

Beste masterproef ooit al geschreven

Thesis voorgedragen tot het behalen
van de graad van Master of Science
in de ingenieurswetenschappen:
energie

Promotor:

Prof. dr. ir. L. Helsen

Assessoren:

Ir. W. Eetveel

W. Eetrest

Begeleiders:

Dr. ir. M. Sourbron

Ir. B. van der Heijde

© Copyright KU Leuven

Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van zowel de promotor als de auteur is overnemen, kopiëren, gebruiken of realiseren van deze uitgave of gedeelten ervan verboden. Voor aanvragen tot of informatie i.v.m. het overnemen en/of gebruik en/of realisatie van gedeelten uit deze publicatie, wend u tot Faculteit Ingenieurswetenschappen, Kasteelpark Arenberg 1 bus 2200, B-3001 Heverlee, +32-16-321350.

Voorafgaande schriftelijke toestemming van de promotor is eveneens vereist voor het aanwenden van de in deze masterproef beschreven (originele) methoden, producten, schakelingen en programma's voor industrieel of commercieel nut en voor de inzending van deze publicatie ter deelname aan wetenschappelijke prijzen of wedstrijden.

Voorwoord

Dit is mijn dankwoord om iedereen te danken die mij bezig gehouden heeft. Hierbij dank ik mijn promotor, mijn begeleider en de voltallige jury. Ook mijn familie heeft mij erg gesteund natuurlijk.

Inhoudsopgave

Voorwoord	i
Samenvatting	iii
Lijst van figuren en tabellen	iv
Lijst van afkortingen en symbolen	v
1 Inleiding	1
1.1 Lorem ipsum 4–5	1
1.2 Lorem ipsum 6–7	1
2 Het eerste hoofdstuk	3
2.1 Eerste onderwerp in dit hoofdstuk	3
2.2 Tweede onderwerp in dit hoofdstuk	3
2.3 Besluit van dit hoofdstuk	4
3 Een volgend hoofdstuk	5
3.1 Eerste onderwerp in dit hoofdstuk	5
3.2 Figuren	5
3.3 Tabellen	5
3.4 Lorem ipsum	6
3.5 Besluit van dit hoofdstuk	8
4 Het laatste hoofdstuk	9
4.1 Eerste onderwerp in dit hoofdstuk	9
4.2 Tweede onderwerp in dit hoofdstuk	9
4.3 Besluit van dit hoofdstuk	9
5 Besluit	11
A De eerste bijlage	15
A.1 Meer lorem	15
A.2 Lorem 51	16
B De laatste bijlage	17
B.1 Lorem 20-24	17
B.2 Lorem 25-27	18
Bibliografie	19

Samenvatting

In dit **abstract** environment wordt een al dan niet uitgebreide samenvatting van het werk gegeven. De bedoeling is wel dat dit tot 1 bladzijde beperkt blijft.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Lijst van figuren en tabellen

Lijst van figuren

3.1 Het KU Leuven logo.	5
---------------------------------	---

Lijst van tabellen

3.1 Een tabel zoals het niet moet.	6
3.2 Een tabel zoals het beter is.	6

Lijst van afkortingen en symbolen

Afkortingen

LoG	Laplacian-of-Gaussian
MSE	Mean Square error
PSNR	Peak Signal-to-Noise ratio

Symbolen

42	“The Answer to the Ultimate Question of Life, the Universe, and Everything” volgens de [?]
c	Lichtsnelheid
E	Energie
m	Massa
π	Het getal pi

Hoofdstuk 1

Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het werk ingeleid. Het doel wordt gedefinieerd en er wordt uitgelegd wat de te volgen weg is (beter bekend als de rode draad).

Als je niet goed weet wat een masterproef is, kan je altijd Wikipedia[?] eens nakijken.

1.1 Lorem ipsum 4–5

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

1.2 Lorem ipsum 6–7

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam

dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Hoofdstuk 2

Het eerste hoofdstuk

Een hoofdstuk behandelt een samenhangend geheel dat min of meer op zichzelf staat. Het is dan ook logisch dat het begint met een inleiding, namelijk het gedeelte van de tekst dat je nu aan het lezen bent.

2.1 Eerste onderwerp in dit hoofdstuk

De inleidende informatie van dit onderwerp.

2.1.1 Een item

De bijbehorende tekst. Denk eraan om de paragrafen lang genoeg te maken en de zinnen niet te lang.

Een paragraaf omvat een gedachtengang en bevat dus steeds een paar zinnen. Een paragraaf die maar één lijn lang is, is dus uit den boze.

2.2 Tweede onderwerp in dit hoofdstuk

Er zijn in een hoofdstuk verschillende onderwerpen. We zullen nu veronderstellen dat dit het laatste onderwerp is.

2.2.1 Een item

Maak ook geen misbruik van opsommingen. Voor korte opsommingen gebruik je geen “`itemize`” of “`enumerate`” commando’s. Doe dus *niet* het volgende:

De Eiffeltoren bevat drie verdiepingen:

- de eerste;
- de tweede;
- de derde.

Maar doe:

De Eiffeltoren bevat drie verdiepingen: de eerste, de tweede en de derde.

