

# Izračun hidrogeoloških parametara na izvorištu Topolik u Privlaci

---

Zugan, Korina

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:169:147377>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-12**



*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 TOPOLIK U  
PRIVLACI

Završni rad

Korina Zupan

GI 2187

Zagreb, 2021.



KLASA: 602-04/21-01/137  
URBROJ: 251-70-14-21-2  
U Zagrebu, 15.9.2021.

**Korina Zugan, studentica**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/137, URBROJ: 251-70-14-21-1 od 28.4.2021. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### IZRAČUN HIDROGEOLOŠKIH PARAMETARA NA IZVORIŠTU TOPOLIK U PRIVLACI

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 suvoditeljicu Dr. sc. Jasna Kopic.

Voditelj:

(potpis)

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

(titula, ime i prezime)

Suvoditeljica

(potpis)

Dr. sc. Jasna Kopic

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomatske ispite:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Stanko  
Ružičić

(titula, ime i prezime)

Predekan za nastavu i  
studente

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor  
Kuhinek

(titula, ime i prezime)

## IZRAČUN HIDROGEOLOŠKIH PARAMETARA NA IZVORIŠTU TOPOLIK U PRIVLACI

KORINA ZUGAN

Završni rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### Sažetak

Na izvorištu Topolik u Privlaci izvedeni su geološki i vodoistražni radovi. Dobiveni podaci pokusnog crpljenja interpretirani su s ciljem određivanja hidrogeoloških parametara zdenca i vodonosnog sloja. Hidrogeološki parametri interpretirani su pomoću grafoanalitičkih metoda za zatvorene i poluzatvorene slojeve. Određene su vrijednosti transmisivnosti i hidrauličke vodljivosti. Dobiveni rezultati podudaraju se s vrijednostima iz prethodnih istraživanja, a izračunate vrijednosti hidrauličke vodljivosti podudaraju se s litologijom naslaga, odnosno vodonosnim slojevima izgrađenim od sitno do krupnozrnatih pijeska s šljunkom i prahom, koji se pojavljuju na istraživanom području.

Ključne riječi: izvorište Topolik – Privlaka, pokusno crpljenje, hidrogeološki parametri

Završni rad sadrži: 30 stranica, 14 slika, 11 tablica, 1 prilog i 10 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Pierottijeva 6, Zagreb

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: 21.9.2021., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

# Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Geološke i hidrogeološke značajke.....	2
2.1. Geološke značajke.....	2
2.2. Hidrogeološke značajke.....	8
3. Tehnički opis vodozahvata.....	10
4. Pokusno crpljenje i izračun hidrogeoloških parametara.....	11
4.1. Theisova metoda.....	12
4.2. Jacob-Cooperova metoda.....	13
4.3. Theisova metoda povratka razine.....	13
4.4. Hantush-Jacobova metoda.....	14
4.5. Opis postupka u AutoCAD-u.....	15
5. Rezultati.....	17
6. Zaključak.....	29
7. Literatura.....	30

## Popis tablica

Tablica 3.1. Glavni vodonosni horizonti zdenca PrNB-1/1 (Šimundić i Presečan, 2016)....	10
Tablica 5.1. Ulazni podaci korišteni u izračunu hidrogeoloških parametara kod Theisove metode .....	20
Tablica 5.2. Rezultati dobiveni interpretacijom podataka pokusnog crpljenja zdenca PrNB-1/1 Theisovom metodom za crpljenje stalnom količinom i crpljenje u koracima za prvi korak .....	20
Tablica 5.3. Ulazni podaci korišteni u izračunu hidrogeoloških parametara kod Jacob-Cooperove metode .....	22
Tablica 5.4. Rezultati hidrogeoloških parametara Jacob-Cooperovom metodom za zdenac PrNB-1/1 za crpljenje stalnom količinom i crpljenje u koracima za prvi korak .....	22
Tablica 5.5. Ulazni podaci korišteni u izračunu hidrogeoloških parametara kod Theisove metode povratka razine .....	23
Tablica 5.6. Rezultati dobiveni interpretacijom podataka pokusnog crpljenja zdenca PrNB-1/1 Theisovom metodom povratka razine za crpljenje stalnom količinom.....	23
Tablica 5.7. Ulazni podaci korišteni u izračunu hidrogeoloških parametara kod Hantush-Jacbove metode.....	26
Tablica 5.8. Rezultati dobiveni interpretacijom podataka pokusnog crpljenja zdenca PrNB-1/1 Hantush-Jacbovom metodom za crpljenje stalnom količinom i crpljenje u koracima za prvi korak.....	27
Tablica 5.9. Usporedba srednjih vrijednosti hidrogeoloških parametara.....	27
Tablica 5.10. Vrijednosti hidrauličke vodljivosti za sedimente (Domenico i Schwartz,1990; Bačani, 2006).....	28

## Popis slika

Slika 2.1. Isječak OGK list Vinkovci na užem području izvorišta Topolik (Brkić et al., 1989a; Nakić i Kovač, 2017) .....	4
Slika 2.2. Položaj zdenca PrNB-1/1 na izvorištu Topolik ( Nakić i Kovač, 2017) .....	6
Slika 2.3. Litološki profil zdenca PrNB-1/1 na izvorištu Topolik (Šimundić i Presečen 2016; Nakić i Kovač, 2017) .....	7
Slika 5.1. Preklapanje „krivulje“ mjerenih podataka preko Theisove krivulje za crpljenje stalnom količinom.....	18
Slika 5.2. Graf „vrijeme-sniženje“ i točka preklapanja za crpljenje stalnom količinom u dvostrukom logaritamskom mjerilu za zdenac PrNB-1/1 .....	18
Slika 5.3. Preklapanje „krivulje“ mjerenih podataka preko Theisove krivulje za prvi korak crpljenja u koracima .....	19
Slika 5.4. Graf „vrijeme-sniženje“ i točka preklapanja za crpljenje u koracima (prvi korak) u dvostrukom logaritamskom mjerilu za zdenac PrNB-1/1 .....	19
Slika 5.5. Graf „vrijeme-sniženje“ za crpljenje stalnom količinom u polulogaritamskom mjerilu za zdenac PrNB-1/1 .....	21
Slika 5.6. Graf „vrijeme-sniženje“ za crpljenje u koracima za prvi korak u polulogaritamskom mjerilu za zdenac PrNB-1/1.....	21
Slika 5.7. Graf vrijeme $t/t'$ -sniženje $s'$ za crpljenje stalnom količinom u polulogaritamskom mjerilu za zdenac PrNB-1/1 .....	23
Slika 5.8. Preklapanje „krivulje“ mjerenih podataka preko tipske krivulje za crpljenje stalnom količinom.....	24
Slika 5.9. Graf „vrijeme-sniženje“ i točka preklapanja za crpljenje stalnom količinom u dvostrukom logaritamskom mjerilu za zdenac PrNB-1/1 .....	25
Slika 5.10. Preklapanje „krivulje“ mjerenih podataka preko tipske krivulje za crpljenje u koracima za prvi korak.....	25
Slika 5.11 Graf „vrijeme-sniženje“ i točka preklapanja za crpljenje u koracima za prvi korak u dvostrukom logaritamskom mjerilu za zdenac PrNB-1/1 .....	26

## Popis priloga:

Prilog 1. Tablice pokusnog crpljenja za zdenac PrNB-1/1



# 1. Uvod

U završnom radu obrađeni su i interpretirani podaci dobiveni pokusnim crpljenjem na izvorištu Topolik u Privlaci 2016. godine.

Općina Privlaka nalazi se u Vukovarsko-srijemskoj županiji jugoistočno od Vinkovaca. Na području Privlake 1987. godine izveden je zdenac PrNB-1. Novi zdenac PrNB-1/1 nalazi se 25 m jugoistočno od starog zdenca. Zdenac PrNB-1/1 izbušen je 2016. godine. Iste godine provedeno je pokusno crpljenje u koracima i pokusno crpljenje stalnom količinom.

Cilj završnog rada bio je izračunati hidrogeološke parametre, odnosno transmisivnost i hidrauličku vodljivost, te ih usporediti s rezultatima iz prethodnih istraživanja. Pomoću Theisove, Jacob-Cooperove, Theisove metode povratka razine i Hantush-Jacobove metode interpretirani su podaci dobiveni pokusnim crpljenjem zdenca PrNB-1/1. Na kraju, izračunate vrijednosti hidrogeoloških parametara uspoređene su s litološkim sastavom zahvaćenih vodonosnih slojeva.

## 2. Geološke i hidrogeološke značajke

### 2.1. Geološke značajke

Savska ravnica i praporni ravnjaci dvije su glavne morfološke jedinice u području istočne Slavonije. Prostiranje savske ravnice zahvaća veći dio područja, a praporni ravnjaci u formi djelomice erodirane terase nadilaze dolinu rijeke Save i Drave te predstavljaju površinsku razvodnicu prethodno spomenutih rijeka. Granica između savske ravnice i prapornih ravnjaka prouzročena je tektonskom aktivnošću (Nakić i Žugaj, 2008a).

Tektonski oblici u istočnoj Slavoniji pripadaju tipu kompakcijskih struktura koja je u izravnoj vezi s paleogeomorfološkim izgledom paleoreljefa i diferencijalnih kretanja blokova duž dubokih rasjeda (Hernitz, 1983). Tektonska aktivnost bila je intenzivno prisutna kroz geološku povijest pa sve do recentnog doba. U rasjednoj tektonici dominiraju rasjedi pružanja ZSZ – IJI koji slijede orijentaciju glavne potoline (Dravska, Slavonsko-srijemska, Savska), izdignute strukture (Đakovačko-vinkovački i Vukovarski timor) i slavonske gore (Bačani, 1997). Važni su i mlađi, poprečni ili dijagonalni rasjedi „potolinskog pravca“ pružanja SSI – JJZ. Najznačajniji je rasjed koji se proteže do Županje prema Vukovaru i dalje prema Dalju (Barišić, 1986).

Područje istočne Slavonije bilo je prekriveno plitkim jezerima i močvarama tijekom srednjeg i gornjeg pleistocena pa su u to vrijeme taložene promatrane naslage, a u isto vrijeme okolno bosansko i slavonsko gorje bilo je kopno sklono intenzivnom trošenju i eroziji. Klimatski uvjeti za koje je karakteristična izmjena toplih i hladnih razdoblja prouzrokovali su taloženje i transport materijala. Za vrijeme toplijih razdoblja nabujale vode tekućica odnosile su značajnu količinu krupno klastičnog materijala i odlagale ga u močvarama i jezerima što je uzrokovalo rast razine vode te njihovo širenje i povezivanje. Dok za vrijeme hladnih razdoblja tekućice su se povlačile u svoja korita što je pridonijelo slabljenju prenošenja materijala i oplemenjivanje taložnog prostora, a u zaostalim jezerima i močvarama taložili su se glina i prah (Nakić i Žugaj, 2008a).

U tim razdobljima vjetar je imao značajnu ulogu u transportu materijala. Svaki ciklus taloženja propusnih sedimenata većinom započinje krupnim, slabo sortiranim česticama, a završava sitnozrnatim pijescima, nakon kojih slijede prah i glina. Litološka heterogenost naslaga u vertikalnom i horizontalnom smjeru posljedica je prethodno navedenih uvjeta taloženja (Nakić i Žugaj, 2008a).

