



# Thermische Respons Test

Koeling 2.0

Bachelor in de Elektromechanica  
Afstudeerrichting: Klimatisering

Jari Debuissou

Academiejaar 2021-2022

Campus Geel, Kleinhoefstraat 4, BE-2440 Geel

## **VOORWOORD**

Voor u ligt mijn eindwerk ter afronding van mijn driejarige bachelor studie elektro mechanica (afdeling klimatisering) aan de hogeschool Thomas More te Geel.

Ik ben zeer blij dat ik de mogelijkheid heb gekregen om mijn stage op school (Kennis Centrum Energie) te doorlopen. Ik was onmiddellijk geprikkeld door het leerproject.

Mijn eindwerk is een onderdeel van een onderzoeksproject 'Koeling 2.0' van Thomas More –KCE, meer bepaald het opbouwen van een thermische Respons test. Het opbouwen en opvolgen van het project is een leerzaam proces geweest waarbij ik veel kennis en vaardigheden heb ontwikkeld.

Allereerst wil ik mijn bedrijfspromotor Bert De Schutter bedanken voor het mee aan te sturen van het project en dit steeds met veel deskundigheid. Zijn manier van werken en begeleiden werkte voor mij aanstekelijk. Ik kon steeds raad en hulp vragen in eender welke situatie.

Tevens wens ik mijn stagebegeleider Jonas Verhoeven te bedanken voor de opvolging van mijn project.

Ik wil ook Thomas Wuyts en Tom Vercammen bedanken voor het ontwikkelen van de aansturing van mijn project in labview en het bestellen van het benodigd materiaal.

Ik bedank de bedrijven IFTech en WTCB voor het uitvoeren van een TRT op de grondboringen, zodat ik deze metingen heb kunnen gebruiken als referentie. Het is een belangrijk onderdeel voor het slagen van mijn project.

Ik wens u veel plezier met het lezen van mijn eindwerk.

Jari Debuissou

Kortenaken, 06 juni 2022



## **SAMENVATTING**

Op de campus van Thomas More wordt een Thermische Respons Test opgebouwd waarmee zowel koeling als verwarming de bodem in gestuurd kan worden met vooral de nadruk op het koelen. De bedoeling is om de bodemeigenschappen te bepalen aan de hand van een constant debiet in de bodem te sturen met een constante temperatuur. Aan de hand van deze waardes kunnen de bodemeigenschappen bepaald worden waarmee later het boorveld gedimensioneerd kan worden. Over het sturen van koude in de bodem is momenteel weinig informatie. De bedoeling is hier een beter zicht op te krijgen en dit extern te delen.

Voor de start van het onderzoek zijn er twee Thermische Respons Testen uitgevoerd met een geïnjecteerd vermogen van 1800 watt. Deze testen zijn uitgevoerd door de bedrijven IFTech en WTCB, deze resultaten worden gebruikt om een analyse uit te voeren op de aanwezige grondboring op de campus. Het is de bedoeling dat de projectinstallatie op de campus dezelfde waardes kan meten en accuraat werkt. Er kan vastgesteld worden dat de installatie correct functioneert als de gemeten waardes op de boringen overeenstemmen met de metingen van de Thermische Respons testen van IFTech en WTCB. Wanneer deze waardes overeenkomen kan in de volgende fase koeling in de sonde gestuurd worden voor verder onderzoek.

In de eindfase werden twee metingen uitgevoerd op de eigen installatie. Na het uitvoeren van een analyse blijkt de installatie te werken maar dienen er aanpassingen te gebeuren voor een correcte functionering. Na deze aanpassing zal de installatie en het project verder kunnen worden gezet. Vervolgens zal de studie op de effecten van de bodem wanneer er koeling doorgestuurd wordt verdergezet kunnen worden.

# INHOUDSTAFEL

<b>VOORWOORD</b> .....	<b>2</b>
<b>SAMENVATTING</b> .....	<b>3</b>
<b>INHOUDSTAFEL</b> .....	<b>4</b>
<b>LIJST VAN GEBRUIKTE AFBEELDINGEN EN SYMBOLEN</b> .....	<b>6</b>
<b>INLEIDING</b> .....	<b>7</b>
<b>1 HET KENNISCENTRUM ENERGIE</b> .....	<b>8</b>
<b>1.1 Intergrale aanpak van het energievraagstuk</b> .....	<b>8</b>
<b>1.2 Onderzoeksthema's</b> .....	<b>8</b>
<b>1.3 Focus</b> .....	<b>9</b>
<b>2 NOODZAAK VAN EEN THERMISCHE RESPONS TEST</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1 Probleemstelling</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1 Doel van het onderzoek</b> .....	<b>10</b>
<b>3 LITERATUURONDERZOEK</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1 Grondboringen</b> .....	<b>11</b>
3.1.1 Verschillende boormethodes .....	12
3.1.2 Spoelboren .....	13
3.1.3 Zuigboren .....	13
3.1.4 Pulsboren.....	14
3.1.5 Avegaarboren .....	15
3.1.6 Intrillen indrukken.....	15
3.1.7 Hamerboren .....	16
3.1.8 Boren met rollerbit.....	16
<b>3.2 Waarom een verticaal grondsysteem</b> .....	<b>17</b>
3.2.1 Bodemwarmtewisselaar .....	17
3.2.2 Thermische geleidbaarheid van het vulmateriaal .....	18
3.2.3 Grondwaterstroming.....	19
3.2.4 Boringen gebruikt in de installatie .....	20
3.2.5 Elektrisch schema loggen bodemtemperaturen .....	21
<b>3.3 Glycol</b> .....	<b>22</b>
3.3.1 Ethyleenglycol .....	22
3.3.2 Propyleenglycol.....	22
3.3.3 Onderzoek bepalen van de onbekende glycol in de installatie .....	23
3.3.3.1 Methode 01 : De pycnometer .....	23
3.3.3.2 Methode 02 : De Hydrometer .....	24
3.3.3.3 Bepalen vriespunt .....	24
<b>3.4 Thermische Respons Test</b> .....	<b>27</b>
3.4.1 TRT IFTech.....	29
3.4.2 TRT WTCB.....	34
3.4.3 Besluit .....	37
<b>4 REALISATIE INSTALLATIE THOMAS MORE</b> .....	<b>38</b>
<b>4.1 Mechanische werking</b> ..... Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.	<b>9</b>
4.1.1 Cyclus 1: werking warmtepomp .....	39
4.1.2 Cyclus 2: warmtepomp - binnenvat.....	41
4.1.3 Cyclus 3: buitenvat - grondboring .....	41
<b>4.2 Labview</b> .....	<b>42</b>
<b>4.3 Werking elektrisch schema</b> .....	<b>43</b>
<b>4.4 Analyse TRT Thomas More</b> .....	<b>47</b>
4.4.1 Analyse geïnjecteerd vermogen 1220 Watt, streefwaarde toevoer 20°C .....	47

4.4.2	Analyse geïnjecteerd vermogen 1800 Watt, streefwaarde toevoer 20°C .....	48
4.4.3	Conclusie .....	49
<b>BESLUIT</b>	.....	<b>51</b>
<b>LITERATUURLIJST</b>	.....	<b>52</b>
<b>BIJLAGEN</b>	.....	<b>53</b>

## LIJST VAN GEBRUIKTE AFBEELDINGEN EN SYMBOLEN

WTCB = Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het bouwbedrijf

IFTech = Bedrijf Geothermische Energie Installaties

KCE = Kennis Centrum Energie

TRT = Thermische Respons Test

BHE = Boorgat Warmtewisselaar

BEO = Boorgatenergieopslag (verticale systemen)

KWO = Koude-warmte opslag (grondwatersystemen)

ICT = Informatie-en communicatietechnologie

WKK = Warmtekrachtkoppeling

Rb = Boorgatweerstand

K = Kelvin

MJ = Mega Joule

J = Joule

Q = Geïnjecteerde vermogen

H = Diepte

T = Temperatuur

t = Tijd

RTD = Weerstand temperatuur detector

DC = Gelijkspanning

AC = Wisselspanning

V = Spanning

$\lambda$  = Warmtegeleidbaarheid

## **INLEIDING**

In het kader van het onderzoeksproject koeling 2.0 moeten er metingen uitgevoerd worden op een verticale grondboring op de campus van Thomas More in Geel. Het doel is, om het beschikbaar vermogen van deze boring te bepalen in functie van de temperatuur en het debiet. Er moet een opstelling gebouwd worden die de watertemperatuur en het ingestelde debiet automatisch regelt en opmeet.

Een reeds aanwezige warmtepomp wordt aangesloten op de grondboringen waarmee een temperatuur kan ingesteld worden van 3°C tot 45°C. Met deze installatie kan er aan de hand van een 3-wegklep de temperatuur geregeld worden en het debiet door gebruik te maken van een pomp of regelventiel.

De opbouw van een Thermische Respons Test biedt de mogelijkheid tot onderzoek naar het effect op de bodem. Een Thermische Respons Test wordt voornamelijk gebruikt voor de bepaling van ontwerpgegevens van het boorgat, warmtewisselaar systemen maar ook voor evaluatie van materiaal, warmtewisselaar typen en grondwatereffecten.

Mijn persoonlijke interesses liggen bij duurzame energie. Onderzoek op boringen en warmtepompen behoren tot een 'hot item' wat dit onderzoek naar mijn mening zeer interessant maakt.

Het project is interessant voor Thomas More voor eventueel in de toekomst als labo-opstelling te kunnen gebruiken en ook kan de installatie verder uitgebouwd worden voor een volgend onderzoek. Met dit ontwerp kan er aan de hand van een warmtepomp koeling door de warmtewisselaar gestuurd worden waardoor we tot nog toe ongekende informatie kunnen analyseren en de invloeden van de bodem kunnen gaan bestuderen.



# 1 HET KENNISCENTRUM ENERGIE

## 1.1 Integrale aanpak van het energievraagstuk

KCE, het Kenniscentrum Energie, is een multidisciplinair expertisecentrum verbonden aan Thomas More. KCE bestaat uit een 20-tal onderzoekers met een zeer uiteenlopende expertise: thermisch, elektrisch, ICT, elektronica, bouw, agro,... en dit zowel vanuit een theoretische als praktische achtergrond. Dit maakt een integrale aanpak van het energievraagstuk mogelijk.

De onderzoeksactiviteiten van het KCE omvatten de analyse, regeling en optimalisatie van diverse energiesystemen op het niveau van gebouwen. Vertrekpunt hierbij is het waarborgen van het comfort en de interactie met het gebruikersgedrag via een effectief beheer van deze systemen (o.a. WKK's, warmtepompen, PV-installaties, brandstofcellen ...). (More, sd)



Figuur 1. KCE gebouw (More, sd)

## 1.2 Onderzoeksthema's

Een ruime expertise werd opgebouwd door het KCE in o.a. de volgende domeinen: (More, sd)

- Energiesystemen
- Simulatie en optimalisatie van energiestromen
- Intelligente selectie en het optimaliseren van de integratie en de regeling van klimaatinstallaties
- Energie in kaart brengen: monitoring van energiesystemen monitoring van reële energieprestaties
- Visualisatie, doelgerichte controle en communicatie van energieverbruikers en energieopwekkers
- Integratie en demonstratie van energiesystemen
- Kosten optimale investeringen
- Energie in agrarische sector & Glastuinbouw

### **1.3 Focus**

Een duidelijke focus van het KCE ligt op de actieve rol die de gebruiker kan spelen en zijn effect op het globale systeem. Dit zowel vanuit elektrisch oogpunt als vanuit thermisch-bouwkundig en micro-economisch oogpunt. Zowel de organisatie en visualisatie van metingen, het opbouwen van simulaties en het ontwikkelen van handige tools vormen hierbij kernactiviteiten.

KCE biedt stageplaatsen aan studenten van de Professionele Bacheloropleidingen en aan de Master opleidingen om een bepaald project of onderzoek mee op te volgen. (More, sd)

## **2 NOODZAAK VAN EEN THERMISCHE RESPONS TEST**

### **2.1 Probleemstelling**

Wanneer de eigenschappen van de bodem moeten bepaald worden voor het dimensioneren van een boorveld zal er eerst een Thermische Respons Test uitgevoerd moeten worden. Deze wordt aangesloten op de lussen van aanvoer en retour van het Boorgatenergieopslag systeem. Op basis van de meetgegevens kan zo heel nauwkeurig de warmtegeleidingscoëfficiënt, de boorgatweerstand en de warmtecapaciteit van het boorgat bepaald worden.

De proefboring en testopstelling wordt daarnaast ook gebruikt om de bodemopbouw en de gemiddelde (onverstoorde) bodemtemperatuur te bepalen.

### **2.2 Doel van het onderzoek**

Er Dient een Thermische Respons test gebouwd te worden waarmee accuraat de gegevens van de bodem kunnen bepaald worden. Er wordt bij deze installatie gestreefd naar een systeem dat zowel warmte als koeling de bodem in kan sturen aan de hand van een lucht-water warmtepomp. Er wordt nagegaan wat de meetwaarden zijn wanneer een bepaald vermogen geïnjecteerd wordt doorheen de warmtewisselaar en opgevolgd welk effect dit heeft op de BEO en de ondergrond.

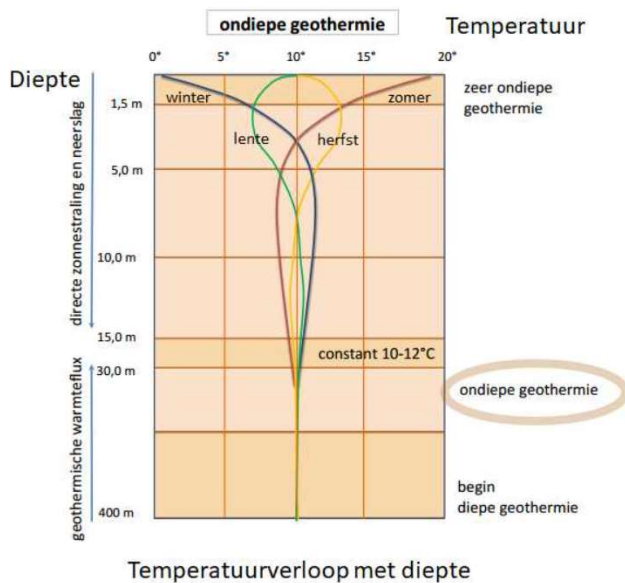
Het doel van dit project is om te streven naar een installatie die accuraat kan meten over een grote tijdsperiode, meer inzicht krijgen op het effect van de koeling door middel van analyses en metingen uit te voeren op de installatie. Er is weinig kennis over de invloed van de koeling en deze informatie kan gedeeld worden zodat de kennis kan gebruikt worden in nieuwe projecten.

### 3 LITERATUURONDERZOEK

Voor de opstart van het project dient er een onderverdeling gemaakt te worden van de verschillende fases. In de eerste fase is een verdieping in de materie een noodzaak, deze wordt omschreven in hoofdstuk 3. De volgende onderwerpen worden aangehaald: soorten boringen, verschillende warmtewisselaars, opvulmateriaal, glycol en de werking van een TRT. In een 2<sup>de</sup> fase, realisatiefase, wordt de werking van het project gedetailleerd omschreven in hoofdstuk 4.

#### 3.1 Grondboringen

Kort samengevat is geothermie een techniek waarbij de thermische energie van de aarde voor verwarming en koeling wordt aangewend. Vooraleer de thermische Respons Test te kunnen starten is het nodig om een boorgat met verticale warmtewisselaar en opvulmateriaal aan te brengen op de voorziene locatie. Een zo klein mogelijke diameter is essentieel voor enerzijds de ondergrondse verstoring te minimaliseren en de warmtewisselaar zo kort mogelijk bij de boorgatwand te brengen en anderzijds om het opvulmateriaal te beperken. Het project start met twee verticale grondboringen met een diepte van 50 meter en een tussenafstand van 6 meter, dit betekend dus ook dat we te maken hebben met ondiepe geothermie (figuur 2.). Deze grondboringen zijn ongeveer 10 jaar geleden geboord op de campus Geel van Tomas More. De grondboringen zijn geplaatst voor het uitvoeren van onderzoek of het uitvoeren van een project. Daarom is het voor uitvoering van dit project van essentieel belang om kennis te vergaren met betrekking op verschillende grondboringen alvorens de opbouw van de installatie te starten.



Figuur 2. (Resources, sd)

Boringen worden uitgevoerd zowel om de milieu hygiënische kwaliteit van de bodem te bepalen als om de bouwtechnische kwaliteit te bepalen. Het doel van boringen moet op voorhand bepaald worden. Bij de meeste boringen wordt er met een boortoestel een gat gemaakt in de ondergrond om de verschillende grondlagen te kunnen beschrijven. Aan de hand van een boring krijg je een beeld van het materiaal in de ondergrond met toenemende diepte. Afhankelijk van het doel waarvoor de boring geplaatst wordt zal men een geschikte boormethode toepassen.

Boringen worden geplaatst voor verkennend bodemonderzoek, monsternamen van het sediment en/of grondwater, bepaling van bodem fysische parameters, milieu hygiënisch onderzoek,...

