Hidrogeološka istraživanja potencijalnog vodocrpilišta Treštanovci kraj Požege

Randić, Romanna Sofia

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:169:788250

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

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







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij geološkog inženjerstva

HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA POTENCIJALNOG VODOCRPILIŠTA TREŠTANOVCI KRAJ POŽEGE

Diplomski rad

Romanna Sofia Randić
GI 320

Zagreb, 2018.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA POTENCIJALNOG VODOCRPILIŠTA TREŠTANOVCI KRAJ POŽEGE

ROMANNA SOFIA RANDIĆ

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

Sažetak

Vodoopskrbni sustav Požege u pojedinim dijelovima godine oskudijeva kvalitetnom pitkom vodom. S ciljem pronalaženja dodatnih količina vode za vodoopskrbu, na području Treštanovaca je od 2014. do 2017. godine izvedeno ukupno 5 zdenaca i 9 istraživačko-piezometarskih bušotina. Kako su se zbog kratkog trajanja pokusnog crpljenja preliminarni podaci pokusnog crpljenja provedenog tijekom izvedbe zdenaca smatrali neadekvatnima, bilo je potrebno izvršiti dugotrajna pokusna crpljenja koja bi dala vjernije podatke o vodonosniku i karakteristikama zdenaca. U ovom radu su prikazani rezultati i interpretacija rezultata dugotrajnog pokusnog crpljenja zdenaca ZAl-1/15 i ZAl-2/15.U prvom dijelu rada iznesene su teorijske osnove istraživanog područja. Slijede podaci o zdencima i pokusnom crpljenju, a nakon toga su napravljeni izračuni lokalnih parametara vodonosnika i izračun parametara zdenaca.

Ključne riječi: vodoopskrba, Požega, zdenci, dugotrajno pokusno crpljenje

Diplomski rad sadrži: 28 stranica, 7 tablica, 9 slika, 6 priloga i 7 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

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

Voditelj: Dr.sc. Željko Duić, izvanredni profesor RGNF

Ocjenjivači: Dr.sc. Željko Duić, izvanredni profesor RGNF
Dr.sc. Jelena Parlov, izvanredna profesorica RGNF
Dr.sc. Dario Perković, docent RGNF

Datum obrane: 28. rujan 2018.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Master's Thesis

HYDROGEOLOGICAL STUDY AT FUTURE TREŠTANOVCI WELL FIELD NEAR POŽEGA

ROMANNA SOFIA RANDIĆ

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 100002 Zagreb

Abstract

The water supply system of the city of Požega lacks quality drinking water during certain parts of the year. In order to ensure additional water supply, five wells and nine research piezometric wells were maid in the period of three years (2014-2017) in the area of Treštanovci. Since the short duration of the experimental pumping during the well execution provides unsatisfactory data, it was necessary to commit to long lasting experimental pumping. That kind of experimental pumping provides us with much more accurate data on the aquifer and the well characteristics. This thesis presents the results and the interpretation of the results that were provided by experimental pumping from the ZAI-1/15 and ZAI-2/15 wells. The first part of the thesis presents the theoretical basis of the research while the second part provides data about wells and experimental pumping, calculations of the aquifer's local parameters and well's parameters.

Keywords: water supply, Požega, wells, long lasting experimental pumping

Thesis contains: 28 pages, 7 tables, 9 figures, 6 appendixes and 7 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited at: The 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 područja 2
3. Opis istraživanog područja 5
3.1. Geografski položaj i klimatološke značajke istraživanog područja 5
3.2. Geološka građa istraživanog područja 7
3.3. Hidrogeološke značajke istraživanog područja 10
4. Zdenci crpilišta Treštanovci 12
5. Pokusno crpljenje 14
5.1. Pokusno crpljenje zdenca ZAl-1/15 14
5.1.1. Lokalni parametri vodonosnika dobiveni na temelju podataka pokusnog crpljenja zdenca ZAl-1/15 15
5.1.2 Parametri zdenca ZAl-1/15 17
5.2. Pokusno crpljenje zdenca ZAl-2/15 21
5.2.1. Lokalni parametri vodonosnika dobiveni na temelju podataka pokusnog crpljenja zdenca ZAl-2/15 21
5.2.2 Parametri zdenca ZAl-2/15 22
6. Zaključak 26
7. Literatura 28

Popis tablica:

Tablica 2. 1. Izračunate vrijednosti istražno-piezometarskih bušotina i vodonosnika 3

Tablica 5. 1. Vrijednosti lokalnih parametara vodonosnika na temelju pokusnog crpljenja zdenca ZAl-1/15 17

Tablica 5. 2. Podaci pokusnog crpljenja u koracima zdenca ZAl-1/15 19

Tablica 5. 3. Konačne vrijednosti svih parametara zdenca ZAl-1/15. 21

Tablica 5. 4. Vrijednosti lokalnih parametara vodonosnika na temelju pokusnog crpljenja zdenca ZAl-2/15 22

Tablica 5. 5. Podaci pokusnog crpljenja u koracima zdenca ZAl-2/15. 24

Tablica 5. 6. Konačne vrijednosti svih parametara zdenca ZAl-2/15. 25

Popis slika:

Slika 3.1: Topografska karta mjerila 1:25000 (Izvor: Državna geodetska uprava) s ucrtanom istraživanom lokacijom na području Treštanovaca. 5

Slika 3.2: Grafički prikaz ukupnih godišnjih količina oborina izmjerenih na klimatološkoj postaji Požega za razdoblje od 2012. do 2017.godine..... 7

Slika 3.3: Isječak osnovne geološke karte (OGK) list Orahovica (D. Jamičić i M.Brkić, 1987.) s prikazom položaja istraživane lokacije potencijalnog vodocrpilišta Treštanovci. Originalno mjerilo karte je M 1:100 000. 9

Slika 5.1: Polulogaritamski dijagram vrijeme – sniženje za stalnu crpnu količinu (Q=14,29 l/s) pri pokusnom crpljenju zdenca ZAl-1/15 16

Slika 5.2: Dijagram kolebanja razine vode i prirast sniženja (δSi) u zdencu ZAl-1/15 pri pokusnom crpljenju u koracima 19

Slika 5.3: Grafička analiza ekvivalentnog specifičnog sniženja i ekvivalentne izdašnosti zdenca ZAl-1/15 prema podacima iz tablice 5.2. 20

Slika 5.4: Polulogaritamski dijagram vrijeme – sniženje za stalnu crpnu količinu (Q=10,5 l/s) pri pokusnom crpljenju zdenca ZAl-2/15..... 22

Slika 5.5: Dijagram kolebanja razine vode i prirast sniženja (δSi) u zdencu ZAl-2/15 pri pokusnom crpljenju u koracima 23

Slika 5.6: Grafička analiza ekvivalentnog specifičnog sniženja i ekvivalentne izdašnosti zdenca ZAl-2/15 prema podacima iz tablice 5.5. 24

Popis priloga:

Prilog 1 – Srednje godišnje količine oborina

Prilog 2 – Prikaz pružanja hidrogeoloških profila

Prilog 3 – Hidrogeološki profil 1-1`

Prilog 4 – Hidrogeološki profil 2-2`

Prilog 5 – Hidrogeološki profil 3-3`

Prilog 6 – Hidrogeološki profil 4-4`

Popis korištenih oznaka i odgovarajućih SI jedinica:

Veličina i svojstvo	Oznaka	Osnovna mjerna jedinica	Dodatne mjerne jedinice
crpna količina	Q	m^3/s	l/s
porast crpne količine	δQ	m^3/s	l/s
transmisivnost	T	m^2/s	m^2/dan
hidraulička vodljivost	K	m/s	m/dan
koeficijent uskladištenja	S	nema dimenzije	
sniženje	s	m	
prirast sniženja	δs	m	
debljina	b	m	
vrijeme	t	s	dan
udaljenost, radijus	r	m	
ekvivalentno specifično sniženje	$\delta s_i/\delta Q_i$	s/m^2	
ekvivalentna izdašnost	$\frac{Q_i^2 - Q_{i-1}^2}{\delta Q_i}$	m^3/s	
parametar linearnih gubitaka	B	s/m^2	
parametar nelinearnih gubitaka	C	s^2/m^5	
efektivni polumjer zdenca	R_z	m	

1. Uvod

Vodoopskrbni sustav Požege u pojedinim dijelovima godine oskudijeva kvalitetnom pitkom vodom. Problem nedostatka kvalitetne pitke vode posljedica je pojave mangana u podzemnoj vodi i zamućenja vode u kišnim razdobljima. Tijekom 2013. i 2014. godine provedena su sustavna istraživanja potencijalnih područja za izgradnju vodocrpilišta s ciljem pronalaženja dodatnih količina vode za vodoopskrbu. Rezultati su pokazali da je područje zapadno od Treštanovaca perspektivno za izgradnju budućeg vodocrpilišta, stoga je tijekom 2015. i 2016. godine na ovom području izvedeno pet istraživačko-eksploatacijskih zdenaca.

U 2017. godini provedena su dugotrajna pokusna crpljenja na zdencima ZAl-1/15 i ZAl-2/15 uz opažanje razine podzemne vode na svim objektima koji se nalaze na istraživanoj lokaciji kako bi se odredili regionalni parametri vodonosnika lokacije Treštanovci, definirali smjerovi kretanja podzemne vode, odredila izdašnost pojedinih zdenaca te time i maksimalna izdašnost lokacije. Određivanje generalnog kretanja podzemne vode pokazalo bi kako je potrebno postaviti režim rada pojedinih zdenaca budućeg vodocrpilišta te ima li potrebe isključivanja pojedinih zdenaca iz budućeg zahvaćanja podzemne vode.

Cilj ovog rada bio je obrada dobivenih rezultata dugotrajnim pokusnim crpljenjima zdenaca ZAl-1/15 i ZAl-2/15 te na temelju njih definiranje lokalnih parametara vodonosnika i parametara zdenaca. Također, u okviru analize hidrogeoloških značajki istraživanog područja, na temelju litoloških profila istražno-piezometarskih bušotina, bilo je potrebno izraditi korelacijske profile s naglaskom na analizu pojave i razvitka vodonosnika.

Tijekom izvedbe zdenaca provedena su testiranja crpljenja u koracima i sa stalnom crpnom količinom. Iz dobivenih podataka izračunate su vrlo visoke vrijednosti maksimalnih crpnih količina koje su se kretale od 10-29 l/s. Izvedeno pokusno crpljenje tijekom izvedbe zdenaca zbog kratkog trajanja ne može nam dati dovoljno pouzdane rezultate. Dugotrajno pokusno crpljenje u sušnom razdoblju bi nam stoga trebalo dati rezultate koji, u usporedbi s postojećim rezultatima pokusnih crpljenja tijekom izvedbe zdenaca te s rezultatima pokusnih crpljenja izvedenih na istražno-eksploatacijskim bušotinama, daju realniju, odnosno vjerodostojniju sliku vodonosnika.

Osnovne informacije preuzete su iz izvješća Vodoopskrbni sustav Požege; Hidrogeološka istraživanja crpilišta Treštanovci; Dugotrajno pokusno crpljenje (Hlevnjak, 2017).

2. Prethodna istraživanja područja

Na širem području Požege vodoopskrbni sustav se temelji na zahvatima prirodnih izvora koji se nalaze na južnom dijelu vodonosnog područja Papuka, te na temelju zahvaćenih podzemnih voda iz aluvija rijeke Orljave. Kako se tijekom sušnih razdoblja izdašnosti izvora na području Papuka smanjuju, javljaju se problemi u vodoopskrbi Požeškog područja. Zbog toga su na području Alilovaca, Ramanovaca i Turnića provedena geofizička istraživanja 2013. godine s ciljem pronalaženja dodatnih količina vode za vodoopskrbu. Osim geofizičkih istraživanja na spomenutim područjima su 2014. godine provedena i istražna bušenja.

Rezultati geofizičkih istraživanja i istražnog bušenja pokazali su da je područje zapadno od Treštanovaca najperspektivnije za izgradnju budućeg vodocrpilišta te je to područje postalo temeljnim za daljnja istraživanja.

Istraživanja na području Treštanovaca započela su 2014. godine izvedbom tri istraživačko-piezometarske bušotine (Al-1/14, Al-2/14 i Al-3/14) na širem području istraživanja. Analizom podataka dobivenih istražnim bušenjem odabrana je uža lokacija daljnjih istraživanja razvitka vodocrpilišta na području istraživačko-piezometarske bušotine Al-3/14 (Hlevnjak, 2017).

Nastavak istraživanja uslijedio je 2015. godine izvedbom dvije istraživačko-piezometarske bušotine (Al-4/15 i Al-5/15), te prva dva istražno-eksploatacijska zdenca (ZAl-1/15 i ZAl-2/15). Zdenac ZAl-1/15 nalazi se na lokaciji bušotine Al-3/14, dok se zdenac ZAl-2/15 nalazi uz bušotinu Al-4/15 (Hlevnjak, 2017).

Osnovni cilj vodoistražnih radova provedenim u navedenim fazama istraživanja bio je potvrditi pozitivne rezultate geofizičkih istraživanja i istražnog bušenja. Rezultati su potvrđeni izvedbom istražno eksploatacijskih zdenaca, te su se na temelju njihovog ispitivanja u sušnom razdoblju utvrdile mogućnosti zahvaćanja dodatnih količina podzemne vode zadovoljavajuće kakvoće za sustav javne vodoopskrbe na širem području grada Požege (Toševski i dr., 2016).

2016. godine u sklopu nastavka hidrogeoloških istraživanja na području lokacije Treštanovci izvedeno je bušenje četiri istražno-piezometarske bušotine pod oznakama Al-6/16, Al-7/16, Al-8/16 i Al-9/16. Cilj izvedbe bušotina bio je definirati izdašnost i kakvoću vode te definiranje rubnih uvjeta prvog vodonosnika na središnjem području Požeške

kotline. Sukladno tome izvedeno je pokusno crpljenje i kemijska analiza vode. Na temelju dobivenih podataka te interpretacijom hidrogeoloških parametara istražno-piezometarskih bušotina izračunate su hidrogeološke karakteristike istražno-piezometarskih bušotina i vodonosnika. Izračunate vrijednosti maksimalnog i optimalnog crpnog kapaciteta, transmisivnosti i hidrauličke vodljivosti prikazani su u tablici 2.1. (Toševski i dr., 2016).

