske ravnice znatno veće od dubina vodonosnika u područjima terasa. Osim razlika u debljini vodonosnika, najbitnija je razlika u kvaliteti vode unutar dviju cjelina. Veliku količinu vode koja je uskladištena u ravničarskim kvartarnim naslagama karakteriziraju reduktivni uvjeti, stoga voda sadržava povećane udjele željeza, mangana i prirodnog sadržaja amonijaka. Za razliku od nizinskih predjela, razvedene rubne terase sadrže manje reduktivne uvjete, te je ponegdje izražena i oksidiranost naslaga, što rezultira boljom prirodnom kakvoćom vode.

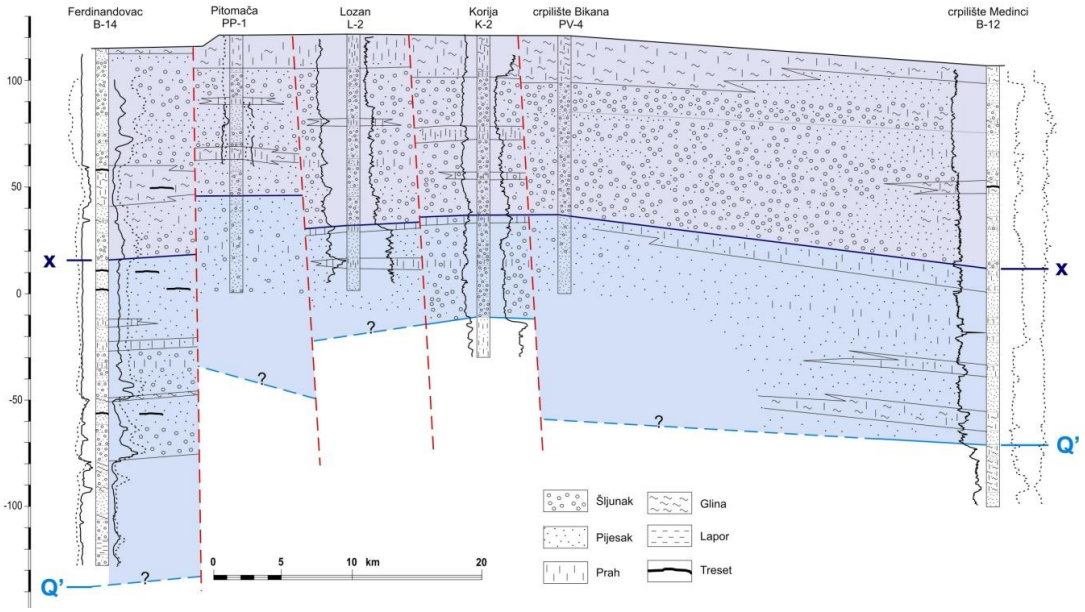
Detaljnija geološka istraživanja Podravine su se radila zbog istraživanja podzemlja u svrhu naftno-geoloških istraživanja potencijalnih ležišta nafte i plina, te u manjim količinama za hidrogeološka istraživanja potencijalnih crpilišta. Istraživanjima se odredila debljina aluvijalnog vodonosnika koja od površine do regionalnog repera Q' (Urumović i dr., 1976.) može iznositi i preko 300 metara u središnjim dijelovima Dravske grabe. Ukupne debljine aluvijalnih naslaga su puno veće, no reper Q' je iznimno važan jer su za potrebe vodoopskrbe bitne samo te dubine. Cijelim vodonosnim naslagama taloženi su pijesci i šljunci kvartarne starosti, čiji odnos nije uvijek jednak. U zapadnim predjelima dominiraju šljunci, dok se idući prema istoku smanjuje udio šljunaka te povećava udio pijeska (slike 3.3 i 3.4). Osim pijesaka i šljunaka u vodonosniku se nalaze i prahovi i gline

koje stvaraju polupropusne slojeve. Debljina vodonosnika se idući prema rubnim terasama smanjuje, te u kontaktu sa slavonskim gorama isklinjava u proluvijalne nanose ili se nalazi u rasjednom kontaktu sa tercijarnim naslagama. Propusne kvartarne naslage se gotovo nikada ne nalaze na površini. Na površini terena se nalaze ranije opisani lesovi, koji mogu biti kopneni i močvarni. Kopneni les prekriva najveći dio Podravine, dok se močvarni les nalazi u ulekninama ili ispod kopnenog lesa.

Prethodno su u tekstu spomenuti reduktivni uvjeti u vodonosniku, uslijed kojih voda sadrži u sebi teške metale kao što su željezo, mangan, slobodni prirodni amonijak i prateći elementi. Ti metali su izuzetno bitni za kakvoću vode, a njihova pojava u fluidu ovisi o tipu taloženja naslaga u kojima se nalazi voda. Taloženje se odvijalo u depresiji u kojoj su bili močvarni uvjeti i prateća reduktivna sredina koja je dokazana kakvoćom podzemne vode. Takvi reduktivni uvjeti prevladavaju u cijeloj podravskoj grabi, osim u pojedinim dijelovima uz rubove terasa. Ti dijelovi grabe su stabilniji u odnosu na središnji dio grabe jer su kasnili u procesu tonjenja, što je rezultiralo okopnjavanjem terena te oksidacijom teških metala.



Slika 3.3 Geografski prikaz bušotina sa slike 3.4 (Urumović i dr., 2008)



Slika 3.4 Litološki profil kvartarnog vodonosnika (Urumović i dr., 2008)