U Slavonsko – srijemsku potolinu veliki udio materijala prenošen je rijekama koje se mogu usporediti s današnjom Bosnom, Ukraškom i Drinom i vodotocima s Dilja. Transport materijala odvijao se od juga prema sjeveru, što je uzrokovalo smanjenje udjela krupnozrnatih čestica i veličina zrna, a kao posljedica je na jugu uz rijeku Savu uglavnom taložen šljunak, dok je na sjeveru uglavnom taložen pijesak (Nakić i Žugaj, 2008a).

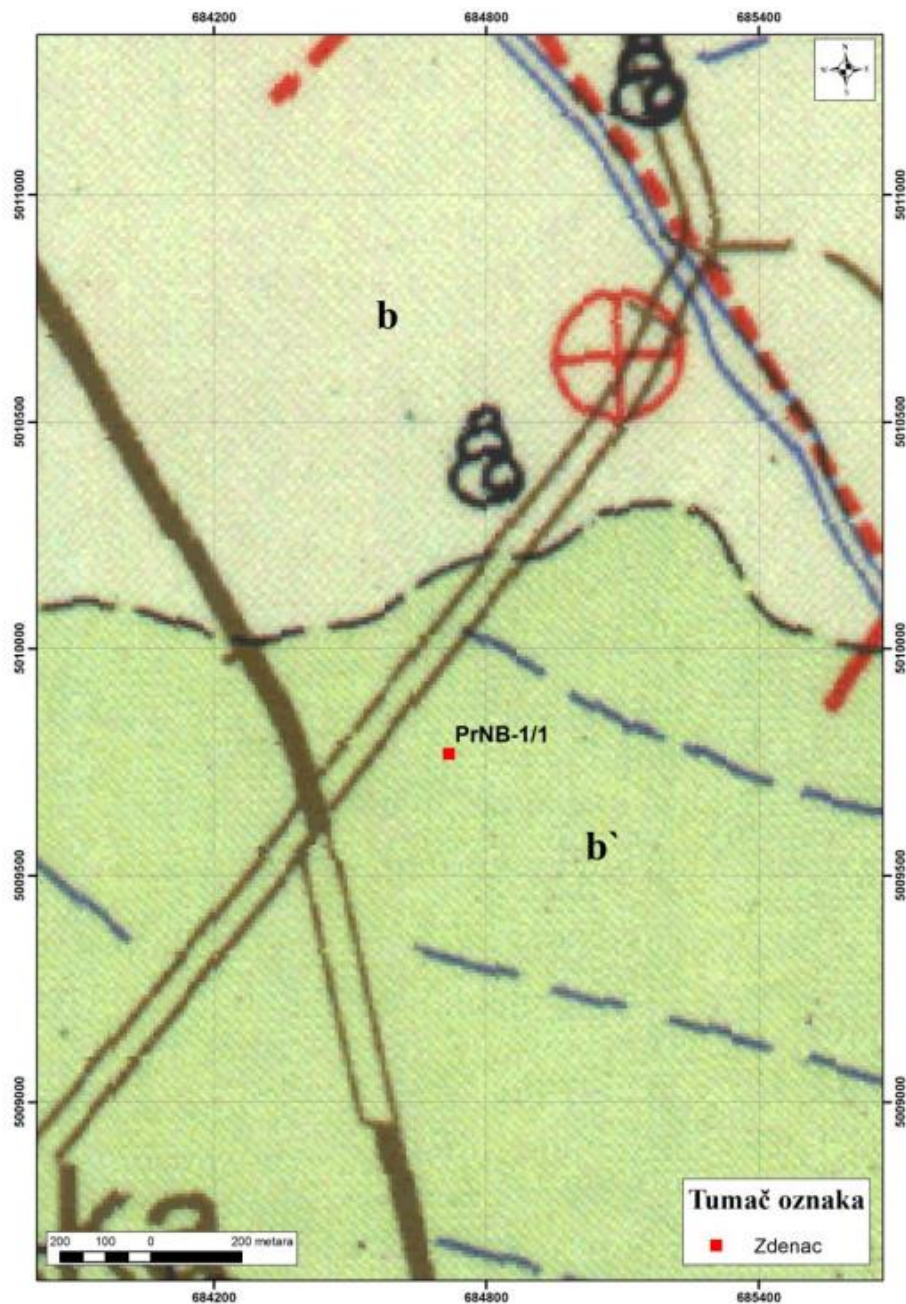
Izvorište Topolik nalazi se u području prostiranja Vuka formacije. Na tom području litološki se razlikuju tri osnovne faze sedimentacije. U donjem dijelu, na dubini većoj od 600 m, prevladavaju krupno klastične naslage. Debljina naslaga i udio pjeskovitih slojeva raste prema istoku. Za drugu fazu sedimentacije karakteristično je taloženje glinovitog materijala s tankim proslojcima pijeska. U trećoj, ujedno i završnoj fazi dolazi do naizmjenične sedimentacije pjeskovito – šljunkovitih i glinovito – prašinih naslaga koja je prostorno ograničena (Bačani, 1997).

Geološke značajke na užem području izvorišta Topolik prikazane su na isječku OGK Vinkovci (slika 2.1). Na užem području izvorišta Topolik na površini se mogu izdvojiti sljedeće jedinice (Brkić et al., 1989b; Nakić i Žugaj, 2008b):

Mlađi barski sedimenti (b'), holocenske starosti, nalaze se južno od lesnoga ravnjaka. Ispunjavaju blage depresije koje su djelomično uvjetovane tektonskim gibanjima. Sastavljene su od plavičasto-smeđe do sivo-crne siltozne gline, koje su često i tresetnoga tipa. Sedimenti su slični starijim barskim sedimentima no razlika je u porastu glinovite komponente. Debljina ovih sedimenata uglavnom varira od 0,5 do 2 m.

Stariji barski sedimenti (b), pleistocenske starosti, taloženi su na širokom prostoru južno od lesnoga ravnjaka sve do Save. Jednim dijelom su pokriveni barsko-močvarnim holocenskim naslagama. Većinom su izgrađeni od svijetlo-smeđih, šarenih, glinovitih siltova, a često se

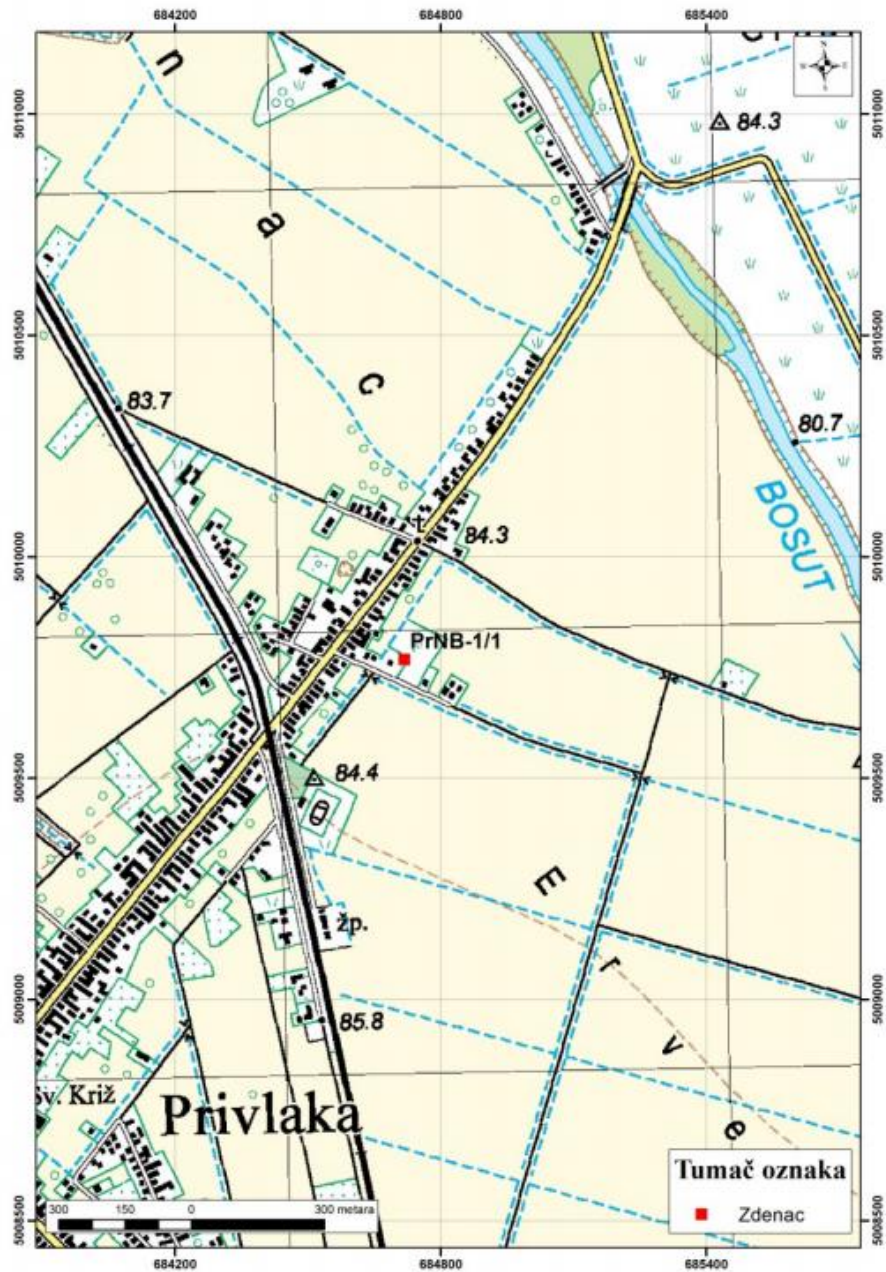
pojavljuju i u nepravilnoj izmjeni s tamno-sivim organskim siltom. Debljina ovih naslaga se kreće u rasponu od 5 do 8 m.



Slika 2.1. Isječak OGK list Vinkovci na užem području zвориšta Topolik (Brkić et al., 1989a; Nakić i Kovač, 2017)

Litološke značajke naslaga na lokaciji izvorišta Topolik - Privlaka prikazane su na temelju detaljne determinacije jezgre iz zdenca PrNB-1/1. Položaj zdenca PrNB-1/1 prikazan je na slici 2.2., dok je na slici 2.3. prikazan litološki profil zdenca.

Zdenac PrNB-1/1 izveden je 2016. godine. Od površine terena pa do dubine od 26,5 m dominantno prevladavaju sitnozrnate čestice, većinom gline i glinoviti prahovi. Zatim slijedi prvi sloj sitnozrnatog do srednjezrnatog pjeska nakon čega se ponovno pojavljuju prahovi i gline. Tanki proslojak prašinatog pijeska prethodi debelom paketu sitnozrnatih naslaga od 41,5 do 58,5 m dubine te ponovo slijedi tanak proslojak sitnog prašinatog pjeska. Ispod tankog proslojka pojavljuju se sitnozrnate čestice, dominantno sačinjenje od glina i glinovitih prahova. Do dubine bušenja izmijenjuju se tanki proslojci pijeska, glinovitog praha i gline. Glavni sloj sitnozrnatog do srednjezrnatog pjeska nalazi se na dubini od 81,5 do 88,5 m (Šimundić i Presečan, 2016). Iz litološkog sastava vidljivo je da se na području izvorišta Topolik nalaze velike debljine slabo propusnih glina u površinskom dijelu naslaga i postojanost malog broja slojeva propusnih pjeskovitih naslaga na dubinama većim od 75 m (Nakić i Kovač, 2017).



