

Energianlæg baseret på jordvarmeboringer - udvikling af markedsfremmende værktøjer og best practice

Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrations Program (EUDP)
Område: Energieffektivisering
Program: EUDP 10-II
J.nr.: 64011-0003

D25 Opsummerende projektrapport

D23 Guidelines og anbefalinger

GeoEnergi

Energianlæg baseret på jordvarmeboringer - udvikling af markedsfremmende værktøjer og best practice

Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrations Program (EUDP)

Tema: Energieffektivisering

Program: EUDP 10-II

J.nr.: 64011-0003

Projekt start: 2011-03-01

Varighed: 3 år

D25 Opsummerende projektrapport & D23 anbefalinger og guidelines

Version: 0

Ansvarlig for denne leverance

GEUS

Leverance:	D25 Opsummerende projektrapport samt D23 Anbefalinger og guidelines
Work package:	WP8 Vejledninger og endelig formidling
Ansvarlig partner:	GEUS
Dato	10. august 2014

Authors		
Navn	Organisation	E-mail
Claus Ditlefsen	GEUS	cdi@geus.dk
Ingelise Møller Balling	GEUS	ilm@geus.dk
Anker Lajer Højberg	GEUS	alh@geus.dk
Lærke Thorling Sørensen	GEUS	lts@geus.dk
Inga Sørensen	VIA UC	INGA@VIA.DK
Henrik Bjørn	VIA UC	HBJ@VIA.DK
Niels Balling	GeoScience A.U.	niels.balling@geo.au.dk

Projektet "GeoEnergi, Energianlæg baseret på jordvarmeboringer – udvikling af markedsfremmende værktøjer og best practice", har til formål at bane vejen for en større udbredelse i Danmark af varmepumpesystemer baseret på jordvarmeboringer - en teknologi med stort potentiale for CO₂ reduktioner og energieffektivisering. Det skal ske ved at tilvejebringe og formidle viden, værktøjer og best practice for planlægning og design af boringer og anlæg.

Projektet finansieres af partnergruppen og Energistyrelsens EUDP program og løber i 3 år fra 1. marts 2011. Partnerne er:

- De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS)
- VIA University College, Horsens (VIA UC)
- Geologisk Institut, Aarhus Universitet (GIAU)
- Den Jydske Haandværkerskole (DJH)
- Dansk Miljø- & Energistyring A/S (DME)
- GeoDrilling A/S (GeoD)
- Brædstrup Fjernvarme AMBA (BrFj)
- DONG Energy Power A/S (DONG)
- Robert Bosch A/S IVT Naturvarme (BOSCH)

Arbejdsprogrammet er fordelt på 8 work packages og projektets aktiviteter omfatter:

- Indsamling og analyse af eksisterende information og erfaring samt identifikation af nøgleparametre for planlægning, design og installation af varmepumpesystemer baseret på jordvarmeboringer.
- Systematisk kortlægning og måling af overfladetemperaturer, temperaturgradienter og termiske egenskaber af forskellige jordarter og materialer.
- Optimering af systemdesign i forhold til miljø og økonomi baseret på erfaringer fra eksisterende installationer og opbygning af en ny test site. Analyser vil omfatte borearbejde og udstøbning af boringer, automatisering af systemer, beregning af energibalance, energilagring (opvarmning og afkøling) samt modellering af varme- og grundvandsstrømning.
- Opbygning af en database med resultater fra indsamling af eksisterende informationer, måleprogrammer og kortlægningsarbejde.
- Oplysnings- og informationsaktiviteter, offentlig webbaseret database, kursusmateriale til uddannelse og efteruddannelse, workshops og seminarer, tekniske vejledninger og forslag til udbygning af administrationsgrundlag.

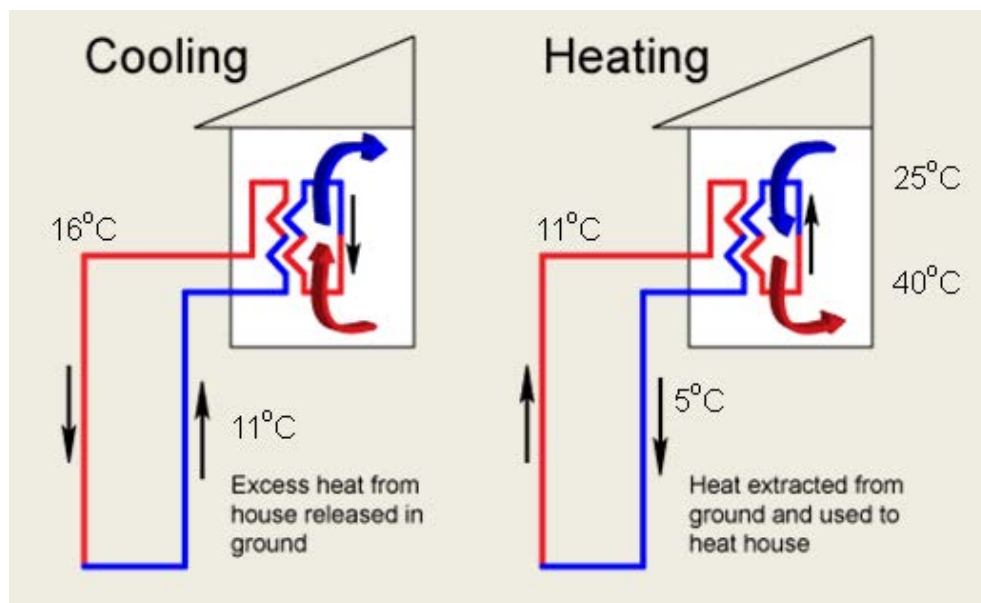
INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1	INTRODUKTION..... 3
2	ANBEFALINGER FRA INTERNATIONAL WORKSHOP..... 6
2.1	Jordarter og bestemmelse af deres termiske egenskaber 6
2.2	Design, dimensionering og energibehov 6
2.3	Etablering og forsegling (groutning) af borerer 7
2.4	Påvirkning af det omgivende miljø 7
2.5	Modellering af varmestrømning 7
3	FORARBEJDE FØR ETABELRING AF EN JORDVARMEBORING..... 9
4	TEMPERATURFORHOLD 10
4.1	Overfladetemperaturer 10
4.2	Temperaturforhold i jorden 11
4.2.1	Effekt af lokalt klima 12
4.2.2	Temperaturudvikling i dybden 12
4.2.3	Årstidsvariationer 13
4.2.4	Klimabetingede variationer 13
4.2.5	Geologi og temperaturgradient 13
5	GEOLOGI OG GRUNDEVANDSFORHOLD..... 15
5.1	Grundvandsforhold 15
5.2	Jordarternes termiske egenskaber 16
5.2.1	Bestemmelse af varmeledningsevne i almindeligt forekommende sedimenter 16
5.2.2	Vurdering af jordens varmeledningsevne på en ny lokalitet 17
6	MODELLERING AF VARMETRANSPORT 19
6.1	Model-setup 19
6.2	Følsomhedsanalyse 19
6.2.1	Geologi og grundvandsstrømning 19
6.2.2	Boringskonstruktion og drift 21
6.3	Varmelagring 21
7	BORING -UDFØRELSE, INSTALLATION OG FORSEGLING 22
7.1	Materialeegenskaber 22
7.1.1	Slanger og borehulssonder 22
7.1.2	Forseglingmaterialer (grout) 24
7.2	Borearbejde på testsite 25
7.3	Resultater og anbefalinger 26
8	TERMISK RESPONSTEST 28
9	EKSEMPLER OG EVALUERING AF SYSTEMDESIGN..... 30
9.1	Jordvarmeboringer med og uden lagring 30
9.2	Anbefalinger ved systemdesign 31
10	MULIGE MILJØMÆSSIGE PÅVIRKNINGER FRA JORDVARMEBORINGER..... 35
10.1	Effekt af temperatur ændringer 35
10.2	Effekt af utætte borerer 35
10.3	Effekt ved udslip af briner med ethanol og IPA-sprit (isoporpanol) 35
10.4	Effekt af tilsætningsstoffer i brinen 36

11	INFORMATION, KURSER OG EFTERUDDANNELSE	37
11.1	Afholdte aktiviteter.....	37
11.2	Behov for kurser og efteruddannelse.....	39
11.2.1	Videreudvikling af kurser på ingeniørniveau	39
12	ANBEFALINGER OG GUIDELINES.....	40
12.1	Hvad er fordelene ved lukkede jordvarmeboringer frem for andre energikilder?.....	40
12.2	Hvordan er økonomien ved skift til jordvarmeboringer?.....	40
12.3	Hvad er varmebehovet og hvor godt er huset isoleret?	40
12.4	Hvilket areal er tilgængeligt for det aktuelle anlæg?.....	41
12.5	Hvad er planstatus og lovgivning for det valgte areal?	41
12.6	Hvor mange og hvor dybe boringer er der behov for?	41
12.7	Hvem skal udføre arbejdet?.....	42
12.8	Af hvem og hvordan skal boringen udføres?	42
12.9	Hvad skal man eller tage højde for ved installation	43
12.10	Generelle spørgsmål i forbindelse med kommunens sagsbehandling	44

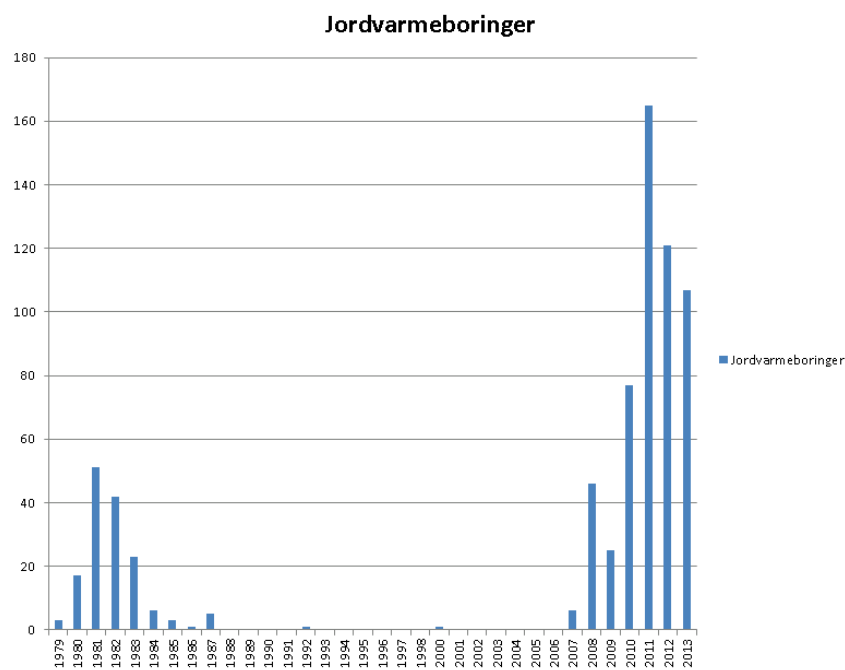
1 INTRODUKTION

Lukkede jordvarmeanlæg består i princippet af en ydre kreds hvor der i slanger cirkuleres en kølevæske (brine) ude i jorden og optager varme (eller kulde) fra de omgivende lag, en varmepumpe, hvor temperaturene hæves (eller sænkes) til brugstemperaturen inde i huset samt en indre kreds hvor energien fra jorden benyttes til varme eller køleformål inde i huset, figur 1.1.



Figur 1.1. Princippet bag indvinding af varme og kulde fra en lukket jordvarmeboring.

Princippet har i en årrække været anvendt i horisontale jordvarmeanlæg hvor der installeres et større udlæg af slager i omtrent en meters dybde. Disse anlæg er imidlertid relativt pladskrævende, og med inspiration af vore nabolande (primært Tyskland og Sverige) har man inden for de seneste 5-7 år set en opblomstring af anlæg der benytter sig af lukkede jordvarmeboringer, se figur 1.2.



Figur 1.2. Antal jordvarmeboringer indberettet til GEUS. Hovedparten af borerne indberettet efter 2007 vurderes at være lukkede jordvarmeboringer.

Det anslås således at der i perioden 2008 til 2013 er blevet etableret mere end 500 lukkede jordvarmeboringer. Da lukkede jordvarmeboringer dog først er blevet indberetningspligtige med seneste revision af ”Brøndborerbekendtgørelsen”, oktober 2013 (på foranledning af GeoEnergi projektet), vurderes antallet dog at være højere end angivet på figur 1.2.

Med en sådan udvikling var der behov for at skabe overblik over erfaring med etablering, drift og miljøbeskyttelsen ved disse anlæg for derigennem at fremme denne CO₂ besparende teknologi. På den baggrund fik GeoEnergi-projektet til formål at bane vejen for en større udbredelse af varmepumpesystemer baseret på jordvarmeboringer i Danmark. Det skulle ske ved at tilvejebringe og formidle viden, værktøjer og best practice for planlægning og design af boringer og anlæg. Nærværende rapport opsummerer resultaterne af GeoEnergi-projektet idet der i teksten løbende henvises til projektets faglige delrapporter.

Projektet er blevet finansieret af partnergruppen og Energistyrelsens EUDP-program. Arbejdet har fagligt været opdelt i otte arbejds pakker (work packages) som beskrevet i figur 1.3.

GeoEnergi Arbejdsprogram							
WP 1 Database og formidling GEUS	WP 2 Udstyr og målemetoder VIAUC	WP 3 Temperaturgradienter og overflade-temperaturer GEUS	WP 4 Boremetoder og grout teknik VIAUC	WP 5 Systemdesign og energibalance VIAUC	WP 6 Kurser og efteruddannelse VIAUC	WP 7 Interaktion med omgivende grundvands-system GEUS	WP 8 Vejledninger og endelig formidling GEUS
Task 1.1 Identifikation af parametre og viden	Task 2.1 Identifikation og test af udstyr	Task 3.1 Vidensindsamling overfladetemp. og temp.gradienter	Task 4.1 Indsamling af eksisterende viden	Task 5.1 Analyse af design scenarier	Task 6.1 Planlægning af kurser	Task 7.1 Udvælgelse af modelkode	Task 8.1 Syntese af resultater fra WP4, WP5 og WP7
Task 1.2 Sammenstilling af geologi	Task 2.2 Måling af termiske egenskaber på jordprøver	Task 3.2 Feltmålinger af temperaturgradienter	Task 4.2 Test af bore- og grout teknikker	Task 5.2 Drift af test site	Task 6.2 Afholdelse af kurser	Task 7.2 Modellering af vand- og varmestrømning	Task 8.2 Samspil/konflikt med andre interesser
Task 1.3 Design og opbygning af database	Task 2.3 Måling af termiske egenskaber på materialer		Task 4.3 Anbefalinger mht. boremetoder og grout teknikker	Task 5.3 Anbefalinger til systemdesign	Task 6.3 Andre formidlingsaktiviteter	Task 7.3 Effekter af ændringer i grundvandstemperatur	Task 8.3 Projektledeelse og -administration
Task 1.4 Koncept for geo-rapporter	Task 2.4 Anbefalinger til udstyr og målemetoder					Task 7.4 Effekter af lækager	Task 8.4 Projektafslutning og formidling

Figur 1.3 Arbejdsprogram og opgaver i GeoEnergi-projektet.