2.3 Besluit van dit hoofdstuk

Als je in dit hoofdstuk tot belangrijke resultaten of besluiten gekomen bent, dan is het ook logisch om het hoofdstuk af te ronden met een overzicht ervan. Voor hoofdstukken zoals de inleiding en het literatuuroverzicht is dit niet strikt nodig.

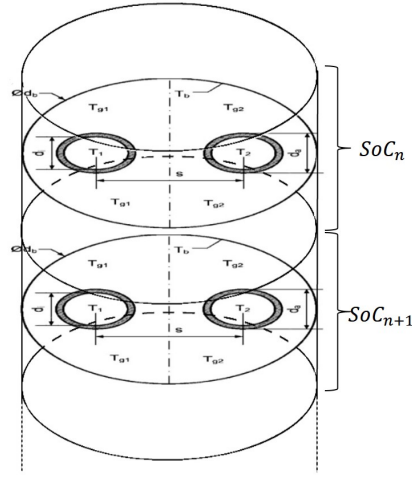
```
[a4paper,oneside,11pt]report
[a4paper,top=2cm,bottom=2cm,left=3cm,right=2cm]geometry parskip
[latin1]inputenc lmodern dsfont amsfonts,amsthm, tabularx enumerate
graphicx,subcaption float [font=small,labelfont=bf]caption [format=plain,indent=1cm]caption
eurosym [squaren,Gray]SIunits amsmath,amsfonts,amsthm,mathrsfs,MnSymbol pifont
color [dutch]babel titling epstopdf stackengine graphicx hyperref
[table]name=Tabel
*argmin
figuresection tablesection equationsection
```

4 Definitie

De meest algemene definitie van de ladingstoestand (SoC) is de verhouding tussen de huidige energie-inhoud $E(t)$ en de maximale energie-inhoud E_{max} die een boorveld kan bezitten. [?]

$$SoC = E(t)E_{max} \quad (2.1)$$

In de diepte bestaat een boorveld uit verschillende lagen aangezien de bodemeigenschappen van de verschillende bodemlagen sterk kunnen verschillen. Stel nu dat het boorveld bestaat uit N lagen, dan kan voor elke laag n de ladingstoestand, SoC_n opgesteld worden. De totale ladingstoestand, SoC_{tot} , volgt dan uit deze individuele ladingstoestanden. Figuur ?? toont de doorsnede van een U-boorveld met 2 lagen.



FIGUUR 2.1: Doorsnede van een U-boorveld met 2 lagen.

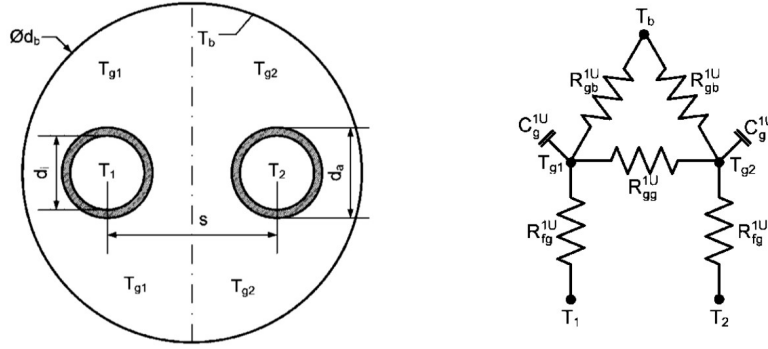
Door gebruik te maken van thermische weerstanden en thermische warmtecapaciteiten, kan per laag een equivalent schema opgesteld worden, zoals getoond in Figuur ?? en Figuur ?? [?]. Met behulp van dit equivalent schema is de definitie voor de ladingstoestand van laag n, SoC_n , de volgende.[?]

$$SoC_n = \sum_{i=1}^k m_{i,n} \cdot c_{p_{i,n}} \cdot (T_{i,n}(t) - T_{n,ref}) \sum_{i=1}^k m_{i,n} \cdot c_{p_{i,n}} \cdot (T_{i,n,max} - T_{n,ref}) \quad (2.2)$$

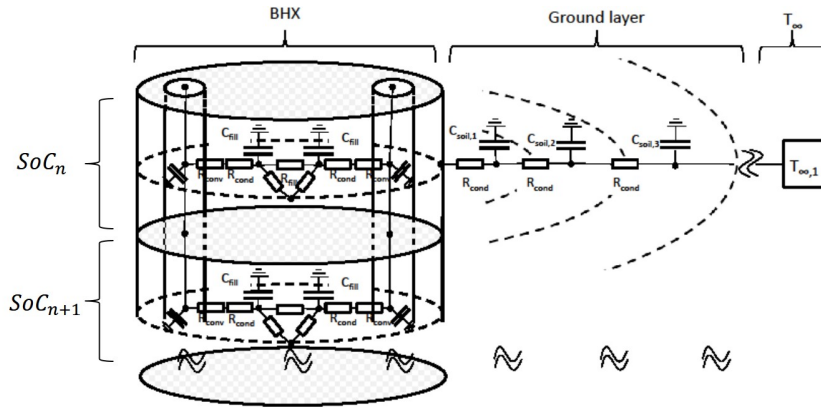
Hieruit volgt dan ook de definitie van de totale ladingstoestand, SoC_{tot} door te sommeren over de verschillende lagen.

$$SoC_{tot} = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^k m_{i,n} \cdot c_{p_{i,n}} \cdot (T_{i,n}(t) - T_{n,ref}) \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^k m_{i,n} \cdot c_{p_{i,n}} \cdot (T_{i,n,max} - T_{n,ref}) \quad (2.3)$$

In Modelica bibliotheek "IDEAS" is er een model beschikbaar dat zowel korte termijn als lange termijn combineert (Damien Picard en Prof. Helsen) [?], [?].