Slika 2.2. Položaj zdenca PrNB-1/1 na izvorištu Topolik (Nakić i Kovač, 2017)

Mjerilo 1:175	LITOLOŠKI SASTAV	Djeljina (m)	Vadonosni slojevi
-10	Prah, glinoviti, do glina, prašnasta, plastično, sivosmeđe do žutosmeđe, s kongrecijama.	9,0	
	Glina, slabo prašnasta, plastična, sivosmeđa s rjeđe sivim primjesama.	6,5	
-20	Prah, glinoviti, slabo plastičan, žutosmeđ, s kongrecijama.	4,0	
	Glina, gusta, vrlo plastična, sivosmeđa do tamnosmeđa	3,0	
-30	Glina, vrlo plastična, meka, žutosmeđa, u dnu prah.	4,0	
	Pijesak, sitno do srednjezrnati, linjčati, sivosmeđi	4,0	
-40	Glina, meka, plastična, smeđa	2,0	
	Prah, glinoviti, svjetlosivi i oker boje.	3,0	
	Glina, prašnasta, plastična, žutosmeđa, s pijeskom.	2,0	
	Glina, svjetlosiva, te prah, sivožut.	2,0	
	Pijesak, sitnozrnati, linjčasti	2,0	///
-50	Glina, gusta, prašnasta, meka, plastična, smeđesiva.	4,0	
	Glina, slabo prašnasta, meka, plastična, sivožuta, svjetlosmeđa i rijetko siva, s mjestimičnim kongrecijama.	7,0	
	Glina, svjetlosiva, meka, vrlo plastična, u dnu prah, sivi, slabo plastično.	6,0	
-60	Pijesak, sitnozrnati, prašnasti, sivi.	1,0	///
	Glina, slabo prašnasta, siva, s oker uklopcima.	3,0	
	Prah, sivi, smeđesivi, s uklopcima i kongrecijama.	2,0	
	Glina, meka, siva.	1,0	
	Prah, glinoviti, sivi, slabo plastično.	2,0	
	Glina, plastična, meka, siva.	2,0	
	Glina i prah, sivo, s kongrecijama.	2,0	
-70	Pijesak, sitnozrnati, sivi s prahom.	2,0	///
	Prah, glinoviti, sivi.	1,0	///
	Pijesak, sitnozrnati, linjčasti, sivi, s prahom u dnu.	3,0	///
	Prah, glinoviti, svjetlosivi, s pijeskom u vrhu i dnu.	4,0	
-80	Pijesak, sitno do srednjezrnati, linjci do krupni, mjestimično šljunkovit, sivi, mjestimično kongrecije i školjke.	7,0	///
	Glina, laporasta, sitnozrnata.	1,0	
	Glina, laporasta, prašnasta, svjetlosiva, s kongrecijama.	3,0	
	Prah, glinoviti, svjetlosivi, s kongrecijama.	2,0	
	Pijesak, sitno do srednjezrnati, slabo šljunkovit, sivi.	2,5	///
-100	Glina, laporasta, svjetlosiva do siva, meka, rijetko kongrecije.	6,5	

Slika 2.3. Litološki profil zdenca PrNB-1/1 na izvorištu Topolik (Šimundić i Presečen 2016; Nakić i Kovač, 2017)

## 2.2. Hidrogeološke značajke

Glavni vodonosni slojevi na području istočne Slavonije nalaze se unutar hidrogeološke jedinice koja se sastoji od naslaga gornjeg pliocena i kvartara. Prema dubini zalijeganja i načinu obnavljanja zaliha podzemnih voda razlikuju se plitki vodonosni slojevi otvorenog do poluzatvorenog tipa i dublji vodonosni slojevi poluzatvorenog do zatvorenog tipa (Nakić i Žugaj, 2007).

Za vodonosne slojeve karakteristično je da se od rijeke Save prema sjeveru smanjuje debljina, a povećava udio sitnih frakcija. Debljine vodonosnih naslaga bile su izložene neotektonskim pokretima što je imalo veliki utjecaj na same naslage. Rezultat djelovanja neotektonskih pokreta vidljiv je u nestabilnim i stabilnim djelovima potoline. U nestabilnim dijelovima, vodonosni sloj stanjuju i isklinjavaju dok u stabilnim djelovima debljina vodonosnih slojeva iznosi više desetaka metara (Nakić i Žugaj, 2007).

Dublji poluzatvoreni i zatvoreni vodonosni slojevi bili su pod velikim utjecajem tektonike te im je narušen prostorni kontinuitet. Prethodno spomenuti vodonosni slojevi dominantno se sastoje od pjeskovito – šljunkovitih proslojaka unutar glinovito – prašinih naslaga. Pojava šljunkovitih pijesaka u južnom i jugoistočnom dijelu promatranog područja posljedica je grubljih nanosa Ukrene, Bosne i Drine, dok u sjevernom djelu prevladavaju pijesci i prašinski pijesci. Kako se povećava udaljenost od izvora krupno klastičnog materijala tako se smanjuje debljina vodonosnih naslaga (Nakić i Žugaj, 2007).

Pojas uz rijeku Savu pripada u kvartarne naslage s regionalno značajnim vodonosnicima koji imaju veliku transmisivnosti te vrlo dobre propusne naslage s debljinom od preko 90 m. Vodonosnik je nazvan po mjestu gdje je prvi put nabušen odnosno „Velika Kapanica“ (Nakić i Žugaj, 2007).

Glavne karakteristike vodonosnika su nekonsolidiran materijal, velika hidraulička vodljivost te niska mineralizacija podzemne vode. Prema istoku i sjeveru ovaj vodonosni horizont prelazi u pjeskoviti (Miletić i dr., 1986). Smanjena debljina i dominantno pjeskoviti sastav površinskoga pokrivača omogućuje hidrauličku vezu između Save i plitkih površinskih slojeva. Prema tome, prihranjivanje vodonosnika je uvjetovano vodostajem Save. Infiltracija vodonosnoga horizonta



omogućena je i infiltracijom oborina te perkolacijom kroz polupropusne krovinske naslage (Nakić i Žugaj, 2007).

Vodonosnici se uglavnom sastoje od pjeskovitih vodonosnih slojeva koji se mogu podijeliti u tri vodonosna horizonta: Vinkovci, Nijemci i Strizivojna. Debljina ovih vodonosnih slojeva je vrlo neujednačena i manja u usporedbi sa šljunkovito – pjeskovitim vodonosnim slojem koji se proteže uz rijeku Savu. Propusni slojevi dominantno su izgrađeni od pijeska različitog granulometrijskog sastava koji se izmjenjuje s glinovito – prašinastim materijalima. Ovi vodonosni horizonti predstavljaju vodonosnike poluzatvorenoga do zatvorenoga tipa u kojima postoje česte vertikalne i lateralne promjene granulometrijskog sastava. Glavni smjer tečenja podzemne vode je od ZJZ prema ISI, a debljina krovinskih naslaga je u pojedinim dijelovima veća od 40 m (Nakić i Žugaj, 2008b).

Zatvoreni vodonosni sloj je potpuno saturiran vodonosni sloj kojemu se u krovini (i podini) nalaze nepropusne naslage, odnosno njihova hidraulička vodljivost teži nuli. U zatvorenim vodonosnim slojevima piezometarska razina viša je od vodnog lica, a tlak vode veći je od atmosferskog. Poluzatvoreni vodonosni sloj je u potpunosti saturiran vodonosni sloj čiju gornju i donju granicu čine slabopropusne naslage, a hidraulička vodljivost je veća od nule, ali puno manja od hidrauličke vodljivosti vodonosnog sloja pa se horizontalna komponenta može zanemariti. Kao i u zatvorenom vodonosnom sloju voda je pod tlakom većim od atmosferskog. Otvoreni vodonosni sloj je propusni sloj, ali samo djelomično ispunjen vodom, leži na nepropusnoj podlozi. Gornja granica saturiranog dijela je vodno lice pod atmosferskim tlakom, a razina vode u piezometru većinom se podudara s vodnim licem (Bačani, 2006).

### 3. Tehnički opis vodozahvata

Vodopskrbni sustav Privlake obuhvaća naselje Privlaka s 876 priključenih korisnika. Sastoji se od: zahvata podzemne vode na izvorištu Topolik – Privlaka (zdenac PrNB-1/1 – instalirani kapacitet 10 l/s), tlačne stanice te transportne i distributivne vodovodne mreže. Pokusno – eksploatacijski zdenac PrNB-1/1 izveden je u razdoblju od 11. do 28. listopada 2016. godine (Šimundić i Presečan, 2016).

Od površine terena do dubine od 26,5 m uglavnom dominiraju sitnozrnate čestice, odnosno gline i glinoviti prahovi. Na temelju geološke determinacije uzorka nabušenog materijala utvrđena su četiri glavna vodonosna horizonta koja su izgrađena od pijeska i šljunka. Ukupna debljina nabušenih vodonosnih pijesaka je oko 18,0 m. Na ovom zdencu kaptiran je i prvi vodonosni horizont, za razliku od starog zdenca gdje je kaptiran samo jedan vodonosni sloj na dubini od 75 do 97 m. Prvi vodonosni sloj u starom zdencu na dubini od 27,8 do 31 m nije kaptiran zbog relativno plitkog zalijeganja i male debljine (Šimundić i Presečan, 2016).

U tablici 3.1. prikazani su glavni vodonosni horizonti te njihove dubine, debljine i litološki sastav.

Tablica 3.1. Glavni vodonosni horizonti zdenca PrNB-1/1 (Šimundić i Presečan, 2016)

Dubina intervala (m)	Debljina sloja (m)	Litološki sastav slojeva	Broj horizonata
26,5 – 30,5	4,0	Pijesak sitno do srednježrni, sivosmeđi	I-sloj, kaptiran
71,5 – 77,5	do 5,0	Pijesak sitnozrni, tinjčevi, sivi, s proslojcima praha	II-sloj, kaptiran
81,5 – 88,5	7,0	Pijesak sitno do srednježrni mjestimice šljunkoviti, sivi	III-sloj, kaptiran
94,5 – 96,5	2,5	Pijesak sitno do krupnozrnati, slabo šljunkoviti, tamnosivi	IV-sloj, kaptiran

## 4. Pokusno crpljenje i izračun hidrogeoloških parametara

Pokusnim crpljenjem određuju se hidrogeološki parametri, odnosno transmisivnost, hidraulička vodljivost i uskladištenje. Mjerenjem sniženja u crpljenom zdenču i opažaćkim bušotinama odnosno piezometrima određuje se učinak crpljenja na piezometarsku visinu. Pomoću pojedinih formula u koje se uvrštavaju poznate i izmjerene veličine mogu se izračunati hidrogeološki parametri. Prethodno opisani postupak pokusnog crpljenja odnosi se isključivo na propusne vodonosne naslage. Pokusno crpljenje može imati dvije namjene. Prva namjena se odnosi na testiranje vodonosnog sloja, tj. na određivanje hidrogeoloških parametara, a druga namjena se odnosi na testiranje zdenca tj. određivanje specifičnog kapaciteta zdenca, dozvoljenog sniženja, izbora odgovarajuće crpke, itd. (Bačani, 2006).