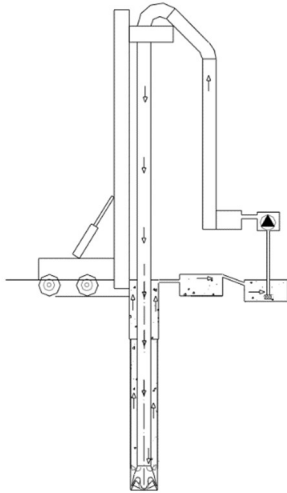
Afhankelijk van de diepte, soort materiaal, en het al dan niet boren tot onder de grondwatertafel kan men kiezen uit verscheidene systemen om handmatig of machinaal te boren. Het bodemmateriaal dat vrijkomt, kan gebruikt worden om een profiel van de ondergrond op te stellen of om grondmonsters te nemen voor verdere analyses op uit te voeren. Vaak is het de bedoeling een put uit te bouwen zodat water kan gewonnen worden. Soms worden boringen uitgevoerd om een aantal geotechnische karakteristieken te bepalen of om wetenschappelijk onderzoek uit te voeren. Deze laatste is waar dit project vooral op gericht is. (flanders), 2009), (Group, 2017)

### 3.1.1 Verschillende boormethodes

<b>Soorten boringen</b>	<b>Stabilisatie boorgat</b>	<b>Destructie grondstructuur</b>	<b>Transport van de grond</b>
• spoelboren	Spoeling	boorbeitel	Spoeling buitenzijde boorstangen
• zuigboren	Spoeling	boorbeitel	Spoeling binnenzijde boorstangen
• pulsboren	verbuizing	pulserende onderdruk	Liftsysteem in de puls
• avegaarboren	verbuizing	spiraalboor	Door een vijzel
• Intrillen indrukken	verbuizing	Verdringing en verdichting	Geen grondtransport
• hamerboren	verbuizing	Pneumatische boorhamer	Pneumatisch, Hydraulisch door perslucht
• Rollerbit	Spoeling	rollenbeitel	Spoeling buitenzijde boorstangen

### 3.1.2 Spoelboren

De werktuigen die ingezet worden tijdens het spoelboren zijn de boorstangen, de boorbeitel, de spoelpomp, de boorkast en de decantatiecontainer.



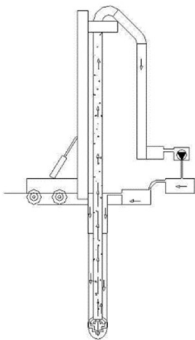
Figuur 3. Spoelboren (flanders), 2009)

Spoelboren wordt veel toegepast. Een boormachine boort stangen in de grond. Door de stangen wordt water gepompt waardoor de los geboorde bodem langs de buitenkant van de boorstang weer naar de oppervlakte komt en daar opgevangen wordt. Het is een eenvoudig boorproces waarbij de diepte onbeperkt is. Er zijn wel beperkingen i.v.m. de diameter van het boorgat en er moet voldoende overdruk zijn om de stabiliteit van het boorgat te vrijwaren.

Het voordeel van deze goedkopere boortechniek is dat er tegen hoge snelheid kan geboord worden en grote dieptes bereikt kunnen worden. Nadelig van deze techniek is dat er bijzonder materiaal voor nodig is om een correcte uitvoering te kunnen bereiken, er is een beperkte boordiameter tot 400mm en er zal een waterverbruik zijn tijdens de boring. (Group, 2017) (flanders), 2009)

### 3.1.3 Zuigboren

De werktuigen die ingezet worden tijdens het zuig- en luchtliftboren zijn de boorstangen, de boorbeitel, de zuigpomp en de compressor, de boorkast en de decantatiecontainer.



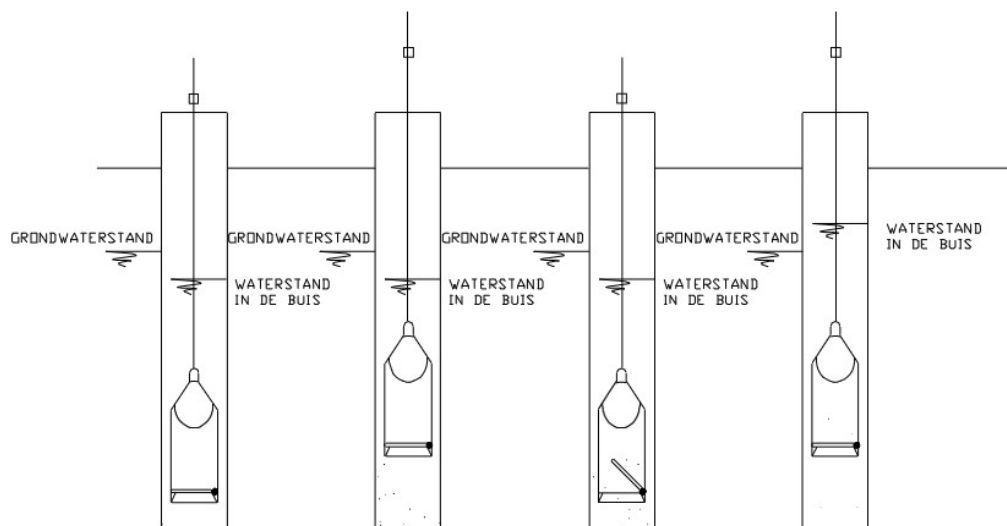
Figuur 4. Zuigboren (flanders), 2009)

Ook hier boort een machine een boorstang in de grond maar het verschil met spoelboren is dat de boorspoeling door het boorgat naar beneden stroomt en het los geboorde materiaal door de boorbuis omhoog wordt gezogen met behulp van een zelf aanzuigende pomp. Via een bezinkbak wordt het water gerecupereerd. De diameter van het boorgat blijft bij deze methode regelmatig dan bij spoelboren. Ook zijn er grotere diameters mogelijk. Bij zuigboren is er wel een beperkte boorsnelheid en ook de diepte is beperkt tot ca. 150 m. Er moet ook voldoende overdruk zijn. Zuigboren wordt toegepast bij het boren van bronnen in grovere fracties.

Voordelig aan deze techniek is dat er grote dieptes bereikt kunnen worden met eventueel grote diameters tot 1000mm. Nadelig aan deze installatie is dat er waterverbruik nodig zal zijn. (Group, 2017) (flanders), 2009)

### 3.1.4 Pulsboren

De werktuigen die ingezet worden tijdens het pulsboeren zijn de boorkabel, de boorpuls en de verbuizing.



Figuur 5. Pulsboren (flanders), 2009)

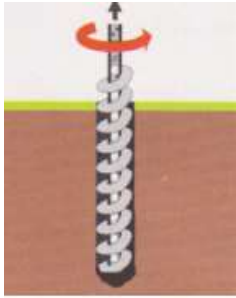
Een boorbuis wordt met behulp van een draaitafel in de grond geboord. Door de buis laat men via een lier of via stangen een puls (een korte buis met aan de onderzijde een terugslagklep die alleen naar binnen open kan) vallen. De grond stroomt met het grondwater in de puls. Door de puls diverse keren te laten vallen wordt ze gevuld en kan een geroerd monster opgetrokken worden. Deze eenvoudige boormethode wordt vooral onder het grondwaterpeil en in losse ondergronden gebruikt.

Voordelig van deze boortechniek is dat we een zeer goede bodembeschrijving zullen verkrijgen, er is geen toevoer van bodemvreemde stoffen en er is weinig waterverbruik voor nodig. Nadelig is dat het een trage boormethode is met veel

arbeidsintensief. Het is niet mogelijk in stijve klei, grindrijke of steenrijke formaties. (Group, 2017) (flanders), 2009)

### 3.1.5 Avegaarboren

De werktuigen die ingezet worden tijdens avegaarboren zijn de avegaarboor en de verbuizing.



Figuur 6. Avegaarboren (Group, 2017)

De avegaarboor of spiraalboor bestaat uit een spiraal die wordt rondgedraaid. Door de draaiende beweging schroeft de boor zichzelf in de grond. Er kan ook gewerkt worden met holle avegaarboren. De spiraal is dan aangebracht op een buis. Die centrale buis laat toe om er bv. een peilbuis in te bouwen. Voordelen zijn de vlugge en economische werking (er is geen water nodig), het nauwelijks roeren van de bodem en de trilling- en schokvrije uitvoering.

Voordelig van deze boortechniek is dat we een goede bodembeschrijving zullen hebben, geen toevoer van bodemvreemde stoffen en weinig waterverbruik. Nadelig is dat de diameters en diepte beperkt zijn wegens grote krachten op de avegaar en versmering van de boorgatwand ten gevolge van de verbuizing. (Group, 2017) (flanders), 2009)

### 3.1.6 Intrillen indrukken

De werktuigen die ingezet worden tijdens intrillen indrukken zijn de boorkop en de boorstangen.

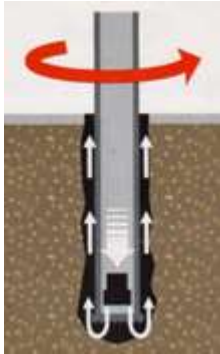
Het intrillen en indrukken is een methode waarbij het boorgat wordt gerealiseerd door verdichting van de bodem. Bij het intrillen gebeurt de verdichting door liquidatie van het mengsel grond/water. Essentieel hierbij is dat de ondergrond goed doorlatend is en blijft tijdens het verdichtingsproces. In kleinhoudende zanden kan de techniek hierdoor niet steeds worden toegepast.

Voordelig aan deze boortechniek is dat er geen toevoer van bodemvreemde stoffen aanwezig zijn, weinig waterverbruik. Nadelig is dat de diameters en diepte beperkt zijn wegens krachten op de boorstangen, versmering van de boorgatwand en niet mogelijk in sterk geconsolideerde afzettingen. (Group, 2017) (flanders), 2009)



### 3.1.7 Hamerboren

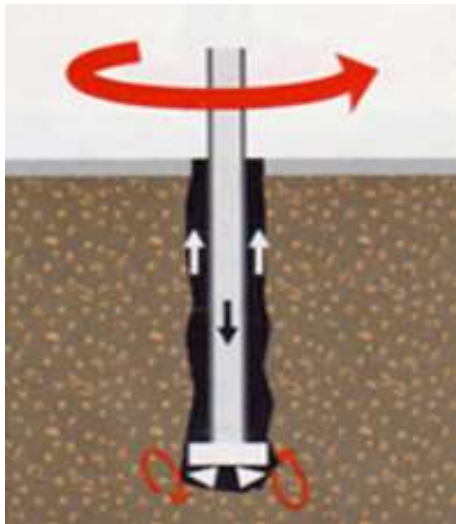
Door de boorbuis wordt een hamer naar beneden gelaten. Door de klop- en draaibewegingen, die opgewekt worden via de luchtdruk van een compressor, wordt de rots verpulverd. Deze techniek staat bekend als DTHH (down the hole hammer) en wordt aangewend om boorgaten te maken in zeer harde formaties. Omwille van de compressoren zijn de boringen beperkt in diepte.



Figuur 7. Hamerboren (Group, 2017)

### 3.1.8. Boren met een rollerbit

Met een rollerbit of rollenbeitel kan men in rotsformaties boren via de techniek van het spoelboren. De rollerbit bestaat uit 3 conische snijdelen met gefreesde tanden. De hardheid en de slijtvastheid laten toe om met de roterende rollerbit in rots te boren. Het boorgruis wordt via het door de boorstangen gepompte water aan de buitenkant van de stang terug naar de oppervlakte gebracht. Het geproduceerde gruis is fijn en minder geschikt voor informatie over de grondlagen. (Group, 2017)



Figuur 8. Boren met rollerbit (Group, 2017)



Figuur 9. Rollerbit (Group, 2017)

## 3.2 Waarom een verticaal bronsysteem

De grootste eigenschap van een verticaal bronsysteem is dat we een constante bodemtemperatuur hebben van 10 a 12°C, deze bodemtemperatuur is winter en zomer beschikbaar. De eerste meters van de bodem zijn nog steeds sterk onderhevig aan de temperatuur van de buitenlucht. In België heerst er pas vanaf een diepte van 20 meter een constante temperatuur van 10°C.

Per 100 meter diepte stijgt de grondtemperatuur met 3°C die vanaf een bepaalde diepte exponentieel zal gaan toenemen echter in de praktijk zijn deze dieptes niet haalbaar. Bij een verticaal bronsysteem kan zomer en winter een constante temperatuur van 10 a 12°C worden geleverd aan een geothermische warmtepomp. Het is ook mogelijk om gratis passief te gaan koelen via de geothermische warmtepomp in de zomermaanden. Het is een duurzaam en onderhoudsvrij systeem. In onderstaande subrubrieken worden de verschillende soorten bodemwarmtewisselaars voor verticale bronsystemen uitgebreider omschreven.

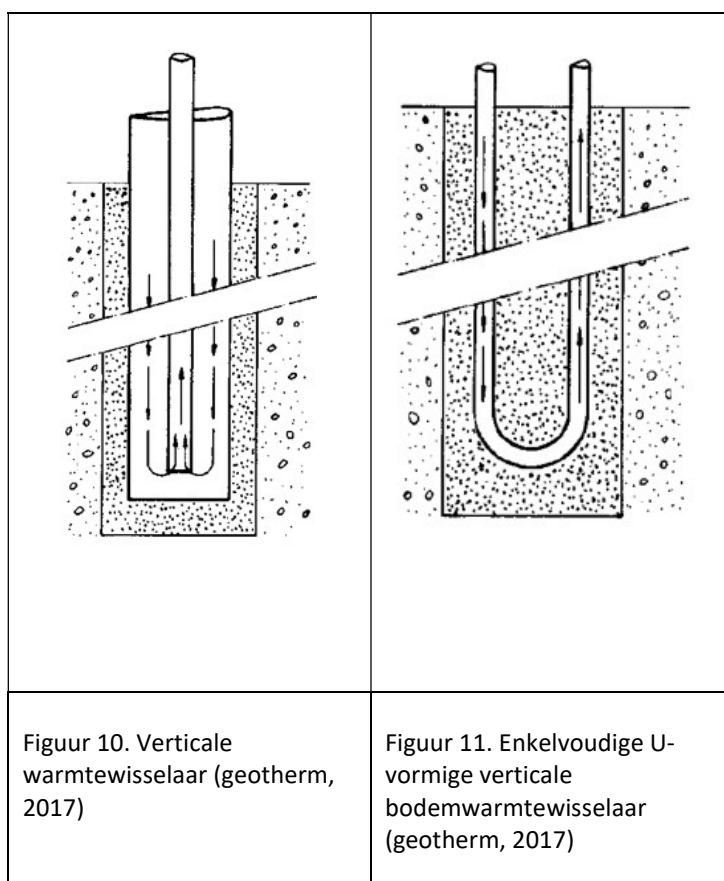
### 3.2.1 Bodemwarmtewisselaar

In de bodem worden gaten geboord met een bepaalde diameter tot een gangbare diepte van 100 tot 120 meter. Vervolgens wordt een keuze gemaakt welk type aardsonde geplaatst wordt en welk vulmateriaal toegevoegd wordt in de boorgaten.

Er zijn U-vormige kunststofbuizen, waar later een vloeistof (meestal een mengsel van water en antivries) doorheen stroomt, die energie met de bodem uitwisselt. Dit is een verticale bodemwarmtewisselaar. (Figuur 11)

Er bestaat ook een dubbelvoudige U-vormige verticale bodemwarmtewisselaar (figuur 10), deze kan in serie of parallel geplaatst worden. Dit heeft geen invloed op de totale lengte van het boorveld maar wel op het totale drukverlies en het benodigd pompvermogen.

Een andere vorm is een concentrisch verticale warmtewisselaar (Figuur 10) die aangebracht wordt in de boorgaten. Deze bestaat uit een buitenbuis die aan de onderzijde afgesloten is. Binnenin de buitenbuis wordt een tweede buis aangebracht waardoor er twee stroomkanalen aanwezig zijn. (geotherm, 2017)



### 3.2.2 Thermische geleidbaarheid van het vulmateriaal

Na het boren van het boorgat en het installeren van de verticale bodemwarmtewisselaar, wordt het boorgat opnieuw gevuld. Deze afwerking vermijdt contaminatie van de watervoerende lagen en is verplicht omwille van de milieuwetgeving, maar is eveneens bepalend voor de opbrengst van de geothermische installatie. Algemeen kan men stellen dat hoe hoger de geothermische geleidbaarheid van het vulmateriaal is, hoe beter het rendement van de installatie.

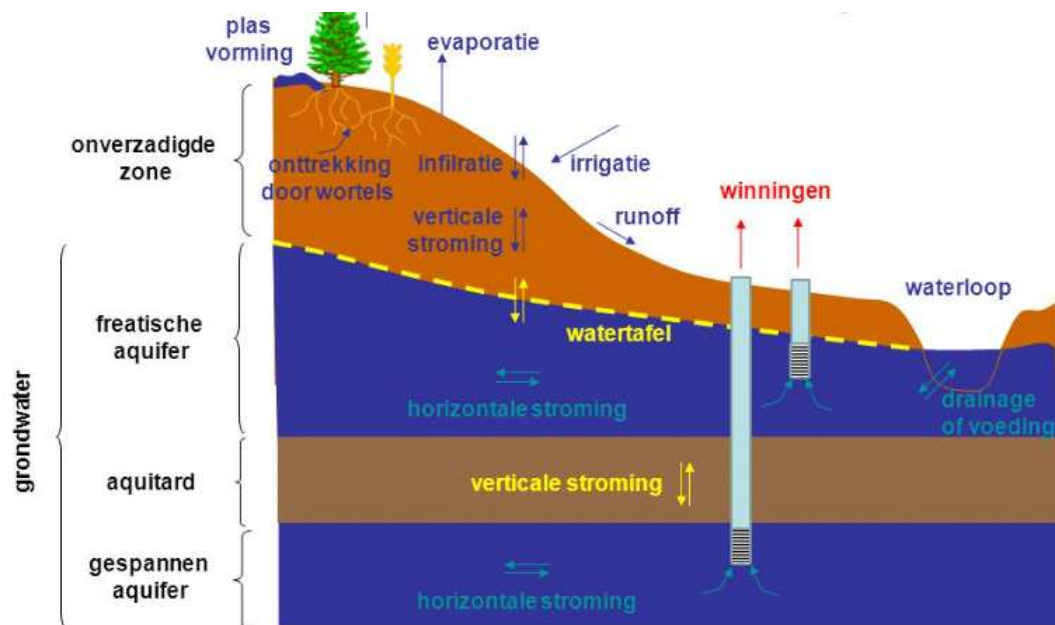
De thermische geleidbaarheid van het opvulmateriaal varieert van 0,7W/m.K voor opvulmateriaal op basis van bentoniet tot meer dan 2,5 W/m.K voor opvulmateriaal met kwartshoudend zand of silicaatzand. (geotherm, 2017)

Soorten vulmateriaal	Thermische geleidbaarheid (W/m.K)
Puur bentoniet	0,64 - 0,74
Bentoniet zand mengsels	1,20 - 1,50
Grout cement	0,80 – 0,90
Bentoniet Zandgrout	1,20 – 2,70
Bentonietzandcementgrout	1,50 – 2,00

(geotherm, 2017)

### 3.2.3. Grondwaterstroming

Grondwater is de verplaatsing van water door een bodem. Grond in de vorm van afzetting zoals grind, zand, klei of leem bevatten in meer of mindere mate holle ruimten. Indien deze materialen zich onder het grondwaterpeil bevinden dan zijn deze holle ruimten gevuld met water. Door grondwaterhoogteverschillen of drukverschillen ontstaat er een verplaatsing van dit vrije water. Dit kan zowel horizontaal als verticaal zijn. Bij een horizontale verplaatsing van het grondwater spreekt men van grondwaterstroming. De snelheid waarmee het water verplaats wordt is afhankelijk van de weerstand die de bodem biedt. Deze kan proefondervindelijk vastgesteld worden en heet de k-waarde of doorlatendheidscoëfficiënt.