Tablica 2.1. Izračunate vrijednosti istražno-piezometarskih bušotina i vodonosnika

Naziv piezometra	Al-6/16	Al-7/16	Al-8/16	Al-9/16
Maksimalni crpni kapacitet	7,89 l/s	9,88 l/s	0,87 l/s	1,02 l/s
Optimalni crpni kapacitet	5,92 l/s	7,41 l/s	0,66 l/s	0,77 l/s
Transmisivnost	T=218,48 m^2/dan	T=417,97 m^2/dan	T=8,10 m^2/dan	T=30,32 m^2/dan
Hidraulička vodljivost	k=16,06 m/dan	k=35,12 m/dan	k=1,24 m/dan	k=3,32 m/dan

Uzorkovanje vode za kemijsku analizu izvedeno je pred kraj testiranja. Uzorak je uzet iz strukturno-piezometarske bušotine Al-9/16, a rezultati analize pokazali su da je uzorak zdravstveno ispravan prema čl. 5 Zakona o vodi za ljudsku potrošnju (N.N. 56/2013, 64/2015). Kemijsku i fizikalnu analizu uzorka vode obavio je Zavod za javno zdravstvo „Sveti Rok“ iz Virovitice (Toševski i dr., 2016).

U sklopu istražnog bušenja istražno-piezometarskih bušotina Al-6/16, Al-7/16, Al-8/16 i Al-9/16 provedeno je i laboratorijsko ispitivanje od strane Laboratorija društva Geokon-Zagreb d.d. iz Zagreba. Izvršeno je ispitivanje granulometrijskog sastava tla na ukupno 53 uzorka.

U bušotinama Al-6/16, Al-7/16, Al-8/16 i Al-9/16 su također napravljena i karotažna mjerenja: gama-gama (mjerenje kvalitativnog odnosa gustoće), gama (mjerenje prirodne radioaktivnosti - zaglinjenosti) i neutron-neutron (mjerenje kvalitativnog odnosa poroziteta). Mjerenja su naručili tvrtka GEOKON-ZAGREB d.d. iz Zagreba, a izvršili su ih djelatnici Instituta IGH d.d. iz Zagreba. Mjerenja su rađena do dna bušotina, a njima je bilo potrebno izdvojiti vodonosne naslage (prahovite pijeske, pijeske, prahovite šljunke i šljunke) od slabo

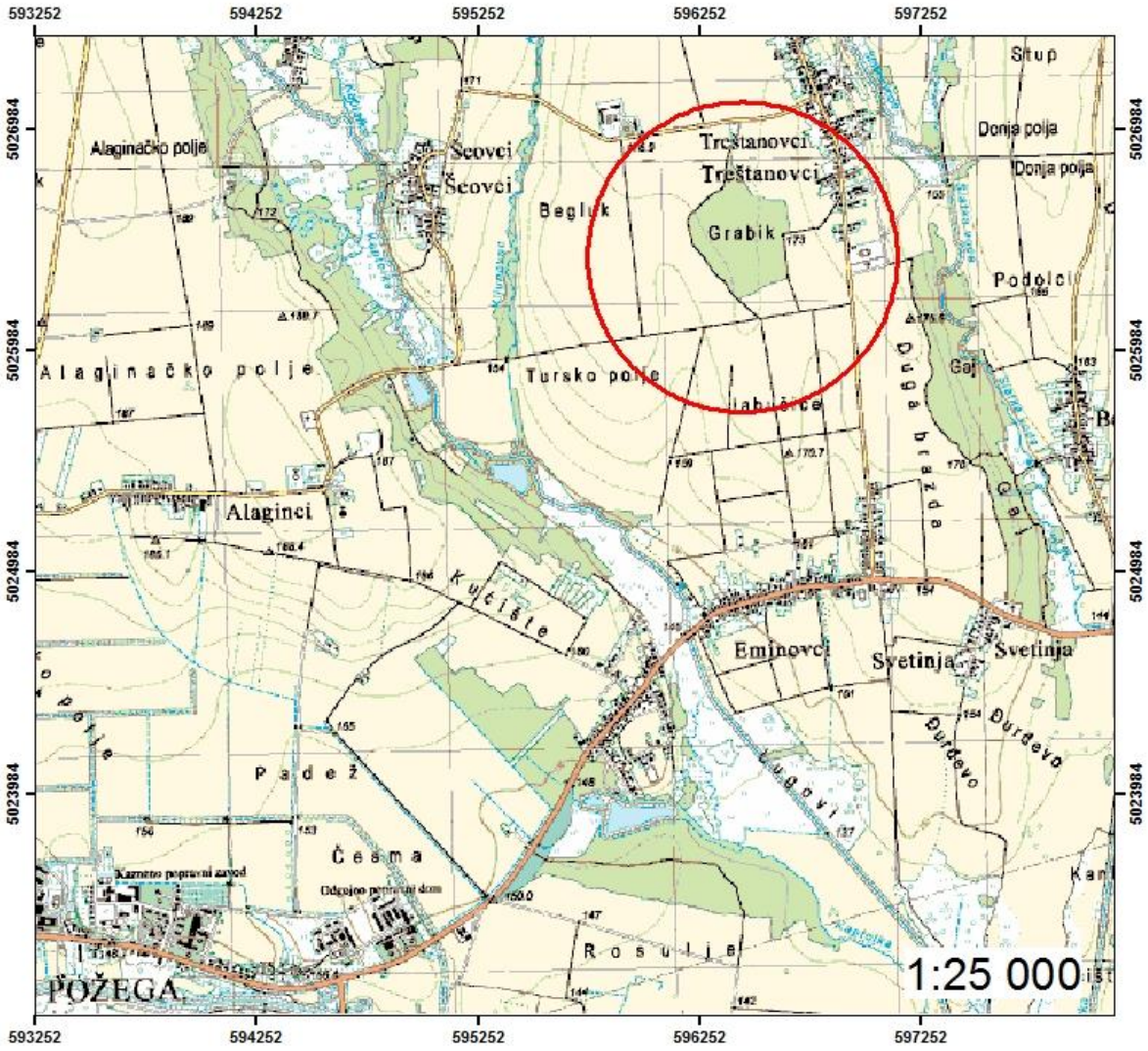
propusnih naslaga (gline, glinoviti prahovi, prahovi), te odrediti konstrukciju istražne bušotine. U bušotinama Al-6/16, AL-7/16 i Al-9/16 detektirane su deblje vodonosne naslage s manjim udjelom proslojaka glina i prahova, stoga se iz tih bušotina očekuju veće količine vode. U bušotini Al-8/16 definirane su tanke i jače zaglinjene vodonosne naslage, pa se iz te bušotine ne očekuju znatne količine vode (Toševski i dr., 2016).

Osim istražno-piezometarskih bušotina, kako bi se procijenile maksimalne izdašnosti budućeg vodocrpilišta na istraživanom području, te prikupili svi potrebni podaci za njegovo projektiranje i izgradnju, 2016. godine su izvedena i dodatna tri istražno-eksploatacijska zdenca ZAl-3/16, ZAl-4/16 i ZAl-5/16. Cilj izvedbe zdenaca bio je utvrditi hidrogeološke značajke vodonosnika, maksimalne izdašnosti zdenaca u sušnom razdoblju i analizirati kakvoću podzemne vode. Tijekom testiranja probnim crpljenjem metodom konstante, prema ponašanju zdenaca dobiveni rezultati su se smatrali neadekvatnima zbog kratkog vremena crpljenja, te se preporučilo dugotrajno crpljenje svih zdenaca u sušnom razdoblju sa stalnom količinom kako bi se odredio optimalni režim eksploatacije zdenaca. Također prilikom crpljenja zdenaca mjereći razine podzemne vode utvrđen je međusoban utjecaj pojedinih zdenaca jedan na drugog. Analiza vode na uzorcima vode kod svih zdenaca pokazala je povišenu koncentraciju anaerobnih bakterija kod 22˚ i 37˚C, u odnosu na dozvoljene vrijednosti. Na zdencu ZAl-3/16 izmjerena je povećana količina nitrita, a na zdencu ZAl-4/16 povećana količina amonija (Hlevnjak, 2017).

3. Opis istraživanog područja

3.1. Geografski položaj i klimatološke značajke istraživanog područja

Lokacija istraživanog područja nalazi se u središnjem dijelu Požeško – slavonske županije, na širem području naselja Treštanovci. Naselje Treštanovci smješteno je sjeveroistočno od županijskog centra, grada Požege, a prema popisu stanovništva iz 2011. godine naselje je imalo 257 stanovnika. Sagledano sa šireg područja, istraživana lokacija se nalazi u središnjem dijelu Požeške kotline, okružene Slavonskim gorjem, točnije Papukom na sjeveru, Krndijom na sjeveroistoku, Dilj gorom na jugoistok, Požeškom gorom na jugu i Psunjom na zapadu. Nadmorska visina terena na istraživanoj lokaciji generalno iznosi oko 173 m n.m. Područje se nalazi na zaravni s blagim padom prema jugu (Slika 3.1).



Slika 3.1: Topografska karta mjerila 1:25000 (Izvor: Državna geodetska uprava) s ucrtanom istraživanom lokacijom na području Treštanovaca

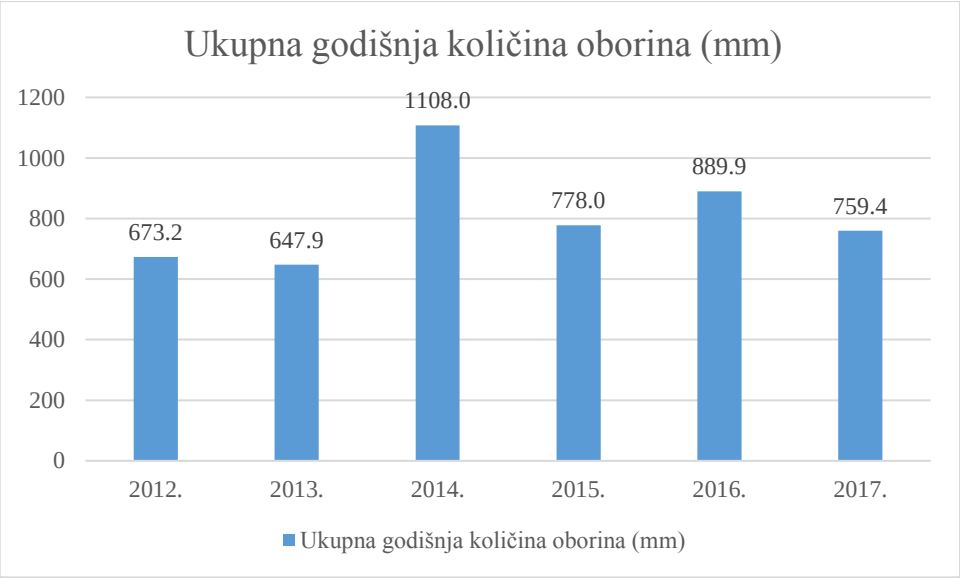
Klima je jedna od značajnijih prirodnih karakteristika nekog područja. Ona utječe na mnoga zbivanja u prirodi, te gotovo da i nema ljudske djelatnosti na koju ne utječu vrijeme i klima, stoga je poznavanje klime i klimatskih značajki nekog područja vrlo važno zbog planiranja razvoja i aktivnosti u mnogim društvenim i gospodarskim djelatnostima.

Srednje godišnje temperature zraka na istraživanom području lokacije Treštanovci kreću se od 10˚-12˚C. Kao važan faktor klime, osim temperature zraka ističe se i količina oborina.

Oborina koja padne na području Republike Hrvatske posljedica je prolaska ciklona i s njima u vezi atmosferskih fronti u sklopu opće cirkulacije atmosfere. Hoće li na pojedinom mjestu oborina pasti i u kojoj količini, ovisi o vlažnosti zračne mase i intenzitetu i smjeru zračne struje, ali i o vertikalnoj komponenti njezina gibanja (Zaninović i dr., 2008).

Kako bi se odredilo postoje li na istraživanom području promjene u godišnjoj količini oborina kroz zadnjih nekoliko godina, usporedile su se količine oborina palih na istraživanom području Treštanovci sa srednjim godišnjim količinama oborina karakterističnom za to područje. Analizirani su podaci ukupnih mjesečnih količina oborina za razdoblje od 2012. do 2017. godine mjereni na klimatološkoj postaji Požega, a koji su preuzeti sa stranica Državnog hidrometeorološkog zavoda.

Analizom ukupnih mjesečnih količina oborina, utvrđeno je da se ukupne godišnje količine oborina na području grada Požege, u kojem se nalazi i istraživano područje potencijalnog vodocrpilišta Treštanovci, generalno kreću oko 700 do 800 mm, s minimumom od 648 mm 2013. godine i maksimumom od 1108 mm 2014. godine (Slika 3.2). Usporedbom tih podataka s podacima Klimatskog atlasa Hrvatske koje se odnosi na standardno klimatsko razdoblje 1961.–1990. godine, i na razdoblje 1971.–2000. godine, a koje prikazuje da se srednje godišnje količine oborina na istraživanom području kreću od 900 do 1000 mm (Prilog 1), može se zaključiti da su izuzev 2014. i 2016. godine, srednje godišnje količine oborina u 2012., 2013., 2015. i 2017. godini bile nešto niže od prosjeka.



Slika 3.2: Grafički prikaz ukupnih godišnjih količina oborina izmjerenih na klimatološkoj postaji Požega za razdoblje od 2012. do 2017. godine

3.2. Geološka građa istraživanog područja

Područje istraživanja potencijalnog vodocrpilišta Treštanovci nalazi se na južnom dijelu lista Orahovica, Osnovne geološke karte M 1:100 000 (Slika 3.3). Preljevno područje izvorišta Treštanovci se najvećim dijelom nalazi na blago nagnutom terenu Požeške kotline na kojoj uglavnom nalazimo naslage mlađeg pliocena i kvartara. Prema genetskim tipovima izdvajaju se sedimenti eolskog, barskog, fluvijalnog i padinskog niza (Jamičić i dr., 1987).