Hidrogeološki parametri su hidraulička vodljivost ( $K$ ), transmisivnost ( $T$ ) i uskladištenje ( $S$ ), a izračunavaju se pokusnim crpljenjem tj. testiranjem vodonosnog sloja. Hidraulička vodljivost se definira kao količina vode koja protječe kroz poprečni presjek vodonosne stijene jedinične površine ( $F=1 \text{ m}^2$ ) uz jedinični hidraulički gradijent tj. pad potencijala za jedan metar na udaljenosti od jednog metra u smjeru tečenja podzemne vode. Mjerna jedinica hidrauličke vodljivosti je  $\text{m/s}$ . Ovisi o svojstvima stijene kroz koju se fluid filtrira i o svojstvima fluida koji se filtrira. Hidraulička vodljivost može se odrediti na nekoliko načina, a sam odabir metode ovisi o cilju istraživanja i raspoloživim sredstvima. Najskuplja, ali ujedno i najtočnija metoda je terenska metoda pokusnog crpljenja gdje se hidraulička vodljivost određuje dijeljenjem transmisivnosti ( $T$ ) s debljinom sloja ( $m$ ). Hidraulička vodljivost može se odrediti i laboratorijski pomoću permeametra. Zadnja metoda koja se često koristi temelji se na empirijskim formulama uz korištenje podataka o granulometrijskom sastavu porozne sredine (Bačani, 2006).

Transmisivnost ( $T$ ) se definira kao količina vode koja protječe kroz poprečni presjek vodonosnog sloja, jedinične širine i debljine ( $m$ ), uz jedinični hidraulički gradijent. Mjerna jedinica transmisivnosti je  $\text{m}^2/\text{s}$ . Izračunava se kao umnožak hidrauličke vodljivosti ( $K$ ) i debljine sloja ( $m$ ) (Bačani, 2006).

Hidrogeološki parametar, uskladištenje (S) je volumen vode koji će otpustiti prizma vodonosnog sloja jedinične površine ako se piezometarska visina (h) snizi za jedinicu (1 m). To je bezdimenzionalna veličina. Uskladištenje je svojstvo zatvorenih i poluzatvorenih vodonosnih slojeva, a voda je u njima pod tlakom većim od atmosferskog (Bačani, 2006).

#### 4.1. Theisova metoda

Za određivanje hidrogeoloških parametara zatvorenog vodonosnog sloja koristi se Theisova metoda. Postupak izračuna parametara je sljedeći: prvi korak je da se na paus papiru s dvostrukom logaritamskom podjelom nanosi vrijeme (t) na apcisu, a sniženje (s) na ordinatu. Sljedeći korak je da se paus papir s nanijetim podacima postavi preko tipske krivulje  $w(u) - 1/u$  te se traži najbolje podudaranje tipske krivulje i krivulje mjerenih podataka pritom pazeći na paralelnost koordinatnih osi. U zadnjem koraku odabire se točka bilo gdje na paus papiru te se očitaju dvije nepoznate vrijednosti s krivulje mjerenih podataka t i s, a dvije s tipske krivulje  $1/u$  i  $w(u)$ . Očitane vrijednosti koordinata odabrane točke kao i poznate vrijednosti uvrštavaju se u formulu za transmisivnost (T) (Bačani, 2006):

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(u) \quad (4.1)$$

Gdje je:

T – transmisivnost [ $m^2/s$ ],

s – sniženje [m],

Q – crpna količina [ $m^3/s$ ],

$w(u)$  – vrijednost funkcije zdenca [-].

Omjerom transmisivnosti (T) i debljine vodosnosnog sloja (m) dobiva se hidraulička vodljivost (K).

$$K = \frac{T}{m} \quad (4.2)$$

Gdje je:

K – hidraulička vodljivost [m/s],

m – debljina vodonosnog sloja [m],

T – transmisivnost [m<sup>2</sup>/s].

#### 4.2. Jacob-Cooperova metoda

Jacob-Cooperova metoda koristi se za izračun hidrogeoloških parametara zatvorenog vodonosnog sloja uz nestacionarne uvjete toka. Metoda se bazira na Theisovoj jednadžbi, ali za izračun parametara nije potrebna tipska krivulja. Izmjerena sniženja (s) u linearnom mjerilu crtaju se u odnosu na vrijeme (t) u logaritamskom mjerilu na način da se podaci mogu aproksimirati pravcem. Pravac se produžuje do presjecišta s apcisonom koje ima koordinate  $s = 0$ ,  $t = t_0$ . Formula za izračun transmisivnosti (T) je (Bačani, 2006):

$$T = \frac{2,3Q}{4\pi\Delta s} \quad (4.3)$$

Gdje je:

T – transmisivnost [m<sup>2</sup>/s],

Q – crpna količina [m<sup>3</sup>/s],

$\Delta s$  – razlika sniženja ( $s_1 - s_2$ ) za 1 logaritamski ciklus [m].

#### 4.3. Theisova metoda povratka razine

Pomoću Theisove metode povratka razine određuje se transmisivnost (T). Ta metoda koristi se kao kontrola vrijednosti transmisivnosti dobivene na temelju podataka za vrijeme crpljenja. „Povratak“ zdenca je naziv za povećanje razine vode u zdencu nakon prestanka crpljenja. „Zaostalo sniženje“ naziva se sniženje u odnosu na razinu vode prije početka crpljenja. Razlika

početnog potencijala prije početka crpljenja ( $h_0$ ) i potencijala za vrijeme crpljenja  $h'$  izražava se kao zaostalo sniženje  $\Delta s'$ . Stoga se dobije (Bačani, 2006):

$$\Delta s' = \frac{2,3Q}{4\pi T} \log \frac{t}{t'} \quad (4.4)$$

Gdje je:

$\Delta s'$  – zaostalo sniženje nakon prestanka crpljenja [m],

$Q$  – količina crpljenja [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],

$T$  – transmisivnost [ $\text{m}^2/\text{s}$ ],

$t$  – vrijeme proteklo od početka crpljenja [s],

$t'$  - vrijeme proteklo od prestanka crpljenja [s].

Postupak određivanja je slijedeći: za jedan zdenac na papir s polulogaritamskim mjerilom nanose se vrijednosti zaostalog sniženja  $\Delta s'$  u odnosu na vrijednosti omjera vremena  $t/t'$ . Dobivene točke aproksimiraju se pravcem za svaki logaritamski ciklus. Očita se vrijednost  $\Delta s'$  koja se uvrštava u formulu za transmisivnost ( $T$ ) (Bačani, 2006):

$$T = \frac{2,3Q}{4\pi\Delta s'} \quad (4.5)$$

Gdje je:

$T$  – transmisivnost [ $\text{m}^2/\text{s}$ ],

$Q$  – količina crpljenja [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],

$\Delta s'$  – zaostalo sniženje [m].

#### 4.4. Hantush-Jacobova metoda

Hantush-Jacobova metoda koristi se za izračun hidrogeoloških parametara poluzatvorenog vodonosnog sloja uz nestacionarne uvjete toka. Postupak izračuna parametara je slijedeći: prvotno se na paus papir s dvostrukom logaritamskom podjelom nanosi vrijeme  $t$  na apcisu, a

sniženje  $s$  na ordinatu. Slijedeći korak je da se paus papir s nanijetim podacima postavi preko „familije” tipskih krivulja te se traži najbolje podudaranje tipske krivulje s krivuljom mjerenih podataka pritom pazeći na paralelnost te se očitava  $r/B$  s odabrane tipske krivulje. U zadnjem koraku odabire se točka bilo gdje na paus papiru te se očitavaju dvije nepoznate vrijednosti s krivulje mjerenih podataka  $t$  i  $s$ , a dvije s tipske krivulje  $1/u$  i  $w(u, r/B)$ . Očitane vrijednosti koordinata odabrane točke kao i poznate vrijednosti uvrštavaju se u formulu za transmisivnost ( $T$ ) (Bačani, 2006):

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(u, r/B) \quad 4.6.)$$

Gdje je:

$T$  – transmisivnost [ $m^2/s$ ],

$s$  – sniženje [ $m$ ],

$Q$  – crpna količina [ $m^3/s$ ],

$w(u, r/B)$  – vrijednost funkcije zdenca [-].

#### 4.5. Opis postupka u AutoCAD-u

Grafovi za potrebe izračuna kod crpljenja stalnom količinom te crpljenjem u koracima (prvi korak) izrađeni su u računalnom programu AutoCAD. U AutoCAD-u prvo se unose podloge u mjerilu. Za Jacob-Cooperovu metodu i Theisovu metodu povrata koristila se podloga s polulogaritamskim mjerilom dok se za Theisovu i Hantush-Jacobovu metodu koristila podloga s dvostrukim logaritamskim mjerilom. Također su unesene tipske krivulje u mjerilu. Na unesene podloge iscrtavaju se točke koje predstavljaju razinu sniženja u datom vremenskom trenutku. Unesne točke aproksimiraju se pravcem kod Jacob-Cooperove metode i Theisove metode povratka razine. Nakon aproksimacije pravcem iz grafa se očitava razlika u sniženju za jedan logaritamski ciklus. Kod Theisove metode točke se aproksimiraju Theisovom krivuljom na način da se ostvari čim točnije preklapanje. Potrebno je da veličina logoritamskog ciklusa na pausu bude identična onoj na tipskim krivuljama. Nakon preklapanja određuje se proizvoljna točka te se očitavaju vrijednosti, odnosno vrijeme i sniženje. Theisovom metodom nije bilo

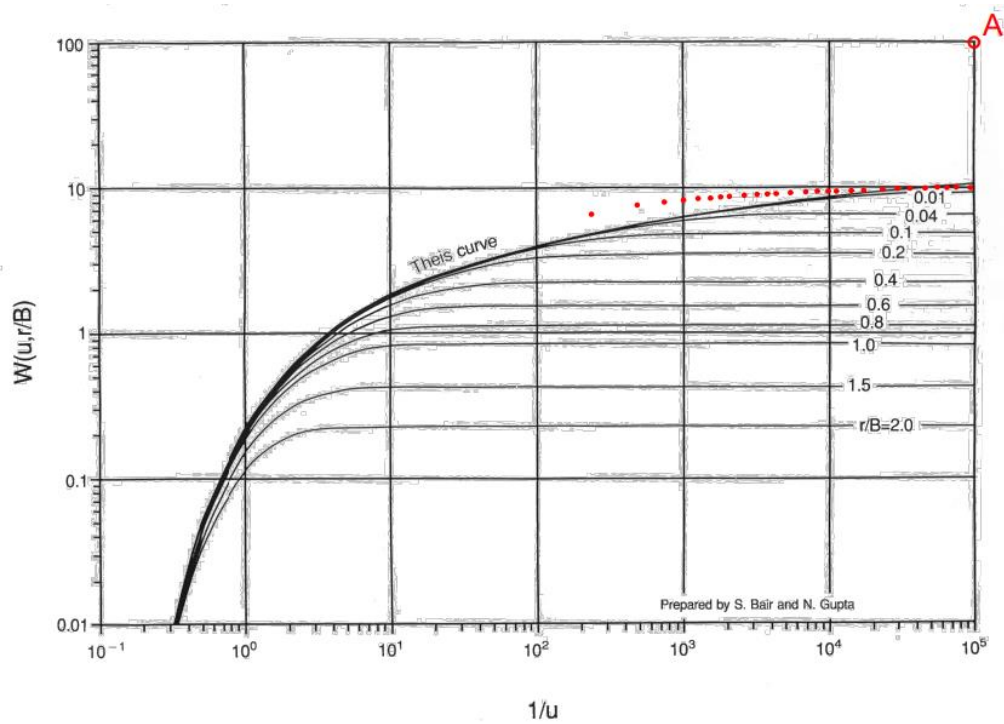
moće dobiti reprezentativno podudaranje s Theisovom krivuljom te je zbog toga korištena metoda za poluzatvoreni vodonosni sloj, Hantush-Jacobova metoda. Kod Hantush-Jacobove metode točke su aproksimirane s tipskom krivuljom za koju je utvrđeno najbolje preklapanje.