Gennem disse opgaver har der været fokus på følgende forhold og deres betydning for lukkede jordvarmeboringer.

- Internationale erfaringer
- Erfaringer fra igangværende anlæg
- Temperaturforhold i jorden
- Geologiske forhold af betydning for lukkede jordvarmeboringer
- Tekniske forhold af betydning for lukkede jordvarmeboringer
- Systemdesign
- Modellering af varmestrømning
- Mulige påvirkninger af omgivende miljø
- Måling af parametre
- Anbefalinger vedr. design, konstruktion og overvågning

Under projektet er der udarbejdet en række leverancer i form af rapporter, workshops og IT-leverancer m.m. En oversigt over disse med aktive links til projekthjemmesiden fremgår af nedenstående tabel 1.1.

Tabel 1.1: Projektleverancer.

Leverance	Titel	Arbejdspakke (WP)
D1	VIDENSUDVEKSLING OM JORDVARMEBORINGER	1
D2	VIGTIGE PARAMETRE VED DESIGN AF JORDVARMEANLÆG	1
D3	GEOLOGI OG JORDVARMEBORINGER	1
D4	OFFENTLIG DATABASE MED TERMISKE JORDARTSPARAMETRE	1
D5	KONCEPT FOR LOKAL GEORAPPORT	1
D6	OVERFLADENÆRE JORDARTERS TERMISKE EGENSKABER	2
D7	MATERIALERS TERMISKE EGENSKABER	2
D8	GUIDELINES FOR UDSTYR OG MÅLINGER part 1 GUIDELINES FOR UDSTYR OG MÅLINGER part 2	2
D9	OVERFLADETEMPERATURER OG TEMPERATURGRADIENTER	3
D10	BORING, INSTALLATION OG FORSEGLINGSTEKNIK	4
D11	AKTIVITETER PÅ TESTSITE	4
D12	UFORMELT NETVÆRK FOR ANLÆGSEJERE	5
D13	EKSEMPLER OG EVALUERING AF INSTALLATIONSTYPER	5
D14	DESIGN OG INSTALLATION PÅ TESTSITE	5
D15	EKSEMPLER PÅ TYPER AF INSTALLATIONER	5
D16	GUIDELINES FOR SYSTEMDESIGN	5
D17	OM BEHOV FOR EFTERUDDANNELSE	6
D18	KURSUSMATERIALE <ul style="list-style-type: none"> • Om jordvarmeboringer og kommunal sagsbehandling. • Om jordvarmeboringer og grundvandskvalitet. 	6
D19	AFHOLDTE MØDER; WORKSHOPS OG SEMINARER	6
D20	MODELLERING AF VARMETRANSPORT	7
D21	MULIGE MILJØMÆSSIGE PÅVIRKNINGER	7
D22	PROJEKT HJEMMESIDE	8
D23	ANBEFALINGER OG GUIDELINES (nærværende rapport)	8
D24	POPULÆRT INFORMATIONSMATERIALE <ul style="list-style-type: none"> • Om projektet • Om jordvarmeanlæg 	8
D25	OPSUMERENDE PROJEKTRAPPORT (Nærværende rapport)	8
D26	AFSLUTTENDE WORKSHOP FOR INTERESSEENTER	8

2 ANBEFALINGER FRA INTERNATIONAL WORKSHOP

Med henblik på så vidt mulig at inddrage eksisterende viden og internationale erfaringer, blev der den 7. og 8. september 2011 afholdt en workshop om erfaringer med lukkede jordvarmeboringer. Til workshoppen var bl.a. indbudt en række internationale eksperter. Indlæg fra workshoppen er refereret i [D1](#) og nedenstående gives et kort resume af anbefalingerne fra de enkelte sessioner.

2.1 Jordarter og bestemmelse af deres termiske egenskaber

Niels Balling fra Institut for GeoScience ved Aarhus Universitet gav en oversigt over termiske gradienter målt i Danmark. Gradienter på mellem 1 og 3 grader pr. 100 m er fundet i en række dybe boringer. Afvigende temperaturgradienter ses ofte i de øverste 10-40 m som følge af temperaturændringer ved overfladen. Det gælder både årstidsvariationer og historiske klimaforandringer. De overfladenære variationer af den termiske gradient er mindre kendte og anbefales undersøgt nærmere i projektet.

Der eksisterer et generelt kendskab til forskellige jordarters termiske egenskaber. En oversigt er bl.a. givet i den tyske norm for jordvarmeanlæg, VDI standard (4640 Blatt 1) 2010. Blandt disse egenskaber anses den termiske varmeledningsevne at være den parameter der har størst betydning for varmeoptaget i en lukket jordvarmeboring. I VDI 2010 ses imidlertid store variationer inden for den enkelte jordartstype som f.eks. ler. Der findes endvidere kun få publicerede værdier for varmeledningsevnen af danske jordarter (f.eks. Balling m.fl. 1981), og der er behov for en nærmere undersøgelse af varmeledningsevnen i typiske danske jordarter fra de øverste 100-200 m.

Bestemmelsen af varmeledningsevnen i laboratoriet kan være vanskelig, bl.a. fordi temperaturændringer i laboratoriet kan spille ind ligesom vandindholdet i prøverne har stor betydning. Der er behov for at opsamle praktiske erfaringer med udførelse af simple pålidelige målinger.

Termisk responstest foretaget i de aktuelle boringer kan være et godt alternativ til laboratoriemålinger, da resultaterne giver et billede af varmeledningsevnen både i de omgivende jordlag og ved selve boringskonstruktionen. Metoden er udbredt i bl.a. Tyskland og Sverige og findes nærmere beskrevet på <http://www.geotrainet.eu/>.

2.2 Design, dimensionering og energibehov

Ved dimensionering af jordvarmeanlæg er det vigtigt at kende bygningens varmebehov - både det gennemsnitlige behov og spidsbelastning samt bygningens isoleringstilstand. Ved ældre huse kan det ofte være en fordel at foretage en indledende efterisolering.

De danske krav om en minimumsafstand på 20 m mellem jordvarmeboringer tilhørende samme anlæg blev diskuteret. Udenlandske undersøgelser tyder på at dette er i overkanten, og kan give anlægsproblemer på mindre matrikler.

Samlet design, dimensionering og overblik over et anlægs opbygning kan vanskeliggøres af at anlægget ofte etableres ved en række delydelser fra brøndborer, varmepumpeleverandør, installatør og elektriker.

For bedre at kunne indkøre og overvåge et anlæg, er det vigtigt at have et samlet diagram med samtlige komponenter, og det kan desuden være en fordel at installere supplerende overvågning af f.eks. ind- og udløbstemperatur, udetemperatur, flowhastighed samt elforbrug til varmepumpe. Herved kan forholdet mellem produceret varme og forbrugt elektricitet i varmepumpen (COP) beregnes for anlægget.

2.3 Etablering og forsegling (groutning) af boringer

Boring i løse aflejringer giver andre og større udfordringer end boring i hårde bjergarter. Direkte skylleboring anses for at være den billigste og mest effektive metode i løse aflejringer. Det blev endvidere advaret mod at bore uden casing, da det ofte kan medføre nedfald fra sidevæggen, og dermed behov for ekstra forsegling (grout).

Flere udenlandske eksperter advarede mod at bore dybere end 100-150 m, da dette kan vanskeliggøre installation og forsegling, og derved øge risikoen for kortslutning mellem forskellige vandførende lag.

Det anbefales at der bruges deklarerede forseglingsmidler med øget varmeledningsevne, og at blande grouten i containere på stedet (batch) så konsistensen og vandindholdet kan kontrolleres inden forseglingsmaterialet pumpes ned.

Udsættes grouten for frysning og genoptøning, kan der opstå revner i den. Der er størst risiko for dette i perioden mens forseglingsmaterialet størkner, og det anbefales at forseglingsmaterialet sikres mod frost de første 40 dage efter forseglingen.

2.4 Påvirkning af det omgivende miljø

Der var udbredt enighed om at risiko for skadelig påvirkning af det omgivende miljø fra lukkede jordvarmeboringer generelt er lav når de udføres rigtigt. Der var meget få eksempler på lækage af kølemiddel (brine) fra slanger til jorden. De mest anvendte kølemidler har i sig selv en lav giftighed og en moderat til høj nedbrydelighed i jordmiljøet. Giftigheden knytter sig især til supplerende antikorrosionsmidler og andre additiver tilsat nogle brine-produkter. Disse bør så vidt muligt undgås.

2.5 Modellering af varmestrømning

I litteraturen er beskrevet mange eksempler på modellering af varmetransport i forbindelse med jordvarmeboringer der vil kunne bruge i GeoEnergi-projektet. De udenlandske eksperter anbefalede dog at man i projektet også opbyggede egne erfaringer på dette felt.

Deltagerne pegede på at det i projektet vil være relevant nærmere at undersøge/modellere effekten af heterogen geologi, effekten af forskellige aflejringers forskellige varmeledningsevne samt effekten af grundvandsstrømning. Det anbefales at man starter med et simpelt modelkrav om minimumstemperatur på udstrømningen fra varmepumpen til jorden og en konstant forskel mellem ind- og udtemperatur til varmepumpen.

Antagelsen om en ensartet varmeindvinding året rundt vil i mange tilfælde være tilstrækkelig til dimensionering af anlæg, da det er den langsigtede påvirkning af omgivelserne der afgør om anlægget vil være bæredygtigt. Er der stor variation i den sæsonmæssige varmeindvinding kan dette dog også være relevant at modellere.

Workshopdeltagerne anbefalede endvidere at modellering i praksis benyttes til dimensionering af større anlæg med flere boringer, mens små anlæg dimensioneres på baggrund af opslag i tabeller med erfaringstal.

David Banks informerede om "The Microgeneration Certification Scheme" (<http://www.microgenerationcertification.org/>) der bl.a. indeholder tabelværdier (bygget på modelberegninger) for den maksimale effekt pr. meter boring (W/m) der kan forventes udvundet

ved forskellige overfladetemperaturer og varmeledningsevne af jordlagene. Tilsvarende tabelværdier findes i den tyske norm for jordvarmeanlæg (VDI 2010).

Flere af de internationale eksperter havde gode erfaringer med at anvende FEFLOW-programpakken til 3D-simuleringer af vand- og varmestrømning omkring jordvarmeboringer. Til praktiske dimensioneringsopgaver benyttede de dog mindre ressourcekrævende modelkoder som

- EED (Earth Energy Designer), udviklet på Lunds Universitet, Sverige
- GLD (Ground Loop Design)
- GLHEPRO udbredt i USA

3 FORARBEJDE FØR ETABELRING AF EN JORDVARMEBORING

Forud for etablering af jordvarme, er der en række forhold der skal undersøges og overvejes. Nedenstående 11 spørgsmål er fundet relevante at stille i forbindelse med planlægning og ansøgning om tilladelse til et varmeanlæg baseret på jordvarmeboringer.

1. Hvad er varmebehovet?
2. Hvilket areal er tilgængeligt for det aktuelle anlæg?
3. Hvad er planstatus og lovgivning for det valgte areal?
4. Hvilke jord- og grundvandsforhold kan forventes på det påtænkte borested?
5. Hvem skal udføre borearbejdet og hvordan skal borerne udbygges?
6. Hvordan skal rørene føres ind i huset og hvordan skal varmepumpen installeres?
7. Hvilken varmepumpe skal vælges?
8. Hvordan spiller varmepumpen sammen med husets eksisterende system til varmefordeling?
9. Skal jordvarmeanlægget integreres med andre vedvarende energianlæg – f.eks. solvarme?
10. Hvordan kan energioptag og driftsøkonomi dokumenteres?
11. Hvilken økonomi er der ved de valgte løsninger?

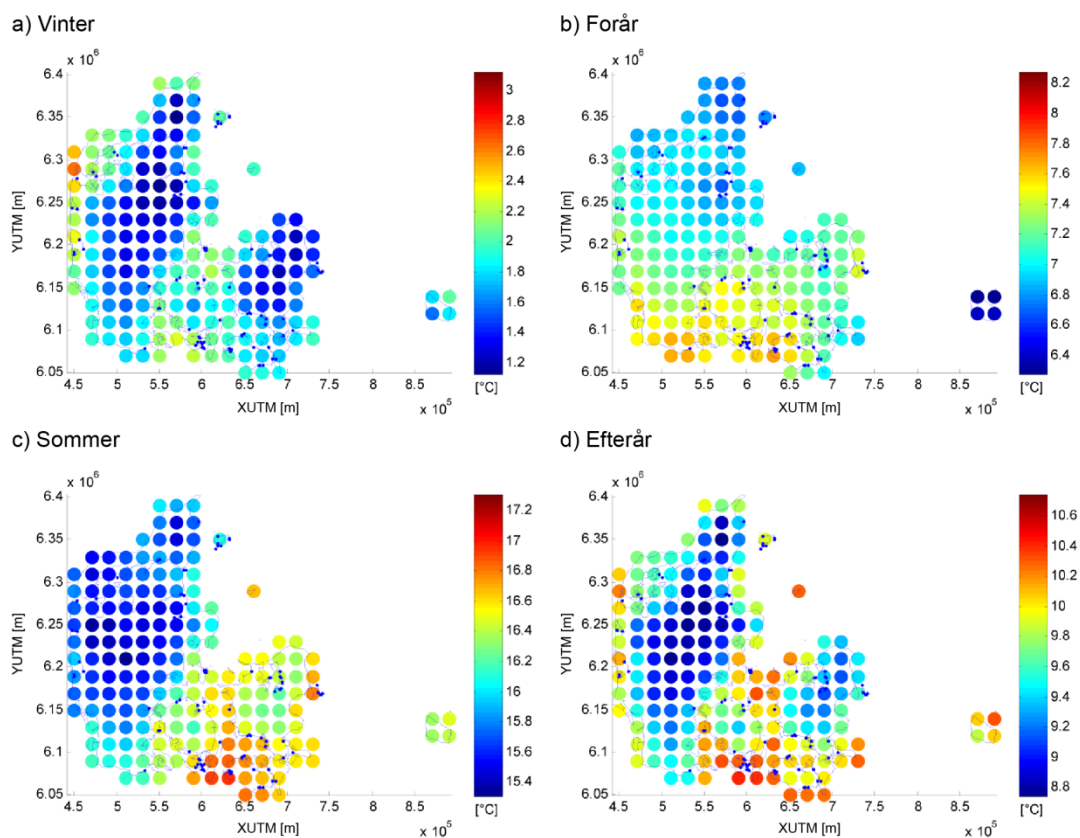
Afklaring af disse spørgsmål er nærmere beskrevet i [D2](#) samt under anbefalinger i kapitel 12.

4 TEMPERATURFORHOLD

Temperaturforhold ved og under jordoverfladen har betydning for optaget af varme og dermed for dimensioneringen og udbyttet af jordvarmeanlæg med jordvarmeboringer. I [D9](#) er foretaget en nærmere analyse af disse forhold i relation til jordens sammensætning (lithologi og varmeledningsevne). Nedenstående gives en oversigt over resultaterne herfra.

