

2012

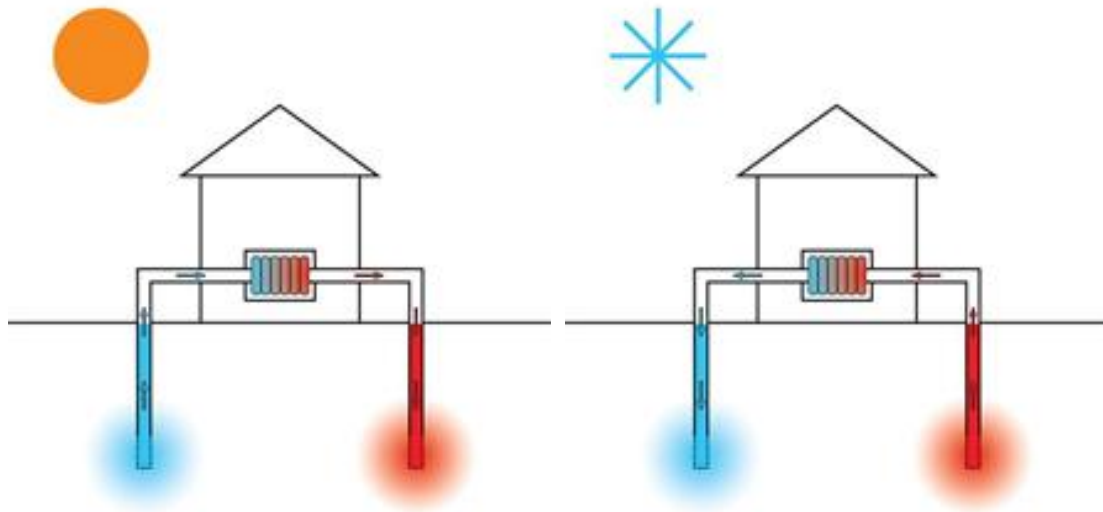
Jaarklas
2012

Onderzoeksbegeleider
UU
Ruud Schotting

Begeleider JCU
Vincent van Dijk

Datum
9 januari 2012

Namen
Christiaan de Sain
Jordy Sucec
Patrick Witvliet



[BIOWASMACHINE]

Science or fiction?

Inhoudsopgave

1.	Inleiding.....	2
2.	Theorie	3
2.1	Warmte-koude opslag systeem.....	3
2.2	Hoge temperatuur (HT) en geothermie	5
2.3	De biowasmachine	5
2.4	Grondwaterstroming.....	6
2.5	Natuurkundige processen	7
2.5.1	Advectie.....	7
2.5.2	Conductie	8
2.5.3	Diffusie.....	8
2.5.4	Dispersie	9
2.6	Strijkijzermodel.....	10
3.	Het onderzoek	11
3.1	Materialen	11
3.2	Methode	12
3.3	Resultaten.....	13
3.3.1	Meting 4	13
3.3.2	Meting 5	13
3.3.3	Meting 6	14
4.	Discussie	20
5.	Conclusie	20
6.	Eindbeschouwing en suggesties voor verder onderzoek	21
7.	Bronnenlijst	22
8.	Bijlagen	23
8.1	Individueel logboek Christiaan	23
8.2	Individueel logboek Jordy.....	25
8.3	Individueel logboek Patrick	27

1. Inleiding

Onze thesis gaat over de invloed van de warmtegeleiding van zand op de werking van de biowasmachine. De biowasmachine is een nieuw idee waar momenteel nog veel onderzoek naar wordt gedaan. Het idee is hetzelfde als bij warmte- en koude opslag systemen, namelijk dat water van een warme bron naar een koude bron en vice versa wordt gepompt om zo een gebouw te verwarmen dan wel af te koelen. Een biowasmachine is precies hetzelfde, alleen zou het gunstige effect kunnen zijn dat vervuilde grond sneller gereinigd wordt.

Vervuild grondwater mag volgens de wet eigenlijk niet verplaatst worden, maar misschien heeft het toch voordelige effecten als het op kleine schaal gebeurt. Vervuilingen zouden eventueel langzaam kunnen verdwijnen doordat het grondwater van de ene bron vermengd wordt met het grondwater van de andere bron. Waarom dit zo is, leggen we later uit. Als het water uit de ene bron en het water uit de andere bron met elkaar vermengen, zou het vervuilingsprobleem opgelost kunnen worden.

Mocht dit werken dan wordt er waarschijnlijk een uitzondering gemaakt op de regel dat vervuild grondwater niet vermengd mag worden met schoon grondwater. Wij onderzoeken in hoeverre de warmtegeleidingscoëfficiënt van zand betrokken is bij de reducering van de vervuiling.

Onze onderzoeksvraag is dan ook: Wat is de invloed van de warmtegeleiding van zand op de biowasmachine?

Op deze vraag proberen wij een algemeen antwoord te vinden door middel van een proef waarbij we de warmtegeleidingscoëfficiënt van zand berekenen en veel literatuuronderzoek over de biowasmachine en de warmte-koude opslag systemen doen.

Omdat het jaren duurt voordat er resultaten bekend zijn over de reducering van de vervuiling in de grond met betrekking tot de biowasmachine, hebben wij hier zelf geen experiment mee kunnen doen. Daarom hebben wij ook literatuuronderzoek gedaan en de biowasmachine in verband proberen te brengen met reeds uitgevoerde experimenten door andere onderzoekers.

2. Theorie

2.1 Warmte-koude opslag systeem

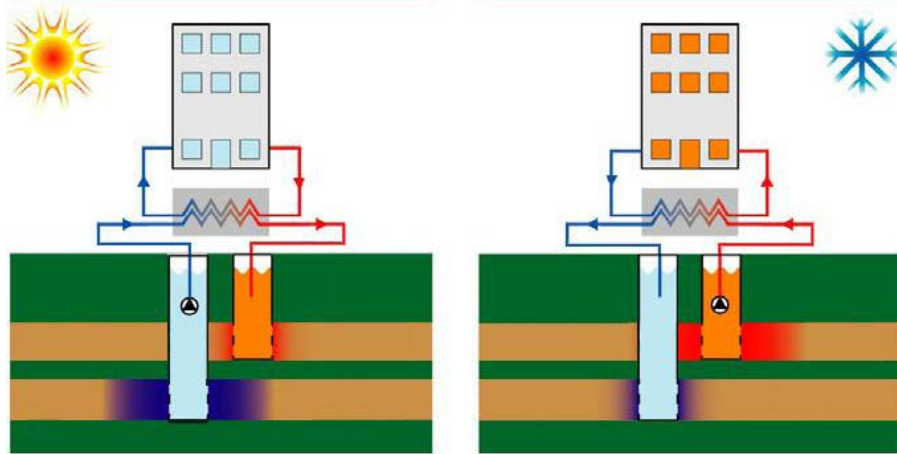
Een warmte-koude opslag systeem wordt in Nederland gebruikt om het energieverbruik te drukken in vooral grote gebouwen, zoals universiteiten, kassen en overheidsgebouwen. In zo'n systeem zijn er twee waterbronnen: een warme en een koude bron. In de zomer wordt vanuit de koude bron het water opgepompt om zo het huis te koelen, terwijl in de winter de stroomrichting precies omgekeerd is, zodat het water uit de warme bron gebruikt wordt om het huis te verwarmen.

Een dergelijk systeem is handig om de energiekosten te drukken, omdat er in de winter minder energie nodig is om het huis te verwarmen, omdat er al redelijk warm water wordt gebruikt, waardoor de energiekosten 60% lager zijn. In de zomer is een heel groot percentage (ongeveer 95%) van de normale energiekosten niet noodzakelijk.

Er zijn twee soorten warmte-koude opslag systemen, namelijk een open en een gesloten systeem. Bij een open systeem staan de twee waterbronnen niet in direct contact met elkaar en wordt er gebruik gemaakt van grondwater, wat door middel van een aantal filters wordt gefilterd.

De grootte van de twee bronnen in de zomer en winter is niet gelijk aan elkaar. In het begin van de zomer is de bron met koud water groter, omdat het koude water in de winter is verzameld. Gedurende de zomer neemt de omvang van de koude bron af, omdat daaruit water omhoog gepompt wordt. De bron van het warme water neemt dan in omvang toe. Dit komt doordat het koude water wat opgepompt wordt, in temperatuur stijgt, doordat het warmte opneemt vanaf buiten. In de winter draait dit proces precies om: In het begin van de winter heeft de warme bron een grotere omvang, die vervolgens afneemt doordat het zijn warmte afgeeft.

Zo'n open systeem kan ook weer onderverdeeld worden in een doubletsysteem (zie titelblad) en een monobron-systeem (zie figuur 1), ook al komt het principe op hetzelfde neer. Het verschil tussen een doubletsysteem en een monobron-systeem is dat de twee warmte- en koudebronnen bij een doubletsysteem in hetzelfde watervoerende pakket zitten, terwijl bij een monobron-systeem de warmtebron in een ander watervoerend pakket zit dan de koudebron. Het voordeel van een monobron-systeem is dat de twee bronnen dicht bij elkaar kunnen worden geplaatst, waardoor het op kleinere ruimtes praktischer is. Dit is echter alleen toepasbaar als de twee watervoerende pakketten van elkaar gescheiden zijn door middel van een slecht doorlaatbare laag, om zo vermenging tussen de twee lagen te voorkomen.