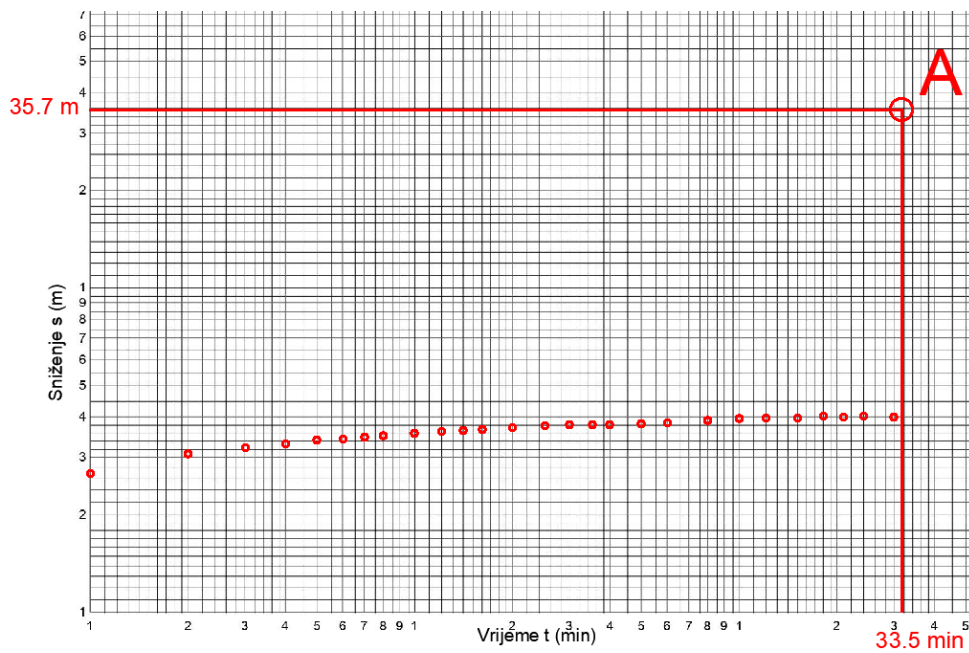
## 5. Rezultati

U okviru ovog završnog rada izračunati su hidrogeološki parametri na temelju Theisove, Jacob-Cooperove, Theisove metode povratka razine i Hantush-Jacobove metode za zatvoreni i poluzatvoreni vodonosni sloj. Primarni cilj bio je provesti interpretaciju podataka dobivenih pokusnim crpljenjem zdenca PrNB-1/1 pomoću prethodno spomenutih metoda te usporediti dobivene vrijednosti hidrogeoloških parametara. Podaci su grafički obrađeni u AutoCAD-u te su na temelju dobivenih grafova izračunate vrijednosti transmisivnosti i hidrauličke vodljivosti. Obrađeni su podaci pokusnog crpljenja za stalnu količinu te za crpljenje u koracima za prvi korak. Podaci dobiveni pokusnim crpljenjem stalnom količinom nisu obrađeni u potpunosti već samo za prvih 300 min. Nakon tristote minute počelo je uključivanje i isključivanje starog zdenca u različitim vremenskim razmacima te daljnji podaci više nisu korišteni. Theisova, Jacob-Cooperova, Theisova metoda povratka razine i Hantush-Jacobovom metoda primjenjene su na podatke dobivene pokusnim crpljenjem stalnom crpnom količinom  $Q_{\text{konst}} = 0,013 \text{ m}^3/\text{s}$  za sniženje u zdencu PrNB-1/1, a Theisova, Jacob-Cooperova i Hantush-Jacobova metoda primjenjene su na podatke dobivene pokusnim crpljenjem za prvi korak crpnom količinom  $Q = 0,0075 \text{ m}^3/\text{s}$  za sniženje u zdencu PrNB-1/1.

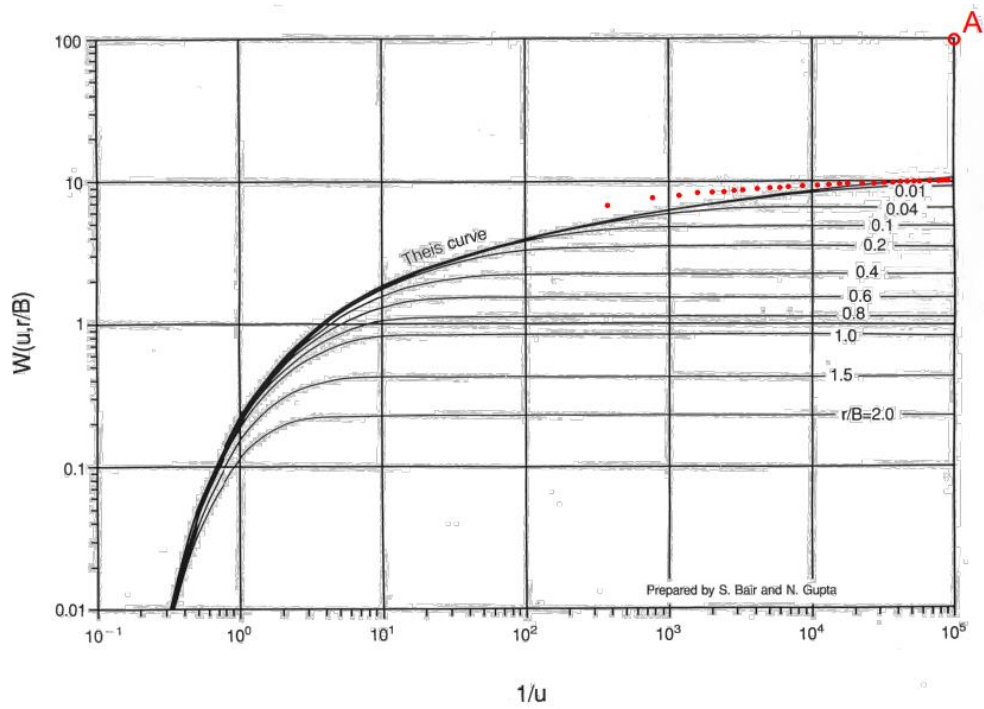
Grafovi sniženja za crpljenje stalnom količinom prikazani su na slikama 5.1. i 5.2., a za crpljenja u koracima, za prvi korak, na slikama 5.3. i 5.4.



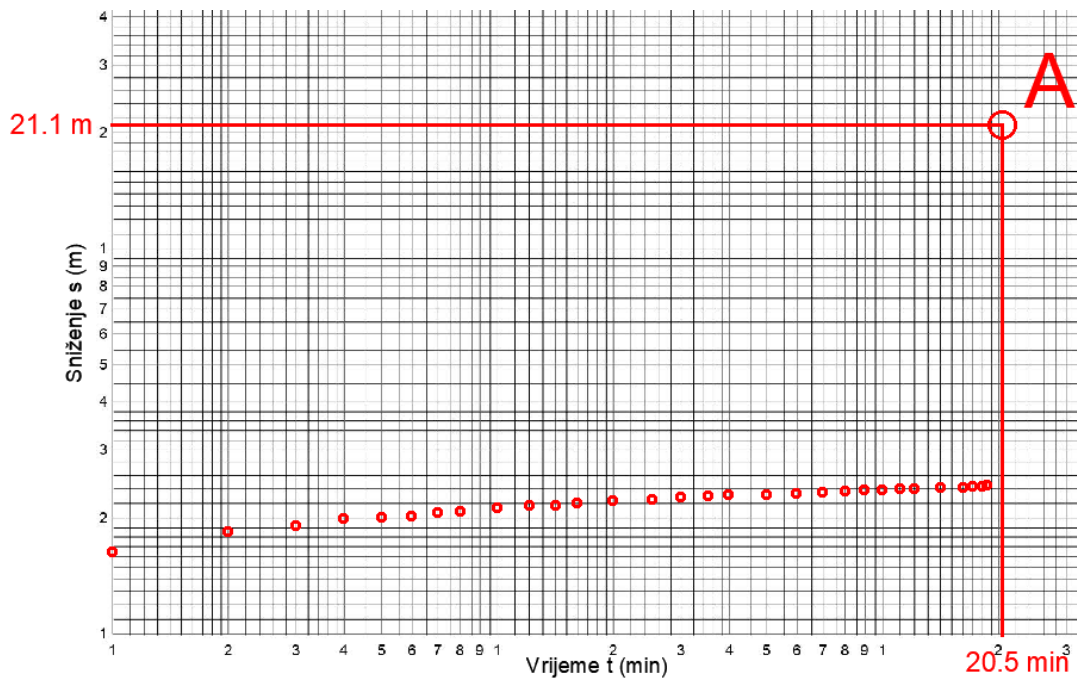
Slika 5.1. Preklapanje „krivulje“ mjerenih podataka preko Theisove krivulje za crpljenje stalnom količinom



Slika 5.2. Graf „vrijeme-sniženje“ i točka preklapanja za crpljenje stalnom količinom u dvostrukom logaritamskom mjerilu za zdenac PrNB-1/1



Slika 5.3. Preklapanje „krivulje“ mjerenih podataka preko Theisove krivulje za prvi korak crpljenja u koracima



Slika 5.4. Graf „vrijeme-sniženje“ i točka preklapanaj za crpljenje u koracima (prvi korak) u dvostrukom logaritamskom mjerilu za zdenac PrNB-1/1

U tablici 5.1. prikazani su ulazni podaci za crpljenje stalnom količinom i crpljenje u koracima (prvi korak) korišteni u izračunu hidrogeoloških parametara kod Theisove metode.