FIGUUR 2.2: Equivalent schema van één laag.



FIGUUR 2.3: Weergave van het equivalent schema voor verschillende lagen.

Een belangrijke input in dit model is de referentietemperatuur. Een eerste mogelijke keuze is het gebruiken van de wettelijke temperatuurslimiet. Deze wettelijke limiet ligt in België op een minimum van 0 C en een maximum van 25 C [1]. Bij deze keuze behaalt de ladingstoestand waarschijnlijk nooit een waarde van 0 of 1 aangezien de temperatuur deze limieten niet bereikt. Een tweede optie bestaat erin om de technische limieten te gebruiken. Bijvoorbeeld voor koeling van een gebouw moet de grondtemperatuur lager blijven dan de temperatuur die nodig is om de ruimte te koelen. Maar tegelijkertijd moet de grondtemperatuur ook hoger zijn dan de vriestemperatuur van het koelmiddel.

$$T_{vries} < T_{grond} < T_{aanvoer,koeling} \quad (2.4)$$

Analoog voor de verwarming van een gebouw.

$$T_{aanvoer,verwarming} < T_{grond} < T_{kook} \quad (2.5)$$

Om de grootste range, van waarde 0 tot 1, van de ladingstoestand te behalen is het nuttig om de werkelijke gebruikslimieten te gebruiken. Deze werkelijke gebruikslimieten kunnen veranderlijk zijn in de tijd.

5 Invloedsfactoren

Om een gepast model op te stellen, is het belangrijk de invloed van parameters en eigenschappen te kennen en welke nauwelijks invloed hebben. Belangrijk hierbij op de merken is dat de bepaling van deze parameters en eigenschappen mogelijk moet zijn, ofwel enerzijds door metingen uit te voeren of door databanken te raadplegen. **De gegevens moeten ook bruikbaar zijn in een regelaar.**

Een opsomming van de mogelijke invloedsfactoren op de ladingstoestand staat hieronder. De factoren met de grootste invloed op de ladingstoestand, onderstreept in onderstaande lijst, worden verder toegelicht.

- Bodemeigenschappen
 - Bodemstructuur en materiaal van de bodem
 - Thermische conductiviteit (k)
 - Thermische diffusiviteit (α)
 - Volumetrische warmtecapaciteit (c)
 - Porositeit (φ)
- Temperatuur
 - Temperatuur aan grondoppervlak
- Grondwaterstroming
- Dimensies
 - Lengte van het boorgat
 - Lay-out van het boorgatenergieopslagveld
- Bodemsaturatie

Thermische conductiviteit, diffusiviteit en warmtecapaciteit

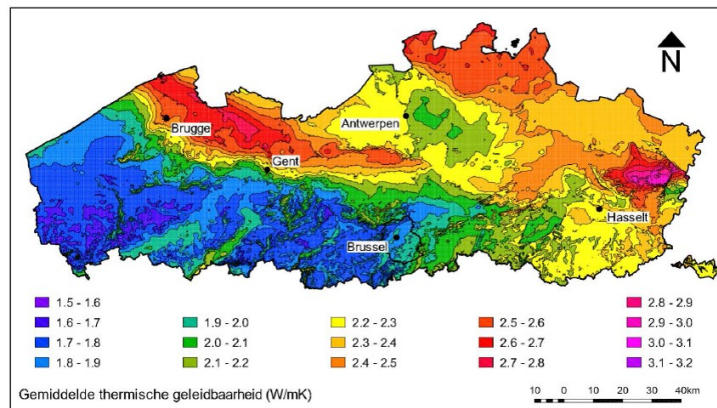
De thermische conductiviteit k , thermische diffusiviteit α en de volumetrische warmtecapaciteit c zijn gelinkt via volgende relatie.

$$\alpha = k\rho.c_p = kc \quad (2.6)$$

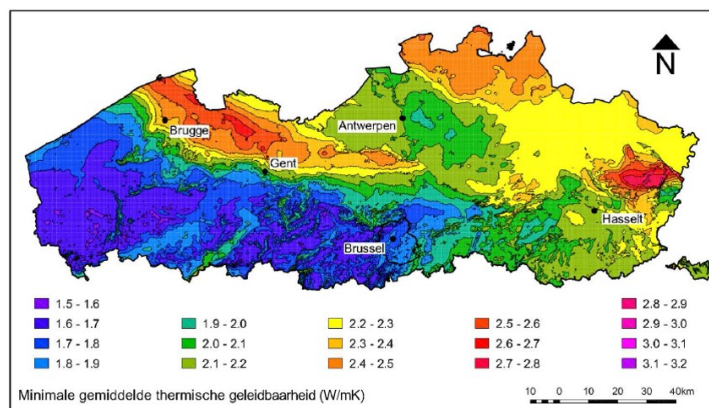
De meest geschikte toepassing van het energieopslagveld is afhankelijk van de thermische conductiviteit. Bij een grote thermische conductiviteit, regenereert de bodem snel. De bodem is dan het meest geschikt als een dissipator van energie. Dit is zo als de warmtevraag ongebalanceerd is, enkel een warmtevraag of koudevraag gedurende het hele jaar. Is de thermische conductiviteit klein, dan is de bodem geschikt als energieopslag. De warmtevraag dient dan gebalanceerd te zijn. Gedurende het jaar is er vraag naar warmte en koeling.