Figuur 1: Een monobron-systeem – bron: IF Technology

Omdat er in Nederland veelal geen slecht doorlaatbare laag tussen twee watervoerende pakketten zit, wordt er meer gebruik gemaakt van een doubletsysteem, waardoor er noodgedwongen veel ruimte nodig is, omdat de twee bronnen ongeveer 100 meter uit elkaar moeten staan. Deze methode is dan ook gemakkelijker toepasbaar bij grote gebouwen vanwege de aanwezigheid van een groot stuk grond waar een dergelijk systeem geïnstalleerd kan worden. (koen zuurbier)

Bij een gesloten systeem staan de twee bronnen wel in direct contact met elkaar, maar wordt er niet gebruik gemaakt van grondwater, maar van water met een antivriesmiddel. Er wordt hier dan ook geen water opgepompt, maar water rondgepompt. In de winter onttrekt dit water warmte vanuit de bodem en geeft dit weer af aan een warmtewisselaar, die deze warmte gebruikt voor het verwarmen. In de zomer onttrekt dit water juist koude vanuit de bodem, wat ook weer aan de warmtewisselaar wordt afgegeven, in dit geval voor het koelen van een gebouw. Deze methode is kleinschaliger dan een gesloten systeem en wordt dus vooral in de woningbouw gebruikt.

In Nederland wordt vooral het open systeem gebruikt, terwijl in de rest van Europa juist het gesloten systeem wordt gebruikt. Dit komt doordat in Nederland heel veel watervoerende pakketten in de bodem zitten, waardoor een open systeem gunstiger is, omdat het rendement hierbij hoger is. De rest van Europa heeft niet zo'n gunstige bodem als Nederland, waardoor er ook niet gebruik kan worden gemaakt van grondwater. Hierdoor moet men in de rest van Europa noodzakelijkerwijs gebruik maken van gesloten systemen. (Wiki)

2.2 Hoge temperatuur (HT) en geothermie

Een andere manier om warmte uit de grond te halen voor verwarming of koeling, is het aanleggen van een hoge temperatuur systeem die gebruik maakt van warmte dat diep in de aardkorst opgeslagen zit. Deze bronnen reiken tot een diepte die kan variëren tussen ongeveer één kilometer en enkele kilometers, afhankelijk van de warmtevraag (hoe groot het temperatuurverschil moet zijn tussen de bodem en het oppervlak) en de geothermische dieptemaat. Dit is de temperatuurstijging per kilometer. Over het algemeen is dit 35 Kelvin tot 40 Kelvin, maar dit kan per regio erg verschillen. Vooral de gebieden met duidelijk hogere temperaturen zijn dan interessant, omdat men hier een relatief ondiep systeem kan aanleggen terwijl er toch een groot temperatuurverschil is.

Deze techniek wordt vooral gebruikt voor het verwarmen van grote gebouwen, omdat er door het grote temperatuurverschil geen warmtepomp nodig is omdat de temperatuur van het water wat opgepompt wordt, hoog genoeg is om een gebouw te verwarmen zonder dat er extra energie nodig is. Een andere belangrijke toepassing van water met hoge temperaturen is om het te gebruiken voor het opwekken van elektriciteit, wat ook wel hydrothermale stroomopwekking wordt genoemd.

Omdat hiervoor watertemperaturen nodig zijn van minstens 100 graden Celsius, is hiervoor geothermie nodig, omdat deze hoge temperaturen alleen diep in de aardkorst te vinden zijn. Daarom zul je dit soort systemen bij grote gebouwen zien, maar zal dit samen gaan met bijvoorbeeld een warmte-koude opslag systeem. Omdat diepe geothermie vooral voor verwarming en het opwekken van elektriciteit wordt gebruikt, is er geen ruimte voor koeling. Dit wordt dan gerealiseerd door middel van een warmte-koude opslag systeem, wat ook nog bijdraagt aan de verwarming in de winter.

2.3 De biowasmachine

Veel steden hebben te maken met bodemvervuiling. Deze vervuiling is ontstaan doordat vroeger vele bedrijven in Nederland werkten zonder rekening te houden met eventuele gevolgen voor de bodem en het milieu.

Het grondwater verplaatst zich niet snel en dit heeft twee nadelige gevolgen. Ten eerste verplaatst de vervuiling zich naar gebieden die eerst nog 'schoon' waren, maar nu langzaam ook gedeeltelijk vervuild raken. Ten tweede verdwijnt de vervuiling hierdoor zeer langzaam. Wanneer er namelijk een snellere grondwaterstroming zou zijn, zou de vervuiling sneller afgebroken kunnen worden door bacteriën. Dit komt omdat de vervuiling door de grotere verplaatsing met meer bacteriën in contact komt dan bij een kleinere verplaatsing en door die bacteriën wordt het dan afgebroken.

Vroeger was saneren eigenlijk de enige manier om het grondwater te reinigen, maar dit is een duur project. Toen kwam het idee om de bodem te reinigen met behulp van een warmte-koude opslag (WKO) systeem. Er was echter een probleem, want in de wet staat dat vervuild grondwater niet mag worden vervoerd door menselijk

handelen. Het plan zou alleen goedgekeurd worden als er duidelijk werd aangetoond dat deze plannen voor een snellere reiniging van de bodem zouden zorgen.

Na jarenlang onderzoek is dit bewezen en dus wordt de eerste grote biowasmachine nu geplaatst in het centrum van Utrecht. Door dit plan worden er twee vliegen in één klap geslagen. De bodem wordt gereinigd en de energiekosten worden enorm gedrukt. Het idee achter de biowasmachine is namelijk het volgende: Door de aanleg van de WKO systemen en de bouw van het nieuwe stationsgebied gaat het grondwater sneller stromen. Dit zal door blijven gaan, omdat het water natuurlijk ook nog altijd wordt opgepompt en door de vele systemen die bij elkaar liggen blijft er hierdoor een continue snellere grondwaterstroom. Dit zorgt voor een snellere natuurlijke afbraak van de vervuiling. Dit wordt nog eens extra bevorderd door een aantal middelen die niet schadelijk voor de grond zijn toe te voegen. Er moet echter wel worden gekeken dat de WKO systemen niet te dicht bij elkaar worden geplaatst, omdat er anders vermenging tussen de warme en koude bronnen van verschillende systemen kan ontstaan, waardoor er uiteindelijk toch nog hogere energiekosten worden gemaakt.

2.4 Grondwaterstroming

Het water in de grond kan vrij bewegen door de holle ruimtes die zijn ontstaan tussen de grondlagen. Als dit in de horizontale richting gebeurt, is er sprake van grondwaterstroming. Hoeveel afstand het grondwater per jaar aflegt is afhankelijk van de grondsoort. Bij fijn zand of grind is deze afstand veel groter dan bij klei of leemgronden. De formule waarmee deze waarde berekend kan worden is:

$$Q = K \cdot i \cdot F$$

Deze formule staat bekend als de formule van Darcy. Hierbij is Q de stroming van het grondwater. K is de doorlatendheidscoëfficiënt, wat aangeeft hoe goed water door een bepaalde grondsoort kan stromen. Bij fijn grind kan deze waarde wel 1000 aannemen terwijl bij kleigronden een waarde van 0,1 of lager gebruikelijk is. De i staat voor het verhang. Dit is het hoogteverschil dat over een bepaalde afstand wordt overbrugd. De F is de doorsnede van de holte waardoor het grondwater stroomt.

Meestal stroomt het grondwater maximaal enkele decimeters per dag en zelfs dit wordt meestal niet gehaald. In Nederland stroomt het grondwater gemiddeld tien meter per jaar.

De grondwaterstroming is natuurlijk ook van groot belang bij de warmte-koude opslag systemen. Omdat de open systemen die in Nederland veel worden gebruikt gewoon in de bodem worden geplaatst zonder iets eromheen moet er rekening worden gehouden met de afstand die het water in deze tijd overbrugt. De bron met het koude water mag dus niet te dicht bij de bron met het warme water geplaatst worden, want als deze twee bronnen zich met elkaar vermengen verliest het WKO systeem zijn rendement. Vandaar dat het ook lastig is om in een volgebouwd gebied ieder bedrijf zijn eigen WKO systeem te geven. De systemen zouden elkaar dan namelijk te veel beïnvloeden.

De biowasmachine maakt dit nog moeilijker, want die zorgt ervoor dat grondwater sneller gaat stromen en dus grotere afstanden overbrugt. Voor de reiniging van de

grond is dit natuurlijk de bedoeling, maar de systemen en bronnen moeten nu dus nog verder uit elkaar worden geplaatst. Want ondanks dat de warmte zich minder snel verplaatst dan het grondwater als gevolg van advectie (zie natuurkundige processen) is het toch niet de bedoeling dat het met elkaar mengt, omdat de temperatuur toch wel degelijk beïnvloed wordt door het water van de andere bron.