Tablica 5.1. Ulazni podaci korišteni u izračunu hidrogeoloških parametara kod Theisove metode

<b>Ulazni podaci za zdenac PrNB1-1 Crpljenje stalnom količinom</b>	<b>Ulazni podaci za zdenac PrNB1-1 Crpljenje u koracima, 1. korak</b>
$Q = 0,013 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 0,0075 \text{ m}^3/\text{s}$
$s = 35,7 \text{ m}$	$s = 21,1 \text{ m}$
$m = 18,5 \text{ m}$	$m = 18,5 \text{ m}$
$W(u) = 100$	$W(u) = 100$

U tablici 5.1. ulazni podatak  $m$  predstavlja debljinu vodosnog sloja.

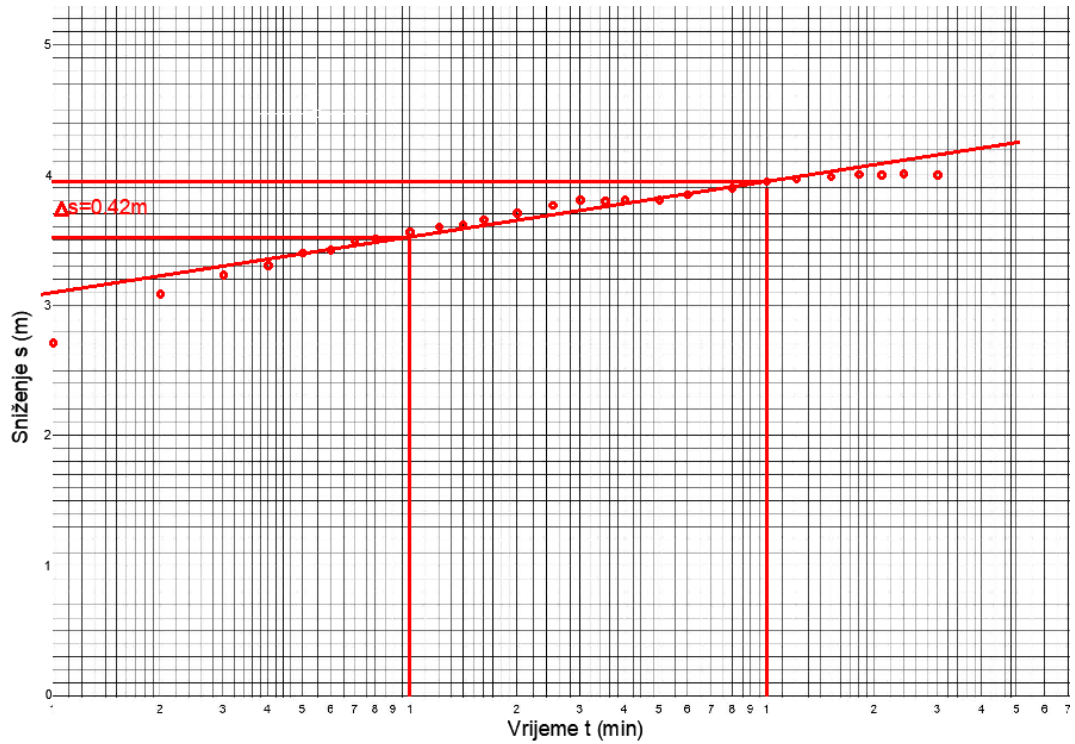
Na slikama 5.1. i 5.3. vidljiva je loša aproksimacija točaka s Theisovom krivuljom te je zbog toga korištena Hantush-Jacobova metoda, a točke se aproksimirane s jednom od tipskih krivulja za koju se dobilo najbolje preklapanje, a samim time i precizniji rezultati. Razlika između Theisove krivulje i ostalih tipskih krivulja ovisi o količini procjeđivanja kroz slabopropusni sloj. Kad nema procjeđivanja, odnosno kad se radi o zatvorenom sloj koristi se Theisova krivulja, a što je procjeđivanje veće to će biti veći otklon od Theisove krivulje.

Interpretacijom prikazanih grafova za zdenac PrNB-1/1 na temelju Theisove metode za crpljenje stalnom količinom i crpljenje u koracima za prvi korak dobivene su sljedeće vrijednosti hidrogeoloških parametara prikazane u tablici 5.2.

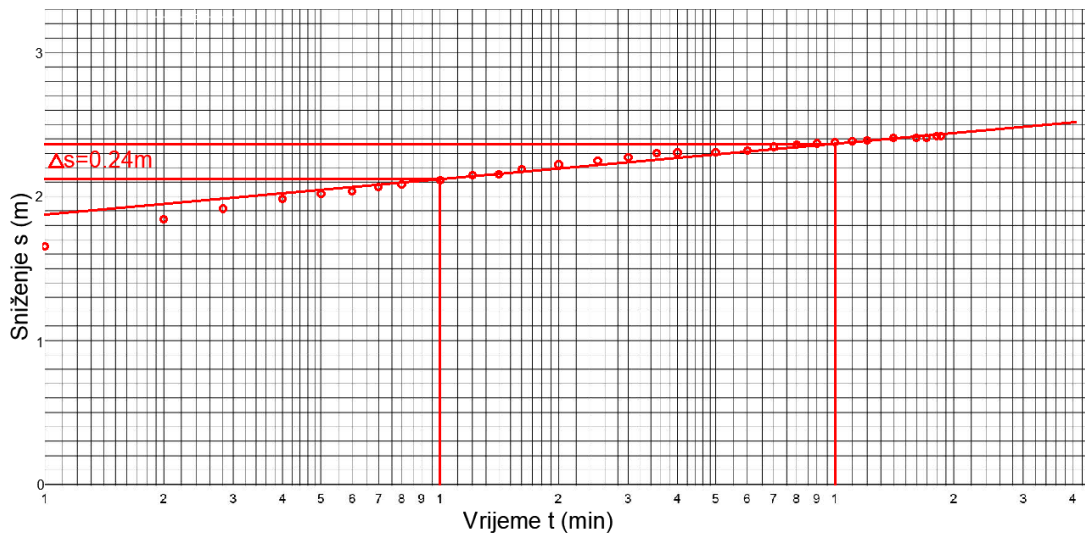
Tablica 5.2. Rezultati dobiveni interpretacijom podataka pokusnog crpljenja zdenca PrNB-1/1 Theisovom metodom za crpljenje stalnom količinom i crpljenje u koracima za prvi korak

<b>Hidrogeološki parametri</b>	<b>Crpljenje stalnom količinom</b>	<b>Crpljenje u koracima, 1. korak</b>
Transmisivnost ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	$2,90 \cdot 10^{-3}$	$2,83 \cdot 10^{-3}$
Hidraulička vodljivost ( $\text{m/s}$ )	$1,57 \cdot 10^{-4}$	$1,53 \cdot 10^{-4}$

Jacob-Cooperovom metodom dobiveni su grafovi vrijeme  $t$ -sniženje  $s$  za zdenac PrNB-1/1 za crpljenje stalnom količinom i crpljenje u koracima za prvi korak. Graf za crpljenje stalnom količinom prikazan je na slici 5.5., a graf za crpljenje u koracima za prvi korak na slici 5.6.



Slika 5.5. Graf „vrijeme-sniženje“ za crpljenje stalnom količinom u polulogaritamskom mjerilu za zdenac PrNB-1/1



Slika 5.6. Graf „vrijeme-sniženje“ za crpljenje u koracima za prvi korak u polulogaritamskom mjerilu za zdenac PrNB-1/1

U tablici 5.3. prikazani su ulazni podaci za crpljenje stalnom količinom i crpljenje u koracima (prvi korak) korišteni u izračunu hidrogeoloških parametara kod Jacob-Cooperove metode.

Tablica 5.3. Ulazni podaci korišteni u izračunu hidrogeoloških parametara kod Jacob-Cooperove metode

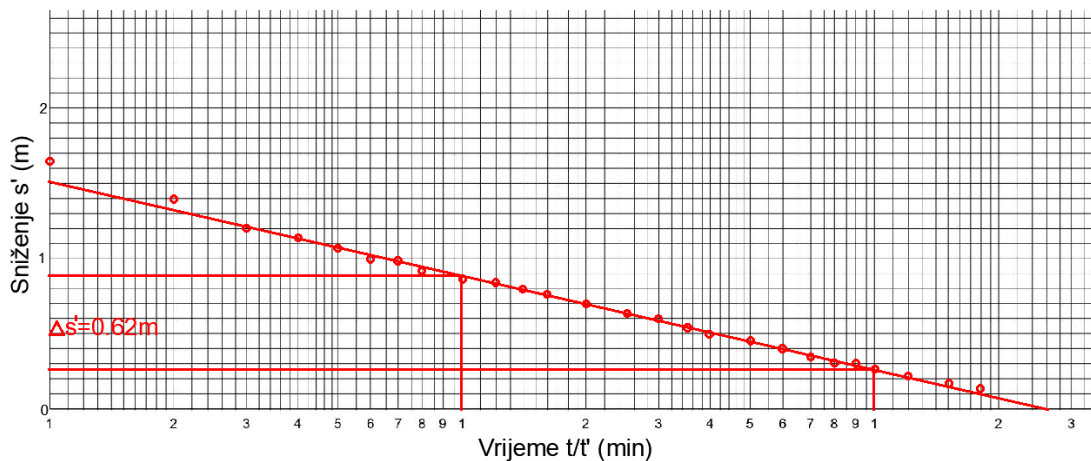
<b>Ulazni podaci za zdenac PrNB1-1 Crpljenje stalnom količinom</b>	<b>Ulazni podaci za zdenac PrNB1-1 Crpljenje u koracima, 1. korak</b>
$Q_{\text{kons}} = 0,013 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 0,0075 \text{ m}^3/\text{s}$
$\Delta s = 0,42 \text{ m}$	$\Delta s = 0,24 \text{ m}$
$m = 18,5 \text{ m}$	$m = 18,5 \text{ m}$

Interpretacijom prikazanih grafova za zdenac PrNB-1/1 na temelju Jacob-Cooperove metode za crpljenje stalnom količinom i crpljenje u koracima za prvi korak dobiveni su iznosi transmisivnosti T i hidrauličke vodljivosti K prikazane u tablici 5.4.

Tablica 5.4. Rezultati hidrogeoloških parametara Jacob-Cooperovom metodom za zdenac PrNB-1/1 za crpljenje stalnom količinom i crpljenje u koracima za prvi korak

<b>Hidrogeološki parametri</b>	<b>Crpljenje stalnom količinom</b>	<b>Crpljenje u koracima, 1. korak</b>
Transmisivnost ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	$5,67 \cdot 10^{-3}$	$5,72 \cdot 10^{-3}$
Hidraulička vodljivost ( $\text{m/s}$ )	$3,06 \cdot 10^{-4}$	$3,09 \cdot 10^{-4}$

Theisovom metodom povratka razine dobiven je graf vrijeme  $t/t'$ -sniženje  $s'$  za zdenac PrNB-1/1 za crpljenje stalnom količinom. Graf povratka prikazan je na slici 5.7.



Slika 5.7. Graf vrijeme  $t/t'$ -sniženje  $s'$  za crpljenje stalnom količinom u polulogaritamskom mjerilu za zdenac PrNB-1/1

U tablici 5.5. prikazani su ulazni podaci za crpljenje stalnom količinom korišteni u izračunu hidrogeoloških parametara kod Theisove metode povratka razine.