4.1 Overfladetemperaturer

Temperaturen ved jordoverfladen er primært bestemt af den varme der tilføres fra Solen og varierer således i forhold til regionale og lokale klimatiske forhold. Under jordens overflade vil kun de øvre lag være påvirket af den varierende overfladetemperatur. Fra tæt på overfladen og med stigende dybde vil temperaturen generelt stige med en stigningsrate, en *temperaturgradient*, som er styret af jordlagenes termiske egenskaber og udgangstemperaturen ved jordoverfladen.



Figur 4.1: Geografisk temperaturfordeling for hhv. vinter, forår, sommer og efterår. Udarbejdet på baggrund af temperatur-net fra DMI. Bemærk temperaturskalaerne er forskellige for de fire sæsoner.

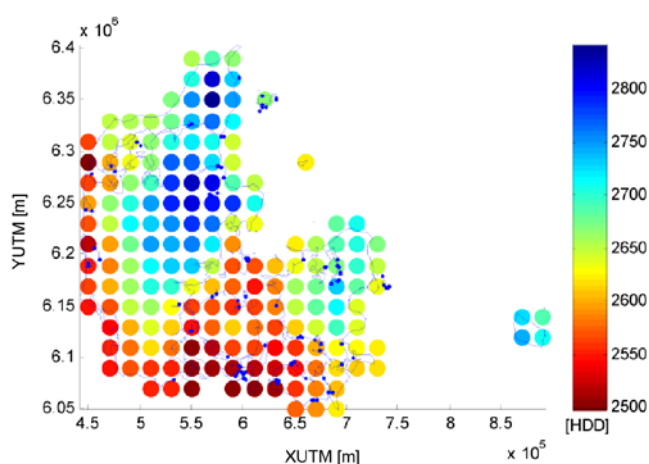
Temperaturvariationerne (2 m) over jordoverfladen er belyst ved hjælp af DMI's landsdækkende temperatur-net (grid) for perioden 1990–2011. Ud fra tidsseriens døgn-middeltemperaturer er der for alle gridceller beregnet middeltemperaturer for henholdsvis vintermånederne, forårs-månederne, sommermånederne og efterårsmånederne, se figur 4.1.

Overordnet varierer sæson-temperaturen (vinter, forår, sommer og efterår) i gennemsnit med ca. 1,0–1,5 °C mellem landsdelene med de laveste og højeste temperaturer.

De koldeste vintertemperaturer træffes i de centrale dele af Øst- og Nordjylland og det Nordøstlige Sjælland. De højeste vintertemperaturer træffes langs den jyske vestkyst og omkring det Sydfynske Øhav. De højeste forårstemperaturer træffes generelt i den sydlige og sydvestlige

del af landet og laveste temperature i denne årstid træffes på Bornholm. Høje sommer sommertemperaturer træffes generelt i den østlige del af landet med de højeste temperaturer i Øhavet syd for Fyn og Sjælland. I lighed med vintersæsonen træffes de koldeste efterårstemperaturer i det centrale Jylland og det Nordøstlige Sjælland og de varmeste efterårstemperaturer optræder langs kysterne.

Graddage er et direkte mål for opvarmningsbehovet i forhold til udetemperaturen. En graddag er defineret som en forskel på 1 °C mellem en indendørs døgnmiddeltemperatur på 17 °C og døgnmiddeltemperaturen udendørs i et døgn. Døgnets graddagetal udregnes derfor som forskellen mellem 17 °C og døgnmiddeltemperaturen udendørs. Fyringssæsonen påbegyndes om efteråret når den udvendige døgnmiddeltemperatur kommer ned på 12 °C og derunder i mindst 3 sammenhængende døgn, og ophører om foråret når den når op på 10 °C eller derover i mindst 3 sammenhængende døgn. Den regionale fordeling af graddage i Danmark fremgår af figur 4.2.



Figur 4.2. Geografisk fordeling af graddage i Danmark (middelværdi for hele året, 1990-2011), beregnet på baggrund af data fra DMI's temperatur-net.

Det ses at de centrale dele af Nord- og Østjylland har det største opvarmningsbehov med et gennemsnit på ca. 2800 graddage pr. år, mens øerne syd for Sjælland og Fyn har det laveste gennemsnitlige opvarmningsbehov med godt 2500 graddage pr. år. Ved dimensionering af jordvarmeanlæg er det imidlertid væsentligt ikke kun at se på gennemsnitsværdier, men også på minimums- og maksimumsværdier, se rapport [D9](#) for detaljer.

4.2 Temperaturforhold i jorden

Temperaturfordelingen i jorden kan normalt måles direkte i væskefyldte borehuller. Den målte temperatur kan dog være forstyrret hvis den måles lige efter borearbejdets afslutning, eller hvis der er vandbevægelse i borehullet.

Alle tilgængelige temperaturmålinger fra forskellige kilder (GERDA-databasen, Institut for Geoscience ved Aarhus Universitet og GEUS) er undersøgt for evt. forstyrrelser og 38 uforstyrrede temperaturlogs er udvalgt til nærmere analyse. Disse er suppleret med 20 nye temperaturlogs hvoraf de fire stammer fra genmåling af tidligere målte borer. Desuden er der fra temperaturlogs indberettet til GERDA-databasen medtaget ca. 130 bundtemperaturer som skønnes at være uforstyrrede af borearbejdet.

4.2.1 Effekt af lokalt klima

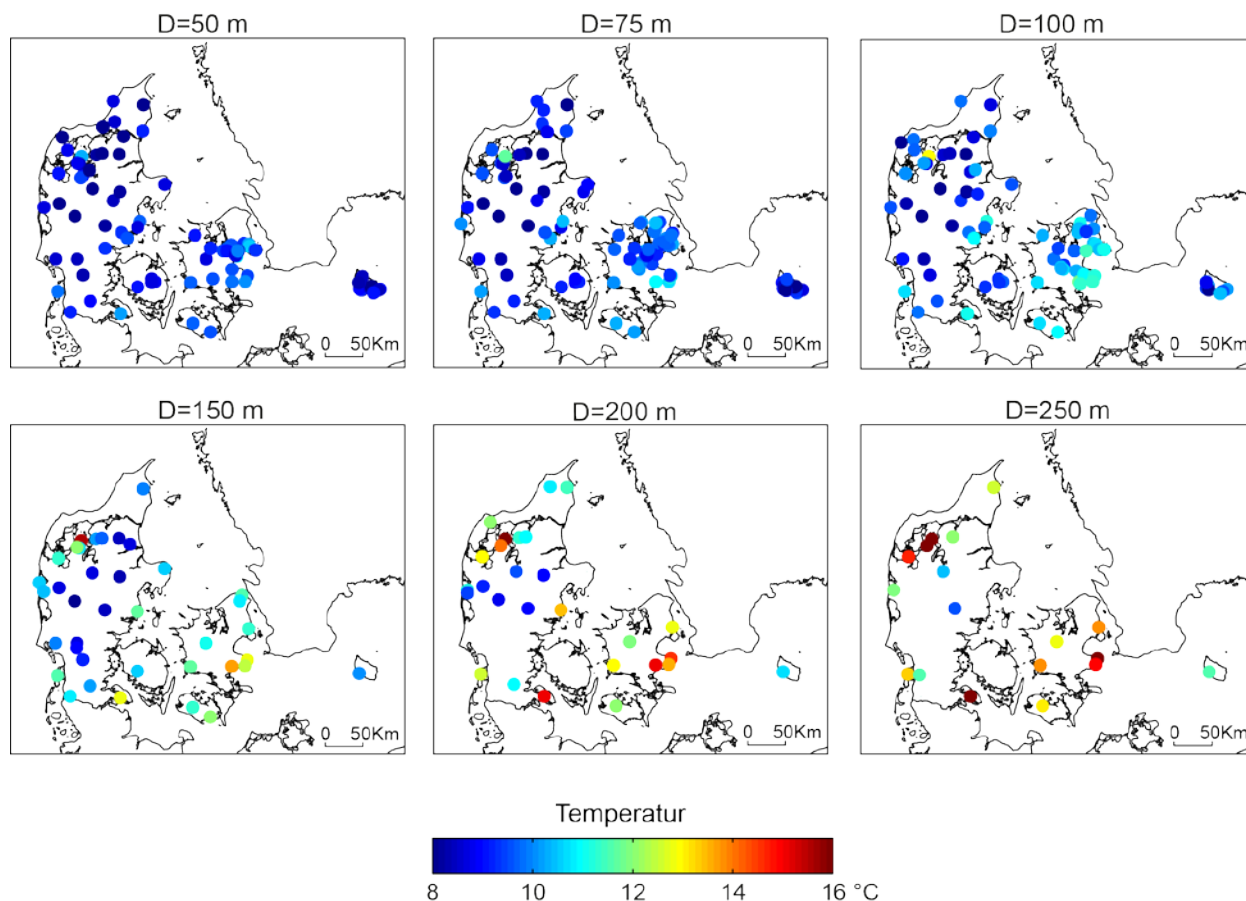
DMI temperatur-net bygger på målinger fra klimastationer placeret åbent så de så vidt muligt ikke er påvirket af lokale forhold, og tager derved ikke højde for lokale variationer der f.eks. kan være mellem skovklædte og åbne arealer. Et mål for den lokale gennemsnitstemperatur lige under overfladen på en enkelt lokalitet (med en boring) kan man få ved at ekstrapolere temperatur-gradienten i boringen fra en dybde der ikke er påvirket af årstidsvariationer til overfladen.

Der er på denne måde foretaget en analyse af mikroklimaets betydning for udgangstemperaturen ved jordoverfladen. Det er sket ved at sammenligne beregninger af den lokale gennemsnitstemperatur ved overfladen (se ovenstående) med lufttemperaturen i den tilhørende DMI-klimagridcelle.

Årsmiddeltemperaturen målt af DMI varierer mellem 8 °C og 10 °C. Analysen viser at temperaturdata målt på skovarealer overvejende har en lavere udgangstemperatur ved overfladen end temperatur-data målt i åbent land med samme lufttemperatur fra klimagriddet. Analysen tyder således på at jordvarmeboringer på åbne, solrige lokaliteter generelt vil have en lidt højere temperatur i forhold til skyggefylde steder.

4.2.2 Temperaturudvikling i dybden

Alle analyserede temperaturdata er inddelt i dybdeintervaller på 25 m, og laterale temperaturvariationer er illustreret i en række kort fra forskellige dybdeniveauer. Resultaterne ses af figur 4.3. Målingerne viser at temperaturen i dybden 100 m varierer mellem ca. 8 °C og 12 °C, og i dybden 200 m ca. 9 °C og 15 °C. For dybder større end 100 m er der en klar tendens til at områder i de østlige og sydlige dele af Sjælland, på Lolland, i dele af Østjylland og i de vestlige dele af Limfjords-området har de højeste temperaturer. De laveste temperaturer findes i de centrale dele af Jylland og på dele af Bornholm. Variationerne kan til dels forklares ud fra de geologiske aflejrings forskellige termiske egenskaber, men udgangstemperaturen ved jordoverfladen har også betydning. Anvendes temperaturfordelingernes middelværdier fås en landsdækkende gennemsnitlig temperaturgradient tæt på 2 °C/100 m fra tæt ved jordoverfladen til dybder på 250 m.



Figur 4.3. Den geografiske fordeling af temperaturer i boringer målt i 6 dybder.

4.2.3 Årstidsvariationer

Årsvariation er monitoreret i tre boringer over en periode på 1½ år. Det fremgår at årstidsvariationen kun påvirker de allerøverste jordlag. Temperaturvariationerne er således reduceret til mindre end 1 °C i dybder på 10-15 m. Dette stemmer endvidere godt overens med udførte modelberegninger.

4.2.4 Klimabetingede variationer

Det ses af dataanalysen at klimatisk betingede temperaturvariationer kan spores, og har en betydelig indflydelse på temperatur og temperaturgrader til væsentlig større dybde end årstidsvariationerne. Langtidsklimatiske variationer, herunder temperaturstigningen ved afslutningen af den sidste istid, bevirker at de overfladenære temperaturgrader og den overfladenære varmestrøm (typisk 30-40 mW/m²) er reduceret til kun ca. halvdelen af de uforstyrrede ligevægtsværdier som måles i stor dybde.

Luftens årsmiddeltemperatur i Danmark er over de seneste 135 år steget med ca. 1,6 °C fra ca. 7,1 °C til 8,7 °C hvilket bevirker en yderligere markant reduktion i temperaturgradienten i de øverste 50 -100 m. Denne effekt ses til størst dybde i sandede aflejringer med høj varmeledningsevne og høj termisk diffusivitet. Der er således observeret og modelleret negative termiske grader og grader tæt på nul til dybder på ca. 30 m i materialer med lav ledningsevne (lerede aflejringer) og i dybder på op til ca. 60 m i materialer med høj termisk ledningsevne (sandede, kvartsrige aflejringer).

4.2.5 Geologi og temperaturgradient

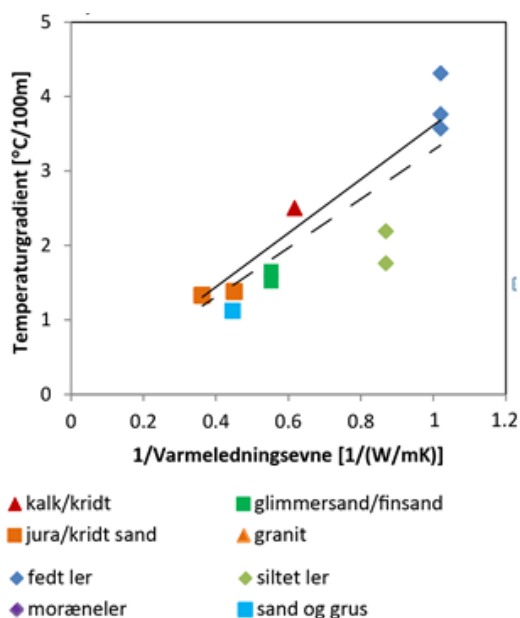
Der er beregnet temperaturgrader for alle uforstyrrede temperaturlog. Alle målte temperaturer inden for et dybdeinterval på 20 m centreret om en given dybde anvendes i et

estimat af temperaturkurvens gradient (hældning). Hvor mere end 90 % af et interval udgøres af en og samme jordartstype (lithologi), er der foretaget en analyse af sammenhængen mellem jordartstyper (lithologi) og temperaturgradient. Lithologierne inddeles i seks aflejringstyper baseret på aflejringernes alder, og hver af disse inddeles i to til fem sedimenttyper.