Tereni na kojima su izvedena hidrogeološka istraživanja pokriveni su tankim pokrovom kvartarnih taložina (Q) koje su zastupljeni prahovitim i glinovitim, a podređeno pjeskovitim i šljunkovitim naslagama. Ispod njih su sedimenti pliocen – kvartara (Pl-Q) u kojima se izmjenjuju paketi krupnozrnatijih (šljunci i pijesci) i sitnozrnatijih (prahovi i gline) naslaga koje se međusobno miješaju i/ili lateralno (bočno) i vertikalno prelaze jedni u druge.

Područje lista Orahovica ima široko razvedenu mrežu vodenih tokova koji su zapunjeni **aluvijalnim sedimentima (a)**. Veće doline su tektonski predodređene što je vidljivo na skretanju vodenih tokova na utvrđenim rasjednim zonama. Zbog toga se može pretpostaviti da je veći dio sedimenata s dolina erodiran za vrijeme kvartara i pretaložen u plitka jezera i bare na području Požeške kotline i Dravske doline. Recentni materijal, koji zapunjava doline i aluvijalna korita, transportiran je manjim tokovima i postepeno pretaložen

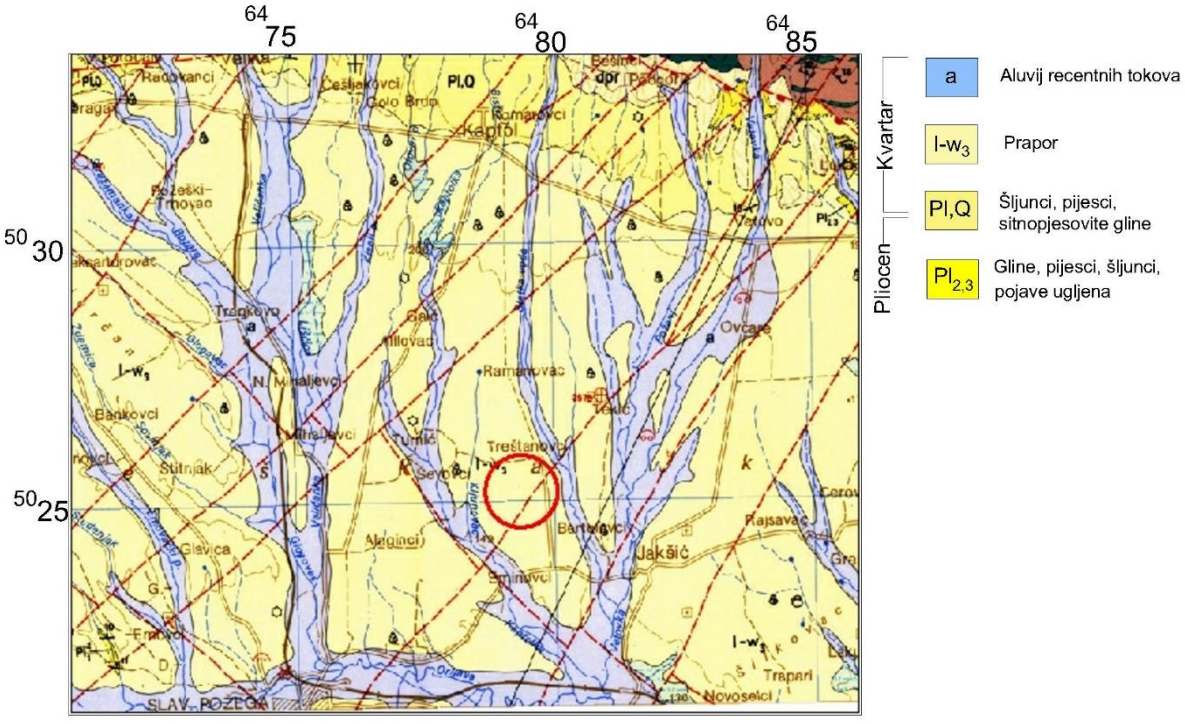
u niže dijelove terena. Materijal koji se taložio u koritima rijeka i potoka dravskog sliva za vrijeme poplava je iznošen van pa ga je teško odvojiti od proluvijalnih sedimenata. Danas se većina tih tokova urezuje u starije naslage uz istovremeno pretaloživanje sedimenata korita. Nataloženi sedimenti su molasnog tipa s pojavama kose i unakrsne slojevitosti. Sastoje se od čestica različite veličine. Prisutni su slabo sortirani šljunci, šljunkoviti pijesci i siltozni pijesci – silt koji odgovaraju resedimentiranom praporu s primjesama pijeska i gline, te različite vrste matičnih stijena. Matične stijene čine metamorfne stijene iz facijesa amfibolita i epidot-amfibolita, zelenih škriljavaca i eklogita, te iz kiselih i neutralnih eruptiva slavonskog gorja. Debljina aluvijalnih naslaga je od 0,5 do 5 m. Ove naslage ovdje predstavljaju vodonosnik (Jamičić i dr., 1987).

Praporne naslage (l) su široko rasprostranjene na području Požeške kotline i jugoistočnim obroncima Bilogore. Ove naslage su donesene vjetrom u gornjem pleistocenu, a odlagane su na kopnu i u zavodnjenim močvarnim prostorima. Praporne naslage su taložene u više faza koje su se očitovale u izmjenama hladnih i toplih faza kvartara. U hladnodobnim uvjetima uglavnom je taložen žućkasti silt koji sadrži leće pijeska. Također su prisutne i izdužene zone prapora nastale za vrijeme tople i vlažne klime. Glavni dio silta čine kvarc, feldspati i čestice stijena koje nalazimo u značajnoj količini. Od teških minerala prevladava epidot, a kao sporedni minerali se pojavljuju amfibol, granat, cirkon, turmalin i rutil. Od fosila su u praporu pronađene brojne kućice gastropoda koje su značajne za gornji würm. Debljina prapora varira od 2 – 3 m do 20 m (Jamičić i dr., 1987).

Sedimenti pliokvartarne starosti (Pl,Q) pojavljuju se paralelno rasprostirući u odnosu na gornopontske naslage te su velikim dijelom prekriveni lesom i nanosima kvartara. Sastoje se od slatkovodnih sedimenata, molasnog tipa, a sačuvane su i kao erozivni ostaci na starijim stratigrafskim članovima. Granulometrijski ih čine srednje ili loše sortirani pjeskoviti šljunci, pijesci, siltni pijesci s proslojcima breča-konglomerata, te siltno pjeskovite gline s lećama šljunka. Ove naslage su lokalno ponegdje eksploatirane. Glavni mineralni sastav srednjozrnatih i sitnozrnatih sedimenata su kvarc i čestice stijena, a od sporednih minerala se pojavljuju feldspati. Od teške mineralne frakcije pojavljuju se minerali cirkon i epidot, dok su sporedni minerali amfibol, granat, staurolit, turmalin, rutil i apatit. Sedimenti u kojima dominira siltna frakcija kao što su pjeskoviti silt i pjeskovito-šljunkoviti silt sadrže 20 – 25% primjesa pijesaka i 8 – 36% primjesa šljunka. Debljina pliokvartarnih naslaga iznosi oko 50 m (Jamičić i dr., 1987).

Sedimenti srednjeg i dijela gornjeg pliocena ($Pl_{2,3}$) djelomično su otkriveni na području Požeške kotline, a uglavnom su prekriveni pliokvartarnim naslagama. Veći dio naslaga čine srednje sortirani šljunkoviti siltni pijesci, pjeskoviti silt i glinovito pjeskoviti silt, a u bušotini je determiniran sitnozrnati lapor i glina s trunjem ugljena. Na analiziranim uzorcima je karakteristično da su siromašni teškim mineralima te sadrže uglavnom epidot, staurolit, cirkon i titanit. Glavni minerali su kvarc, feldspati i čestice stijena. Stratigrafska pripadnost određena je na temelju pronalaska slatkovodnih mekušaca te brojnih ofiolita. Debljina sedimenata srednjeg i gornjeg pliocena iznosi od prilike 300 m (Jamičić i dr., 1987).

Prema Osnovnoj geološkoj karti 1:100 000, list Orahovica (Jamičić i Brkić, 1987) i pripadajućem tumaču (Jamičić i dr., 1987), istražno područje pripada u tektonsku cjelinu Požeške kotline čije je formiranje započelo u nižem dijelu srednjeg miocena (helvet) i trajalo do kraja tercijara. Do najznačajnijih izdizanja dolazi u mlađem pliocenu i starijem kvartaru. Najveći transport klastičnog materijala zbivao se za vrijeme pliocen – kvartara (Pl – Q) što upućuje i na intenzivnija izdizanja metamorfnih kompleksa i brzu eroziju.



Slika 3.3: Isječak osnovne geološke karte (OGK) list Orahovica (Jamičić i Brkić, 1987) s prikazom položaja istraživane lokacije potencijalnog vodocrpilišta Treštanovci. Originalno mjerilo karte je M 1:100 000

3.3. Hidrogeološke značajke istraživanog područja

Prilikom građevinskih radova u dolini potoka Kljunovac, uočene su značajnije pojeve vode, što je potaknulo izvedbu hidrogeoloških istraživanja na području Teštanovaca. Područje se nalazi na relativno zaravnjenom dijelu s nadmorskom visinom od oko 173 m n.m. Istočno od istraživanog područja potencijalnog crpilišta Treštanovci nalazi se potok Slatka voda, dok sa zapadne strane teče potok Kljunovac. Kljunovac se s južne strane nedaleko od istraživanog područja ulijeva u potok Kaptolka.

Detaljnija istraživanja usmjerena su na zapadnu stranu zaravni u blizini južnog dijela naselja Treštanovci oko šume Grabik. Ukupno je izvedeno 9 istraživačko-piezometarskih bušotina i 5 zdenaca. Hidrogeološka analiza usmjerena je na određivanje litološke građe i geometrije vodonosnika. Analiza litološke građe vodonosnika trebala je pokazati rasprostiranje vodonosnika i njegove hidrogeološke karakteristike. Sukladno s time, napravljena su 4 korelacijska profila litološke građe naslaga. Dva profila su pružanja duž zaravni sjever-jug, dok su ostala dva okomita na njih s pružanjem zapad-istok (Prilog 2).

Istražnim bušenjem na području istraživane lokacije Treštanovci zahvaćene su naslage pijeska i šljunka koje su mjestimice više ili manje pomiješane s prahovima i glinama, te ponegdje bočno i/ili vertikalno prelaze jedni u druge. Krupnozrnati materijal je intenzivno donošen tijekom proljeća prilikom otapanja snijega, te se kao posljedica toga pojavljuje velika heterogenost ovih naslaga sa značajnim promjenama litološkog sastava u prostoru koje čini osnovno obilježje ovih naslaga.

Na profilu 1-1' (Prilog 3) može se vidjeti da su oko bušotine Al-8/16 naslage pijeska prahovite i zaglinjene, te su u njihovoj izmjeni s prahovitim i šljunkovitim pijescima mjestimično značajnije prahoviti. Od bušotine Al-8/16 prema bušotini Al-6/16 zaglinjene naslage pijeska i šljunka su postupno sve tanje, stoga je debljina vodonosnih naslaga sve veća. Idući prema jugu, prema zdencu ZAl-5/16 i bušotini Al-9/16 naslage su sve čišće, te je njihova debljina relativno značajna.

Profil 2-2' (Prilog 4) pruža se u smjeru sjever jug od zdenca ZAl-2/15 do zdenca ZAl-1/15. Na profilu je vidljivo da postoje deblje naslage šljunkovitih pijesaka koje se od zdenaca ZAl-2/15 do ZAl-1/15 pružaju približno iste debljine, od oko 20 m na području zdenca ZAl-2/15 do oko 15 m na području zdenca ZAl-1/15. Naslage pijeska i šljunka su isprekidane tankim slojevima prahovitih i pjeskovitih glina.

Profil 3-3' (Prilog 5) nalazi se na sjevernijem dijelu istraživanog područja, pružanja zapad – istok. Na zapadnom dijelu profila uz zdenac ZAl-2/15 vodonosne naslage šljunkovitih pijesaka pojavljuju se sa znatno manjim sadržajem glina i praha, dok idući prema istoku do bušotine Al-6/16 naslage postaju sve više prahovite i glinovite dok sadržaj šljunka i pijeska znatno opada.

Profil 4-4' (Prilog 6) odgovara profilu 3-3', pa je tako njegovo pružanje također od zapada prema istoku, okomito na profile 1-1' i 2-2'. Na profilu se također može uočiti veći sadržaji pijeska i šljunka na zapadnom dijelu koji opadaju prema istoku gdje je iz presjeka bušotine Al-9/16 vidljivo da naslage na istočnijem dijelu sadrže veći udio prahova.

Zapadno i južno od zdenaca ZAl-1/15 i ZAl-2/15 ne postoje podaci o litološkoj građi vodonosnika iz razloga što se ta područja nisu istraživala. Na temelju dobivenih profila može se zaključiti da su se u smjeru pružanja zdenaca ZAl-2/15 i ZAl-1/15 taložile krupnozrnatije naslage što je najvjerojatnije posljedica nekadašnjeg postojanja glavnog toka na tom području koji se donosio i taložio krupnije čestice s gorja sjeverno od lokacije. Sitnije su se čestice taložile lateralno od glavnog toka, a krupniji materijal je u to područje donošen samo u uvjetima snažnijeg donosa materijala. Ta bočna područja predstavljala su neki oblik poplavnih ravnica na kojima se dominantno taložio sitnozrnati materijal unutar kojih se nalaze ulošci krupnijeg materijala, te mjestimice šljunkovite leće, što je i vidljivo na profilima u istočnom dijelu istraživanog područja. S obzirom da nemamo podatke zapadno od zdenaca ZAl-1/15 i ZAl-2/15, glavni tok je možda bio smješten i nešto zapadnije od njih. Za konačnu potvrdu ove pretpostavke bilo bi nužno poznavati litološke karakteristike naslaga zapadno i južno od istraživanog područja.

4. Zdenci crpilišta Treštanovci

Na crpilištu Treštanovci postoji ukupno pet zdenaca. Prvi zdenci na crpilištu Treštanovci izgrađeni su 2015. godine u sklopu nastavka istraživanja iz 2014. godine, kada se za uže područje istraživanja odabrala lokacija u području bušotine Al-3/14. 2015. godine su tako izvedena dva istražno – eksploatacijska zdenca pod oznakama ZAl-1/15 i ZAl-2/15. Preostala tri zdenca oznaka ZAl-3/16, ZAl-4/16 i ZAl-5/16 izvedena su 2016. godine sa svrhom prikupljanja potrebnih podataka za projektiranje i izgradnju crpilišta.

