

# Izračun hidrogeoloških parametara na izvorištu Sajmište u Tovarniku

---

**Svetina, Nikola**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*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:169:649582>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-07**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Preddiplomski studij geološkog inženjerstva

IZRAČUN HIDROGEOLOŠKIH PARAMETARA  
NA IZVORIŠTU SAJMIŠTE U TOVARNIKU

ZAVRŠNI RAD

**Nikola Svetina**

**GI-2091**

Zagreb, 2021.

Sveučilište u Zagrebu

Završni rad

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

IZRAČUN HIDROGEOLOŠKIH PARAMETARA  
NA IZVORIŠTU SAJMIŠTE U TOVARNIKU

Nikola Svetina

Završni rad izrađen u : Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Svrha ovog završnog rada je interpretacija podataka dobivenih pokusnim crpljenjem na vodozahvatoj bušotini, s ciljem određivanja hidrogeoloških parametara korištenjem Jacob-Cooperove, Thiesove i Thiesove metode povratka razine te su vrijednosti izračunatih parametara uspoređeni s rezultatima prethodnih istraživanja i litologijom naslaga.

Ključne riječi: izvorište Sajmište, Thiesova metoda, Jacob-Cooperova metoda, Thiesova metoda povratka razine, hidrogeološki parametri

Završni rad sadrži: 29 stranica, 12 slike, 15 tablica

Jezik izvornika: hrvatski

Mentor: Doc. dr. sc. Zoran Kovač

Komentor: Dr. sc. Jasna Kopic

Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Zoran Kovač

Izv. prof. dr. sc. Jelena Parlov

Prof. dr. sc. Zoran Nakić

Datum obrane: 21.09.2021 godine, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

## Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Geološke, litološke i hidrogeološke značajke .....	2
2.1. Geološke značajke .....	2
2.2. Litološke značajke.....	6
2.3. Hidrogeološke značajke na lokaciji izvorišta.....	8
3. Tehnički opis piezometra i zdenca .....	9
4. Pokusno crpljenje i izračun hidrogeoloških parametara.....	10
4.1. Theisova metoda .....	12
4.2. Jacob-Cooperova metoda .....	13
5. Rezultati .....	15
5.1. Rezultati dobiveni Theisovom i Jacob-Cooperovom metodom koristeći podatke iz pokusnih crpljenja .....	16
5.1.1. Theisova metoda .....	18
5.1.2. Jacob-Cooper metoda.....	20
5.1.3. Thiesova metoda povratka razine.....	22
5.2. Usporedba svih rezultata .....	27
6. Zaključak.....	28
7. Literatura .....	29

## Popis slika

Slika 2.1. Isječak OGK lista Bačka Palanka na užem području izvorišta Sajmište u Tovarniku(Galović, (1984.); Nakić, Z. i Kovač, Z., (2020.).....	5
Slika 2.2. Litološko-tehnološki profil zdenca ZT-3/19 (Šimundić & et al., 2019.) .....	7
Slika 5.1. Graf vrijeme $t$ i sniženje $s$ za crpljenje stalnom količinom u piezometru PT-1/19..	18
Slika 5.2. Graf vrijeme $t$ i sniženje $s$ za crpljenje stalnom količinom u zdencu ZT-3/19 .....	18
Slika 5.3. Graf vrijeme $t$ i sniženje $s$ za crpljenje stalnom količinom u zdencu ZT-3/19 .....	19
Slika 5.4. Graf vrijeme-sniženje za piezometar PT-1/19	<b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b>
Slika 5.5. Graf vrijeme-sniženje za 1.KONSTANT-test zdenca ZT-3/19 .....	20
Slika 5.6. Graf vrijeme-sniženje za 2.KONSTANT-test zdenca ZT-3/19 .....	21
Slika 5.7. Graf $t/t'$ -sniženje za STEP-test povrat ( $Q_3$ ) za PT-1/19 .....	23
Slika 5.8. Graf $t/t'$ -sniženje za KONSTANT-test povrat ( $Q_3$ ) za PT-1/19 .....	23
Slika 5.9. Graf $t/t'$ -sniženje za STEP-test povrat ( $Q_3$ ) za ZT-3/19 .....	24
Slika 5.10. Graf $t/t'$ -sniženje za KONSTANT-test povrat ( $Q_3$ ) za ZT-3/19 .....	25

## Popis tablica

Tablica 2.1. Podaci dobiveni pokusnim crpljenjem na zdencu ZT-3/19 (Šimundić et al.,2019.) .....	8
Tablica 5.1. Ulazni podaci za izradu grafa Theis-ovom i Jacob-Cooper-ovom metodom, vrijeme $t$ u minutama(min) i sniženje razine $s$ u metrima(m) za piezometar PT-1/19.....	16
Tablica 5.2. Ulazni podaci za izradu grafova Theis-ovom i Jacob-Cooper-ovom metodom, vrijeme $t$ u minutama (min) i sniženje razine $s$ u metrima (m) za prvi konstant test zdenca - ZT - 3/19 .....	17
Tablica 5.3. Ulazni podaci za izradu grafova Theis-ovom i Jacob-Cooper-ovom metodom, vrijeme $t$ u minutama (min) i sniženje razine $s$ u metrima (m) za drugi konstant test zdenca - ZT - 3/19.....	17
Tablica 5.4. Ulazni podaci korišteni u izračunu hidroloških parametara Theisovom metodom za piezometar PT-1/19 i zdenac ZT-3/19 .....	19
Tablica 5.5. Rezultati dobiveni interpretacijom podataka pokusnog crpljenja piezometra PT-1/19 i zdenca ZT-3/19 .....	19

Tablica 5.6. Ulazni podaci korišteni u izračunu hidroloških parametara Jacob-Cooperovom metodom za piezometar PT-1/19 i zdenac ZT-3/19 (1. i 2. konstant-test).....	21
Tablica 5.7. Rezultati dobiveni interpretacijom podataka pokusnog crpljenja piezometra PT-1/19 i zdenca ZT-3/19 .....	22
Tablica 5.8. Ulazni podaci za izračun Theis-ove metode povrata za STEP-test i KONSTANT-test, vrijeme t u minutama (min) i sniženje razine s u metrima (m) za piezometar PT-1/19 ...	22
Tablica 5.9. Ulazni podaci za izračun Theis-ove metode povrata za STEP-test i KONSTANT-test, vrijeme t u minutama (min) i sniženje razine s u metrima (m) za zdenac ZT-3/19 .....	24
Tablica 5.10. . Ulazni podaci korišteni u izračunu STEP-test povrat i KONSTANT-test povrat za piezometar PT-1/19 .....	25
Tablica 5.11. Rezultati dobiveni interpretacijom podataka pokusnog crpljenja piezometra PT-1/19.....	25
Tablica 5.12. Ulazni podaci korišteni u izračunu STEP-test povrat i KONSTANT-test povrat za zdenac ZT-3/19 .....	26
Tablica 5.13. Rezultati dobiveni interpretacijom podataka pokusnog crpljenja zdenca ZT-3/19 .....	26
Tablica 5.14. . Usporedba svih izračunatih rezultata pomoću hidrogeoloških parametara.....	27

# 1. Uvod

Završni rad obuhvaća obradu i interpretaciju podataka na temelju pokusno-eksploatacijskog zdenca za proširenje i osiguravanje postojećeg crpnog kapaciteta na vodocrpilištu „Sajmište“ u Tovarniku kao zamjene za zdenac B-1 iz 1977.godine, koji zbog starosti više nije adekvatan za svoju funkciju.

Tovarnik je općina (obuhvaća naselja Ilaču i Tovarnik) u Hrvatskoj u Vukovarsko-srijemskoj županiji, smještena tridesetak kilometara jugoistočno od Vinkovaca.

U razdoblju od 18. kolovoza do 4. rujna 2019.godine izvedena je strukturno-piezometarska bušotina PT-1/19 s ciljem utvrđivanja detaljnog litološkog sastava, razine i kvalitete vode na zahvaćenom području.

S obzirom na dobivene rezultate iz bušotine PT-1/19, pokrenuta je izrada zdenca ZT-3/19 u rujnu 2019.godine. Svrha izrade pokusno-eksploatacijskog zdenca je osiguranje i proširenje kapaciteta te ostvarivanje odgovarajuće kontinuiranosti i stabilnosti vodoopskrbnog sustava općine Tovarnik. Iz vodoopskrbnog sustava Tovarnik opskrbljuju se naselja u Općini Nijemi: Nijemci, Đeletovci, Podgrađe, Apševci, Lipovac PUO Spačva, GP Bajakovo, Banovci i Vinkovački Banovci-

U okviru ovog rada napravljena je interpretacija podataka pomoću Thiesove, Jacob Cooper-ove i Thiesove metode povratka razine s ciljem određivanja hidrogeoloških parametara vodonosnog sloja.

## **2. Geološke, litološke i hidrogeološke značajke**

### **2.1. Geološke značajke**

Dvije su glavne morfološke jedinice u području Istočne Slavonije.

Savska ravnica prostire se većim dijelom područja, a praporni ravnjaci nadvisuju dolinu Save i Drave u formi djelomično erodirane terase i definiraju razvodnicu dviju rijeka. Granica savske ravnice i prapornih ravnjaka uvjetovana je tektonskim kretanjima, a za ova područja karakteristična je intenzivna tektonska aktivnost kroz geološku prošlost. Navedene naslage potiču iz srednjeg i gornjeg pleistocena kada je bosansko i slavonsko gorje bilo kopno podložno trošenju dok je područje istočne Slavonije bilo prekriveno plitkim vodama stajaćicama (Nakić i Žugaj, 2008a.).

U hladnijim razdobljima rijeke i potoci povlače se u korita, pa prenose manje materijala te stvaraju plići taložni prostor i taloženje sitnozrnatih sedimenata u jezerima i močvarama. Bujanje voda uzrokovano toplijim razdobljima donose veliku količinu krupnog klastičnog materijala u močvare i jezera, posljedično tome, dolazi do njihovog širenja i spajanja gdje je to moguće. Slijed taloženja propusnih sedimenata počinje velikim, slabo sortiranim česticama, nastavlja se jednolikim pijescima, a završava prahom i glinom. Takav raspored dovodi do litološke heterogenosti naslaga u horizontalnom i vertikalnom smjeru

Tanki slojevi često isklinjavaju, dok je deblje moguće pratiti u cijelom prostoru Dominantu ulogu u transportu materijala ima vjetar (Nakić i Žugaj, 2008a.).

