

Izvedba zdenca ZK-1 u pogonu Podravke d.d. - Kalnik, Varaždin

Leustek, Fran

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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:169:723338>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-24**



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 ZK-1 U POGONU
PODRAVKE d.d. - KALNIK, VARAŽDIN**

Diplomski rad

Fran Leustek
GI 113

Zagreb, 2015.

IZVEDBA ZDENCA ZK-1 U POGONU
PODRAVKE d.d. – KALNIK, VARAŽDIN

FRAN LEUSTEK

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

Sažetak

Tema ovog rada je izvedba zdenca ZK-1, te interpretacija pokusnog crpljenja za Podravkinu tvornicu Kalnik u Varaždinu, koji zahvaća podzemne vode varaždinskog vodonosnika. U prvom dijelu rada iznesene su teorijske osnove potrebne za shvaćanje izvješća i izračuna, te interpretaciju pokusnog crpljenja. Slijede tehnički podaci o samom zahvatu podzemne vode sa zadanim potrebama projekta. Nakon toga je napravljen izračun lokalnih parametara vodonosnika pomoću poznate Cooper–Jacobove semi-logaritamske nestacionarne metode, te izračun parametara zdenca ZK-1, prema Cooperu, uz grafičku analizu ekvivalentnog specifičnog sniženja i ekvivalentne izdašnosti. Zatim je određen efektivni polumjer zdenca empirijskom formulom i u konačnici maksimalna izdašnost, na temelju koje je potvrđeno da zdenac može zadovoljiti potrebe projekta.

Ključne riječi: varaždinski vodonosnik, pokusno crpljenje, izvedba zdenca, sniženje

Diplomski rad sadrži: 33 stranice, 15 slika, 3 tablice, 4 priloga i 14 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski.

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

Voditelj: Doc. dr. sc. Željko Duić, RGNF

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

Datum obrane: 17. srpanj 2015.

CONSTRUCTION OF WELL ZK-1
FOR PODRAVKA d.d. – KALNIK VARAŽDIN

FRAN LEUSTEK

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

Abstract

The topic of this thesis is the construction of the well ZK-1 and interpretation of test pumping, for Podravka's factory Kalnik in Varaždin, which is located in the region of aquifer of Varaždin. The first part of the thesis provides theoretical background, which is required for understanding of the report, various calculations and the interpretation of test pumping. The following chapters contain technical data about the well construction. Next, local aquifer parameters were determined by Cooper-Jacob's semi-logarithmic method. Well parameters of ZK-1 were determined by Cooper's method with graphical analysis of equivalent drawdown time and equivalent yield. Finally, effective well radius and maximum yield were calculated, which confirmed that well was operating properly and would satisfy the needs of the project.

Keywords: aquifer of Varaždin region, pumping test, well construction, drawdown

Thesis contains: 33 pages, 15 figures 3 tables, 4 enclosures and 14 references.

Original language: Croatian

Thesis deposited in: Library of the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
University of Zagreb, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Assistant Professor Željko Duić, PhD

Reviewers: Assistant Professor Željko Duić, PhD
Assistant Professor Jelena Parlov, PhD
Assistant Professor Dario Perković, PhD

Date of defense: July 17, 2015

Sadržaj

1.	UVOD	1
2.	TOK PODZEMNIH VODA.....	2
2.1.	Darcyjev zakon.....	2
2.2.	Opće jednačbe toka podzemne vode za zatvoreni vodonosnik	3
2.3.	Radijalni tok k zdenцу.....	4
3.	POKUSNO CRPLJENJE	6
3.1.	Analiza sniženja u vremenu	8
3.1.1.	Theisovo rješenje.....	8
3.1.2.	Logaritamska aproksimacija (Cooper-Jacobova metoda)	9
3.1.3.	Sniženje u zdenцу kod pokusnog crpljenja	10
4.	HIDROGEOLOŠKI UVJETI PODRUČJA	12
4.1.	Pregled litostratigrafskih jedinica.....	14
4.2.	Tektonski odnosi	16
4.3.	Hidrogeološki odnosi	18
5.	ZAHVAT PODZEMNE VODE NA LOKACIJI TVORNICE KALNIK.....	20
5.1.	Izvedba zdenca ZK-1	21
5.1.1.	Parametri zdenca ZK-1.....	23
5.1.1.1.	Određivanje lokalnih parametara vodonosnika	24
5.1.1.2.	Određivanje parametara zdenca ZK-1.....	25
5.1.1.3.	Izdašnost zdenca i položaj crpke	29
6.	ZAKLJUČAK	31
7.	LITERATURA.....	32

Popis slika

Slika 2-1. Singularne točke: (a) izvor, (b) ponor (<i>Urumović, 2003</i>)	4
Slika 2-2. Konus depresije oko crpljenog zdenca (<i>preuzeto sa http://valleyallianceri.org/</i>)	5
Slika 3-1. Dijagram sniženja u odnosu na vrijeme kod crpljenja u koracima s: (a) isprekidanim koracima, (b) uzastopnim koracima (<i>Missteat i dr., 2006</i>)	7
Slika 3-2. Cooper-Jacobova aproksimacija (<i>Missteat i dr., 2006</i>)	10
Slika 3-3. Komponente sniženja razine vode u zdencu (<i>Delleur, 1999</i>); s_z je sniženje u zdencu, r_z je radijus zdenca, a s_1 , s_2 i s_3 su komponente sniženja	11
Slika 4-1. Strukturni zemljovid po podinskoj plohi vodonosnika (<i>Urumović i dr., 1990</i>); Oznake: 1- izohipse podine vodonosnika, 2 - strukture (1 - Varaždinska depresija, 2 - Ormož-Selnica, 3 - Ravna Gora, 4 - Ivanščica), 3 – rasjed s horizontalnim pomakom, 4 - rasjed bez oznake karaktera, 5 - trasa litološkog profila, 6 - važniji rasjedi strukturnog sklopa (1 - ormoški rasjed, 2 - južni rubni rasjed Murske potoline, 3 - rasjed duž sjevernog krila Ravne Gore, 4 - rasjed Sokolovac-Tužno-Ptuj, 5 - varaždinski rasjed)	13
Slika 4-2. Poprečni profil kvartarnih naslaga (<i>Hlevnjak i Duić, 2015</i>)	16
Slika 5-1. Prikaz profila zdenca ZK-1	22
Slika 5-2. Prikaz razine vode u zdencu KZ-1 te crpne količine tijekom pokusnog crpljenja u koracima	23
Slika 5-3. Prikaz razine vode u zdencu KZ-1 te crpne količine tijekom pokusnog crpljenja sa stalnom količinom	23
Slika 5-4. Polulogaritamski dijagram vrijeme - sniženje za prvu crpnu količinu pri pokusnom crpljenju zdenca ZK-1 u koracima	25
Slika 5-5. Polulogaritamski dijagram vrijeme - sniženje za crpljenje sa stalnom crpnom količinom pri pokusnom crpljenju zdenca ZK-1	25
Slika 5-6. Dijagram kolebanja razine vode i prirasti sniženja (δs_i) pri pokusnom crpljenju u koracima	27
Slika 5-8. Dijagram $s=f(Q)$ i pojedine vrste gubitaka za dvosatno crpljenje zdenca ZK-1	29

Popis tablica

Tablica 5-1. Vrijednosti lokalnih parametara vodonosnika	25
Tablica 5-2. Podaci pokusnog crpljenja u koracima.	27
Tablica 5-3. Parametri zdenca ZK-1	29

Popis priloga

Prilog 1 Uzdužni litološki profil B-B'

Prilog 2 Poprečni litološki profili C-C' i D-D'

Prilog 3 Trase litoloških profila B-B', C-C' i D-D'

Prilog 4 Podaci o pokusnom crpljenju

Popis korištenih oznaka

Veličina i svojstvo	Simbol	Osnovna jedinica	Dodatne jedinice
protok, crpna količina	Q	m ³ /s	l/s
površina presjeka	A	m ²	
Darcyeva brzina	q	m/s	
hidraulička vodljivost	K	m/s	m/dan
duljina	l	m	
visina, potencijal	h	m	
gradijent	i	bezdimenzijska	
koeficijent uskladištenja	S	bezdimenzijska	
specifično uskladištenje	S _s	1/m	
debljina	b	m	
vrijeme	t	s	dan
transmisivnost	T	m ² /s	m ² /dan
sniženje	s	m	
funkcija zdenca	W(u)	bezdimenzijska	
argument funkcije zdenca	u	bezdimenzijska	
parameter linearnih gubitaka u vodonosniku	B	(s/m ²)	
parameter nelinearnih gubitaka na zdenačkom zacjvljenju	C	(s ² /m ⁵)	
efektivni radijus zdenca	r _z	m	

1. UVOD

Projekt izvedbe zdenca je složen proces koji se sastoji od niza idejnih i tehničkih rješenja. Počevši od same zamisli zahvata, preko niza drugih istraživanja i rješenja kao što su: određivanje hidrogeoloških odnosa i uvjeta u vodonosniku, odabir metode bušenja, odabir promjera zacjevljenja odnosno promjera bušenja, procjena izdašnosti, odabir prave vrste sita i njegov položaj, kao i šljunčanog zasipa, glinenog čepa i tampona, do samog osvajanja i u konačnici pokusnog crpljenja, cjelokupni projekt izvedbe zdenca zahtijeva široku teorijsku podlogu, te određeno iskustvo.

Zdenac ZK-1 je za potrebe Podravkine tvornice Kalnik u Varaždinu izveden između siječnja i ožujka 2015. godine. Pogon tvornice Kalnik do sada je za potrebe proizvodnje koristio vodu iz javne vodoopskrbe. Predviđen je zahvat podzemne vode koji bi osigurao dovoljnu količinu vlastite kvalitetne vode za proizvodnju. Bilo je potrebno osigurati maksimalno 0,030 m³/s.

Na ovom području pretežno se nalaze naslage šljunka i pijeska koje se pojavljuju u dva izolirana sloja. Između tih slojeva nalazi se proslojak gline, praha i prašinstog pijeska, debljine 5 m, koji dijeli vodonosnik u dva vodonosna sloja. Za kakvoću podzemnih voda plitkog vodonosnika na širem području prvenstveno je problem povišeni sadržaj nitrata, a na području tvornice Kalnik i amonijak. Kakvoća podzemne vode dubljeg vodonosnika pokazivala je dobru kvalitetu vode u skladu s Pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (Narodne novine br.141, 2013), te je ostala jedino mogućnost zahvaćanja podzemne vode izvedbom zdenačkog zahvata koji bi zahvatio dublji, donji vodonosnik. Zdenac je izveden metodom kopanja uz istovremenu ugradnju pomoćnog zacjevljenja – laviranjem. Ova metoda je pogodna za izvođenje zdenaca u šljuncima, naročito kod visoke razine podzemne vode i velikog promjera.

Cilj ovoga rada je konceptualno i praktično shvaćanje projekta izvedbe zdenca, te interpretacija pokusnog crpljenja i izračuna parametara vodonosnika i zdenca iz njega.

Osnovne informacije preuzete su iz izvješća Podravka d.d. – Kalnik, Varaždin; Izvedba zdenca ZK-1 (Hlevnjak i Duić, 2015) te članka iz Geološkog vjesnika Hidrogeološki uvjeti varaždinskog vodonosnika (Urumović i dr, 1990).

2. TOK PODZEMNIH VODA

Podzemne vode se u prirodnim uvjetima gibaju od područja napajanja do točaka istjecanja. Napajanje i otjecanje izazivaju razlike u raspodjeli energetske stanja unutar vodonosnog sustava. Glavni pokretač gibanja podzemne vode je hidraulički gradijent. Hidraulički gradijent je razlika potencijala između područja napajanja i točaka otjecanja podijeljena sa duljinom prijeđenog puta, odnosno promjena potencijala na promatranom putu. Kako sustav teži postizanju minimalnog energetske stanja, voda se giba od više energetske razine ili potencijala prema nižoj energetskej razini. Pri takvom strujanju vode dolazi do gubitka mehaničke energije koji je uzrokovan trenjem između čestica vode, te zidovima krutog matriksa kroz koji se tekućina giba. Strujanje vode kroz saturiranu zonu vodonosnika može se izraziti Darcyjevim zakonom (Darcy, 1856) koji se još naziva linearni zakon strujanja, te kojim se izražava linearni odnos između brzine strujanja i energetske gubitaka pri strujanju.

2.1. Darcyjev zakon

U Darcyjevom zakonu se podrazumijevaju zamišljena brzina toka koja se zove Darcyjeva brzina ili prividna brzina toka kroz presjek nekog poroznog medija, te osrednjena hidraulička vrijednost te brzine. Obujam vode koji protječe jediničnom površinom, odnosno protok izražen je odnosom:

$$Q = KA \frac{h_1 - h_2}{l} = -KA \frac{h_2 - h_1}{l} \quad (2.1)$$

gdje je Q protok, A površina presjeka, K hidraulička vodljivost, l je duljina toka, a h_1 i h_2 su visine vode iznad standardne usporedne ravnine. Hidraulička vodljivost (K) izražava lakoću gibanja tekućine kroz zasićeni porozni medij. Iz izraza (2.1) možemo dobiti sljedeći odnos:

$$q = -K \frac{dh}{dl} = Ki \quad (2.2)$$

gdje je q Darcyjeva brzina ili prividna brzina. Drugi oblik pisanja je:

$$q = \frac{Q}{A} = Ki \quad (2.3)$$

2.2. Opće jednačbe toka podzemne vode za zatvoreni vodonosnik

Opće jednačbe toka podzemne vode u poroznom mediju temelje se na Darcyjevom zakonu i na principima očuvanja energije i mase. Za prijelazni (nestacionarni) tok u zatvorenom vodonosniku, opća jednačba glasi (Misstear i dr., 2006):

$$K_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S}{b} \frac{\partial h}{\partial t} = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.4)$$

gdje su K_x , K_y i K_z hidrauličke vodljivosti u glavnim smjerovima x , y i z , h hidraulički potencijal, S je koeficijent uskladištenja, S_s je specifično uskladištenje, b debljina vodonosnika, a t je vrijeme. Specifično uskladištenje (S_s) je volumen vode koji će jedinični volumen vodonosnika otpustiti kada se potencijal h snizi za jedinicu.