Figuur 12. Grondwater(maatschappij, sd)

De grondwaterstroming kan berekend worden aan de hand van de formule van Darcy. Hoeveelheid stromend water = k-waarde x verhang x doorsnede oftewel  $Q=K \times i \times F$ .

$$\text{Verhang}(i) = \frac{\text{hoogteverschil}}{\text{afstand}}$$

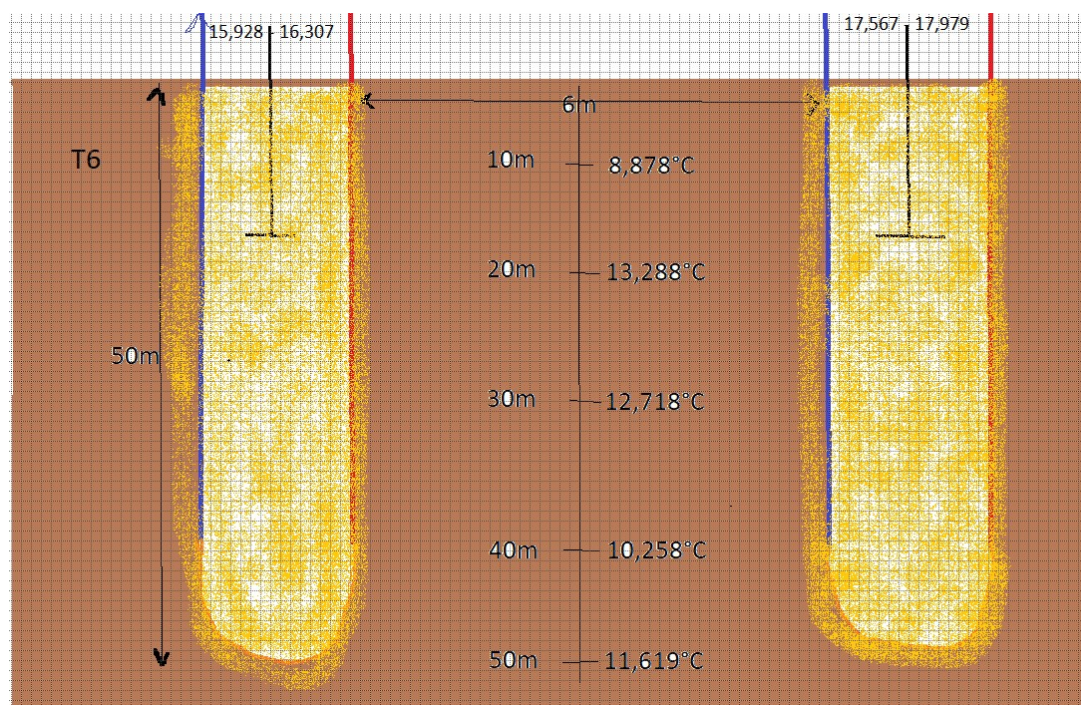
over het algemeen zijn stroomsnelheden relatief laag en maximaal enkele decimeters per etmaal, onder natuurlijke omstandigheden vaak veel lager.

Het effect op grondwaterstroming op Boorgat Energie Opslag door middel van verticale warmtewisselaars, wordt in de praktijk niet in rekening gebracht bij de dimensionering. Als de warmtewisselaar een watervoerend pakket doorkruist waarin een grondwaterstroming heerst, is de verwachte impact op de warmt

uitwisseling echter aanzienlijk. Het uitwisselingsproces verandert van enkel warmtegeleiding naar een gecombineerd geleidings- en advectief transport, dat veel sneller verloopt.

### 3.2.4 Boringen gebruikt in de installatie.

De 2 boringen op de Campus Geel hebben een diepte van 50 meter en een tussenafstand van 6 meter, hierdoor kunnen de 2 boorgaten geen invloed uitoefenen op elkaar en blijft het rendement van beide bodemwarmtewisselaars optimaal. Minder tussenafstand blijft uiteraard perfect mogelijk. Het is een gesloten bronsysteem en betekent dus dat deze niet belastend is voor de bodem. Bij een perfecte dimensionering en uitvoering is een verticaal bronsysteem nagenoeg onderhoudsvrij. Ze zijn opgebouwd zoals figuur 13.



Figuur 13. Schematische weergave temperaturen bodem

Het is een dubbele enkelvoudige U-vormige verticale warmtewisselaar waarvan de bronnen parallel gekoppeld staan. Het buismateriaal bestaat uit PE (polyethyleen) met een diameter van 32 x 2,9mm. De buizen zijn gevuld met een water-glycol mengsel. Onderaan in de lus wordt een gewicht bevestigd voor het inbrengen te vergemakkelijken. Om de 2 meter wordt een afstandhouder geplaatst om te vermijden dat de 2 benen van de warmtewisselaar elkaar raken en om de buizen zo dicht mogelijk met de boorgatwand te brengen. Voor onderzoek op het project werden er temperatuurmetingen gedaan in het midden tussen de 2 boringen op verschillende dieptes 10, 20, 30, 40, 50 meter. Voor het bepalen van de temperaturen op de verschillende dieptes en om de gemiddelde onverstoorde bodemtemperatuur te bepalen.

Ook zijn er sensoren voorzien bovenaan op de linker en rechter bron, deze sensor meet de temperatuur net onder het bodemoppervlak kortbij de aardsonde of anders genoemd bodemwarmtewisselaar. Onderstaande figuur 14 weergeeft de middelste bron waar de temperatuursensoren geplaatst zijn op de verschillende dieptes zodat deze correct opgemeten kunnen worden.

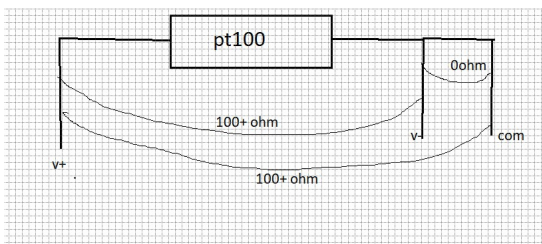


Figuur 14. Temperatuursensoren dieptes en bronnen.

Uit deze meting kan besluit worden dat de grond zeer onstabiel is wat de diepteverschillen per 10 meter betreft. Dit kan te maken hebben met de verschillende grondlagen of eventueel aanwezigheid van grondwater in een bepaalde bodemlaag.

### 3.2.5 Elektrisch schema loggen van de bodemtemperaturen

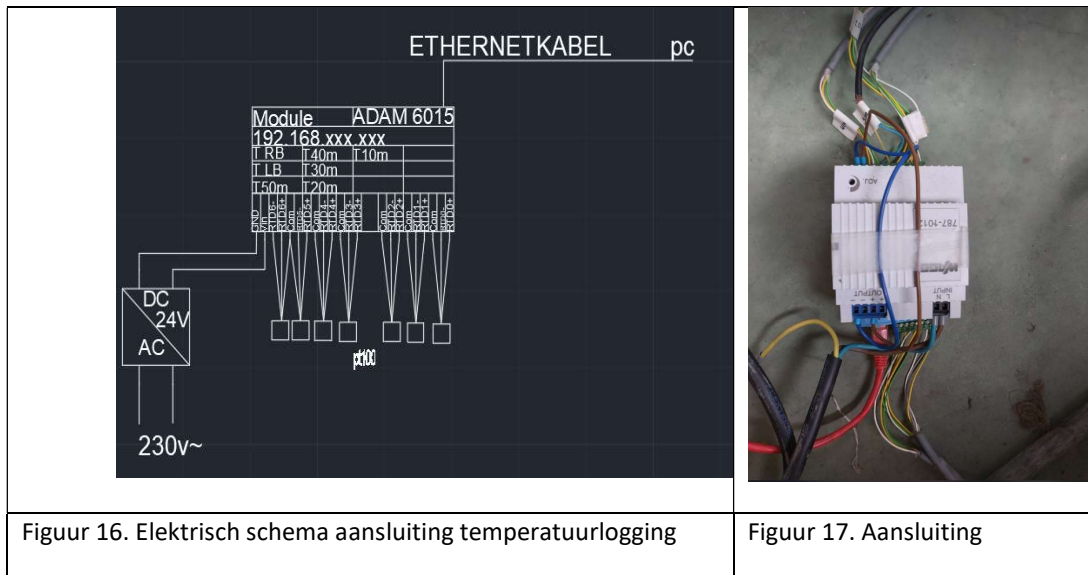
Voor het meten van de temperaturen in de bodem zullen de aanwezig pt100's die zich op de verschillende dieptes bevinden gelogd moeten worden. Hier is Labview voor gebruikt. Door gebruik te maken van een adam module 6015 die voorzien moet worden van 24V DC. Deze adam module heeft 7x RTD (weerstand temperatuur signaal) waarmee 3draads pt100's kunnen aangesloten worden op volgende wijze (com, V+ en V-).



Figuur 15. Driedraads pt100 aansluiting

In onderstaande figuur 16. Is een elektrische schema opgesteld hoe de metingen zijn toegepast. Hier is een omvormer voorzien die van 230V wisselspanning (AC) naar 24V gelijkspanning (DC) omvormt voor de voeding van de adam module, de adam module zal gekoppeld worden met de laptop op basis van een ethernetconnectie. De tijdsinstelling van de meting is actief gezet op 1min. Deze toepassing voor het meten van de temperaturen in de bodem wordt ook toegepast wanneer de bedrijven IFTech en het WTCB hun TRT uitvoeren. Dit

om te kijken wat de effecten van de bodem zijn wanneer er een warmte wordt geïnjecteerd in de bodem.



### 3.3 Glycol

Voor Industriële processen te koelen, zal er gebruik gemaakt worden van koelvloeistof. Deze vloeistof bestaat uit water waar diverse producten aan zijn toegevoegd. Hier is een antivriesmiddel aanwezig die ervoor zal zorgen dat het vriespunt verlaagt. Hiervoor wordt voornamelijk ethyleen of propyleen gebruikt. Daarnaast worden er ook stoffen toegevoegd die corrosie tegengaan of algengroei tegengaan. Ethyleen ( $C_2H_6O_2$ ) - en propyleenglycol ( $C_3H_8O_2$ )- zijn allebei glycolen. Een glycol bevat twee hydroxyl-(OH)-groepen. Propyleenglycol heeft echter één koolstofatoom meer dan ethyleenglycol. Het zijn beide kleur- en reukloze vloeistofatomen die gebruikt kunnen worden als koelvloeistof. Er zijn echter twee belangrijke verschillen tussen de twee stoffen. Dit zijn de giftigheid en viscositeit van de glycolen. Op basis van de toepassing en eisen van de installatie kan bepaald worden van welk type glycol men moet gebruiken. (Huchem.nl, 1984)

#### 3.3.1 Ethyleenglycol

Ethyleenglycol (1,2 - ethaandiol) wordt gezien als de beste koelvloeistof. Bij toevoeging van 30% ethyleenglycol aan water daalt het vriespunt tot  $15^{\circ}C$ . Het is giftig voor mensen en mag daarom niet gebruikt worden in de voedingsindustrie. Het is goedkoper dan propyleenglycol. Hierdoor is ethyleenglycol met name voordelig voor bedrijven die grote hoeveelheden koelvloeistof kopen. (Huchem.nl, 1984)

#### 3.3.2 Propyleenglycol

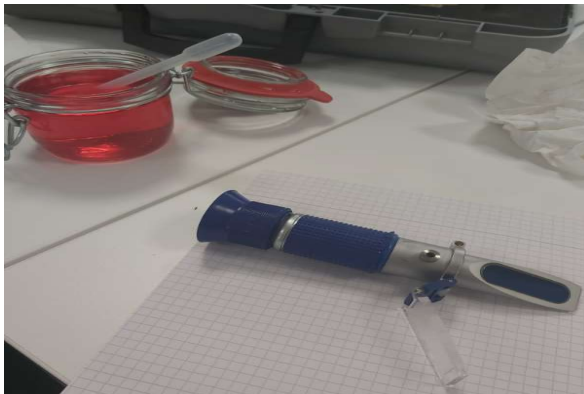
Propyleenglycol (propaan-1,2-diol) wordt bij temperaturen onder  $-18^{\circ}C$  meer viskeus. Dit heeft invloed op de snelheid van warmte uitwisseling. Ook zal propyleenglycol meer pompkracht nodig hebben dan ethyleenglycol onder koude omstandigheden. Voor processen die bij lage temperatuur opereren, of

waarvoor viscositeit een rol speelt is het noodzakelijk om ethyleenglycol te gebruiken. (Huchem.nl, 1984)

### 3.3.3 Onderzoek bepalen van onbekende glycol in de installatie.

In de grondboringen op de campus is er een onbekende glycol aanwezig, er dient voor de start van de bouw onderzocht te worden welk type glycol aanwezig is voor het bepalen van de warmtecapaciteit van de vloeistof. Dit is van belang voor de analyse van de TRT. Om te bepalen welk type glycol aanwezig is binnen het systeem zal de dichtheid en het vriespunt van de vloeistof achterhaald worden. Telkens er een TRT wordt uitgevoerd zal er water toegevoegd worden aan het systeem waardoor de verhouding van water en glycol steeds zal aanpassen.

De roodkleurige vloeistof (figuur. 18) is afgetapte vloeistof van de BEO.



Figuur 18. Afgetapte glycol BEO

Eerst zal de dichtheid van de vloeistof moeten bepaald worden, hier zijn meerdere methodes voor, de gekozen methoden voor dit project zijn de pycnometer en de hydrometer.

#### 3.3.3.1 Methode 1 - De Pycnometer

Door gebruik te maken van een pycnometer met een volume inhoud 100ml, kan er zeer nauwkeurig de dichtheid bepaald worden. Eerst zal de pycnometer leeg op een zeer nauwkeurige weegschaal, best tot 0,0001 gram gewogen worden. Als dit gewicht gekend is: 37,8034 gram (LEEG) kan vervolgens de pycnometer vol gewogen worden met de onbekende vloeistof. Deze bedraagt een massa van 140,2868 gram. Het verschil van beiden is de eindoplossing van de onbekende dichtheid.



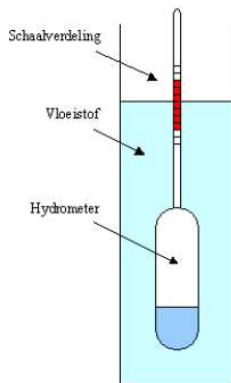
Figuur 19. Pycnometer (labbox, sd)



VOL	140,2868 gram	
LEEG	37,8034 gram	
<hr/>		
VERSCHIL	102,4834 gram/100ml	De dichtheid is 1024,834 kg/m <sup>3</sup>

### 3.3.3.2 Methode 2 - De hydrometer

Een hydrometer is een dobbersysteem met een schaal voor de dichtheid op een zeer snelle manier te kunnen meten. Glycol heeft altijd een dichtheid van 1020kg/m<sup>3</sup> tot 1070kg/m<sup>3</sup> afhankelijk van de mengverhouding. Daarom is het aangeraden een hydrometer met schaal 1,02 kg/dm<sup>3</sup> tot 1,07kg/dm<sup>3</sup> te gebruiken. Tegenwoordig zijn er elektrische hydrometers waarbij de waardes snel en accuraat afgelezen kunnen worden. Dit zou dan ook 1024,834kg/m<sup>3</sup> moeten weergeven. Deze methode is veel sneller als de Pycnometermethode maar is minder nauwkeurig.



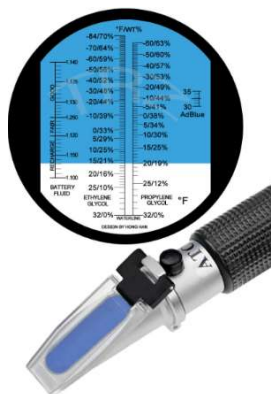
Figuur 20. De hydrometer

### 3.3.3.3 Bepalen vriespunt

Wanneer de dichtheid van de onbekende glycol bepaald is kan er aan de hand van een refractometer het vriespunt van propyleen en ethyleen bepaald worden. Met een refractometer bepaald men de brekingsindex van een vloeistof of vaste stof. De brekingsindex wordt gebruikt bij een gehaltebepaling. Het is dus geen concentratiemeter. Wanneer de meting toegepast wordt bekomt men met ethyleen een vriespunt van -16,2°C en bij propyleen een waarde van -16°C . Aan de hand van deze waardes kan met opgestelde tabellen bepaald worden welke dichtheid met welk vriespunt overeenkomt.