Rijeke prenose većinu materijala u Slavonsko-srijemskoj potolini s glavnim smjerom od juga prema sjeveru, što je uzrokovalo smanjenje veličine zrna. Stoga se na jugu uz Savu nalazi taložen šljunak, a prema sjeveru pijesak. Na Đakovačko-vinkovačkom i Vukovarskom ravnjaku, koji su tijekom srednjega i gornjega ili dijela gornjega pleistocena bili podvodno uzvišenje, miješao se materijal sa sjevera, odnosno sjeverozapada s onim s juga, odnosno jugozapada. Ravnjaci u morfološkom i strukturno-tektonskom pogledu predstavljaju složene timorske strukture, koje su od susjednih potolina odvojene sustavima dubokih rasjeda koji zadiru u podlogu tercijarnih sedimenata. Kod Vinkovaca, Đakovačko-vinkovački ravnjak je



prekriven s otprilike 17 do 20 m debelim pokrovom pleistocenskoga prapora (lesa) (Nakić i Žugaj, 2008a.).

Postanak Sjevernog i Južnog rasjeda vezan je za laramijsku orogenezu na prijelazu gornje krede u tercijar. Južni se pruža na relaciji Đakovo-Vinkovci, a Sjeverni od naselja Vuka do Vinkovaca. Međutim, najintenzivnija tektonska gibanja vezana su za tercijar i početak kvartara kada se rasjedanje odvijalo u okviru rasjedne zone. Posljedično, formirane su razmjerno debele naslage tercijara i kvartara unutar kojih se izmjenjuju faze sedimentacije glinovito prašinstih i pjeskovitih naslaga. Ciklus taloženja završio je kopnenom fazom u doba mlađega pleistocena za koju je karakteristično nasipavanje prapora te riječna erozija i akumulacija (Nakić i Žugaj, 2008b.).

Na procese taloženja značajno utječu i tektonski pokreti istočne Slavonije, prisutni sve do recentnog doba. Ravnjak se duž sjeverne i južne rasjedne zone diferencirano izdignuo u odnosu na sjevernu i južnu potolinu, da bi tek početkom holocena u cijelosti postao kopno uz prisustvo voda dviju potolinu duž dubokih dolina (Bačani, 1997.).

Izvorište Sajmište u Tovarniku nalazi se u području prostiranja Vuka formacije, gdje su izdvojene tri osnovne faze sedimentacije.

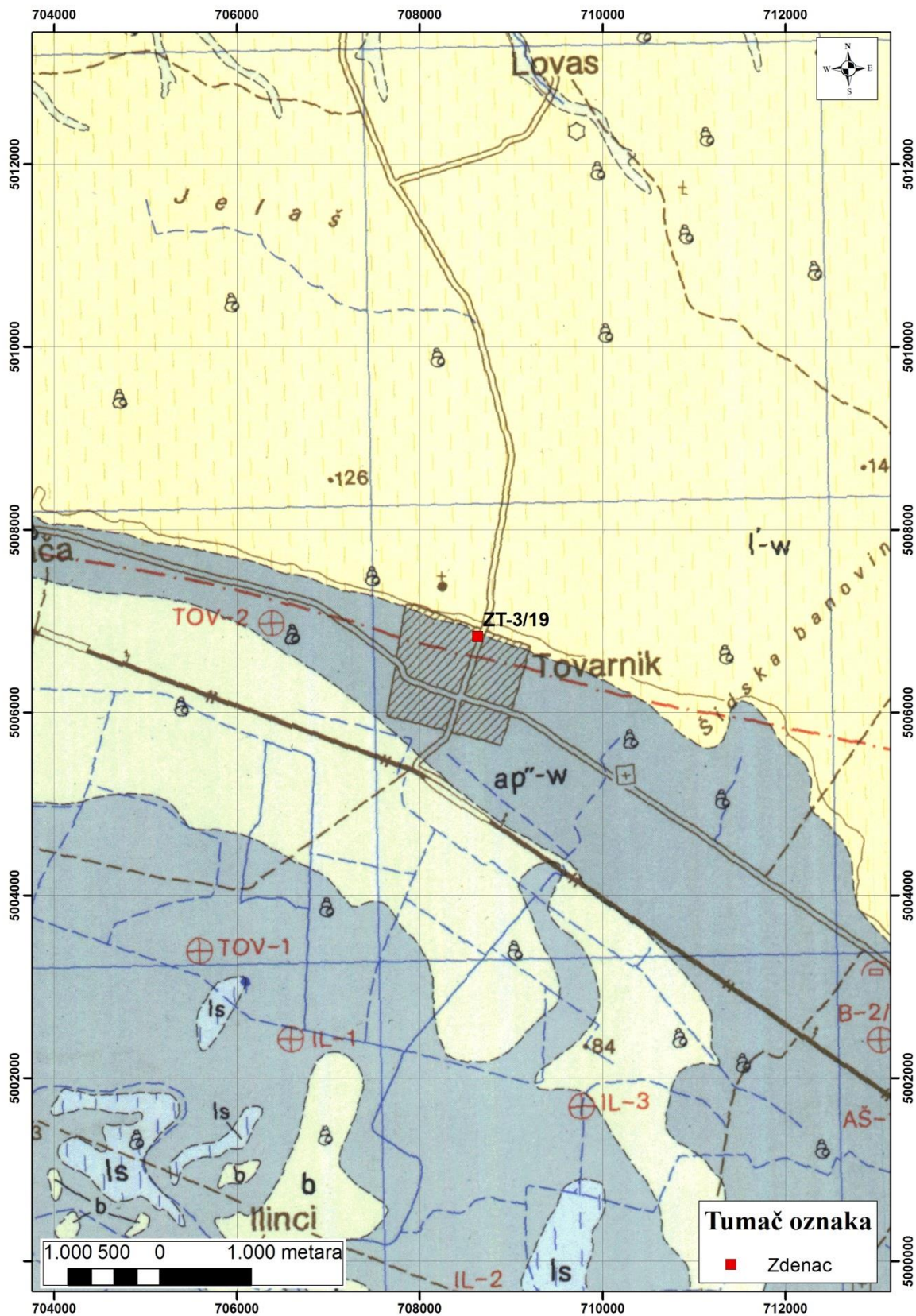
Donji dio, na dubini većoj od 600m, prevladavaju krupno klastične naslage. Što se više kreće prema istoku, raste njihova debljina i udio pjeskovitih slojeva. Taloženje glinovitih materijala s tankim proslojcima pijeska je druga faza sedimentacije.

Zadnju fazu karakterizira naizmjenična sedimentacija pjeskovito-šljunkovitih i glinovito-prašinstih naslaga koja je prostorno ograničena (Hernitz, 1983.).

Geološke značajke izvorišta Sajmište u Tovarniku prikazane su na isječku OGK lista Bačka Palanka (Galović, 1984.; Slika 2.1.). Na užem području izvorišta Sajmište u Tovarniku na površini se mogu izdvojiti sljedeće jedinice (Galović, 1983.; Nakić i Žugaj, 2008a.):

- Barski sedimenti (*b*) su holocenske starosti taloženi na širokom prostoru južno od lesnoga ravnjaka sve do Save. Ispunjavaju blage depresije, dijelom uvjetovane tektonskim gibanjima. Izgrađuju ih plavičasto-smeđe, tamne, sivo-crne siltozne gline, često i tresetnoga tipa. Debljina im varira od 0,2 do 0,9 m.

- Lesoidi (*ls*) su holocenske starosti i nalaze se uz rijeku Bosut i oko naselja Nijemci. Predstavljani su prašinastim glinama, glinovitim siltovima i siltovima. Debljina ovih naslaga se kreće od 0,5 do 1,5 m.
- Sedimenti poplavnih područja (*ap''-w*) su pleistocenske starosti. Taloženi su u uskoj zoni južno od prapornih naslaga. Uglavnom se radi o siltozno-glinovitim, glinovitim i siltozno-pjeskovitim naslagama. Debljina sedimenata se kreće od 0,5 do 1,5 m.
- Prapor ili les (*l'-w*) je pleistocenske starosti te izgrađuje Đakovačko-vinkovački i Vukovarski lesni ravnjak. To je žutosmeđi prah donesen vjetrom, slabo vezan, mjestimice porozan, s cjevastim šupljinama od istrunuloga bilja. Prema podini mu se poroznost smanjuje, a pokazuje i vertikalno lučenje. Uz eolski materijal u lesu se nalazi i doneseni prah i pijesak iz napuštenih riječnih i lesnih prostora. Ustanovljeno je da u podini lesa mjestimično leži barski les te žuti do sivi stariji siltni pijesci. Drugim riječima, les je padao na vodenu i kopnenu sredinu. Debljina lesa varira od 6 do 18 m.



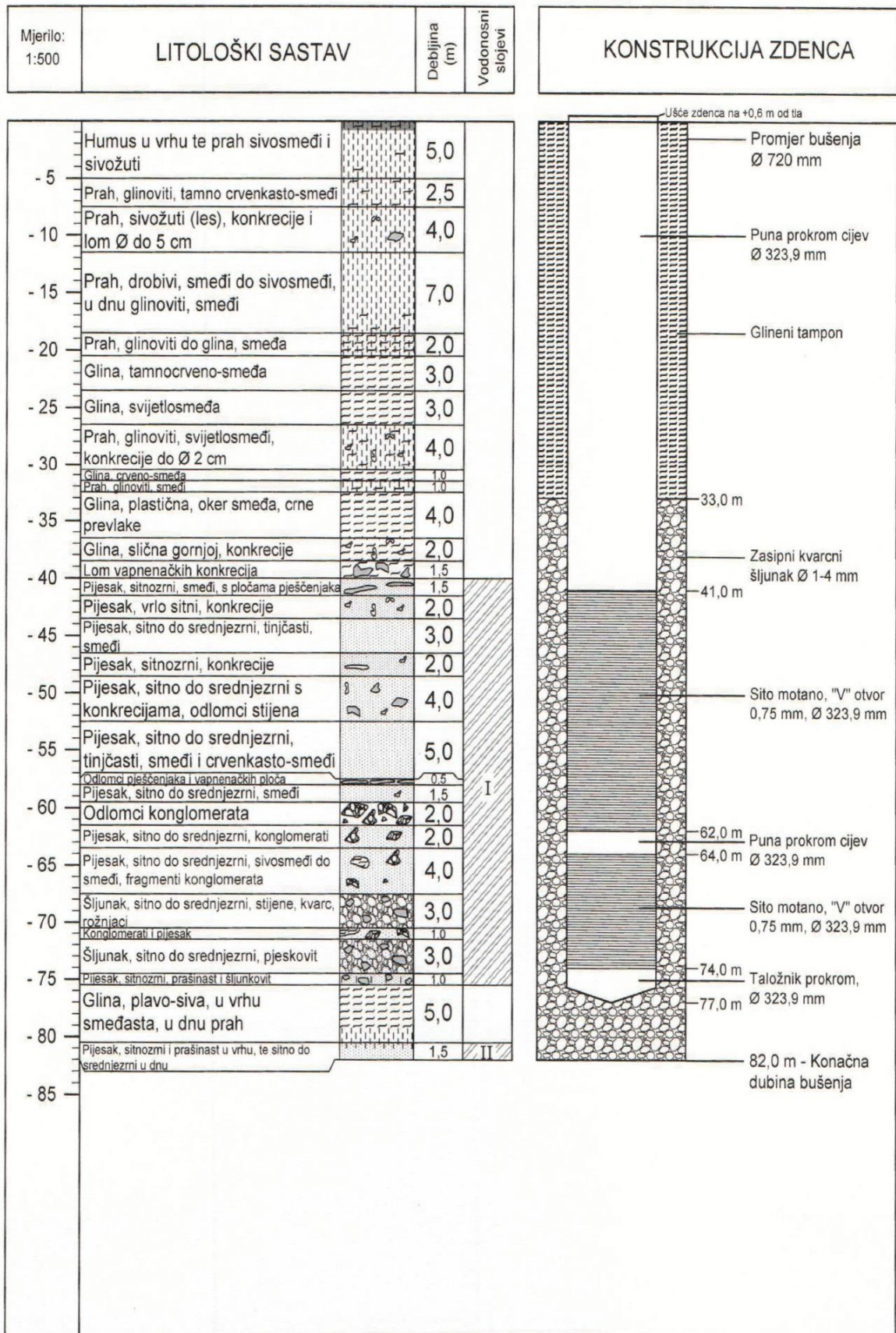
Slika 2.1. Isječak OGK lista Bačka Palanka na užem području izvorišta Sajmište u Tovarniku (Galović, 1984.; Nakić, Z. i Kovač, Z., 2020.)