2.5 Natuurkundige processen

Bij een warmte-koude opslag systeem spelen er bij de twee waterbronnen verschillende processen een rol met betrekking tot het warmtetransport door het poreuze medium: advectie (warmtetransport door de grondwaterstroming), retardatie (doordat het warme of koude water een andere temperatuur heeft ten opzichte van het poreuze medium is er een winst en verlies van warmte), conductie (transport van warmte binnen het medium, in dit geval water), diffusie (transport van warmte van de ene stof naar de andere stof) en dispersie (het vermengen van het oorspronkelijk grondwater en het geïnjecteerde grondwater).

2.5.1 Advectie

Doordat grondwater wordt verplaatst bij het injecteren of onttrekken ervan bij de warmte- en koudebronnen, is er transport van water, waardoor er warmtetransport plaats vindt. Ook heb je te maken met een warmteverlies doordat het water zijn warmte afgeeft aan de grond waarlangs het zich beweegt. Hierdoor ontstaat er retardatie van het water naar de korrels. De hoeveelheid retardatie hangt af van de dichtheid en soortelijke warmte van de korrels en het water en de porositeit (de mate waarin water door de grond kan stromen, dus hoe groot de openingen zijn). Deze samen geven de retardatiecoëfficiënt R . In een standaardgrond is R ongeveer gelijk aan 2, wat betekent dat het temperatuursfront zich 2 keer zo langzaam verplaatst als het water. (zuurbier)

Het warmte transport kan worden berekend met de volgende formules:

$$\overline{F}_a = H_v^w \cdot \overline{q} \quad \text{en} \quad \overline{q} = -K \frac{\partial h}{\partial x}$$

Waarin:

- \overline{F}_a = warmteflux door advectie ($W \cdot m^{-2}$)
- H_v^w = warmtedichtheid ($W \cdot m^{-3}$)
- K = doorlatendheid voor water ($m \cdot s^{-1}$)
- \overline{q} = snelheid Darcy ($m \cdot s^{-1}$)

Dit kan worden omgeschreven met gebruik van de formule $H_v^w = \rho_w c_w T$ naar:

$$\overline{F}_a = \rho_w c_w \overline{q} T$$

Waarbij:

ρ_w = dichtheid van water ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

c_w = soortelijke warmte water ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)

T = Temperatuur ($^\circ\text{C}$)

Hieraan is af te leiden dat de warmteflux afhankelijk is van de bodemsoort, omdat de warmteflux afhankelijk is van de snelheid van Darcy, die weer op afhankelijk is van de doorlatendheid voor water.

2.5.2 Conductie

Een goede manier om de conductie te beschrijven is door gebruik te maken van de wet van Fourier. De conductie is een maat voor de verplaatsing van de warmte door vaste stoffen. De Wet van Fourier is vernoemd naar Jean-Baptiste Joseph Fourier, die deze relatie in 1822 afleidde. Deze wet beschrijft de warmteoverdracht door geleiding. De formule is als volgt:

$$\Phi_q = -\lambda \cdot \frac{\Delta T}{\Delta L}$$

Waarbij:

Φ = De warmteflux door conductie ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

λ_g = Warmtegeleidingcoëfficiënt in ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

ΔT = Temperatuurverschil (K)

ΔL = Lengte (m)

Het minteken komt voor in de formule, omdat de warmte als afgestaan wordt beschouwd.

De warmtegeleidingcoëfficiënt is anders bij verschillende materialen. Bij gelijke omstandigheden zorgt de waarde van λ voor een betere of slechtere geleiding. Hoe lager de λ -waarde, hoe slechter het materiaal de warmte geleidt en dus hoe beter het isoleert.

De warmtegeleidingcoëfficiënt is een constante waarde voor een bepaald materiaal, ongeacht de dikte van dat materiaal.

2.5.3 Diffusie

Diffusie gaat over de warmtegeleiding van de ene stof naar de andere stof. Als er bijvoorbeeld water van buiten de grond in komt, heeft dit vanzelfsprekend zeer waarschijnlijk een andere temperatuur dan het grondwater dat al in de grond zit. Ook bij het berekenen van de grootte van de diffusie kan gebruik worden gemaakt van een wet van Fourier, namelijk:

$$H = -K \cdot \nabla T$$

Waarbij:

- H = Warmteflux ($W \cdot m^{-2}$)
 ∇T = Temperatuursgradiënt ($^{\circ}C \cdot m^{-1}$)
 K = Conductiviteit ($W \cdot m^{-1} \cdot ^{\circ}C^{-1}$)

Bij deze formule is K de waarde die steeds een andere waarde aanneemt die afhangt van de stof die er in de grond zit of waarvan gebruik wordt gemaakt bij de proef. Er staat een minteken voor de K omdat er sprake is van warmteafgifte en om deze waarde positief te krijgen is er een minteken nodig.

2.5.4 Dispersie

Het proces (mechanische) dispersie is het mengen van grondwater en vervlakking van concentratiegradiënten door diffusie en lokale snelheidsverschillen in het watervoerend pakket. Dit proces wordt bepaald door de van plaats tot plaats in grootte en richting variërende snelheid van de waterdeeltjes in de poriën en door moleculaire diffusie.

Als gevolg van dispersie (in samenwerking met conductie) worden de grensvlakken tussen warm en koud water minder scherp.

De respectievelijk longitudinale en transversale dispersie kan geschreven worden als:

$$F_{md}^l = -\rho_w c_w a_l q \frac{\partial T}{\partial l_{lon}} \quad \text{en} \quad F_{md}^T = -\rho_w c_w a_t q \frac{\partial T}{\partial l_{trans}}$$

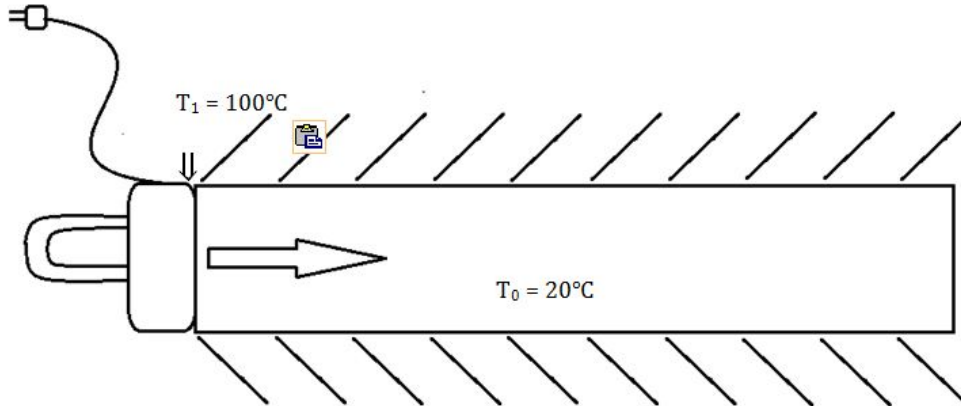
Waarbij:

- F_{md}^l = warmteflux ($W m^{-2}$)
 ρ_w = dichtheid water ($kg m^{-3}$)
 c_w = soortelijke warmte water ($J kg^{-1} ^{\circ}C^{-1}$)
 a_l/a_t = dispersiviteit (m)
 q = snelheid Darcy ($m s^{-1}$)
 T = temperatuur ($^{\circ}C$)
 l_{lon}/l_{trans} = lengte in longitudinale of transversale richting (m)

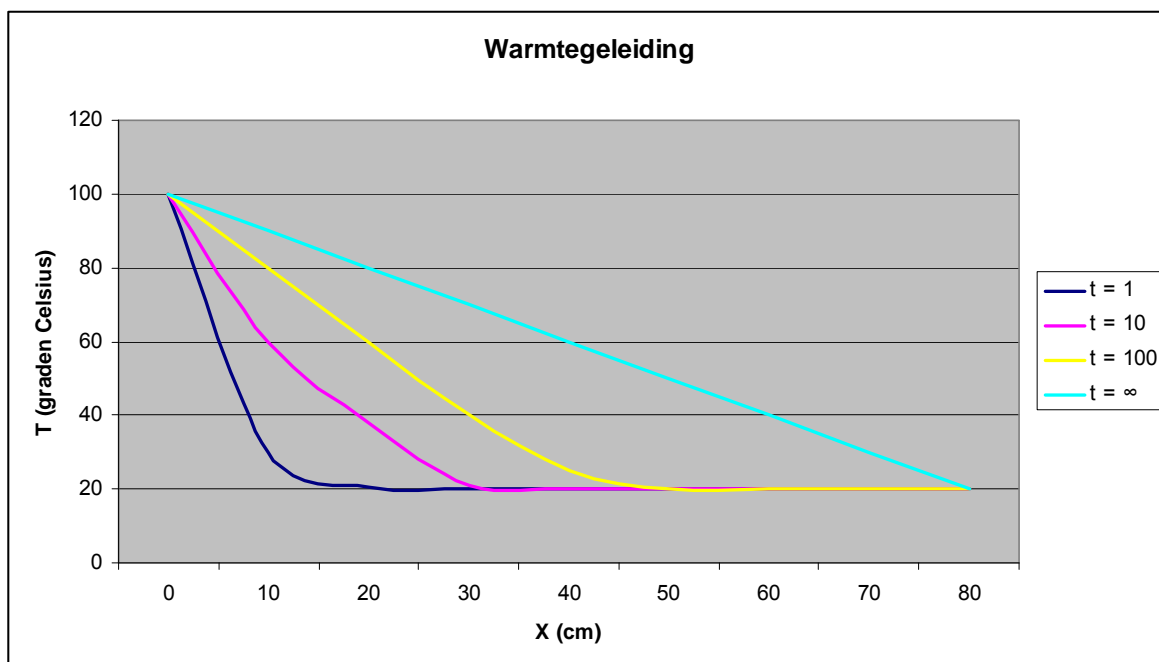
Bron: Effecten Warmte-Koude Opslagssystemen (WKO) op met gechlloreerde koolwaterstoffen verontreinigde grondwatersystemen - Koen Zuurbier (2008)