Smart Geotherm stelt geschiktheidskaarten ter beschikking. Er zijn kaarten verkrijgbaar voor de gemiddelde thermische conductiviteit (Figuur ??), de maximale gemiddelde thermische conductiviteit (Figuur ??) en de minimale gemiddelde thermische conductiviteit (Figuur ??) voor een diepte van 100 m of tot de diepte van een vaste rots []. De gemiddelde thermische conductiviteit bepaalt meestal de meest geschikte toepassing. Sectie ?? behandelt de invloed van het gebruik van de gemiddelde, maximale of minimale thermische conductiviteit op de ladingstoestand.

Tekst toevoegen: Vereenvoudiging lagen door equivalente parameters.



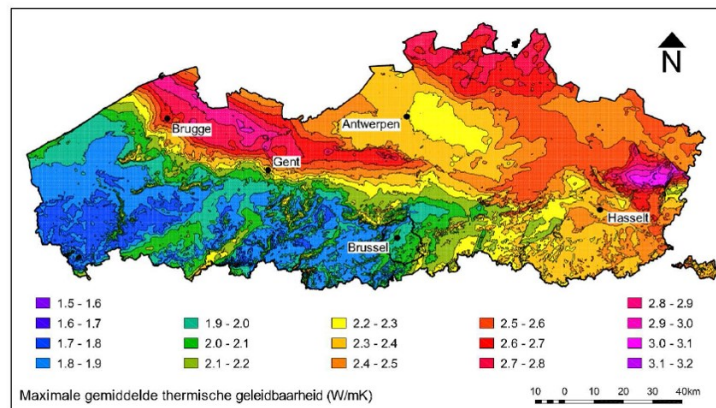
FIGUUR 2.4: Gemiddelde thermische geleidbaarheid tot op een diepte van 100 m of tot op de vaste rots.



FIGUUR 2.5: Minimale gemiddelde thermische geleidbaarheid tot op een diepte van 100 m of tot op de vaste rots.

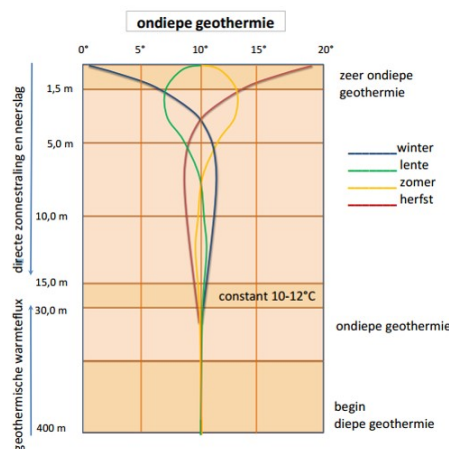
Temperatuur van grondoppervlak

Voor de bovenste lagen van de bodem ondervinden een invloed van de buitentemperatuur aan het grondoppervlak. Figuur ?? geeft dit temperatuursverloop weer. Vanaf



FIGUUR 2.6: Maximale gemiddelde thermische geleidbaarheid tot op een diepte van 100 m of tot op de vaste rots.

een diepte van 10 á 30 m is de temperatuur nagenoeg constant (10 - 12 °C). Hierna stijgt de temperatuur met 3 °C per 100 m [1]. Indien deze eerste 10 á 30 m relatief een significant deel vormt van de diepte van het boorgat, dient dit temperatuursverloop in rekening gebracht te worden.



FIGUUR 2.7: Temperatuursverloop in functie van de diepte.

Grondwaterstroming

De eventuele aanwezigheid van grondwaterstroming heeft een invloed op de temperatuurverdeling rondom het boorveld. Indien de temperatuurverdeling niet meer symmetrisch is rondom het boorgatenergieopslagveld heeft dit een invloed op de modellering. Grondwaterstroming zorgt ervoor dat de bodem sneller regenereert waardoor het geschikt is voor energiedissipatie. Een karakteristiek getal voor grond-

waterstroming is het Péclet-getal Pe .

$$Pe = r_b \cdot v \alpha = r_b \cdot \Phi \alpha \cdot \varphi \quad (2.7)$$

Hierbij is v niet de snelheid waarmee de vloeistof door de poriën stroomt, maar wel de Darcysnelheid. Slechts een fractie van het volume is echter beschikbaar voor stroming.

Lay-out

De lay-out van een boorveld kan een lijn of een meer compacte vorm, een matrix vorm, zijn. (Figuur 7) Samen met de eventuele aanwezigheid van grondwaterstroming heeft de lay-out een sterke invloed op de temperatuurverdeling, op het temperatuursverloop in de tijd, alsook de tijd om een evenwichtstoestand te bereiken en op de efficiëntie van het boorgatenergieopslagveld. Ook het feit of de vraag gebalanceerd of ongebalanceerd is speelt een rol.