Aangeraden Tabellen van verschillende soorten glycol kan gevonden worden op Tyfocor of Tyfo.de ( (Chemie, sd)

- TYFOCOR
- TYFOCOR L
- TYFOCOR LS
- TYFOCOR L-ECO
- TYFOCOR GE
- TYFO-SPEZIAL
- TYFOCOR HTL
- TYFOCOR G-LS
- TYFOCOR LG



In onderstaande tabel van Tyfocor LG concentrate kan de verhouding bepaald worden( propyleenglycol)

- 1024,834 kg/m<sup>3</sup> dichtheid
- -16°C vriespunt

TYFOCOR® LG Concentrate	Frost Protection		Density (20 °C/68 °F)		Refractive index (20 °C/68 °F)
	[°C]	[°F]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[lb/ft <sup>3</sup> ]	
10 vol. %	-4.1	24.6	1008	62.93	1.3441
20 vol. %	-10.6	12.9	1018	63.55	1.3557
30 vol. %	-19.3	-2.7	1028	64.18	1.3673
40 vol. %	-27.8	-18.0	1038	64.80	1.3788
42 vol. %	-30.0	-22.0	1039	64.86	1.3810
50 vol. %	-45.0	-49.0	1045	65.24	1.3897
60 vol. %	<-50	<-58	1050	65.55	1.3998

Figuur 21. Tabel mengverhouding-Vriespunt-dichtheid (Chemie, sd)

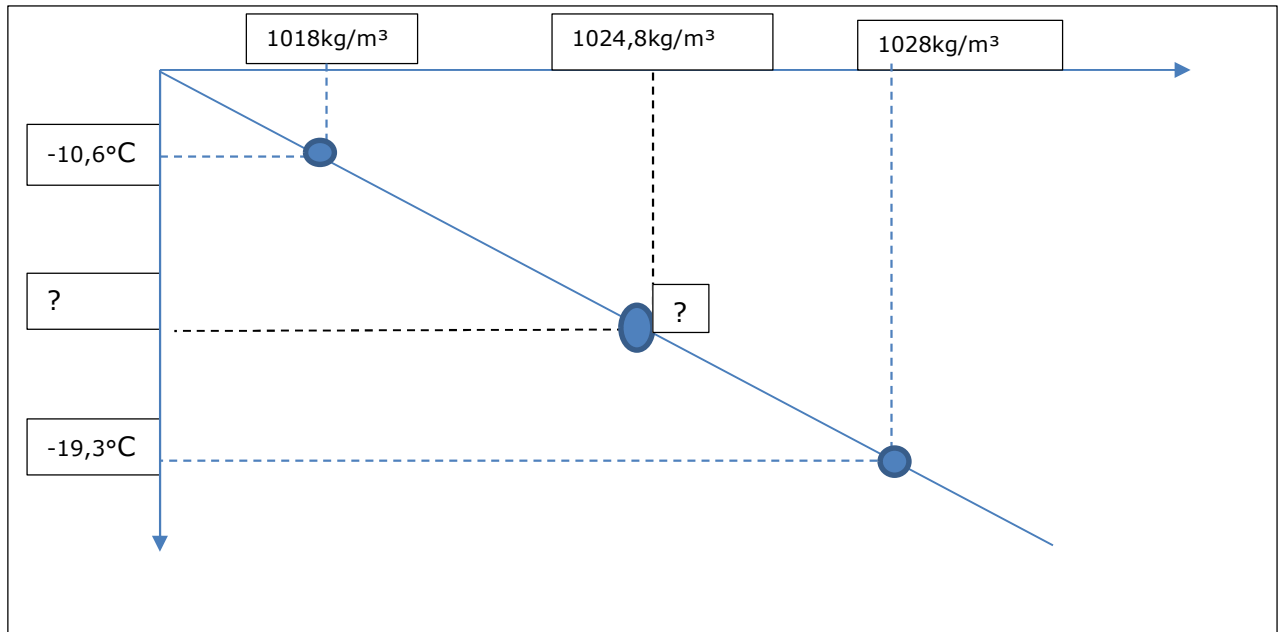
De dichtheid van de vloeistof bedraagt 1024,8kg/m<sup>3</sup>. Dit betekent dat er tussen de 20% -30% glycol aanwezig is en dat er 70% tot 80% water aanwezig zal zijn als mengverhouding. Bovenstaand tabel kan gebruikt worden om de dichtheid met het bijhorend vriespunt te bepalen, met de refractometer is een vriespunt bepaald tussen (-16 en -16,2°C) afhankelijk of de vloeistof propyleen en ethyleen zal zijn.

Voor het bepalen van de onbekende is er een eerstegraadsvergelijking opgesteld zodat een onbekend punt op een snelle manier gevonden kan worden aan de hand van de formule  $y=ax+b$ .

$$1018 \text{ kg/m}^3 = -10,6^\circ\text{C}$$

$$1028 \text{ kg/m}^3 = -19,3^\circ\text{C}$$

$$1024,8 \text{ kg/m}^3 = ?$$



Figuur 22. Eerstegraadsvergelijking.

Dit is een eerstegraads vergelijking  $y=ax +b$

$$y- ax =b \quad \rightarrow -19,3 -(-0,87 \cdot 1028) = 875,06$$

$$y= ax +b \quad \rightarrow (1024,8 \cdot -0,87) + 875,06 = -16,516^\circ\text{C}$$

Dit betekent dat er een vriespunt van  $-16,516^\circ\text{C}$  overeenkomt met een dichtheid van  $1024,8\text{kg/m}^3$ . Aangezien alle soorten glycolen op Tyfo.de vergeleken zijn kan er besloten worden dat dit de juiste glycol is aangezien deze het kortste bij de  $-16^\circ\text{C}$  is. Er dus propyleen aanwezig in het systeem. Dit is van essentieel belang om te bepalen wat de warmtecapaciteit is met een bepaalde mengverhouding binnen het systeem.

### 3.4 Thermische Respons Test

De Thermische Respons Test maakt het mogelijk om de geothermische parameters op een nauwkeurige manier en op een bepaalde locatie te bepalen. Een nauwkeurige inschatting van de warmtegeleidbaarheid van de ondergrond is belangrijk voor de dimensionering van het thermische systeem en de juiste bepaling van de benodigde lengte aan bodemwarmtewisselaars. Dit is nodig om de goede werking op korte en lange termijn te garanderen.

De test resulteert in de thermische geleidbaarheid  $\lambda$ , van de grond over de volledige sondelengte, mogelijk beïnvloed door de effectieve grondwaterstroming. Daarnaast kan uit een TRT ook de thermische weerstand van de boorgatwarmtewisselaar,  $R_b$ , bepaald worden. De wet van Fourier stelt dat de warmteflux in een materiaal evenredig is aan de temperatuurgradiënt en de warmtegeleidbaarheid. Om een Thermische Respons Test uit te voeren wordt in de meeste gevallen een aanhangwagen voorzien, dit omdat deze verplaatsbaar is. Hierin is alle apparatuur voorzien, bestaande uit een warmteinjectievoorziening (warmtepomp of warmteweerstand) en een hydraulisch circuit met regeling met data-logging.

Het regelcircuit bestaat uit een debietregelaar, een debietmeter, een pomp, een verwarmingselement en randapparatuur. De vertrek en retourleiding van het circuit worden gekoppeld aan de aanvoer en de retour van de grondboring. De elektrische voeding kan van buitenaf gekoppeld worden dit is 230V of 400v afhankelijk van de geplaatste TRT.

De temperaturen en het debiet zullen gelogd worden en zo kunnen er analyses op uitgevoerd worden. Met de nieuwere installaties is het mogelijk om de logging via een andere locatie op te volgen zodat er bij eventuele defecten snel kan opgetreden worden. In de elektriciteitskast is beveiligingsapparatuur voorzien (automaten en verliesstroomschakelaars).

De parameters die opgemeten worden tijdens de TRT zijn:

- De ingangstemperatuur van de dragervloeistof in functie van de tijd
- De uitgangstemperatuur van de dragervloeistof in functie van de tijd.
- Het gemiddelde geïnjecteerde vermogen
- De warmteafgifte per meter boorgat
- Het debiet
- Omgevingsfactoren

Testprocedure van een correct uitgevoerde thermische respons test moet voldoen aan volgende eisen:

- Een periode van 3 tot 5 dagen tussen de opvulling van het boorgat en het begin van de TRT
- De temperatuur van de grond in rust moet opgemeten worden voor aanvang van de test.
- Gedurende de TRT wordt de dragervloeistof aan een vast debiet doorheen de bodemwarmtewisselaar verpompt. Tegelijkertijd wordt een constant vermogen toegevoegd aan de dragervloeistof. Het debiet wordt verder zo gekozen dat het temperatuurverschil tussen in- en uitgang van de bodemwarmtewisselaar 3- 7°C bedraagt.
- Het geïnjecteerde vermogen moet gelijk zijn aan 40 tot 80 watt per meter boorgat.
- Pas na een bepaalde testduur zijn de metingen geschikt om de warmtegeleidbaarheid te bepalen.

- De totale testduur moet minstens 40 uur bedragen. De test moet dus lang genoeg worden aangehouden. Duidelijke temperatuurschommelingen worden waargenomen. Dit maakt het mogelijk de variatie statistisch te compenseren (niet noodzakelijk voor testevaluatie met parameterschatting met numerieke modellen.)
- Indien om eender welke reden de test voor het voorziene einde werd stopgezet of indien men een nieuwe TRT op hetzelfde boorgat wil uitvoeren, moet men de nodige tijd in acht te nemen tot de grond zich terug in zijn initiële toestand bevindt.

Er zal een constante warmtestroom aan de warmtewisselaar aangelegd worden met een constant debiet. De debietsmeting dient zo goed mogelijk ingesteld te worden liefst tot 0,2% nauwkeurig.

De uitvoering van de test dient minimaal 40 uur actief te zijn. Tijdens deze periode blijft de pomp aan een constant debiet het water circuleren en het verwarmingsvermogen blijft ingeschakeld. Door het toevoeren van een vast debiet en een constant vermogen zal ook het temperatuurverschil tussen aanvoer en retour constant zijn. In de omgeving rond de warmtewisselaar zal de temperatuur gaan stijgen.

Zo zal de temperatuur van het water-glycol mengsel ook gaan stijgen. Bijvoorbeeld de meting van begin 15/13 °C en na 70 uur 18/16 °C.

Het is de curve van deze temperatuurstijging die belangrijk is voor de warmtegeleidingscoëfficiënt uitgedrukt in  $W/(mK)$ . Maar deze is niet de enige thermische karakteristiek die van belang is voor het ontwerpen van een ondergronds opslagsysteem met verticale warmtewisselaars. Tevens van belang is de volumetrische warmtecapaciteit of C-waarde uitgedrukt in  $MJ/(m^3K)$ . Deze geeft een indicatie weer van hoeveel warmte kan opgenomen worden per volume en temperatuur eenheid. Deze waarde is vooral gericht op de waterinhoud en minder van het ondergrondtype. Verder is ook de boorgatweerstand  $R_b$  uitgedrukt in  $(K/(W/m))$  van invloed op het ontwerp van een ondergronds opslagsysteem.

Terwijl de C-waarde een indicatie geeft van het buffervermogen van de bodem, zal de  $R_b$ -waarde vooral een invloed hebben op het ogenblikkelijk haalbare vermogen aangaande warmte onttrekking of injectie. Deze factor geeft aan hoe vlot de warmteoverdracht tussen het fluidum in de verticale warmtewisselaar en de boorgatwand verloopt. Er wordt steeds gestreefd naar een zo laag mogelijke  $R_b$ -waarde.

Door toepassing van de gepaste verwerkingsmethode, met name de 'Lijnbrontheorie', kan uit het temperatuurantwoord van de vloeistof op de aangelegde warmte-input de effectieve warmtegeleidbaarheid van de bodem en de warmte-overgangswaarde van de vloeistof naar de sedimenten (de zogenaamde boorgatweerstand) berekend worden.

De warmtegeleidingscoëfficiënt van de boorgatvulling zelf kan hieruit niet rechtstreeks afgeleid worden. Deze heeft uiteraard wel een zeer belangrijke invloed op de boorgatweerstand. (L.Francois, 8/05/2013)

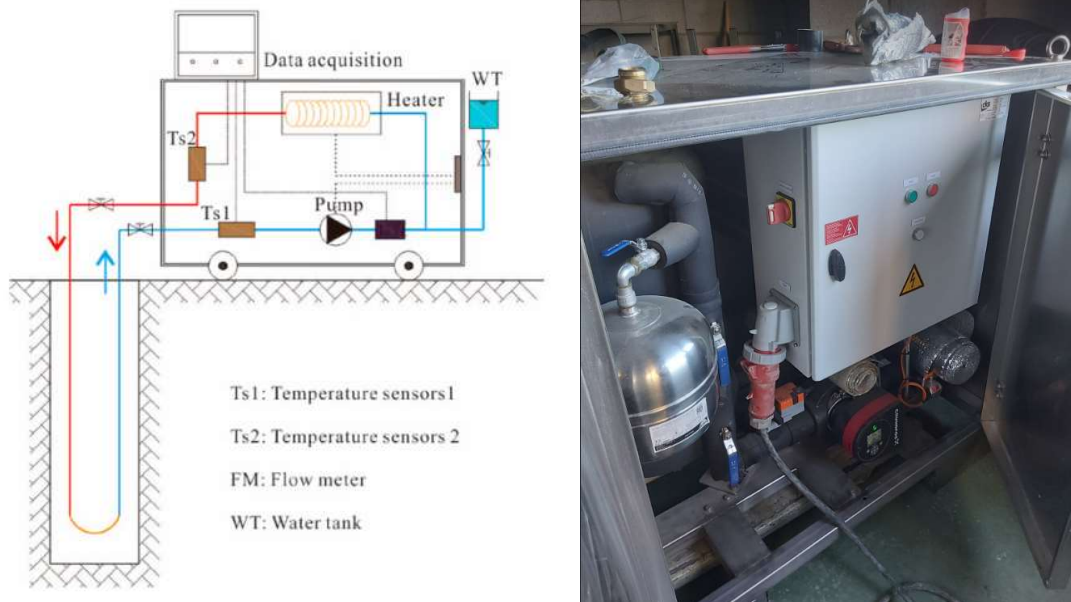
$$T_{vl\ gemid}(t) = \frac{q}{4\pi\lambda} \ln(t) + \frac{q}{4\pi\lambda} \left( \ln\left(\frac{4a}{r^2}\right) - y \right) + q \cdot R_b + T_0$$

Tvl-gemid	:Gemiddelde vloeistoftemperatuur	(K)
$\lambda$	:warmtegeleidingscoëfficiënt	(W/(mk))
q	:Specifieke thermische belasting (vermogen)	(W/m)
a	:Temperatuurvereffeningscoëfficiënt van de bodem	(m <sup>2</sup> /s)
r	:Boorgatradius	(m)
Rb	:Boorgatweerstand	(K/(W/m))
Y	:Euler-constante	(-)
T0	:Ongestoorde bodemtemperatuur	(K)
t	:Tijd	(s)

Er worden 2 thermische respons testen uitgevoerd op de grondboringen te campus Thomas More voor de start van de opbouw van het zelfgebouwde prototype. Dit om een zicht te krijgen wat de effectieve bodemeigenschappen zijn zodat achteraf kan vergeleken worden of deze installatie dezelfde meeteigenschappen kan bereiken ten opzichte van de andere 2. Hiervoor dienen deze 2 TRT's eerst uitgebreider uitgelegd te worden en er zal een analyse op de metingen worden uitgevoerd.

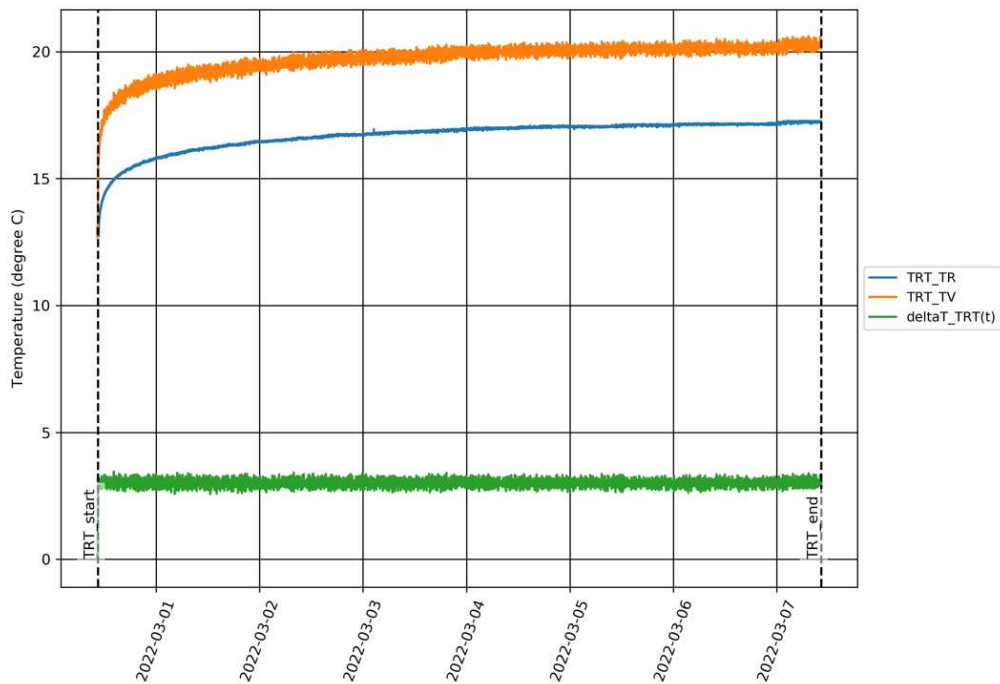
### 3.4.1 TRT IFTech

Een eerste Thermische respons test wordt uitgevoerd van 28/02/2022 tot 07/03/2022. Het is een TRT van het bedrijf IFTech, het bedrijf gelegen te Beringen, Koolmijnlaan 185 is een internationaal expert in geothermische energie installaties, ze heeft jarenlange ervaring in grondwatertechniek, warmtepomptechnologie en thermische installaties. Ze zijn opgericht in 2000 en ontwerpen geothermische energiecentrales. Aan de hand van de gelogde resultaten kan er een analyse uitgevoerd worden op de boorgaten van thomas more. Deze TRT bevat als verwarmingssysteem een thermische weerstand voor het buffervat. Een Elektrische weerstand of resistantie is de elektrische eigenschap van materialen om de doorgang van elektrische stroom te belemmeren. Wanneer door een materiaal een elektrische stroom vloeit dan zal dit niet ongehinderd gebeuren, er is energie voor nodig. De stroom ondervindt een zekere weerstand. Deze elektrische energie wordt omgezet in warmte waardoor het water in het vat verwarmt zal kunnen worden. Voor deze test is een geïnjecteerd vermogen ingesteld van ongeveer 1800Watt



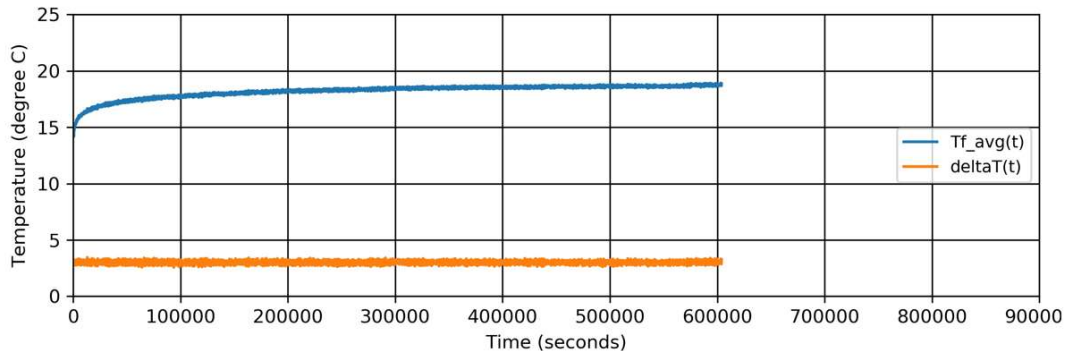
Figuur 23. Thermische respons test met elektrische weerstand

Nadat de thermische respons test is uitgevoerd kunnen de meetwaardes geanalyseerd worden. De belangrijkste eigenschappen die geanalyseerd zullen moeten worden zijn de warmtegeleidbaarheid, de boorgatweerstand en de warmtecapaciteit. De glycol na de test zal ook opnieuw gemeten moeten worden voor de berekening van de nieuwe warmtecapaciteit van de vloeistof door de toevoeging van water zal deze aangepast zijn.