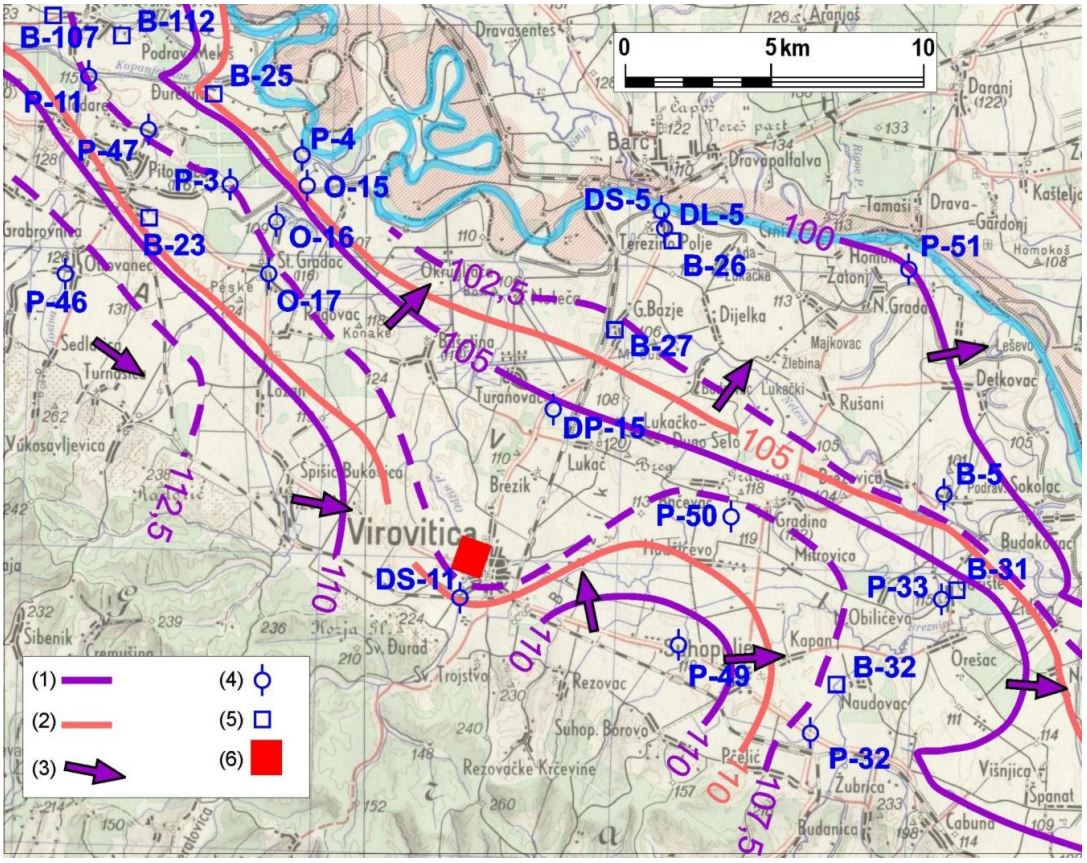
3.4 Napajanje vodonosnika

Cijelo podravsko područje sadrži velike količine podzemne vode. Obzirom da se vode konstantno crpe, potrebno je prikazati i način njihovog napajanja. Većinski se napajanje podzemnih voda odvija infiltracijom oborina. Količina infiltriranih oborina u podzemlje procijenjena je na temelju kolebanja vode u piezometrima istočnog dijela dravske depresije u razdoblju između 1970. i 1973. te efektivne poroznosti naslaga na lokacijama piezometara. Istraživanjem se odredilo da 7-30% godišnjih oborina ponire u podzemlje (Urumović, 1982). Na temelju detaljnih identifikacija uvjeta rada osječkog vodocrpilišta Vinogradi (Urumović i Hlevljak, 1996; Urumović i Hlevljak, 1998; Duić i dr., 2005) odredili su se slični rezultati infiltriranih oborina u rasponu od 10-20%.

Na crpilištu Bikana provedena je također analiza visine infiltracije padalina na temelju matematičkog modeliranja vodonosnika zahvaćenog postojećim zdencima. Broj postojećih zdenaca u to vrijeme nije bio velik, što je rezultat manje količine podatak s kojom se raspolagalo. Obzirom na manji broj podataka, provodile su se višestruke simulacije pri postupku identifikacije mogućih kombinacija parametara vodonosnika i rubnih uvjeta uz koje postoji mogućnost održavanja postojećeg stanja vodonosnika. Ispitivanjima se odredilo da se u okviru realnih transmisivnih vrijednosti mogu oblikovati piezometarske površine sukladno mjerenim vrijednostima. To je izvedivo pri rasponu srednjih mjesečnih prirasta infiltracije do vodne plohe najplićeg vodonosnog sloja od 0,001 do 0,03 m/mjesec. Također su zapažene niske razine podzemnih voda na piezometrima u rujnu 1995. godine održavane nepromjenjivima prilikom infiltracije padalina od prosječno 0,01 m/mjesec (Urumović i dr., 1995). Ukoliko razmatramo situaciju sa srednjim godišnjim padalinama, oko 800 mm/god, dolazimo do zaključka da su vrijednosti usporedive te mogu poslužiti kao osnova daljnjim istraživanjima.

Kako je infiltracija vode s površine glavni oblik napajanja vodonosnika, tako je bitno poznavati sustav glavnih površinskih tokova, te hidroizohipse kojima se prikazuje tok podzemne vode (slika 3.5). Što se tiče glavnih površinskih tokova, rasporedom potencijala možemo uočiti dreniranje podzemnih voda iz primarnog površinskog recipijenta, rijeke Drave, te sekundarnih recipijenata, rijeke Neteča i Županijskog kanala. Sukladno tome, vidi se da površinski tokovi ocrtavaju osnovni tok podzemnih voda. Izohipse u južnim dijelovima su zakrenute jer nastoje okomito presijecati južne granice vodonosnika, čime se

iskazuje paralelno strujanje vode uz nepropusnu barijeru. Dublji vodonosnici obnavljaju svoje zalihe procjeđivanjem iz polupropusnih međuslojeva koji im se nalaze u krovini. Prva veća zapreka vertikalnoj cirkulaciji podzemnih voda je reper Q' koji označava podinu vodonosnog kompleksa.



Slika 3.5 Regionalni ocrt hidroizohipsi kvartarnog vodonosnika na širem virovitičkom području prema podacima mjerenja DHMZ. Oznake: (1) hidroizohipse pri niskome vodostaju prema mjerenju od 03.09. 2001.; (2) hidroizohipse pri visokome vodostaju prema mjerenju od 01.06.2006.; (3) regionalni smjer strujanja podzemnih voda; (4) opažački piezometar; (5) opažački zdenac (kopani); (6) položaj crpilišta Bikana

3.5 Hidrologija

Osnovni vodotok u okolini grada Virovitice je rijeka Drava. Osim rijeke Drave, koja predstavlja jednu od najvećih rijeka Republike Hrvatske, u okolini crpilišta Bikana se nalazi još nekoliko tokova koje je bitno spomenuti. U neposrednoj blizini crpilišta nalazi se omanja rijekaOđenica, koja je u zapadnom dijelu povezana sa rječicom Lendavom. Dvije navedene rječice, te povremeni tokovi koji se javljaju oblikuju rijeku Branu koja teče Županijskim kanalom. Županijski kanal je izuzetno bitan i zanimljiv obzirom da njime otječu svi površinski tokovi cijelog područja. Osim toga, kanal je značajan jer on u, slučaju podzemnih voda, predstavlja područja najnižeg potencijala, te su stoga bitni podatci mjerenja vodostaja niskih voda koja se izvode od lipnja 2003.

Rijeka Drava je najveća rijeka ovog teritorija te sukladno tome zahtjeva veliku količinu izvedenih istraživanja i poznatih podataka. Crpilište Bikana se nalazi unutar područja umjerene kontinentalne klime čija je srednja temperatura otprilike 11°C. Srednja godišnja količina oborina iznosi 800 mm, no zapadni dijelovi područja imaju veću količinu oborina od istočnih jer zračne vlažne mase dolaze sa jugozapada te gube vlagu. Najviše padalina pada u studenom i lipnju, no izraženije padaline su one u lipnju zbog posljedica kontinentalnih utjecaja. U lipnju su obično najveći protoci, što za virovitički dio Podravine znači oko 2500 m^3/s. Najveći protoci označavaju i visoke vodostaje. Visoki vodostaji na rijeci Dravi znače vodostaji oko 350 cm. Ukoliko se prijeđe visina vodostaja od 350 cm nastupaju izvanredne mjere obrane od poplava. Najviši izmjereni vodostaj je iznosio visokih 403 cm, dok je bitno napomenuti da je kota '0' vodostaja na 100.67 m n.m. Za razliku od visokih vodostaja, niski vodostaji su najčešće u mjesecu siječnju zbog hladnog dijela godine te ledenjačko-snježnog režima protoka.

4. Izvedba zdenca

4.1 Bušenje

Uslijed javljanja problema sa pjeskarenjem unutar zenca Z-1 na crpilištu Bikana, izveden je zdenac Z-1/1. Zdenac je izveden u neposrednoj blizini starog zdenca na temelju postojeće infrastrukture. Bušenje zdenca se može izvoditi nekom od sljedećih metoda: metoda ručnim bušenjem, rotacijskim bušenjem (može biti direktno ili reverzno), kopanjem, udarnom metodom, kombiniranim bušenjem rotacijskog i udarnog bušenja te erozijsko bušenje. Odabir metode ovisi, o naslagama kroz koje se buši, karakteristikama naslaga kroz koje se buši, karakteristikama zdenca koji se izvodi te dubinama koje je potrebno zahvatiti. Prilikom izvedbe ovog zdenca odabrala se metoda reverznog bušenja, koja je započela 15.12.2012. te se završila 16.12.2012. na dubini od 90 metara. Bušotine izvedene reverznom metodom mogu se podijeliti u tri skupine. Prvi tip bušenja je reverzno bušenje velikim promjerom cijevi, zatim reverzno bušenje sa dvostrukim zacjevljenjem, te udarno bušenje sa reverznom cirkulacijom.