## 2.2. Litološke značajke

Litološke značajke naslaga na lokaciji izvorišta Sajmište u Tovarniku prikazane su na temelju detaljne determinacije jezgre iz zdenca ZT-3/19 (Šimundić et al., 2019.). Zdenac ZT-3/19 izveden je do dubine od 82 m. Prvih 5 m prevladava prah i humus pa slijede 15,5 m debele prahovite naslage. Nakon njih slijedi paket u kojem se izmjenjuju glinovite i prahovite naslage debeo 19,5 m. Zatim dolazi 35,5 m kaptiranih dominantno pjeskovitih naslaga.

Pijesci su raznobojni te raznih veličina, a sam interval sadrži tanke slojeve s odlomcima pješčenjaka, konglomerata i vapnenačkih ploča. Ispod njih dolazi 5 m debeo sloj gline, poslije kojeg, opet prevladavaju pijesci.

Vodonosni sloj prostire se na dubini od 41 do 74 m te ukupna debljina filtra iznosi 31 m. Značajke litološkoga sastava na lokaciji izvorišta Sajmište u Tovarniku su velike debljine slabo propusnih glinovitih i prašiniastih naslaga u površinskim dijelovima naslaga te postojanje dominantno pjeskovitih naslaga velike debljine na dubinama većim od 40 m.



Slika 2.2. Litološko-tehnološki profil zdenca ZT-3/19 (Šimundić & et al., 2019.)

### 2.3. Hidrogeološke značajke na lokaciji izvorišta

Zdenac ZT-3/19 izveden je 2019. godine. Zdencom su zahvaćeni dominantno pjeskoviti slojevi ukupne debljine 31 m. Vodonosni slojevi protežu se u dva dijela, prvi se proteže od 41 do 62 m, a drugi se proteže od 64 do 74 m (Šimundić et al., 2019.).

Rezultati pokusnog crpljenja zdenca ZT-3/19 prikazani su u Tablici 2.2. (Šimundić et al., 2019). Budući da se iznad zahvaćenog zahvaćenog vodonosnog sloja nalazi debeli paket slabo propusnih naslaga, za pretpostaviti je kako krovinske naslage na promatranom izvorištu predstavljaju dobru zaštitu vodonosnih slojeva od procjeđivanja potencijalnih onečišćivala s površine.

**Tablica 2.1. Podaci dobiveni pokusnim crpljenjem na zdencu ZT-3/19 (Šimundić et al.,2019.)**

<b>Zdenac ZT-3/19</b>	
<b>STATIČKA RAZINA (m) (od terena)</b>	13,69
<b>SNIŽENJE (m)</b>	5,95
<b>ZAHVAĆENA DEBLJINA VODONOSNIKA (m)</b>	31
<b>DOZVOLJENI KAPACITET ZDENCA (l/s)</b>	25,83
<b>OPTIMALNI KAPACITET ZDENCA (l/s)</b>	19,375
<b>HIDRAULIČKA VODLJIVOST (K) (m/s)</b>	$1,25 \cdot 10^{-4}$
<b>TRANSMISIVNOST (T) (m<sup>2</sup>/s)</b>	$3,88 \cdot 10^{-3}$
<b>USKLADIŠTENJE (S)</b>	$5,63 \cdot 10^{-4}$

### 3. Tehnički opis piezometra i zdenca

Na lokaciji Sajmište izvedeno je bušenje piezometra PT-1/19 s kontinuiranim jezgrovanjem, ugradnja piezometarske konstrukcije, zasipa i tampona, osvajanje piezometra, pokusno crpljenje te uzorkovanje i analiza vode. Radovi na izvedbi piezometra trajali su u razdoblju od 19. kolovoza do 4. rujna 2019. godine (Šimundić, et al., 2019.)

Temeljem rezultata dobivenih izvedbom strukturno-piezometarske bušotine pristupilo se izradi zdenca ZT-3/19, provedeno je bušenje, ugradnja konstrukcije zdenca, zasipa i tampona, osvajanje samog zdenca te uzorkovanje i analiza vode nakon pokusnog crpljenja.

Zdenac je bušen garniturom CONRAD-COMAX 800, MK-II. Pripremno bušenje je izvedeno „na suho“ bušačom „šapom“ do dubine od 4 m, promjera 900 mm. U tom intervalu je ugrađena zaštitna kolona promjera 800 mm i dužine 3,8 m. Konačno bušenje izvedeno je reverznom metodom uz ispiranje bušotine laganom bentonitnom isplakom gustoće  $1,015 \text{ kg/dm}^3$ . Promjer bušenja je bio 720 mm, a ukupna dubina bušenja je iznosila 82 m. Tijekom bušenja uzimani su uzorci na svakih jedan metar, dok su u pjeskovitim dijelovima uzimani uzorci svakih pola metra. Po završetku bušenja ugrađena je konstrukcija zdenca. Za polaganje cijevne konstrukcije pripremljene su slijepe (pune) prokrom cijevi (SS 304/1, 4301) promjera 323,9 mm, debljine stijenki 7 mm, te prokrom zdenačka sita motanog tipa „V“ otvora s perforacijom 0,75 mm, promjera 323,9 mm, tipa „Paparelli“. Taložnik je izgrađen od slijepe prokrom cijevi promjera 323,9 mm, zatvorene konusnim dnom. Konstrukcija je ugrađena u bušotinu do dubine od 77 m, a intervali sa sitima su raspoređeni u dva paketa ukupne debljine 31 m. Cijevna konstrukcija spojena je elektro-zavarivanjem pomoću spojnih prstenova (Šimundić et al., 2019.).

## 4. Pokusno crpljenje i izračun hidrogeoloških parametara

Pokusnim crpljenjem testira se vodonosni sloj i zdenac, odnosno, određuju se hidrogeološki parametri vodonosnog sloja i parametri zdenca. Princip na kojem se temelji pokusno crpljenje sastoji se u tome, što se iz zdenca koji ima filterski dio u vodonosnom sloju koji se testira, crpi voda određenim kapacitetom kroz određeno vrijeme. Tijekom pokusnog crpljenja opažena su sniženja u crpljenom zdencu i u piezometrima. Hidrogeološki parametri vodonosnog sloja izračunavaju se pomoću određenih formula u koje se uvrštavaju poznate i izmjerene veličine, tj. sniženje u piezometrima, udaljenost piezometara od zdenca i crpna količina. Postupak pokusnog crpljenja provodi se isključivo u propusnim vodonosnim naslagama (Bačani, 2006.).

Izračunati parametri su transmisivnost (T), uskladištenje (S) te hidraulička vodljivost (K). Hidraulička vodljivost je hidrogeološki parametar koji se definira kao količina vode koja protječe kroz poprečni presjek vodonosne stijene jedinične površine uz jedinični hidraulički gradijent, a to je parametar koji brojačano prikazuje propusnost stijene i izražava se u m/s. Najskuplje, ali najtočnije ju je određivati terenski, pokusnim crpljenjem gdje se određuje transmisivnost. Dijeljenjem transmisivnosti debljinom sloja određuje se hidraulička vodljivost.

Uskladištenje (S) je volumen vode koji će otpustiti prizma vodonosnog sloja jedinične površine ako se piezometarska visina (h) snizi za 1 m, to je bezdimenzionalna veličina i značajka je zatvorenih i poluzatvorenih vodonosnih slojeva u kojima je voda pod tlakom većim od atmosferskog (Bačani, 2006.).

Transmisivnost (T) je hidrogeološki parametar koji se može definirati kao količinu vode koja protječe kroz poprečni presjek vodonosnog sloja, jedinične širine i ukupne debljine (m), uz jedinični hidraulički gradijent, izražava se u  $m^2 / dan$ ,  $m^2 / s$  ili  $cm^2 / s$  (Bačani, 2006.).

Pokusnim se crpljenjem osim spomenutih hidrogeoloških parametara određuju i parametri zdenca. Specifični kapacitet zdenca omjer je crpljenja i ukupnog sniženja u zdencu. Njime se pokazuje koliko vode ( $m^3/s$ ) zdenac daje po jednom metru sniženja, a to se sniženje u zdencu sastoji od dvije komponente; gubitka u sloju  $s_t$  koje je uzrokovano laminarnim tokom i gubitka u zdencu  $s_z$  koje je uzrokovano turbulentnim tokom. Odgovarajuća jednadžba ukupnog sniženja u zdencu je jednaka zbroju gubitka u sloju  $s_t$  te gubitku u zdencu  $s_z$ , a izgleda ovako:



$$s_u = s_t + s_z = AQ + CQ^2 \quad 4.1.$$

gdje A predstavlja konstantu koja se izražava u s/m<sup>2</sup>, C je konstanta izražena u s<sup>2</sup>/m<sup>5</sup>, a Q je crpna količina izražena u m<sup>3</sup>/s.