2.6 Strijkijzermodel

We schetsen de volgende situatie:



We hebben een gebied waar het overall 20 graden Celsius is. Deze temperatuur noemen we T_0 . T_0 is een vaste randvoorwaarde. Aan de linkerkant van dit gebied plaatsen we een strijkijzer (zie schets). De strijkijzer zorgt ervoor dat het oppervlakte aan de linkerkant een temperatuur krijgt van 100 graden Celcius. Dit noemen wij T_1 . Van T_1 naar T_0 vindt warmtetransport plaats door middel van geleiding, ofwel conductie. Aan de linkerkant blijven we continu warmte toevoeren en aan de rechterkant wordt er een constante temperatuur gerealiseerd van 20 graden Celcius. Kijken we bijvoorbeeld op $t = 1$ dan zien we dat de warmte zich nog niet zo ver heeft verplaatst. Hoe langer het duurt des verder de warmte komt. Laten we het naderen tot oneindig dan krijgen we een lineair verband tussen T_1 en T_0 .



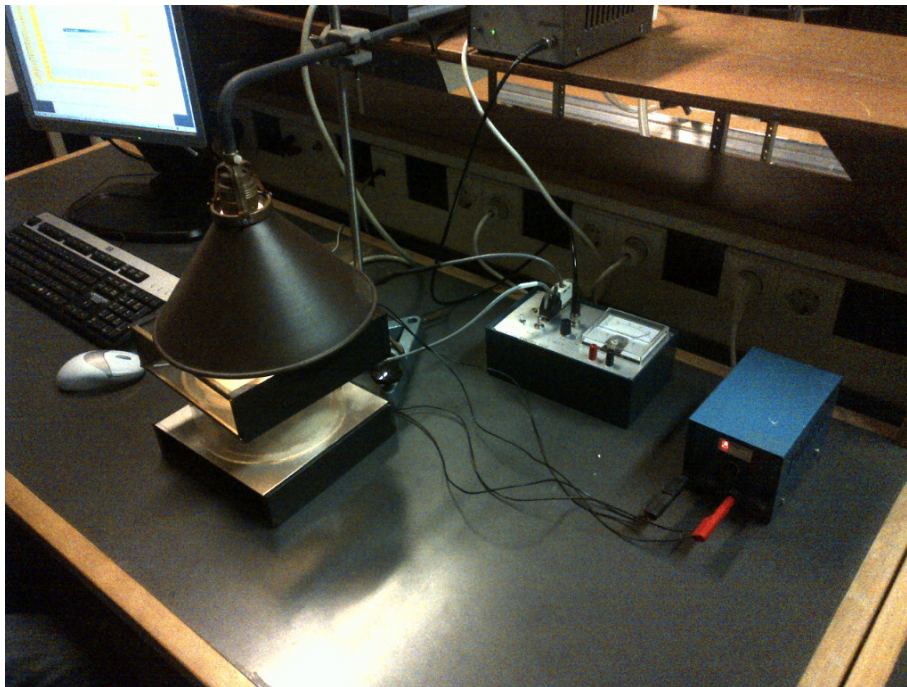
3. Het onderzoek

Voor ons onderzoek naar het effect van de warmtegeleidingcoëfficiënt van zand op een warmte-koude opslag systeem en de biowasmachine in het bijzonder, hebben we allereerst een onderzoek gedaan om de warmtegeleidingcoëfficiënt te gaan bepalen. Hierbij hebben wij geen zelfbedachte hypothese, maar uit de literatuur verwachten we dat deze rond de 0,4 ligt. Om dit te bepalen, zijn de volgende materialen vereist:

3.1 Materialen

- Lamp
- Bak zand
- 6 sensoren
- Computer
- 2 ventilatoren
- Signaalbewerkingskastje
- Lampvoeding

De opstelling is als volgt:



Op het plaatje is duidelijk de lamp te zien die boven de bak met zand hangt. De 6 sensoren en de lamp zijn aangesloten op de computer. Verder zit er tussen de lamp en de bak met zand een gat, waar een ventilator zit, zodat alleen de straling van de lamp wordt gebruikt en niet de warmte die de gloeilamp afgeeft. Ook onder de bak zit een gat met een ventilator, zodat de onderste laag een constante temperatuur heeft, zodat het plaatje met het principe van het strijkijzer wordt gerealiseerd. Doordat de sensoren met de computer zijn verbonden, krijg je via het programma WSTR de

signalen op de computer binnen die de sensoren doorgeven. Deze sensoren geven het spanningsverschil door tussen de meet- en referentiesensor.

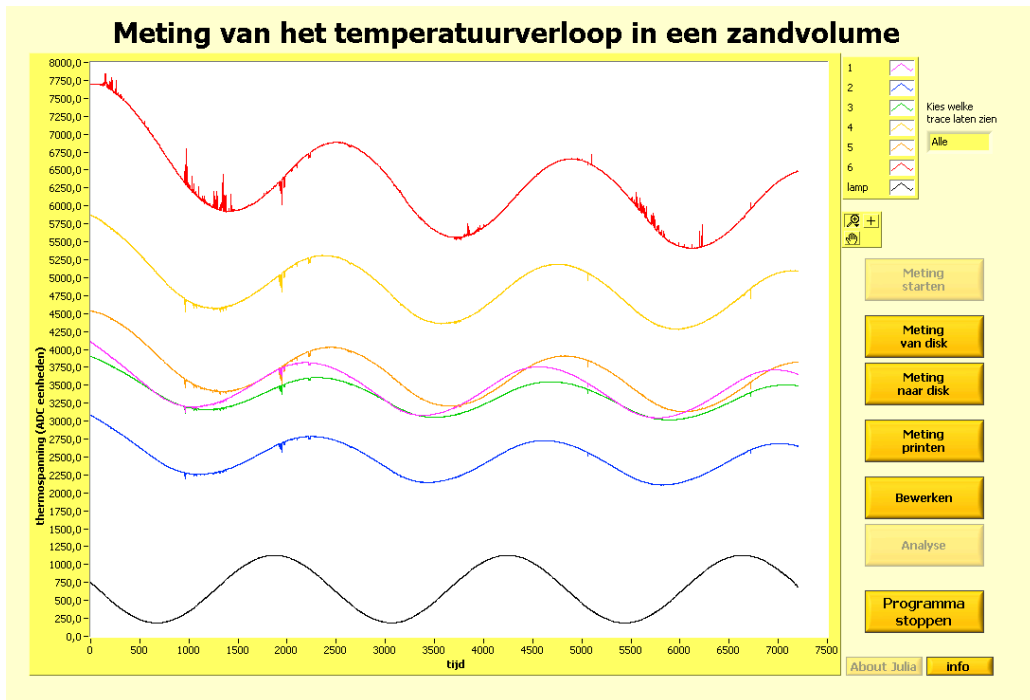
3.2 Methode

Je vult een bak met droog zand en doet hier 6 sensoren boven elkaar in op een afstand van 2,5 millimeter. Onder en boven de bak plaats je twee rechthoekige bakken die gekoeld worden door een ventilator. Boven deze opstelling zet je een lamp die aangesloten is op een lampvoeding, waarmee je de periode van de lamp kan instellen. De sensoren zijn verbonden met het signaalbewerkingskastje en met de computer, zodat de resultaten gelijk in grafieken op de computer kunnen worden gemaakt. Met het signaalbewerkingskastje kun je de gevoeligheid instellen waardoor de amplitudes groter of kleiner worden. Voor de daadwerkelijke meting gestart kan worden, moet de lamp eerst anderhalf uur aanstaan, zodat het zand in de hele bak dezelfde gemiddelde temperatuur heeft. De meting zal anders niet eerlijk verlopen, want de formules gelden pas wanneer er een vorm van dynamisch thermisch evenwicht is bereikt. Na het opwarmen van de lamp kan de meting gestart worden. Op het signaalbewerkingskastje hebben we de Nul-instelknop op 90 microampère gezet. Deze Nul-instelknop kan bij alle zes signalen een regelbare gelijkspanning worden opgeteld, om te zorgen dat het voltage altijd onder 10 volt blijft, wat de hoogste spanning is die het kastje kan converteren. Verder hebben we de lampvoeding op periode 11, 7 en 9 en de meettijd op respectievelijk 7.200, 10.000 en 12.600 seconden gezet. Als de meting is aangezet kan je het beste zoveel mogelijk afstand houden tot de opstelling om het resultaat niet te beïnvloeden. Wanneer de meting is afgerond kan er een analysemodel worden gemaakt waaruit de warmtegeleidingcoëfficiënt van zand kan worden berekend.