De kvartære aflejringer samt de prækvartære aflejringer fra Bornholm, som indgår i analysen, har de laveste gennemsnitlige temperaturgradienter med middelværdier på 0,9–1,5 °C/100 m både for intervallet 50–100 m og i dybder større end 100 m. Det skyldes formodentlig at disse aflejringer generelt har et stort indhold af kvarts som giver anledningen til en høj varmeledningsevne og dermed lav temperaturgradient. Inden for de Kvartære aflejringer ligger sand og grus ca. 0,5 °C/100 m under den gennemsnitlige temperaturgradient, mens moræneler og i særdeleshed Kvartært vandaflejret ler ligger over den gennemsnitlige temperaturgradient.

I de Miocæne aflejringer af sand, silt og ler ses tilsvarende lave temperaturgradienter som i de Kvartære aflejringer (middelværdier på 0,8–1,5 °C/100 m i dybdeintervallet 50–100 m og 1,5–1,8 °C/100 m i dybder > 100 m). De højeste gennemsnitlige temperaturgradienter er truffet i fedt ler fra Oligocæn, Eocæn og Palæocen, (2,2–5,0 °C/100 m i dybdeintervallet 50–100 m og 3,3–4,3 °C/100 m i dybder > 100 m). I kalk og kridtaflejringer er truffet gennemsnitlige temperaturgradienter på 2,3–2,5 °C/100 m for begge dybdeintervaller.

Hvis man antager at varmestrømmen tilnærmelsesvis er konstant over hele landet, vil der være en lineær sammenhæng mellem den inverse varmeledningsevne og temperaturgradienten for forskellige sedimenttyper hvor hældningskoefficienten svarer til varmestrømmen. Temperaturgradienterne i de undersøgte sedimenttyper er sammenholdt med varmeledningsevnen for tilsvarende sedimenttyper målt i laboratoriet. Når alle datapunkter fra dybder større end 100 m inddrages, opnås i første omgang en rimelig lineær korrelation hvoraf varmestrømmen (givet som hældningskoefficienten) kan bestemmes til 33 mW/m². Udelades datapunkter (med ”siltet ler”) hvor sedimentbeskrivelse og tilhørende varmeledningsevne vurderes at være usikker, opnås en væsentlig bedre korrelation (figur 4.4) og varmestrømmen bestemmes til 36 mW/m². Begge disse værdier for varmestrømmen i det danske område er i god overensstemmelse med nøjagtige målinger fra en række korte borer, og underbygger således værdien af den fremkomne korrelation mellem temperaturgradienter og varmeledningsevner, og dermed forholdet mellem temperaturgradienter og lithologi.

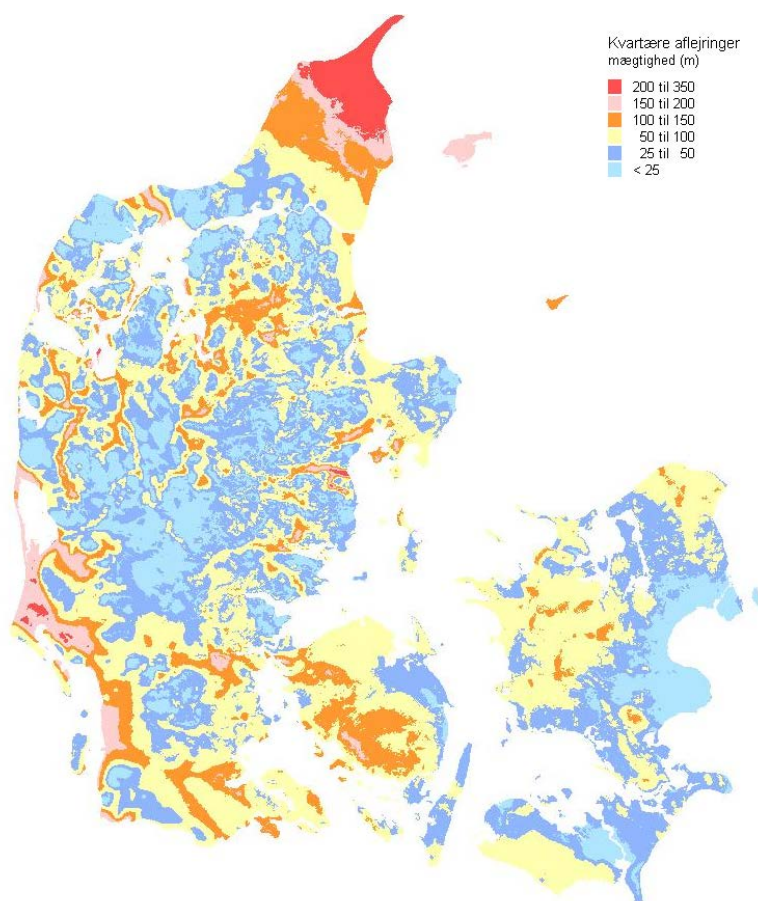


Figur 4.4: Plot af temperaturgradient som funktion af den inverse varmeledningsevne opdelt på sedimenttype fra [D6](#).

5 GEOLOGI OG GRUNDVANDSFORHOLD

Ved planlægning og dimensionering af jordvarmeboringer er det vigtigt at have kendskab til de geologiske forhold der har betydning for jordens termiske egenskaber, og dermed for det udbytte der kan forventes på den påtænkte lokalitet. I modsætning til dybe termiske boringer udføres jordvarmeboringer sjældent dybere end ca. 200 m.

I [D3](#) gives en kortfattet beskrivelse af de geologiske forhold i dette dybdeinterval med særlig vægt på udbredelse og forekomstmåde af istidsaflejringer og aflejringerne i den nære undergrund. Endvidere berøres de særlige geologiske forhold på Bornholm særskilt.



Figur 5.1. Kort over tykkelsen af kvartære aflejringer. Kortet er sammenstillet på baggrund af kort over prækvartærfladens højdeforhold, Binzer og Stockmarr (1994) og kort over terrænets højdeforhold (Kort og Matrikelstyrelsen), se D3 for referencer.

5.1 Grundvandsforhold

I rapporten (D3) gives ligeledes en oversigt over grundvandsforholdenes betydning ved etablering af jordvarmeboringer. Især har vandspejlets beliggenhed og eventuel tilstedeværelse af grundvandstrømning betydning. Det skyldes dels at der er en væsentlig større varmeledningsevne i vandmættede sedimenter frem for sedimenter med luft i porerummene, dels at grundvandsstrømning medfører en hurtigere varmetransport da varme derved både transporteres ved almindelig varmeledning (konduktion) og vandstrømning (advektion).

Da jordens vandindhold har stor betydning for varmeledningsevnen, tilstræbes det normalt at grundvandsspejlet ligger højt på det planlagte borested, så hovedparten af den gennemborede lagfølge er under grundvandsspejlet.

Inden for områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD) har beskyttelse af grundvandet højeste prioritet ved etablering af andre anlæg. Det betyder imidlertid ikke at der ikke kan gives tilladelse til jordvarmeanlæg inden for disse områder når afstandskravene overholdes. Lokale forhold kan dog gøre at kommunen vælger at skærpe afstandskravene, ligesom der må forventes særlig fokus på dokumentation af de anvendte materialer, og på at boringen udføres og forsegles efter "best practice" på området.

Et højt vandtryk (over terræn) kan medføre boretekniske problemer hvorfor det ikke anbefales at udføre jordvarme på steder hvor der kan forventes vandtryk over terræn. I D3 henvises endvidere til hvor oplysninger om vandspejlets beliggenhed, strømningsforhold og OSD kan indhentes.

Grundvandsforholdene betydning behandles yderligere i kapitel 6 på baggrund af modelberegninger foretaget i [D20](#).

5.2 Jordarternes termiske egenskaber

De termiske egenskaber af aflejringerne omkring en lukket jordvarmeboring er afgørende for det udbytte der kan forventes fra boringen. Det gælder både ved indvinding af varme og kulde, og i situationer hvor lukkede jordvarmeboringer bruges til varmelagring i såkaldte borehulslagre.

To af de vigtigste geologiske parametre med betydning for udbyttet af en jordvarmeboring er jordlagenes varmeledningsevne og deres specifikke varmekapacitet. Jo højere varmekapacitet jo mere varme kan aflejringerne rumme, og jo højere varmeledningsevne jo lettere transporteres varme (eller kulde) til boringen fra omgivelserne.

Varmeledningsevnen afhænger af vandindhold og mineralsammensætning i de gennemborede jordlag, og er den parameter der varierer mest med de geologiske forhold. Varmeledningsevnen af vand og almindeligt forekommende mineraler er velkendte. Alligevel kan varmeledningsevnen for naturligt forekommende jordarter variere meget på grund af forskelligt vandindhold og mineralsk sammensætning i samme type jordart. Dette fremgår tydeligt af internationalt publicerede tabelværdier for sedimenters varmeledningsevne hvor der for de enkelte jordarter ses store spænd i de publicerede værdier. Det er særligt tilfældet for lerede aflejringer generelt og moræneaflejringer specifikt. Endvidere fandtes ved projektets start kun få publicerede undersøgelser af varmeledningsevnen i almindeligt forekommende overfladenære danske sedimenter hvorfor variationen i varmeledningsevnen for de enkelte jordartstyper var vanskeligt at vurdere. På den baggrund er der sidst i [D3](#) givet forslag til hvilke jordarter det især ville være relevant at undersøge nærmere.

5.2.1 Bestemmelse af varmeledningsevne i almindeligt forekommende sedimenter

På baggrund af anbefalingerne i D3 er der i [D6](#) bestemt varmeledningsevne på 51 sedimentprøver af typisk forekommende danske jordarter. Prøverne er udtaget på velbeskrevne geologiske lokaliteter, og varmeledningsevnen er bestemt i laboratoriet på VIA-UC, Horsens, med en nålesonde af mærket Hukseflux. Målemetode, teori og laboratorieprocedurer er beskrevet i [D8 part 1](#). Med henblik på så vidt muligt at efterligne de naturgivne forhold omkring en jordvarmeboring, er alle prøver vandmættede før målingerne. Se endvidere D6 og D8 part 1 hvor der bl.a. gives anbefalinger til prøvetagning i felten, prøvepræparation og måleprocedurer.

Måleresultaterne er sammenfattet i tabel 5.1.

Tabel 5.1: Gennemsnitlig varmeledningsevne af udvalgte jordarter. Egne målinger samt A: Balling m. fl (1981), B: Porsvig (1986).

Sedimenttype	Antal prøver	Gennemsnitlig varmeledningsevne (W/mK)	En Standard-afvigelse (W/mK)	Interval (W/mK)
Fedt ler	3	0,98	0,17	0,80-1,14
Glimmersand / Finsand	8	1,81	0,27	1,48- 2,18
Gytje, tørv og brunkul	3	0,68	0,15	0,56-0,86
Kvartssand	3	2,75	0,51	2,41-3,34
Moræneaflejringer	19	1,89	0,3	1,40-2,66
Sand og grus	4	2,24	0,19	1,98-2,43
Siltet ler	10	1,15	0,17	0,90-1,42
Moræneaflejringer B	4	2,19	0,08	
Glimmersand / Finsand B	3	1,87	0,14	
Fedt ler A	4	1,45	0,08	
Skrivekridt A	4	1,62	0,13	

Det har ud fra måleresultaterne bl.a. været muligt at vurdere hvor stor spredning man kan forvente dels på prøver udtaget fra samme lag på en bestemt lokalitet, dels inden for de enkelte jordartstyper som helhed, se tabel 5.1. Ved undersøgelsen af de enkelte jordarter er der fundet en mindre spredning end på de internationale tabelværdier. Herved er opnået et mere robust grundlag for at benytte eksisterende borebeskrivelser til at anslå varmeledningsevne på en lokalitet forud for borearbejde. Dette giver mulighed for indledende at dimensionere boreddybde og antal af boringer til nye anlæg ud fra jordartsbeskrivelser i nærliggende eksisterende boringer.

Til lagring af de udførte målinger er der udviklet en offentlig database til lagring af termiske målinger udført på enkelt jordprøver og på borehuller som helhed:

http://geuskort.geus.dk/termiskejordarter/start_indlaes.jsp

Denne facilitet giver mulighed for på sigt at opbygge en mere komplet database over de termiske egenskaber i forskellige jordarter og om muligt også i forskellige dele af landet.

5.2.2 Vurdering af jordens varmeledningsevne på en ny lokalitet

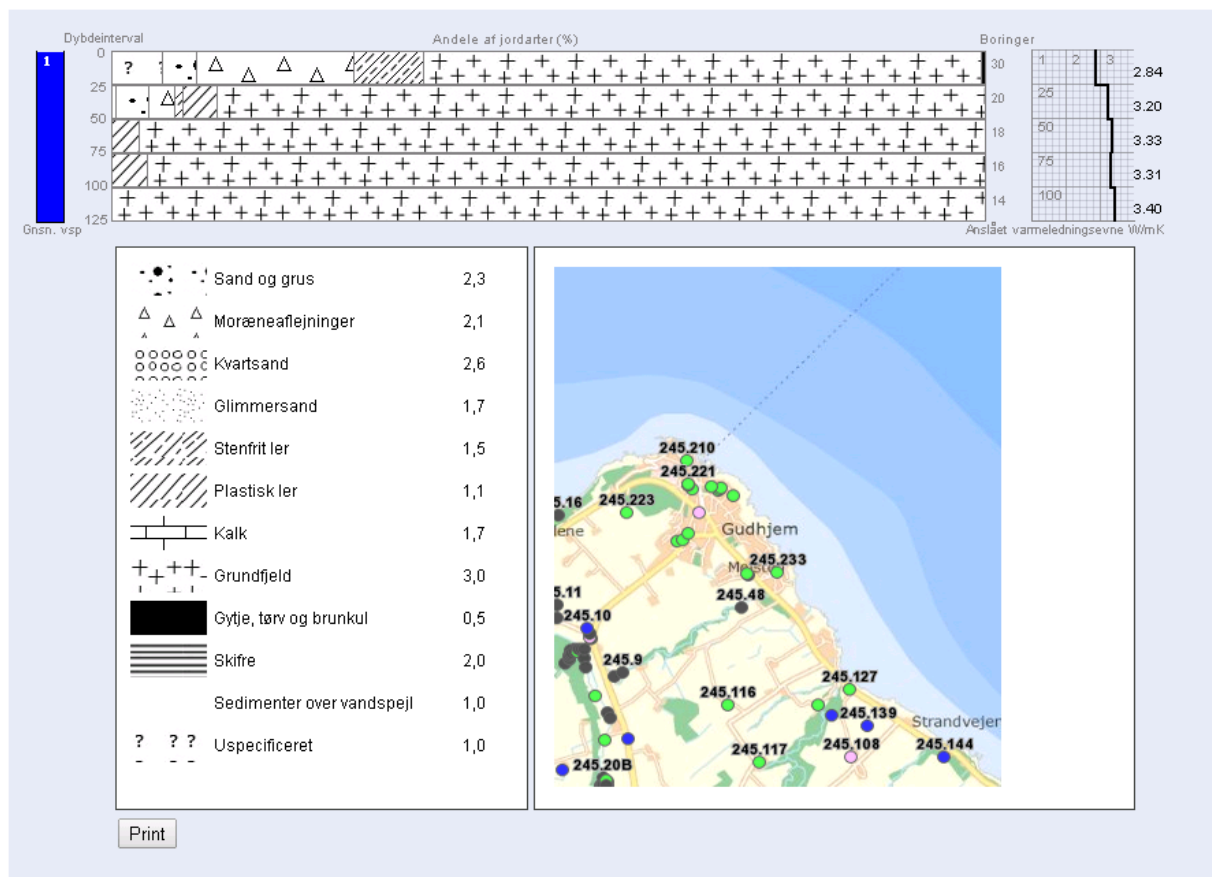
Som beskrevet ovenfor, har det været muligt at etablere en relation mellem jordarter og det forventede niveau af varmeledningsevnen for en række almindelige danske sedimenttyper.