Bij volgende simulaties werd de invloed van de temperatuur van het grondoppervlak verwaarloosd [?]. Voor een gebalanceerde vraag met grondwaterstroming heeft grondwaterstroming nauwelijks effect, ongeacht de lay-out. Indien de vraag daarentegen ongebalanceerd is, kan dit een sterke invloed hebben op het temperatuursverloop [?]. (Figuur 8)

Bij een ongebalanceerde vraag is de invloed van grondwaterstroming significant. Het koudste punt van de temperatuurverdeling verplaatst zich stroomafwaarts buiten het middelpunt van de matrix lay-out. Figuur ?? geeft de temperatuurverdeling van een boorgatenergieopslagveld met matrix lay-out weer[?].

De invloed van de lay-out bij een ongebalanceerde warmtevraag en zonder grondwaterstroming is weergegeven in Figuur ???. Hierbij dient aandacht besteed te worden aan de afstandsschaal. 10 m buiten het middelpunt bij de matrix lay-out bereikt de grond gemiddeld een temperatuur van 4 C. Bij de lijn lay-out is de temperatuur 10 m buiten de lijn 8 C. Dit is een significant verschil [?].

De efficiëntie van een boorveld daalt bij een vierkante lay-out. Dit hangt ook sterk samen met een gebalanceerde, warmte en koudevraag, of een ongebalanceerde warmtevraag.

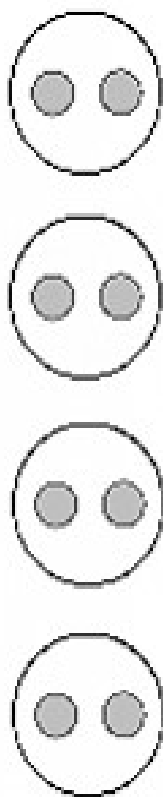
Bodemsaturatie

De graad van bodemsaturatie S geeft de waterinhoud van de bodem weer. De waarde van S ligt tussen 0 en de porositeit φ .

$$S = V_{water} V_{water} + v_{lucht} + V_{materiaal} \quad (2.8)$$

De bodemsaturatie is afhankelijk van de locatie in het boorgatenergieopslagveld. Bij een stijgende graad van saturatie, stijgt de thermische conductiviteit k alsook de thermische diffusiviteit α . Aangezien de bodemsaturatie ook verandert in de tijd, zijn de thermische conductiviteit en thermische diffusiviteit ook tijdsafhankelijk [?].