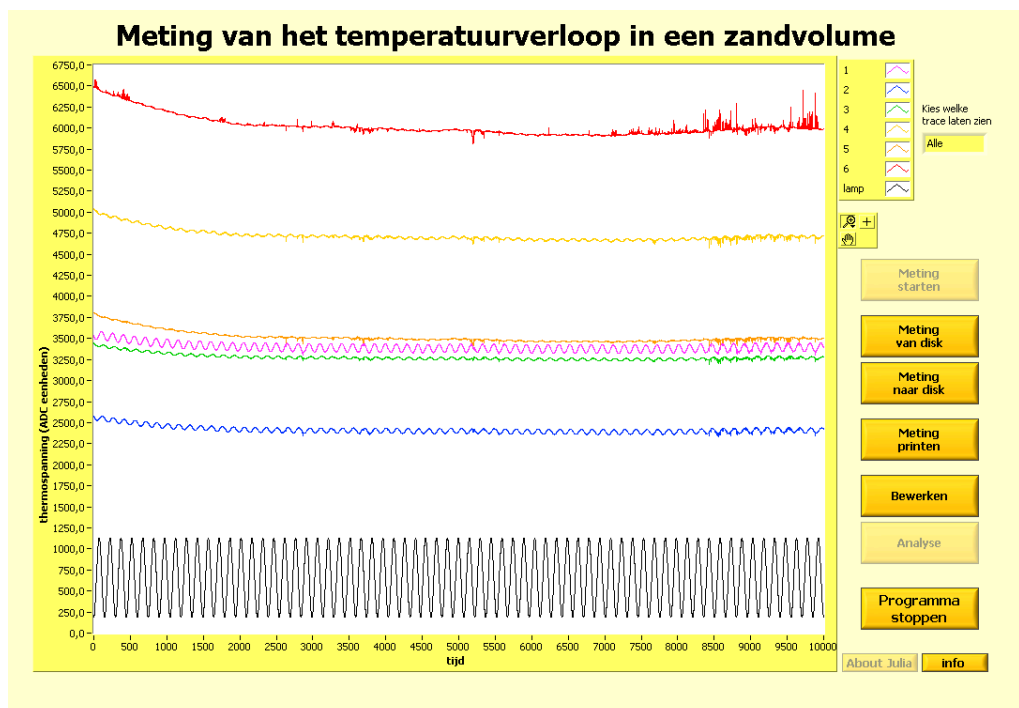
3.3 Resultaten

We hebben in totaal 6 metingen gedaan, waarvan de laatste 3 echt bruikbaar waren. Waarom de eerste 3 niet bruikbaar waren zullen we in de discussie uitleggen. Dit zijn de grafieken van meting 4, 5 en 6:

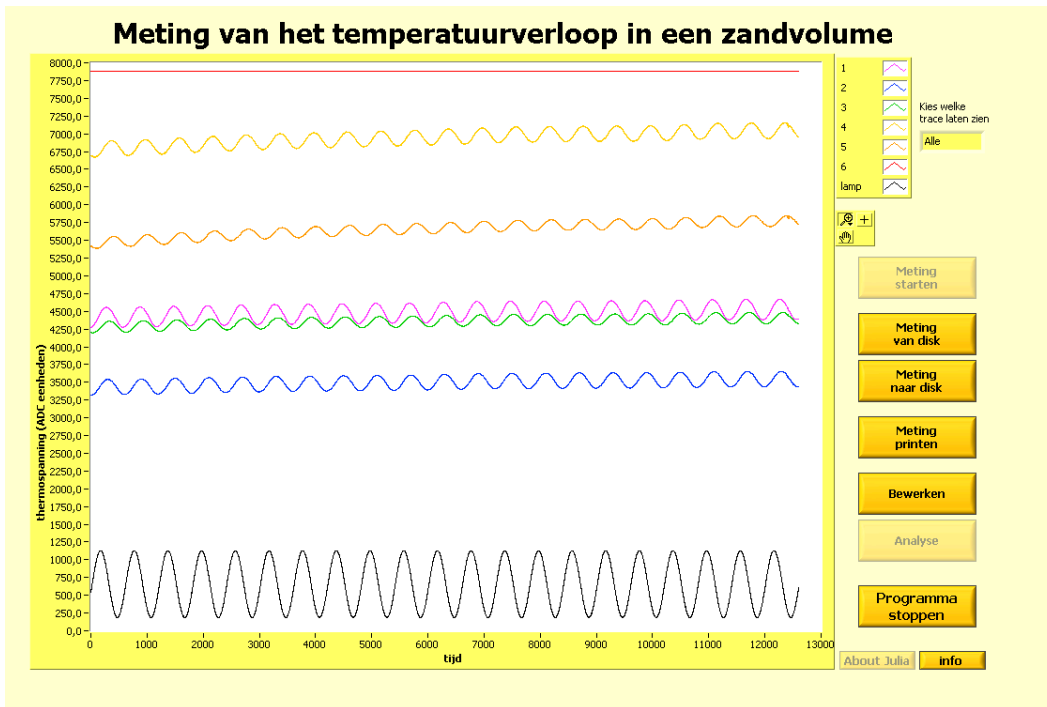
3.3.1 Meting 4



3.3.2 Meting 5



3.3.3 Meting 6



Deze grafieken zijn nog niet bruikbaar om gelijk de warmtegeleidingcoëfficiënt uit te bepalen. Wel kan vanuit deze plaatjes de amplitude van de verschillende grafieken worden bepaald, net als de faseverschillen tussen de verschillende sensoren. Doordat je de amplitude hebt bepaald van de grafieken, kun je deze gebruiken om de indringdiepte D te bepalen zoals gegeven in de formule die het temperatuurverloop in de bodem beschrijft door de tijd:

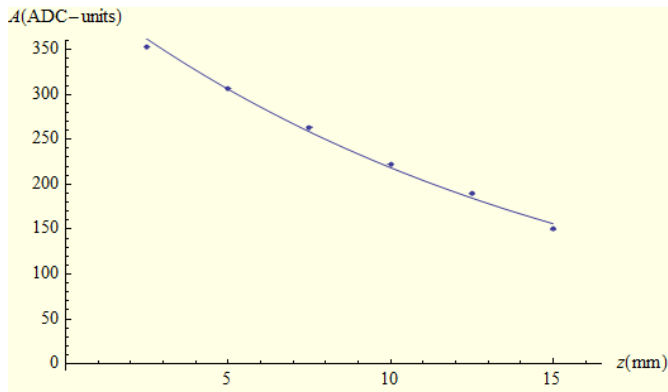
$$T(z, t) = T_{gem}(0) + A(0) \cdot e^{-\frac{z}{D}} \cdot \sin(\omega t - \frac{z}{D})$$

Waarbij:

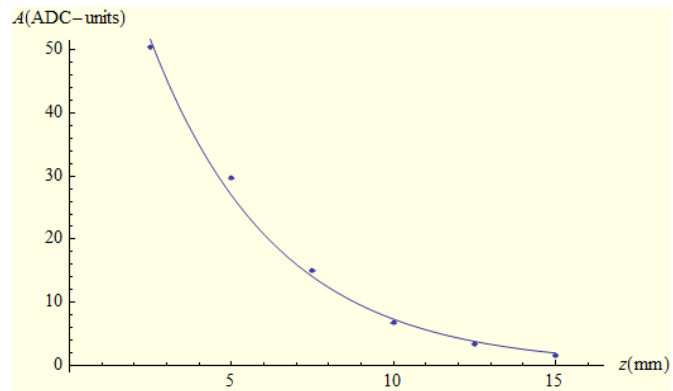
- $T_{gem}(0)$ = Gemiddelde temperatuur aan het oppervlak door de tijd
- $A(0)$ = Amplitude
- e = Wiskundige constante
- z = Diepte (mm)
- D = Indringdiepte (mm)
- ω = Cirkelfrequentie (Hz)

Voordat hier de amplitude en de diepte (z) in kunnen worden gevuld, moeten de grafieken eerst in het programma Wolfram worden verwerkt. Hoe dit precies in zijn werk gaat is niet relevant en gaan we dan ook niet uitleggen, omdat het anders erg onoverzichtelijk wordt.