Zdenac ZAl-1/15 nalazi se neposredno pored sjecišta poljskih puteva, sjeverozapadno od piezometra Al-3/14. Dubina zdenca iznosi 34,50 m. Bušenje zdenca izvedeno je metodom kopanja s utiskivanjem zaštitnih cijevi i povratnim zakretanjem („laviranje“) promjera Ø 1000 mm do dubine od 7,00 m, te je zatim nastavljeno s utiskivanjem zaštitnih cijevi promjera Ø 760 mm do konačne dubine od 34,50 m. Tehnička konstrukcija sastoji se od punih eksploatacijskih cijevi promjera 406,4 mm i spiralno motanog sita istog promjera s otvorima od 1 mm. Ispod sita je ugrađen taložnik. Pune eksploatacijske cijevi su postavljene od kote terena do dubine od 18,00 m, sito se nalazi u intervalu od 18,00 – 28,00 m, a taložnik na dubini od 28,00 – 34,00 m (Hlevnjak, 2017).

Zdenac ZAl-2/15 nalazi se na udaljenosti 10 m zapadno od piezometra Al-4/15. Zdenac je dubine 36,00 m. Bušenje je izvedeno metodom kopanja uz povratno zakretanje zaštitne kolone („laviranje“) s promjerom cijevi Ø 1000 mm do dubine 11 m. Bušenje je nastavljeno istom metodom bušenja no s promjerom Ø760 mm do krajnje dubine od 36,00 m. Tehnička konstrukcija zdenca sastoji se od punih eksploatacijskih cijevi promjera 406,4 mm i spiralno motanih sita također promjera 406,4 mm s otvorom sita od 1 mm. Pune eksploatacijske cijevi nalaze se u intervalima od kote terena do 18,00 m dubine i od 24,00 – 27,00 m dubine, a sita su postavljena u intervalima od 18,00 – 24,00 m i od 27,00 – 33,00 m dubine. Taložnik je ugrađen na dubini od 33,00 – 36,00 m (Hlevnjak, 2017).

Zdenac ZAl-3/16 nalazi se u blizini piezometra Al-7/16, na zapadnom rubu šume Grabik. Zdenac je dubine 42,00 m. Izbušen je rotacijsko reversnim načinom bušenja uz ispiranje „čistom“ vodom dlijetom promjera Ø 800 mm. U bušotinu je ugrađena tehnička konstrukcija zdenca od punih čeličnih cijevi promjera Ø 406 mm. Sito se nalazi u intervalu od 22,00 – 34,00 m dubine , a ispod sita je ugrađen taložnik do 40,00 m dubine (Hlevnjak, 2017).

Zdenac ZAl-4/16 nalazi se nedaleko piezometara Al-6/16. Dubina zdenca je 40,00 m. Bušenje je provedeno rotacijskim reverznim načinom bušenja uz ispiranje „čistom“ vodom dlijetom promjera Ø 800 mm. U bušotinu je ugrađena tehnička konstrukcija zdenca od punih čeličnih cijevi promjera Ø 406 mm. Sito se nalazi u intervalu od 20,00 – 32,00 m dubine, a ispod sita se nalazi taložnik do dubine 40,00 m (Hlevnjak, 2017).

Zdenac ZAl-5/16 nalazi se oko 450 m južnije od zdenca ZAl-4/16, u blizini piezometra Al-5/15. Dubine je 40,00 m, a bušenje je provedeno rotacijskom reversnom metodom bušenja uz ispiranje „čistom“ vodom dlijetom promjera Ø 800 mm. Tehnička konstrukcija zdenca sastoji se od punih čeličnih cijevi promjera Ø 406 mm i „V“ motanih sita s otvorom od 1 mm promjera Ø 406 mm. Sito se nalazi na dubinskom intervalu od 20,00 – 23,00 m, a ispod sita je ugrađen taložnik do dubine 40,00 m (Hlevnjak, 2017).

Prilikom izvedbe zdenaca izvršeno je pokusno crpljenje na svakom pojedinom zdencu. Preliminarnom analizom tijekom izvedbe zdenaca ZAl-4/16 i ZAl-5/15 zaključeno je kako bi na njima bilo potrebno provesti dodatno čišćenje, koje je provedeno mehaničkim airliftom. Također prilikom uzorkovanja vode na zdencu ZAl-4/16 zamijećen je neugodan miris vode, pa se tijekom čišćenja radilo kontinuirano uzorkovanje podzemne vode za analizu sadržaja vodikovog sulfida (H_2S) i amonija, koja je pokazala da ni na jednom od 16 uzoraka podzemne vode nije registriran vodikov sulfid. Na lokaciji zdenca ZAl-4/16 zamijećeno je također kako zdenac nije tamponiran do površine terena, već je oko betonske konstrukcije rupa. Razlog tome je što prilikom izrade zdenca sito nije do vrha zasuto granuliranim šljunkom pa ubačeni glinoviti materijal prolazi kroz sito, te se u zdencu nakuplja talog. Iz tog razloga zdenac ZAl-4/16 nije funkcionalan za korištenje. Na zdencu ZAl-5/16 dodatno čišćenja nije imalo velikog učinka na njegovu izdašnost, te se zaključuje da su posljedica manje izdašnosti hidrogeološki uvjeti na lokaciji zdenca (Hlevnjak, 2017).

5. Pokusno crpljenje

Cilj pokusnih crpljenja je prikupljanje podataka nužnih za određivanje hidrauličkih parametara zdenca i parametara vodonosnika na potencijalnom vodocrpilišu. Crpljenje s promjenom količine tijekom crpljenja, odnosno crpljenje u koracima služi nam kako bismo odredili parametre zdenaca koji su definirani parametrima linearnih i nelinearnih gubitaka. Crpljenje sa stalnom količinom koristi se za određivanje parametara vodonosnika.

U ovom radu obrađena su dugotrajna pokusna crpljenja na zdencima ZAl-1/15 i ZAl-2/15.

Tijekom pokusnog crpljenja opažale su se sljedeće vrijednosti:

- mjerenje crpnih količina zdenaca

- ručna mjerenja dubina do vode u crpljenom zdencu

- ručna mjerenja dubina do vode u opažačkim objektima

5.1. Pokusno crpljenje zdenca ZAl-1/15

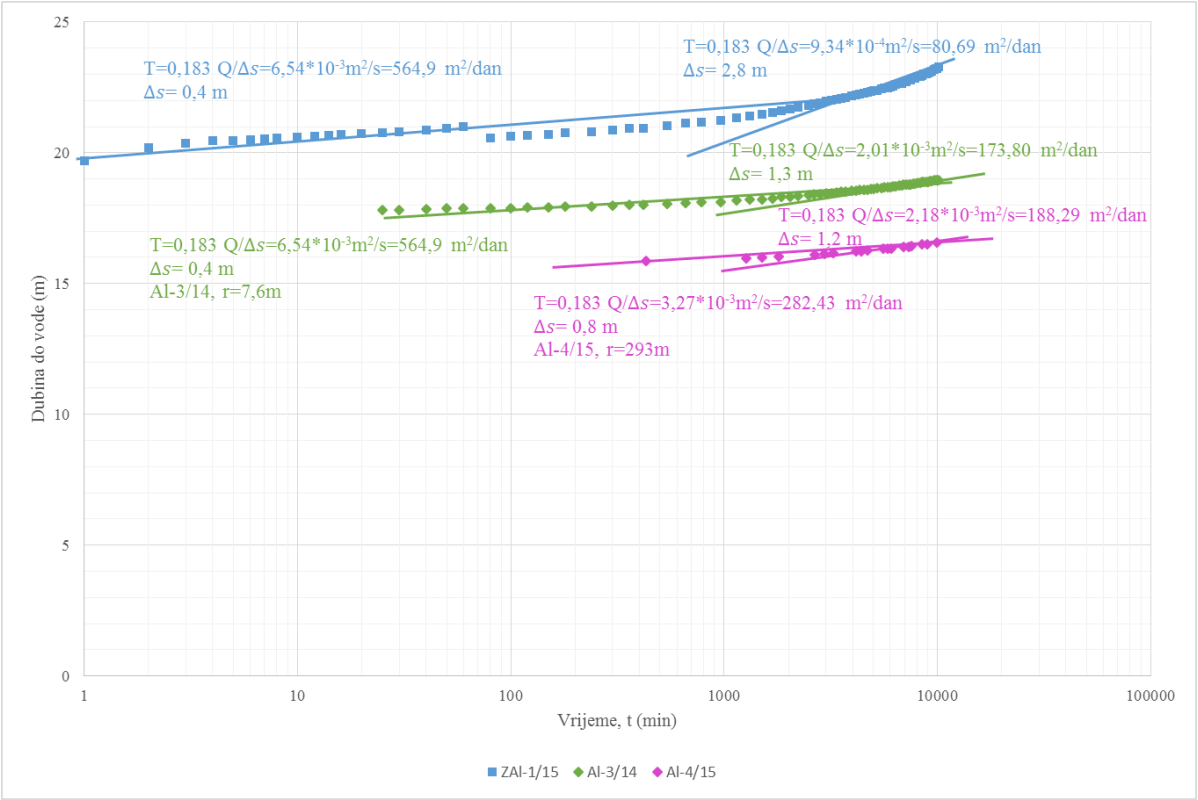
Pokusno crpljenje zdenca ZAl-1/15 započelo je 11.09.2017. i trajalo je do 26.09.2017. Ukupno trajanje crpljenja uz praćenje povrata razine vode u satima iznosilo je 358 sati i 13 minuta. Pokusno crpljenje započelo je crpljenjem u koracima 11.09.2017. u 13:47 sati. Svaki korak trajao je 60 minuta. Prvo se započelo s crpljenjem sa crpnom količinom od Q_1=10 l/s, a nakon 60 min crpna količina je promijenjena na Q_2=14,7 l/s. Nakon 60 min zbog poteškoća u nemogućnosti povećanja crpne količine crpljenje je moralo biti prekinuto do sljedećeg dana uz praćenje povrata razine (Q_3=0 l/s). 12.09.2017. su napravljena još dva koraka u crpljenju od 60 min s crpnim količinama Q_4=16,9 l/s i Q_5=18,8 l/s. Nakon ta dva koraka ponovno je opažan povrat razine vode od Q_6=0 l/s.

Nakon crpljenja u koracima slijedi razdoblje oporavka koje obično traje jedan dan kako bi se stanje u vodonosniku vratilo na početno kakvo je bilo prije crpljenja. Crpljenje sa stalnom količinom je stoga započeto dana 13.09.2017. u 10:00 sati sa crpnom količinom od Q_7=19,23 l/s, no ono je prekinuto 16.09.2017. zbog prevelikog sniženja razine vode u zdencu, te se nakon prekida crpljenja mjerio povrat razine vode u zdenac s Q_8=0 l/s. Nakon što se jedan dan pratio povrat razine vode, crpljenje je ponovno pokrenuto 17.09.2017. u

12:00 sati, no zbog kvara agregata koji pokreće crpku prekinuto je već nakon 16 min. Nakon izmjene agregata, 18.09.2017. u 12:00 sati se kreće s crpljenjem sa stalnom crpnom količinom koja se nakon 50 minuta ujednačila na Q_9=14,29 l/s. Crpljenje je trajalo 168 sati, do 25.09.2017. u 12:00 sati. Na kraju je opažan povrat razine vode Q_{10}=0 l/s do 26.09.2017. u 12:00 sati.

5.1.1. Lokalni parametri vodonosnika dobiveni na temelju podataka pokusnog crpljenja zdenca ZAl-1/15

Sniženje razine vode u zdencu ZAl-1/15 prikazano je u funkciji vremena u polulogaritamskom mjerilu (Slika 5.1). Pomoću podataka sniženja zabilježenih tijekom crpljenja sa stalnom količinom na zdencu ZAl-1/15 i obližnjim piezometrima Al-3/14 i Al-4/15 mogu se procijeniti parametri vodonosnika koristeći uobičajenu Cooper-Jacobovu semi logaritamsku nestacionarnu metodu. Metoda se zasniva na grafičkom prikazu sniženja u vremenu gdje je vrijeme prikazano u logaritamskom mjerilu na osi apscise, a sniženje, odnosno dubina do vode u linearnom mjerilu na osi ordinate. U takvom polulogaritamskom mjerilu podaci pokusnog crpljenja oblikuju pravac pomoću kojeg možemo dobiti vrijednost prirasta sniženja Δs za jedan logaritamski ciklus vremena ($t_2=10t_1$). Pomoću ove metode možemo izračunati parametre vodonosnika transmisivnost *T* i koeficijent uskladištenja *S*.



Slika 5.1: Polulogaritamski dijagram vrijeme – sniženje za stalnu crpnu količinu (Q=14,29 l/s) pri pokusnom crpljenju zdenca ZAl-1/15

Izraz pomoću kojeg se može izračunati transmisivnost glasi:

$$T = \frac{0{,}183Q}{\Delta S} \tag{5-1}$$

Na temelju transmisivnosti, hidraulička vodljivost se može izračunati iz izraza:

$$K = T/b \tag{5-2}$$

gdje su:

- Q=14,29 l/s, izdašnost zdenca u vrijeme kroz koje se koriste podaci za određivanje sniženja,
- Δs, prirast sniženja za jedan logaritamski ciklus sniženja,
- b=11 m, debljina vodonosnika (dio vodonosnika zahvaćen zdenačkim sitom).

Kada se pravac podataka pokusnog crpljenja na grafičkom prikazu u polulogaritamskom mjerilu produlji do presjecišta s inicijalnom razinom, odnosno nultog

sniženja, dobije se vrijednost $t=t_0$ koju uvrštavanjem u formulu dobivamo odnos za koeficijent uskladištenja koji glasi:

$$S = \frac{2{,}25Tt_0}{r^2} \tag{5-3}$$

gdje su:

- t_0, presjecište pravocrtnog razvitka sniženja s nultim sniženjem,
- r, udaljenost piezometra od osi crpljenog zdenca,
- T, prethodno izračunata vrijednost transmisivnosti.