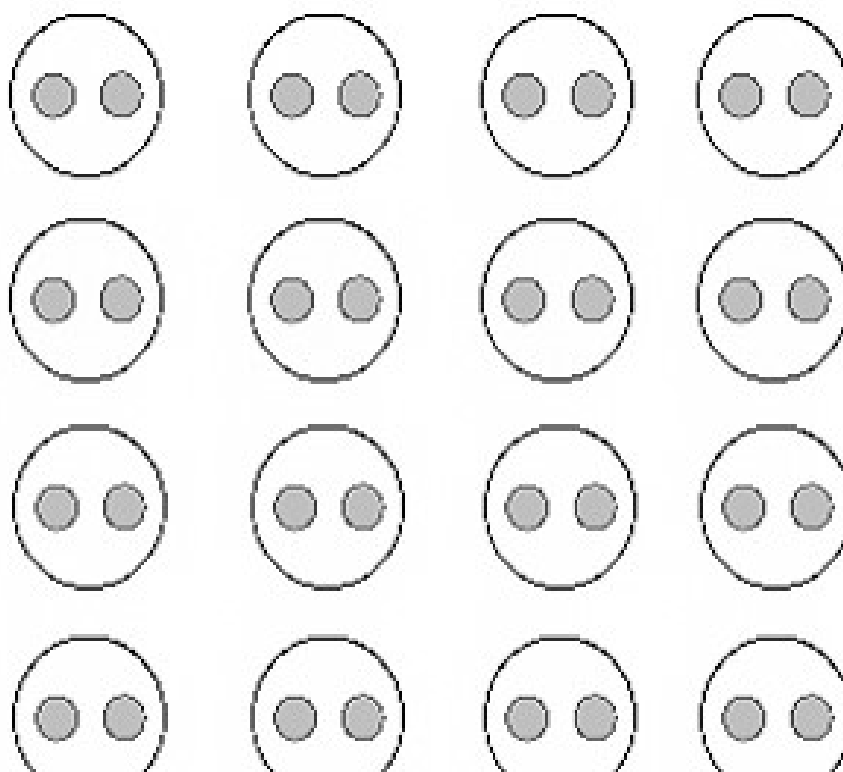
Figuur invoegen

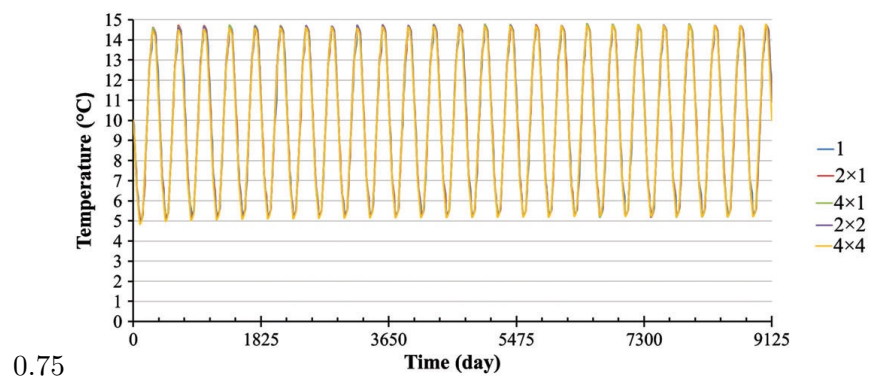


0.3

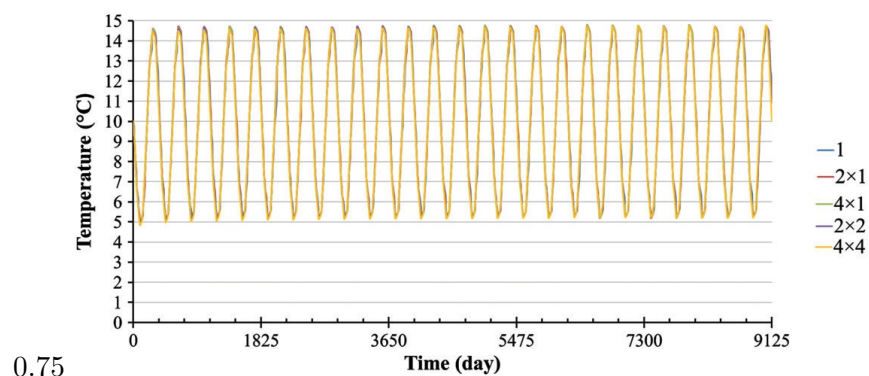
FIGUUR 2.8: Lijn lay-out

0.3



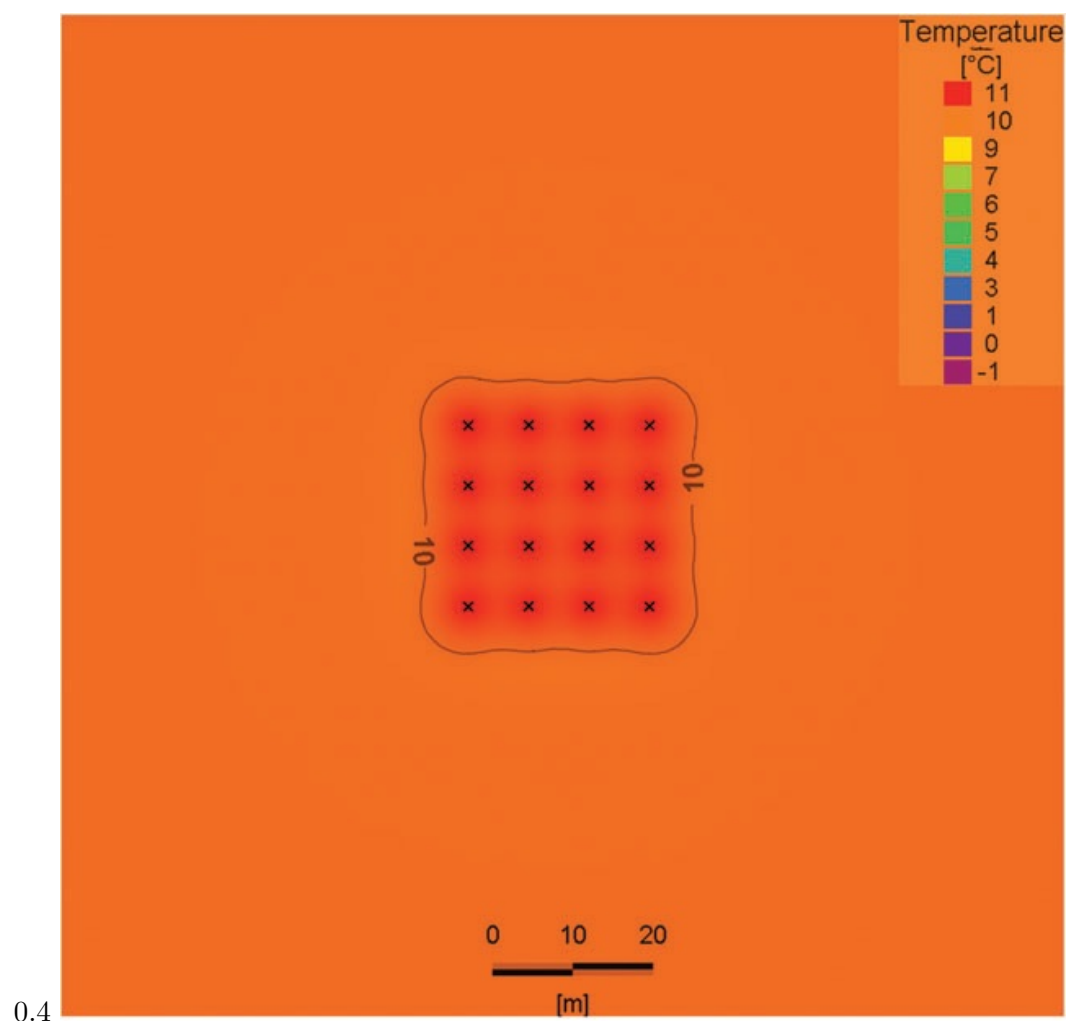


FIGUUR 2.11: Gebalanceerde vraag met grondwaterstroming.