„Teoretsko sniženje“ naziv je za gubitak u sloju. To je sniženje kakvo bi postojalo da ne postoji turbulentni tok (CQ<sup>2</sup>=0). Teoretsko se sniženje može izraziti pomoću dvije jednadžbe; Theisove ili Jacobove. Mora se uzeti u obzir da se umjesto udaljenosti piezometra od zdenca  $r$  uvrštava polumjer zdenca  $r_z$ .

Prema Theisu ta jednadžba izgleda ovako:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad 4.2.$$

$$\text{U toj jednadžbi je: } u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad 4.3.$$

Jednadžba prema Jacobu:

$$s = \frac{2,3Q}{4\pi T} \log \frac{2,25Tt}{r^2 S} \quad 4.4.$$

U toj jednadžbi  $Q$  predstavlja crpnu količinu u m<sup>3</sup>/dan,  $s$  je „teoretsko sniženje“ na kraju crpljenja izraženo u metrima (m),  $T$  je transmisivnost u m<sup>2</sup>/dan,  $t$  je vrijeme trajanja crpljenja u danima,  $S$  uskladištenja (-) te  $r_z$  označava polumjer zdenca u metrima (m) (Bačani, 2006.).

## 4.1. Theisova metoda

Theisova metoda služi za određivanje hidrogeoloških parametara zatvorenog vodonosnog sloja, a postupak izračuna tih hidrogeoloških parametara je sljedeći: u prvom se koraku na paus papir/oleatu s dvostrukom logaritamskom podjelom na apscisu nanosi vrijeme ( $t$ ) proteklo od početka samog crpljenja, dok se na ordinatu nanosi sniženje ( $s$ ) i to se radi za svaki peizometar na posebnu oleatu. Zatim se ta dobivena krivulja postavlja preko tipske krivulje  $W(u) - l/u$  te se pronalazi najbolje mjesto podudaranja tipske i krivulje mjerenih podataka, a pri tome se pazi na paralelnost koordinatnih osi. Slijedi treći korak u kojem se odabire točka bilo kojeg djela oleate, koja ne mora biti na krivulji, te se očitavaju vrijednosti  $s$  i  $t$  s krivulje mjerenih podataka, a  $l/u$  i  $W(u)$  očitavaju se s tipske krivulje. Zatim slijedi uvrštavanje očitanih podataka u formule koje slijede u daljnjem tekstu:

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(u) \quad 4.5.$$

$$S = \frac{4Ttu}{r^2} \quad 4.6.$$

Gdje  $T$  označava transmisivnost u  $m^2/s$ ,  $S$  uskladištenje (-),  $Q$  crpnu količinu u  $m^3/s$ ,  $s$  predstavlja sniženje u metrima,  $W(u)$  je vrijednost funkcije zdenca (-),  $t$  vrijeme proteklo od početka crpljenja,  $u$  označava argument funkcije zdenca (-) i  $r$  je udaljenost piezometra od zdenca u metrima.

Hidraulička vodljivost  $K$  izračunava se kao omjer transmisivnosti  $T$  i debljine vodonosnog sloja  $m$  (Bačani, 2006.). Jednadžba za izračun  $K$  glasi:

$$K = \frac{T}{m} \quad 4.7.$$

## 4.2. Jacob-Cooperova metoda

Ova je metoda razvijena od strane Jacoba i Coopera kao što i samo ime glasi, a razvili su je na uzoru Theisove jednadžbe. Ova metoda služi za izračun hidrogeoloških parametara zatvorenog vodonosnog sloja uz nestacionirane uvjete toka, no za razliku od Theisove, za ovu vrstu metode nije potrebno korištenje tipske krivulje. Postoje dva moguća načina izračuna hidrogeoloških parametara ovom metodom i oba će načina biti opisana u daljnjem tekstu rada. Prvi način: nacrtaju se izmjerena sniženja  $s$  u linearnom mjerilu u odnosu na vrijeme  $t$  u logaritamskom mjerilu tako da se podaci mogu aproksimirati pravcem, koji se produži do presječne točke s apscisom. Presjecište ima sljedeće koordinate;  $s=0$ ,  $t=t_0$ . U tom slučaju vrijedi da bilo kojem vremenu  $t_1$  odgovara sniženje  $s_1$ , a vremenu  $t_2$  sniženje  $s_2$ . Formula za izračun transmisivnosti  $T$  je sljedeća:  $t_1$

$$T = \frac{2,3Q}{4\pi\Delta s} \quad 4.8.$$

gdje  $Q$  označava crpnu količinu izraženu u  $m^3/s$ , a  $\Delta s$  označava razliku sniženja ( $s_1-s_2$ ) za jedan logaritamski ciklus ( $\log \frac{t_1}{t_2} = 1$ ). Uskladištenje  $S$  dobiva se na sljedeći način:

$$S = \frac{2,25Tt_0}{r^2} \quad 4.9.$$

gdje se slovom  $T$  označava transmisivnost u  $m^2/s$ ,  $t_0$  jest vrijeme u kojem je sniženje  $s=0$  i  $r$  predstavlja udaljenost piezometra od zdenca.

Jednak se postupak ponavlja za sve raspoložive piezometre, no kao što je već u Thiesovoj metodi objašnjeno, podaci svih raspoloživih piezometara se mogu crtati na jedan papir uzevši u obzir da se tada crtaju podaci  $s$  sniženja u odnosu na  $t/r^2$  koji se opisuje jednim pravcem.

### 4.3. Theisova metoda povrata razine

Metodom povrata razine se određuje transmisivnost  $T$ , pa je metoda korisna jer služi kao kontrolna vrijednost transmisivnosti dobivene na temelju podataka tokom, odnosno za vrijeme crpljenja. Nakon što se voda prestane crpiti, njena se razina u zdencu i piezometru ponovno povećava, tj. raste. To se naziva „povratak“ zdenca, a sniženje u odnosu na razinu vode prije samog početka crpljenja zove se „zaostalo sniženje“. Zaostalo sniženje  $\Delta s'$  se može izraziti kao razlika početnog potencijala prije početka crpljenja  $h_0$  i potencijala za vrijeme crpljenja  $h'$ . Iz toga slijedi:

$$h_0 - h' = \Delta s' = \frac{2,3Q}{4\pi T} \left( \log \frac{2,25Tt}{r^2 S} - \log \frac{2,25Tt'}{r^2 S} \right) \quad 4.10.$$

$$\Delta s' = \frac{2,3Q}{4\pi T} \log \frac{t}{t'} \quad 4.11.$$

U iznad navedenoj formuli  $\Delta s'$  predstavlja „zaostalo“ sniženje ili sniženje poslije prestanka crpljenja izraženo u metrima,  $Q$  je količina crpljenja u  $\text{m}^3/\text{s}$ ,  $T$  transmisivnost u  $\text{m}^2/\text{s}$ ,  $t$  vrijeme proteklo od početka crpljenja izraženo u minutama i  $t'$  vrijeme proteklo od prestanka crpljenja izraženo u minutama (Bačani, 2006.).

Postupak za određivanje glasi; za jedan se piezometar s polulogaritamskim mjerilom nanosi vrijednost zaostalog sniženja  $\Delta s'$  u odnosu na vrijednosti omjera vremena  $t/t'$ , zatim se te dobivene točke aproksimiraju pravcem. Za jedan se logaritamski ciklus očitava vrijednost  $\Delta s'$  te se uvrsti u izraz za transmisivnost  $T$ :

$$T = \frac{2,3Q}{4\pi \Delta s'} \quad 4.12.$$

U ovoj formuli  $T$  predstavlja transmisivnost u  $\text{m}^2/\text{s}$ ,  $Q$  količinu crpljenja u  $\text{m}^3/\text{s}$  i  $\Delta s'$  „zaostalo“ sniženje u metrima (Bačani, 2006.).

## 5. Rezultati

Hidrogeološki parametri ovog završnog rada izračunati su na temelju Theisove, Jacob-Cooperove metode i Theisove metode povratka razine. Metode su primijenjene na temelju podataka sniženja i vremena proteklog od početka crpljenja. Zbog izuzetno male crpne količine, u Theisovoj metodi nije bilo moguće kvalitetno preklopiti „istočkanu“ krivulju s tipskom krivuljom (Theisovom krivuljom). Dobro preklapanje s jednom od tipskih krivulja upućuje na postojanje potencijalnog procjeđivanja. Na temelju podataka dobivenih iz grafičkih prikaza, izračunate su vrijednosti hidrogeoloških parametara;  $T$ ,  $S$  i  $K$ .

Theisova i Jacob-Cooperova metoda koristile su podatke iz testova crpljenja sa stalnom količinom dok su kod Theisove metode povrata uz navedeni, korišteni i podaci za pokusna crpljenja u koracima. Prilikom računanja parametara Theisovom metodom korišten je paus papir s dvostrukim logaritamskim mjerilom dok je za preostale dvije metode korišteno polulogaritamsko mjerilo.

U pokusnom crpljenju, crpna količina za piezometar PT-1/19 iznosila je  $Q=0,66$  l/s dok je za zdenac ZT-3/19 u prvom testu crpljenja sa stalnom količinom korištena Grundfos pumpa snage 11kW crpne količine  $Q = 11,3$  l/s sve do prestanka rada agregata. Zatim je za drugo test crpljenje sa stalnom količinom korištena jača Grundfos pumpa snage 18,5kW crpne količine 18,3 l/s.

Pri izračunavanju hidrauličke vodljivosti  $K$  za debljinu vodonosnog sloja uzeta je debljina filtera koja iznosi 31 metar.

## 5.1. Rezultati dobiveni Theisovom i Jacob-Cooperovom metodom koristeći podatke iz pokusnih crpljenja

U Tablici 5.1 prikazani su ulazni podaci korišteni za izradu grafa prikazanog na Slici 5.1. Theisovom i Jacob-Cooperovom metodom za piezometar PT-1/19. U tablici se nalazi vrijeme  $t$  koje predstavlja vrijeme proteklo od početka crpljenja izraženo u minutama, te sniženje  $s$  u tom vremenu izraženo u metrima.

**Tablica 5.1. Ulazni podaci za izradu grafa Theis-ovom i Jacob-Cooper-ovom metodom, vrijeme  $t$  u minutama(min) i sniženje razine  $s$  u metrima (m) za piezometar PT-1/19**

<b>t(min)</b>	<b>s(m)</b>	<b>t(min)</b>	<b>s(m)</b>
0	0	20	0,89
1	0,78	25	0,9
2	0,805	30	0,91
3	0,82	35	0,91
4	0,83	40	0,92
5	0,84	50	0,92
6	0,84	60	0,93
7	0,85	80	0,93
8	0,85	90	0,94
10	0,86	100	0,95
12	0,86	120	0,955
14	0,87	140	0,96
16	0,87	160	0,96

U Tablici 5.2. prikazani su ulazni podaci izmjereni u zdencu. Ti podaci korišteni se za izradu grafa prvog crpljenja sa stalnom količinom Theisovom i Jacob-Cooperovom metodom za zdenac ZT-3/19. Pokusno crpljenje bilo je neplanirano obustavljeno zbog prestanka rada agregata nakon 22 sata.