Den nationale boredatabase [Jupiter](#) indeholder et stort antal boringer med jordartsbeskrivelser fra hele landet (i gennemsnit ca. 6 pr. km²). Ved at kombinere beskrivelserne i databasen med den forventede varmeledningsevne af de enkelte jordarter (tabel 5.1), er det blevet muligt at anslå varmeledningsevnen på en lokalitet hvor der planlægges jordvarmeboringer ud fra beskrivelser af jordarterne i nærliggende eksisterende boringer.

Med henblik på at nyttiggøre disse mange data ved etablering af jordvarmeboringer er der i projektet udviklet en interaktiv web-applikation.

Applikationen beregner og viser den forventede varmeledningsevne inden for et brugerdefineret område ud fra de eksisterende boringsoplysninger i området, idet den anslåede

varmeledningsevne beregnes i dybdeintervaller på 25 m fra de tilgængelige jordartsbeskrivelser, se figur 5.2.



Figur 5.2. Øverst: Jordartssammensætning og anslået varmeledningsevne beregnet i dybdeintervaller på 25 m fra de tilgængelige jordartsbeskrivelser. Til venstre ses den gennemsnitlige beliggenhed af vandspejlet i området. Nederst: Legende med anslået varmeledningsevne for forskellige jordartstyper, samt oversigtskort med borer, der indgår i beregningerne.

Applikationen kan tilgås på <http://geuskort.geus.dk/termiskejordarter/> og er nærmere beskrevet i [GEUS Bulletin 31, 55-58 \(2014\)](#).

I forbindelse med afslutningen af projektet vil applikationen blive introduceret til forskellige slutbrugere, såsom administratorer, brøndborere og energiplanlæggere.

6 MODELLERING AF VARMETRANSPORT

Med henblik på at undersøge forskellige geologiske og tekniske parametres betydning for indvindingen fra en jordvarmeboring, er der foretaget en række modelsimuleringer af varmetransport omkring en lukket jordvarmeboring under forskellige forhold. Antagelser, setup og modelberegninger er nærmere beskrevet i [D20](#). Hovedkonklusionerne præsenteres nedenstående.

I projektet er anvendt modelprogrammet FEFLOW (version 6.1) (<http://www.feflow.info/>) til simulering af varmeudveksling mellem jordvarmeboringen og undergrunden samt varmetransporten i både jorden (konduktiv transport) og i grundvandet (advektiv transport).

6.1 Model-setup

Modellen er sat op så der i modelberegningerne foretages en simulering af den lokale varmetransport omkring én jordvarmeboring. Der er anvendt en modelopsætning hvor jordvarmeboringen er placeret i centrum med en afstand på 100 m fra hver yderside af modellen. Der ses således kun på et begrænset udsnit af den omgivende lagfølge.

Til at følge varme-/kuldeudviklingen i de omkringliggende lag, er i modelopstillingen ”indbygget” 8 observationspunkter / fiktive observationsboringer hvor den tidlige udvikling af temperaturen kan følges.

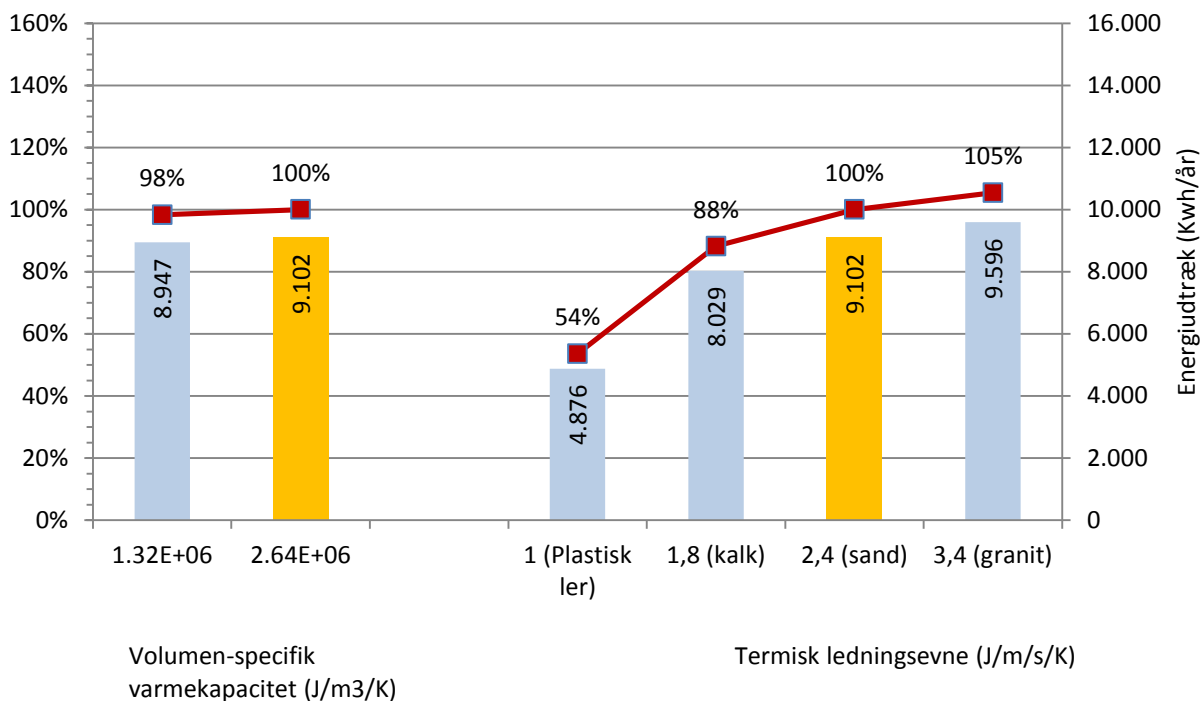
6.2 Følsomhedsanalyse

Forskellige faktorer, såsom forholdene i grundvandsmagasin og omgivende lerlag samt konstruktion og drift af jordvarmeboringen, vil have betydning for boringens effektivitet. Hvilke faktorer der spiller ind samt deres relative betydning for det samlede varmeoptag, er undersøgt ved en såkaldt følsomhedsanalyse. I denne analyse ændres skiftevis på de parametre der beskriver de forskellige faktorer, eksempelvis jordlagenes varmeegenskaber, eller dimensionerne af de anvendte slanger i boringen. Ved at ændre på parametrene enkeltvis, og for hvert tilfælde gennemføre en beregning af varmeoptaget, er betydningen af de enkelte faktorer vurderet i forhold til hinanden.

6.2.1 Geologi og grundvandsstrømning

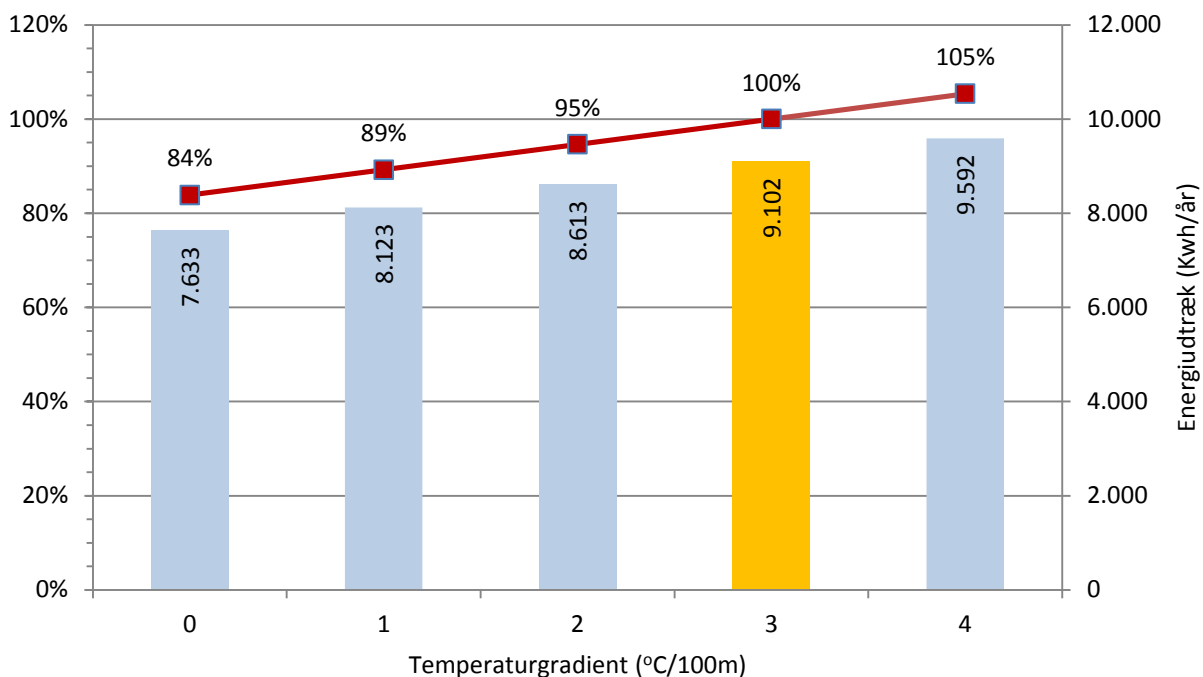
En jordarts termiske egenskaber udtrykkes ved hhv. en varmeledningsevne og en varmekapacitet. Varmeledningsevnen beskriver hvor hurtigt varmen kan transporteres (konduktion), og afhænger af både vandindholdet samt mineralsammensætningen i det enkelte jordlag. Varmekapaciteten er et udtryk for mediets evne til at lagre varmen, dvs. hvor meget energi der skal tilføres/frigives ved hhv. opvarmning/afkøling af mediet.

Varmeledningsevnen af de enkelte jordarter der træffes i Danmark (jf. afsnit 5.2) har vist sig at have stor betydning for energioptaget. Der er således fundet en forskel i det maksimale varmeoptag på mere en 40 % afhængig af om boringen er etableret i lerede eller sandede materialer, jf. figur 6.1. Modsat har materialernes specifikke varmekapacitet kun ringe betydning. Dette skyldes at den begrænsende faktor er hvor hurtigt varmen kan transporteres til boringen, og ikke hvor meget varme kornene i omgivelserne kan ”lagre”.



Figur 6.1: Følsomhedsanalyse af volumen-specifik varmekapacitet og varmeledningsevne med typiske værdier for forskellige jordarter.

Tilstedeværelsen af en grundvandsstrømning har vist sig at have en gunstig effekt på det maksimale energiudtræk. Der ses således 13 % større energiudtræk ved grundvandsstrømning forårsaget af en gradient i grundvandets trykniveau på 3 ‰ i forhold til en situation uden gradient og dermed uden grundvandsstrømning.



Figur 6.2: Følsomhedsanalyse af temperaturgradient.

Beregningerne viser desuden at grundvandsstrømningen, foruden at sikre et højere energiudtræk, også opretholder en energibalance i systemet ved længere tids drift så der ikke sker en løbende afkøling af de omgivende lag med et gradvist reduceret energiudtræk til følge, hvilket er observeret i modelberegninger hvor der ikke er grundvandsstrømning. Betydningen af grundvandsstrømning negligeres ofte i standardprogrammer til beregning af energiudtræk der

således vil underestimere det potentielle energiudtræk fra lag med en betydende grundvandsstrømning.

En øget temperaturgradient (jf. afsnit 4.2) vil ligeledes resultere i et øget energioptag. Ved at øge temperaturgradienten i en sandet lagfølge fra 0 til 3 °C/ 100 m, vil det maksimale energioptag således øges omkring 15 %.

6.2.2 Boringskonstruktion og drift

Blandt de variable ved boringskonstruktionen har det især vist sig at være den termiske ledningsevne af forseglingsmaterialet/grouten samt boringsdiameteren der har betydning for energioptaget. Beregningerne viser en forskel i energioptaget på 13 % ved anvendelse af hhv. en dårligt ledende og en godt ledende (termisk optimeret) grout. Ændring i borediameteren fra 0,35 m til 0,15 m gav en tilsvarende forskel på 12 % når slangeafstanden holdes konstant. Endelig resulterede en øget afstand mellem slangerne i et øget energioptag når afstanden øges fra 6 cm til 10 cm, under forudsætning af at boringsdiameteren ikke samtidigt øges. I praksis kan det være svært at styre den præcise slangeafstand, men beregningerne viser at det har en ikke uvæsentlig betydning for energioptaget, hvorfor det er relevant at sikre størst mulig afstand mellem slangerne under installation.

I modelberegningerne blev der fundet en stort set lineær sammenhæng mellem boringsdybden og energioptaget. Dette blev observeret til trods for at beregningerne også viste at energioptaget i den varme returslange aftager ved stigende boringsdybde, hvilket forventeligt ville resultere i et fald i det specifikke energioptag (optag pr. meter boring). En stigende temperatur med dybden vurderes at være årsagen til det konstante specifikke energioptag da den højere temperatur i bunden af de dybere boringer opvejer det mindre specifikke energioptag i en længere returslange.

Øges driftstiden på en boring, vil der være en kortere periode mellem to driftsperioder hvor jord og grundvand kan nå tilbage til baggrundstemperaturen. For basisopsætningen, der inkluderer en grundvandsstrømning og vertikal temperaturgradient i et sandlag, blev der fundet en lineær sammenhæng mellem driftsperiode og energioptaget for de undersøgte driftsperioder fra 50 til 182 dage. Dette tyder på at der er energibalance, dvs. at den energi der optages under driftsperioden, når at blive tilført jordlagene mellem to driftsperioder. Generelt blev det fundet at der opnås energibalance for et gennemgående sandlag med grundvandsstrømning. Er der ingen grundvandsstrømning og/eller har jordlagene en dårlig termisk ledningsevne, som f.eks. plastisk ler, vil der ikke længere være energibalance, og systemet vil langsomt tappes for energi.

6.3 Varmelagring

Til at belyse varmelagring ved hjælp af en jordvarmeboring og den deraf følgende temperaturudbredelse, er der med udgangspunkt i basismodellen gennemført en række følsomhedsanalyser. I disse følsomhedsanalyser anvendes indløbstemperaturer fra hus på hhv. 20 °C og 35 °C, dvs. jord og grundvand påvirkes af højere temperaturer end i situationen hvor boringen anvendes til varmeudtræk. Der er simuleret en driftsperiode på 3 sommermåneder (90 dage) med en konstant fremløbstemperatur i hele perioden. Der er ikke inkluderet varmeindvinding i vinterperioden.