Figuur 24. Verloop temperaturen door de warmtewisselaar. ( analyse WTCB)

Bovenstaande afbeelding weergeeft de oranje curve de aanvoertemperatuur en de blauwe curve de retourtemperatuur dat de warmtewisselaar in en uit gestuurd wordt, er dient constante een delta T van 3 Kelvin aangehouden te worden. Dit om de bodem geleidelijk op te warmen zodat de k factor van de warmtegeleidbaarheid bepaald kan worden. Deze delta T van 3K is weergegeven als de groene curve van figuur 24. Deze meetwaardes kunnen gebruikt worden om de gemiddelde temperatuur te bepalen door de sonde. In onderstaande afbeelding is de gemiddelde vloeistof temperatuur weergegeven in functie van de tijd. Deze is van belang voor het bepalen van de warmtegeleidbaarheid in de volgende berekeningen.



Figuur 25. Verloop gemiddelde vloeistoftemperatuur in functie van de tijd. (analyse WTCB)

### Warmtegeleidbaarheid:

De warmtegeleidbaarheid bepaald hoe goed een medium warmte kan geleiden. Voor de grond is deze afhankelijk van de samenstelling, porositeit, het vochtgehalte en de temperatuur. De warmtegeleidbaarheid kan bepaald worden aan de hand van onderstaande formule

$$\lambda = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot H \cdot k}$$

- $\lambda$ =De warmtegeleidbaarheid (W/(m/K))
- Q= Het gemiddelde geïnjecteerde vermogen (W)
- H= lengte van de warmtewisselaar (m)
- k= helling rechte

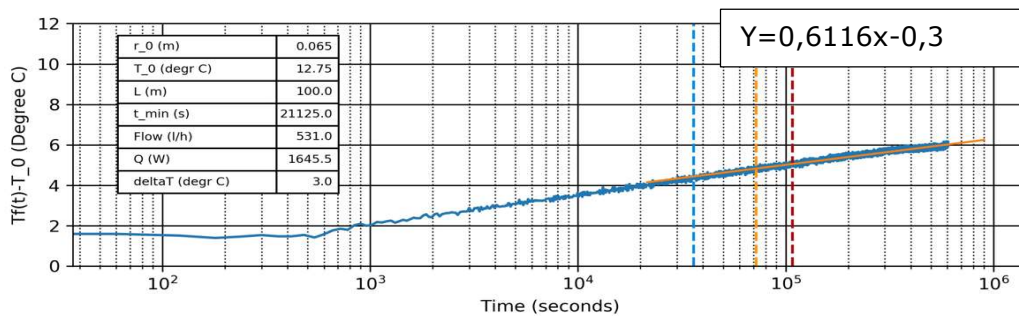
Voor deze vergelijking in te kunnen vullen zullen er een aantal onbekenden berekend worden. Eerst zal het gemiddelde geïnjecteerde vermogen berekend worden.  $Q = P_{cp} \cdot D \cdot (T_{in} - T_{uit})$

- Q= geïnjecteerde vermogen (Watt)
- D= debiet (m<sup>3</sup>/s)
- P<sub>cp</sub>= Volume gerelateerde warmtecapaciteit van de dragervloeistof (MJ/m<sup>3</sup>/K)
- T<sub>in</sub>= Ingaande temperatuur bron



- Tuit= Uitgaande temperatuur bron

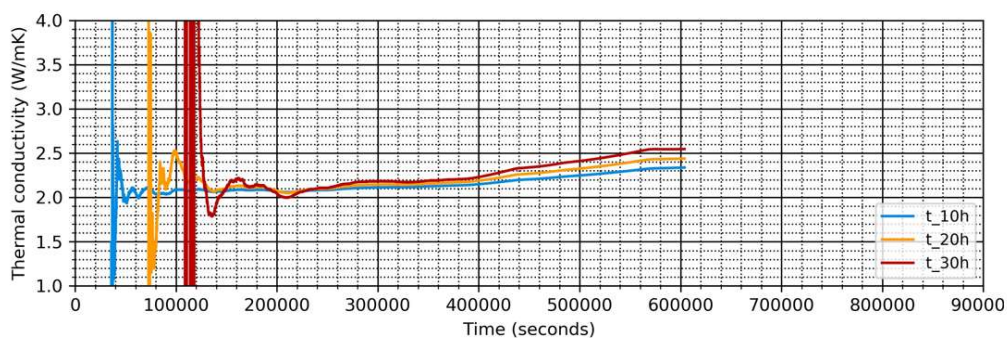
Wanneer deze vergelijking opgesteld wordt voor de meetwaarden van IFTech bekomt men een gemiddeld geïnjecteerd vermogen van 1645,5 Watt. Vervolgens zal de k factor bepaald worden. In onderstaande afbeelding is de regressiecurve te zien van het verschil tussen de gemiddelde vloeistof temperatuur in functie van de tijd en de ongestoorte bodemtemperatuur uitgedrukt op een logaritmische tijdsschaal. De helling van de curve bepaalt de k factor die van essentieel belang is voor de berekening van de warmtegeleidbaarheid van de uitgevoerde TRT. De vergelijking van de rechte bedraagt  $0,6116x - 0,3$  waarbij de  $-0,3$  het snijpunt is van de Y-as en  $0,6116x$  de stijging van de rechte bedraagt. Wanneer deze waarden bepaald zijn kan de vergelijking toegepast worden en de warmtegeleidbaarheid bepaald worden.



Figuur 26. Vergelijking opstellen rechte (analyse WTCB)

$$\lambda = \frac{1645,5W}{4 \cdot \pi \cdot 100m \cdot 0,6116} = 2,141(W/(m/k))$$

Wanneer de warmtegeleidbaarheid bepaald moet worden op een tijdsschaal zal de bovenstaande formule toegepast worden waarbij het geïnjecteerde vermogen in functie van de tijd is opgesteld waardoor men volgende onderstaande grafiek weergeeft. Deze weergeeft de warmtegeleidbaarheid / tijdlogging per 10 uur schematisch weer. Hier kunnen we bemerken dat de warmtegeleidbaarheid steeds naar de  $2,141W/(m/K)$  streeft.



Figuur 27. Warmtegeleidbaarheid (analyse WTCB)

Nadat de warmtegeleidbaarheid  $\lambda$  bepaald is kan ook de thermische weerstand tussen de vloeistof in de warmtewisselaar en de boorgatwand, kortweg de boorgatweerstand  $R_b$ , bepaald worden op basis van de gemeten waarden tijdens de thermische respons test.

De boorgatweerstand  $R_b$  (mK/W) is de warmteoverdrachtsweerstand tussen de ongestoorde grond en de carriervloeistof in de warmtewisselaar ten gevolge van de warmtewisselaar zelf en het omringde opvulmateriaal. De boorgatweerstand is gerelateerd aan verschillende parameters, waaronder

- Eigenschappen warmtewisselaar (materiaal, diameter, wanddikte)
- Configuratie van de warmtewisselaars (enkele of dubbele U-lus, tussenafstand warmtewisselaars)
- Eigenschappen dragervloeistof
- Stromingsregime
- Boorgatdiameter
- Opvulmateriaal

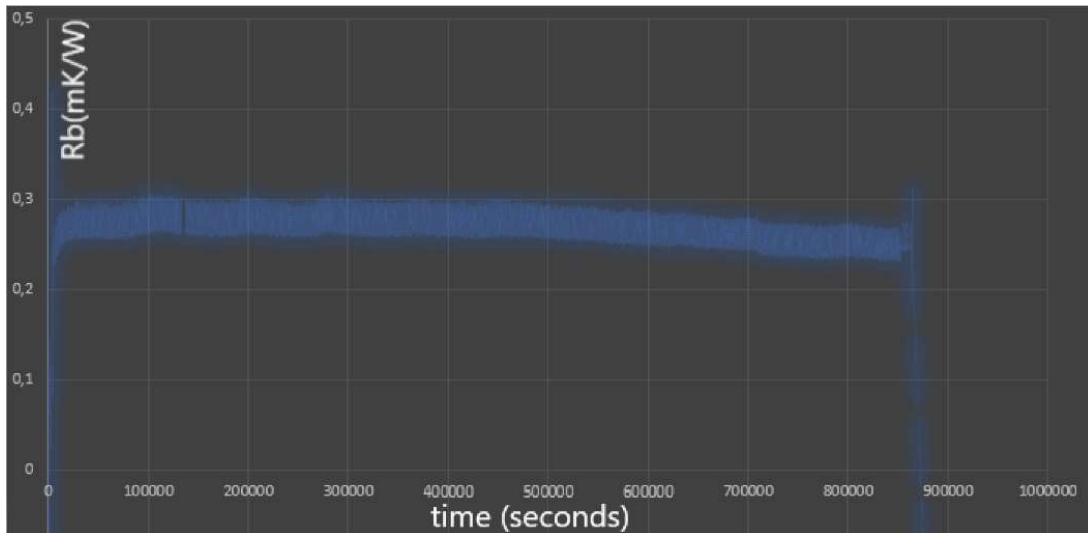
$$R_b \frac{H}{Q} (T_f(t) - T_0) - \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \lambda} \left( \ln(t) + \ln\left(\frac{4a}{r_0^2}\right) - 0,5772 \right)$$

- $R_b$  = boorgatweerstand (mK/W)
- $Q$  = Geïnjecteerde vermogen (watt)
- $T_f(t)$  = gemiddelde vloeistoftemp in functie van de tijd (°C)
- $T_0$  = Onverstoorte bodemtemperatuur (°C)
- $\lambda$  = warmtegeleidbaarheid (W/(m/K))
- $a$  = warmtediffusiviteit ( $\lambda/\rho c_p$ )
- $r_0$  = diameter warmtewisselaar

Wanneer de meetwaarden van de test na een tijd van bijvoorbeeld 200 040 seconden ingevuld worden bekomen we een boorgatweerstand van 0,2885 mK/W. In onderstaande vergelijking is een ingevulde vergelijking opgesteld voor verduidelijking.

$$R_b \frac{100m}{1645,5W} (T_f(18,2813^\circ C) - 12,75^\circ C) - \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 2,141} \left( \ln(200040s) + \ln\left(\frac{4 \cdot \frac{2,141}{2 \cdot 500 \cdot 000}}{0,32^2}\right) - 0,5772 \right)$$

Wanneer we al deze waarden in functie van de tijd plaatsen in een grafiek bekomen we de volgende curve. Hier is duidelijk te zien dat de boorgatweerstand gemiddeld rond de 0,26 bedraagt en een beetje daalt naarmate de tijd vordert.



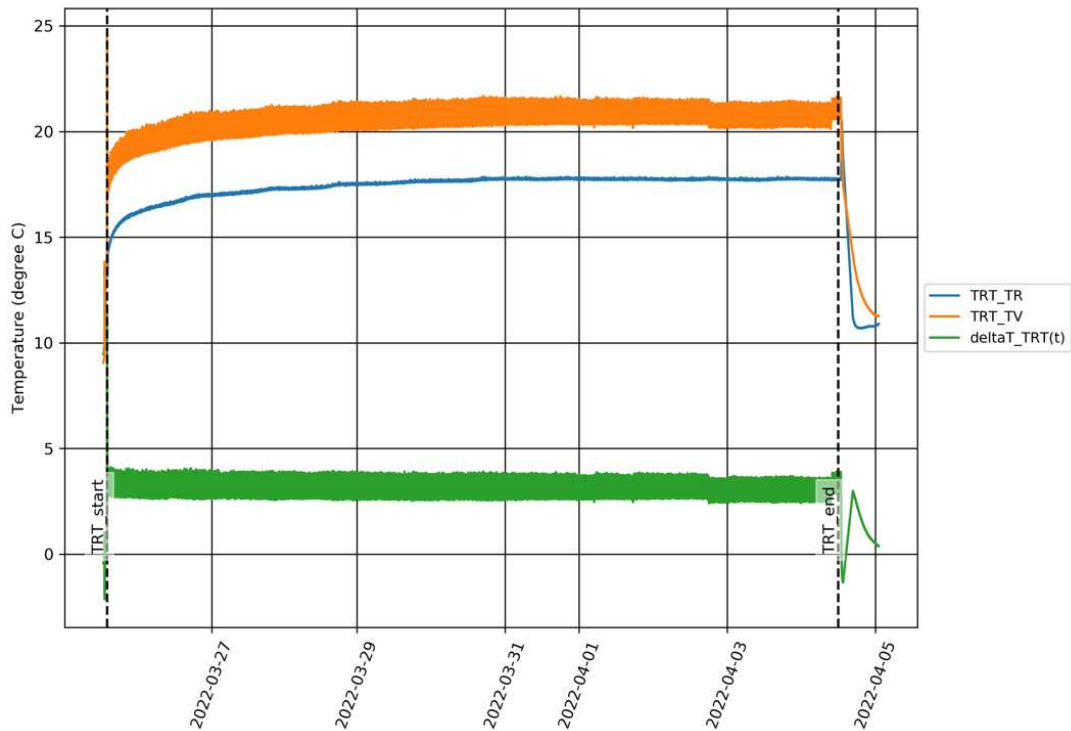
Figuur 28. Boorgatweerstand uitgedrukt op een tijdschaal.

Op basis van de gemeten waarden tijdens de thermische respons test kan er afgeleid worden dat er een boorgatweerstand is van 0,26 mk/W. Deze is sterk afhankelijk van de diameter van de warmtewisselaar.

### 3.4.2 TRT WTCB

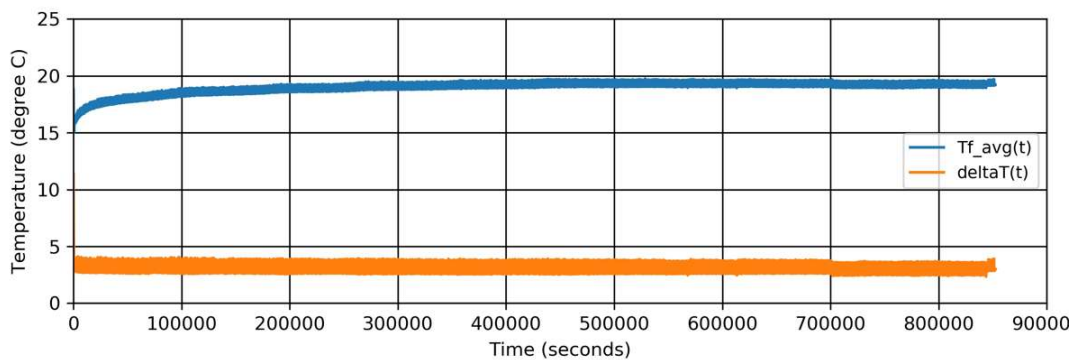
Een tweede TRT wordt uitgevoerd van 25/03/2022 tot 04/04/2022, meer dan 2 weken na de test van Iftech. Dit is noodzakelijk voor de bodem weer te stabiliseren en een nieuwe meting te kunnen uitvoeren. Het is een TRT van het bedrijf WTCB, het Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het bouwbedrijf (WTCB) is een particuliere onderzoeksinstituting die in 1959 opgericht werd bij toepassing van de besluitwet De Grootte, de toenmalige Minister van Economische Zaken. De administratieve zetel van het bedrijf is gelegen te Brussel, Lombardstraat 42. De hoofdopdrachten van het WTCB zijn onderzoeken, informeren en innoveren. Om deze drie hoofdopdrachten tot een goed einde te kunnen brengen is er een multidisciplinair team nodig. Het doel van de besluitwet De Grootte is om met toegepast onderzoek de industrie te bevorderen en het concurrentievermogen te verhogen. (L.Francois, 8/05/2013)

Met de test van het WTCB wordt ook een geïnjecteerd vermogen toegepast van ook ongeveer 1800 watt. Het debiet is hetzelfde ingesteld met een zelfde delta T (3 kelvin) als deze van IFtech met als doel om 2 dezelfde testen te vergelijken en te analyseren. Deze resultaten dienen overeen te komen.