Vrijednosti t_0 očitane s polulogaritamskog dijagrama vrijeme – sniženje pri stalnoj crpnoj količini Q=14,29 l/s za piezometar AL-3/14 iznose t_0=6,18s i 70,4s, dok za piezometar Al-4/15 vrijednosti t_0 iznose t_0=1750s i 7455s. Na temelju tih podataka dobivene su vrijednosti koeficijenta uskladištenja koje su prikazane u tablici 5.1.

Tablica 5. 1. Vrijednosti lokalnih parametara vodonosnika na temelju pokusnog crpljenja zdenca ZAl-1/15

Zdenac/piezometar	Transmisivnost, T (m^2/dan)	Hidraulička vodljivost, K (m/dan)	Koeficijent uskladištenja, S
ZAl-1/15	81-565	7-51	
Al-3/14	174-565	16-51	0,0015-0,0051
Al-4/15	188-282	17-26	0,00025-0,00051

5.1.2 Parametri zdenca ZAl-1/15

Uvjeti toka u vodonosniku odgovaraju uvjetima Darcyjevog zakona, međutim tijekom crpljenja se brzine toka u blizini zdenca povećavaju, pa tok iz laminarnog može prijeći u turbulentan. Također, kako voda prilikom dolaska u zdenac prolazi kroz filtar zdenca javlja se dodatno sniženje vode u zdencu. Zbog toga su parametri zdenca (prema Jacobu,1946), definirani parametrima linearnih gubitaka u vodonosniku i nelinearnih gubitaka u zdenačkom zacjevljenju. Za njihovo određivanje koristi se crpljenje s različitim crpnim količinama kako bi se ostvarili uvjeti za rješenje kvadratne jednadžbe. Ukupno sniženje u zdencu se tako može izraziti odnosom:

$$h_0 - h_z = s_z = BQ + CQ^2 \tag{5-4}$$

gdje su h_0 i h_z potencijali, odnosno početna razina i razina vode u zdencu, s_z je sniženje nastalo u zdencu, dok je B parametar linearnih gubitaka u vodonosniku, a C parametar nelinearnih gubitaka u zdenačkom zacjevljenju. Parametar linearnih gubitaka B pomnožen s crpnom količinom Q daje formacijske gubitke uzrokovane laminarnim strujanjem, član BQ, dok član CQ^2 kojeg tvori parametar nelinearnih gubitaka u zdenačkom zacjevljenju C daje porast sniženja uzrokovan turbulentnim strujanjem. Izraz (5-4) se pojednostavljeno može pisati:

$$s_z = BQ + CQ^2 \tag{5-5}$$

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

$$s_i = BQ_i + CQ^2_i \tag{5-6}$$

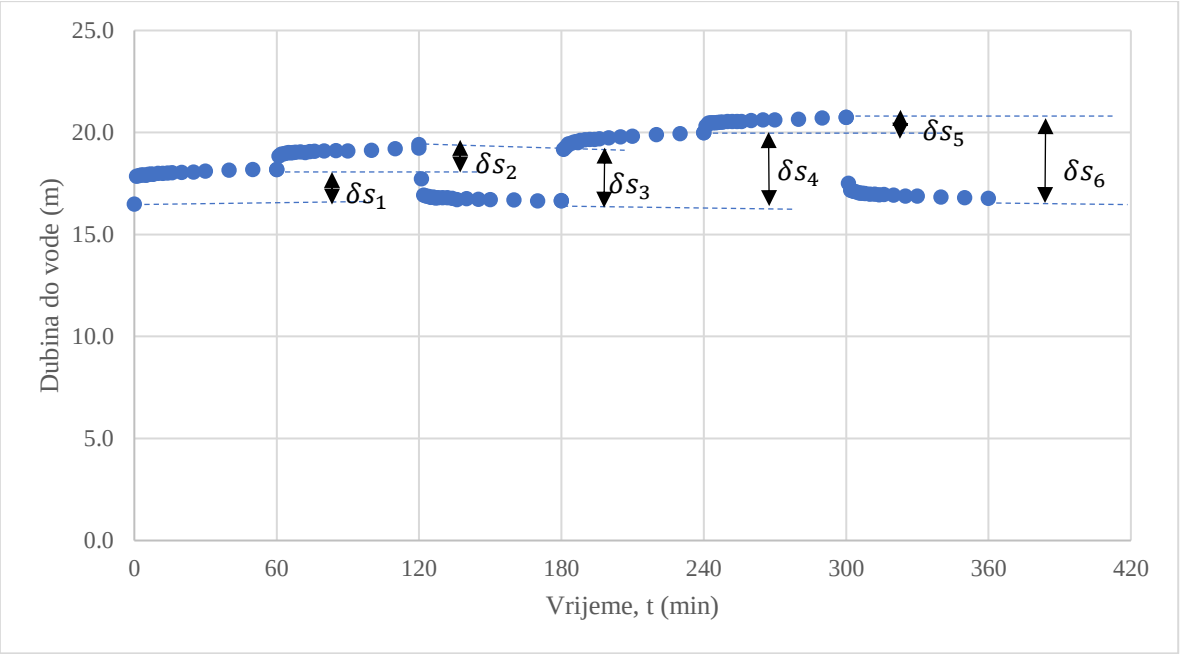
Razlika između svaka dva uzastopna koraka u crpljenju se tako može izraziti kao:

$$\frac{\delta s_i}{\delta Q_i} = B + C\ \frac{Q_i^2 - Q_{i-1}^2}{\delta Q_i} \tag{5-7}$$

gdje su:

- $\delta s_i = s_i - s_{i-1}$, razlika sniženja između dva uzastopna koraka u crpljenju,
- $\delta Q_i = Q_i - Q_{i-1}$, razlika izdašnosti između dva uzastopna 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.

Izraz (5-7) je preuređeni linearizirani oblik osnovne jednadžbe te ne predstavlja vezu između stvarne crpne količine i sniženja, već prikazuje odnos između ekvivalentnog specifičnog sniženja i ekvivalentne izdašnosti između dva susjedna koraka u pokusnom crpljenju. Ovom računskom operacijom je potenciran utjecaj onog prirasta crpnih količina pri kojima je snažniji utjecaj nelinearnih gubitaka. Podaci o kolebanju razine podzemne vode koje nastaje u crpljenom zdencu prilikom svakog koraka pokusnog crpljenja (δs) određeni su na temelju opažanja dubine do podzemne vode i prikazani na slici 5.2.



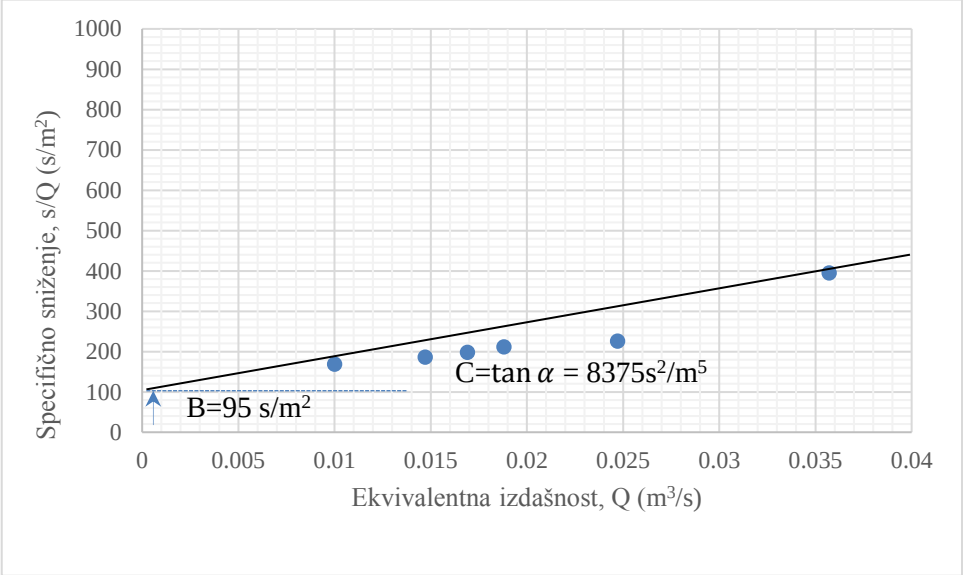
Slika 5.2: Dijagram kolebanja razine vode i prirast sniženja (δs_i) u zdencu ZAl-1/15 pri pokusnom crpljenju u koracima

Prirasti sniženja razine vode u crpljenom zdencu koji nastaju nakon svake promjene crpne količine u vremenu od 60 minuta, polazeći od nulte količine, prikazani su u tablici 5.2. Na temelju njihovih vrijednosti izračunati su iznosi ekvivalentnog specifičnog sniženja i ekvivalentne izdašnosti.

Tablica 5. 2. Podaci pokusnog crpljenja u koracima zdenca ZAl-1/15

KORAK „i“	CRPNA KOLIČINA Q (m³/s)	PORAST CRPNE KOLIČINE δQ (m³/s)	PRIRAST SNIŽENJA δs (m)	EKVIVALENTNA IZDAŠNOST $\frac{Q_i^2 - Q_{i-1}^2}{\delta Q_i}$ (m³/s)	EKVIVALENTNO SPECIFIČNO SNIŽENJE $\delta s_i/\delta Q_i$ (s/m²)
I	0		0		
II	0,01	0,01	-1,69	0,0100	169,00
III	0,0147	0,0047	-1,06	0,0247	225,53
IV	0	0,0147	2,74	0,0147	186,39
V	0,0169	0,0169	-3,34	0,0169	197,63
VI	0,0188	0,0019	-0,75	0,0357	394,74
VII	0	0,0188	3,97	0,0188	211,17

Ako se vrijednosti ekvivalentne izdašnosti i pripadajućeg ekvivalentnog specifičnog sniženja prikazanih u tablici 5.2 grafički prikažu na dijagramu (Slika 5.3) gdje je na osi ordinati prikazano ekvivalentno specifično sniženje, a na osi apscisi ekvivalentna izdašnost, aproksimacijom se dobije pravac koji presijeca os ordinatu kod vrijednosti B = 95 s/m^2 (za t=60 min), dok nagib pravca predstavlja vrijednost nelinearnih gubitaka C = 8375 s^2/m^5.



Slika 5.1: Grafička analiza ekvivalentnog specifičnog sniženja i ekvivalentne izdašnosti zdenca ZAl-1/15 prema podacima iz tablice 5.2.

Vrijednost linearnih gubitaka nakon t = 60 min crpljenja iznosi B = 95 s/m^2. Ovi gubitci predstavljaju razvoj depresije u vodonosniku prilikom crpljenja koja se pruža do efektivnog polumjera načinjenog zdenca. Preko veličine efektivnog polumjera zdenca izražava se kvaliteta njegove izvedbe. Efektivni polumjer zdenca određuje se metodom koja se temelji na tome da linearni gubitci predstavljaju specifično sniženje na mjestu zamišljenog polumjera savršeno načinjenog zdenca, R_z, nakon t_i = 60 min crpljenja. Prema ovoj metodi promatranja efektivni polumjer zdenca se izračunava iz izraza:

$$R_z = \sqrt{\frac{2.25\,T\,t_i}{S*e^{(4\pi BT)}}} \qquad (5\text{-}8)$$

gdje su:

- T = 5.45*10^{-3} (m^2/s), transmisivnost vodonosnika,
- t_i = 60 min, vrijeme za koje vrijedi parametar B,
- B = 95 s/m^2, linearni gubitci zdenca za t_i = 60 min,

- S = $1,5*10^{-3}$, koeficijent uskladištenja vodonosnika.

Tablica 5. 3. Konačne vrijednosti svih parametara zdenca ZAl-1/15.

Efektivni polumjer zdenca	Parametar linearnih gubitaka nakon 60 min crpljenja	Parametar nelinearnih gubitaka
R_z (m)	B (s/m^2)	C (s^2/m^5)
6,64	95	8375

5.2. Pokusno crpljenje zdenca ZAl-2/15

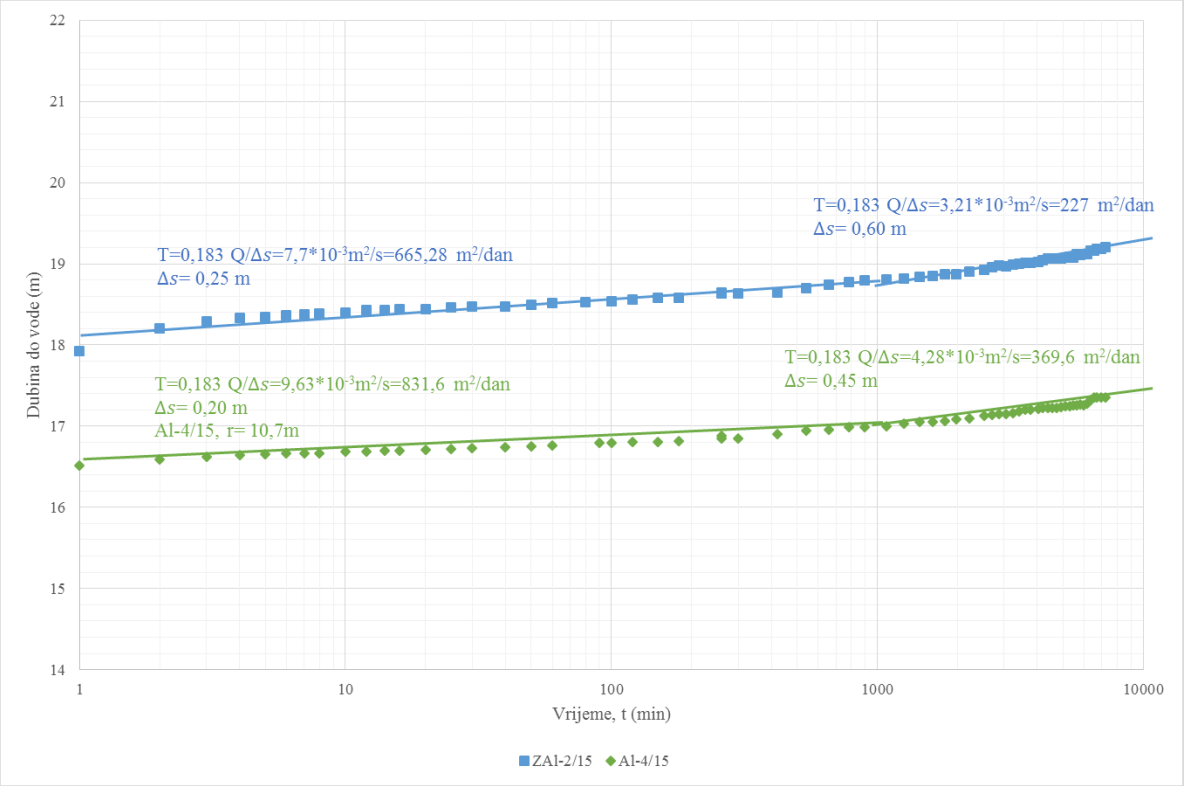
Pokusno crpljenje zdenca ZAl-2/15 započelo je 28.09.2017., a završilo 5.10.2017. Ukupno trajanje pokusnog crpljenja uz praćenje povrata razine vode trajalo je 169 sati i 58 minuta. Pokusno crpljenje počelo je crpljenjem u koracima 28.09.2017. u 9:30, s korakom crpljenja u trajanju od 60 minuta. Prva crpna količina iznosila je Q_1=10 l/s. Nakon 60 minuta započelo je crpljenje s drugom crpnom količinom od Q_2=13,5 l/s, te se zatim završilo sa zadnjom crpnom količinom od Q_3=19,2 l/s. Nakon toga uslijedilo je praćenje povrata razine vode s Q_4=0 l/s koje je trajalo do sljedećeg dana.