Resultaterne viser at varmeudbredelsen hurtigt falder med afstanden fra boringen. I en afstand af mellem 15 m og 20 m fra boringen er den maksimale temperatur mindre end 1 °C over baggrundstemperaturen. 100 m fra boringen er der en maksimal temperaturforskelle på 0,3 °C. Således indikerer beregningerne at 3 måneders årlig opvarmning med en indløbstemperatur på 35 °C ikke vil have nogen betydende effekt på det omgivende miljø.

7 BORING -UDFØRELSE, INSTALLATION OG FORSEGLING

Udførelse, installation og forsegling af lukkede jordvarmeboringer er beskrevet i [D10](#). Herfra er givet nedenstående konklusioner og anbefalinger.

I løse aflejringer udføres lukkede jordvarmeboringer normalt med skylleboring. I nogle tilfælde gøres dette uforet, men normalt benyttes forerør (casing) under borearbejdet. Kortere jordvarmeboringer udføres også med ultralydvibration – såkaldte sonic-boringer. I boringerne installeres et eller flere sæt lukkede slanger til cirkulation af kølevæske (brine). Tit benyttes en enkelt u-formet slange (single loop), men der kan ved en tilstrækkelig stor borediameter installeres to sæt u-formede slanger (double loop). Endvidere findes koaksiale slanger hvor brinen løber ned i en ydre ring og op i en central slange. Ovenstående findes i forskellige varianter og materialer. Efter installationen af slangerne forsegles boringen med en opslæmmet bentonit- eller cementblanding. Dette gøres i Europa normalt fra bunden af boringen hvortil blandingen pumpes ned i et fast installeret rør. I USA trækkes røret med op under forseglingen for at udgå stigende modtryk når blandingen presses op i den øvre del af boringen. Dette kan dog øge risikoen for at forseglingen ikke bliver tæt.

At få anbragt borehuls-sonden, BHE, i jorden er i sagens natur et nøgleelement i forbindelse med jordvarmeboringer. Denne type af boringer er omfattet af Bekendtgørelse om udførelse og sløjfning af boringer og brønde på land /1/ og er defineret som kategori A-boringer. Dette betyder at der skal søges om tilladelse til at udføre boringen, og at gennemboede lerlag skal genforsegles samt at boringsoplysninger og jordprøver skal indberettes til GEUS.

Grouten, der fyldes i boringen, har til formål dels at forsegle lerlag, og dels at sørge for god termisk kontakt mellem rør og den omgivende geologi.

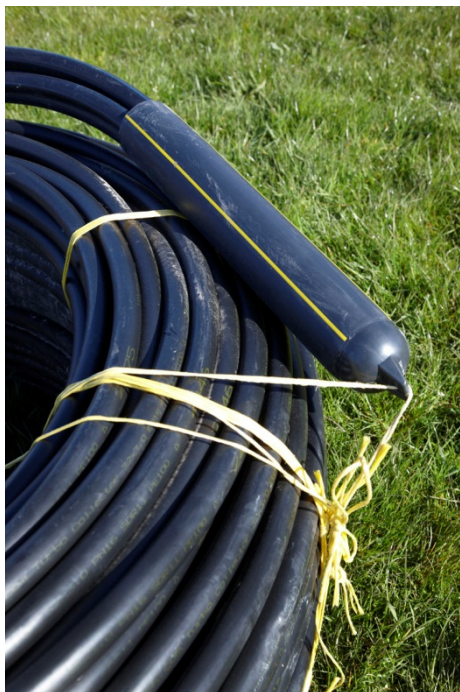
7.1 Materialeegenskaber

Dette afsnit beskriver kort konklusionerne af en række tests og beregninger som er gennemført på de materialer, der benyttes i jordvarmeboringer. Tests og resultater er nærmere beskrevet i D7.

7.1.1 Slanger og borehulssonder

I henhold til [Bekendtgørelse om jordvarmeanlæg](#) skal slangerne til jordvarmeanlæg være af plastmaterialer af typen PE100RC, SDR11 eller lignende der er godkendt efter EN 13244. Studier i forbindelse med dette projekt understøtter at plastmaterialer reelt er eneste mulighed i forbindelse med jordvarmeboringer, hvilket også konkluderes i udenlandske undersøgelser f.eks. i [Geotrainets manual for jordvarmeboringer](#) og af den tyske norm for jordvarmeboringer /6/.

I tilfælde af at der opstår en lækage på slangen i en jordvarmeboring, er boringen i realiteten tabt. Det er derfor også vigtigt at de jordvarmesonder der anvendes, er fremstillet til formålet, og ikke mindst at U-bøjningen nederst på sonden er (fabriks-)fremstillet under kontrollerede forhold.



a)



b)

Figur 7.1: Eksempler på jordvarmesonder.

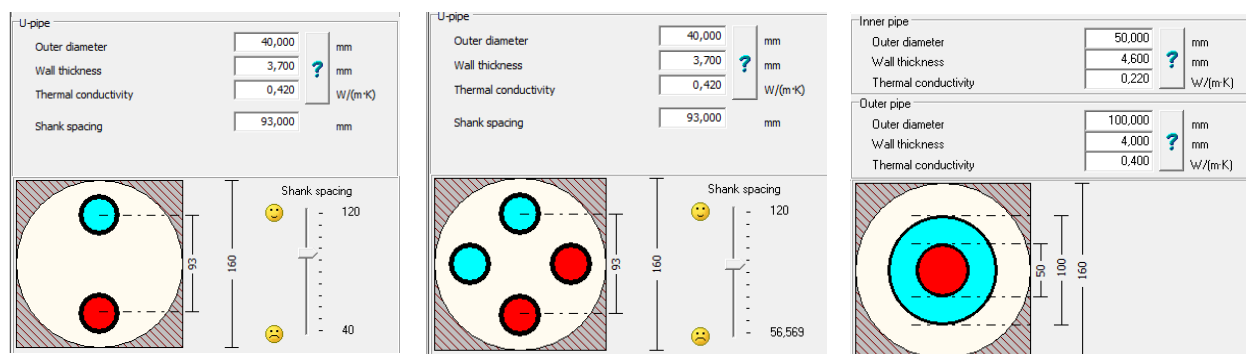
Modellsimuleringer foretaget under [D20](#) viser at slangernes indbyrdes afstand i boringen har stor betydning. Det må derfor på det kraftigste anbefales at der under installationen anvendes afstandsstykker (spacers) til at holde slangerne adskilte. Afstandsstykkerne består typisk af plast, som klikkes på rørene. Det kan være hensigtsmæssigt at sikre deres position med kraftig tape. Der er ellers risiko for at de falder af eller flytter sig på rørene under montagen.



Figur 7.2: Eksempler på spacers der klikkes på rørene før sonden sænkes ned i borehullet.

7.1.1.1 Konfiguration af borehulssonder

Der er tre typiske konfigurationer af borehulssonder som rutinemæssigt anvendes i jordvarmeboringer (figur 2.5). De samme tre konfigurationer er testet i forbindelse med nærværende projekt. For nærmere beskrivelse af konfigurationerne og afrapportering henvises til [D11](#).



Figur 7.3. Enkelt U, dobbelt U og co-axial borehulssonde /4/.

For de tre forskellige konfigurationer gælder det generelt at enkelt-U er mindst effektiv og den co-axiale er (teoretisk set) mest effektiv. Der er imidlertid et problem med den co-axiale konfiguration, idet den rent beregningsmæssigt forudsætter at det inderste rør reelt er centreret i det yderste rør. Men eftersom der almindeligvis ikke er afstandsstykker mellem de to rør, må det forventes at det inderste rør over længere strækninger lægger sig op ad det ydre rør. Dette problem er observeret på VIAs testsite og afspejles i resultaterne i [D11](#).

7.1.2 Forseglingmaterialer (grout)

Forseglingmaterialet eller ”grouten”, der fyldes i borerne efter at borehulssonderne er installeret, har to primære formål: 1) at sikre en afpropning af boringen så kortslutning mellem grundvandsmagasiner eller nedsivning af eventuel forurening fra overfladen forhindres, 2) at sikre at der er en god termisk kontakt mellem borehulsvæggen og jordvarmesonden.

Der er i projektet udført en række laboratorieforsøg med henblik på at efterprøve varmeledningsevnen på et antal kommercielt tilgængelige termisk forbedrede bentonitter eller grouts. Se D7 for detaljer. Generelt viste målingerne lavere varmeledningsevne end angivet på produkterne, og det blev konstateret at varmeledningsevnen faldt i takt med at prøverne tørrede ud.

I forbindelse med prøveforberedelsen blev det konstateret at groutblandingerne generelt var meget tyndtflydende og materialet hurtigt bundfældedes. Endvidere blev der i laboratoriet konstateret en klar vandfase over grouten i løbet af 10 timer.

De konstaterede forhold gør at VIA har besluttet at fortsætte undersøgelsen af de forseglende egenskaber på grout-produkterne i andet regi. Resultaterne vil blive publiceret på et senere tidspunkt.

7.2 Borearbejde på testsite

Med henblik på i praksis at undersøge effekten af forskellige boreteknikker og slangekonstruktioner er der på test-site ved VIA Campus, Horsens, udført 4 boringer til ca. 100 m's dybde. Boringerne er placeret med en indbyrdes afstand på mindre end 25 m og kan derfor antages at have ens geologiske forhold. De installationstekniske forhold fremgår af tabel 7.1.



Figur 7.4: Skylleboring hhv. med og uden forerør.

Der er i planlægningen af forsøgene taget udgangspunkt i forskellige typer af skylleboringer, idet andre metoder såsom snegl og sandspand anses for at være for langsomme, og derfor for dyre til at have interesse i denne sammenhæng. I løbet af projektet er sonic-drilling fremkommet som en mulighed der i nogle situationer ved kortere boringer kan være konkurrencedygtig.

Samtidig er forskellige metoder til forsegling af boringer afprøvet. Baseret på de internationale erfaringer, er det valgt at fokusere på pumpet grout der via en slange føres ned i borehullet. At forsøge at afproppe fra overfladen anses på grund af boringernes ofte relativt lille diameter for at være urealistisk.

Lokal bore nr.	VIA 12	VIA 13	VIA 14	VIA 15
DGU nr.	107.1609	107.1605	107.1606	107.1607
Borefirma	PC Brøndboring A/S	GeoDrilling A/S	GeoDrilling A/S	GeoDrilling A/S
Boremetode	Skylleboring	Skylleboring med forerør	Skylleboring med forerør	Skylleboring med forerør
Borediameter	160 mm	160 mm	160 mm	160 mm
Dybde (målt forud for TRT)	103 m	96 m	100 m	102,5 m
Udbygning af BHE	Enkelt U 2 x ø40 sonder	Dobbelt U 4 x ø32 sonder	Enkelt U 2 x ø40 sonder	Coaxial Ydre ø63, Indre ø32
Forseglingsmetode	Bagstøbt	Pumpet ned i slange ved bund	Pumpet ned i slange ved bund	Pumpet ned i slange ved bund
Forseglingsmateriale	Dantonit (Thermal 200)	Dantonit (Thermal 200)	Dantonit (Thermal 200)	Dantonit (Thermal 200)

Tabel 7.1: Oversigt over undersøgelsesboringer på testsite.



Figur 7.5. Installation af slanger/borehulssonder (double loop).

7.3 Resultater og anbefalinger

De observationer der er gjort i forbindelse med dette projekt, peger i samme retning som de europæiske anbefalinger på området (se [D10](#) for referencer). For at kunne styre boreprocessen og installationen af BHE må det anbefales at borerne udføres med casing.

Der er med overlæg ikke anvendt spacere i de udførte testboringer, men erfaringerne fra den coaxiale BHE indikerer kraftigt at det er vigtigt at tage forholdsregler for at reducere den termiske kortslutning mellem kold og varm brinestrøm. Det må derfor anbefales at der anvendes spacere til at holde de enkelte rør i BHE adskilt.

Ved udførelse af jordvarmeboringer er det af hensyn til både drifts- og anlægsøkonomi vigtigt at boringen har en veldefineret lille diameter hvor BHE kan installeres, så der opnås god termisk kontakt mellem anlæg og jord. Det vil derfor være at foretrække at boringen etableres med casing.

Af hensyn til afpropning og effektivitet af BHE, er det vigtigt at der anvendes det korrekte (i henhold til producentens anvisninger) blandingsforhold mellem vand og produkt. Batchblanding anses for at være den bedste måde til at opnå dette.

Det kan anbefales at der føres nøje regnskab med mængden af forbrugte materialer i de enkelte boringer. Det er både gældende for opfyldningen med pumpet grout, og behovet for efterfyldning fra toppen som typisk er nødvendigt efter ca. 1 døgn.

Det anses for mest sikkert at der pumpes fra bunden under hele fyldningen. For at reducere risikoen for sprængning af slangen, må der anvendes slanger af højt tryktrin.



Figur 7.6 Batchblanding (til venstre) og direkte blanding af grout. (til højre). Til venstre ses blandekar der kan tømme ned i en snekkepumpe som efterfølgende pumper blandingen ned i boringen. Til højre ses blandemaskine hvorfra blandingen løbende kan pumpes til boringen.

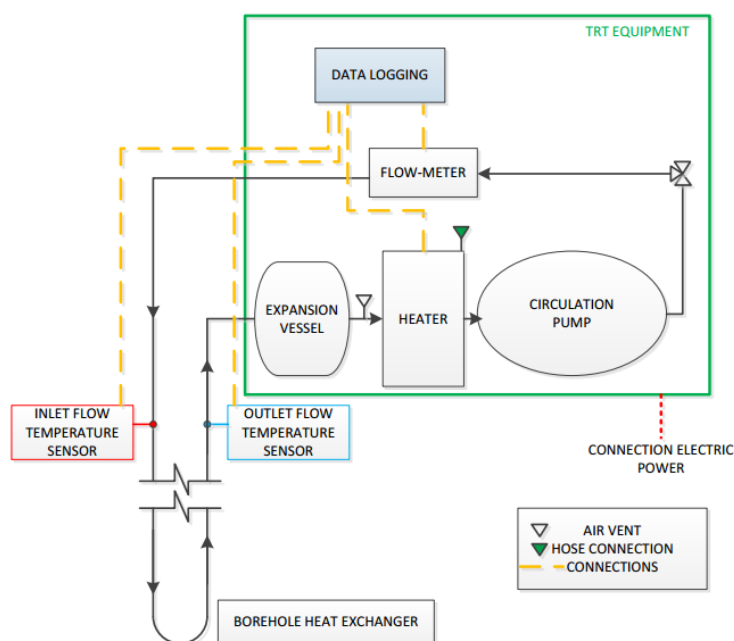
8 TERMISK RESPONSTEST

Formålet med en termisk responstest er at få et direkte mål for boringens ydeevne, dels i form af et mål for boringens samlede termiske ledningsevne, dels for overgangsforholdene mellem boring og formation, den såkaldte borehulsmodstand.