Reverzno bušenje velikim promjerom cijevi je metoda koja se odabrala zbog male dubine zdenca te karakteristika naslaga kroz koje se buši. Ova metoda bušenja se može izvoditi na dva načina, a to su metoda uz pomoć centrifugalnih pumpi te airlift metoda. Prilikom bušenja zdenca uz pomoć centrifugalne pumpe, pumpa je spojena za isplačnu glavu uz pomoć usisnog crijeva koje šalje isplaku u bušotinu. Uloga dostavnih crijeva je omogućiti cirkulaciju isplake na relaciji pumpe i isplačnih bazena. Usisno crijevo, duljine osam do devet metara, se koristi za povratak isplačne tekućine u bušeće cijevi, kako bi ona mogla putovati do dlijeta i nazad prema površini kroz prsten između cijevi i zida bušotine. Pumpa ne služi samo za omogućavanje cirkulacije već i za odvajanje čestica iz isplake, obično većih od 75 mm. Glavne prednosti ove metode su relativno velike brzine koje se postižu u gornjem dijelu bušotine koje omogućuju iznošenje nabušenog materijala iz bušotine, dok se relativno mala brzina isplake generira u donjim dijelovima bušotine za vrijeme cirkulacije tekućine između šipki i stjenke bušotine. Sistem funkcionira na temelju velikog volumena tekućine i malog tlaka, koje omogućuju brži prodor sa minimalnim poremećenjem zida bušotine. To je izuzetno bitno prilikom bušenja kroz nekonsolidirane naslage. Nedostatci metode su male dubine zahvata, do 150 metara, što u ovom slučaju nije

nedostatak jer je sama bušotina plitka. Zahvat je jedino moguć na malim dubinama jer su potrebne velike količine vode za veće zahvate, odnosno, na većim dubinama se zbog kapaciteta pumpe javljaju gubitci u propusnim slojevima. Također, tijekom ove metode je potrebno češće čistiti filtre zbog zaštopavanja tijekom bušenja kroz šljunčane slojeve.

Druga metoda reversnog bušenja većim promjerom cijevi je airlift metoda. Metoda radi na principu utiskivanja zraka u isplačnu tekućinu čime stvara se novi fluid manje gustoće od onog koji se vraća prema površini između stjenki bušotine i kolone. Smanjenom težinom fluida, fluid se ubrzava prolaskom kroz kolonu i dlijeto, te lakše iznosi nabušeni materijal na površinu. Prednost ove metode u odnosu na metodu centrifugalnih pumpi je osvajanje većih dubina. Povećanjem tlaka, povećava se i dubina zarona razine fluida, te se na taj način smanjuje trenje. Jedna bitna karakteristika i prednost ove metode je izostanak instrumenata, kao što su pumpe, zbog čega nije potrebno koristiti razne filtre, te je metoda pogodna za bušenje šljunčanih slojeva i šljunčanih vodonosnika. S druge strane, osnovni nedostatak metode je potrebno zaranjanje instrumentarija kako bi se metoda mogla izvršavati.

Prilikom bušenja zdenca Z-1/1, koristile su se šipke većih promjera, sa dlijetom promjera 780 mm. Bitno za napomenuti je da se prilikom bušenja zdenca kao bušaći fluid koristila voda, te nije bilo potrebno raditi bilo kakav drugačiji tip isplake. Tijekom bušenja se obratila velika pozornost na razine vode unutar isplačnog bazena, zbog mogućih gubitaka u šljunčanim slojevima. Uz kontrolu razine vode u isplačnom bazenu, uzorkovali su se fragmenti nabušenog materijala za svaki metar napretka bušenja.

4.2 Ugradnja konstrukcije zdenca

Nakon što se izbušila bušotina u kojoj će se nalaziti budući zdenac, potrebno je ugraditi i samu konstrukciju zdenca. Ugradnja konstrukcije se nastavila istog dana, nakon završetka bušenja, 16.12.2012. Ugradnja konstrukcije zdenca u ovom slučaju nije bila dugotrajan proces, te se ona završila istog dana nakon malo više od sat i pol vremena. Prilikom određivanja promjera zacjevljenja, odabrano je zacjevljenje sita i eksploatacijskih cijevi od 400 mm, dok je na cijeloj konstrukciji postavljeno šest centralizera. Obzirom da su na crpilištu Bikana, na svim zdencima postavljena mostićava sita, takav tip sita je

odabran i za zdenac Z-1/1. Kako je navedeno, promjer sita je 400 mm dok su otvori širine dva milimetra sa propusnosti sita približno 15%. Takav promjer zacjevljenja definirao je promjer bušenja od 780 mm. U 'profilu zacjevljenja', od površine do dubine od 47,5 m su postavljene cijevi debljine stjenki šest milimetara. Ispod cijevi su postavljena sita, poznatih karakteristika, do dubine od 81,5 metara. Ispod sita je postavljen taložnik dužine tri metra, koji je konusno zatvoren na dnu.

4.3 Šljunčani zasip

Šljunčani zasip zdenca odabire se na temelju granulometrijskog sastava iz bušotine, te zajedno sa sitom tvori filter zdenca. Kao i kod ostalih zdenaca, uzima se promjer d_{50} zrna prirodnog vodonosnog granulata te množi sa pet. Dobiveni granulat šljunka koji se koristi za zasip u slučaju zdenca Z-1/1 bio je 1-4 mm. Postavljanje zasipa, navedenim granulatom završeno je istog dana kada se postavljala i konstrukcija zdenca. Idealan zasip bi bio onaj koji uz sito ima najkrupnije valutice, dok bi se prema kraju zasipa valutice kontinuirano smanjivale. Idealno posloženi zasip dobiva se na način da se proces usipavanja šljunka izvodi polako i kontinuirano. Također je vrlo bitno da se zdenac postupno osvaja. Šljunčani zasip je postavljen od dna bušotine do dubine od 30 metara. Od šljunčanog zasipa prema površini je postavljen glineni čep, te iznad njega tampon do površine kako bi se onemogućilo zagađivanje zdenca i podzemne vode utjecajima sa površine.