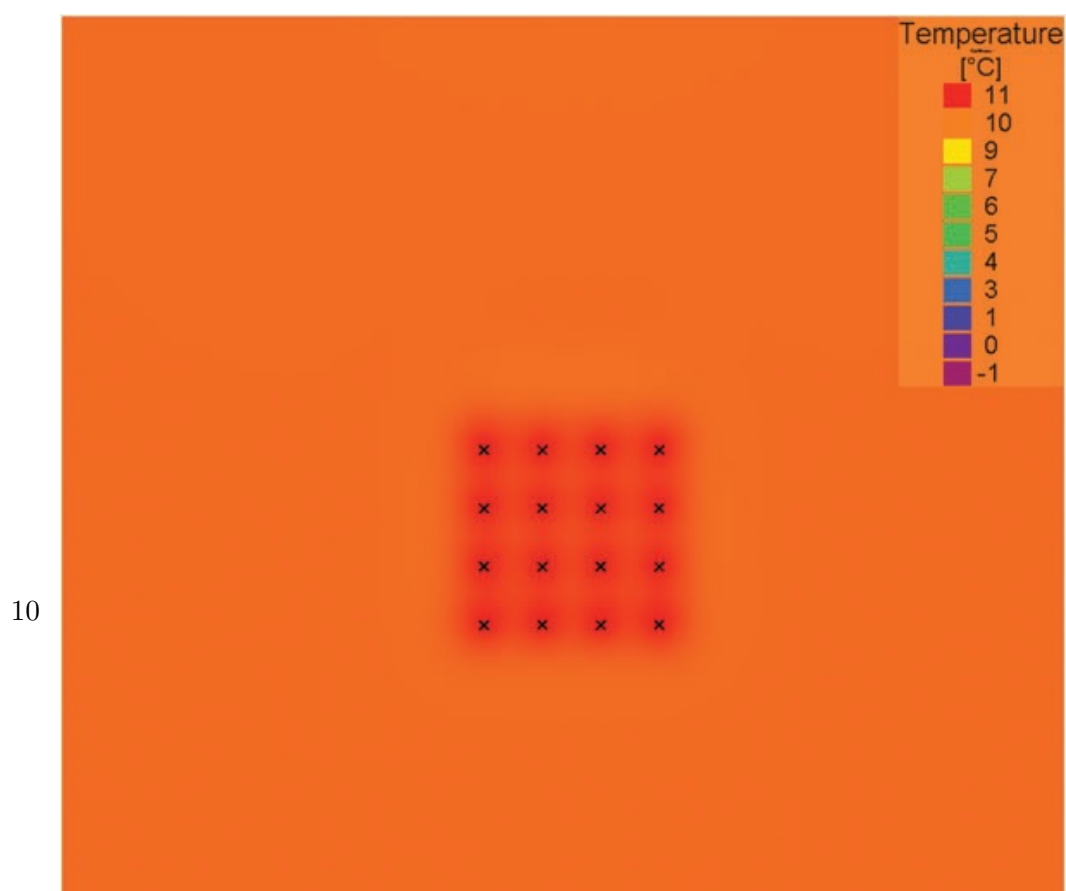


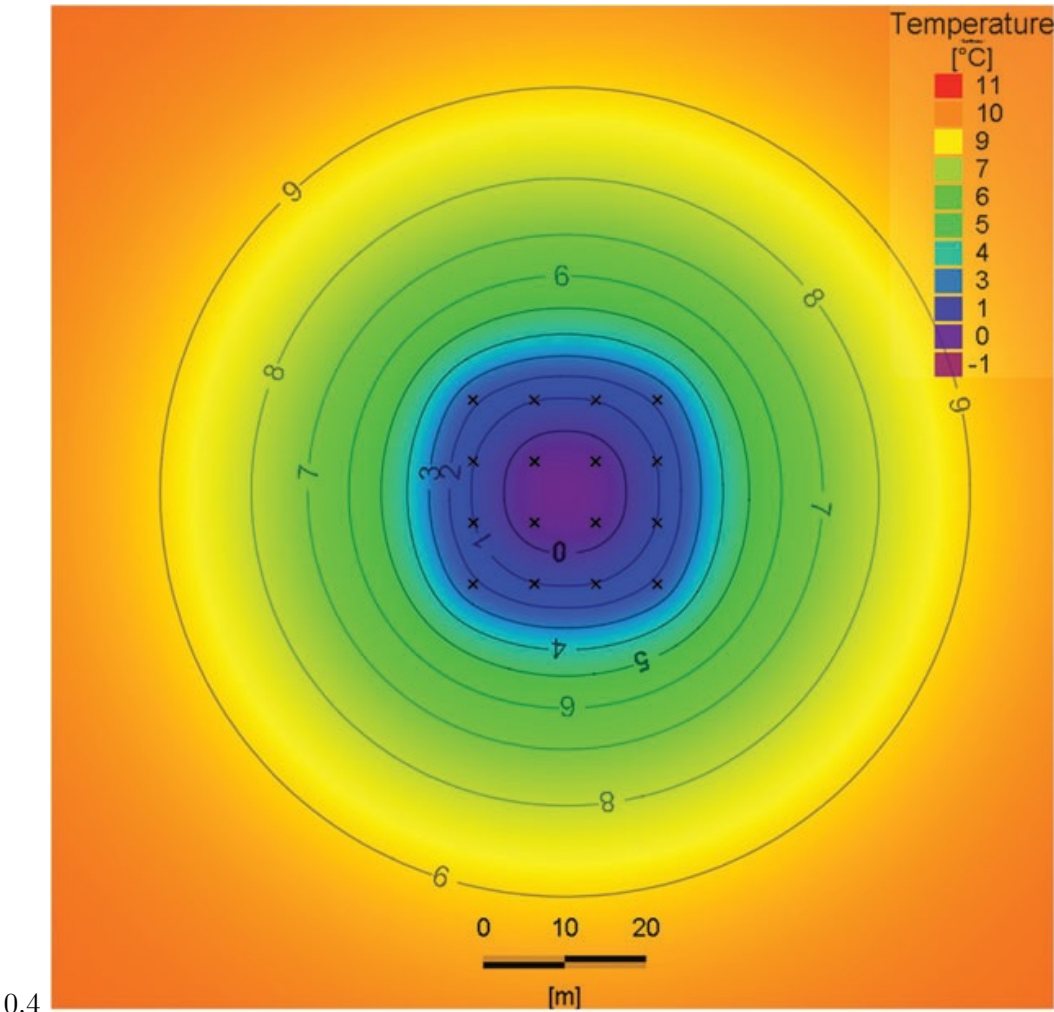
FIGUUR 2.12: Ongebalanceerde vraag met grondwaterstroming.