**Tablica 5.2. Ulazni podaci za izradu grafova Theisovom i Jacob-Cooper-ovom metodom izmjereni u zdencu - ZT - 3/19 za vrijeme pokusnog crpljenja stalnom količinom.**

t(min)	s(m)	t(min)	s(m)	t(min)	s(m)	t(min)	s(m)
0	0	12	3,09	80	3,47	480	3,71
1	2,47	14	3,12	100	3,52	600	3,7
2	2,68	16	3,15	120	3,57	720	3,7
3	2,79	20	3,195	150	3,59	840	3,7
4	2,85	25	3,245	180	3,64	960	3,78
5	2,9	30	3,28	210	3,65	1080	3,79
6	2,94	35	3,315	240	3,67	1200	3,81
7	2,975	40	3,345	300	3,69	1320	X
8	3	50	3,385	360	3,71	PRESTANAK RADA AGREGATA	
10	3,05	60	3,42	420	3,72		

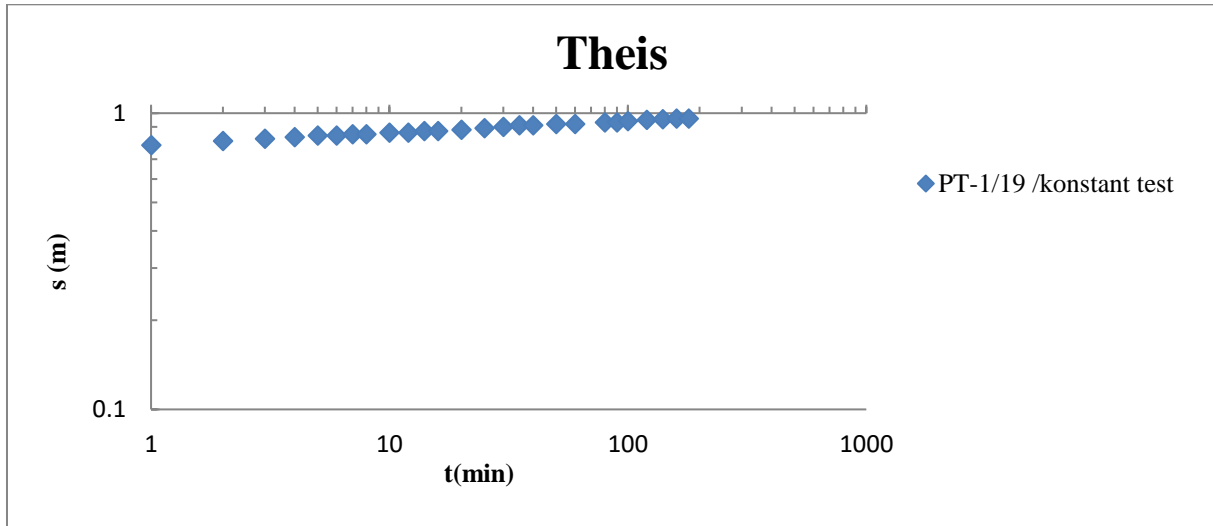
U Tablici 5.3. prikazani su ulazni podaci korišteni za izradu grafa drugog crpljenja sa stalnom količinom Theisovom i Jacob-Cooperovom metodom za zdenac ZT-3/19. Ovi su podaci dobiveni crpljenjem jačom pumpom snage 18,5 kW i crpne količine 18,3 l/s.

**Tablica 5.3. Ulazni podaci za izradu grafova Theisovom i Jacob-Cooper-ovom metodom izmjereni u zdencu - ZT - 3/19 za vrijeme pokusnog crpljenja stalnom količinom..**

t(min)	s(m)	t(min)	s(m)	t(min)	s(m)	t(min)	s(m)	t(min)	s(m)
0	0	12	4,42	80	5,035	480	5,57	1680	5,86
1	3,49	14	4,47	100	5,13	600	5,58	1800	5,9
2	3,77	16	4,52	120	5,19	720	5,59	1920	5,93
3	3,9	20	4,59	150	5,27	840	5,6	2040	5,86
4	4,02	25	4,67	180	5,33	960	5,65	2160	5,83
5	4,1	30	4,73	210	5,38	1080	5,7	2280	5,83
6	4,17	35	4,78	240	5,42	1200	5,75	2400	5,86
7	4,22	40	4,81	300	5,46	1320	5,78	2520	5,88
8	4,31	50	4,885	360	5,51	1440	5,8	2640	5,92
10	4,39	60	4,945	420	5,54	1560	5,83	2760	5,95

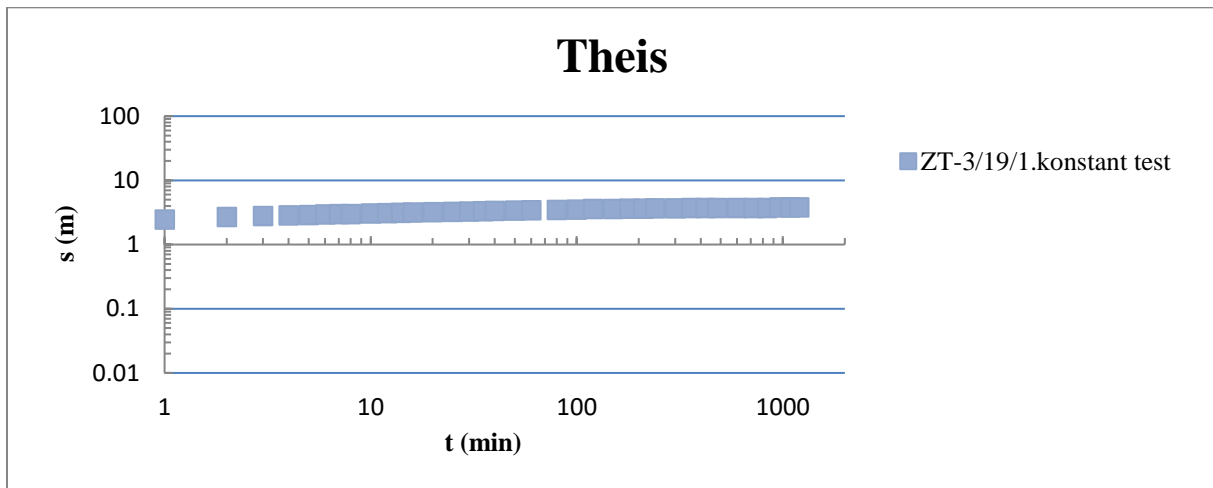
### 5.1.1. Theisova metoda

Na Slici 5.1. je prikazan graf sniženja u vremenu prilikom izračuna Theisovom metodom na temelju podataka dobivenih crpljenim iz piezometra PT-1/19.



Slika 5.1. Graf vrijeme-sniženje za crpljenje stalnom količinom u piezometru PT-1/19

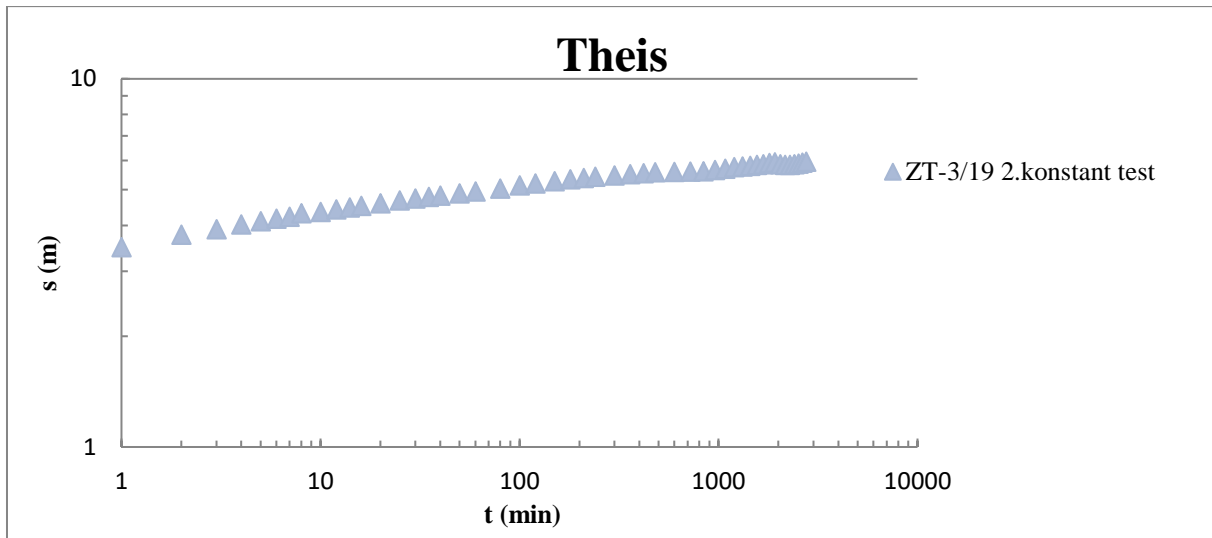
Na slici 5.2. prikazan je graf sniženja u vremenu prilikom izračuna Theisovom metodom za prvo crpljenje stalnom količinom za zdenac ZT-3/19.



Slika 5.2. Graf vrijeme-sniženje za crpljenje stalnom količinom u zdenacu ZT-3/19



Slika 5.3. prikazuje graf sniženja u vremenu prilikom izračuna Theisovom metodom za drugo crpljenje stalnom količinom u zdenacu ZT-3/19.



Slika 5.3. Graf vrijeme- sniženje za crpljenje stalnom količinom u zdenacu ZT-3/19

Tablica 5.4. prikazuje ulazne podatke kojima su izračunati hidrogeološki parametri prikazani u Tablici 5.5.