Tablica 5.5. Ulazni podaci korišteni u izračunu hidrogeoloških parametara kod Theisove metode povratka razine

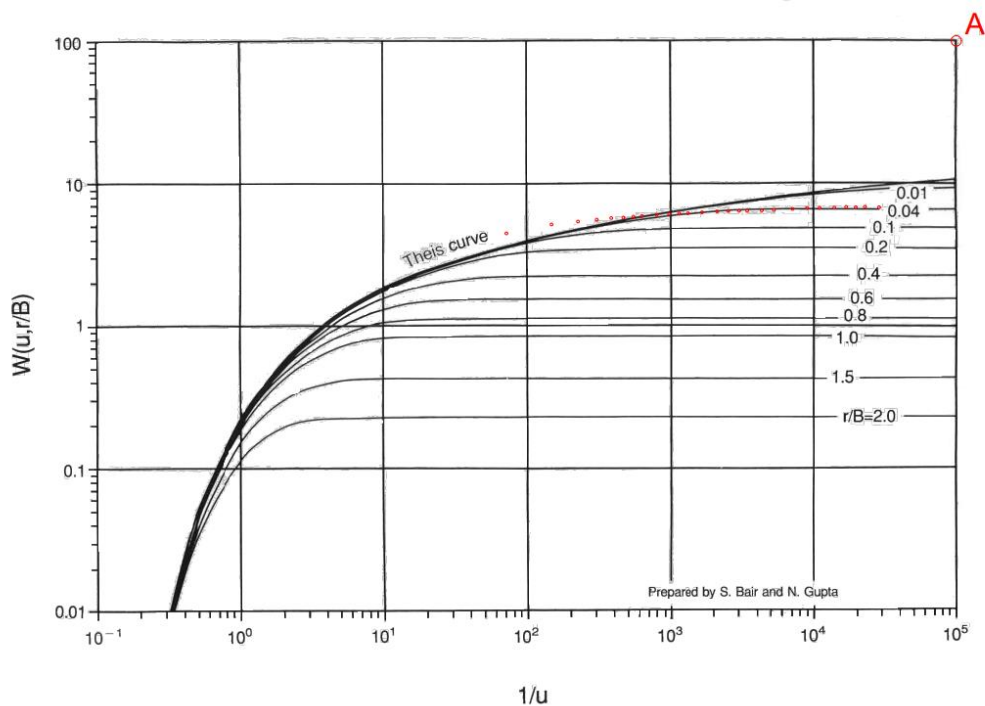
<b>Ulazni podaci za zdenac PrNB1-1</b>	
<b>Crpljenje stalnom količinom</b>	
$Q = 0,013 \text{ m}^3/\text{s}$	
$\Delta s' = 0,62 \text{ m}$	
$m = 18,5 \text{ m}$	

Interpretacijom prikazanog grafa za zdenac PrNB-1/1 na temelju Theisove metode povratka razine za crpljenje stalnom količinom dobivene su sljedeće vrijednosti hidrogeoloških parametara prikazane u tablici 5.6.

Tablica 5.6. Rezultati dobiveni interpretacijom podataka pokusnog crpljenja zdenca PrNB-1/1 Theisovom metodom povratka razine za crpljenje stalnom količinom

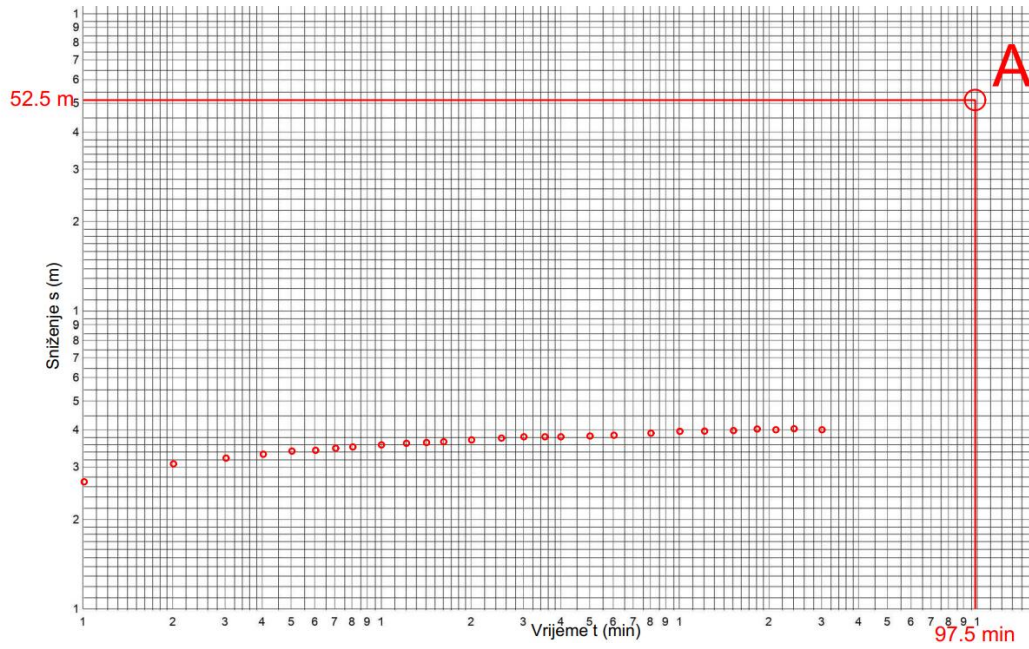
<b>Hidrogeološki parametri</b>	<b>Crpljenje stalnom količinom</b>
Transmisivnost ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	$3,84 \cdot 10^{-3}$
Hidraulička vodljivost ( $\text{m/s}$ )	$2,08 \cdot 10^{-4}$

Zbog loše aproksimacije točaka s Theisovom krivuljom korištena je Hantush-Jacobova metoda kako bi se dobilo bolje preklapanje s jednom od ostalih tipskih krivulja. Hantush-Jacobovom metodom dobiveni su grafovi sniženja u vremenu za crpljenje stalnom količinom i crpljenje u koracima za prvi korak za zdenac PrNB-1/1. Grafovi sniženja u vremenu za crpljenje stalnom količinom prikazani su na slikama 5.8. i 5.9., a za crpljenje u koracima za prvi korak na slikama 5.10. i 5.11.

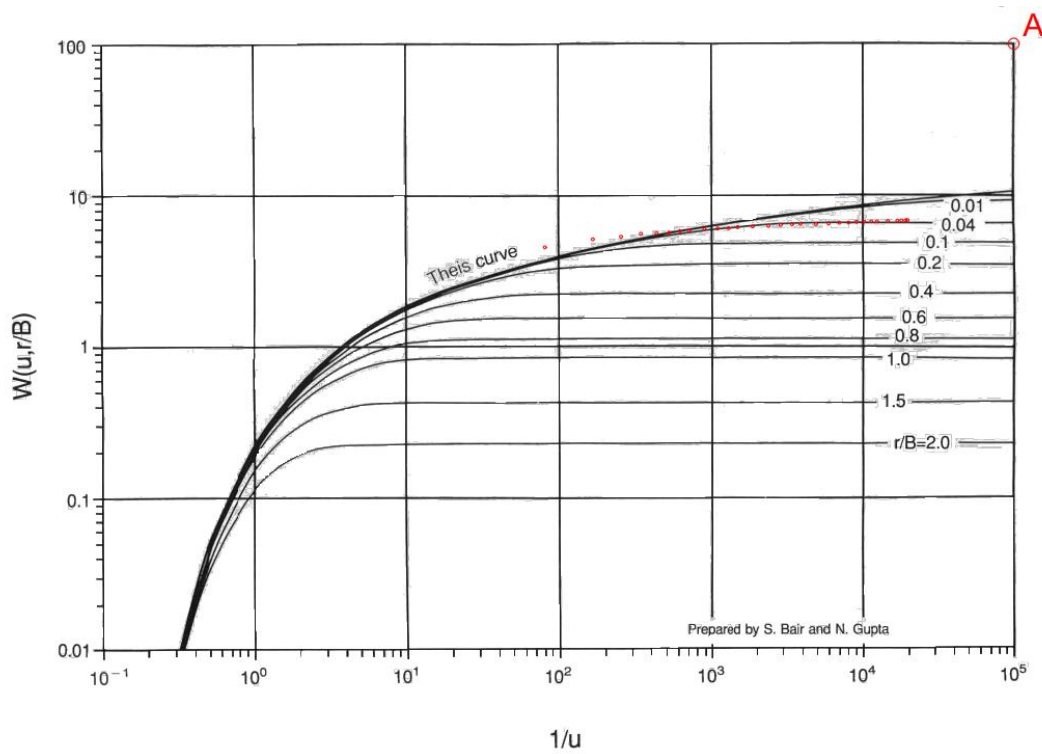


Slika 5.8. Preklapanje „krivulje“ mjerenih podataka preko tipske krivulje za crpljenje stalnom količinom

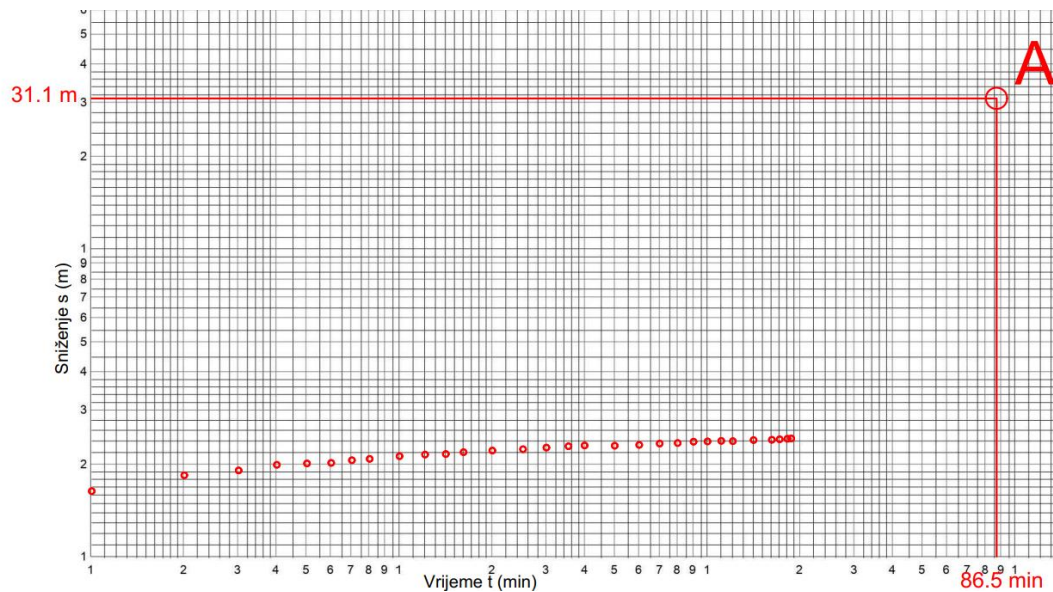




Slika 5.9. Graf „vrijeme-sniženje“ i točka preklapanja za crpljenje stalnom količinom u dvostrukom logaritamskom mjerilu za zdenac PrNB-1/1



Slika 5.10. Preklapanje „krivulje“ mjerenih podataka preko tipske krivulje za crpljenje u koracima za prvi korak



Slika 5.11 Graf „vrijeme-sniženje“ i točka preklapanja za crpljenje u koracima za prvi korak u dvostrukom logaritamskom mjerilu za zdenac PrNB-1/1

U tablici 5.7. prikazani su ulazni podaci za crpljenje stalnom količinom i crpljenje u koracima (prvi korak) korišteni u izračunu hidrogeoloških parametara kod Hantush-Jacobove metode.