Princippet i en termisk responstest er at en væske, der cirkulerer i en jordvarmeborings lukkede rørsystem, påføres en kendt energimængde i form af varme i et givet tidsrum. Ved at måle responsen fås et udtryk for afsætningen af varme i jorden. Gennem analyse af data kan jordens varmeledningsevne beregnes. Figur 8.1 viser princippet i opstilling og måling.

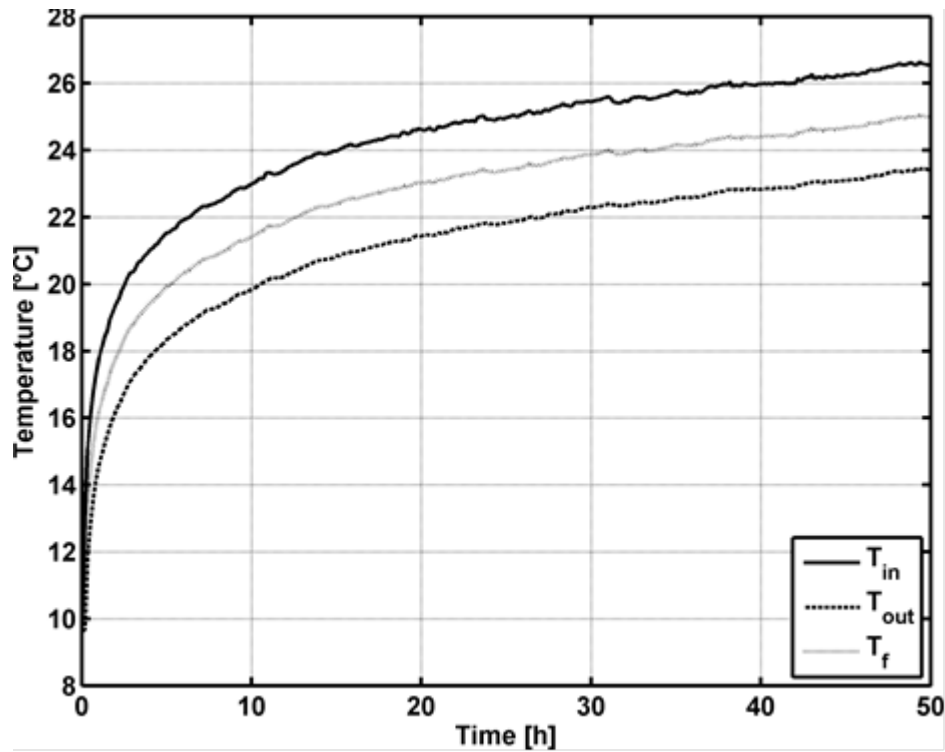
I forbindelse med GeoEnergi-projektet har man på VIA-UC Horsens selv opbygget et udstyr til termisk responstest som er benyttet til at vurdere ydelserne fra de boringer, der er etableret på testsitet.

Som del af D8 er der udarbejdet en vejledning i anvendelse af udstyret konstrueret på VIA-UC. Udstyret er bygget op fra grunden i VIA's værksted i løbet af 2011 og 2012. Det består af en række komponenter der er nærmere gennemgået i [vejledningen](#). På figur 8.1 ses det sammenbyggede udstyr. Udover det hjemmebyggede udstyr, råder VIA nu også over et kommercielt tilgængeligt udstyr produceret af UBeG, Wetzlar, Tyskland.



Figur 8.1. Skematisk opbygning af TRT udstyr, se vejledning [D8 part 2](#) for detaljer.

De to temperatursensorer (rød: indløb og blå: udløb) er termoelementer forbundet med en datalogger hvor data opsamles hvert 10. sekund. Flowmetret er baseret på ultralyd og har en nøjagtighed på +/- 0.001 m³/t. Der er desuden indbygget en måler til registrering af forbrugt energi. Varmelegemet har en nominel effekt på 3kW og leverer konstant opvarmning af det cirkulerende vand. En mere detaljeret beskrivelse og betjeningsvejledning findes i [D8 part 2](#).



Figur 8.2. Eksempel på temperaturmåling fra termisk responstest.

En tolkning af de opsamlede data sker oftest ved anvendelse af "Infinite Line Source" metoden. Selve beregningen er beskrevet i [D8 part 2](#).

Det skal understreges at gennemførelse af test og ikke mindst tolkning af data kræver indgående kendskab til de bagvedliggende formler.

9 EKSEMPLER OG EVALUERING AF SYSTEMDESIGN

Som del af WP5 Systemdesign og energibalance er forskellige typer af jordvarmeanlæg med tilhørende og eventuelle supplerende komponenter beskrevet. Opgaven med at beskrive de forskellige jordvarmesystemer har afsløret en større kompleksitet end først antaget, idet der løbende er erkendt nye variationer af komponenter og typer af anlæg hvor jordvarmeboringer indgår i sammenspil med andre energiinstallationer. Varmeanlæg baseret på varmepumper og jordvarme kan således udformes på mange måder alt efter hvor mange komponenter der inddrages i systemet.

Generelt består et jordvarmesystem minimum af følgende komponenter:

- Borehulssonder (rør og slanger i jorden)
- Brine (væske, der cirkulerer i borehulssonder og nedgravede rør)
- Varmepumpe
- Tank til varmt vand (kan være bygget sammen med varmepumpen)
- Husets varmesystem (vandfyldte rør til fordeling af varme i huset)

Dertil kommer følgende komponenter som jordvarmesystemet kan være udbygget med:

- Suppleringsvarme i form af f.eks. el-varme og brændeovn
- Energiabsorber til opsamling af varme der lagres i jorden via borehulssonder
- Måleinstrumenter til dokumentation af driftsforhold og anlæggets effektivitet

I rapporten [D13-D15-D16](#) (Eksempler og evaluering af systemdesign) beskrives de 8 ovennævnte komponenttyper mere detaljeret mht. bestanddele og hvilken betydning de har for det samlede anlæg. Endvidere gives der i rapporten eksempler på hvordan komponenterne kan kobles sammen, og hvilke ulemper og fordele der er ved forskellige design.

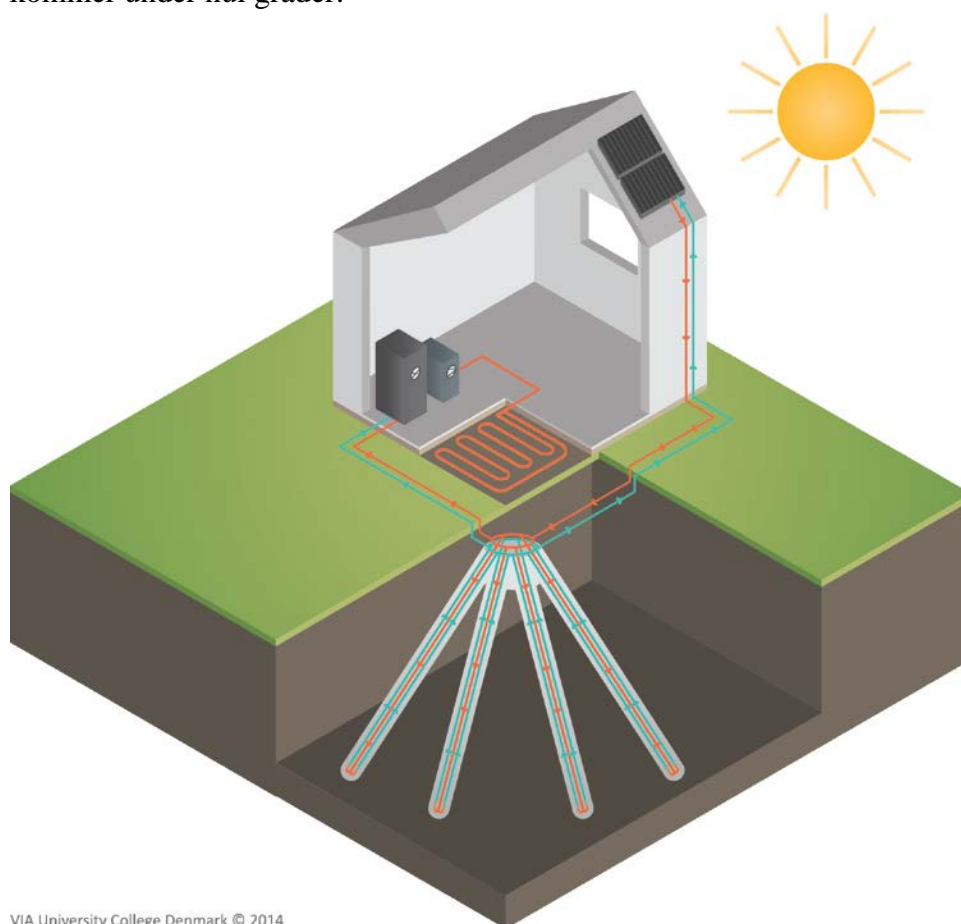
Baggrunden for vurderinger og anbefalinger i afsnittet her er især de erfaringer, der er opnået fra de tre testsites (VIA, Glud og Hornsyld) beskrevet i rapport [D11](#) (Aktiviteter på testsite) og [D14](#) (Design og installationer på testsites). Endvidere er inddraget erfaringer fra den spørgeskemaundersøgelse til ejere af jordvarmeboringer der blev foretaget i starten af projektperioden samt erfaringer fra andre anlæg – igangværende såvel som planlagte – som VIA har stiftet bekendtskab med i projektperioden. Det er f.eks. anlæg til opvarmning af Rosborg Gymnasium i Vejle og Sunwell installationerne i Inero's Live-Lab projekt i Stenderup, Hedensted kommune. Der er også medtaget viden fra publicerede artikler og oplysninger fra leverandører.

9.1 Jordvarmeboringer med og uden lagring

Ved beskrivelsen af systemdesign er der skelnet mellem boringer med og uden lagring af varme fra f.eks. solpaneler. Der kan bruges mange andre varmekilder end solpaneler – i rapport [D13-D15-D16](#) er der således bl.a. vist et eksempel på at varmekilden består af et hegn flettet af sorte plastikslanger.

En potentiel risiko ved jordvarmeboringer er at den varme der trækkes op af borehullerne om vinteren ikke når at blive erstattet af den naturlige tilstrømning af varme fra den omgivende jord. Dette er der størst risiko for når de omgivende jordlag har en lav varmeledningsevne, og der samtidig ikke er grundvandsstrømning (jf. [D20](#)). Resultatet kan være at den indgående brine-temperatur vil falde hen over årene, hvilket betyder at varmepumpen får en stadig lavere virkningsgrad. For at undgå dette, er det først og fremmest vigtigt at anlægget dimensioneres og drives rigtigt. Problemet kan endvidere imødegås ved at kombinere varmeindvinding om vinteren med varmelagring om sommeren.

En anden ulempe ved en stadig koldere brine er at temperaturen kan blive så lav, at jordmateriale og forsegling omkring boresonderne fryser til is, hvilket kan medføre udvidelse af jordlag omkring boresonderne. Dette kan være problematisk, og derfor tilrådes det at indstille varmepumpen således at den slukkes automatisk, hvis den kolde brine fra varmepumpen kommer under nul grader.



VIA University College Denmark © 2014

Figur 9.1. Eksempel på jordvarmeboringer med lagring af varme.

Et eksempel på et jordvarmesystem med lagring af varme kan se ud som vist på figur 9.1, hvor jordvarmeboringerne er skrå, og hvor varmen til lagring opsamles fra solpaneler monteret på taget. Systemet har også en selvstændig tank, hvilket altid tilrådes når der skal lagres varme.

I forbindelse med evt. varmelagring skal man være opmærksom på at en naturlig grundvandsstrømning vil kunne føre varmen væk fra borerne. Så for at afgøre om en given lokalitet er egnet til lagring af varme i jorden, er det nødvendigt at se på i hvor høj grad jordlagene udgøres af permeable lag (som sand, grus og sprækket kalk) med mulighed for grundvandsstrømning, og i hvor høj grad de udgøres af tætte (impermeable) lag som ler og tæt kalk med lille grundvandsstrømning.

9.2 anbefalinger ved systemdesign

Nedenstående anbefalinger henvender sig primært til designere af jordvarmeanlæg og til særlig teknisk interesserede brugere. Før der tages stilling til design af systemet skal der foretages en vurdering af myndighedsforhold for at afgøre f.eks. om jordvarmeboringer vil være i konflikt med nærliggende vandindvinding eksisterende fjernvarmeplaner etc. Se [D2](#). Endvidere skal de geologiske forhold vurderes for at afgøre stedets forventede lagfølge og det lokale trykniveau af grundvandet.

Herefter kan anbefalingerne til systemdesign opdeles i følgende emner:

- Vurdering af varmebehov, herunder suppleringsvarme og fremtidige ændringer
- Borehuller med eller uden lagring
- Type af varmepumpe og tank
- Pladsforhold og kredsløb i huset
- Driftsbetingelser, styring og drift

Varmebehovet kan opgøres ud fra varmetabsberegninger (tilgængelig især ved nye bygninger), tidligere forbrug (normalt tilgængelig ved eksisterende bygninger) eller brug af tabelopslag ud fra byggeår og bygningsareal.

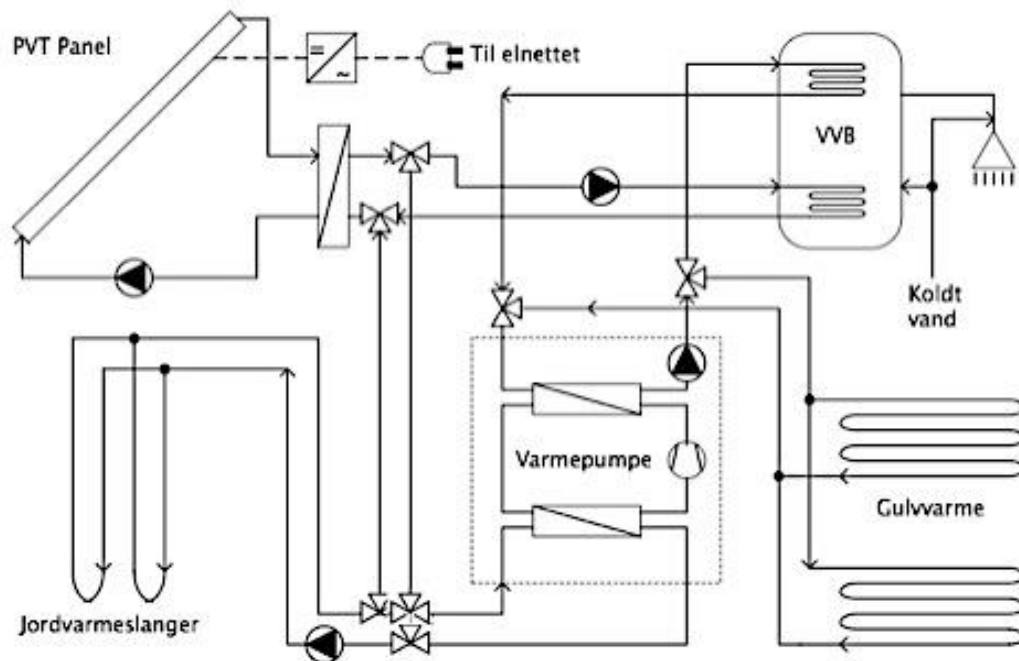
Når varmebehovet er fastlagt, skal der skønnes en nødvendig max-effekt – dvs. hvor hurtigt skal varmen kunne produceres på den koldeste dag i året. Der dimensioneres dog ikke helt efter at varmepumpen ved normal drift skal kunne klare den koldeste dag, men derimod sigtes der efter at den ved normal drift skal kunne klare f.eks. 90 % af behovet på den koldeste dag, idet det resterende behov kan dækkes af varmepumpens indbyggede el-patron.