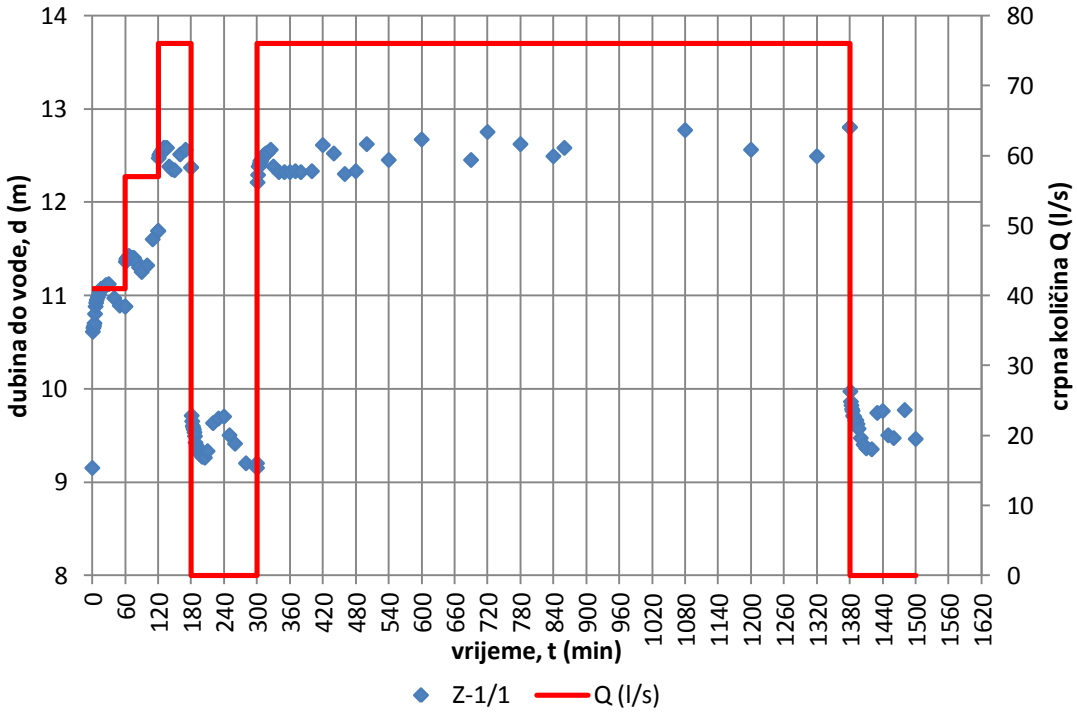
4.4 Osvajanje i čišćenje zdenca

Osvajanje zdenca izvodi se otvorenim airliftom, čije su zračne cijevi postavljene na 30 metara dubine. U prvom koraku se provodi osvajanje uz mali uron te miran rad kompresora, koji se postupno povećava uronom airlifta do dubine taložnika. Spuštanjem airlifta postupak se nastavlja procesom šutiranja, što znači da se zdenac osvaja promjenjivim radom kompresora. Nakon toga se sektorskim ispiračem dužine dva metra (potrebno ga je prije svega ugraditi u zdenac) nastavlja osvajanje zdenca. Čišćenju taložnika otvorenim airliftom pristupilo se kada je završeno osvajanje sektorskim

ispiračem. Cijeli postupak osvajanja sa airliftom trajao je duže od bušenja cijele bušotine. Osvajanje je trajalo do 18.12., odnosno nešto malo manje od dva puna dana. Osvajanju zdenca tu nije kraj, posljednja faza osvajanja zdenca je osvajanje zdenca crpljenjem. Crpna količina zdenca je iznosila oko 76 l/s, te se nakon cijelog procesa dobila bistra voda bez pijeska.

4.5 Pokusno crpljenje

Nakon kompletnog osvajanja zdenca, pristupilo se pokusnom crpljenju zdenca. Pokusno crpljenje zdenca izvodilo se od 03.01.2013. do 05.01.2013. Pokusno crpljenje se u početku izvodilo u koracima po jedan sat sa crpnim količinama Q_1=41 l/s, Q_2=57 l/s, Q_3=76 l/s i praćenjem povrata razine vode u zdencu Q_4=0 l/s u trajanju od dva sata, pomoću već ugrađenih crpki nominalne izdašnosti 80 l/s. Nakon crpljenja u koracima, crpiti se počelo stalnim crnim količinama Q_5=76 l/s u trajanju od 19 sati, te praćenjem povratne razine vode u zdencu Q_6=0 l/s u trajanju od dva sata (slika 4.1).



Slika 4.1 Prikaz razine podzemne vode i crpne količine tijekom pokusnog crpljenja zdenca Z-1/1 na crpilištu Bikana u Virovitici

4.6 Kakvoća podzemne vode

Zdenac Z-1/1 građen je kako bi zamijenio stariji zdenac Z-1. Obzirom da je zdenac bio bušen u sklopu crpilišta, nije bilo pretjerane zabrinutosti oko kvalitete podzemne vode. U tablicama 4.1 i 4.2 prikazani su karakteristični kemijski sastojci u ranije izbušenim zdencima i piezometrima na temelju odrađenih analiza vode te prosječne vrijednosti pokazatelja kakvoće vode tijekom izvedbe zdenca Z-1/1.

Analizom podzemne vode tijekom izvedbe zdenca određena je povećana koncentracija željeza, mangana, slobodnog prirodnog amonijaka i pratećih elemenata. Odgovor na pitanje zašto se javljaju povećane koncentracije navedenih elemenata leži u činjenici da su u vodonosnim sredinama reduktivni uvjeti.

Tablica 4-1. Sadržaj karakterističnih kemijskih sastojaka u podzemnoj vodi iz zdenaca i piezometarske bušotine PV-1 na crpilištu Bikana preuzet iz ranijih istraživanja

Parametri	MDK	B-1	B-2	B-3A	B-4	Z-1	Z-2	PV-1
Boja (mg/l Pt/Co skale)	20	0	0	0	0	0	0	0
Mutnoća (^{o}NTU)	4	69,7	20,1	64	16,9	10,9	21,6	230
Miris	Bez	bez	na H_2S	Bez	bez	bez	bez	na zemlju
pH	6,5-8,5	7,1	7,26	7,5	7,23	7,25	7,4	9,3
Elektrovodljivost ($\mu S/cm^{-1}$)		832	693	518	496	508	546	161
Utrošak $KMnO_4$ (mg/l O_2)	3	1	1,1	0,94	0,87	1,21	1,3	3,8
Amonijak (mg N/l)	0,1	0,61	0,31	1,55	0,58	0,41	0,44	0,2
Nitriti, NO_2 (mg N/l)	0.03	0	0	0	0	0	0	0
Nitrati, NO_3 (mg N/l)	10	0	0,9	1,64	0,46	0,54	0,09	0,04
Željezo (µg Fe/l)	300	2803	3717	3117	1841	2015	2197	473,2
Mangan (µg Mn/l)	50	140					135	25,2
Arsen (µg As/l)	50	1,78					2,28	
Kloridimg/l Cl	20	22,2	34	7	13	11	7,3	
Ukupna tvrdoća mg/l-^{o}nj		229,6					135	

Također valja istaknuti da kakvoću vode u zdencu Z-1/1, na temelju analiza karakterizira niži sadržaj nitrata. Nizak sadržaj nitrata znači da antropogeni utjecaji nisu utjecali na vodonosnik, odnosno da nema površinskih onečišćenja vode.

Tablica 4-2. *Prosječne vrijednosti pokazatelja kakvoće vode tijekom izvedbe zdenca Z-1/1*

Pokazatelj	MDK	3.1.2013 (B analiza)	4.1.2013. (B analiza)	4.1.2013. (C analiza)
Temperatura ^{0}C	<25			11,3
Mutnoća,NTU	<4	6,4	8,7	9,1
Boja, mg/L Pt/Co	<20	1,1	1,7	1,8
Ph	6,5-9,5	7,52	7,51	7,44
Elektrovodljivost µS/cm	< 2500	411	466	481
Utrošak $KMnO_4$ mgO_2/l	<5,0	1,3	1,6	1,7
Amonijak, mgNH_4^+/l	<0,5	0,294	0,33	0,32
Nitriti mg NO_2^-/l	<0,5			<0,033
Nitrati mgNO_3^-/l	<50	<3,1	<3,1	<3,1
Kloridi mgCl^-/l	<250	<3,9	6,6	6,5
Sulfati mgSO_4^{2-}/l	<250	9	14	14
Fosfati µgP/l	<300			92
Arsen µgAs/l	50	10,7	5,68	5,68
Željezo µgFe/l	<200	2223	2485	1980
Mangan, µgMn/l	<50	120	117	123
Ukupna tvrdoća mg$CaCO_3$/l	>60			248
Hidrogenkarbonati mgHCO_3^-/l	-	336	389	390
Kalcij mgCa^{2+}/l	-	61	66,6	67,8
Magnezij mgMg^{2+}/l	-	16	18,8	19
Kalij mgK^+/l	12	0,82	0,86	0,77
Natrij mgNa^+/l	200	5,63	6,3	16,8

5. Parametri zdenca i vodonosnika

Kako bi se odredili hidraulički parametri zdenca i parametri vodonosnika u neposrednoj blizini zdenca, potrebno je izvršiti pokusna crpljenja. Prije svega, izuzetno je bitno napomenuti da se pokusno crpljenje izvodilo u otežanim okolnostima. Pokusno crpljenje provedeno je na aktivnom crpilištu koje crpi svojom dinamikom te onemogućava idealne uvjete. Idealni uvjeti su potrebni jer prilikom pokusnog crpljenja zdenac treba zadovoljiti idealne kriterije radijalnog toka. Jedan od tih kriterija je da se zdenac promatra kao usaljeni zdenac, bez ikakvih drugih utjecaja koji bi uzrokovali promjene razine podzemne vode. Kao rezultat takvih uvjeta, dobivaju se poremećeni parametri koji se prvenstveno očitavaju na rezultatima sniženja tijekom crpljenja.