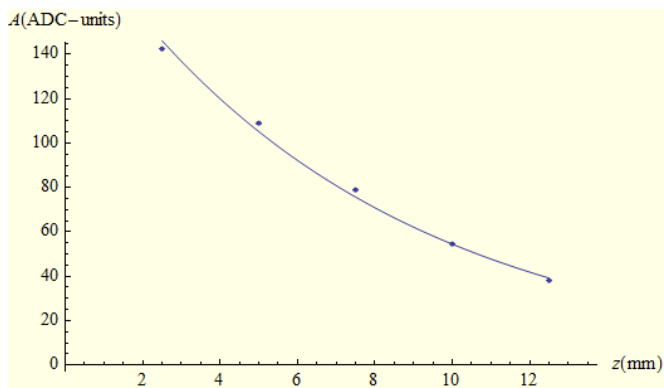
Uiteindelijk door het verwerken, krijg je van elke meting een grafiek waarin de grootte van de amplitude is uitgezet tegen de diepte (z), omdat in de formule bij een bepaalde diepte een bepaalde amplitude hoort, die ook samen moeten worden ingevuld:



Meting 4



Meting 5



Meting 6

In deze grafieken is dus de amplitude af te lezen. Deze kan gebruikt worden voor het verkrijgen van de waarde voor D. Omdat de formule hierboven een sinusoïde is, is

$A(z) = A(0) \cdot e^{-\frac{z}{D}}$ de amplitude van de grafiek. Daardoor kunnen we uiteindelijk D berekenen. We geven een voorbeeld:

Bij meting 6 is de amplitude bij een diepte van 2,5 millimeter 140 (A_{z1}). Bij een diepte van 12,5 millimeter is dit 40 (A_{z5}). Je krijgt de volgende vergelijkingen:

$$A_{z1} = A(0) \cdot e^{-\frac{z_1}{D}} \quad \text{en} \quad A_{z5} = A(0) \cdot e^{-\frac{z_5}{D}}$$

Waarbij z_1 de diepte is van sensor 1 (2,5 mm) en z_5 de diepte van sensor 5 (12,5 mm). We gebruiken hier sensor 1 en 5, omdat dit de twee sensoren zijn die het verst van elkaar af liggen. Sensor 6 hebben we in meting 6 niet gebruikt, omdat deze in

meting 6 niet goed was opgenomen bleek achteraf. Dit heeft echter weinig invloed op het resultaat, omdat we hier alleen de methode beschrijven. Meting 6 is daarvoor het meest geschikt, omdat de grafieken hiervan het duidelijkst af te lezen waren. De andere metingen hebben wij ook gebruikt, alleen het aflezen ging met behulp van de computer.

Om hier de indringdiepte te berekenen, is de (natuurlijke) logaritme hier handig om te gebruiken. De twee formules worden dan omgeschreven naar:

$$-\frac{x_1}{D} = \ln\left(\frac{A_{x1}}{A(0)}\right) \quad \text{en} \quad -\frac{x_2}{D} = \ln\left(\frac{A_{x2}}{A(0)}\right)$$

Deze formules moeten van elkaar afgetrokken worden, waardoor het verschil ontstaat om zo D te berekenen. De volgende formules ontstaan:

$$-\frac{x_1}{D} - \ln\left(\frac{A_{x1}}{A(0)}\right) = 0 \quad \text{en} \quad -\frac{x_2}{D} - \ln\left(\frac{A_{x2}}{A(0)}\right) = 0$$

Nu kunnen de formules samengevoegd worden tot één formule:

$$-\frac{x_1}{D} - \ln\left(\frac{A_{x1}}{A(0)}\right) = -\frac{x_2}{D} - \ln\left(\frac{A_{x2}}{A(0)}\right)$$

↓

$$-\frac{x_1}{D} + \frac{x_2}{D} = -\ln\left(\frac{A_{x2}}{A(0)}\right) + \ln\left(\frac{A_{x1}}{A(0)}\right)$$

↓

$$\frac{x_2 - x_1}{D} = -\ln\left(\frac{A_{x2}}{A(0)}\right) + \ln\left(\frac{A_{x1}}{A(0)}\right)$$

Nu kan de formule ingevuld worden. Voor A(0) is de waarde 460 af te lezen in de grafiek gemaakt in WSTR, waarin de zwarte lijn het verloop van de temperatuur van de lamp en dus die aan het oppervlakte is. Invullen geeft:

$$\frac{12,5 - 2,5}{D} = -\ln\left(\frac{40}{460}\right) + \ln\left(\frac{140}{460}\right)$$

↓

$$\frac{10}{D} = 1,2528 \dots$$

↓

$$D \approx 7,9824$$

Deze methode hebben we bij alle metingen toegepast en kwamen daarbij ook op een indringdiepte van ongeveer 8 meter.

De indringdiepte D kan ook worden berekend door middel van het faseverschil tussen de sensoren, zoals hierboven al is gezegd. Dit kan door te kijken naar de tijdstippen waarop de sinusoiden op de verschillende dieptes door hun nuldoorgang gaat, dus de tijdstippen waarop de sinus door zijn eigen evenwicht gaat, ten opzichte van dit tijdstip aan het oppervlakte. Dit verschil in seconden, gedeeld door het totaal aantal seconden van de periode, is het faseverschil. Het aantal seconden verschil tussen het oppervlak en op een diepte z kan worden afgelezen in reeds gegeven grafieken.

Hieruit blijkt dat bijvoorbeeld bij meting 4 op een diepte van 10 millimeter, dat deze een achterstand van 500 seconden heeft op de sinus aan het oppervlak. De indringdiepte D is aan de hand van al deze gegevens te bepalen door middel van de volgende formule:

$$t_0(z) = t_0(0) + \frac{\tau}{2\pi D} z$$

Waarbij:

$t_0(z)$ = Nuldoorgang op diepte z

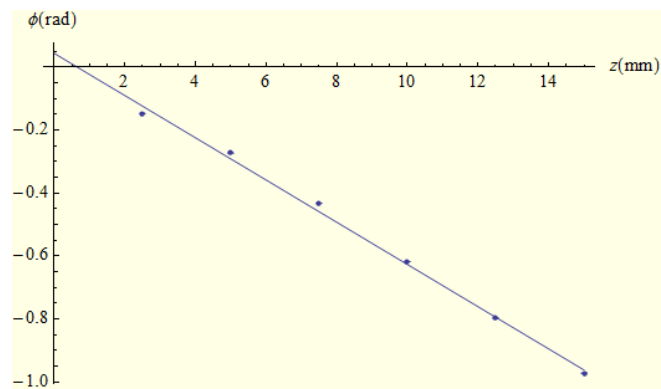
$t_0(0)$ = Nuldoorgang aan het oppervlak

τ = Instalingsperiode

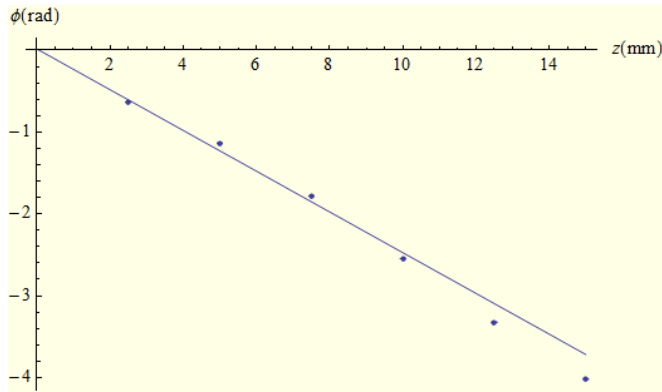
Deze formule is om te schrijven naar een formule voor D :

$$D = \frac{\tau \cdot z}{(t_0(z) - t_0(0)) \cdot 2\pi}$$

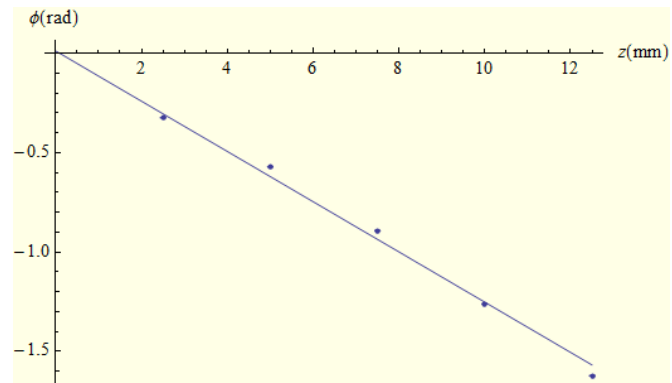
Door alle gegevens te verwerken in het programma Wolfram, komt hier uiteindelijk een gemiddelde waarde voor de indringdiepte uit per meting. Dit beschrijven we niet in het verslag, omdat we hierboven al een andere methode hebben beschreven. Ook hebben we voor het overzicht het faseverschil tegen de diepte z uitgezet:



Meting 4



Meting 5



Meting 6

In de grafieken is mooi te zien dat hoe groter de diepte is, des te groter het faseverschil ook wordt ten opzichte van het oppervlak. De fase wordt negatief, omdat de fase in de grond achterloopt op het oppervlak, dus is er een negatief verschil. Zoals net al is gezegd, hebben we de gegevens in Wolfram gezet en daar kwam toen voor meting 6 een waarde voor D uit van 8 meter. Deze kunnen we gebruiken om de warmtegeleidingcoëfficiënt κ van zand te bepalen door middel van de formule:

$$D = \sqrt{\frac{\kappa \tau}{\pi}}$$

Deze formule is dan om te schrijven naar:

$$D^2 = \frac{\kappa \tau}{\pi}$$

Waardoor je uiteindelijk de formule voor de warmtegeleidingcoëfficiënt krijgt:

$$\kappa = \frac{\pi \cdot D^2}{\tau}$$

Doordat we, zoals hierboven is beschreven, op een waarde voor D kwamen van ongeveer 8 meter bij meting 6 en we τ (periode van de sinus van de lamp) weten, kunnen we de formule in gaan vullen en een waarde vinden voor de warmtegeleidingscoëfficiënt van zand:

$$k = \frac{\pi \cdot \delta^2}{599}$$

↓

$$k \approx 0,3342$$

Door deze formule in te vullen met de waarden van elke meting apart krijg je voor elke meting een warmtegeleidingcoëfficiënt. Deze zijn voor meting 4, 5 en 6 respectievelijk 0,3338 en 0,3158 en 0,3342.

4. Discussie

Ondanks dat wij dachten dat onze aanwezigheid geen invloed had op de metingen, bleek dit toch in zekere zin het geval te zijn. Wij zijn bij alle metingen er bij gebleven, wat hier en daar wat rare piekjes gaf. De laatste meting waren wij gewoon college aan het volgen en konden wij dus niet bij de meting aanwezig zijn. Bij de metingen waren geen piekjes te zien. Hieruit verklaren wij dat door onze aanwezigheid wellicht minuscule meetfouten zouden kunnen ontstaan, bijvoorbeeld doordat wij de tafel aanstoten of door het blazen van lucht in de opstelling. Door deze pieken zijn de uiteindelijk resultaten minder nauwkeurig en kan er een fout zijn gemaakt met het bepalen van de amplitude. Deze hadden we nodig om de warmtegeleidingscoëfficiënt te berekenen en door deze pieken werd het moeilijker om die te bepalen.

Bovendien zijn de eerste 3 metingen te kort geweest, want wij hadden te weinig periodes om met de verkregen resultaten iets zinnigs te doen. Helaas was ons in eerste instantie hier niets over verteld, dus wij hebben zelf wat moeten uitproberen. Dit zie je ook terug in de toenemende tijdsduur van de metingen, over de laatste 3 genomen, respectievelijk 7.200, 10.000 en 12.600 seconden.

5. Conclusie

De waarde van de warmtegeleidingscoëfficiënt van zand die wij hebben bepaald is ongeveer 0,3. Dit verschilt met een aantal door ons bekeken literatuurwaarden. Zo was er een verslag waar de waarde tussen de 0,4 en 0,8 lag. Maar met de kleinschalige opstelling die we hebben gebruikt zou er natuurlijk een klein verschil op hebben kunnen treden.

We weten nu dus de warmtegeleidingscoëfficiënt, maar wat is nu de invloed van de warmtegeleiding van zand op de werking van de biowasmachine? De formule voor de warmteflux is al eerder genoemd en staat hieronder nogmaals:

$$f_r = -\lambda \cdot \Delta T$$

Waarbij:

f_r = De warmteflux ($W \cdot m^{-2}$)

λ = De warmtegeleidingcoëfficiënt ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)

ΔT = Het temperatuurverschil (K)

Door de kleine λ -waarde van zand is er dus weinig warmteflux. Veel warmte zal dus langdurig in de waterbron aanwezig blijven.

Uit de formule volgt logischerwijze ook dat hoe groter het temperatuurverschil is des te groter ook de warmteflux is. Bij de warme bron zal de warmteflux dus ook groter zijn dan bij de koude bron, want het temperatuurverschil tussen de grond en het koude water is kleiner dan het temperatuurverschil tussen de grond en het warme water.

Het is natuurlijk van belang om te weten hoeveel warmteverlies er wordt geleden in de tijd dat het water ondergronds opgeslagen is, omdat je dan weet hoeveel

energiekosten er nog worden gemaakt bij het eventueel verder verwarmen van het water. De grondsamenstelling moet hiervoor ook goed worden onderzocht, want dit heeft een belangrijke invloed op de warmteflux. Iedere grondsoort heeft namelijk een andere warmtegeleidingscoëfficiënt.

In Nederland is er overal wel zand in de bodem te vinden, vandaar dat we hiervan ook de warmtegeleidingscoëfficiënt hebben berekend. Er is natuurlijk niet alleen zand te vinden, want de grond in Nederland bestaat uit een samenstelling van klei, zand, fijn grind en andere grondsoorten. Iedere grondsoort heeft een andere warmtegeleidingscoëfficiënt en kan dus voor- of nadelig zijn voor de warmte- en koude opslag systemen en het reduceren van de vervuiling.

Door literatuur met elkaar te vergelijken zijn we erachter gekomen dat zand ongeveer de laagste warmtegeleidingscoëfficiënt heeft van alle grondsoorten die er in Nederland zijn en dus gunstig is voor de WKO systemen. Bacteriën die het grondwater moeten reinigen werken ook beter bij een hogere temperatuur en dus heeft zand sowieso een gunstige werking op het WKO systeem, want het zorgt er immers voor dat de warmte niet snel weggaat.

Voor de biowasmachine zou je kunnen zeggen dat het zowel een positief als een negatief effect heeft. Omdat het de warmte vasthoudt zorgt het ervoor dat de bacteriën in de bron zelf hun werk goed kunnen doen, maar omdat de warmte niet ver komt door de lage warmtegeleiding wordt er maar een klein gedeelte van de bodem gereinigd. Dit is niet ideaal, omdat eigenlijk de hele bodem vervuild is en de bronnen niet te dicht op elkaar geplaatst mogen worden vanwege de negatieve invloed die ze dan op elkaar hebben.

We weten nu in ieder geval dat zand wel een van de gunstigste bodemsoorten is om een WKO systeem dan wel een biowasmachine in te maken, omdat er makkelijk in te bouwen is en het weinig warmte geleid.

6. Eindbeschouwing en suggesties voor verder onderzoek

Wij hadden achteraf gezien misschien meer metingen moeten doen, maar dit was moeilijk vanwege de beschikbare tijd en de problemen die wij ondervonden met het opstarten van dit onderzoek betreffende een beschikbare begeleider e.d.

In een vervolgonderzoek zouden we kunnen kijken wat de warmtegeleidingscoëfficiënt is van nat zand. Bij warmte- en koude opslag systemen en biowasmachines is namelijk niet alleen droog zand betrokken, maar vanzelfsprekend ook nat zand. Zo zouden we een betere benadering kunnen geven van het effect van de warmtegeleiding in de grond. Ook zou je gemengde grond zoals die in de natuur voorkomt kunnen bestuderen zodat je een echt waarheidsgetrouw resultaat hebt. Verder zou je ook kunnen kijken wat er gebeurt als je het zand juist laat afkoelen. Misschien is er bij de koude bron namelijk sprake van een ander effect.

7. Bronnenlijst

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Koude-warmte-opslag>

<http://www.agentschapnl.nl/onderwerp/wat-wko>

<http://www.nvoe.nl/Page/ncttrue/sp5793/index.html>

<http://www.energy->

[os.com/?SeiyKG6RIADO6Fj4tf50b6emhy9NNJGKSJt4ot9vKHYluqfRqyBlpgCVTISCVTIS](http://www.energy-os.com/?SeiyKG6RIADO6Fj4tf50b6emhy9NNJGKSJt4ot9vKHYluqfRqyBlpgCVTISCVTIS)

<http://www.pa-europe.com/documents/MicrosoftWord-managementofhotandcoldwater-GuusWillemsen.pdf>

http://en.wikipedia.org/wiki/Seasonal_thermal_store

http://nl.wikipedia.org/wiki/Aardwarmte#Diepe_aardwarmte

- Effecten Warmte-Koude Opslagsystemen (WKO) op met gechloreerde koolwaterstoffen verontreinigde grondwatersystemen - Koen Zuurbier (2008)

- Het effect van ruimtelijke dimensionering op het rendement van warmte-koude opslagsystemen - Wijn Sommer (2007)

8. Bijlagen

8.1 *Individueel logboek Christiaan*

7-11-11 van 11.45 tot 13.00

- Startbijeenkomst: algemene informatie over de thesis.

21-11-11 van 10.30 tot 13.00

- Op internet gezocht: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Koude-warmte-opslag>
- Inlezen onderwerp.
- Wachten tot bekendmaking begeleider en contact zoeken met begeleider.
- Nog geen afspraak kunnen maken i.v.m. drukte begeleider.