Vodonosnik u kojemu su sva svojstva jednaka u svim smjerovima naziva se izotropni, a ako su ta svojstva jednaka na području cijelog vodonosnika naziva se homogeni. U takvom, homogenom i izotropnom vodonosniku, gdje su $K_x = K_y = K_z$, izraz postaje:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S}{Kb} \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.5)$$

gdje je T transmisivnost koja se može definirati kao količina vode koja protječe kroz poprečni presjek vodonosnika jedinične širine i ukupne debljine, uz jedinični hidraulički gradijent.

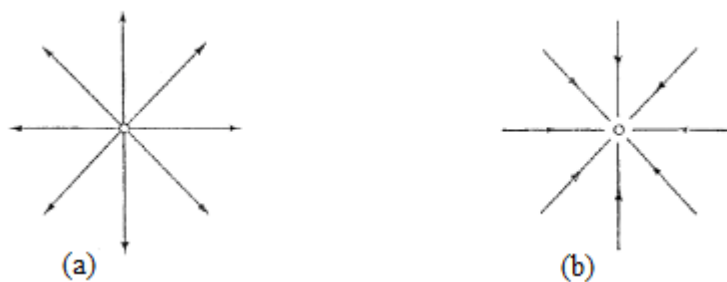
Ako u nekoj točki područja toka brzina gibanja čestice tekućine ostaje stalna kroz čitavo vrijeme promatranja ispunjeni su uvjeti stacionarnoga toka u kojem se razina podzemne vode ne mijenja sa vremenom ($\partial h / \partial t = 0$). Izraz (2.5) tada postaje:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (2.6)$$

Ovaj izraz je još poznat kao Laplaceova jednačba.

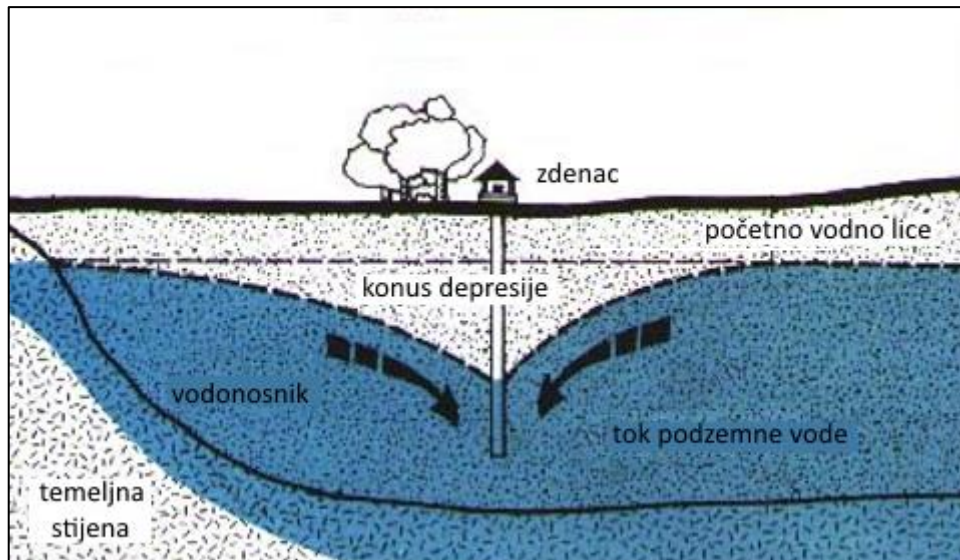
2.3. Radijalni tok k zdencu

Tok k zdencu je radijalni tip toka. Promatrajući takav tok u tlocrtu, zdenac se može promatrati kao singularna točka u kojoj se gomilaju strujnice ili iz koje izvire strujnice. Singularne točke u ravninskome strujanju prikazanom u xy ravnini imaju samo dvije komponente vektora brzine ($q_z=0$). Prave singularne točke ($q \rightarrow \infty$) su one u kojima se tangira beskonačan broj strujnica, te se u njima strujnice sijeku. Takve točke zovu se izvor kada strujnice divergiraju, a kada strujnice konvergiraju, ponor. Upojni zdenac možemo promatrati kao hidraulički izvor, a crpljeni zdenac kao hidraulički ponor. Zdenci imaju konačan polumjer, $r_z > 0$, te ne zadovoljavaju strogoj definiciji singularne točke, ali ako nema vanjskih poremećaja, na određenoj udaljenosti od zdenca, učinak njegovih konačnih dimenzija postaje zanemariv pa se strujanje može promatrati slično singularnom strujanju. (Urumović, 2003). Na Slici 2-1. prikazane su singularne točke.



Slika 2-1. Singularne točke: (a) izvor, (b) ponor (Urumović, 2003)

Prirodni uvjeti toka u vodonosniku su narušeni kada počne crpljenje vode u zdencu. Crpljenje vode uzrokuje smanjenje razine podzemne vode i stvara razliku potencijala između vode u zdencu i vodonosniku. Zbog razlike potencijala tok kreće prema zdencu i dolazi do smanjenja potencijala u vodonosniku oko njega. Efekti crpljenja šire se radijalno kroz vodonosnik. Smanjenjem razine vodnog lica i piezometarske razine nastaje konus depresije oko zdenca (Slika 2-2.), koji se može mjeriti u opažaćkim bušotinama ili piezometrima.



Slika 2-2. Konus depresije oko crpljenog zdenca (preuzeto sa <http://valleyallianceri.org/>)

2.3.1. Radijalni tok k zdencu u zatvorenom vodonosniku.

Ako pretpostavimo da je tok horizontalan, izrazi (2.5) i (2.6) mogu se prema Misstear i dr. (2006) pisati za dvodimenzionalni tok u zatvorenom vodonosniku kao:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{S}{Kb} \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.7)$$

te za stacionaran (ustaljen) tok:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad (2.8)$$

U analizi toka podzemne vode treba pretvoriti ove izraze u polarne koordinate, sa $r = (x^2 + y^2)^{1/2}$:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} = \frac{S}{Kb} \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.9)$$

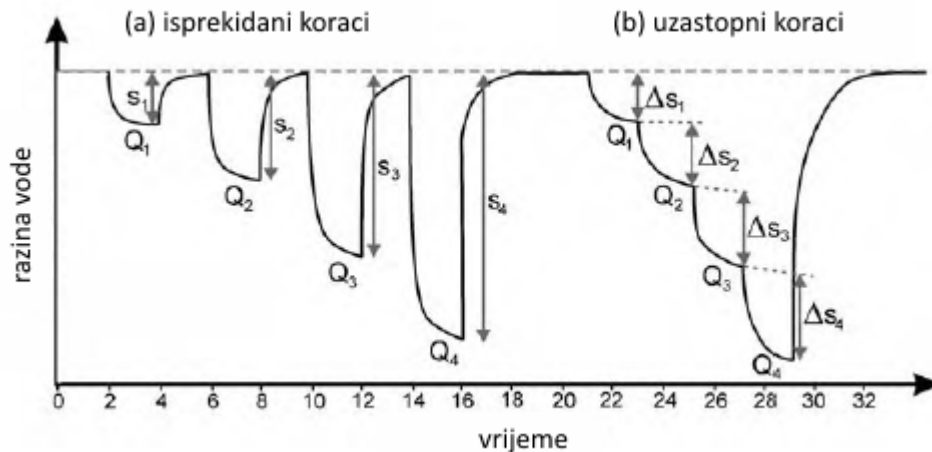
te za stacionaran tok:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} = 0 \quad (2.10)$$

3. POKUSNO CRPLJENJE

Pokusno crpljenje se provodi iz više razloga, kao što su provjera izdašnosti i učinkovitosti zdenca, provjera kvalitete vode, određivanje parametara vodonosnika i identifikacija mogućih utjecaja na okolinu i slično. Ukratko, može se reći da se pokusno crpljenje provodi s dva glavna cilja, a to su: određivanje parametara zdenca i parametara vodonosnika. Opažanja tijekom pokusnog crpljenja provode se na crpljenom zdencu i piezometarskim bušotinama. Glavni podaci koji se prikupljaju pri pokusnom crpljenju su: crpna količina (Q), razina ili dubina do vode u zdencu ili piezometru (h), vrijeme opažanja (trenutno i ukupno od početka crpljenja) (t), te udaljenost od zdenca (r). Najčešći tipovi pokusnog crpljenja su: crpljenje u koracima, crpljenje sa stalnom količinom te povrat razine vode u crpljenom zdencu nakon prestanka crpljenja. Kod pokusnog crpljenja neke od osnovnih pretpostavki su: vodonosnik je zatvoren, homogen i izotropan, jednolike debljine i beskonačnog pružanja, vodno lice je prije početka crpljenja horizontalno, radijus zdenca je zanemarivo mali (voda u zdencu nema utjecaj na razvoj konusa depresije), zdenac u potpunosti penetrira vodonosnik po cijeloj dubini, tok je radijalan, vrijedi Darcyjev zakon, a oslobađanje vode iz vodonosnika je trenutno i bez pada potencijala.

Crpljenje s promjenom količine tijekom crpljenja - crpljenje u koracima. Kod crpljenja u koracima mjeri se sniženje u zdencu pri različitim crpnim količinama. Najčešće se crpi u četiri koraka, koji bi idealno trebali biti jednako dugog trajanja, s tim da se na kraju svakog koraka sniženje mora ustaliti. Koraci obično traju između sat i pol do dva, a crpne količine se povećavaju od početka prema kraju crpljenja. Crpljenje u koracima se uglavnom provodi s isprekidanim koracima ili uzastopnim koracima (Slika 3-1.).



Slika 3-1. Dijagram sniženja u odnosu na vrijeme kod crpljenja u koracima s: (a) isprekidanim koracima, (b) uzastopnim koracima (Misstear i dr., 2006)

U crpljenju s isprekidanim koracima, nakon svakog koraka se čeka dok se sniženje ne vrati na svoju početnu vrijednost. Ono je lakše za interpretaciju, ali duže traje. Kod crpljenja s uzastopnim koracima dolazi do povećanja crpne količine odmah nakon završetka prethodnog koraka. Ovakvo testiranje je brže, ali teže za interpretaciju. Crpljenje u koracima provodi se sa ciljem određivanja parametara zdenca koji su definirani parametrima linearnih i nelinearnih gubitaka.

Crpljenje sa stalnom količinom. Nakon crpljenja u koracima slijedi razdoblje oporavka, koje obično traje jedan dan, kako bi se stanje u vodonosniku vratilo na početno stanje prije početka crpljenja. Zatim, u pravilu, slijedi osmosatno crpljenje u koracima, nakon kojeg slijedi crpljenje sa stalnom količinom. Glavni cilj crpljenja sa stalnom količinom je određivanje parametara vodonosnika: transmisivnosti, hidrauličke vodljivosti i koeficijenta uskladištenja. Iz ovakvog testiranja također se može doznati hoće li zdenac moći zadržati predviđeni režim rada kroz dugotrajni vremenski period, te da li će doći do smanjenja izdašnosti, odnosno hoće li doći do povećanja sniženja kroz vrijeme. Još se može pretpostaviti da li će crpljenje utjecati na okolno područje, odnosno smanjiti dostupnost vode u drugim zdencima, bušotinama, izvorima i drugim ekološki važnim sredinama. Kroz trajanje testa, može se uočiti je li došlo do promjene kvalitete crpljene vode. Ovakvo testiranje obično traje između jednog i deset dana, a nekada, ako su granični uvjeti vodonosnika komplicirani, može trajati i nekoliko tjedana.

Povrat razine vode. Kada crpljenje završi, razina vode u zdencu ili opažačkoj bušotini počinje se vraćati na početnu razinu. U početku je taj povrat razine vode nagli, a kasnije se usporava. U idealnim uvjetima krivulja povrata razine vode odgovara inverznoj krivulji sniženja pri crpljenju, te se može analizirati istim metodama.

3.1. Analiza sniženja u vremenu

3.1.1. Theisovo rješenje

Izraz (2.9) iz potpoglavlja 2.3.1. predložio je Theis (1935) za nestacionarni, radijalni tok u zatvorenom vodonosniku. Njegovo rješenje za nestacionarni tok prema crpljenom zdencu predstavlja kontinuiranu raspodjelu sniženja s obzirom na udaljenost, te je opisano sljedećim jednažbama:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (3.1)$$

gdje je s sniženje zbog crpljenja na udaljenosti r od zdenca u vremenu t , T transmisivnost, a $W(u)$ je funkcija zdenca:

$$W(u) = -0,5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2,2!} + \frac{u^3}{3,3!} + \frac{u^4}{4,4!} - \dots \quad (3.2)$$

a argument funkcije zdenca u je definiran odnosom:

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (3.3)$$

Početni i rubni uvjeti Theisovog matematičkog modela su:

početni uvjet: $h = 0$ za početno vrijeme $t = 0$ i $r \geq 0$

rubni uvjeti: $h = 0$ za $r \rightarrow \infty$; $t \geq 0$

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \left(r \frac{dh}{dr} \right) = \frac{Q}{2\pi T} \quad (3.4)$$

za $t \geq 0$.