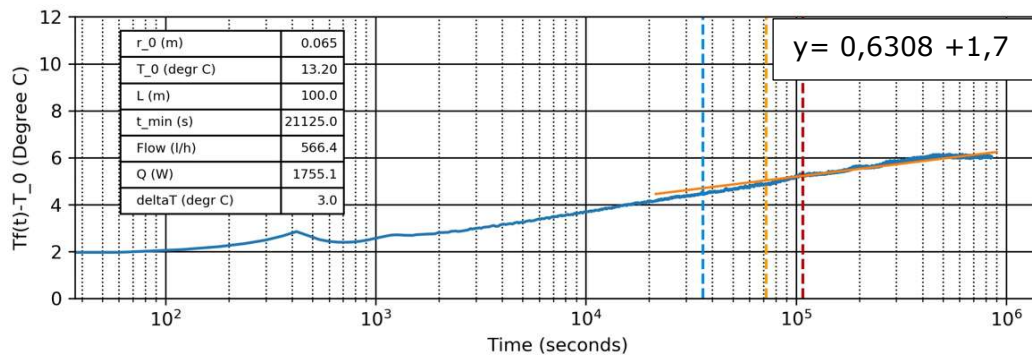
Figuur 29. Verloop temperaturen door de warmtewisselaar. (Analyse WTCB)

Bovenstaande afbeelding weergeeft de oranje curve de aanvoertemperatuur en de blauwe curve de retourtemperatuur dat de warmtewisselaar in en uit gestuurd wordt, Ook hier wordt een constante delta T van 3K bereikt die weergegeven wordt met de groene curve. Deze meetwaarden kunnen gebruikt worden om de gemiddelde temperatuur te bepalen door de sonde. In onderstaande afbeelding is de gemiddelde vloeistof temperatuur weergegeven in functie van de tijd. Deze is van belang voor het bepalen van de warmtegeleidbaarheid in de volgende berekeningen.



Figuur 30. Verloop gemiddelde vloeistoftemperatuur in functie van de tijd. (analyse WTCB)

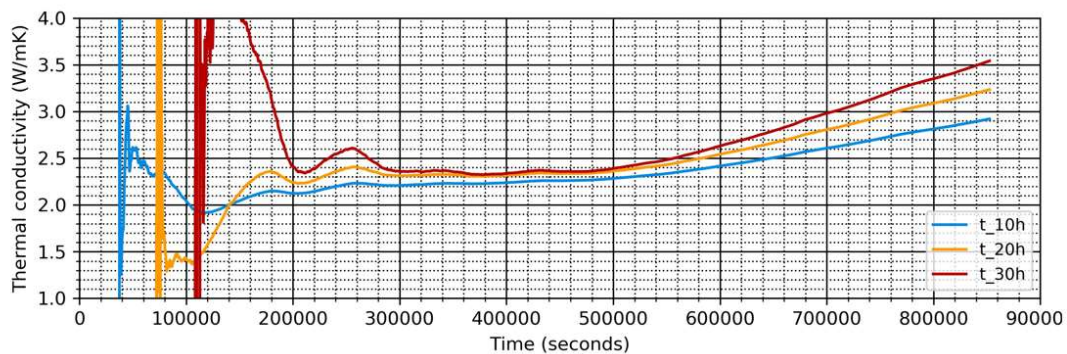
In figuur 31 kunnen we opnieuw de warmtegeleidbaarheid berekenen aan de hand van de opgestelde vergelijking.



Figuur 31. Vergelijking opstellen rechte (analyse WTCB)

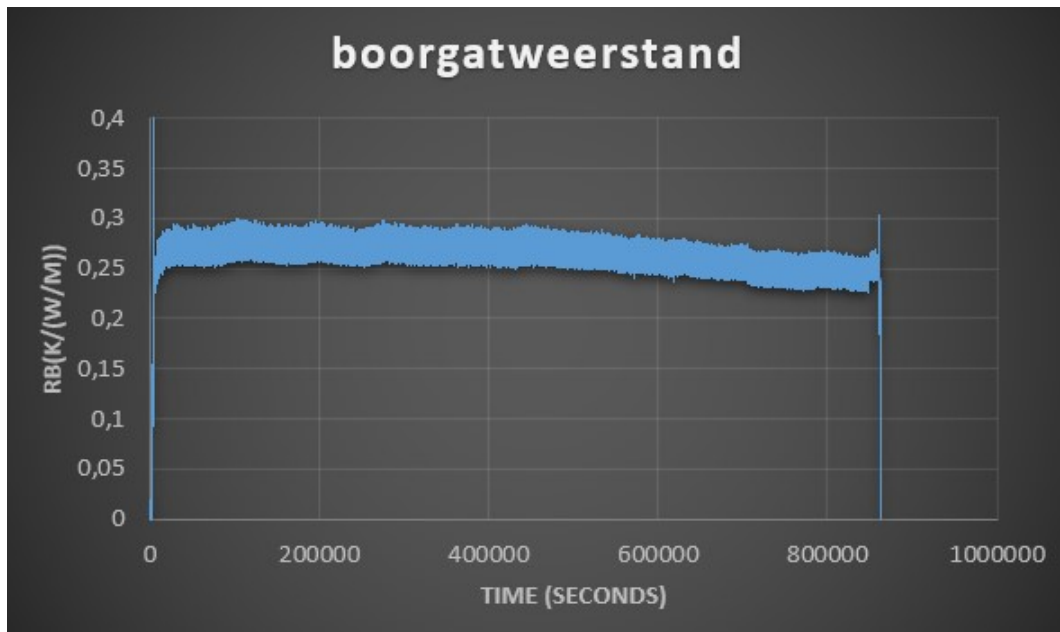
$$\lambda = \frac{1755,1W}{4 \cdot \pi \cdot 100m \cdot 0,6308} = 2,2113(W/(m/k))$$

Figuur 32 weergeeft de warmtegeleidbaarheid / tijdlogging per 10 uur schematisch weer. Hier kunnen we bmerken dat de warmtegeleidbaarheid steeds naar de 2,2113W/(m/K) streeft. Naar het einde van de test toe is er duidelijk invloed van grondwaterstroming zichtbaar waardoor de lambda-waarde begint toe te nemen naarmate de tijd. Bij de metingen van IFTech is dit effect beginnend zichtbaar maar de test duurde vermoedelijk niet lang genoeg om dit te meten.



Figuur 32. Warmtegeleidbaarheid (analyse WTCB)

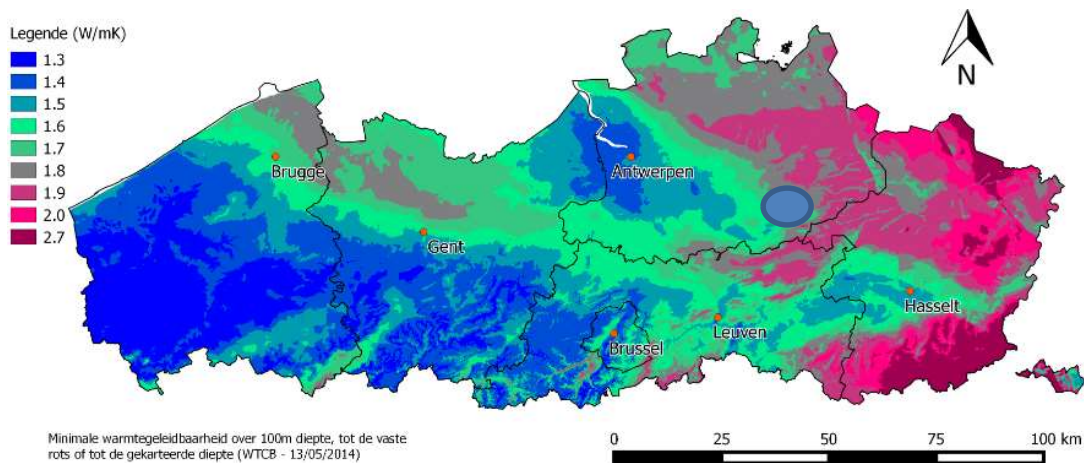
Vervolgens kunnen we hier ook weer de boorgatweerstand gaan bepalen van de boring. Deze bedraagt ongeveer 0,25 (mK/W)



Figuur 33. Boorgatweerstand uitgedrukt op een tijdschaal.

### 3.4.3 Besluit

Wanneer er via smartgeotherm gekeken wordt naar de warmtegeleidbaarheidskaart over 100 meter is het mogelijk dat de ondergrond een geleidbaarheid weergeeft van circa 2,1 (W/mk) Hieruit kunnen we dus ook besluiten dat deze waardes kloppen.



Figuur 34. Warmtegeleidbaarheid over 100 meter diepte. (geotherm, 2017)

## 4 REALISATIE INSTALLATIE THOMAS MORE

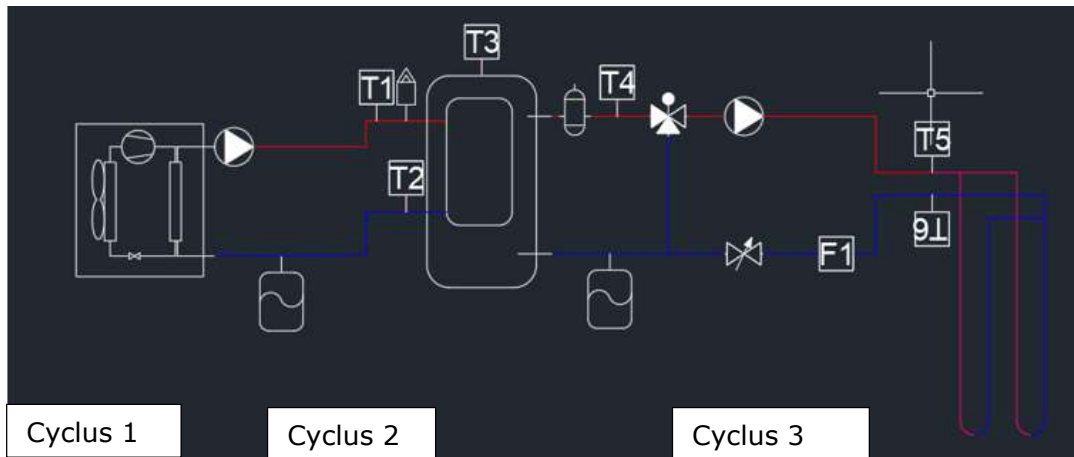


Figuur 35. Installatie Thomas More

## 4.1 Mechanische werking

De werking van het mechanisch gedeelte bestaat uit 3 cyclussen. Deze worden elk afzonderlijk uitgelegd in dit hoofdstuk.

De hoofdonderdelen van de installatie zijn de warmtepomp voor het sturen van koeling of verwarming, het dubbel vat dat gebruikt wordt voor conductie van het binnenvat naar het buitenvat en de grondboringen.



Figuur 36. Mechanisch schema.

### 4.1.1 Cyclus 1: Werking warmtepomp

Dit is een mono block lucht-water warmtepomp (figuur 37), die volgens de technische gegevens een COP bevat van 4. De werking van een lucht water warmtepomp werkt op volgende wijze. Hij gaat de omgevings-lucht gebruiken als warmtebron. De ingebouwde ventilator zuigt de buitenlucht aan en stuurt deze door de warmtewisselaar (verdampers). In de warmtewisselaar circuleert het koelmiddel R404A waarvan de fysische toestand door zijn thermische eigenschappen met lage druk wijzigt. Zodra het in contact komt met de aanvoer van de buitenlucht wordt het opgewarmd tot het uiteindelijk begint te verdampen. De temperatuur van het gas dat hier nog relatief laag is zal doorstromen naar de zuiger-compressor. Hier zal de druk en de

temperatuur stijgen. Zodra deze een bepaalde temperatuur en een bepaalde druk heeft bereikt zal deze doorstromen naar de condensor. Hier geeft het koelmiddel zijn warmte af aan het verwarmingssysteem en zal het gas gaan condenseren en overgaan naar vloeistof. Deze lucht-water warmtepomp die gebruikt is voor de TRT op de campus Thomas More Geel is ingesteld op volgende wijze. Als de gewenste temperatuur (T5) boven 10°C bedraagt zal er verwarmd worden. Als de temperatuur onder 10°C bedraagt zal er gekoeld worden. Wanneer er verwarmd wordt zal de 4wegkraan niet geschakeld zijn en als we gaan koelen zal deze wel geschakeld zijn. Dit gebeurt door een



Figuur 37. Lucht-water warmtepomp.



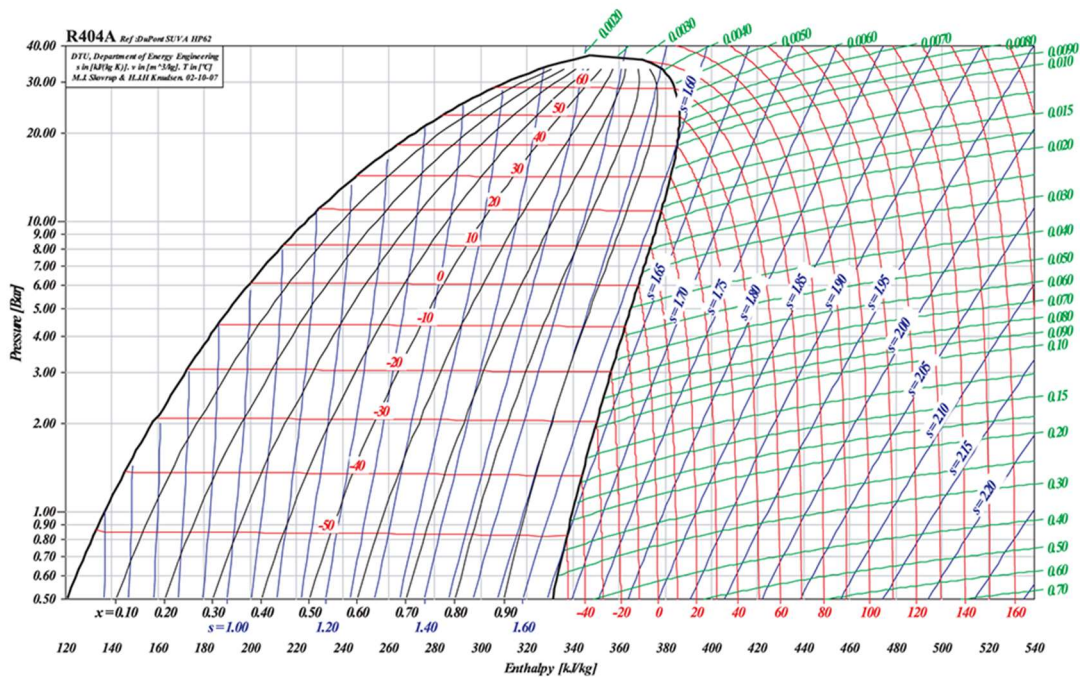
voorwaarde voor deze warmtepomp als er gekoeld wordt zal RL2 (zie elektrisch schema adam module 6060) hoog schakelen en als er verwarmt wordt zal RL2 laag schakelen.

De warmtepomp zal de temperatuur van het vat gaan regelen, deze is ingesteld zodat wanneer de temperatuur van de buffer daalt onder een setpunt van 5°C dan zal de warmtepomp werken op volgende wijze (Starten warmtepomp – pomp 1 aan – 60s – compressor aan – 30s – ventilator aan).

Koelen zal gebeuren als de temperatuur van het buffervat stijgt boven een temperatuur van 2°C dan zal de warmtepomp omschakelen met zijn vierwegklep (starten warmtepomp – pomp 1 aan – 60s – compressor aan – 30s – ventilator aan) Dit wordt verder nog uitgelegd voor verduidelijking.

Voor de beveiliging van de warmtepomp is er een hoge drukbeveiliging en 2 lage drukbeveiligingen voorzien. De hoge druk beveiliging is ingesteld op een maximum temperatuur van 50°C. De lage druk beveiligingen zijn ingesteld op een minimale temperatuur van 0°C. Dit omdat de minimale temperatuur -3°C bevat voor het fluidum bevriest. In onderstaande afbeelding zijn de eigenschappen van R404A weergegeven voor verduidelijking van de bijhorende druk en temperaturen.

R-404A is een "quasi-azeotropisch" overgangsmengsel van het type HFK, ontwikkeld voor commerciële en industriële koeling en koeltransport. Dit koudemiddel wordt voornamelijk gebruikt voor nieuwe koelcentrales in super- en hypermarkten, gekoelde opslagplaatsen, vriesinstallaties voor voedingsmiddelen en koelmeubelen voor de bewaring van diepvrieswaren en in koelwagens. Dit koudemiddel kan eveneens R-502 vervangen in bestaande installaties, als een specifieke procedure in acht genomen wordt.



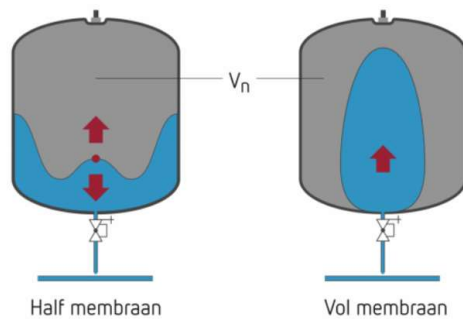
Figuur 37. Koelmiddel R404A: P-h grafiek

#### 4.1.2 Cyclus 2: Warmtepomp – Binnenvat

Deze cyclus is opgebouwd uit:

- Apex leidingen DN20 met de benodigde koppelingen en isolatie.
- De pomp Evosta2 40-70/180 heeft een maximum debiet van 3,6m<sup>3</sup>/h en een opvoerhoogte van 6,9 meter.
- Een temperatuursensor T1, T2(pt100)
- Een luchtafscheider
- Expansievat met ontluchter

Het expansievat zorgt ervoor zodra de druk in het systeem wil oplopen zal de vloeistof richting het gas bewegen. Waardoor het volume van het systeem toeneemt. Hierdoor zal de druk niet verder toenemen



Figuur 38. Werking expansieventiel

Deze cyclus is verbonden met het binnenvat die een inhoud bevat van 250 liter, een maximum toegelaten druk mag bevatten van 8 bar en een maximum toegelaten temperatuur heeft van 90°C. Dit vat zal door de warmtepomp opgewarmd worden tot een bepaalde temperatuur en zal door geleiding het buitenvat op een gewenste temperatuur brengen.