Tablica 5.4. Ulazni podaci korišteni u izračunu hidrogeoloških parametara Theisovom metodom za piezometar PT-1/19 i zdenac ZT-3/19

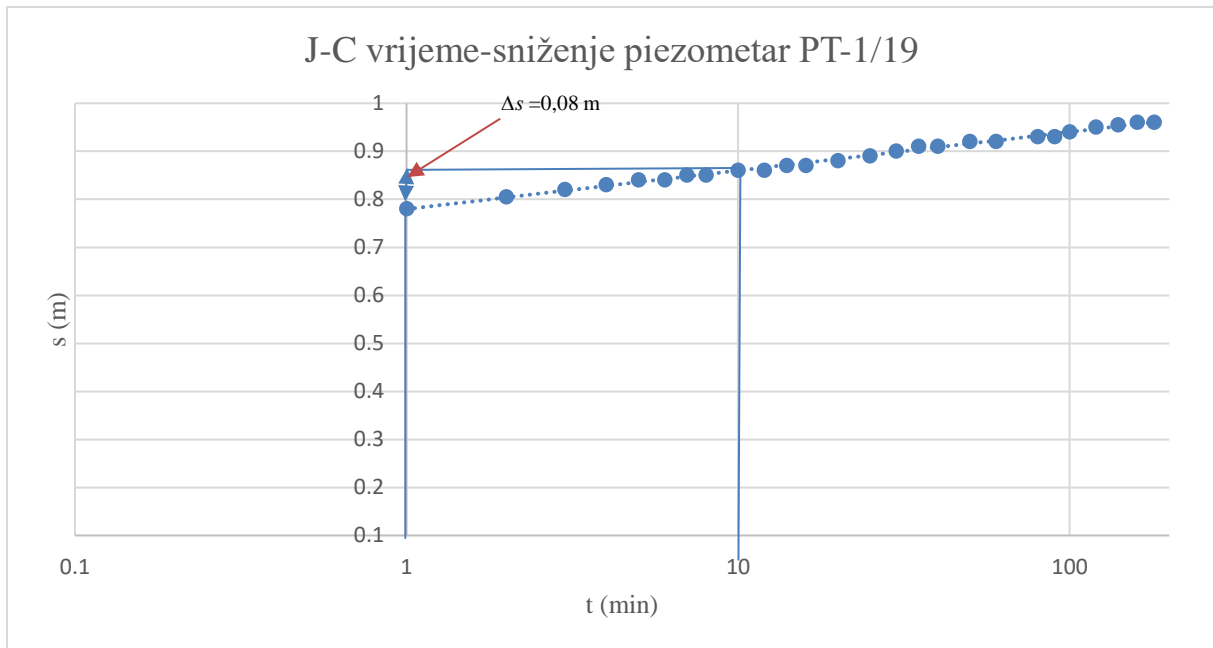
Piezometar PT-1/19	1.crpljenje stalnom količinom zdenca ZT-3/19	2. crpljenje stalnom količinom zdenca ZT-3/19
$Q = 6,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 0,013 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 0,0183 \text{ m}^3/\text{s}$
$s = 9,5 \text{ m}$	$s = 8 \text{ m}$	$s = 12 \text{ m}$
$t = 1 \text{ min} = 60 \text{ s}$	$t = 0,65 \text{ min} = 39 \text{ s}$	$t = 1,2 \text{ min} = 72 \text{ s}$
$m = 31 \text{ m}$	$m = 31 \text{ m}$	$m = 31 \text{ m}$
$W(u) = 10$	$W(u) = 10$	$W(u) = 10$

Tablica 5.5. Rezultati dobiveni interpretacijom podataka pokusnog crpljenja piezometra PT-1/19 i zdenca ZT-3/19

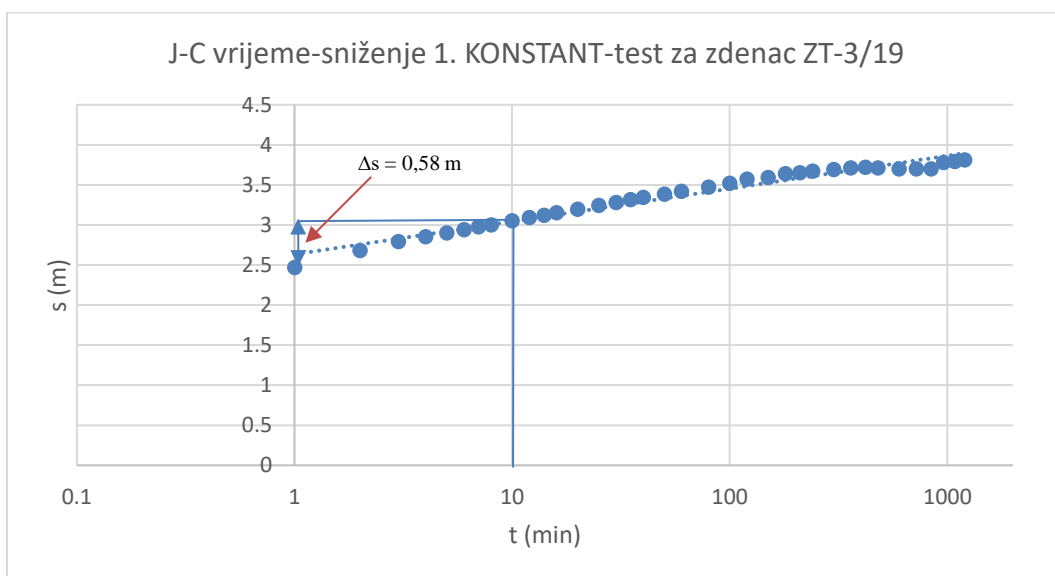
Hidrogeološki parametar	Piezometar PT-1/19	Zdenac ZT-3/19 (1.)	Zdenac ZT-3/19 (2.)
Transmisivnost T ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	$5,49 \cdot 10^{-5}$	$1,12 \cdot 10^{-3}$	$1,21 \cdot 10^{-3}$
Hidraulička vodljivost K (m/s)	$1,77 \cdot 10^{-6}$	$3,61 \cdot 10^{-5}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$

### 5.1.2. Jacob-Cooper metoda

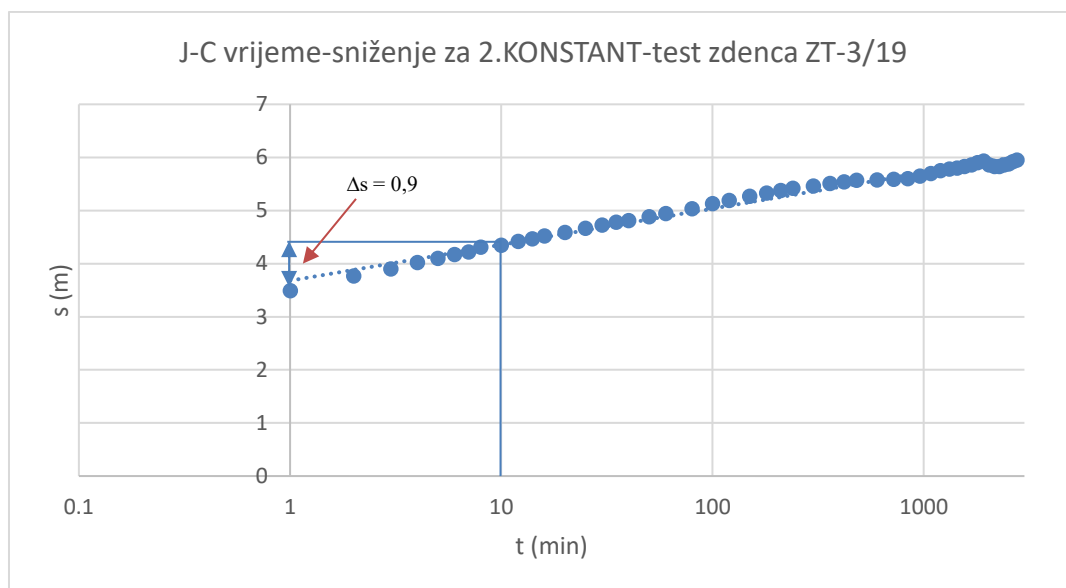
Podaci koji se nalaze u Tablici 5.1., 5.2. i 5.3 bili su potrebni za dobivanje grafa vrijeme-sniženje izmjereni u piezometru PT-1/19 i zdencu ZT-3/19. Grafovi su prikazani na Slikama 5.4., 5.5. i 5.6.  $\Delta s$  predstavlja razliku sniženja za jedan logaritamski ciklus dok je  $t_0$  odsječak pravca na apscisi.



Slika 5.4. . Graf vrijeme-sniženje iz podataka crpljenih u piezometru PT-1/19



Slika 5.5. Graf vrijeme-sniženje za 1. crpljenje stalnom količinom za zdenac ZT-3/19



Slika 5.6. Graf vrijeme-sniženje za 2. crpljenje stalnom količinom za zdenac ZT-3/19

Tablica 5.6. prikazuje ulazne podatke kojima su dobiveni hidraulički parametri,  $T$  i  $K$ , Jacob-Cooperovom metodom koji su prikazani u Tablici 5.7. Vrijeme  $t_0$  koje je na grafovima izraženo u minutama, u tablicama je pretvoreno u sekunde radi lakšeg izračuna.

Tablica 5.6. Ulazni podaci korišteni u izračunu hidrogeoloških parametara Jacob-Cooperovom metodom za piezometar PT-1/19 i zdenac ZT-3/19 (1. i 2. crpljenje stalnom količinom)

Piezometar PT-1/19	1. crpljenje stalnom količinom zdenca ZT-3/19	2. crpljenje stalnom količinom zdenca ZT-3/19
$Q = 6,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 11,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 18,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
$\Delta s = 0,08 \text{ m}$	$\Delta s = 0,58 \text{ m}$	$\Delta s = 0,9 \text{ m}$
$m = 31 \text{ m}$	$m = 31 \text{ m}$	$m = 31 \text{ m}$

**Tablica 5.7. Rezultati dobiveni interpretacijom podataka pokusnog crpljenja piezometra PT-1/19 i zdenca ZT-3/19**

Hidrogeološki parametar	Piezometar PT-1/19	Zdenac ZT-3/19 (1.)	Zdenac ZT-3/19 (2.)
Transmisivnost T (m <sup>2</sup> /s)	$1,51 \cdot 10^{-3}$	$3,57 \cdot 10^{-3}$	$3,72 \cdot 10^{-3}$
Hidraulička vodljivost K (m/s)	$4,87 \cdot 10^{-5}$	$1,15 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$