3.1.2. Logaritamska aproksimacija (Cooper-Jacobova metoda)

Cooper i Jacob razvili su metodu baziranu na Theisovom rješenju. Primijetili su da za velike vrijednosti t , i male vrijednosti r , u izrazima (3.1) do (3.3), funkcija u ima male vrijednosti. Kada je $u < 0,1$ izraz (3.1) može biti aproksimiran na:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \left[-0,5772 - \ln \left(\frac{r^2 S}{4Tt} \right) \right] = \frac{2,30Q}{4\pi T} \log \left(\frac{2,25Tt}{r^2 S} \right) \quad (3.5)$$

ili

$$s = \frac{2,30Q}{4\pi T} \log \left(\frac{2,25T}{r^2 S} \right) + \frac{2,30Q}{4\pi T} \log t \quad (3.6)$$

Ako sniženje (s) iscrtamo na ordinati, a $\log(t)$ na apscisi, dobit ćemo pravac s nagibom:

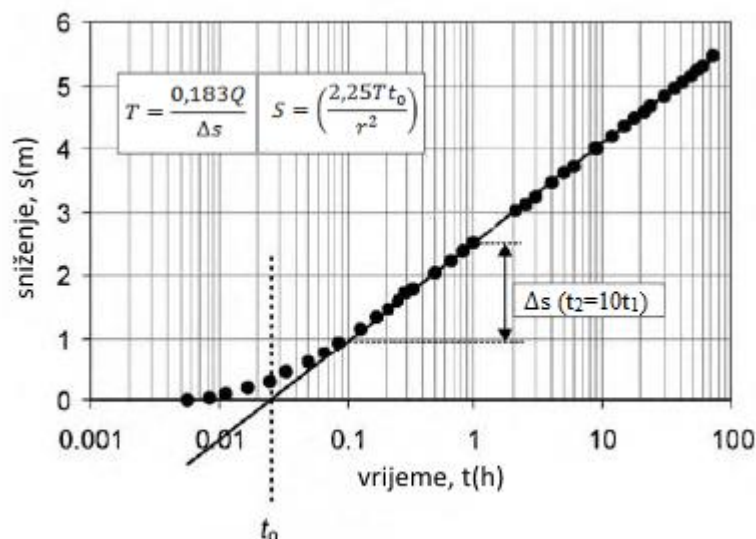
$$\Delta s = \frac{2,30Q}{4\pi T} = \frac{0,183Q}{T} \quad (3.7)$$

gdje je Δs prirast sniženja u log intervalu t . Kada produžimo pravac i dobijemo točku na kojoj sječe apscisu ona ima koordinate ($s=0$, $t=t_0$). Ako te vrijednosti uvrstimo u formulu (3.5) dobivamo odnos za koeficijent uskladištenja:

$$S = \left(\frac{2,25Tt_0}{r^2} \right) \quad (3.8)$$

Inicijalni i rubni uvjeti su isti kao i kod Theisovog rješenja, uz to da je argument funkcije $u < 0,1$.

Postupak aproksimacije. Za ovu metodu dovoljan je jedan polulogaritamski graf (Slika 3-2.). Prvi korak je iscrtavanje sniženja s (m), odnosno dubine do vode, na ordinati u linearnom mjerilu, te vremena t (min ili sati) na apscisi u logaritamskom mjerilu. Koriste se podaci dugotrajnog pokusnog crpljenja, te kada te podatke nanese na takav dijagram, točke će približno ležati na pravcu. Zatim povučemo aproksimirani pravac koji najbolje odgovara točkama pomoću kojeg možemo odrediti vrijednost prirasta sniženja Δs za jedan logaritamski ciklus vremena ($t_2=10t_1$). Pomoću prije navedenih izraza (3.7 i 3.8) možemo izračunati parametre vodonosnika: transmisivnost T i koeficijent uskladištenja S .



Slika 3-2. Cooper-Jacobova aproksimacija (Misstear i dr., 2006)

3.1.3. Sniženje u zdencu kod pokusnog crpljenja

U prirodnim uvjetima voda se u poroznom mediju giba sporo, a uvjeti toka su laminarni, te odgovaraju uvjetima u Darcyjevom zakonu. Kako voda dolazi do blizine zdenca, brzine toka se povećavaju, a tok može postati turbulentan. U samom zdencu dolazi do dodatnog trenja i promjene momenta prilikom prolaska vode kroz filter. To uzrokuje povećanje sniženja u zdencu i naziva se gubicima zdenca. Sniženje u zdencu se, prema Jacobu (1946), sastoji od gubitaka vodonosnika i gubitaka zdenca i može se izraziti sljedećim odnosom:

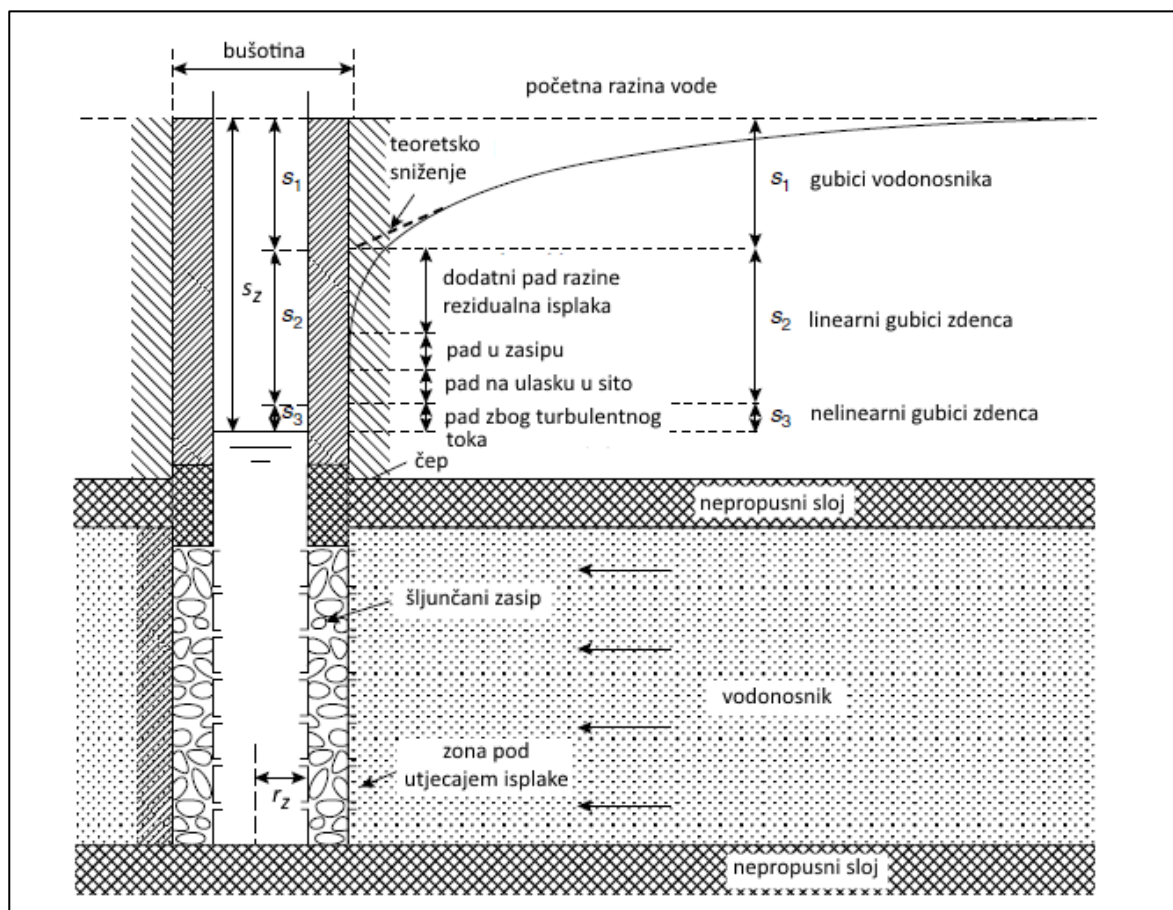
$$h_0 - h_z = s_z = BQ + CQ^2 \quad (3.9)$$

gdje su h_0 i h_z potencijali (početna razina odnosno razina u zdencu), s_z je sniženje u zdencu, B predstavlja parametar linearnih gubitaka u vodonosniku, a C parametar nelinearnih gubitaka na zdenačkom zacjevljenju. Član BQ su formacijski gubici uzrokovani laminarnim strujanjem, a CQ^2 je porast sniženja uzrokovan turbulentnim gubicima. Izraz (3.9) je pojednostavljen i može se pisati:

$$s_z = BQ + CQ^n \quad (3.10)$$

Eksponent n može varirati između 1,6 i 5, ali u pravilu iznosi 2, tako da se radi o kvadratnoj jednadžbi. Za rješavanje jednadžbe potrebne su nam minimalno dvije, a u pravilu tri, crpne količine iz crpljenja u koracima.

Različite komponente sniženja su prikazane na Slici 3-3.



Slika 3-3. Komponente sniženja razine vode u zdencu (Delleur, 1999); s_z je sniženje u zdencu, r_z je radijus zdenca, a s_1 , s_2 i s_3 su komponente sniženja

4. HIDROGEOLOŠKI UVJETI PODRUČJA

Varaždinski vodonosnik zauzima krajnji zapadni dio heterogenih kvartarnih naslaga dravske doline. Dravska dolina u širem varaždinskom području geotektonski pripada Varaždinskom bazenu kao južnom, rubnom djelu Murske depresije. Istočna granica ovih tektonskih uleknina je Legradski prag koji odvaja Mursku od Dravske depresije. Najmlađa tektonska zbivanja koja su dovela do konačnog oblikovanja ovih struktura imala su snažan utjecaj i na taloženje kvartarnih naslaga. Oblik šljunčanog sloja uvjetovan je neotektonskim pokretima, pa glavni rasjedi imaju zapažen odraz na strukturu podine i debljinu vodonosnika. U gornjem pliocenu-kvartaru aktivni su dijagonalni rasjedi s pravcem pružanja SZ-JI (ZSZ-IJI) (Slika 4-1.). Tektonski procesi na području varaždinskog vodonosnika (izdizanje okolnih planina, spuštanje Murske potoline, smicanje duž dijagonalnih rasjeda, te rotacije struktura) traju sve do danas.

Tijekom kvartara, a posebice njegovoga gornjeg dijela u Varaždinskom bazenu pretežno su taloženi šljunci krupnih valutica s različitim postotkom pijeska, dok se nizvodno u Dravskoj depresiji veličina i udjel valutica šljunka smanjuje, povećava se sadržaj pijeska, a sve se više talože slojevi sitnoklastičnih naslaga.



Slika 4-1. Strukturni zemljovid po podinskoj plohi vodonosnika (Urumović i dr., 1990); Oznake: 1- izohipse podine vodonosnika, 2 - strukture (1 - Varaždinska depresija, 2 - Ormož-Selnica, 3 - Ravna Gora, 4 - Ivanščica), 3 – rasjed s horizontalnim pomakom, 4 - rasjed bez oznake karaktera, 5 - trasa litološkog profila, 6 - važniji rasjedi strukturnog sklopa (1 - ormoški rasjed, 2 - južni rubni rasjed Murske potoline, 3 - rasjed duž sjevernog krila Ravne Gore, 4 - rasjed Sokolovac-Tužno-Ptuj, 5 - varaždinski rasjed)

4.1. Pregled litostratigrafskih jedinica

Najstarije naslage na površini nalaze se u južnom prigorju, oko Vinice i Voće. To su trijaski pješčenjaci, šejlovi, lapori, vapnenci, dolomiti i dolomitne breče (Šimunić i dr., 1982, 1982a). Izravno na njima leže transgresivne miocenske naslage u kojima su zastupljeni pretežno konglomerati, pješčenjaci, vapnenci, lapori, laporoviti vapnenci, mjestimice tufovi i vulkanske breče iz donjeg, srednjeg i gornjeg miocena. Konkordantno slijede naslage ponta koje su relativno većih debljina, osobito u Varaždinskoj depresiji. U podini dolaze lapori s proslojcima pješčenjaka i pijeska. U donjem dijelu krovine imamo izmjenu pjeskovito glinovitih lapora i pješčenjaka, te pijesaka, glina i šljunaka u gornjem dijelu krovine. U Varaždinskoj depresiji teško je odvojiti pliocenske naslage od kvartarnih, donjopleistocenskih naslaga jer su sličnoga sastava. Većinom se radi o višestrukoj izmjeni glina, pijesaka i šljunaka. Generalni litološki stup kvartarnih naslaga, unutar kojih se nalazi varaždinski vodonosnik je sljedeći: u podini dolaze šljunci ili pijesci u izmjeni s glinama. Općenito gline ima više u donjem pleistocenu. U srednjem pleistocenu javljaju se izmjene glina, pijesaka i šljunaka, a uz gline i proslojci treseta. Udijeli šljunaka u mlađim nivoima rastu, pa se u gornjem pleistocenu pretežno talože šljunci. Holocenu pripadaju najmlađe riječne taložine koje su u sastavu dravskih terasa vezanih za ravničarski dio područja (Šimunić i dr., 1982, 1982a, Urumović i dr. 1990).