Prvi korak pokusnog faza pokusnog crpljenja je crpljenje u koracima., s tri različite crpne količine i postupkom opažanja povratka razine vode. Postupak je prilagođen za određivanje linearnih (formacijskih) i nelinearnih gubitaka zdenca. Druga faza crpljenja odvijala se maksimalnom stalnom crpnom količinom u vrijednosti od 76 l/s. Ta vrijednost je prilagođena sustavu kako bi se što točnije mogli odrediti parametri.

5.1 Lokalni parametri vodonosnika

Tijekom crpljenja stalnom crpnom količinom izdašnost zdenca Z-1/1 iznosila je Q=76 l/s. Razina sniženja vode u zdencu je prikazana slikom 5.1 u polulogaritamskom mjerilu. Ako je jedan logaritamski ciklus vremena ($t_2=10t_1$) prirast sniženja iznosi Δs (slika 5.1), tada se korištenjem poznate Cooper-Jacobovesemi-logaritamske nestacionarne metode može odrediti transmisivnost vodonosnika kao:

$$T = \frac{0.183 * Q}{\Delta s}, \qquad (5\text{-}1)$$

gdje je:

Q = 76 l/s = 0,076 m^3/s = 6566,4 m^3/dan – izdašnost zdenca u vrijeme kroz koje se koriste podaci za određivanje sniženja

Δs = 0,16 m – prirast sniženja.

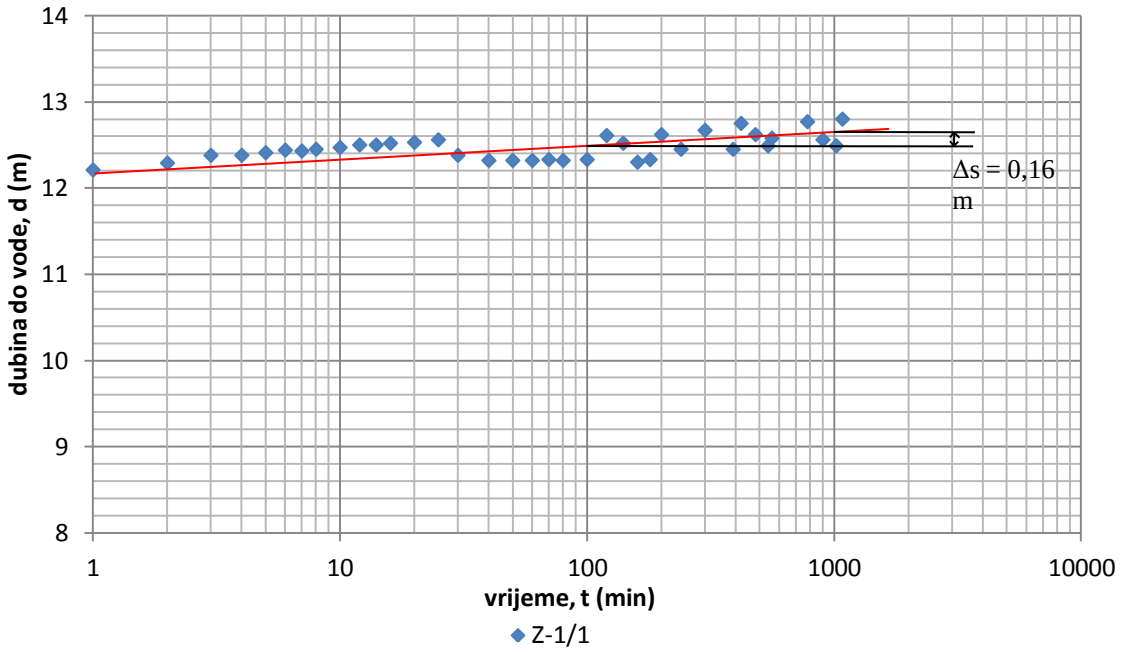
Ekvivalentna hidraulička vodljivost iznosi:

$$K = \frac{T}{d}, \tag{5-2}$$

gdje je:

T = 7510,32 m^2/dan – transmisivnostvodonosnika,

d = 55 m – debljina vodonosnika.



Slika 5.1 Polulogaritamski dijagram vrijeme-sniženje za stalnu količinu pri pokusnom crpljenju zdenca Z-1/1

Tablica 5-1. Vrijednosti lokalnih parametara vodonosnika

Transmisivnost, T (m^2/dan)	Hidraulička vodljivost, K (m/dan)	Koeficijent uskladištenja, S (usvojen iz ranijih istraživanja)
7510,32	136,55	0,1-2*10^{-3}

5.2 Parametri zdenca Z-1/1

Parametri zdenca Z-1/1 definirani su parametrima linearnih i nelinearnih gubitaka koji se određuju primjenom crpljenja različitim crpnim količinama kako bi se ostvarili uvjeti za rješenje kvadratne jednadžbe. Ukupno sniženje (s) je definirano linearnim gubicima unutar vodonosnika te nelinearnim gubicima u rubnim dijelovima konstrukcije zdenca:

$$s = BQ + CQ^2, \tag{5-3}$$

gdje je:

B – linearni gubici u vodonosniku

C – linearni gubici u i oko zdenačkog zacjevljenja.

Kako bi se interpretirali gubitci zdenca korištena je relacija. Relacija se može primijeniti za slučaj crpljenja u koracima, pri kojoj je za svaki *"i"* crpljenja:

$$s_i = BQ_i + CQ_i^2, \tag{5-4}$$

pa se razlika između svaka dva uzastopna koraka u pokusnom crpljenju može preurediti na:

$$\frac{\delta s_i}{\delta Q_i} = B + C\frac{Q_i^2 - Q_{i-1}^2}{\delta Q_i} \tag{5-5}$$

gdje je:

$\delta s_i = s_i - s_{i-1}$ – razlika sniženja između dva susjedna koraka u crpljenju,

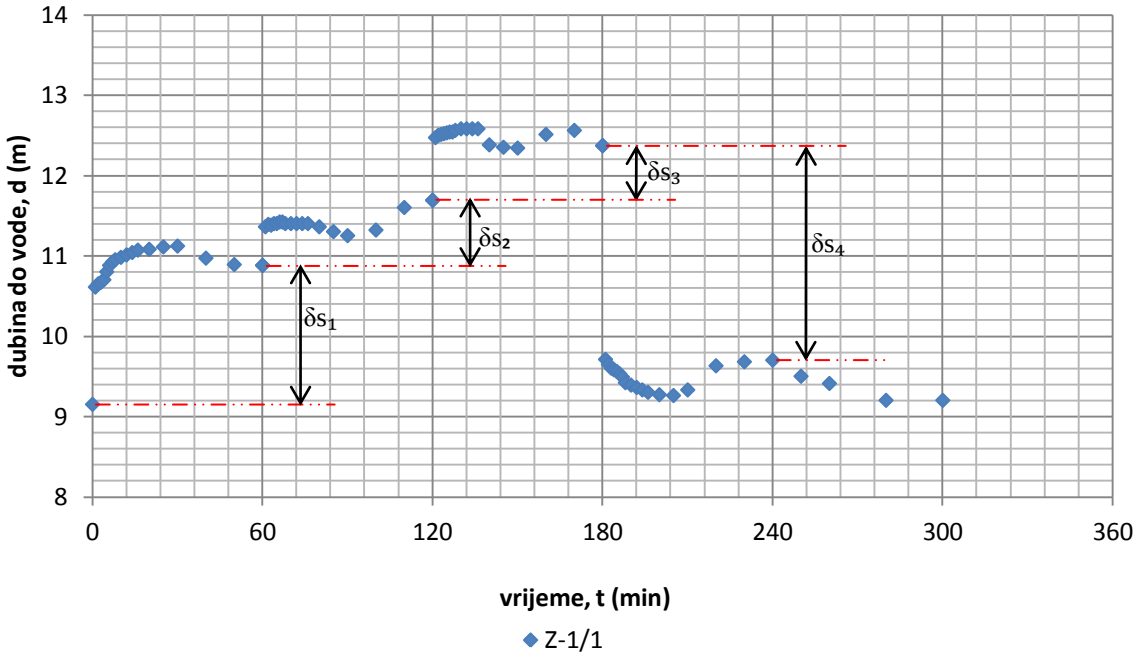
$\delta Q_i = Q_i - Q_{i-1}$ – Razlika izdašnosti između dva susjedna koraka u crpljenju

$\delta s_i/\delta Q_i$ – ekvivalentno specifično sniženje

$\frac{Q_i^2 - Q_{i-1}^2}{\delta Q_i} = Q_q$ – ekvivalentna izdašnost između pojedinih koraka u pokusnom crpljenju.