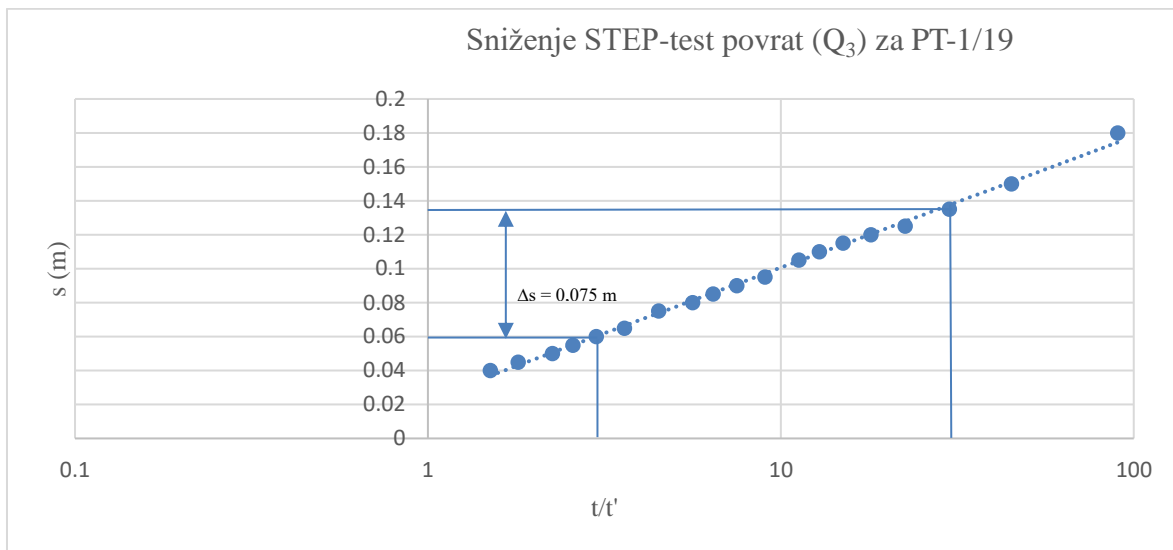
### 5.1.3. Thiesova metoda povratka razine

Theisovom metodom povratka razine dobiven je graf vrijeme  $t/t'$  – sniženje  $s$  za piezometar PT-1/19 i za zdenac ZT-3/19. Grafovi prikazani na slikama 5.4 i 5.5. dobiveni su pomoću podataka iz Tablice 5.8., a grafovi 5.6 i 5.7. iz tablice 5.9.

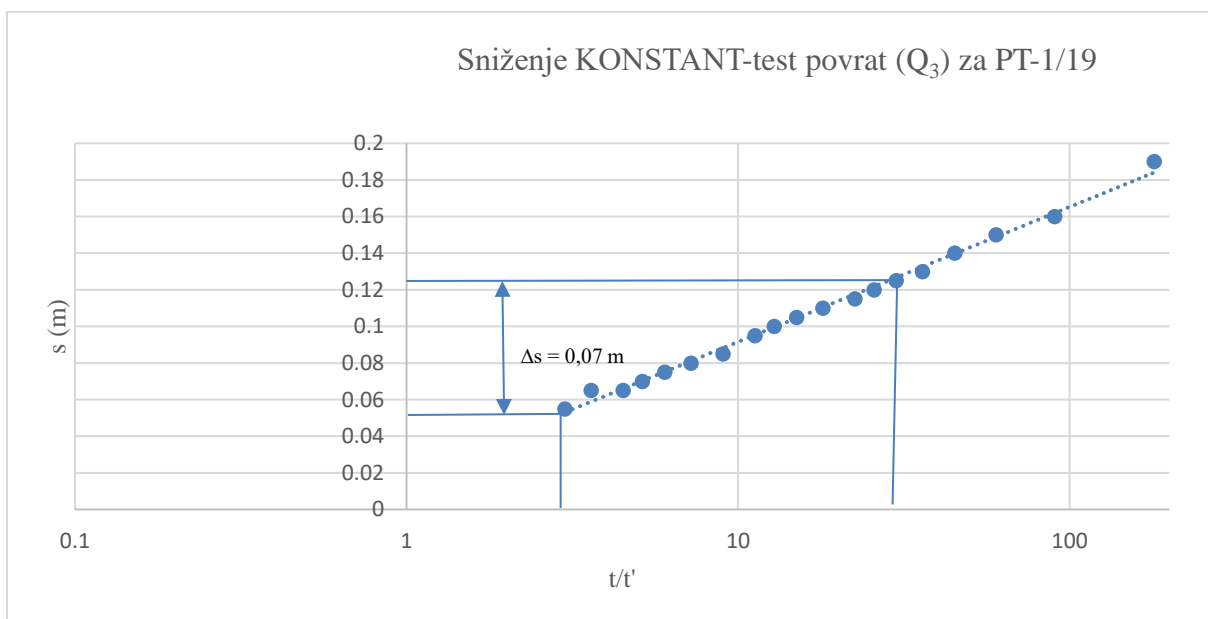
U Tablici 5.8. prikazani su ulazni podaci korišteni za izradu grafa Theisovom metodom povratka razine za piezometar PT-1/19. U tablici se nalazi vrijeme  $t$  koje predstavlja vrijeme proteklo od početka crpljenja izraženo u minutama, te sniženje  $s$  u tom vremenu izraženo u metrima.

**Tablica 5.8. Ulazni podaci crpljeni u piezometru za izračun Theisove metode povrata za crpljenje u koracima i crpljenje stalnom količinom, vrijeme  $t/t'$  u minutama (min) i sniženje razine  $s$  u metrima (m) za piezometar PT-1/19**

Povrat PT-1/19 Crpljenje u koracima				Povrat PT-1/19 crpljenje stalnom količinom			
$t/t'$ (min)	$s$ (m)	$t/t'$ (min)	$s$ (m)	$t/t'$ (min)	$s$ (m)	$t/t'$ (min)	$s$ (m)
0	0	7,5	0,09	0	0	15	0,105
90	0,18	6,43	0,085	180	0,19	12,85	0,1
45	0,15	5,625	0,08	90	0,16	11,25	0,095
30	0,135	4,5	0,075	60	0,15	9	0,085
22,5	0,125	3,6	0,065	45	0,14	7,2	0,08
18	0,12	3	0,06	36	0,13	6	0,075
15	0,115	2,57	0,055	30	0,125	5,14	0,07
12,85	0,11	2,25	0,05	25,71	0,12	4,5	0,065
11,25	0,105	1,8	0,045	22,5	0,115	3,6	0,065
9	0,095	1,5	0,04	18	0,11	3	0,055



**Slika 5.7. Graf  $t/t'$ -sniženje za STEP-test povrat ( $Q_3$ ) za PT-1/19**

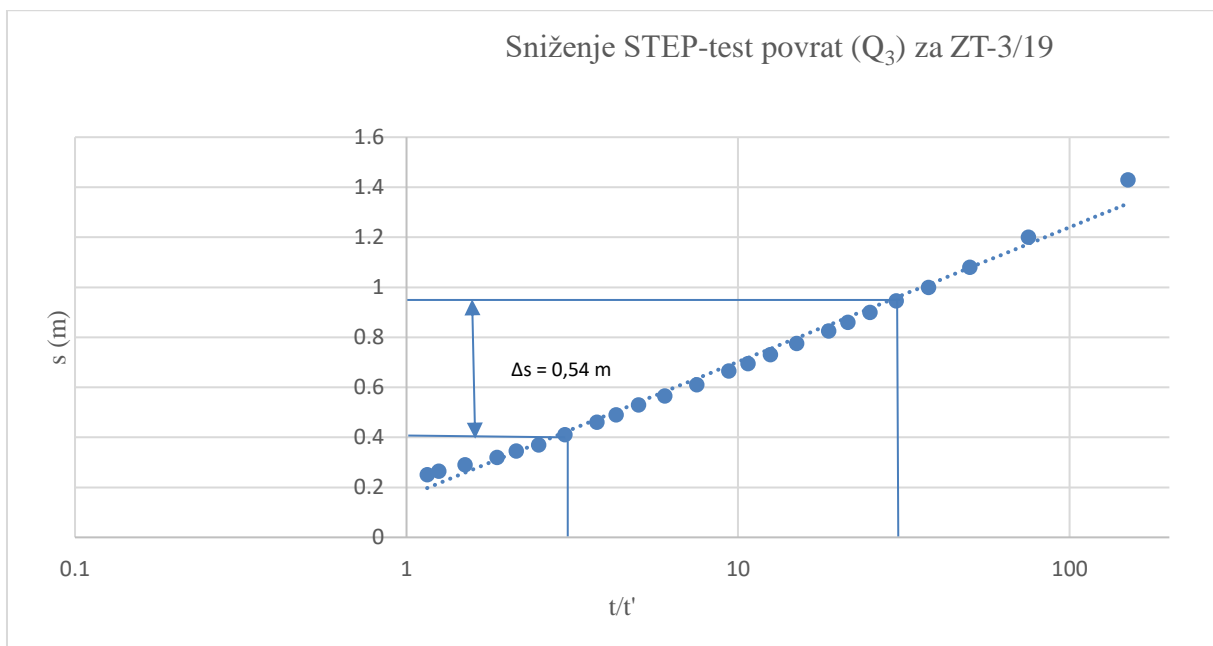


**Slika 5.8. Graf  $t/t'$ -sniženje za KONSTANT-test povrat ( $Q_3$ ) za PT-1/19**

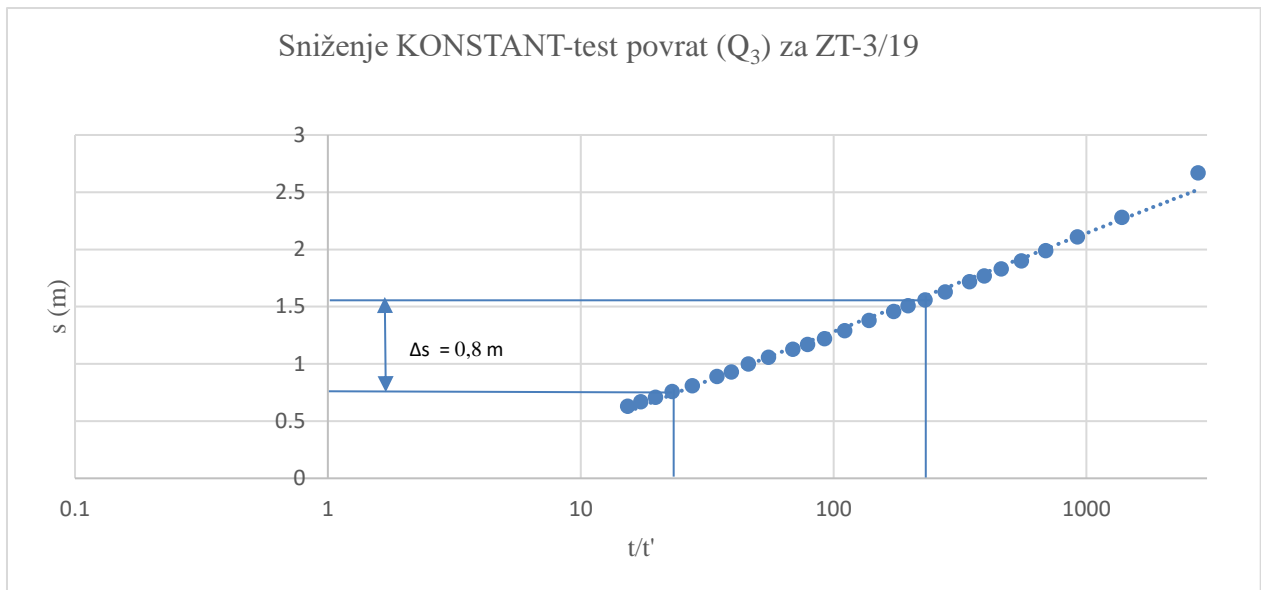
U Tablici 5.9. prikazani su ulazni podaci korišteni za izradu grafa Theisovom metodom povratka razine za zdenac ZT-3/19. U tablici se nalazi vrijeme  $t/t'$  koje predstavlja vrijeme proteklo od početka crpljenja izraženo u minutama, te sniženje  $s$  u tom vremenu izraženo u metrima.