Naslage šljunka i pijeska istaloženih u Dravskoj dolini Varaždinskoga bazena uvjetovale su formiranje varaždinskog vodonosnika. Ove naslage su vjerojatno srednje i gornjopliocenske, te holocenske starosti. U njima se rijetko pojavljuju sitnije frakcije, prah i glina i to uglavnom kao tanke leće i proslojci u središnjim djelovima. U nekim rubnim predjelima susreće se i dispergirana pojava prašinastih i glinovitih frakcija unutar dominantnih gruboklastičnih taložina. Vodonosnik je izdužen paralelno toku Drave, a debljina mu se povećava od zapada prema istoku (Prilog 1). Bočne granice vodonosnika su uz rub okolnog prigorja i u pravilu su rasjedne.

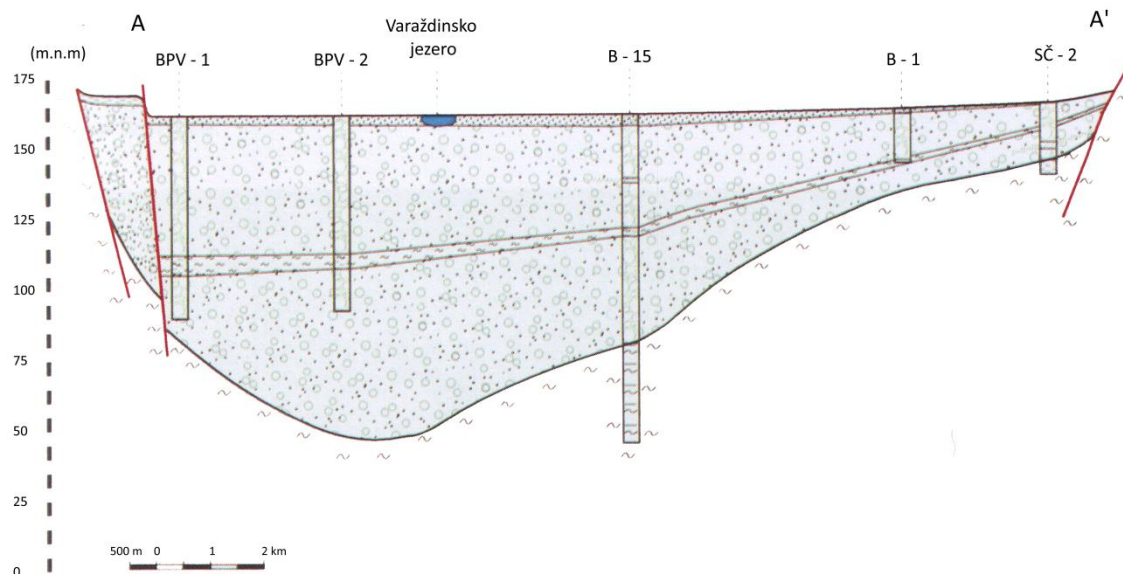
Debljina vodonosnika je najmanja u području između Križovljana i Ormoža, gdje šljunčane kvartarne naslage prekrivaju utonulu antiklinalu (Slika 4-1.). Struktura vodonosnika je ovdje asimetrična s nagnutom površinom terena od juga prema sjeveru i obrnutim nagibom podloge vodonosnika (Hlevnjak i Duić 2015).

Debljina vodonosnika na hrvatskoj obali Drave kraj Ormoža iznosi samo 5 m, a uz južni rubni rasjed kraj Križovljana doseže i preko 15 m. U ovim predjelima u podini

vodonosnika se nalaze lapori i pješčenjaci. Idući zapadno od Križovljana prema Petrijancu nagib podine vodonosnika je neznatno strmiji od nagiba površine terena. Debljina vodonosnika kod Petrijanca je nešto veća od 15 m. Južno od Petrijanca formirana je uleknina u kojoj debljina kvartarnih šljunaka doseže i preko 30 m. Prema zapadu se također debljina naglo povećava, pa kraj Svibovca doseže oko 30 m, u području crpilišta Varaždin oko 64 m, u području crpilišta Bartolovec 104 m, a kraj Vularije i Zamlake ustanovljena je debljina kvartarnih šljunčanih naslaga od preko 110 m. U središnjim dijelovima depresije u podlozi su najčešće nabušeni glina i prah, te prašinski pijesak, lapor i nešto lignita. Na temelju litološkog razvoja podloga odgovara rhomboidea naslagama.

U granulometrijskom sastavu vodonosnika dominiraju valutice šljunka s različitim postotkom pijeska. Općenito se može reći da se idući od zapada prema istoku u prosjeku postupno smanjuje veličina pojedinih zrna i valutica pijeska, a raste njihova sortiranost, uz povremena odstupanja. Najveći oblutci mogu doseći i preko 100 mm. Veličine zrna d₈₀, koje se dobiju nakon prosijavanja uzorka s 80% prolaska kroz sito iznose oko 30 mm u području Varaždina, oko 20 mm kod Vularije, a najveći promjer zrna d₈₀ nalazimo u zapadnim predjelima, te on iznosi oko 80 mm. Odstupanje od relativno postupnih promjena granulometrijskih parametara u funkciji dubine uzorka pojavljuje se samo unutar leća i proslojaka sitnijeg granulometrijskog sastava (Urumović i dr. 1990).

Pojava leća naslaga gline i praha vrlo je rijetka. Posebno važan je takav proslojak praha, gline, prašinstog pijeska i mjestimice treseta, koji je nabušen u brojnim bušotinama širega područja Varaždina i u Međimurju. Dubina zalijeganja ovoga sloja kreće se oko 20 m kraj Svibovca, a prema istoku postupno tone, pa se na dubini oko 42 do 50 m pojavljuje kod crpilišta „Varaždin“, a na području crpilišta „Bartolovec“ na 51,6 do 55,5 m, te na oko 55 m kod Vularije. Debljina mu nije velika, rijetko premašuje 5 m debljine, ponegdje je vjerojatno tanji od 1 m, no u pravilu mu se debljina kreće od 2 do 4 m. Pretpostavljeno je da u blizini Petrijanca ovaj sloj isklinjava, jer je izostajao u bušotinama zapadnih i jugozapadnih predjela. Prema rezultatima bušenja novih istraživačkih bušotina pokazalo se kako se on u tim područjima nastavlja jednakim nagibom i prema rubnom rasjedu zadebljava (Slika 4-2.). Radi se o značajnom diskontinuitetu uvjeta taloženja. Posljedica je formiranje polupropusnog međusloja, koji dijeli vodonosnik u dva šljunčana sloja. Granulometrijski sastavi prvog i drugog šljunčanog sloja ne razlikuju se bitno.



Slika 4-2. Poprečni profil kvartarnih naslaga (Hlevnjak i Duić, 2015)

U krovini vodonosnika se pojavljuje tanki pokrivač izgrađen od praha, gline i prašinastog pijeska uglavnom debljine do 0,5 m. Često izostaje, pa se u tankom humusu pojavljuje obilje valutica šljunka. Povećane debljine pokrivača su u pravilu lokalnog karaktera i ne premašuju 5 m. Izuzetak su jugoistočni rubni predjeli u kojima u širokom pojasu debljina mjestimice prelazi i 10 m (Urumović i dr. 1990).

Prema petrografskim analizama valutica šljunka dominiraju valutice kvarca, te ih je u pravilu preko 50% težinskog sadržaja. Također se pojavljuju vapnenac, kvarcit, pješčenjak, gnajs-granit, te tuf i efuzivi. Zapaženi su i čert, filit i tinjčasti škriljavac, a njihov sadržaj je znatno manji od 10% (Šestanović, 1969, Urumović i dr. 1990).

4.2. Tektonski odnosi

U južnom dijelu Murske potoline, u Varaždinskoj depresiji, stijene mezozoika, na kojima je taložen kompleks neogenskih i kvartarnih naslaga, nalaze se na površini duž uzdignutih okolnih planina Ravne gore i Ivanščice. Strukture su uglavnom tipa horstova i graba nastalih u neotektonskom razdoblju. U najmlađem dijelu neotektonskog razvitka, uslijed regionalnih tektonskih kretanja, aktivni su dijagonalni rasjedi s pravcem pružanja SZ-JI

(ZSZ-IJI). Osim smicanja, duž njihovih trasa dolazi i do rotacije pojedinih struktura i njihovih dijelova ili viših jedinica. Zbog toga pojedini uzdužni rasjedi postaju reversni, osobito duž sjevernih krila struktura u zoni dodira stijena različite gustoće. Okolne uzdignute strukture: Ormož-Selnica, sjeverno od obuhvaćenog područja, Ivanščica južno, te Ravna gora na zapadu, predstavljaju horst-antiklinorije. Sjeverna krila struktura su u reversnom odnosu naročito u Ivanščici i Ravnoj gori. Radi se o dva do tri niza reversnih rasjeda s vergencijom prema sjeveru. Struktura Ravne gore je u predjelu Vinice presječena rasjedima i u nastavku prema istoku tone. To ima utjecaja i na oblik Varaždinske depresije i na stanjivanje neogenskih i kvartarnih naslaga duž zone tonjenja. Depresija se iskazuje kao asimetrična graba-sinklinorij. Os dubljeg dijela proteže se potezom Tužno-Biškupec-Hrženica. To ukazuje na veću tektonsku aktivnost južnog u odnosu na sjeverni rub depresije. Izostate podine vodonosnika (Slika 4-1.), kao i izdvojenog međusloja, te promjene debljina vodonosnika, navode na najmlađe kvartarno spuštanje Varaždinske depresije i aktivnost rubnih zona depresije (Urumović i dr. 1990).

Rasjedi obuhvaćaju četiri sustava: uzdužni rasjedi pravca pružanja I-Z do ZSZ-IJI, te dva manje izražena sustava dijagonalnih rasjeda pravaca pružanja S-J (okolica Vinice) i SZ-JI (struktura Ormož-Selnica). U strukturnom sklopu najvažniji su uzdužni rasjedi duž kojih su pojedine strukture uzdignute ili spuštene. To su najstariji rasjedi, aktivni kroz gotovo čitavo neotektonsko razdoblje. To su ormoški rasjed (oznaka 1 na Slici 4-1.) i južni rubni rasjed Murske potoline (2). U predjelu zapadno od Vinice razabiru se reversni rasjedi (3), koji se pružaju duž sjevernog krila Ravne gore. Vrlo su važni i dijagonalni rasjedi pružanja SZ-JI (ZSZ-IJI), koji su na površini markirani terasnim odsjecima, usječenim pravocrtnim dolinama, te prvom terasom Drave kod Petrijanca i Sračinca. Radi se o nekoliko paralelnih rasjeda, Sokolovec-Tužno-Ptuj (4), te varaždinski rasjed (5). Duž strmih ploha tih rasjeda tektonski pomaci su dijagonalni s obzirom na horizontalnu ravninu. Rasjedi su transkurentni, desni. Sumarne amplitude vertikalnih neotektonskih pokreta se kreću od 1000 m u Ivanščici do oko 4500 m u Murskoj potolini. Vodonosnik je presječen rubnim rasjedima Varaždinske depresije i zonom dijagonalnih rasjeda pravca pružanja SZ-JI (ZSZ-IJI). Amplitude vertikalnih tektonskih pokreta nakon taloženja vodonosnika iznose: 60 m - južni rubni rasjed Murske potoline; 20 m – Ormoški rasjed, te 10 m – Varaždinski rasjed. Rasjedi su i recentno aktivni, jer se njihove trase odražavaju u pojedinim geomorfološkim oblicima površine. Debljina pješčano - šljunkovitih kvartarnih naslaga, kao i debljine

vodonosnika ukazuju na vertikalne pokrete za vrijeme i nakon taloženja tog kompleksa naslaga (Urumović i dr. 1990).

Rasprostranjenost, prostorni položaj i deformacije naslaga predočene su pomoću četiri profila (Slika 4-2. i Prilozi 1 i 2), sa njihovim pripadajućim trasama (Slika 4-1. i Prilog 3). Podloga za Prilog 3 je topografska karta „TK25“ preuzeta sa <http://geoportal.dgu.hr/>, na koju su kasnije unesene trase profila u programu „Paint.net“

Glavni rasjedi također imaju bitnog utjecaja u rasprostranjenosti i raznolikosti u facijesu naslaga, te predstavljaju značajnu prepreku u arealu taloženja. U zoni ovih dijagonalnih rasjeda dolazi do naglog stanjivanja naslaga, također i prvog šljunčanog sloja, a vjerojatno i do razlika u facijesu u odnosu na naslage istaložene oko Varaždina i istočno od njega. Dijagonalni tip tektonskih pomaka duž tih rasjeda zasigurno ima utjecaja u sedimentacijskim uvjetima: mogućem stvaranju leća, eventualnoj unakrsnoj slojevitosti i različitoj sortiranoosti materijala na uzdignutom i spuštenom krilu rasjeda.

4.3. Hidrogeološki odnosi

Osnovna značajka varaždinskog vodonosnika je visoka propusnost šljunaka u kojima je usječena hidrografska mreža i povećanje debljine naslaga idući od zapada prema istoku. Hidrauličke vodljivosti, K , na širem području iznose od 100 do 300 m/dan, a na lokaciji tvornice Kalnik gdje je izveden zahvat podzemne vode, hidrauličke vodljivosti se kreću oko 200 do 300 m/dan. Za hidrauličke rubne uvjete je karakteristično da Drava na zapadnom rubu područja presijeca veći dio debljine vodonosnika, dok je u ostalom dijelu usječena u površinskom dijelu. Unatoč tomu, dominantno je napajanje vodonosnika infiltracijom padalina, te evapotranspiracijom.