FIGUUR 2.13: De grondtemperatuur doorheen de tijd.

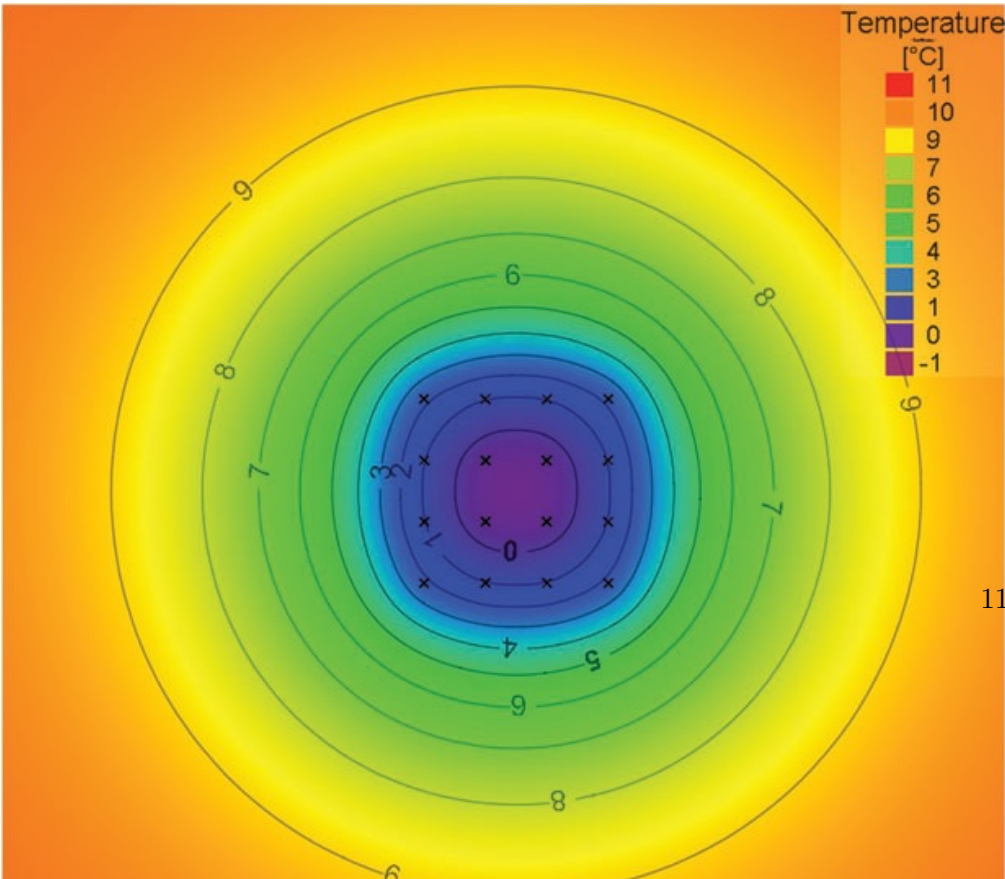


FIGUUR 2.14: Gebalanceerde vraag zonder grondwaterstroming.





FIGUUR 2.19: Matrix lay-out.



Bibliografie

Fiche masterproef

Student:

Titel: Beste masterproef ooit al geschreven

Engelse titel: The best master thesis ever

UDC: 621.3

Korte inhoud:

Hier komt een heel bondig abstract van hooguit 500 woorden. \LaTeX commando's mogen hier gebruikt worden. Blanco lijnen (of het commando `\par`) zijn wel niet toegelaten!

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Thesis voorgedragen tot het behalen van de graad van Master of Science in de ingenieurswetenschappen: energie

Promotor: Prof.dr.ir. L. Helsen

Assessoren: Ir. W. Eetveel
W. Eetrest

Begeleiders: Dr.ir. M. Sourbron
Ir.B. van der Heijde