29.09.2017. u 10:00 sati započelo je crpljenje sa stalnom crpnom količinom Q_5=10,5 l/s koje je trajalo do 24.10.2017. u 10:00 sati, odnosno ukupno 120 sati. Na kraju je opažan povrat crpne količine s Q_6=0 l/s do 5.10.2017. u 10:00 sati.

5.2.1. Lokalni parametri vodonosnika dobiveni na temelju podataka pokusnog crpljenja zdenca ZAl-2/15

Sniženje vode u zdencu ZAl-2/15 prikazano je u funkciji vremena u polulogaritamskom mjerilu (Slika 5.4). Za procjenu parametara vodonosnika korištenjem uobičajene Cooper-Jacobove semi logaritamske nestacionarne metode korišteni su podaci razvitka sniženja u crpljenom zdencu ZAl-2/15 i obližnjem piezometru Al-4/15. Metoda je objašnjena u poglavlju 5.1.1., a jednadžbe korištene za dobivanje parametara transmisivnosti i iz nje izvedene hidrauličke vodljivosti, te vrijednosti koeficijenta uskladištenja prikazane su u izrazima (5-1), (5-2) i (5-3). Debljina vodonosnika, odnosno dio vodonosnika koji je zahvaćen zdenačkim sitom iznosi b=11 m. Presjecište pravocrtnog razvitka sniženja s nultim

sniženjem u piezometru Al-4/15 koje iznosi 16,26 m, odnosno t_0 očitano s polulogaritamskog dijagrama vrijeme – sniženje (Slika 5.4) iznosi t_0=0,126 s.



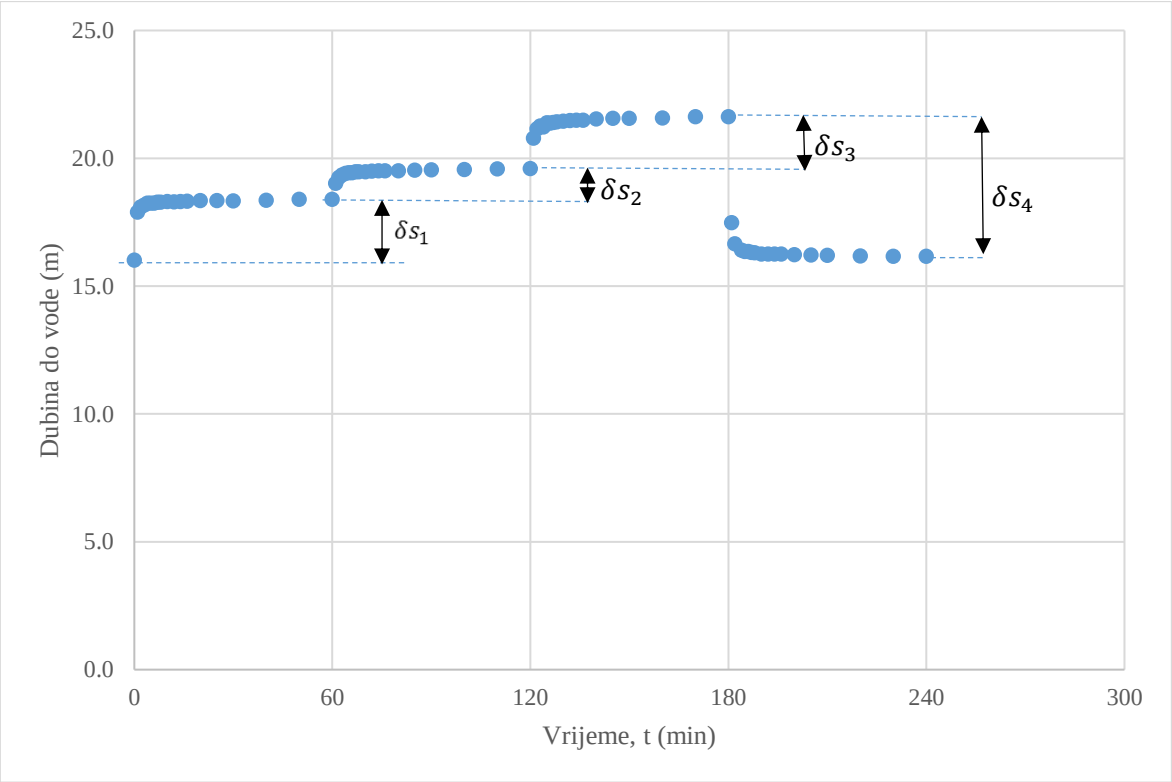
Slika 5.4: Polulogaritamski dijagram vrijeme – sniženje za stalnu crpnu količinu (Q=10,5 l/s) pri pokusnom crpljenju zdenca ZAl-2/15

Tablica 5.4. Vrijednosti lokalnih parametara vodonosnika na temelju pokusnog crpljenja zdenca ZAl-2/15

Zdenac/piezometar	Transmisivnost, T (m^2/dan)	Hidraulička vodljivost, K (m/dan)	Koeficijent uskladištenja, S
ZAl-2/15	277-665	7-51	
Al-4/15	340-832	16-51	$2,2*10^{-5}$

5.2.2 Parametri zdenca ZAl-2/15

Parametri zdenca ZAl-2/15 određeni su na temelju jednadžbi prikazanih u izrazima od (5-4) do (5-8). Razlika razine podzemne vode koja nastaje pri svakom koraku pokusnog crpljenja (δs) određena je na temelju opažanja dubine do podzemne vode, a prikazana je na slici 5.5.

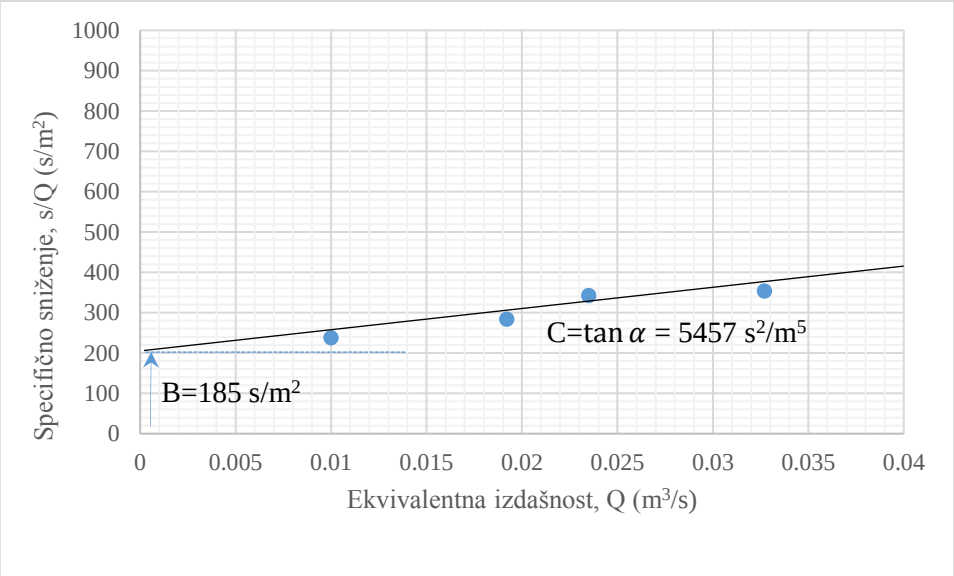


Slika 5.5: Dijagram kolebanja razine vode i prirast sniženja (δs_i) u zdencu ZAl-2/15 pri pokusnom crpljenju u koracima

Prirasti razine sniženja u crpljenom zdencu ZAl-2/15 koje se razviju nakon svake promjene crpne količine u vremenskom periodu od 60 minuta, polazeći od nulte razine, prikazani su u tablici 5.5. te su na temelju njih izračunate vrijednosti ekvivalentne izdašnosti i ekvivalentnog specifičnog sniženja, koristeći formule za izračun koje su navedene u poglavlju 5.1.2. Tako dobivene vrijednosti ekvivalentne izdašnosti i ekvivalentnog specifičnog sniženja nanesene su na dijagram (Slika 5.6) te čine pravac koji presijeca ordinatu kod vrijednosti B=185 s/m^2 (za t=60 min) koja predstavlja linearne gubitke u vodonosniku, dok nagib pravca predstavlja vrijednost nelinearnih gubitaka C=5457 s^2/m^5.

Tablica 5. 5. Podaci pokusnog crpljenja u koracima zdenca ZAl-2/15.

KORAK „*i*“	CRPNA KOLIČINA Q (m³/s)	PORAST CRPNE KOLIČINE δQ (m³/s)	PRIRAST SNIŽENJA δs (m)	EKVIVALENTNA IZDAŠNOST $\frac{Q_i^2 - Q_{i-1}^2}{\delta Q_i}$ (m³/s)	EKVIVALENTNO SPECIFIČNO SNIŽENJE $\delta s_i/\delta Q_i$ (s/m²)
I	0		0		
II	0,01	0,01	-2,38	0,01	238,00
III	0,0135	0,0035	-1,2	0,0235	342,86
IV	0,0192	0,0057	-2,02	0,0327	354,39
V	0	0,0192	5,46	0,0192	284,38



Slika 5.6: Grafička analiza ekvivalentnog specifičnog sniženja i ekvivalentne izdašnosti zdenca ZAl-2/15 prema podacima iz tablice 5.5.

Vrijednost linearnih gubitaka nakon t = 60 min crpljenja iznosi B = 185 s/m^2. Kako bi se odredila kvaliteta izvedbe zdenca potrebno je odrediti efektivni polumjer zdenca. Efektivni polumjer zdenca, R_z izračunava se iz izraza (5-8) gdje su uzete vrijednosti transmisivnosti T=8,66*10^{-3} m^2/s, vrijeme za koje vrijedi parametar B, odnosno t_i=60 min, B=185 s/m^2, te koeficijent uskladištenja vodonosnika S=2,2*10^{-5}.

Tablica 5. 6. Konačne vrijednosti svih parametara zdenca ZAl-2/15.

Efektivni polumjer zdenca	Parametar linearnih gubitaka nakon 60 min crpljenja	Parametar nelinearnih gubitaka
R_z (m)	B (s/m^2)	C (s^2/m^5)
0,076	185	5457

6. Zaključak

Potencijalno crpilište Treštanovci nalazi se na zaravnjenom platou jugozapadnog dijela naselja Treštanovci uz šumu Grabik. Na širem području Treštanovaca istraživanja su započela 2014. godine izvedbom tri istraživačko-piezometarske bušotine u svrhu rješavanja problema u vodoopskrbi grada Požege i njegove šire okolice. Istraživanja su nastavljena 2015. godine izvedbom dvije istražno-piezometarske bušotine i prva dva istražno-eksploatacijska zdenca. U 2016. godini izvedene su još četiri istražno-piezometarske bušotine i tri zdenca. Prilikom izvedbe zdenaca provedeno je crpljenje u koracima i crpljenje sa stalnom količinom na svakom pojedinom zdencu čijim su rezultatima dobivene vrlo visoke vrijednosti maksimalnih crpnih količina u kretanju od 10 – 29 l/s.

Provedbom dugotrajnog pokusnog crpljenja u sušnom razdoblju na zdencima ZAl-1/15 i ZAl-2/15 dobiveni su rezultati koji se znatno razlikuju od očekivanih koji su dobiveni na temelju kratkotrajnih crpljenja. Dugotrajno pokusno crpljenje zdenca ZAl-1/15 bilo je zamišljeno da se crpljenjem sa što većom crpnom količinom ostvare značajnija sniženja u vodonosniku, a opažanja razine vode na cijelom području trebala su dati podatke nužne za određivanje hidrauličkih parametara vodonosnika. S obzirom da se kratkotrajnim crpljenjem tijekom izvedbe zdenaca stekao dojam o izrazito propusnom vodonosniku, dugotrajno crpljenje je započelo s oko 19 l/s. Već u početku crpljenja zapaženo je kako je sniženje u zdencu znatno veće od sniženja u bliskom piezometru koji je od zdenca udaljen svega 10 m, te se time može zaključiti da je propusnost vodonosnika znatno manja od očekivanog. Razina vode u zdencu je kontinuirano padala te je nakon 3 dana crpljenja sniženje doseglo gotovo 24 m i dalje se ubrzavalo. Crpljenje je prekinuto, a nakon povrata razine vode u zdenac u trajanju od 24 sata započelo je crpljenje s manjom crpnom količinom koja je iznosila 14 l/s. Crpljenje je trajalo sedam dana, a prema kraju crpljenja razina vode u zdencu je počela ubrzano padati. Na kraju crpljenja pratio se povrat razine vode u zdenac te je potom zaostalo sniženje u zdencu od 1,66 m u odnosu na inicijalnu razinu što ukazuje na pražnjenje vodonosnika odnosno rudarenje.