#### 4.1.3 Cyclus 3: Buitenvat - grondboring

Het Buitenste vat bedraagt een inhoud van 56l, een maximum toegelaten druk van 3 bar en een maximum temperatuur van 110°C. Deze cyclus bevat 4 temperatuursensoren T3, T4, T5 en T6 ook bestaande uit pt100's.

T5 en T6 zijn belangrijke temperatuursensoren voor de aanvoer en de retour van de boringen. Deze voor een duidelijke delta T te bepalen voor de verdere berekeningen. T3 wordt gebruikt voor de temperatuur van het buitenvat te gaan bepalen. T4 wordt gebruikt voor de temperatuur vlak voor de debietmeter te bepalen zodat we een goed zicht hebben op de temperatuur en het debiet dat we de grondboringen gaan insturen zodat deze extra wordt opgevolgd.

Vervolgens is er een 3 weg-klep voorzien waarmee de gewenste temperatuur voor de aanvoer van de bron manueel of automatisch geregeld kan worden. Deze zal een percentage van de retour opnieuw door de bron sturen voor de gewenste waarde te kunnen bereiken. Vervolgens is er een debietmeter voor de logging van het massadebiet voorzien. Achter de debietmeter is een regelkraan

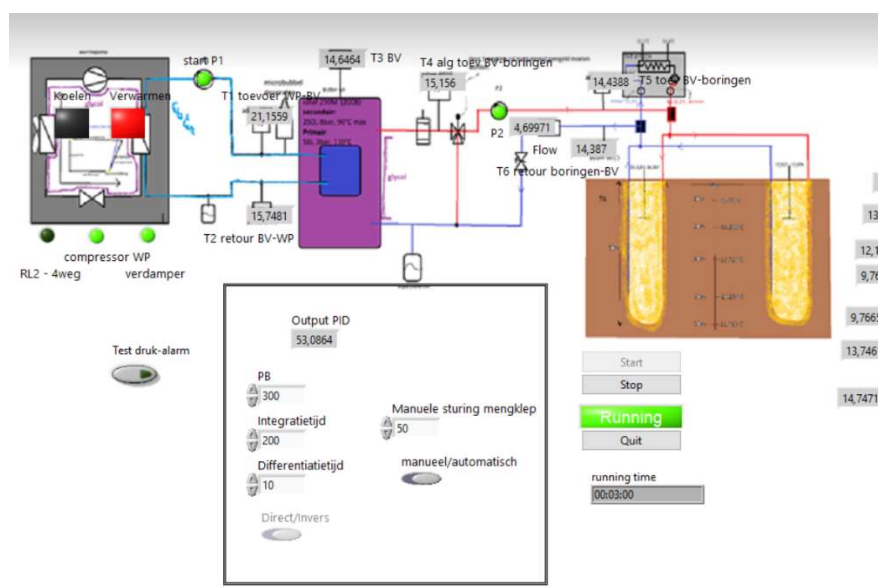
voorzien waarmee het debiet geregeld kan worden. Hier is opnieuw een evosta2 voorzien voor de circulatie van het water. Ook is er opnieuw een expansievat met ontluchter voorzien in deze cyclus. Deze cyclus is opgebouwd uit een alplex DN 26 met de benodigde koppelstukken.

## 4.2 Labview

De programmatie van de warmtepomp-opstelling gebeurt in Labview en vertrekt vanuit een uitgebreide functiebeschrijving: bij opstart moet er een schema (txt-bestand) ingeladen worden met setpunten voor de watertemperatuur naar de bron en met de duur waaraan ieder setpunt achtereenvolgens aangehouden moet worden. Afhankelijk van het ingeladen schema voor de temperaturen naar de bron wordt er door het programma een bijhorende buffervattemperatuur ingesteld:

- setpunt bron +5°C bij verwarmen
- altijd 2°C op buffervat bij koelen

Er wordt een hysteresis voorzien van 1°C rond beide setpunten voor het aan- en uitspringen van de warmtepomp. Of de warmtepomp in stand 'koelen' of 'verwarmen' staat is afhankelijk van een vast setpunt dat ingesteld kan worden door de gebruiker bij opstart (10°C naar afgifte). Signaal 'koelen' sluit de activatie van signaal 'verwarmen' uit en omgekeerd. Wanneer de warmtepomp wordt aangestuurd (Set), wordt er dan ook eerst gekeken naar het signaal 'koelen' of 'verwarmen' en aan de hand hiervan wordt de interne 4-wegkraan in de warmtepomp in de juiste stand gezet ('Koelen' = signaal 1 naar relais 4-wegkraan, 'verwarmen' = signaal 0). Samen met deze klepsturing zal de primaire pomp van warmtepomp naar het buffervat geactiveerd worden om deze laatste op te laden tot de gewenste temperatuur. 60 seconden na dit initiële signaal zal de compressor van de warmtepomp aangaan. Vervolgens zal na 30 seconden de ventilator van de verdamer van de warmtepomp aangaan. De warmtepomp is nu aan het koelen of verwarmen naar het buffervat. Bij reset (buffervattemperatuur +/- hysteresis bereikt) of bij hoge- of lage druk alarm worden compressor en verdamer gedeactiveerd, alsook de primaire pomp.

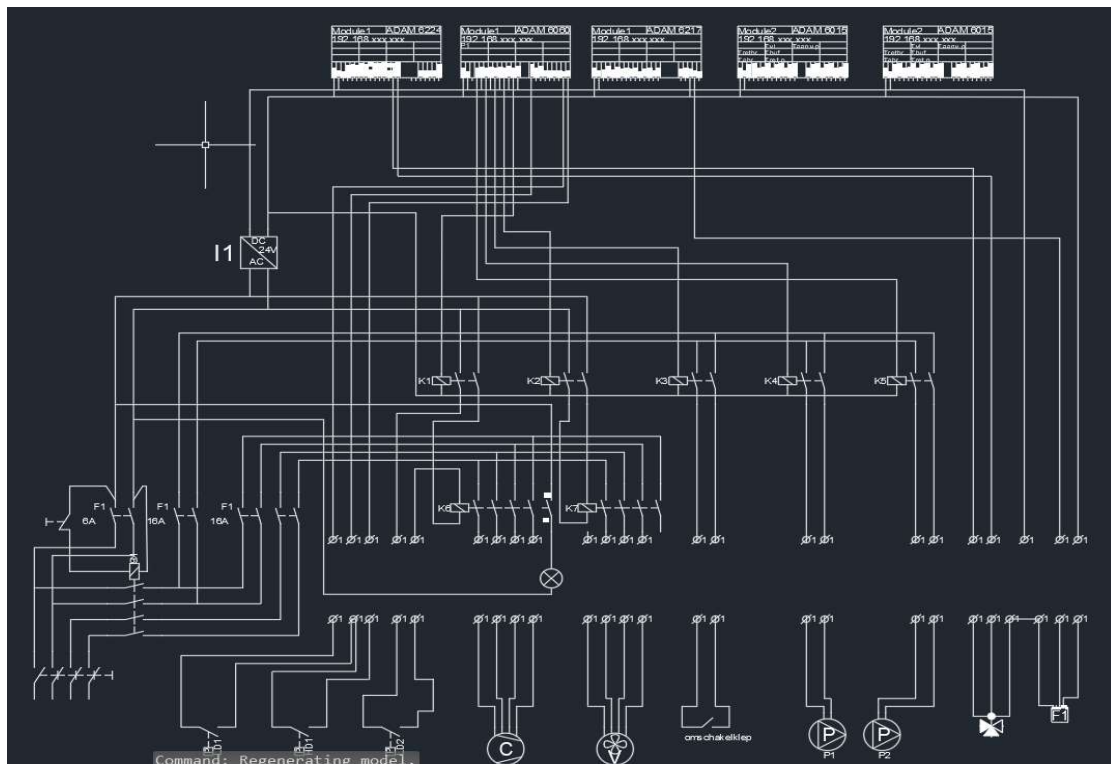


Figuur 39. Visueel meten binnen Labview

Wanneer het programma opgestart wordt, begint de secundaire pomp van het buffervat naar de grondboringen te draaien en zal een driewegkraan via een PID-regeling de temperatuur naar de boringen regelen naar het gewenste setpunt (zie figuur 36).

Deze functiebeschrijving werd omgezet naar een code in een gestandaardiseerde 'state machine' structuur: de DAQ-loop leest de signalen van de ADAM-modules in (AI en DI) en schrijft commando's weg (AO en DO). De verwerking van deze binnenkomende signalen tot uitgaande signalen gebeurt in de process-loop, die parallel loopt met de DAQ-loop. Onder andere de stapsgewijze aansturing van de signalen voor de warmtepomp gebeurt hier: het ingelezen testschema wordt omgezet naar een relevante buffervat-temperatuur. Vervolgens zal de set-reset-regeling bepalen of de warmtepomp aan moet en of deze moet koelen of verwarmen. Ook de PID-regeling van de driewegkraan tussen buffervat en boringen wordt hier verwerkt (maar pas op: buitengestuurd via de DAQ-loop). In de LOG-loop worden de gewenste meetwaarden weggeschreven in een tekst-bestand dat kan worden ingeladen in Excel als csv. De GUI is een 'domme' loop die meetwaarden meegeeft en waarmee de gebruiker contact kan maken met de andere loops (start, stop, quit, schema inladen, ...). Het is de verbinding van het programma naar de buitenwereld.

### 4.3 Werking elektrisch schema




Figuur 40. Elektrisch schema.

Voor de werking van de installatie zijn er adam modules gebruikt.

De ADAM-6000 serie van Advantech zijn low-cost remote I/O modules op basis van ethernet communicatie. Deze modules kunnen peer-to-peer verbinding maken en zijn in staat om Graphic Condition Logic uit te voeren. Hierdoor kunnen ze als stand-alone gebruikt worden voor het meten en besturen.

Voor de uitvoering van dit project zijn er 4 verschillende type adammodules gebruikt. In onderstaande tabel (figuur 40) geeft de technische specificaties van de verschillende gebruikte adam modules weer.

<p>2x Adam-6015</p> <h3>Specifications</h3> <p><b>Analog Input</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Channels</b> 7 (differential)</li> <li>▪ <b>Input Impedance</b> &gt; 10 M<math>\Omega</math></li> <li>▪ <b>Input Connections</b> 2 or 3 wire</li> <li>▪ <b>Input Type</b> Pt, Balco and Ni RTD</li> <li>▪ <b>RTD Types and Temperature Ranges</b> <table border="0"> <tr> <td>Pt 100</td> <td>-50°C</td> <td>–</td> <td>150°C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0°C</td> <td>–</td> <td>100°C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0°C</td> <td>–</td> <td>200°C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0°C</td> <td>–</td> <td>400°C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>-200°C</td> <td>–</td> <td>200°C</td> </tr> <tr> <td>Pt 1000</td> <td>-40°C</td> <td>–</td> <td>160°C</td> </tr> </table> <p>Supports both IEC 60751 ITS90 (0.0385 W/W/°C) and JIS C 1604 (0.0392 W/W/°C)</p> <table border="0"> <tr> <td>Balco 500</td> <td>-30°C</td> <td>–</td> <td>120°C</td> </tr> <tr> <td>Ni 518</td> <td>-80°C</td> <td>–</td> <td>100°C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0°C</td> <td>–</td> <td>100°C</td> </tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Accuracy</b> <math>\pm 0.1\%</math> or better</li> <li>▪ <b>High speed mode</b> <math>\pm 0.5\%</math> or better</li> <li>▪ <b>Span Drift</b> <math>\pm 25</math> ppm/°C</li> <li>▪ <b>Zero Drift</b> <math>\pm 6</math> <math>\mu</math>V/°C</li> <li>▪ <b>Resolution</b> 16-bit</li> <li>▪ <b>Sampling Rate</b> 10 sample/ second (total) High speed mode: 1K sample/second (total) CMR @ 50/60 HZ 90dB NMR @ 50/60 HZ 60dB * high speed mode does not support CMR/ NMR</li> <li>▪ <b>Wire Burnout Detection</b></li> </ul> <h3>Ordering Information</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>ADAM-6015</b> 7-ch Isolated RTD Input Modbus TCP Module</li> </ul> </li></ul>	Pt 100	-50°C	–	150°C		0°C	–	100°C		0°C	–	200°C		0°C	–	400°C		-200°C	–	200°C	Pt 1000	-40°C	–	160°C	Balco 500	-30°C	–	120°C	Ni 518	-80°C	–	100°C		0°C	–	100°C	<p>Adam 6224</p> <p>ADAM-6224</p>  <h3>Specifications</h3> <p><b>Analog Output</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Channels</b> 4</li> <li>▪ <b>Output Impedance</b> 2.1 <math>\Omega</math></li> <li>▪ <b>Output Settling Time</b> 20 <math>\mu</math>s</li> <li>▪ <b>Driving Load</b> Voltage: 2k<math>\Omega</math> Current: 500 <math>\Omega</math></li> <li>▪ <b>Programmable Output Slope</b> 0.125 – 128 mA/sec</li> <li>▪ <b>Output Type</b> V, mA</li> <li>▪ <b>Output Range</b> 0 – 5 V, 0 – 10 V, <math>\pm 5</math> V, <math>\pm 10</math> V, 0 – 20 mA, 4 – 20 mA</li> <li>▪ <b>Accuracy</b> <math>\pm 0.3\%</math> of FSR (Voltage) at 25°C <math>\pm 0.5\%</math> of FSR (Current) at 25°C</li> <li>▪ <b>Resolution</b> 12-bit</li> <li>▪ <b>Current Load Resistor</b> 0 – 500 <math>\Omega</math></li> <li>▪ <b>Drift</b> <math>\pm 50</math> ppm/°C</li> </ul> <p><b>Digital Input</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Channels</b> 4 (Dry Contact only)</li> <li>▪ <b>Dry Contact</b> Logic 0: Open Logic 1: Closed to DGND</li> <li>▪ <b>Support DI Filter</b></li> <li>▪ <b>Support Inverted DI Status</b></li> <li>▪ <b>Support Trigger to Startup or Safety Value</b></li> </ul> <h3>Ordering Information</h3> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>ADAM-6224</b> 4-ch Isolated Analog Output Modbus TCP Module</li> </ul>
Pt 100	-50°C	–	150°C																																		
	0°C	–	100°C																																		
	0°C	–	200°C																																		
	0°C	–	400°C																																		
	-200°C	–	200°C																																		
Pt 1000	-40°C	–	160°C																																		
Balco 500	-30°C	–	120°C																																		
Ni 518	-80°C	–	100°C																																		
	0°C	–	100°C																																		

<p>Adam 6060</p> <p style="text-align: right;">FCC CE RoHS REACH</p> <h3>Specifications</h3> <p><b>General</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>LAN: 10/100Base-T(X)</li> <li>Power Consumption: 2 W @ 24 V<sub>DC</sub> (ADAM-6060), 2.5 W @ 24 V<sub>DC</sub> (ADAM-6066)</li> <li>Connectors: 1 x RJ-45 (LAN), Plug-in screw terminal block (I/O and power)</li> <li>Watchdog Timer: System (1.6 second) and Communication (programmable)</li> <li>Power Input: 10 - 30 V<sub>DC</sub></li> <li>Supports Peer-to-Peer</li> <li>Supports GCL</li> <li>Supports Modbus/TCP, TCP/IP, UDP, DHCP, SNMP, HTTP and MQTT Protocol</li> </ul> <p><b>Digital Input</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Channels: 6</li> <li>Dry Contact: Logic level 0: close to GND, Logic level 1: open</li> <li>Wet Contact: Logic level 0: 3 V<sub>DC</sub>, Logic level 1: 10 - 30 V<sub>DC</sub></li> <li>Supports 3 kHz Counter Input (32-bit + 1-bit overflow)</li> <li>Keep/Discard Counter Value when Power-off</li> <li>Supports 3 kHz Frequency Input</li> <li>Supports Inverted DI Status</li> </ul> <p><b>Relay Output (Form A)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Channels: 6</li> <li>Contact Rating (Resistive): ADAM-6060: 120 V<sub>AC</sub> @ 0.5 A, 30 V<sub>AC</sub> @ 1 A; ADAM-6066: 250 V<sub>AC</sub> @ 5 A, 30 V<sub>AC</sub> @ 3 A</li> <li>Breakdown Voltage: 500 V<sub>AC</sub> (50/60 Hz)</li> <li>Relay On Time: 7 ms</li> <li>Relay Off Time: 3 ms</li> <li>Total Switching Time: 10 ms</li> <li>Insulation Resistance: 1 GΩ min. at 500 V<sub>DC</sub></li> <li>Maximum Switching Rate (at rated load): 20 operations/minute</li> <li>Supports Pulse Output</li> </ul> <p><b>Protection</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Isolation Voltage: 2,000 V<sub>DC</sub></li> <li>Power Reversal Protection</li> </ul> <p><b>Environment</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Operating Temperature: -10 - 70°C (14 - 158°F), -40 - 70°C (-40 - 158°F) for D version</li> <li>Storage Temperature: -20 - 80°C (-4 - 176°F), -40 - 80°C (-40 - 176°F) for D version</li> <li>Operating Humidity: 20 - 95% RH (non-condensing)</li> <li>Storage Humidity: 0 - 95% RH (non-condensing)</li> </ul> <p><b>Ordering Information</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ADAM-6060: 6-ch DI and 6-ch Relay Modbus TCP Module</li> <li>ADAM-6066: 6-ch DI and 6-ch Power Relay Modbus TCP Module</li> </ul>	<p>Adam 6217</p> <p style="text-align: right;">ADAM-6217</p> <p style="text-align: right;">UL CE FCC RoHS</p> <h3>Specifications</h3> <p><b>Analog Input</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Channels: 8 (differential)</li> <li>Input Impedance: &gt; 10 MW (voltage), 120 W (current)</li> <li>Input Type: mV, V, mA</li> <li>Input Range: ±150 mV, ±500 mV, ±1 V, ±5 V, ±10 V, 0 - 20 mA, 4 - 20 mA, ±20 mA</li> <li>Span Drift: ±30 ppm/°C</li> <li>Zero Drift: ±6 µV/°C</li> <li>Resolution: 16-bit</li> <li>Accuracy: ±0.1% of FSR (Voltage) at 25°C, ±0.2% of FSR (Current) at 25°C</li> <li>Sampling Rate: 10 sample/second (total)</li> <li>CMR @ 50/60 Hz: 92 dB</li> <li>NMR @ 50/60 Hz: 67 dB</li> <li>Common Mode: 200 V<sub>DC</sub></li> </ul> <p><b>Ordering Information</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ADAM-6217: 8-ch Isolated Analog Input Modbus TCP Module</li> </ul>
--	---

Figuur 41. (adventech, adventech datasheet, 2022)



Figuur 42. Adam modules peer-to-Peer

De verschillende adam modules kunnen via een ethernetkabel doorverbonden worden zodat ze allemaal met elkaar kunnen communiceren en geconnecteerd zijn. In het geval van sommige adam modules is maar 1 poort voorzien waardoor doorlussen van de ethernetkabel niet mogelijk is, hiervoor wordt een switch gebruikt die ervoor zorgt dat er meerdere poorten verbonden zijn met allemaal dezelfde poort zodat de signalen gestuurd en ontvangen kunnen worden.