28-11-11 van 9.45 tot 13.30

- Op internet gezocht en site gevonden: <http://www.agentschapnl.nl/onderwerp/wat-wko>
- Op internet gezocht en sites doorgelezen van Jordy en Patrick.

05-12-11 van 9.00 tot 16.30

- Gesprek met Ruud Schotting.
- Verdiepende theorie uitleg van Ruud Schotting.
- Met elkaar een onderzoeksplan en opzet van het verslag gemaakt.
- Contact gelegd met deskundigen, o.a. Coen Hellebrand van IF Technology en Wijnb Sommer van Deltares, voor een afspraak.
- Formulier 1 ingevuld.
- Gesprek met Wijnb Sommer.
- Rondleiding van Wijnb Sommer in Deltares en de meetkeet van de WKO van de UU.

12-12-11 van 9.00 tot 17.00

- Gesprek met Ruud Schotting.
- Rudi Borkus gesproken i.v.m. klaarzetten experimentopstelling.
- Uitleg van de theorie van het uit te voeren practicum van Ruud Schotting.
- Uitleg van Muhammed Imran over zijn eigen experimenten betreffende warmtegeleiding.
- Uitvoeren experiment warmtegeleiding (zie labjournaal).

17-12-11 van 11.40 tot 12.10

- Doorlezen bestanden Wijnb Sommer.

19-12-11 van 9.00 tot 17.00

- Uitvoeren experiment warmtegeleiding (zie labjournaal).
- Formulier 1 ingeleverd en formulier 2 gemaakt en ingeleverd.

20-12-11 van 9.00 tot 14.30

- Uitvoeren experiment warmtegeleiding (zie labjournaal).

24-12-11 van 14.00 tot 15.30

- Doorlezen bestanden Wijnb Sommer.

29-12-11 van 13.00 tot 19.00
- Verwerken resultaten.
- Werken aan conceptverslag.

03-01-12 van 12.15 tot 17.30
- Werken aan conceptverslag.

03-01-12 van 20.00 tot 20.30
- Werken aan conceptverslag.

04-01-12 van 13.00 tot 17.30
- Werken aan conceptverslag.

05-01-12 van 12.45 tot 16.30
- Werken aan conceptverslag.

06-01-12 van 12.00 tot 19.00
- Werken aan conceptverslag.

07-01-12 van 18.30 tot 22.00
- Werken aan conceptverslag.

08-01-12 van 12.30 tot 18.30
- Werken aan conceptverslag.

08-01-12 van 20.30 tot 21.30
- Werken aan conceptverslag.

09-01-12 van 9.00 tot 16.00
- Werken aan conceptverslag.

8.2 Individueel logboek Jordy

7-11-11 van 11.45 tot 13.00

- Startbijeenkomst: algemene informatie over de thesis.

21-11-11 van 10.30 tot 13.00

- Op internet gezocht en site gevonden: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Koude-warmte-opslag>

- Inlezen onderwerp.
- Wachten tot bekendmaking begeleider en contact zoeken met begeleider.
- Nog geen afspraak kunnen maken i.v.m. drukte begeleider.

28-11-11 van 9.45 tot 13.30

- Op internet gezocht en sites doorgelezen van Christiaan en Patrick.
- Op internet gezocht en site gevonden: <http://www.energy-os.com/?SeiyKG6RIADO6Fj4tf50b6emhy9NNJGKSJt4ot9vKHYluqfRqyBlpgCVTISCVTIS>

01-12-11 van 14.30 tot 15.00

- Gebeld met faculteit, secretaresse Evertman gesproken, notitie gemaakt, mobiel nummer gekregen van Ruud Schotting: 06-26024619.
- Gebeld op mobiel nummer en voicemail ingesproken.
- Teruggebeld door Ruud Schotting. Eerste afspraak gemaakt voor een gesprek, maandag 5 december om 10 uur.

05-12-11 van 9.00 tot 16.30

- Gesprek met Ruud Schotting.
- Verdiepende theorie uitleg van Ruud Schotting.
- Met elkaar een onderzoeksplan en opzet van het verslag gemaakt.
- Contact gelegd met deskundigen, o.a. Coen Hellebrand van IF Technology en Wijnb Sommer van Deltares, voor een afspraak.
- Formulier 1 ingevuld.
- Gesprek met Wijnb Sommer.
- Rondleiding van Wijnb Sommer in Deltares en de meetkeet van de WKO van de UU.

12-12-11 van 9.00 tot 17.00

- Gesprek met Ruud Schotting.
- Rudi Borkus gesproken i.v.m. klaarzetten experimentopstelling.
- Uitleg van de theorie van het uit te voeren practicum van Ruud Schotting.
- Uitleg van Muhammed Imran over zijn eigen experimenten betreffende warmtegeleiding.
- Uitvoeren experiment warmtegeleiding (zie labjournaal).

19-12-11 van 9.00 tot 17.00

- Uitvoeren experiment warmtegeleiding (zie labjournaal).
- Formulier 1 ingeleverd en formulier 2 gemaakt en ingeleverd.

20-12-11 van 9.00 tot 14.30

- Uitvoeren experiment warmtegeleiding (zie labjournaal).

27-12-11 van 13.00 tot 14.00

- Doorlezen bestanden Wijnb Sommer.

29-12-11 van 13.00 tot 19.00
- Verwerken resultaten.
- Werken aan conceptverslag.

02-01-12 van 14.30 tot 15.45
- Doorlezen bestanden Wijb Sommer.

03-01-12 van 12.15 tot 17.30
- Werken aan conceptverslag.

04-01-12 van 13.00 tot 17.30
- Werken aan conceptverslag.

05-01-12 van 12.45 tot 16.30
- Werken aan conceptverslag.

06-01-12 van 12.00 tot 19.00
- Werken aan conceptverslag.

07-01-12 van 18.30 tot 22.00
- Werken aan conceptverslag.

08-01-12 van 12.30 tot 18.30
- Werken aan conceptverslag.

08-01-12 van 20.30 tot 21.30
- Werken aan conceptverslag.

09-01-12 van 9.00 tot 16.00
- Werken aan conceptverslag.

8.3 Individueel logboek Patrick

7-11-11 van 11.45 tot 13.00

- Startbijeenkomst: algemene informatie over de thesis.

21-11-11 van 10.30 tot 13.00

- Op internet gezocht en site doorgelezen van Jordy.
- Inlezen onderwerp.
- Wachten tot bekendmaking begeleider en contact zoeken met begeleider.
- Nog geen afspraak kunnen maken i.v.m. drukte begeleider.

28-11-11 van 9.45 tot 13.30

- Site gevonden en informatie gezocht:
<http://www.nvoe.nl/Page/nctrue/sp5793/index.html>
- Op internet gezocht en sites doorgelezen van Christiaan en Jordy.

05-12-11 van 9.00 tot 16.30

- Gesprek met Ruud Schotting.
- Verdiepende theorie uitleg van Ruud Schotting.
- Met elkaar een onderzoeksplan en opzet van het verslag gemaakt.
- Contact gelegd met deskundigen, o.a. Coen Hellebrand van IF Technology en Wijnb Sommer van Deltares, voor een afspraak.
- Formulier 1 ingevuld.
- Gesprek met Wijnb Sommer.
- Rondleiding van Wijnb Sommer in Deltares en de meetkeet van de WKO van de UU.

12-12-11 van 9.00 tot 17.00

- Gesprek met Ruud Schotting.
- Rudi Borkus gesproken i.v.m. klaarzetten experimentopstelling.
- Uitleg van de theorie van het uit te voeren practicum van Ruud Schotting.
- Uitleg van Muhammed Imran over zijn eigen experimenten betreffende warmtegeleiding.
- Uitvoeren experiment warmtegeleiding (zie labjournaal).

19-12-11 van 9.00 tot 17.00

- Uitvoeren experiment warmtegeleiding (zie labjournaal).
- Formulier 1 ingeleverd en formulier 2 gemaakt en ingeleverd.

20-12-11 van 9.00 tot 14.30

- Uitvoeren experiment warmtegeleiding (zie labjournaal).

29-12-11 van 13.00 tot 19.00

- Verwerken resultaten.
- Werken aan conceptverslag.

03-01-12 van 12.15 tot 17.30

- Werken aan conceptverslag.

04-01-12 van 13.00 tot 17.30

- Werken aan conceptverslag.

04-01-12 van 22.30 tot 23.15
- Doorlezen bestanden Wijb Sommer.
- Werken aan conceptverslag.

05-01-12 van 12.45 tot 16.30
- Werken aan conceptverslag.

06-01-12 van 12.00 tot 19.00
- Werken aan conceptverslag.

07-01-12 van 14.30 tot 22.00
- Werken aan conceptverslag.

08-01-12 van 12.30 tot 18.30
- Werken aan conceptverslag.

09-01-12 van 9.00 tot 16.00
- Werken aan conceptverslag.