Kako su se tijekom crpljenja prvog zdenca pojavili neočekivani rezultati, crpljenje zdenca ZAl-2/15 započelo je manjom crpnom količinom koja je iznosila 10,5 l/s. Na kraju crpljenja koje je trajalo pet dana, i povrata razine vode u zdenac u trajanju 24 sata, razina vode se vratila gotovo na inicijalnu odnosno zaostalo je sniženje od 0,17 m.

U korist rezultata dugotrajnog pokusnog crpljenja ukazuju i rezultati interpretacije litološke građe vodonosnika koja je napravljena na temelju načinjenih hidrogeoloških profila na području crpilišta. Dva profila se protežu duž zaravni istraživanog područja, dok su druga dva okomita na njih. Profili ne pokrivaju područje vodonosnika zapadno od crpljenih zdenaca ZAl-1/15 i ZAl-2/15. Prema analizi načinjenih profila može se zaključiti kako je dominantno taloženje krupnozrnatih čestica bilo u pravcu pružanja zdenaca ZAl-1/15 i ZAl-2/15, ili čak nešto zapadnije od njih, dok su se istočno njima taložile znatno sitnije čestice. Može se zaključiti kako se u pravcu pružanja ova dva zdenca nalazio glavni tok koji je donosio krupnozrnati materijal s gorja sjeverno od lokacije. Obodni dijelovi predstavljaju neki oblik poplavnih ravnica gdje se dominantno taložio sitnozrnati materijal, a krupnozrnati materijal bi na ta područja bio odlagan samo tijekom većih poplava, pa se on na tim područjima nalazi u obliku leća šljunaka. Također se može zaključiti kako se vodonosnik i na zapadnom dijelu gubi, odnosni isklinjava te postaje znatno manje propusan, na što ukazuje veliki razvoj sniženja tijekom dugotrajnog crpljenja što se manifestira kao postojanje barijera.

U prethodnim interpretacijama pokusnog crpljenja prilikom izvedbe zdenca postignute su izrazito visoke vrijednosti parametara vodonosnika i zdenaca. Prema tako dobivenim vrijednostima moglo bi se zaključiti da se radi o izrazito propusnom i izdašnom vodonosniku. S druge strane dugotrajnim pokusnim crpljenjem su postignuti rezultati koji pokazuju potpuno druge okolnosti. Iz tog razloga kako bi se izbjegle krive interpretacije i zaključci, prilikom hidrogeoloških istraživanja nekog područja potrebno je uzeti u obzir metodu dugotrajnog pokusnih crpljenja, koja za razliku od jeftinijeg kratkotrajnog pokusnog crpljenja daje puno preciznije podatke. Unatoč tome što to iziskuje dodatne troškove, sagledavši na ukupnu štetu koju bi uzrokovale krive interpretacije prvotno dobivenih podataka, izvedbom dugotrajnog pokusnog crpljenja krajnji troškovi se svode na minimum.

Na temelju dobivenih rezultata pokusnog crpljenja, na crpilištu Treštanovci se za dugotrajnu pouzdanu vodoopskrbu može zahvatiti oko 20 l/s vode. Konačna izdašnost zdenaca, moći će se korigirati tek u dugotrajnom korištenju. Dugotrajna pokusna crpljenja su se provodila na kraju dugog izrazito suhog razdoblja. Dakle moglo bi se pretpostaviti da se u kišnim razdobljima u vrijeme značajnijeg „punjenja“ vodonosnika može zahvatiti i veća količina podzemne vode, ali bi se to moglo potvrditi tek tijekom gospodarenja, a to nije predmet ove analize.

7. Literatura

HLEVNJAK, B., 2017. Vodoopskrbni sustav Požege; Hidrogeološka istraživanja crpilišta Treštanovci; Dugotrajno pokusno crpljenje. Izvješće. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

JACOB, C.E., 1946. Radial flow in a leaky artesian aquifer. Transactions American Geophysical Union 27, str.198-208

JAMIČIĆ, D., BRKIĆ, M., 1987. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000; List Orahovica L33-96. Zagreb: Geološki zavod, Beograd: Savezni geološki zavod, str. 68

JAMIČIĆ, D., BRKIĆ, M., CRNKO, J., VRAGOVIĆ, M., 1987. Tumač za list Orahovica L33-96. Zagreb: Geološki zavod, Beograd: Savezni geološki zavod

TOŠEVSKI, A., TRUTIN, M., VLAŠIĆ, M., 2016. Izvješće o nastavku hidrogeoloških istraživanja na području Treštanovca. Zagreb: GEOKON – ZAGREB d.d., E-050-16-01/ IZV-16-003

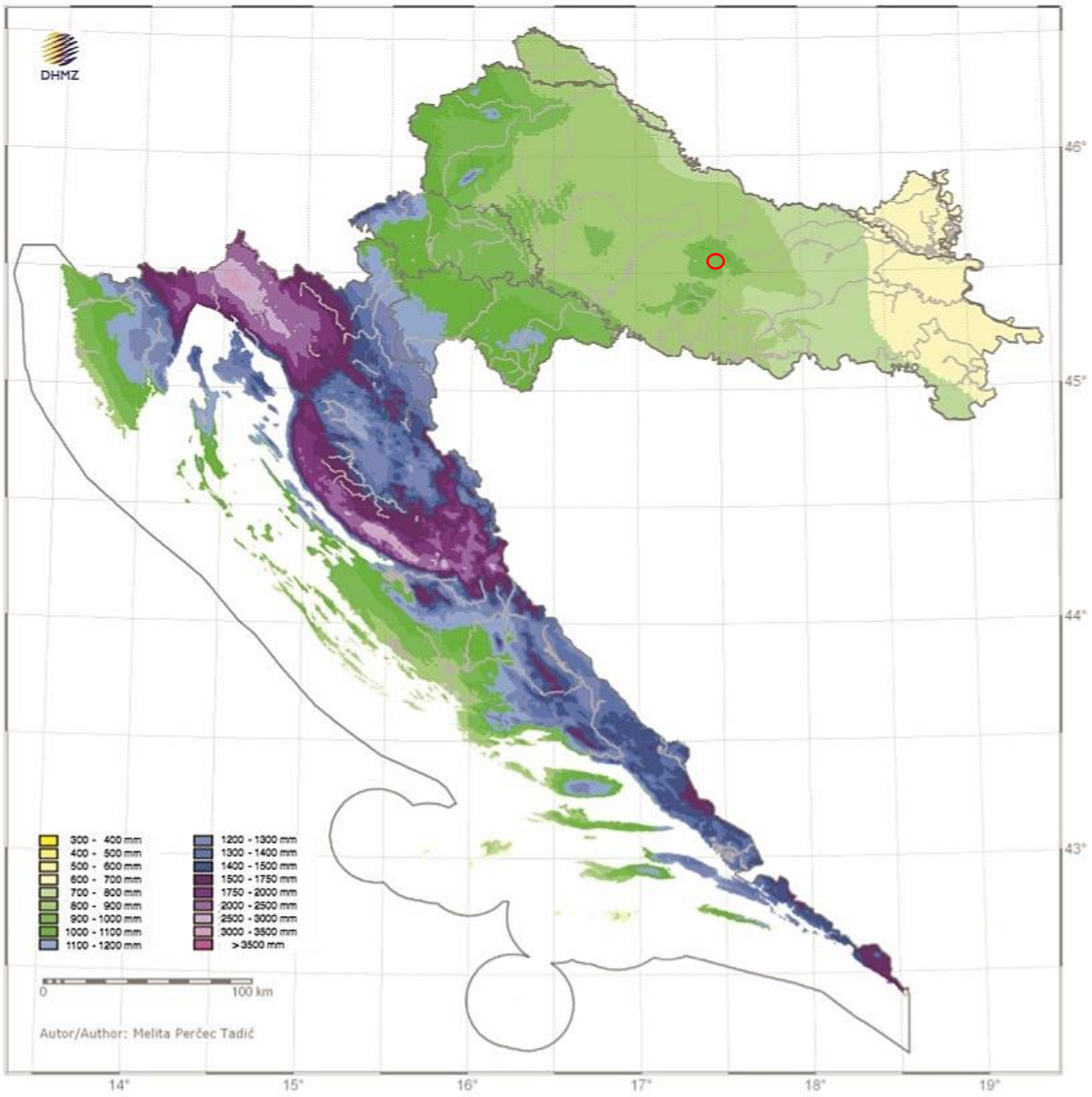
ZANINOVIĆ, K., GAJIĆ-ČAPKA, M., PERČEC TADIĆ, M., VUČETIĆ, M., MILKOVIĆ, J., BAJIĆ, A., CINDRĆ, K., CVITAN, L., KATUŠIN, Z., KAUČIĆ, D., LISKO, T., LONČAR, E., LONČAR, Ž., MIHAJLOVIĆ, D., PANDŽIĆ, K., PATARČIĆ, M., SRNEC, L., VUČETIĆ, V., 2008. Klimatski atlas Hrvatske: 1961 – 1990., 1971 – 2000. Zagreb: Državni hidrometeorološki zavod

Internetski izvori:

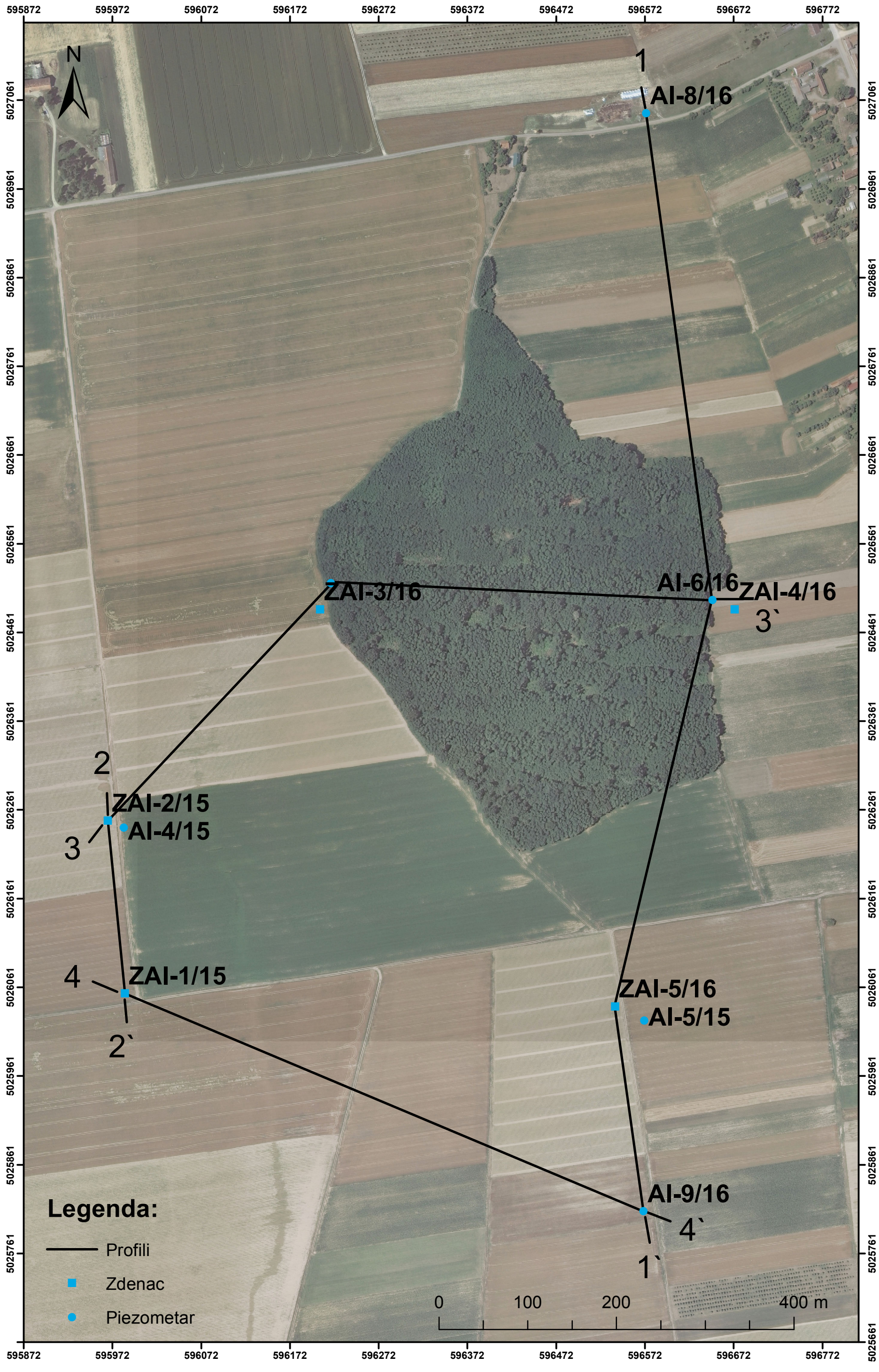
https://geoportal.dgu.hr/ (pristupljeno: 8.7.2018.)