De adam modules worden aan de hand van een Labview programma aangestuurd en zullen gemeten en gelogd worden waar nodig. De adam modules zijn zeer eenvoudig aan te sluiten en hebben veel capaciteit voor het gebruik van dit project.



Er is een voeding voorzien van 3X230v (400V) Dit omdat we 3 keer meer vermogen kunnen leveren. De hoofdvoeding kan bediend worden met een hoofdschakelaar op de buitenkant van de kast. Vervolgens zijn er 3 Schneider automaten voorzien

- **16A 2 polig:** deze heeft een kortsluitvermogen van 3KA. Dit betekent dat de automaat bij kortsluiting niet stuk gaat, zolang de 3000A niet wordt overschreden. Dit is het standaard kortsluitingsvermogen voor een automaat. Deze automaat heeft een nominale stroom van 16A. Wanneer de installatie meer dan 20A wilt verbruiken, schakelt de automaat uit om de apparatuur te beschermen. De uitschakelkarakteristiek van de Schneider automaat is een C-Curve en kan gebruikt worden met een minimale draadselectie van 1,5mm<sup>2</sup>.
- **6A 2polig:** Deze heeft een Kortsluitstroom van 3KA. Deze automaat heeft een kortsluitstroom van 6A. Wanneer de installatie meer van 10A wilt verbruiken, schakelt de automaat uit om de apparatuur te beschermen. De uitschakelkarakteristiek van de automaat is een C-Curve en kan gebruikt worden met een minimale draadselectie van 1,5mm<sup>2</sup>
- **16A 4polig:** Hier is 3 fase op aangesloten. Dit betekent dat er een toegekende spanning van 400V aanwezig zal zijn. Deze automaat heeft een nominale stroom van 16A. Wanneer de installatie meer dan 20A wilt verbruiken, schakelt de automaat uit om de apparatuur te beschermen. Deze automaat wordt gebruikt voor de voeding van de compressor en de ventilator.

De adam modules werken op 24V gelijkspanning, hiervoor is een omvormer voorzien van 230V AC naar 24v DC.

De eerste adam module 6015 wordt gebruikt voor de temperatuurmetingen van de bodem op de dieptes (10m, 20m, 30m, 40m, 50m, Linker bron en rechter bron) deze zullen ervoor zorgen dat we een zicht krijgen op de verschillende temperaturen in de bodem wanneer er een meting actief zal zijn.

De tweede **adam module 6015** is voorzien voor de verschillende temperaturen binnen het systeem te meten. T1,T2,T3,T4,T5 en T6 zullen gemeten kunnen worden binnen het systeem.

Door middel van de **adam module 6060** die 6 relay outputs bevat kan een bepaalde uitgang hoog gestuurd worden door gebruik te maken van labview. Wanneer dit gebeurd zal er een 24V DC signaal gestuurd worden naar een impulsschakelaar, deze zal vervolgens de kring openen van 230V voor de voeding van het benodigde component. Het voordeel van deze adam methode is dat we tijds gestuurd de signalen kunnen verzenden. De onderdelen die op deze wijze aangestuurd worden zijn de compressor, de ventilator, de 4wegklep, pomp1 en pomp 2.

De Debietmeter en de 3wegklep worden gevoed met 24VDC. De debietmeter is aangesloten op de **adam module 6217**, deze is voorzien van 8 analoge inputs waardoor de bits uitgelezen kunnen worden en dus het debiet kan gemeten worden.

De 3 wegklep is voorzien van de **adam module 6224**, deze is aangesloten op een Analoge output. Hiermee kan dus een percentage van 0 tot 100% naar de mengklep gestuurd worden.

Wanneer de compressor actief is en K6 dus geschakeld is zal er een groen lampje branden op de buitenkant van de kast.

Ook is er een extra beveiliging voorzien in geval van nood, de noodstop zal ervoor zorgen dat alles onmiddellijk stop wordt gelegd en er geen gevaar meer kan optreden.

## 4.4 Analyse TRT Thomas More

Voor de start van de metingen is er een geïnjecteerd vermogen van 1KW toegepast. Deze meting is ingesteld geweest over een periode van 72 uur. Tijdens het downloaden van de resultaten na 72 uur is er vastgesteld dat er een foutmelding weergegeven wordt. Vervolgens is de test opnieuw opgestart en ingevolge de voorgaande foutmelding nauw opgevolgd. Na 6 uur wordt er reeds bemerkt dat de metingen constant blijven. Een disfunctie in de installatie wordt opgespoord. De oorzaak is een defecte switch. Deze wordt vervangen en een nieuwe meting wordt opgestart, deze wordt succesvol uitgevoerd over de volledige tijdsspanne.

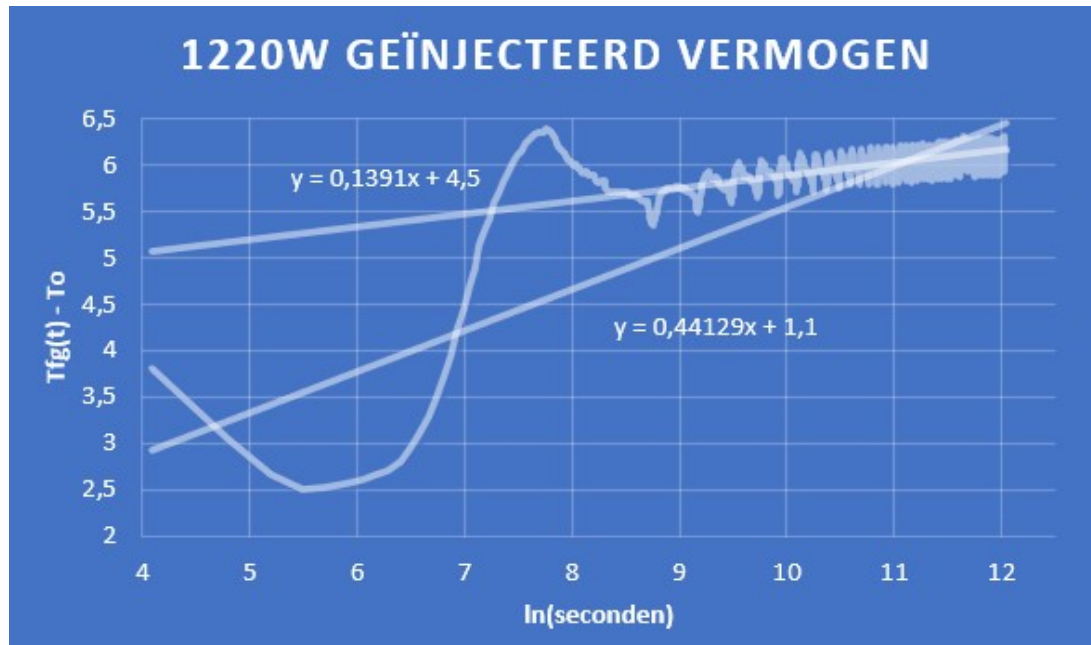
### 4.4.1 Analyse geïnjecteerd vermogen 1220 watt, streefwaarde toevoer 20°C

Bij de eerste meting wordt een vermogen ingesteld van 1000W over een tijdsperiode van 72 uur. Hier is een debiet aanwezig van 4,642 l/min. Er wordt een aanvoertemperatuur van 20°C constant aangehouden om de gemiddelde vloeistoftemperatuur in de aardsonde op te volgen.



In onderstaande grafiek is de vergelijking opgesteld van het verschil van de gemiddelde vloeistoftemperatuur en de ongestoorde bodemtemperatuur in functie van een logaritmische tijd.

Dit geeft de vergelijking weer  $y=0,1391x + 4,5$ , wanneer er gekeken wordt naar de metingen van de bedrijven IFTech en WTCB is duidelijk te zien dat deze stijging van de k factor veel te laag is en verhoogd zal moeten worden. Om een zelfde warmtegeleidbaarheid te bekomen zal deze een vergelijking moeten bevatten van  $0,44129x + 1,1$ .



$$\lambda = \frac{1220W}{4 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 0,1391} = 6,979 (W/(m/k))$$

Wanneer we een warmtegeleidbaarheid van 2,2 willen bekomen zal er gekeken moeten worden hoeveel de k factor hier effectief zal moeten zijn. Deze dient eerst berekend te worden.

$$k = \frac{1220W}{4 \cdot \pi \cdot 100m \cdot 2,2W / \left(\frac{M}{K}\right)} = 0,44129$$

#### 4.4.2 Analyse geïnjecteerd vermogen 1800 watt, streefwaarde toevoer 20°C

Met deze meting wordt een vermogen ingesteld van 1800 Watt over een tijdsperiode van 72 uur. Hier is een debiet aanwezig van 8,9 l/min. Er wordt een aanvoertemperatuur van 20°C constant aangehouden om de gemiddelde vloeistoftemperatuur in de aardsonde op te volgen.

In onderstaande grafiek is de vergelijking opgesteld van het verschil van de gemiddelde vloeistoftemperatuur en de ongestoorde bodemtemperatuur in functie van een logaritmische tijd. Dit geeft de vergelijking weer  $y=0,1304x + 4,5$ , wanneer er gekeken wordt naar de metingen van de

bedrijven IFTech en WTCB is duidelijk te zien dat deze stijging van de k factor veel te laag is en verhoogd zal moeten worden. Om een zelfde warmtegeleidbaarheid te bekomen zal deze een vergelijking moeten bevatten van  $0,6116x - 1,1$ .



$$\lambda = \frac{180}{4 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 0,1304} = 10,9846 \text{ (W/(m/k))}$$

Wanneer we een warmtegeleidbaarheid van 2,2 willen bekomen zal er gekeken moeten worden hoeveel de k factor hier effectief zal moeten zijn. Deze dient eerst berekend te worden.

$$k = \frac{1800 \text{ W}}{4 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 2,2 \text{ W/(} \frac{\text{M}}{\text{K}} \text{)}} = 0,651 \quad \text{"afgerond op } 2,2 \text{ (W/(m/k))"}$$

#### 4.4.3 Conclusie

Uit de 2 metingen kan er vastgesteld worden dat op deze manier de warmtegeleidbaarheid niet correct bepaald kan worden en er dus een aanpassing aan de installatie dient te gebeuren.

Wanneer we de warmtegeleidbaarheid correct willen meten zullen we een constante delta T moeten aanhouden.

De retourtemperatuur dient gemeten te worden ( $T_6$ ), bij deze gemeten waarde dient de constante delta T, 3 Kelvin, opgeteld te worden indien verwarmen van toepassing is. Wanneer er gekoeld wordt zal de constante delta T, 3 Kelvin, afgetrokken dient te worden. Op deze manier kan de bodem geleidelijk opgewarmd of afgekoeld worden waardoor de gemiddelde temperatuur door de aardsonde zal stijgen of dalen in functie van de tijd. Op deze manier kan de k factor correct berekend worden in functie van een logaritmische tijd waardoor

de warmtegeleidbaarheid bepaald kan worden volgens de correcte wijze van een thermische respons test.

Er dient een aanpassing te gebeuren in de installatie, meer specifiek in labview. Het programma dient bijgestuurd te worden zodoende de constante delta T zich aanpast aan de retourtemperatuur.

Op 05 juni 2022 wordt een nieuwe meting gestart voor een vergelijking van de curve op te stellen. Er zal eerst een geïnjecteerd vermogen van 1KW door de aardsonde gestuurd worden. De ongestoorde bodemtemperatuur bevat ongeveer een gemiddelde van 12°C over de gehele warmtewisselaar, als warmte is er een temperatuur van 20°C ingestuurd wat dus betekend dat er een temperatuurverschil van 8°C aanwezig is. Ditzelfde doen we nu ook met koelen (12°C - 8), dan hebben we een toevoertemperatuur van 4°C. Met deze meting wil vergeleken worden of de curve van koelen hetzelfde zal verlopen als deze van verwarmen met 1KW. Deze vergelijking zal deel uitmaken van de mondelinge verdediging.

## BESLUIT

De thermische respons test is opgebouwd en verschillende metingen zijn uitgevoerd. Er zijn twee thermische respons testen uitgevoerd op de campus en er werd gestreefd om een installatie te bouwen die dezelfde meetresultaten kan weergeven als de vergelijkingstesten van de bedrijven IFTech en WTCB.

In eerste instantie werden de metingen niet volledig uitgevoerd door een foutmelding in de installatie, na bijsturing zijn er 2 volledige thermische respons test uitgevoerd door de installatie.

De installatie maakt het niet mogelijk om de warmtegeleidbaarheid correct te kunnen berekenen uit de metingen. Hieruit kan besluit worden dat er een aanpassing dient te gebeuren binnen het systeem. Er dient een aanpassing te gebeuren in de installatie, meer specifiek in labview. Het programma dient bijgestuurd te worden zodoende de constante delta T zich aanpast aan de retourtemperatuur.

De retourtemperatuur dient gemeten te worden ( $T_6$ ), bij deze gemeten waarde dient de constante delta T, 3 Kelvin, opgeteld te worden indien verwarmen van toepassing is. Wanneer er gekoeld wordt zal de constante delta T, 3 Kelvin, afgetrokken dient te worden. Op deze manier kan de bodem geleidelijk opgewarmd of afgekoeld worden waardoor de gemiddelde temperatuur door de aardsonde zal stijgen of dalen in functie van de tijd. Op deze manier kan de k factor correct berekend worden in functie van een logaritmische tijd waardoor de warmtegeleidbaarheid bepaald kan worden volgens de correcte wijze van een thermische respons test.

Na deze aanpassingen van de installatie kan er gemeten worden en kan koeling in de bodem gestuurd worden om de bodemeigenschappen te bepalen. Het oorspronkelijke doel van de installatie werd niet bereikt maar na de aanpassing kan het project worden verder gezet.

## LITERATUURLIJST

- adventech. (2022, mei). *adventech datasheet*. Opgehaald van adventech:  
[https://advdownload.advantech.com/productfile/PIS/ADAM-6015/file/ADAM-6015\\_6017\\_6018\\_DS\(050322\)20220503112827.pdf](https://advdownload.advantech.com/productfile/PIS/ADAM-6015/file/ADAM-6015_6017_6018_DS(050322)20220503112827.pdf)
- adventech. (2022). *adventech datasheet*. Opgehaald van advenetch:  
[https://advdownload.advantech.com/productfile/PIS/ADAM-6015/file/ADAM-6015\\_6017\\_6018\\_DS\(050322\)20220503112827.pdf](https://advdownload.advantech.com/productfile/PIS/ADAM-6015/file/ADAM-6015_6017_6018_DS(050322)20220503112827.pdf)
- Chemie, T. (sd). *Tyforop Chemie Hamburg*. Opgehaald van Tyforop Chemie Hamburg: <https://tyfo.de/>
- flanders), J. G. (2009). *Studie best beschikbare boortechnieken*. BIM - IF Flanders. Opgehaald van kce thomasmore: <https://kce.thomasmore.be/>
- geotherm, s. (2017). *smart geotherm - wtcb*. Opgehaald van <https://www.smartgeotherm.be/afwerking-van-boorgaten-voor-verticale-warmtewisselaars-voor-ondiepe-geothermie/>:  
<https://www.smartgeotherm.be/afwerking-van-boorgaten-voor-verticale-warmtewisselaars-voor-ondiepe-geothermie/>
- Group, S. (2017). *smetgroup.be*. Opgehaald van smet group techniek verticale boringen: <https://smetgroup.be/technieken/verticale-boringen/>
- Huchem.nl*. (1984). Opgehaald van Huchem:  
<https://www.huchem.nl/blogs/nl/ethyleenglycol-of-propyleenglycol-welke-je-moet-ki/>
- L.Francois, G. L. (8/05/2013). *Bepalen thermische katakteristieken van de ondergrond*. Smart Geotherm.
- labbox*. (sd). Opgehaald van labbox: <https://labbox.eu/product/pycnometer-gay-lussac-for-liquids-with-ptfe-stopper/>
- maatschappij, v. m. (sd). *VMM*. Opgehaald van VMM:  
<https://slideplayer.nl/slide/2067953/>
- More, K. c. (sd). <https://kce.thomasmore.be/>. Opgehaald van <https://kce.thomasmore.be/>: <https://kce.thomasmore.be/>
- Resources, G. (sd). *GEO Resources*. Opgehaald van <https://www.nrgeo.be/ondiepe-geothermie/>:  
<https://www.nrgeo.be/ondiepe-geothermie/>
- wikipedia*. (sd). Opgehaald van wikipedia:  
<https://nl.wikipedia.org/wiki/Hydrometer>

## **BIJLAGEN**

Bijlage 01 : CAD Schema (AUTOCAD)

Bijlage 02 : Meetwaardes TRT IFTech/WTCB (Excel)

Bijlage 03 : Analyse meetwaardes TRT IFTech/WTCB (Excel)

Bijlage 04 : Meetwaardes installatie Thomas More – 1000 Watt (Excel)

Bijlage 05 : Meetwaardes installatie Thomas More – 1800 Watt (Excel)