U neposrednom varaždinskom području podzemne vode su pod snažnim utjecajem vodnih stuba na Dravi. Prirodni režim podzemnih voda snažno je poremećen izgradnjom hidroenergetskih objekata i eksploatacijom podzemnih voda za potrebe vodoopskrbe. Akumulacije uzrokuju podizanje razine podzemne vode u zaobalju. Posebno je snažan utjecaj odvodnog kanala od strojarnice hidroelektrane Varaždin, jer ovaj kanal predstavlja snažnu drenažu podzemnih voda koja je uzrokovala promjenu slivnog područja postojećega crpilišta „Varaždin“. Za kvalitetu podzemnih voda karakterističan je kalcijskohidrokarbonatni facijes. Sadržaj željeza je u pravilu ispod 0,3 mg/l. Sa stajališta

vodoopskrbe problematičan je povišen sadržaj nitrata. Ekstremna povećanja koncentracije nitrata u podzemnim vodama gornjega vodonosnika vjerojatno su posljedica drenaže koje uzrokuje odvodni kanal hidroelektrane. Povećane koncentracije nitrata mogu također biti posljedica gradske kanalizacije, te primjene gnojiva na poljoprivrednim površinama. Postupak pročišćavanja nitrata je skup i kompleksan i uglavnom uključuje proces reverzne osmoze.

5. ZAHVAT PODZEMNE VODE NA LOKACIJI TVORNICE KALNIK

Pogon tvornice Kalnik tvrtke Podravka d.d. u Varaždinu za potrebe proizvodnje koristi vodu iz javne vodoopskrbe. Za postizanje najviših europskih i svjetskih standarda u proizvodnji hrane, potrebno je u tehnološkom postupku koristiti vodu bez dodanog klora. Zbog toga je predviđena mogućnost korištenja vlastitog bušotinskog izvora podzemne vode na lokaciji tvornice.

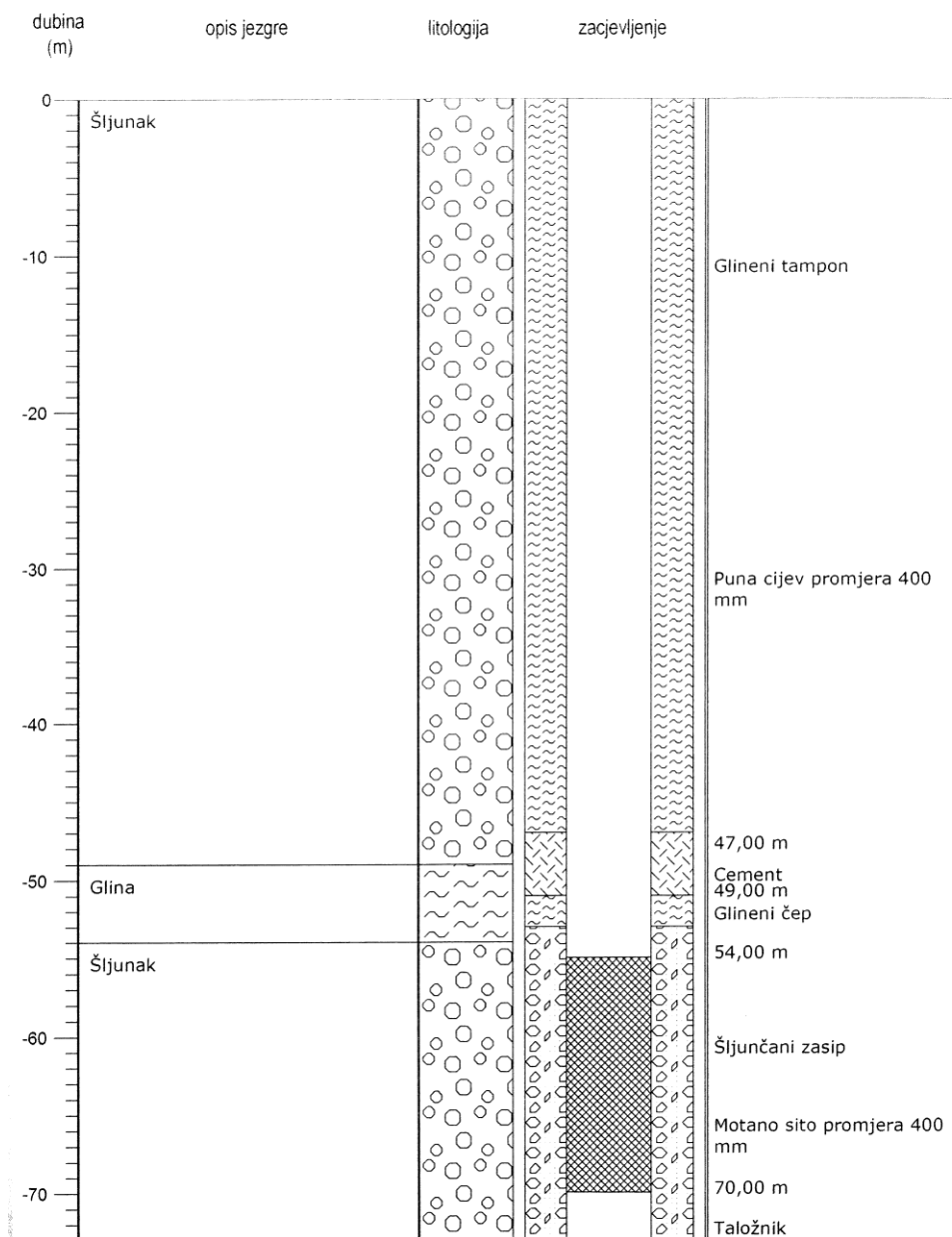
Na ovom području nalazimo naslage šljunka i pijeska koje se pojavljuju u dva izolirana vodonosna sloja. Prvi, plići, vodonosnik pojavljuje se na ovoj lokaciji do dubine oko 42 m. Ispod ovog vodonosnog sloja nalazimo proslojak gline, praha i prašinastog pijeska. Dubina ovoga sloja kreće se na ovom području na 42 do 46 m, a debljina mu je do 5 m. Ovaj međusloj dijeli šljunčani vodonosnik u dva vodonosna sloja. Dubina donjeg vodonosnika je prema raspoloživim podacima ovog područja na 46 do 64 m.

Tijekom planiranja rješavanja zahvata vode pokazale su se dvije mogućnosti. Prva je koristiti već izvedeni kopani zdenac velikog promjera, a druga je načiniti novi bušotinski zahvat dubokim zdencem u dubljem, donjem vodonosniku. Plitki zdenac na lokaciji tvornice promjera je oko 5 m. Za kakvoću podzemnih voda plitkog vodonosnika prvenstveno je problem povišeni sadržaj nitrata, a na području tvornice Kalnik i izrazito povišeni sadržaj amonijaka s koncentracijama i preko 10 mg/l. Pokušalo se pronaći tehnološko rješenje kojim bi se obradilo vodu do kvalitete predviđene Pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (Narodne novine 141, 2013). Smanjivanje koncentracije nitrata u vodi je moguće, ali uklanjanje ovako visokih koncentracija amonijaka je vrlo otežano, gotovo nemoguće bez izrazito visokih troškova. Kakvoća podzemne vode dubljeg vodonosnika u okolnom području pokazuje dobru kvalitetu u skladu s pravilnikom. Na lokaciji tvornice Kalnik u Varaždinu potrebno je osigurati vodu za potrebe proizvodnje zdenačkim zahvatom podzemne vode iz dubljeg vodonosnika. Potrošnja vode varira sezonski, a tijekom maksimalne proizvodnje potrebno je osigurati do 100 m³ po satu, odnosno do 0,028 m³/s vode za tehnološke potrebe proizvodnje. Zamišljen je zdenac s ugradbenom konstrukcijom promjera 400 mm kojim bi se zadovoljile ukupne potrebe zahvata vode, a ugrađena konstrukcija osigurala dovoljno prostora za ugradnju crpke te zaštitnih i mjernih sondi. Lokacija tvornice nalazi se u južnom dijelu grada Varaždina na k.č. br. 87 K. O. Biškupec (Hlevnjak i Duić 2015).

5.1. Izvedba zdenca ZK-1

Bušenje. Na lokaciji tvornice Kalnik u Varaždinu nalazimo naslage šljunka i pijeska koje se pojavljuju u dva izolirana vodonosna sloja. Prvi, plići vodonosnik pojavljuje se na ovoj lokaciji do dubine 49 m. Ispod ovog vodonosnog sloja nalazimo proslojak gline, čije se zalijeganje kreće u dubinskom intervalu od 49 do 54 m, debljine 5 m. Podina donjeg vodonosnika je prema podacima iz istraživačko-piezometarskih bušotina na dubini oko 74 m. Bušenje je provedeno metodom kopanja uz istovremeno utiskivanje pomoćnog zacjevljenja (laviranjem). Do dubine 43 m bušeno je s ugradnjom pomoćnog zacjevljenja promjera 1 m. Po nailasku na glineni proslojak, voda unutar pomoćnog zacjevljenja je zamijenjena vodom iz gradskog vodovoda i sterilizirana izosanom. Dalje je nastavljeno uz utiskivanje pomoćnog zacjevljenja promjera 800 mm. Bušeno je do dubine od 73 m (Hlevnjak i Duić, 2015).

Ugradnja konstrukcije zdenca. Konstrukcija zdenca ugrađena je unutar pomoćnog zacjevljenja manjeg promjera koje se postupno vadi i paralelno postavlja šljunčani zasip. Do dubine 54 m ugrađena je puna čelična cijev promjera 406 mm, u intervalu od 54-70 m ugrađeno je mostičavo sito otvora 2 mm, a ispod njega taložnik do dubine 73 m, s ravnim dnom (Slika 5-1.). Po završetku ugradnje zdenačke konstrukcije i postavljanja šljunčanog zasipa u konstrukciju zdenca ugrađen je plitki otvoreni airlift kako bi crpna količina bila što manja. Crpljenje airliftom provedeno je uz mirni režim rada, bez šutiranja, u trajanju od 4 sata što je osiguralo sortiranje i slijeganje šljunčanog zasipa. Tijekom ovog osvajanja mjerena je razina šljunčanog zasipa kako bi mu gornja granica bila 1 m unutar glinenog proslojka. Potom je ugrađen čep od kvalitetne gline s dodatkom bentonita, dužine oko 1 m. Gornja granica čepa postavljena je 1 m ispod gornje granice glinenog proslojka. Iznad čepa je ugrađen cementni čep koji će potpuno izolirati gornji od donjeg vodonosnika. Ovaj čep je postavljen u intervalu od 47-52 m. Na taj se način u kasnijem radu zdenca maksimalno isključila mogućnost miješanja vode ova dva vodonosnika. Za izbor šljunčanog zasipa korištena su zapažanja o determinaciji jezgre i iskustva u projektiranju zdenaca na ovome području, te je izabran zasip sa zrnom 2 do 8 mm (Hlevnjak i Duić, 2015).