Zadnja jednadžba predstavlja linearizirani oblik osnovne jednadžbe preuređene u oblik koji ne predstavlja funkcionalnu vezu između sniženja i stvarne crpne količine, nego

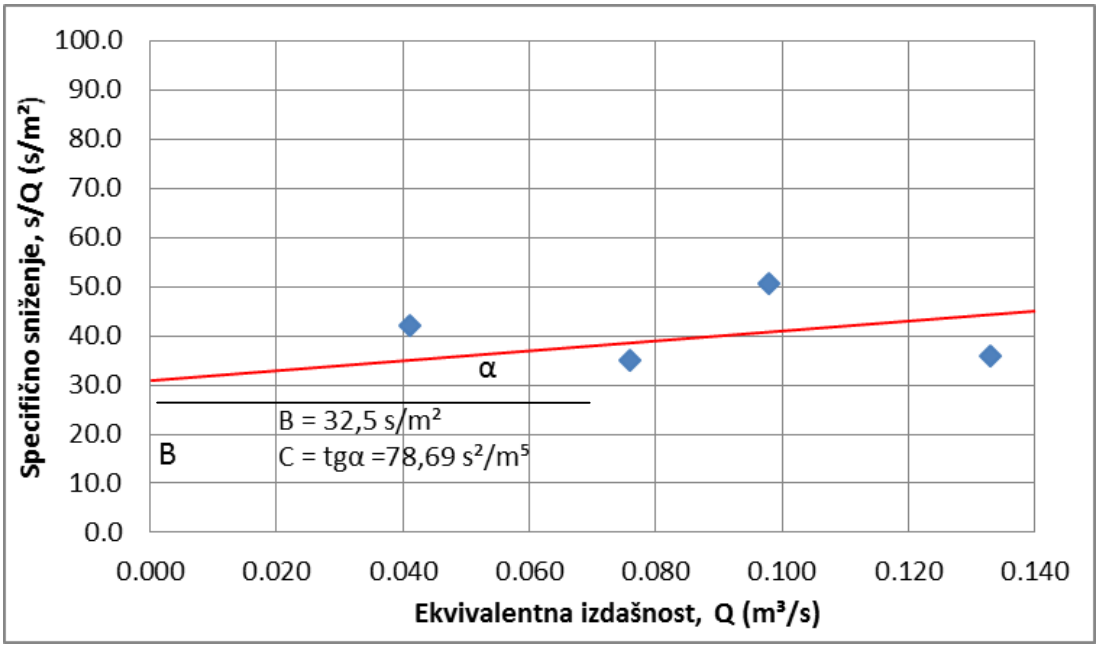
između "ekvivalentnog specifičnog sniženja" i "ekvivalentne izdašnosti" pri kojoj je računskom operacijom potenciran utjecaj onog prirasta crpnih količina pri kojima je snažniji utjecaj nelinearnih gubitaka. Na slici 5.2 su prikazani podaci o kolebanju razine podzemne vode i prirasta sniženja (δs) prilikom pokusnog crpljenja u koracima. Na temelju prirasta sniženja u zdencu koje nastupa svakih 60 minuta nakon promjene crpne količine, polazeći od nulte količine, određeni su ekvivalentna specifična sniženja i ekvivalentne izdašnosti koje su prikazane u tablici 5-2. Navedene vrijednosti poslužile su za izradu grafa iz kojeg određujemo linearne (B) i nelinearne (C) gubitke. Pomoću točaka na grafu aproksimiramo pravac, koji presijeca ordinatu te prikazuje vrijednost linearnih gubitaka B=32,5 s/m^2 (za t=60 min). Vrijednost nelinearnih gubitaka C=78,69 s^2/m^5 se iz grafa može očitati kao tangens kuta nagiba pravca (slika 5.3).



Slika 5.2 Dijagram kolebanja razine podzemne vode i prirasta sniženja pri pokusnom crpljenju u koracima

Tablica 5-2. Podaci pokusnog crpljenja u koracima

Korak "*i*"	Crpna količina Q (m^3/s)	Porast crpne količine δQ (m^3/s)	Prirast sniženja Δs (m)	Ekvivalentna izdašnost $\frac{Q_i^2 - Q_{i-1}^2}{\delta Q_i}$($m^3/s$)	Ekvivalentno specifično sniženje $\frac{\delta s}{\delta Q}$($s/m^2$)
I.	0		0		
II.	0,041	0,041	1,73	0,041	42,195
III.	0,057	0,016	0,81	0,098	50,625
IV.	0,076	0,019	0,68	0,133	35, 789
V.	0	0,076	-2,67	0,076	35,132



Slika 5.3 Grafička analiza ekvivalentnog specifičnog sniženja i ekvivalentne izdašnosti zdenca Z-1/1 prema podacima iz tablice 5-2.

Izračunati gubitci unutar zdenca Z-1/1 predstavljaju razvoj depresije u vodonosniku do efektivnog polumjera zdenca i preko veličine efektivnog polumjera zdenca izražavaju kvalitetu njegove izvedbe. Kvaliteta izvedbe zdenca najbolje se uočava na temelju bliskih veličina efektivnog polumjera zdenca i polumjera bušotine u kojoj se nalazi zdenac. Izračun efektivnog polumjera zdenca se određuje na temelju zasnivanja na tome da linearni gubici predstavljaju specifično sniženje na mjestu zamišljenog efektivnog polumjera

zdenca R_z, nakon 60 minutnog crpljenja. Na temelju toga, izraz za izračun efektivnog polumjera zdenca glasi:

$$R_z = \sqrt{\frac{2{,}25Tt_i}{S*e^{(4\pi BT)}}} = 0{,}2 \text{ m}, \qquad (5\text{-}6)$$

gdje je:

$T = 8{,}69*10^{-2}$ – transmisivnostvodonosnika,

$t_i = 60$ min – vrijeme za koje vrijedi parametar B,

$B = 32{,}5$ s/m^2 – linearni gubitci zdenca za $t_i = 60$ min,

$S = 0{,}1\text{-}2*10^{-3}$ – koeficijent uskladištenja vodonosnika (usvojen iz ranijih istraživanja)