Tablica 5.7. Ulazni podaci korišteni u izračunu hidrogeoloških parametara kod Hantush-Jacobove metode

<b>Ulazni podaci za zdenac PrNB1-1 Crpljenje stalnom količinom</b>	<b>Ulazni podaci za zdenac PrNB1-1 Crpljenje u koracima, 1. korak</b>
$Q_{\text{kons}} = 0,013 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 0,0075 \text{ m}^3/\text{s}$
$s = 52,5 \text{ m}$	$s = 31,1 \text{ m}$
$m = 18,5 \text{ m}$	$m = 18,5 \text{ m}$
$W(u, r/B) = 100$	$W(u, r/B) = 100$

Interpretacijom prikazanih grafova za zdenac PrNB-1/1 na temelju Hantush-Jacobove metode za crpljenje stalnom količinom i crpljenje u koracima za prvi korak dobivene su sljedeće vrijednosti hidrogeoloških parametara prikazane u tablici 5.8.

Tablica 5.8. Rezultati dobiveni interpretacijom podataka pokusnog crpljenja zdenca PrNB-1/1 Hantush-Jacobovom metodom za crpljenje stalnom količinom i crpljenje u koracima za prvi korak

<b>Hidrogeološki parametri</b>	<b>Crpljenje stalnom količinom</b>	<b>Crpljenje u koracima, 1. korak</b>
Transmisivnost ( $m^2/s$ )	$1,97 \cdot 10^{-3}$	$1,92 \cdot 10^{-3}$
Hidraulička vodljivost ( $m/s$ )	$1,07 \cdot 10^{-4}$	$1,04 \cdot 10^{-4}$

U tablici 5.9. prikazana je usporedba srednjih vrijednosti rezultata iz prijašnjih istraživanja (Šimundić i Presečen, 2016) s rezultatima dobivenim u završnom radu. Usporedbom rezultata može se vidjeti kako su dobiveni rezultati prijašnjim istraživanjima i završnom radu gotovo jednaki, odnosno postoje minimalne razlike. Minimalne razlike za crpljenje stalnom količinom i crpljenje u koracima za prvi korak su kod Jacob-Cooperove i Hantush-Jacobove metode te iznose  $0,05 \cdot 10^{-3}$  za transmisivnost, a  $0,03 \cdot 10^{-4}$  za hidrauličku vodljivost. Kod Theisove metode pojavljuju se maksimalne razlike koje iznose  $0,07 \cdot 10^{-3}$  za transmisivnost te  $0,04 \cdot 10^{-4}$  za hidrauličku vodljivost.

Tablica 5.9. Usporedba srednjih vrijednosti hidrogeoloških parametara

<b>Hidrogeološki parametri</b>	<b>Rezultati prema (Šimundić i Presečen, 2016)</b>	<b>Rezultati završnog rada</b>
Transmisivnost T ( $m^2/s$ )	$4,24 \cdot 10^{-3}$	$3,55 \cdot 10^{-3}$
Hidraulička vodljivost K ( $m/s$ )	$2,24 \cdot 10^{-4}$	$1,92 \cdot 10^{-4}$

Glavni vodonosni slojevi dominantno se sastoje od sitnozrnato do krupnozrnato pijeska, a rijede i od proslojaka šljunkovitih pijesaka. U krovini i podini uglavnom se nalaze sitnozrnate čestice, odnosno gline i glinoviti prahovi. Hidraulička vodljivost K za sedimente varira u rasponu od  $1 \cdot 10^{-11}$  do  $3 \cdot 10^{-2}$  m/s. Srednja vrijednost hidrauličke vodljivosti dobivena na temelju metoda za zatvoreni i poluzatvoreni vodonosni sloj iznosi  $1,92 \cdot 10^{-4}$  m/s. Dobivena vrijednost hidrauličke vodljivosti odgovara vrijednosti za pijesak. Karakteristične vrijednosti hidrauličke vodljivosti K za sedimente prikazani su u tablici 5.10.

Tablica 5.10. Vrijednosti hidrauličke vodljivosti za sedimente (Domenico i Schwartz,1990; Bačani, 2006)

<b>Vrsta stijene</b>	<b>Hidraulička vodljivost K (m/s)</b>
<b>SEDIMENTI:</b>	
Šljunak	$3 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-2}$
Krupnozrnati pijesak	$9 \cdot 10^{-7} - 6 \cdot 10^{-3}$
Srednjezrnati pijesak	$9 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-4}$
Sitnozrnati pijesak	$2 \cdot 10^{-7} - 2 \cdot 10^{-4}$
Prah, les	$1 \cdot 10^{-9} - 2 \cdot 10^{-5}$
Glina	$1 \cdot 10^{-11} - 4 \cdot 10^{-9}$

## 6. Zaključak

U okviru ovog završnog rada obrađeni su podaci pokusnog crpljenja pomoću Theisove, Jacob-Cooperove, Theisove metode povratka razine i Hantush-Jacobove metode. Srednja vrijednost transmisivnosti dobivena na temelju metoda za zatvoreni i poluzatvoreni vodonosni sloj iznosi  $3,55 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s, dok za hidrauličku vodljivost iznosi  $1,92 \cdot 10^{-4}$  m/s. Dobivene brojke karakteristične su za pjeskovite vodonosne slojeve što odgovara litologiji na izvorištu Topolik u Privlaci. Rezultati završnog rada odgovaraju rezultatima prijašnjih istraživanja, a najveća odstupanja u ovom završnom radu uočena su kod Jacob-Cooperove metode između crpljenja stalnom količinom i crpljenja u koracima za prvi korak. Bez obzira na odstupanja, razlike u rezultatima dobivenim pomoću svih metoda su minimalne.

## 7. Literatura

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

Bačani A. (2006): *Hidrogeologija 1*, Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

Barišić, M. (1986): *O strukturnim odnosima miocenskih naslaga i temeljnih stijena u Slavonsko-srijemskoj potolini*. Nafta 37/12, 603-614, Zagreb.

Brkić, M., Galović, I. & Buzaljko, R. (1989b): *Tumač za osnovnu geološku kartu, list Vinkovci, 1:100 000*. Geološki zavod Zagreb i Geoinženjering OOUR Institut za geologiju, Sarajevo.

Hernitz, Z. (1983): *Dubinski strukturno – tektonski odnosi u području istočne Slavonije*. Disertacija. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Nakić, Z., Kovač, Z. (2017): *Elaborat zona sanitarne zaštite izvorišta „Topolik“ – Privlaka i „Sojara“ – Vrbanja*. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Nakić, Z. & Žugaj, R. (2007): *Elaborat zaštitnih zona izvorišta „Šumarija“ – Otok, „Skorotinci“ – Otok, „Viganj-2“ – Slakovci i „Veliki kraj“ – Stari Jankovci*. Stručna studija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

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

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

Šimundić, Z., Presečan, T. (2016): *Elaborat o provedenim detaljnim geološkim i vodoistražnim radovima sa tehničkim izvješćem o izradi pokusno-eksploatacijskog zdenca PrNB-1/1 na izvorištu „Topolik“ Privlaka*. Vodovod-hidrogeološki radovi d.o.o., Osijek.

## Tablice pokusnog crpljenja za zdenac PrNB-1/1

Faza: CRPLJENJE STALNOM KOLIČINOM					
Datum	Sat i minuta	Vrijeme proteklo od početka crpljenja t (min)	Crpna količina Q (l/s)	Zdenac PrNB-1/1	
				Dubina do vode (m)	Sniženje (m)
25.10.16.	18:00	0		3,4	0
		1	13	6,1	2,7
		2		6,47	3,07
		3		6,62	3,22
		4		6,72	3,32
		5		6,8	3,4
		6		6,83	3,43
		7		6,88	3,48
		8		6,92	3,52
		10		6,97	3,57
		12		7,01	3,61
		14		7,03	3,63
		16	13	7,06	3,66
		20		7,12	3,72
		25		7,17	3,77
		30		7,19	3,79
		35		7,19	3,79
		40		7,19	3,79
		50	12,82	7,22	3,82
	19:00	60		7,25	3,85
		80		7,29	3,89
		100		7,35	3,95
	20:00	120		7,36	3,96
		150		7,38	3,98
	21:00	180		7,41	4,01
		210		7,39	3,99
22:00	240		7,41	4,01	
23:00	300		7,39	3,99	

Faza: CRPLJENJE STALNOM KOLIČINOM, POVRAT						
Datum	Sat i minuta	Vrijeme proteklo od početka crpljenja t (min)	Crpna količina Q (l/s)	Zdenac PrNB-1/1		
				Dubina do vode (m)	Sniženje (m)	
28.10.16.	12:00	0	0	7,88	0	
		1	0	5,05	1,65	
		2	0	4,8	1,4	
		3	0	4,63	1,23	
		4	0	4,55	1,15	
		5	0	4,47	1,07	
		6	0	4,41	1,01	
		7	0	4,37	0,97	
		8	0	4,33	0,93	
		10	0	4,28	0,88	
		12	0	4,24	0,84	
		14	0	4,19	0,79	
		16	0	4,17	0,77	
		20	0	4,1	0,7	
		25	0	4,04	0,64	
		30	0	3,99	0,59	
		35	0	3,95	0,55	
		40	0	3,91	0,51	
		13:00	50	0	3,85	0,45
			60	0	3,81	0,41
			70	0	3,76	0,36
			80	0	3,72	0,32
			90	0	3,7	0,3
		14:00	100	0	3,67	0,27
		120	0	3,63	0,23	
	15:00	150	0	3,57	0,17	
		180	0	3,54	0,14	



Faza: CRPLJENJE U KORACIMA, 1. KORAK						
Datum	Sat i minuta	Vrijeme proteklo od početka crpljenja t (min)	Crpna količina Q (l/s)	Zdenac PrNB-1/1		
				Dubina do vode (m)	Sniženje (m)	
25.10.16.	9:30	0		2,4	0	
		1	7,5	4,06	1,66	
		2		4,24	1,84	
		3		4,33	1,93	
		4		4,38	1,98	
		5		4,42	2,02	
		6		4,445	2,045	
		7		4,47	2,07	
		8		4,49	2,09	
		10		4,53	2,13	
		12		4,56	2,16	
		14		4,57	2,17	
		16		4,59	2,19	
		20		4,63	2,23	
		25		4,65	2,25	
		10:00	30	7,47	4,675	2,275
			35		4,69	2,29
			40		4,71	2,31
			50		4,715	2,315
			60		4,73	2,33
			70		4,75	2,35
			80		4,76	2,36
		11:00	90		4,77	2,37
			100		4,78	2,38
			110	7,38	4,79	2,39
			120		4,795	2,395
			140		4,815	2,415
		160		4,82	2,42	
		170		4,83	2,43	
		180		4,835	2,435	
	12:35	185	7,38	4,84	2,44	