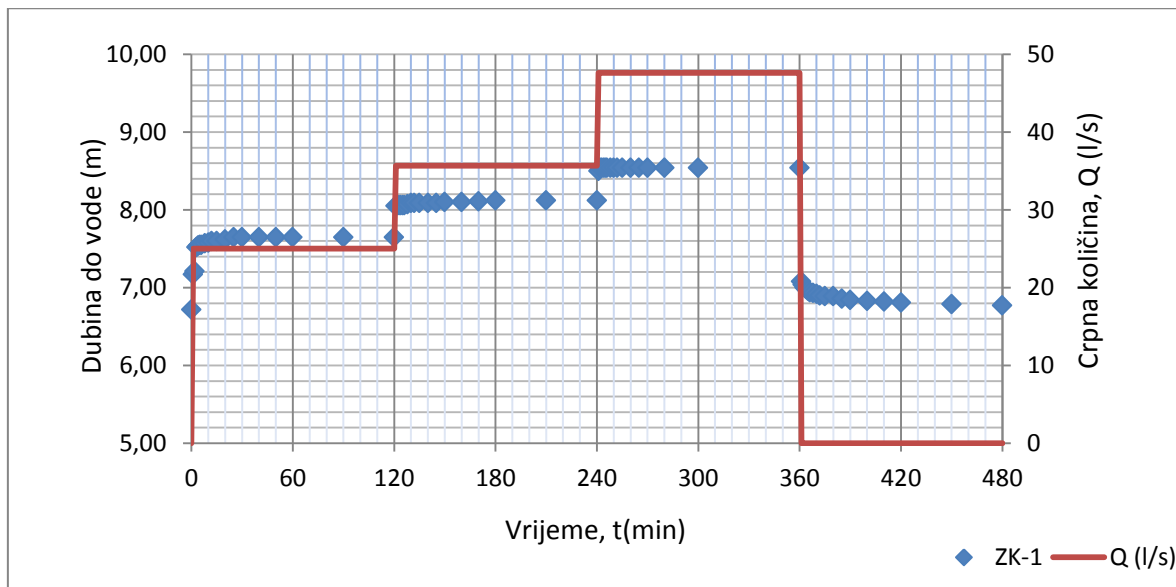


Slika 5-1. Prikaz profila zdenca ZK-1

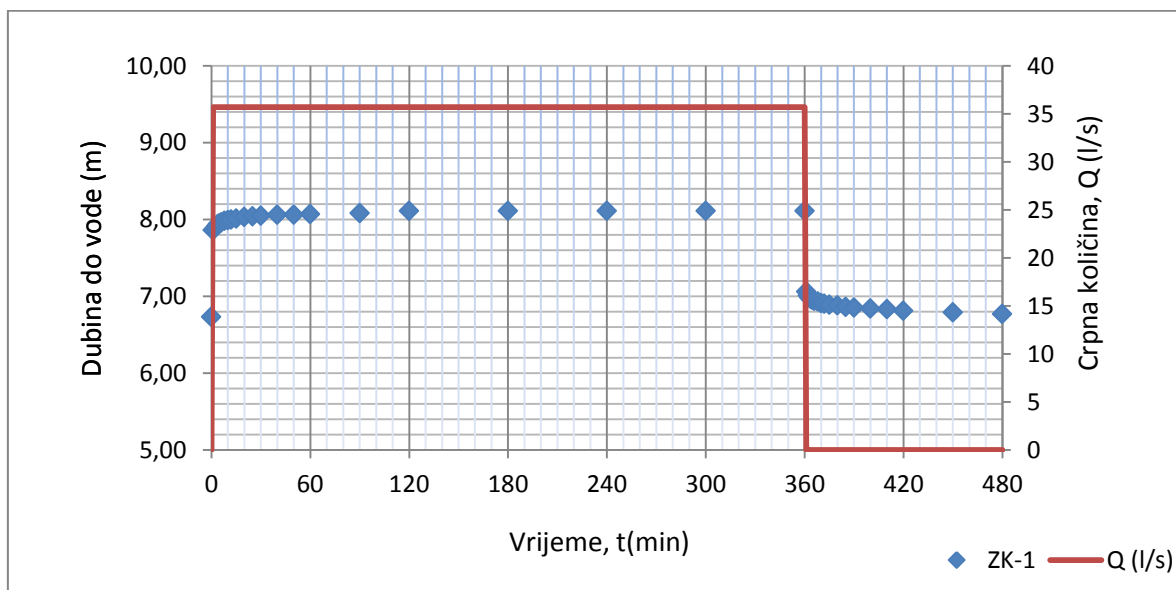
Osvajanje i čišćenje. Osvajanje zdenca započelo je otvorenim airliftom uz položaj zračnih cijevi na 50 m dubine. Osvajanje se prvo provodilo uz miran rad kompresora s postupnim povećavanjem dubine urona airlifta do taložnika. Po spuštanju airlifta u taložnik započelo se s promjenjivim radom kompresora-„šutiranjem“. Osvajanje zdenca nastavljeno je sektorskim ispiraćem po sekcijama sita, a okončano crpkom. Na kraju osvajanja voda je bila bistra.

Pokusno crpljenje. Pokusno crpljenje prvo je provedeno u koracima trajanja po 120 minuta (Slika 5-2., Prilog 4). Crpilo se s tri crpne količine: $Q_1=0,0250 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_2=0,0357 \text{ m}^3/\text{s}$,

$Q_3=0,0476 \text{ m}^3/\text{s}$, a na kraju se pratio povrat vode u zdencu $Q_4=0 \text{ m}^3/\text{s}$. Crpljenje je nakon 3 sata nastavljeno sa stalnom količinom $Q_1=0,0357 \text{ m}^3/\text{s}$ (Slika 5-3., Prilog 4).



Slika 5-2. Prikaz razine vode u zdencu KZ-1 te crpne količine tijekom pokusnog crpljenja u koracima



Slika 5-3. Prikaz razine vode u zdencu KZ-1 te crpne količine tijekom pokusnog crpljenja sa stalnom količinom

5.1.1. Parametri zdenca ZK-1

Pokusno crpljenje, opširnije opisano u poglavlju 3, je provedeno s ciljem da se prikupe podaci nužni za određivanje hidrauličkih parametara zdenca i parametara vodonosnika u

njegovoj neposrednoj blizini. Pri tako postavljenoj zadaći, prva crpna količina pri crpljenju u koracima, stalna crpna količina te povrat razine vode po prekidu crpljenja korišteni su za identifikaciju transmisivnosti, a režim ukupnog postupka crpljenja, s tri različite crpne količine i opažanjem povratka vode po prekidu crpljenja, prilagođen je za određivanje linearnih (formacijskih) i nelinearnih gubitaka zdenca.

5.1.1.1. Određivanje lokalnih parametara vodonosnika

U potpoglavlju 3.1.2. je detaljnije opisana Cooper-Jacobova semi-logaritamska metoda pomoću koje možemo odrediti transmisivnost vodonosnika. Ako za jedan logaritamski ciklus vremena, gdje je $t_2=10t_1$, prirast sniženja iznosi Δs , prema izrazu (3.7), transmisivnost vodonosnika možemo odrediti kao:

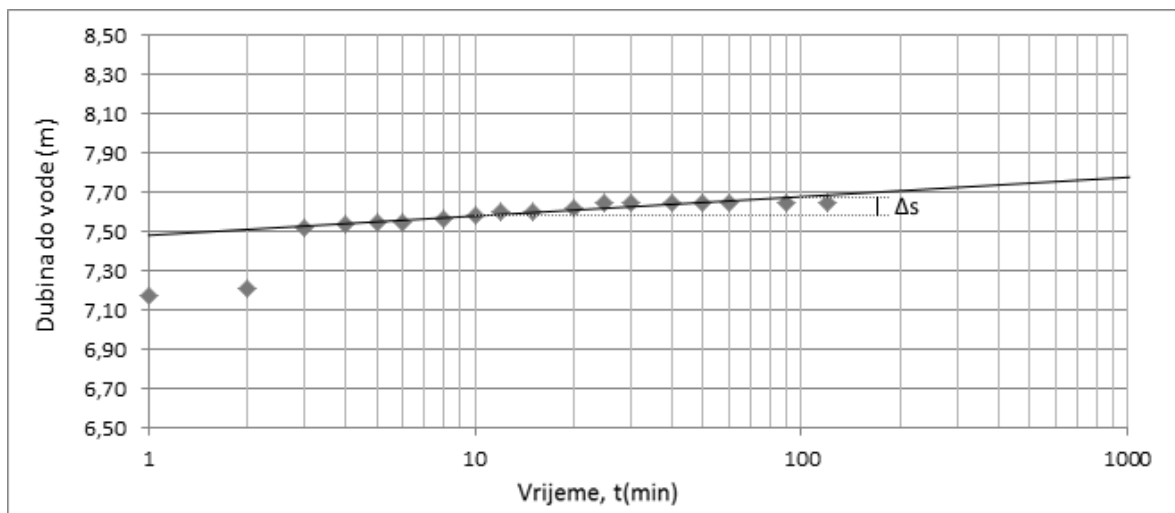
$$T = \frac{0,183Q}{\Delta s} \quad (5.1)$$

Hidraulička vodljivost je izražena izrazom:

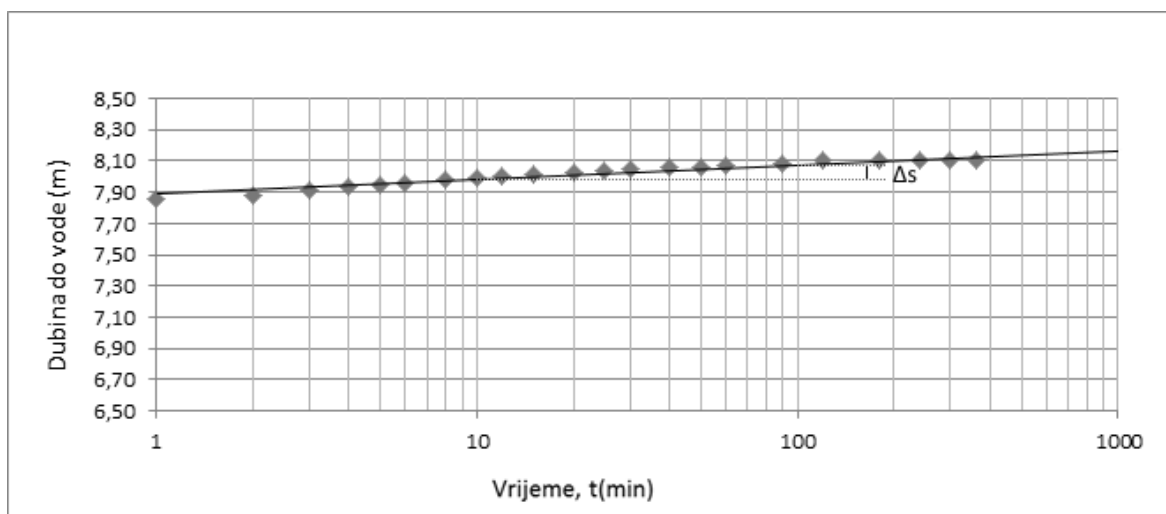
$$K = T/b \quad (5.2)$$

gdje je Q izdašnost zdenca u vremenu kroz koje se koriste podaci za određivanje sniženja, a b je debljina vodonosnika.

Osrednjena debljina vodonosnika korištena u izračunu iznosi $b = 21$ m. Dijagrami vrijeme – sniženje pri pokusnom crpljenju prikazani su na slikama 5-4. i 5-5.



Slika 5-4. Polulogaritamski dijagram vrijeme - sniženje za prvu crpnu količinu pri pokusnom crpljenju zdenca ZK-1 u koracima



Slika 5-5. Polulogaritamski dijagram vrijeme - sniženje za crpljenje sa stalnom crpnom količinom pri pokusnom crpljenju zdenca ZK-1

Konačni lokalni parametri vodonosnika prikazani su u Tablici 5-1.

Tablica 5-1. Vrijednosti lokalnih parametara vodonosnika

Testiranje	Transmisivnost, T (m ² /dan)	Hidraulička vodljivost, K (m/dan)	Koeficijent uskladištenja
I količina – korak $Q = 0,0250 \text{ m}^3/\text{s}$	4130	197	
Dugotrajno crpljenje $Q = 0,0357 \text{ m}^3/\text{s}$	5961	284	
Srednja vrijednost	5046	241	$1,3 \times 10^{-5}$

5.1.1.2. Određivanje parametara zdenca ZK-1

Parametri zdenca definirani su parametrima linearnih i nelinearnih gubitaka. Prema Jacobovom izrazu (3.9) iz poglavlja 3 o pokusnom crpljenju s različitim crpnim količinama, ukupno sniženje u zdencu izraženo je linearnim gubicima u vodonosniku i nelinearnim gubicima na rubu konstrukcije zdenca:

$$s = BQ + CQ^2 \quad (3.9; 5.3)$$

Za interpretaciju gubitaka zdenca korištena je relacija, koja se može postaviti za slučaj crpljenja u koracima, pri kojoj je za svaki korak „i“ crpljenja:

$$s_i = BQ_i + CQ_i^2 \quad (5.4)$$

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

$$\frac{\delta s_i}{\delta Q_i} = B + C \frac{Q_i^2 - Q_{i-1}^2}{\delta Q_i} \quad (5.5)$$

gdje su:

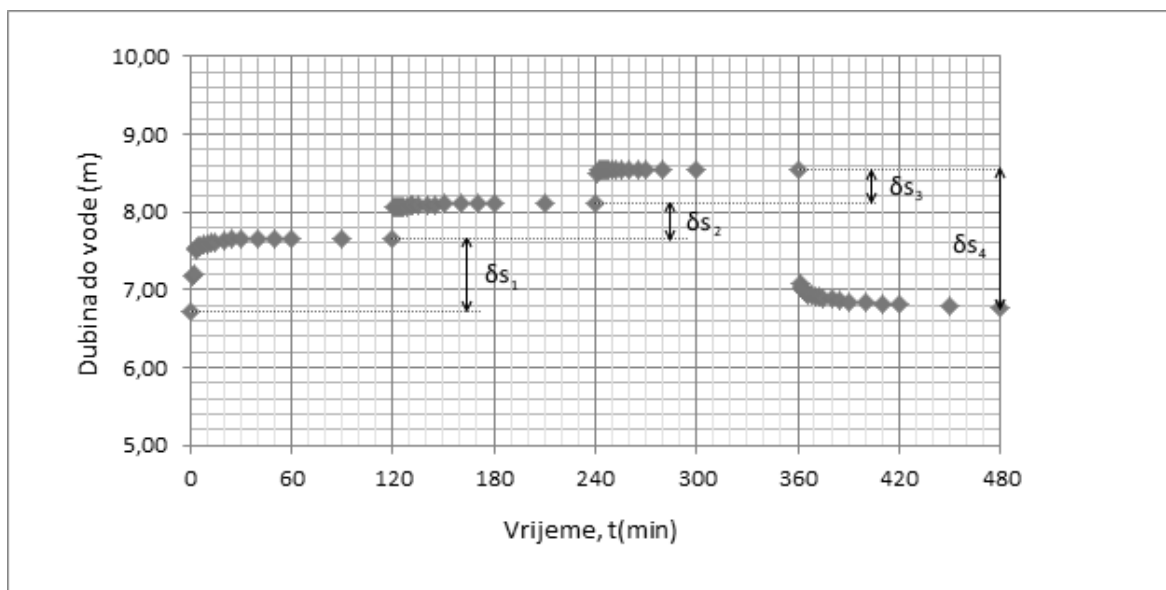
$\delta s_i = s_i - s_{i-1}$ razlika sniženja između dva susjedna koraka u crpljenju

$\delta Q_i = Q_i - Q_{i-1}$ 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 crpljenju

Zadnja jednadžba, za ekvivalentnu izdašnost, u stvari predstavlja linearizirani oblik osnovne jednadžbe preuređene u oblik koji ne predstavlja funkcionalnu svezu 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 sa snažnijim utjecajem nelinearnih gubitaka. Polazni podaci o kolebanju razine vode u crpljenom zdencu, koje nastaje pri svakom koraku pokusnoga crpljenja, navedeni su u listi opažanja (Prilog 4) i prikazani na Slici 5-6. Prirast sniženja razine vode u crpljenom zdencu, a koje nastaje kroz 60 minuta nakon svake promjene crpne količine, polazeći od nulte količine, uneseni su u Tablicu 5-2., te su na temelju njihovih vrijednosti izračunati iznosi ekvivalentnog specifičnog sniženja i ekvivalentne izdašnosti.