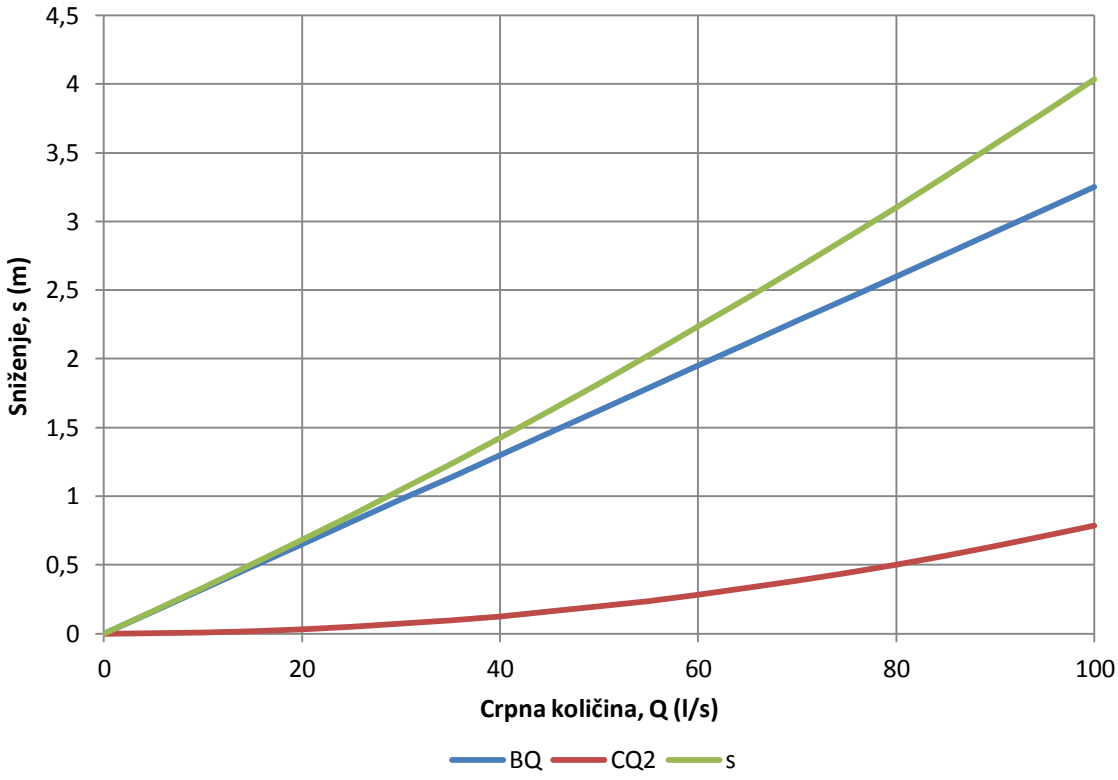
Nakon spoznaje svih potrebnih parametara, može se zaključiti da je zdenac Z-1/1 dobro izveden. Za dokaz tvrdnji, izračunati parametri se nalaze u tablici 5-3.

Tablica 5-3. Parametri zdenca Z-1/1

Lokalna transmisivnost vodonosnika T (m^2/dan)	Hidraulička vodljivost K (m/dan)	Efektivni polumjer zdenca R_z (m)	Parametri linearnih gubitaka nakon 60 min crpljenja B (s/m^2)	Parametar nelinearnih gubitaka C (s^2/m^5)
7510,32	136,55	0,2	32,5	78,69

5.3 Izdašnost zdenca i položaj crpke

Nakon izvršenja svih zadataka vezanih uz zdenac, te nakon svih prikupljenih podataka potrebnih za računanje parametara zdenca i vodonosnika moguće je prikazati njegove izdašnosti. Zdenac Z-1/1 je osvojen do već spomenute izdašnosti, uslijed koje je sniženje (s) iznosilo 3,01 m, dok je specifična izdašnost (q) veličine 15,3 l/s/m. Izdašnost zdenca u funkciji sniženja dana je jednadžbom (broj jednadžbe), za crpljenje od 60 minuta. Korištene vrijednosti parametara gubitaka, B i C, prikazani su u tablici 5-3**.** te iznose 32,5 s/m^2 i 78,69 s^2/m^5. Vrijednosti ukupnog sniženja u funkciji crpne količine Q, te linearni i nelinearni gubici prikazani su na slici 5.4.



Slika 5.4 Dijagram s=f(Q) i pojedine vrste gubitaka za satno crpljenje zdenca Z-1/1

Na temelju gore navedenih i ranije određenih parametara, moguće je odrediti maksimalnu dopuštenu izdašnost zdenca. Izraz za maksimalnu dopuštenu izdašnost zdenca određen je na temelju iskustva inženjera i literaturnih zapisa, te glasi:

$$Q_{max} \cong \frac{\sqrt{B^2+28C}-B}{2C} \cong 156 \text{ l/s.} \qquad (6\text{-}1)$$

Određivanjem maksimalne dopuštene izdašnosti zdenca, možemo procijeniti optimalnu eksploatacijsku izdašnost zdenca (Q_{opt}). Obzirom da je maksimalna izdašnost zdenca Z-1/1 veća od osvojene izdašnosti zdenca, može se usvojiti da je Q_{opt} = 70 l/s.

Obzirom na dosadašnja iskustva sa zdencima na crpilišta Bikana, usis crpke preporuča se postaviti na dubinu od 30 m ispod razine tla.

6. Zaključak

Uslijed javljanja problema s pjeskarenjem unutar zdenca Z-1 na crpilištu Bikana bilo je potrebno izraditi noviji zdenac koji će nadomjestiti izostanak problematičnog zdenca. Zdenac Z-1/1 izveden je u neposrednoj blizini starijeg zdenca koji je po karakteristikama i načinu izvedbe vrlo sličan starijem zdencu.

Zdenac Z-1/1 se počeo izvoditi 15.12.2012. reverznom metodom, sa promjerom dlijeta od 780 mm. Dubina zahvata je bila 90 m. Unutar bušotine se ugradio zdenac sa zacjevljenjem sita i eksploatacijskih cijevi od 400 mm, uz 6 centralizera. Iskustvenom metodom se odabralo mostićavo sito. Zacjevljenje bušotine čini granulat šljunka od 1-4 mm.

Kako bi se utvrdila kvaliteta izvedbe, te mogućnosti i karakteristike zdenca, potrebno je izvršiti pokusno crpljenje u dva koraka. Prije svega, bitno je naglasiti da se pokusno crpljenje izvodilo u otežanim okolnostima, jer nisu bile zadovoljene osnovne pretpostavke radijalnog toka. Prvi korak pokusnog crpljenja je crpljenje u koracima, koje se u slučaju zdenca Z-1/1 izvodilo u tri koraka od kojih je svaki trajao po sat vremena. Prva crpna količina je bila Q_1=41 l/s, druga Q_2=57 l/s i treća Q_3=76 l/s. Završna faza je povratno razdoblje Q_4=0 l/s. Nakon crpljenja u koracima slijedi crpljenje sa stalnom količinom koja je iznosila Q_5=76 l/s.

Postupak pokusnog crpljenja nam je omogućio da odredimo parametre vodonosnika i zdenca kao što su transmisivnost vodonosnika T=7510,32 m^2/dan, hidraulička vodljivost K=136,55 m/dan. Također su se utvrdili parametri linearnih B=32,5 s/m^2i nelinearnih gubitaka C=78,69 s^2/m^5 u svrhu izračuna efektivnog polumjera zdenca R_z=0,2 m.

Matematičkim izračunom efektivnog polumjera zdenca i maksimalne crpne količine, mogu se dati zaključci da je zdenac dobro izveden, te da je spreman za crpljenje vode.

Analizom kvalitete podzemne vode određene su pojedinosti koje su bile poznate iz prijašnjih istraživanja i redovnih analiza o kvaliteti vode. Voda na području crpilišta ima veći udio teških metala kao što su željezo, mangan te prateći slobodni amonijak. Povećani udio tih elemenata je rezultat reduktivnih uvjeta za vrijeme nastanka vodonosnika.

7. Literatura

DUIĆ, Ž., HLEVNJAK, B., 2018. Skripta iz kolegija 'Izvedba bušotina i zdenaca'.

GALOVIĆ, I., MARKOVIĆ, S., 1976. Tumač osnovne geološke karte, List Virovitica, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, str. 16-31

GALOVIĆ, I., MARKOVIĆ, S., 1979. Osnovna geološka karta, M 1:100.000, List Virovitica, Savezni geološki savez, Beograd.