**Tablica 5.9. Ulazni podaci crpljeni u zdencu za izračun Theisove metode povrata za crpljenje u koracima i crpljenje stalnom količinom, vrijeme  $t/t'$  u minutama (min) i sniženje razine  $s$  u metrima (m)**

Povrat ZT-3/19 Crpljenje u koracima				Povrat ZT-3/19 crpljenje stalnom količinom			
$t/t'$ (min)	$s$ (m)	$t/t'$ (min)	$s$ (m)	$t/t'$ (min)	$s$ (m)	$t/t'$ (min)	$s$ (m)
0	0	9,37	0,665	0	0	172,5	1,46
150	1,43	7,5	0,61	2760	2,67	138	1,38
75	1,2	6	0,565	1380	2,28	110,4	1,29
50	1,08	5	0,53	920	2,11	92	1,22
37,5	1	4,28	0,49	690	1,99	78,85	1,17
30	0,945	3,75	0,46	552	1,9	69	1,13
25	0,9	3	0,41	460	1,83	55,2	1,06
21,42	0,86	2,5	0,37	394,28	1,77	46	1
18,75	0,825	2,14	0,345	345	1,72	39,42	0,93
15	0,775	1,87	0,32	276	1,63	34,5	0,89
12,5	0,73	1,5	0,29	230	1,56	27,6	0,81
10,71	0,695	1,25	0,265	197,14	1,51	23	0,76



**Slika 5.9. Graf  $t/t'$ -sniženje za STEP-test povrat ( $Q_3$ ) za ZT-3/19**



Slika 5.10. Graf  $t/t'$ -sniženje za KONSTANT-test povrat ( $Q_3$ ) za ZT-3/19

Tablica 5.10. prikazuje ulazne podatke kojima su dobiveni hidraulički parametri,  $T$  i  $K$ , Theisovom metodom povratka koji su prikazani u Tablici 5.11. Parametar  $\Delta s$  predstavlja razliku sniženja jednog logaritamskog ciklusa na grafu.

Tablica 5.10. Ulazni podaci korišteni u izračunu crpljenja u koracima i crpljenje stalnom količinom na piezometru PT-1/19

Crpljenje u koracima izvedeno na piezometru PT-1/19	Crpljenje stalnom količinom izvedeno na piezometru PT-1/19
$Q = 0,66 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 0,66 \text{ m}^3/\text{s}$
$\Delta s = 0,075 \text{ m}$	$\Delta s = 0,07 \text{ m}$

Tablica 5.11. Rezultati dobiveni interpretacijom podataka pokusnog crpljenja piezometra PT-1/19

Hidrogeološki parametar	Crpljenje u koracima izvedeno na piezometru PT-1/19	Crpljenje stalnom količinom izvedeno na piezometru PT-1/19
Transmisivnost $T$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	$T = 1,61 \cdot 10^{-3}$	$T = 1,73 \cdot 10^{-3}$
Hidraulička vodljivost $K$ (m/s)	$K = 5,19 \cdot 10^{-5}$	$K = 5,58 \cdot 10^{-5}$

U Tablici 5.12. prikazani su ulazni podaci kojima su dobiveni hidraulički parametri,  $T$  i  $K$ , Theisovom metodom povratka koji su prikazani u Tablici 5.13.

**Tablica 5.12. Ulazni podaci korišteni u izračunu crpljenja u koracima i crpljenje stalnom količinom na zdenacu ZT-3/19**

<b>Crpljenje u koracima izvedeno na zdenacu ZT-3/19</b>	<b>Crpljenje stalnom količinom za zdenac ZT-3/19</b>
$Q = 11,05 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 18,3 \text{ m}^3/\text{s}$
$\Delta s = 0,54 \text{ m}$	$\Delta s = 0,8 \text{ m}$

**Tablica 5.13. Rezultati dobiveni interpretacijom podataka pokusnog crpljenja zdenca ZT-3/19**

<b>Hidrogeološki parametar</b>	<b>Povrat crpljenja u koracima za zdenac ZT-3/19</b>	<b>Povrat crpljenja stalnom količinom za zdenac ZT-3/19</b>
Transmisivnost $T$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	$T = 3,75 \cdot 10^{-3}$	$T = 4,19 \cdot 10^{-3}$
Hidraulička vodljivost $K$ ( $\text{m/s}$ )	$K = 1,21 \cdot 10^{-4}$	$K = 1,35 \cdot 10^{-4}$



## 5.2. Usporedba svih rezultata

U Tablici 5.14. prikazani su hidrogeološki parametri izračunati u ovom radu. Korištene su Theisova, Jacob-Cooperova te Theisova metoda povratka razine. Uz navedene rezultate tih metoda u tablici su navedeni i rezultati dobiveni u prijašnjem istraživanju. (Šimundić, et al., 2019.)

Tablica 5.14. . Usporedba svih izračunatih rezultata pomoću hidrogeoloških parametara

	Hidrogeološki parametri	
	Transmisivnost $T$ ( $m^2/s$ )	Hidraulička vodljivost $K$ ( $m/s$ )
<b>Thies -zdenac</b>	$1,17 \cdot 10^{-3}$	$3,75 \cdot 10^{-5}$
<b>Thies –piezo-metar</b>	$5,49 \cdot 10^{-5}$	$1,77 \cdot 10^{-6}$
<b>Jacob-Cooper- zdenac</b>	$3,65 \cdot 10^{-3}$	$1,18 \cdot 10^{-4}$
<b>Jacob-Cooper piezometar</b>	$1,51 \cdot 10^{-3}$	$4,87 \cdot 10^{-5}$
<b>Thies-Povratka razine – piezometar</b>	$1,67 \cdot 10^{-3}$	$5,39 \cdot 10^{-5}$
<b>Thies-Povratka razine - zdenac</b>	$3,97 \cdot 10^{-3}$	$1,28 \cdot 10^{-4}$
<b>Elaborat Jacob- Cooper- zdenac</b>	$3,87 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-4}$
<b>Elaborat Jacob-Cooper- piezometar</b>	$1,57 \cdot 10^{-3}$	$5,24 \cdot 10^{-5}$

## **6. Zaključak**

U Tovarniku, na lokaciji Sajmište, izveden je pokusno-eksploatacijski zdenac ZT-3/19 kojem je prethodila strukturno-piezometarska bušotina PT-1/19 na istoj lokaciji.

Proučavanjem litologije promatranog područja zaključeno je da se radi o poluzatvorenom do zatvorenom tipu vodonosnika. Propusni slojevi, koji su proučavani u radu, izgrađeni su od pijeska različite granulacije, dok su u krovini i podini glina i prah slabe propusnosti. Vrijednosti transmisivnosti i hidrauličke vodljivosti dobivene Jacob-Cooperovom metodom podudaraju se s onima dobivenim Theisovom metodom povratka razine. Isto tako odgovaraju podacima dobivenim u prethodnim istraživanjima. To potvrđuju i dobivene karakteristične vrijednosti hidrogeoloških parametara za promatrane litološke slojeve.

## 7. Literatura

Bačani A., 2006.: *Hidrogeologija 1*, Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Bačani, A. 1997.: *Značajke hidrauličkih granica vodonosnih slojeva na vododjelnici savskog i dravskog porječja u istočnoj Slavoniji*. Doktorska disertacija. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Galović, I., 1984.: *Osnovna geološka karta, list Bačka Palanka, 1:100000*. Geološki zavod. Zagreb: OOUR za geologiju i paleontologiju.

Hernitz, Z., 1983.: *Dubinski strukturno-tektonski odnosi u području Istočne Slavonije*. Doktorska disertacija. Zagreb: Poslovno udruženje Nafta

Nakić, Z. i Kovač, Z., 2020.: *Elaborat zona sanitarne zaštite izvorišta „Sajmište“ u Tovarniku*. Stručna studija. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Nakić, Z. & Žugaj, R. (2008a): *Elaborat zaštitnih zona izvorišta „Ilača” - Ilača, „Banovina” - Tovarnik, „Stara Ciglanica” – Nijemci i „Barbine” – Lipovac*. Stručna studija. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Nakić, Z. & Žugaj, R. (2008b): *Elaborat zaštitnih zona izvorišta „Berava” – Babina Greda, „Topolik” – Privlaka i „Sojara” – Vrbanja*. Stručna studija. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Šimundić, Z., Jazvac, I. & Tolarić, I. 2019.: *Elaborat o provedenim detaljnim geološkim i vodoistražnim radovima s tehničkim izvješćem o izradi strukturno-piezometarske bušotine PT-1/19 i pokusno-eksploatacijskog zdenca ZT-3/19 na lokaciji „Sajmište“ u Tovarniku. Stručna studija. Osijek: Vodovod-hidrogeološki radovi d.o.o.*



KLASA: 602-04/21-01/193  
URBROJ: 251-70-14-21-2  
U Zagrebu, 15.9.2021.

**Nikola Svetina , student**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/193, URBROJ: 251-70-14-21-1 od 10.5.2021. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### IZRAČUN HIDROGEOLOŠKIH PARAMETARA NA IZVORIŠTU SAJMIŠTE U TOVARNIKU

Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Doc. dr. sc. Zoran Kovač nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i suvoditelja Dr. sc. Jasna Kopic.

Voditelj:

(potpis)

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Stanko  
Ružičić

(titula, ime i prezime)

Suvoditelj

(potpis)

Dr. sc. Jasna Kopic

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor  
Kuhinek

(titula, ime i prezime)