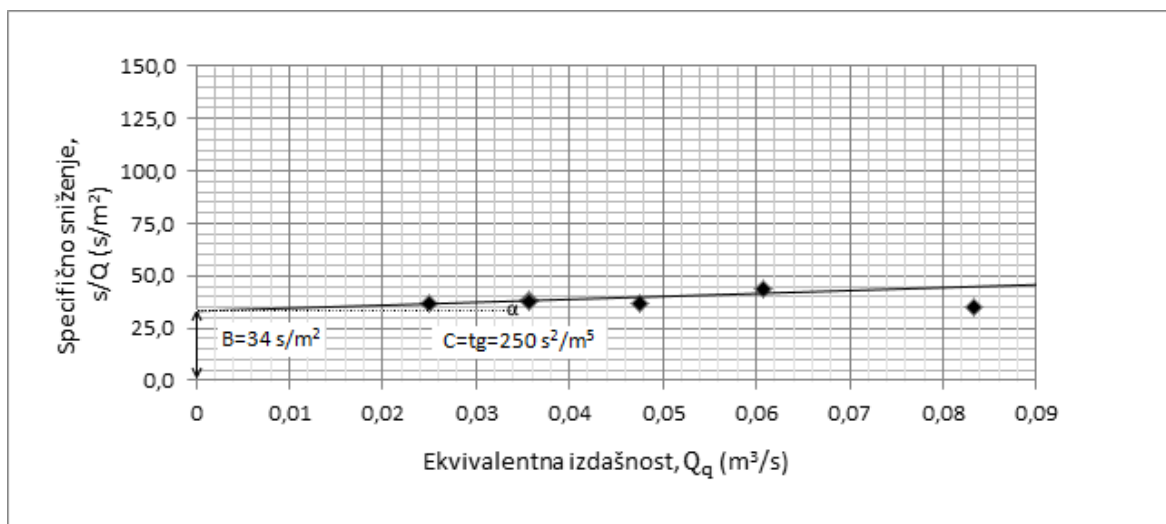


Slika 5-6. Dijagram kolebanja razine vode i prirasti sniženja (δs_i) pri pokusnom crpljenju u koracima

Vrijednost pojedinih ekvivalentnih specifičnih sniženja i pripadajuće ekvivalentne izdašnosti zdenca (Tablica 5-2.) uneseni u dijagram na Slici 5-7. čine pravac koji presijeca ordinatu kod vrijednosti $B=34 \text{ s/m}^2$ za $t=60 \text{ min}$, dok nagib pravca predstavlja vrijednost nelinearnih gubitaka, $C=250 \text{ s}^2/\text{m}^5$.

Tablica 5-2. Podaci pokusnog crpljenja u koracima.

Korak „i“	Crpna količina $Q \text{ (m}^3/\text{s)}$	Porast crpne količine $\delta Q \text{ (m}^3/\text{s)}$	Prirast sniženja $\delta s \text{ (m)}$	Ekvivalentna izdašnost $\frac{Q_i^2 - Q_{i-1}^2}{\delta Q_i}$ $\text{(m}^3/\text{s)}$	Ekvivalentno specifično sniženje $\delta s / \delta Q \text{ (s/m}^2\text{)}$
0	0		0		
I	0,0250	0,0250	0,93	0,0250	37,2000
II	0,0357	0,0107	0,47	0,0607	43,9252
III	0,0476	0,0119	0,42	0,0833	35,2941
IV	0	-0,0476	-1,77	0,0476	37,1849
V	0,0357	0,0357	1,38	0,0357	38,6555
VI	0	-0,0357	-1,34	0,0357	37,5350



Slika 5-7. Grafička analiza ekvivalentnog specifičnog sniženja i ekvivalentne izdašnosti zdenca ZK-1 prema podacima iz Tablice 5-2.

Vrijednost linearnih gubitaka u zdenцу ZK-1 nakon $t_i=60$ minuta crpljenja iznosi dakle $B=34 \text{ s/m}^2$. Ovi gubici predstavljaju razvoj depresije u vodonosniku do efektivnog polumjera načinjenog zdenca i preko veličine efektivnog polumjera zdenca izražavaju kakvoću njegove izvedbe. Efektivni polumjer zdenca je prema Jacobu definiran kao radijalna udaljenost od osi zdenca u kojem je teoretsko sniženje jednako stvarnom sniženju u zoni filtra. On pokazuje efektivnost izrade zdenca, te se smatra da je zdenac dobro načinjen i osvojen ako je efektivni polumjer reda veličine polumjera bušotine zdenca. Izraz (3.5) iz potpoglavlja 3.1.2. se također može pisati:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \ln \left(\frac{2,25Tt}{r^2 S} \right) \quad (5.6)$$

Metoda određivanja efektivnog polumjera zdenca zasniva se na tome da linearni gubici, B , predstavljaju specifično sniženje na mjestu zamišljenog efektivnog polumjera savršeno načinjena zdenca R_z nakon $t_i = 60$ minuta crpljenja, te se preko izraza (5.6) dobije sljedeći odnos:

$$R_z = \sqrt{\frac{2,25Tt_i}{S \times e^{(4\pi BT)}}} \quad (5.7)$$

gdje je T transmisivnost, t_i vrijeme za koje vrijedi parametar B , B linearni gubici zdenca za $t_i = 60 \text{ min}$, a S koeficijent uskladištenja vodonosnika. Oni redom iznose:

$$T = 5,84 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$t_i = 60 \text{ minuta}$$

$$B = 34 \text{ s/m}^2$$

$$S = 1,3 \times 10^{-5}$$

Pri ovakvom promatranju i za ranije određene vrijednosti parametara, efektivni polumjer zdenca iznosi $R_z=0,023 \text{ m}$.

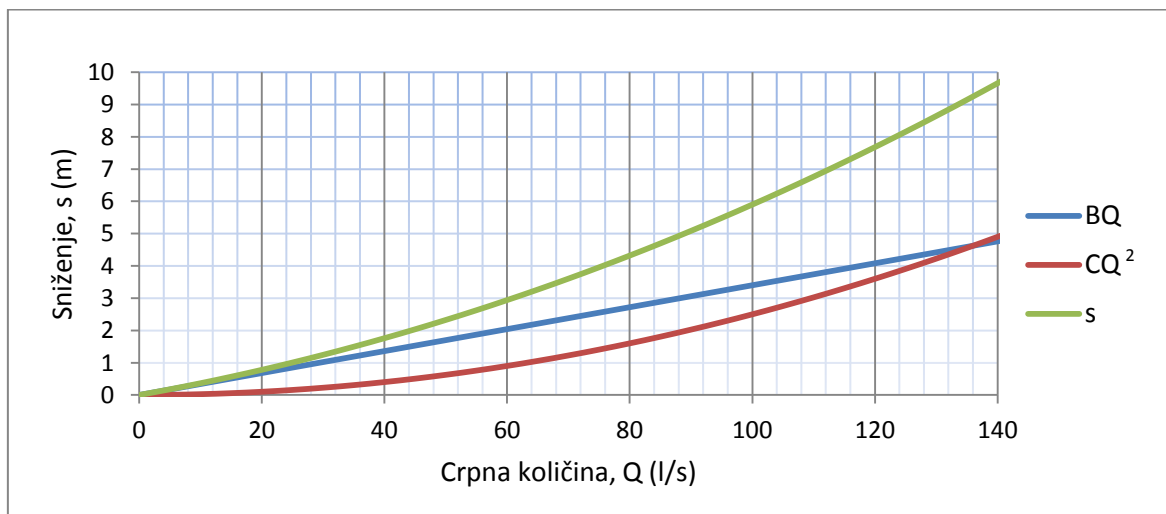
Konačne vrijednosti svih parametara zdenca prikazane su na Tablici 5-3.

Tablica 5-3. Parametri zdenca ZK-1

Lokalna transmisivnost vodonosnika	Hidraulička vodljivost	Efektivni polumjer zdenca	Parametar linearnih gubitaka nakon 120 min crpljenja	Parametar nelinearnih gubitaka
$T \text{ (m}^2/\text{dan)}$	$K \text{ (m/dan)}$	$R_z \text{ (m)}$	$B \text{ (s/m}^2)$	$C \text{ (s}^2/\text{m}^5)$
5046	241	0,023	34	250

5.1.1.3. Izdašnost zdenca i položaj crpke

Izdašnost zdenca u funkciji sniženja dana je izrazom (5.3), a za 60 minutno crpljenje mogu se koristiti vrijednosti parametara $B=34 \text{ s/m}^2$ i $C = 250 \text{ s}^2/\text{m}^5$ (koji je neovisan o vremenu). Takvo ukupno sniženje u funkciji crpne količine Q i pojedini gubici (BQ – linearni i CQ^2 – nelinearni) prikazani su na Slici 5-8.



Slika 5-7. Dijagram $s=f(Q)$ i pojedine vrste gubitaka za dvosatno crpljenje zdenca ZK-1

Maksimalna dopuštena izdašnost zdenca može se odrediti na temelju gore određenih parametara zdenca, a prema nekim literaturnim navodima za kratkoročno sniženje u samostalnom zdencu od 7 m može se odrediti odnosom:

$$Q_{max} \cong \frac{\sqrt{B^2 + 28C} - B}{2C} \quad (5.8)$$

te iznosi:

$$Q_{max} = 0,113 \text{ m}^3/\text{s} \text{ ili } 113 \text{ l/s}$$

Dakle maksimalna izdašnost zdenca daleko premašuje potrebe za vodom na ovoj lokaciji. Tako se iz zdenca može pouzdano zadovoljiti potreba za vodom do 0,030 m³/s.

Mirna razina vode u vrijeme izvedbe zdenca bila je na oko 6,7 m ispod razine tla. Provedenim testiranjima postignuta je specifična izdašnost zdenca oko q=23 l/s/m. U dugoročnom radu zdenca može se očekivati sezonsko kolebanje podzemne vode pa bi radna razina vode mogla opasti do oko 10 – 11 m. Prema ranije navedenom i dosadašnjim iskustvima o radu zdenaca na ovom području, za pouzdan rad zdenca, preporučeno je postaviti usis crpke na dubinu 25 m ispod razine tla.

6. ZAKLJUČAK

Tema ovoga rada je zdenac koji je početkom 2015. godine izvela tvrtka FIL.B.IS projekt d.o.o iz Zagreba, te njegova izvedba i interpretacija pokusnog crpljenja. U ovome području vodonosnik je podijeljen na 2 vodonosna sloja. Zaključeno je da gornji sloj ne odgovara potrebama i neće zadovoljiti standarde kvalitete vode, te je odlučeno izvesti zahvat na dubljem sloju.

S ciljem provjere parametara zdenca i vodonosnika, kako bi se otkrilo hoće li zdenac zadovoljiti potrebe i osigurati željenu količinu kvalitetne vode, izvedeno je pokusno crpljenje. Ono se sastojalo od crpljenja u koracima trajanja 120 minuta, s različitim crpnim količinama, nakon kojega je uslijedilo razdoblje povrata razine vode, te nastavak crpljenja stalnom količinom u trajanju od 6 sati. Na temelju podataka pokusnog crpljenja grafičkom analizom, te proračunom koji je uslijedio, zaključeno je da će zdenac zadovoljiti potrebu za vodom od maksimalno $0,030 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tijekom bušenja u zoni koja je pod utjecajem sitnih čestica neposredno uz zdenačko zacjevljenje može doći do oštećenja vodonosnika i zbijanja čestica. Osvajanje zdenca se provodi s ciljem izvlačenja zaostalih sitnih čestica nakon bušenja. Ako dođe do zadržavanja čestica u pribušotinskoj zoni one mogu biti razlog pada razine vode zbog smanjene propusnost blizu bušotine te uzrok gubitaka u šljunčanom zasipu i na situ. U takvom slučaju efektivni radijus zdenca može biti manji od očekivanog. Prema izračunu gdje je efektivni radijus zdenca $R_z=0,023 \text{ m}$, trebalo bi provjeriti razloge tako malog radijusa, te možda provesti dodatno osvajanje zdenca.

Cilj ovoga rada bilo je upoznavanje s projektom izvedbe zdenca, odabirom metode izračuna, te interpretacijom pokusnog crpljenja. Shvaćanje teorijskih osnova potrebnih za izvedbu zdenca bilo je nužno prije prelaska na praktični dio rada, odnosno izračun parametara te izradu njihovih pripadajućih grafova. Grafovi su izrađeni u programu „Excel“, a profil bušotine zdenca u programu „LogPlot“.