KOVAČEVIĆ, S., 1962. Izvještaj o geoelektričnim ispitivanjima, Virovitica 1962., Fond stručnih dokumenata Geofizike, Zagreb.

PETROVIĆ, M., 1971. Izvještaj o izvedenim vodoistražnim radovima u Virovitici, Fond stručnih dokumenata Geotehnike, Zagreb.

URUMOVIĆ, K., 2003. Fizikalne osnove dinamike podzemne vode, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

URUMOVIĆ, K., GOLD, H., 1987. Izvorišta vodoopskrbe Virovitice, Prethodna hidrogeološka istraživanja zaštite crpilišta, Fond stručnih dokumenata Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Sveučilište u Zagrebu.

URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B., 1996. Vodoopskrbni sustav Virovitice, crpilište Bikana, Izvješće o izvedbi strukturno-piezometarske bušotine PV-4 i idejnom rješenju zdenca Z-1, Fond stručnih dokumenata Hydoexperta, Zagreb.

URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B., 1996. Vodoopskrbni sustav Virovitice, Izvedba zdenca Z-1, Fond stručnih dokumenata Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Sveučilište u Zagrebu

URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B., 1998. Vodoopskrbni sustav Virovitice, crpilište Bikana, Izveba zdenca Z-2, Fond dokumenata Hydoexperta, Zagreb,

Literatura preuzeta s interneta:

CROMING DOO, 2003. Program zaštite okoliša Virovitičko-podravske županije, URL:*http://dokumenti.azo.hr/Dokumenti/PROG-ZAST-OKOLISA-2003a.pdf*

NATIONAL DRILLER, 2008. Reverse Circulation Mud Rotary Drilling, URL:*https://www.nationaldriller.com/articles/87003-reverse-circulation-mud-rotary-drilling*

PRILOG 1 Dnevnik pokusnog crpljenja zdenca Z-1/1

Datum	vrijeme	minute	min ukupno	Z-1/1	Q (l/s)	Napomene
15.09.2016.	8.00	0	0	9,15	41	
	8.01	1	1	10,61	41	
	8.02	2	2	10,65	41	
	8.03	3	3	10,67	41	
	8.04	4	4	10,7	41	
	8.05	5	5	10,8	41	
	8.06	6	6	10,88	41	
	8.07	7	7	10,92	41	
	8.08	8	8	10,95	41	
	8.10	10	10	10,98	41	
	8.12	12	12	11,01	41	
	8.14	14	14	11,04	41	
	8.16	16	16	11,07	41	
	8.20	20	20	11,08	41	
	8.25	25	25	11,11	41	
	8.30	30	30	11,12	41	
	8.40	40	40	10,97	41	
	8.50	50	50	10,89	41	
	9.00	60	60	10,88	41	Zamjena blende - stavljena 10/8
	9.00	0	60	10,88	57	
	9.01	1	61	11,36	57	
	9.02	2	62	11,39	57	
	9.03	3	63	11,38	57	
	9.04	4	64	11,4	57	
	9.05	5	65	11,4	57	
	9.06	6	66	11,42	57	
	9.07	7	67	11,42	57	
	9.08	8	68	11,4	57	
	9.10	10	70	11,4	57	
	9.12	12	72	11,4	57	
	9.14	14	74	11,4	57	
	9.16	16	76	11,4	57	
	9.20	20	80	11,36	57	
	9.25	25	85	11,3	57	
	9.30	30	90	11,25	57	
	9.40	40	100	11,32	57	
	9.50	50	110	11,6	57	
	10.00	60	120	11,69	57	
	10.00	0	120	11,69	76	
	10.01	1	121	12,47	76	
	10.02	2	122	12,5	76	

	10.03	3	123	12,51	76	
	10.04	4	124	12,52	76	
	10.05	5	125	12,53	76	
	10.06	6	126	12,54	76	
	10.07	7	127	12,54	76	
	10.08	8	128	12,56	76	
	10.10	10	130	12,58	76	
	10.12	12	132	12,58	76	
	10.14	14	134	12,58	76	
	10.16	16	136	12,58	76	
	10.20	20	140	12,38	76	
	10.25	25	145	12,35	76	
	10.30	30	150	12,34	76	
	10.40	40	160	12,51	76	
	10.50	50	170	12,56	76	
	11.00	60	180	12,37	76	
	11.00	0	180	12,37	0	
	11.01	1	181	9,71	0	
	11.02	2	182	9,65	0	
	11.03	3	183	9,6	0	
	11.04	4	184	9,58	0	
	11.05	5	185	9,56	0	
	11.06	6	186	9,53	0	
	11.07	7	187	9,49	0	
	11.08	8	188	9,42	0	
	11.10	10	190	9,39	0	
	11.12	12	192	9,36	0	
	11.14	14	194	9,33	0	
	11.16	16	196	9,3	0	
	11.20	20	200	9,27	0	
	11.25	25	205	9,26	0	
	11.30	30	210	9,33	0	
	11.40	40	220	9,63	0	
	11.50	50	230	9,68	0	
	12.00	60	240	9,7	0	
	12.10	70	250	9,5	0	
	12.20	80	260	9,41	0	
	12.40	100	280	9,2	0	
	13.00	120	300	9,2	0	
	13.00	0	300	9,15	76	
	13.01	1	301	12,21	76	
	13.02	2	302	12,29	76	
	13.03	3	303	12,38	76	
	13.04	4	304	12,38	76	
	13.05	5	305	12,41	76	

	13.06	6	306	12,44	76	
	13.07	7	307	12,43	76	
	13.08	8	308	12,45	76	
	13.10	10	310	12,47	76	
	13.12	12	312	12,5	76	
	13.14	14	314	12,5	76	
	13.16	16	316	12,52	76	
	13.20	20	320	12,53	76	
	13.25	25	325	12,56	76	
	13.30	30	330	12,38	76	
	13.40	40	340	12,32	76	
	13.50	50	350	12,32	76	
	14.00	60	360	12,32	76	
	14.10	70	370	12,33	76	
	14.20	80	380	12,32	76	
	14.40	100	400	12,33	76	uzeti uzorci za analize vode (ZZJZ)
	15.00	120	420	12,61	76	
	15.20	140	440	12,52	76	
	15.40	160	460	12,3	76	
	16.00	180	480	12,33	76	
	16.20	200	500	12,62	76	
	17.00	240	540	12,45	76	
	18.00	300	600	12,67	76	
	19.00	390	690	12,45	76	
	20.00	420	720	12,75	76	
	21.00	480	780	12,62	76	
	22.00	540	840	12,49	76	
16.09.2016.	0.00	560	860	12,58	76	
	02.00	780	1080	12,77	76	
	04.00	900	1200	12,56	76	
	06.00	1020	1320	12,49	76	
	07.00	1080	1380	12,8	76	
	7.00	0	1380	12,8	0	
	7.01	1	1381	9,97	0	
	7.02	2	1382	9,86	0	
	7.03	3	1383	9,82	0	
	7.04	4	1384	9,78	0	
	7.05	5	1385	9,76	0	
	7.06	6	1386	9,71	0	
	7.07	7	1387	9,7	0	
	7.08	8	1388	9,7	0	
	7.10	10	1390	9,66	0	
	7.12	12	1392	9,66	0	
	7.14	14	1394	9,62	0	

	7.16	16	1396	9,57	0	
	7.20	20	1400	9,47	0	
	7.25	25	1405	9,4	0	
	7.30	30	1410	9,36	0	
	7.40	40	1420	9,35	0	
	7.50	50	1430	9,74	0	
	8.00	60	1440	9,76	0	
	8.10	70	1450	9,5	0	
	8.20	80	1460	9,47	0	
	8.40	100	1480	9,77	0	
	9.00	120	1500	9,46	0	