Prilog 1

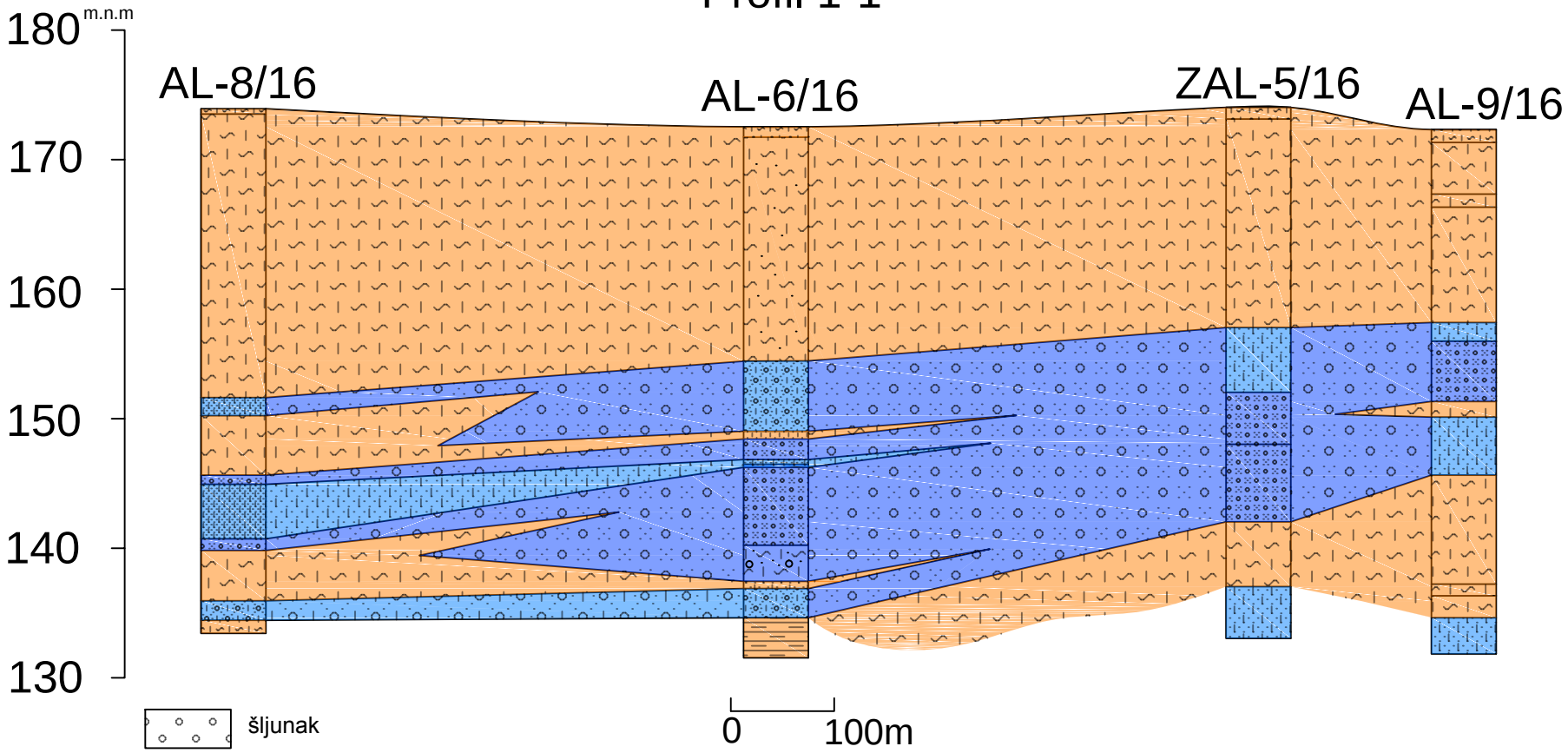
Srednja godišnja količina oborina s ucrtanom oznakom istraživanog područja (○)



Prilog 2
Prikaz pružanja hidrogeoloških profila



Profil 1-1'

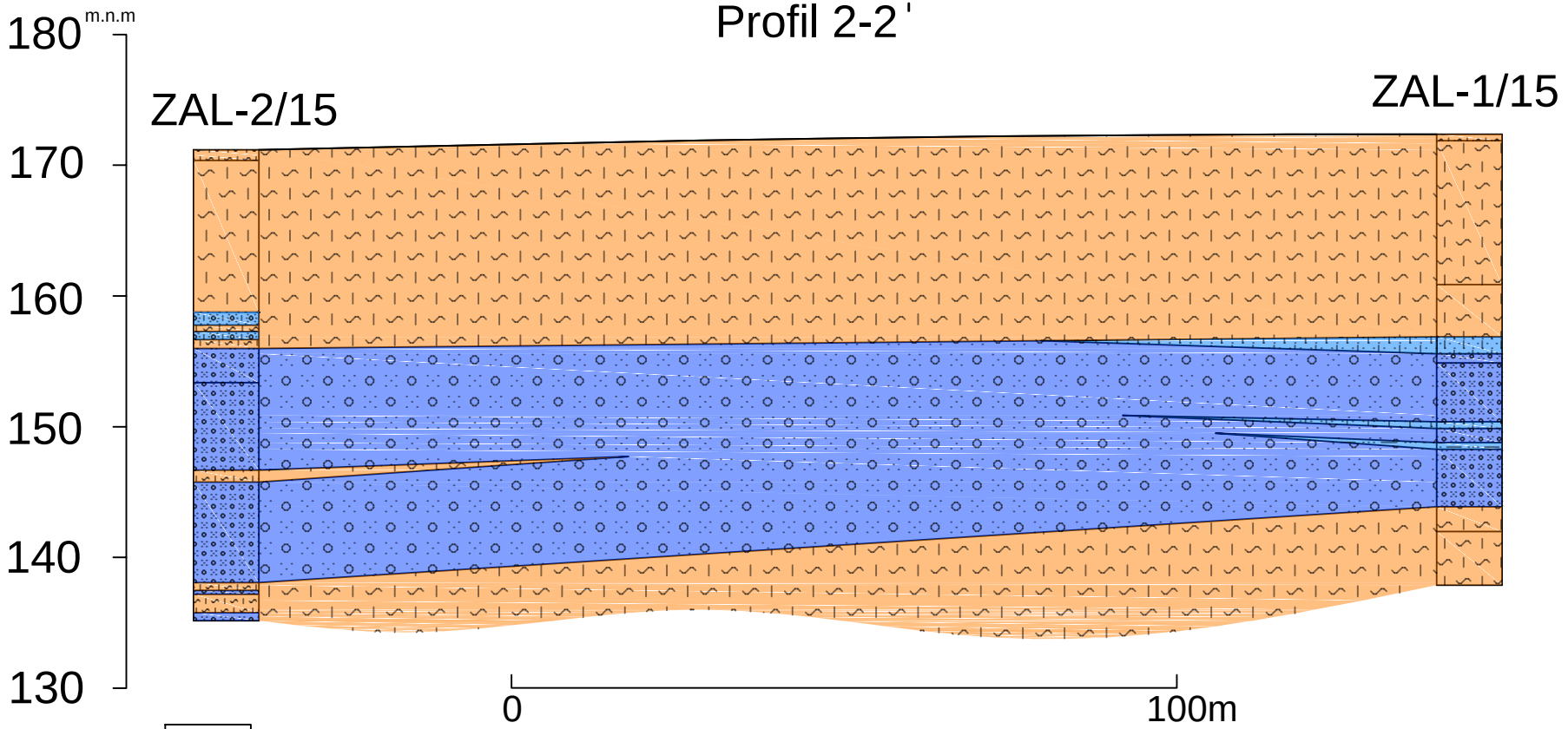


Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO GEOLOŠKO NAFTNI FAKULTET

Diplomski rad
Romanna Sofia Randić

Prilog 3
Hidrogeološki profil 1-1', prema Prilogu 2

Profil 2-2'

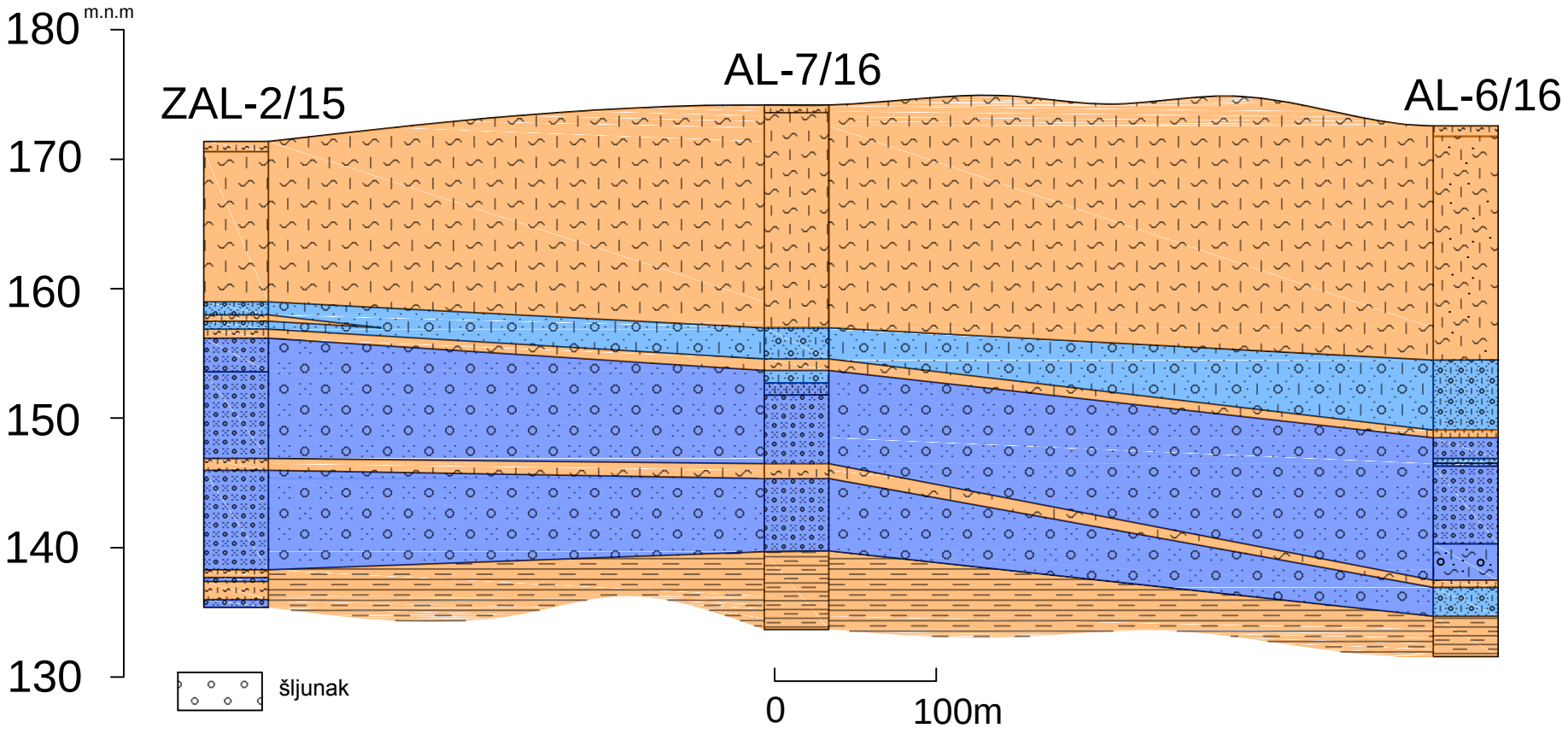


Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO GEOLOŠKO NAFTNI FAKULTET

Diplomski rad
Romanna Sofia Randić

Prilog 4
Hidrogeološki profil 2-2', prema Prilogu 2

Profil 3-3'

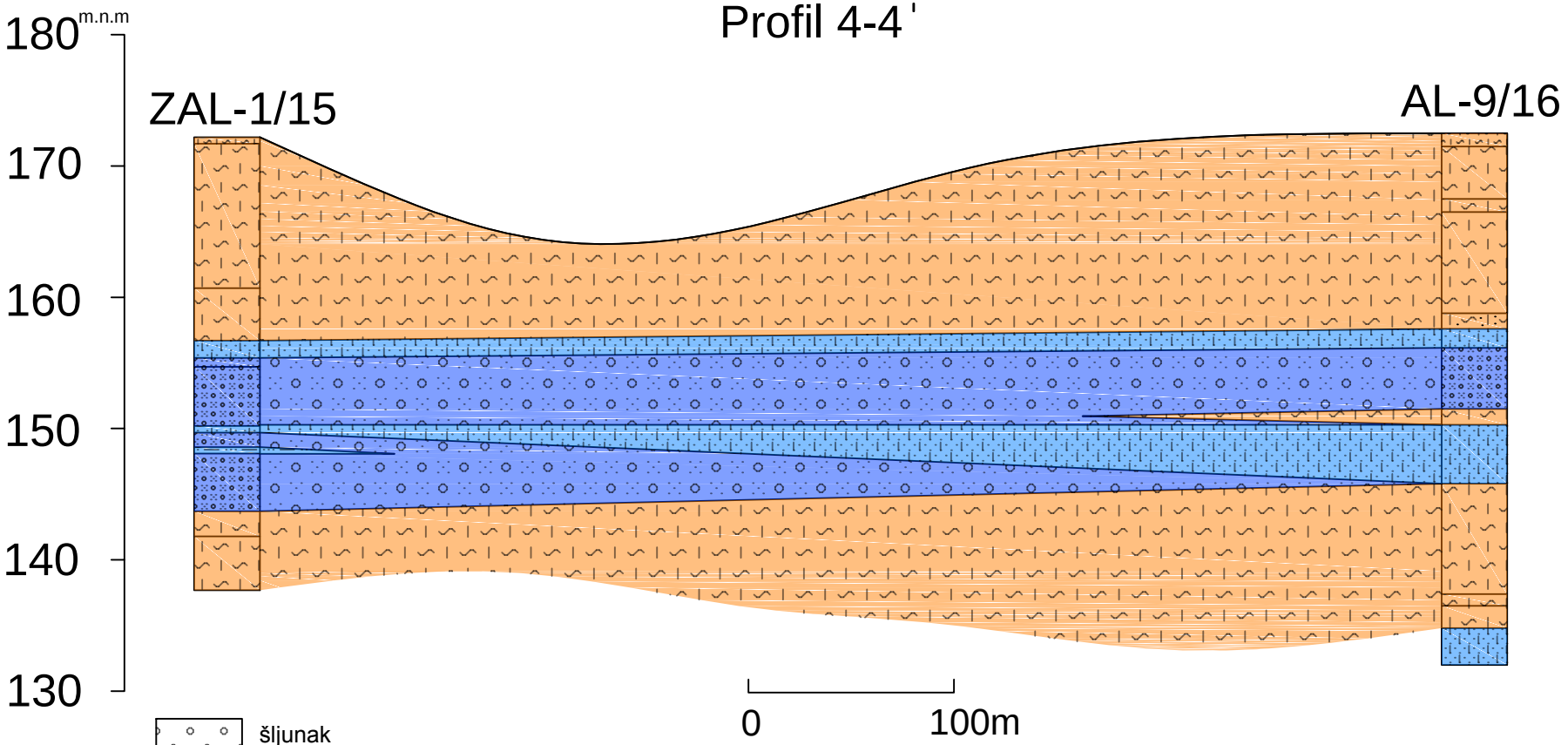


Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO GEOLOŠKO NAFTNI FAKULTET

Diplomski rad
Romanna Sofia Randić

Prilog 5
Hidrogeološki profil 3-3', prema Prilogu 2

Profil 4-4'



Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO GEOLOŠKO NAFTNI FAKULTET

Diplomski rad
Romanna Sofia Randić

Prilog 6
Hidrogeološki profil 4-4', prema Prilogu 2