7. LITERATURA

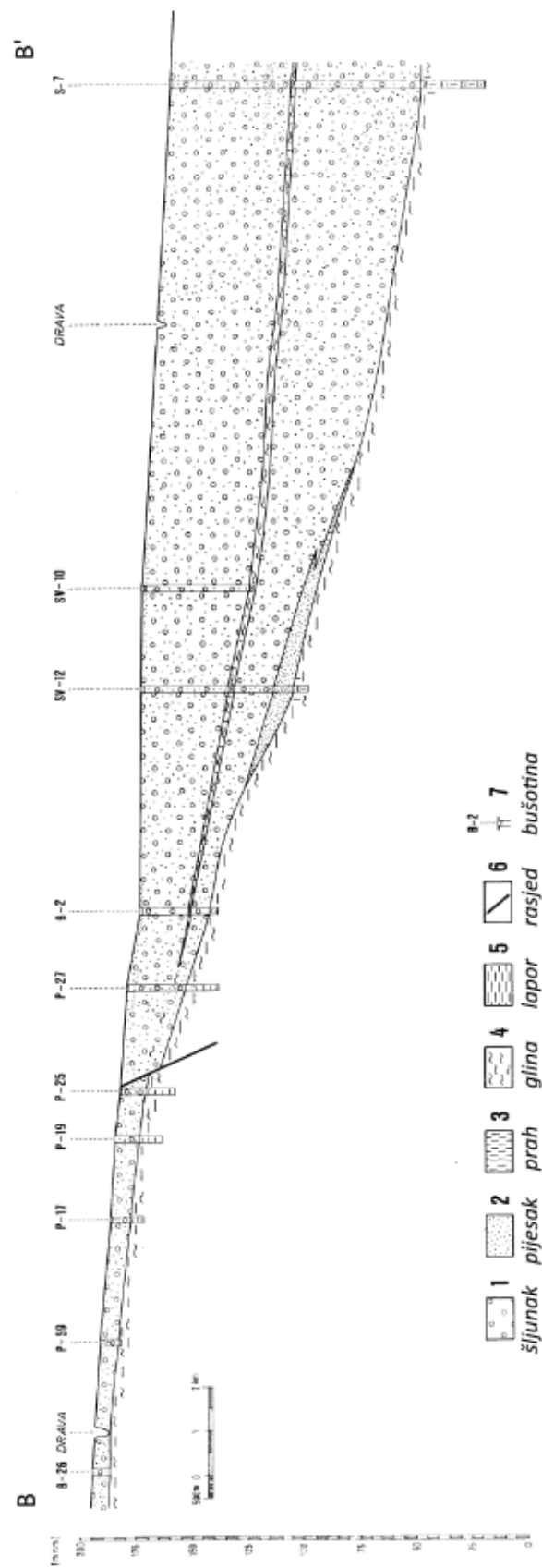
- Darcy, H. (1856): Les fontaines publiques de la Ville de Dijon. Dalmont, Paris
- Delleur, J. (1999): The Handbook of Groundwater Engineering. CRC Press LLC
- Hlevnjak, B., Duić, Ž. (2015): Podravka d.d. – Kalnik, Varaždin; Izvedba zdenca ZK-1. Izvješće, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
- Jacob, C.E. (1946): Radial flow in a leaky artesian aquifer. Transactions American Geophysical Union 27, str. 198-208
- Missteat, B., Banks D., Clark, L. (2006): Water Wells and Boreholes. John Wiley & Sons, LTD, Chichester
- Šimunić, An., Pikija, M., Hečimović, I. (1982): Osnovna geološka karta SFRJ. List Varaždin. Geol. Zavod, Zagreb
- Šimunić, An., Pikija, M., Hečimović, I., Šimunić Al. (1982a): Osnovna geološka karta SFRJ. Tumač za list Varaždin. Geol. Zavod, Zagreb, str. 75
- Šestanović, S. (1969): Geologija kvartara šireg područja Drave u okolici Varaždina s kratkim osvrtom na hidrokemijske karakteristike voda. Diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, str. 44
- Theis, C.V. (1935): The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage. Transactions of the American Geophysical Union 16, str. 519-524
- Urumović, K. (2003): Fizikalne osnove dinamike podzemnih voda. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
- Urumović, K., Hlevnjak, B., Prelogović, E., Mayer, D. (1990): Hidrogeološki uvjeti varaždinskog vodonosnika. Geološki vjesnik 43, str. 149-157
- Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju. Narodne novine br. 141 (2013).

www izvori:

<http://geoportal.dgu.hr/> (8.7.2015, 13:39h)

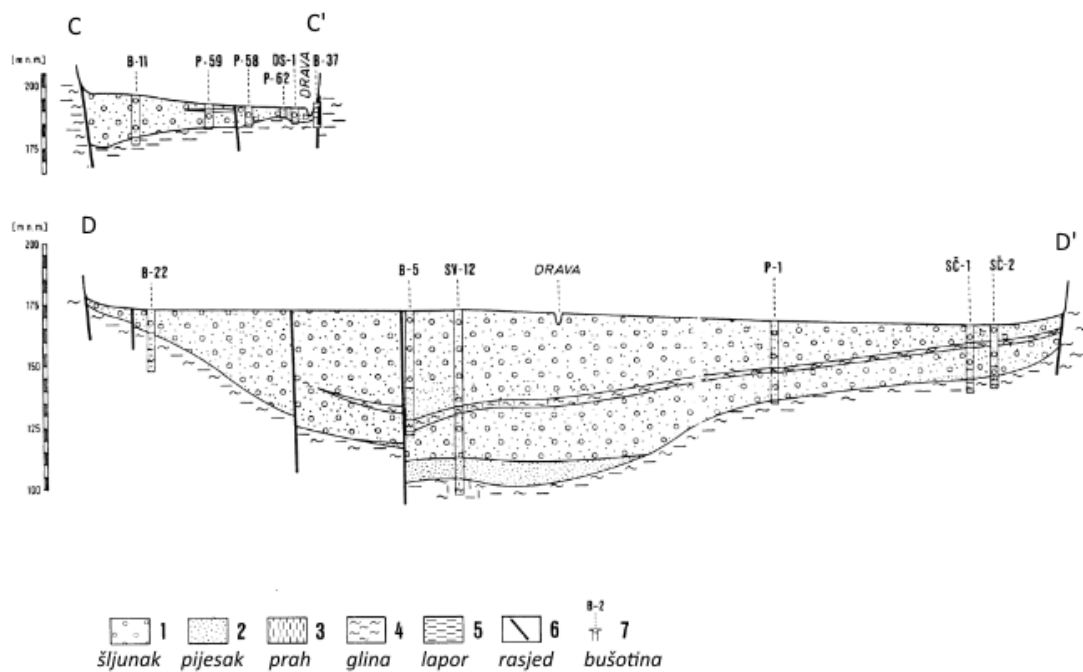
<http://valleyallianceri.org/> (8.7.2015, 13:39h)

Prilog 1
Uzdužni litološki profil B-B'

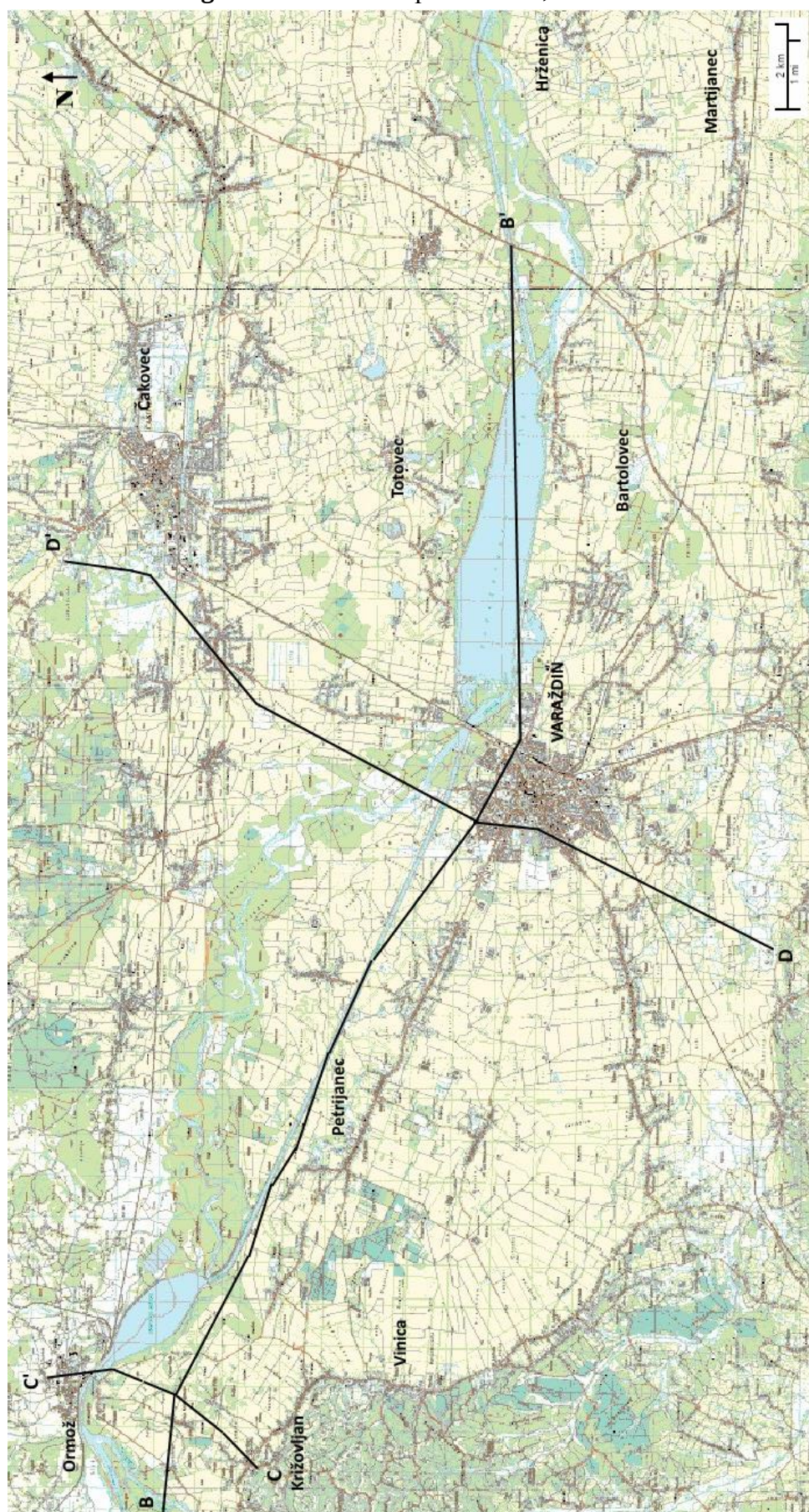


Prilog 2

Poprečni litološki profili C-C' i D-D'



Prilog 3 Trase litoloških profila B-B', C-C' i D-D'



Prilog 4

Pokusno crpljenje zdenca ZK-1 u tvornici Kalnik, Varaždin;
Crpljenje u koracima (1/3)

datum	minute	min.sum	Q (l/s)	ZK-1
13.03.2015.	0	0	0	6,72
	1	1	25	7,17
	2	2	25	7,21
	3	3	25	7,52
	4	4	25	7,54
	5	5	25	7,55
	6	6	25	7,55
	8	8	25	7,57
	10	10	25	7,58
	12	12	25	7,60
	15	15	25	7,60
	20	20	25	7,62
	25	25	25	7,65
	30	30	25	7,65
	40	40	25	7,65
	50	50	25	7,65
	60	60	25	7,65
	90	90	25	7,65
	120	120	25	7,65
	1	121	35,7	8,05
	2	122	35,7	8,06
	3	123	35,7	8,06
	4	124	35,7	8,06
	5	125	35,7	8,06
	6	126	35,7	8,06
	8	128	35,7	8,07
	10	130	35,7	8,09
	12	132	35,7	8,09
	15	135	35,7	8,09
	20	140	35,7	8,09
	25	145	35,7	8,09
	30	150	35,7	8,10
	40	160	35,7	8,10
	50	170	35,7	8,11
	60	180	35,7	8,12
	90	210	35,7	8,12
	120	240	35,7	8,12
	1	241	47,6	8,50
	2	242	47,6	8,54

Crpljenje u koracima (2/3)

	3	243	47,6	8,54
	4	244	47,6	8,54
	5	245	47,6	8,54
	6	246	47,6	8,54
	8	248	47,6	8,54
	10	250	47,6	8,54
	12	252	47,6	8,54
	15	255	47,6	8,54
	20	260	47,6	8,54
	25	265	47,6	8,54
	30	270	47,6	8,54
	40	280	47,6	8,54
	60	300	47,6	8,54
	120	360	47,6	8,54
	1	361	0	7,08
	2	362	0	7,04
	3	363	0	7,00
	4	364	0	6,98
	5	365	0	6,96
	6	366	0	6,94
	8	368	0	6,93
	10	370	0	6,92
	12	372	0	6,90
	15	375	0	6,89
	20	380	0	6,89
	25	385	0	6,86
	30	390	0	6,84
	40	400	0	6,83
	50	410	0	6,82
	60	420	0	6,81
	90	450	0	6,79
	120	480	0	6,77

Crpljenje sa stalnom količinom (3/3)

datum	minute	min.sum	Q (l/s)	ZK-1
13.03.2015.	0	0	0	6,73
	1	1	35,7	7,86
	2	2	35,7	7,88
	3	3	35,7	7,91
	4	4	35,7	7,94
	5	5	35,7	7,95
	6	6	35,7	7,96
	8	8	35,7	7,98
	10	10	35,7	7,99
	12	12	35,7	8,00
	15	15	35,7	8,01
	20	20	35,7	8,03
	25	25	35,7	8,04
	30	30	35,7	8,05
	40	40	35,7	8,06
	50	50	35,7	8,06
	60	60	35,7	8,07
	90	90	35,7	8,08
	120	120	35,7	8,11
	180	180	35,7	8,11
	240	240	35,7	8,11
	300	300	35,7	8,11
	360	360	35,7	8,11
	1	361	0	7,06
	2	362	0	7,01
	3	363	0	6,98
	4	364	0	6,96
	5	365	0	6,95
	6	366	0	6,94
	8	368	0	6,93
	10	370	0	6,91
	12	372	0	6,90
	15	375	0	6,89
	20	380	0	6,88
	25	385	0	6,86
	30	390	0	6,85
	40	400	0	6,84
	50	410	0	6,83
	60	420	0	6,81
	90	450	0	6,79
	120	480	0	6,77