Når varmebehovet er beregnet eller skønnet, er næste skridt at vurdere det nødvendige antal boremetre ud fra de lokale geologiske forhold. Denne vurdering kræver kendskab til jordlagenes varmeledningsevne samt et efterfølgende skøn over den maksimale effekt pr. boremeter.

Varmeledningsevnen i det pågældende område kan anslås ud fra eksisterende boringsoplysninger ved hjælp af den i projektet udviklede [webapplikation](#). Ud fra den gennemsnitlige varmeledningsevne i området kan der videre gøres et skøn over den maksimale effekt pr. boremeter (W/m) ved hjælp tabelopslag (f.eks. fra [den britiske energi-certificering](#)). Ud fra varmeledningsevnen og årlig middeltemperatur (8,7 °C i Dk) kan antallet af boremetre derved anslå ved forskellige årlige driftsperioder.

Det skal i den forbindelse bemærkes at det af borings- og installationstekniske grunde anbefales ikke at bore den enkelte boring dybere end 100-130 m. Hvis der er tale om et større anlæg med behov for mere end 2 boringer, anbefales det endvidere at der foretages en egentlig dimensioneringsberegning f.eks. med [EED](#).

Efter at det er lagt fast, om systemet skal kunne lagre – eller ikke lagre – varme i jorden, kan der tages stilling til valg af varmepumpe. Hvis der skal lagres – eller der skal være mulighed for det senere, skal der vælges en varmepumpe med separat systemtank. Det kan her altid anbefales at der vælges en rimelig stor systemtank med plads til to varmevekslere, den ene til veksling af varmt vand med varmepumpen, og den anden til veksling af varmt vand med solfangerne (eller anden overskudsvarme). Systemet er skitseret på figur 9.2.



Figur 9.2. Optimeret PVT-jordkredsløb med varmeveksler i tank. Kopi fra (1)

Valg af varmepumpe vil typisk ske i samråd med den VVS-installatør der skal udføre arbejdet med at tilslutte varmepumpen til borerne og til husets varmesystem. Tilslutningsarbejde omfatter også en elektriker der skal tilkoble el-forsyningen og det tilhørende styresystem for varmepumpen. Endvidere skal elektrikerens samarbejde med VVS-installatøren være med til at tilslutte supplerende måleinstrumenter til dokumentation af varmepumpens virkningsgrad. Her kan det anbefales at installere en bimåler til måling af varmepumpens totale elforbrug samt en energimåler til registrering af den mængde varme der produceres til huset, jf. [D13-D15-D16](#) (afsnit 2.8.)

Den mest simple styring til varmepumpen er en sensor til at registrere udetemperaturen. Hvordan varmepumpens drift i øvrigt skal være, må aftales mellem beboeren, VVS-installatør og elektriker – evt. er varmepumpeleverandøren eller en rådgiver også med til at fastlægge hvordan den normale drift skal være.

Nedenfor er anført nogle supplerende tekniske detailspørgsmål som skal /kan besvares i forbindelse med design og planlægning:

- Ved hvilken brine-temperatur (udgående brine fra varmepumpen) skal varmepumpen stoppe ?
- Hvilket flow skal jordkredsen have?
- Hvor skal bimåler til registrering af varmepumpens totale elforbrug sidde?
- Hvor skal energimåler til registrering af varmepumpens energiproduktion til huset monteres?
- Hvordan registreres den tid hvor varmepumpen er i gang?
- Hvor ofte skal COP beregnes – og hvem skal gøre det? (Skal det være manuel aflæsning og udregning eller automatisk logning i et Scada-system).

Hvis lagring med energiabsorber

- Hvilken form for energiabsorber skal tilsluttes?
- Hvilke lukkeventiler og sensorer skal monteres, og hvor præcis skal de sidde?
- Gennemgå de kredsløb, der er i systemet, med henblik på at definere hvornår de skal være aktive – og hvordan de bliver aktive – automatisk eller ved manual regulering?
- Hvilken dokumentation skal aflæses og gemmes med henblik på at udregne SCOP?

Hvis systemet skal kunne lagre varme, anbefales et design efter samme princip som i figur 9.2, der viser et system der kan levere varmt brugsvand om sommeren. Det betyder at varmepumpen ikke behøver at være i gang uden for fyringssæsonen. Samtidig er det muligt at udnytte hele kapaciteten fra PVT-panelerne, idet overskudsvarme (efter at varmtvandstanken er fyldt op) kan lagres i borehullerne og på den måde være med til at balancere vinterens varmeoptag fra jorden.

10 MULIGE MILJØMÆSSIGE PÅVIRKNINGER FRA JORDVARMEBORINGER

Der er i forbindelse med projektet foretaget et skrivebordsstudie af hvorvidt sænkning af grundvandstemperaturen omkring jordvarmeboringer kan ændre den naturlige mikrobielle population i jorden, og eventuelt kan medføre grundvandskemiske reaktioner.

Desuden berøres de potentielle kemiske effekter der kan opstå ved blanding af vand fra forskellige grundvandsmagasiner som følge af dårligt forseglede boringer.

Endvidere vurderes potentielt skadelige effekter ved lækage af den væske der cirkulerer i jordvarmeboringerne slanger, baseret på væskens kemiske sammensætning. Denne væske betegnes som brine. Det skal i den forbindelse bemærkes at slangerne i en lukket jordvarmeboring normalt vil indeholde mindre end 400 l brine. Heraf må frostsikringsmidler kun udgøre 35 %, hvorved der i værste fald vil kunne ske et udslip af mindre end 150 l frostsikringsmidler. Det er dog ikke sandsynligt at hele slangen tømmes ved et enkelt brud, så længe der ikke kan trænge luft ind i slangerne. Anlæggene skal være forsynet med en pressostat som afbryder strømmen til cirkulationspumpen og varmepumpen i det øjeblik der sker et trykfald i slangen. Ved en enkelt lækage fra slangerne i selve boringen vurderes udslippet i de fleste tilfælde at udgøre mindre end 5 l brine.

10.1 Effekt af temperatur ændringer

Overordnet viser de fundne studier at de forventede temperaturfald omkring lukkede jordvarmeboringer sandsynligvis vil have en temperaturmæssig effekt på den biologiske aktivitet, men at denne vil være begrænset til det sediment der findes i umiddelbar nærhed af boringen.

10.2 Effekt af utætte boringer

Nedsivning af iltet grundvand langs utætte boringer vil kunne påvirke grundvandskemien i dybereliggende lag hvor der er reducerende kemiske forhold. Dette vil bl.a. kunne føre til oxidation af pyrit i sedimentet og forskydning af den kemiske ligevægt i grundvandet. Det er derfor, som ved al borearbejde under grundvandsspejlet, vigtigt at forseglingen foretages omhyggeligt.

10.3 Effekt ved udslip af briner med ethanol og IPA-sprit (isopropanol)

Der findes ethanol-nedbrydende mikroorganismer overalt i jordmiljøer, og i praksis vil ethanol hovedsageligt nedbrydes under iltfrie forhold, idet den tilgængelige mængde ilt hurtigt opbruges. Ved den iltfri nedbrydning kan der dannes acetaldehyd, acetat, butyrat, propionat, n-propanol, acetone, metan og brint, og der er ikke risiko for akkumulering af toksiske mellemprodukter. Kendskabet til nedbrydningshastigheden i forskellige sedimenter er dog begrænset, og de estimerede halveringstider varierer fra timer til uger.

Man kan på grund af den strukturelle lighed mellem isobutanol og isopropanol formode at isopropanol heller ikke vil udgøre nogen større udfordring for den mikrobielle metabolisme.

Glykoler forventes at være nedbrydelige i de fleste iltfrie miljøer, inklusiv grundvands-systemer. Ved an-aerob nedbrydning vil glykol hovedsageligt omdannes til CO₂ og mindre organiske forbindelser såsom aldehyder (acetaldehyd, propionaldehyd) og alkoholer (ethanol, propanol). De organiske nedbrydningsprodukter forventes ikke at akkumulere i grundvandet. De er

almindelige mellemprodukter i nedbrydningen af organiske forbindelser og udviser meget lav toksicitet.

Det må konkluderes at såfremt ethanol eller IPA-sprit kan anvendes uden tilsætning af anti-korrosionsmidler og antimikrobielle midler, vil briner baseret på ethanol eller IPA-sprit ved udslip udgøre en begrænset risiko for grundvandsforurening. Denne er betydeligt mindre end grundvandsrisikoen ved de glykol-baserede briner med additiver, se nedenstående.

Andre frostmidler kan i fremtiden komme på tale skønt de p.t. kendte ikke er problemfrie, se D21 for en nærmere beskrivelse af disse.

10.4 Effekt af tilsætningsstoffer i brinen

Ethylhexansyre og natrium-2-ethylhexanoat vurderes af Miljøstyrelsen på nuværende grundlag ikke at være mere problematiske for miljøet med hensyn til giftighed og nedbrydelighed end ethanol, og kan på nuværende tidspunkt anbefales som tilsætningsstof i jordvarmeanlæg. Ud fra stoffernes potentielt skadelige effekter kunne det dog være relevant at etablere et bedre grundlag for vurdering af omsætning og transport af ethylhexansyre og natrium-2-ethylhexanoat under forhold der er karakteristiske for danske jordvarmeanlæg, inden stoffet anvendes mere udbredt som additiv.

NaOH vurderes af Miljøstyrelsen på nuværende grundlag ikke at være mere problematisk for miljøet med hensyn til giftighed og nedbrydelighed end ethanol. NaOH kan på nuværende tidspunkt anbefales som tilsætningsstof i jordvarmeanlæg. Det kunne dog være relevant at foretage en modellering af effekten på grundvandskemien i form af f.eks. opløsning af metaller mv.

Tolyltriazol er klassificeret som meget giftigt for organismer der lever i vand, samtidig med at det vurderes til ikke at være let nedbrydeligt. Det kan ikke på nuværende grundlag udelukkes at dette stof kan udgøre et problem. Miljøstyrelsen vurderer at det ikke på nuværende tidspunkt kan anbefales som tilsætningsstof. I en tysk undersøgelse fremhæves både tolyltriazol og det relaterede antikorrosionsmiddel benzotriazol ligeledes som stoffer der bør undersøges nærmere i forhold til anvendelse i jordvarmeanlæg. Det pointeres at begge stoffer er svært nedbrydelige under forhold der er karakteristiske for grundvandsmagasiner, og som følge af ringe sorbtion til jordmatricen, vil et udslip kunne medføre langvarig eksponering og stor udbredelse af stofferne som følge af transport i vandførende lag.

11 INFORMATION, KURSER OG EFTERUDDANNELSE

Et væsentligt mål med projektet har været at udbrede viden og resultater og derved fremme brugen af jordvarmeboringer. Det er gjort ved løbende at holde foredrag og kurser for interessenter, at deltage med indlæg i faglige konferencer samt ved publikation af artikler om emnet. Endvidere er afholdt indledende workshop med deltagelse af internationale eksperter og der afholdes en workshop for danske interessenter som afslutning p projektet. I forbindelse med projektet er der drevet en [hjemmeside](#) med information, dels om lukkede jordvarmeboringer generelt, dels med specifikke projektnyheder. Denne er løbende blevet opdateret bl.a. med links til publicerede projektrapporter (leverancer).

Nedenstående gives en oversigt over afholdte kursusaktiviteter, afholdte møde, publikationer og deltagelse i konferencer. GEUS har desuden deltaget i lovforberedende arbejde i forbindelse med kommende revision af jordvarmebekendtgørelsen.

11.1 Afholdte aktiviteter

En oversigt over møder og konferencer hvor projektet og resultater herfra er blevet præsenteret fremgår af nedenstående tabel.

Tabel 11.1. Møder, seminarer, kurser og konferencer

Arrangør	Møde	Tid og sted	Dansk / international
GeoEnergi	Kick-off møde	31/3-11, Højbjerg	Dansk
GeoEnergi	Knowledge sharing workshop	Sept.2011, Horsens	International
EGEC / EFG	Geotrainet+ preparation meeting	14/10-11, Bruxelles	International
GeoEnergi	Møde med DANVA	20/1-12, Højbjerg	Dansk
GeoEnergi	Møde om uddannelsesbehov	25/1-12, Horsens	Dansk
GeoEnergi	Følgegruppemøde	19-03-2012	Dansk
EGEC / EFG	Geotrainet planning meeting	28/02-2013, Offenburg	International
VIA UC	Præsentation for Prins Charles, Horsens	April 2012	International
Dansk Geologisk Forening	Temamøde om jordvarmeboringer, Aarhus Universitet	November 2012	Dansk
GeoEnergi	Følgegruppemøde	10-04-2013	Dansk
Arrangør	Konference	Lokalitet	Dansk / international
ATV Jord og Grundvand	Undergrunden som termisk ressource	25/5-11, Odense	Dansk
New Energy Husum	New Energy meets Denmark	Marts 2012 Husum	International
European Technology Platform for Renewable heating and cooling	2012 Annual Conference on Renewable Heating and Cooling	28-29. april 2012	International
EGEC	GeoPower Europe 2011	6-7/12-11, Milano	International
European Association of Geoscientists & Engineers	EAGE, workshop on geothermal Energy	6. juni 2012 Bella Centeret, Kbh.	International
IRES	7th International Renewable Energy Storage Conference and Exhibition (IRES 2012)	Berlin	International
GeoTherm Messe, Offenburg	GeoTHERM - expo & congress	27-28 /02-2013 Offenburg	International
EGEC	European Geothermal Congress	Pisa, Juni 2013	International
Aarhus Universitet	Science for the Environment	1-2. oktober 2013	International

Afholdte foredrag og publikationer udarbejdet i forbindelse med projektet fremgår af tabel 11.2.

Tabel 11.2. Publikationer og foredrag ud over egentlige projektleverancer listet i tabel 1.1.

Publikation	Udgiver
Undergrunden som geotermisk ressource. Thomas Vangkilde-Petersen m.fl.	ATV Jord og Grundvand
Introduktion til jordvarme og varmepumpens velsignelser v. Inga Sørensen.	ATV Jord og Grundvand
Jorden som varmekilde V. Thomas Vangkilde-Pedersen	GeoViden 2011, 4. Geocenter Danmark
Lodret Jordvarme. Fakta og myter. Interview med Claus Ditlefsen	Forbruger magasinet Idenyt, November 2011.
Shallow geothermal energy in Denmark. Vangkilde-Pedersen, T., Ditlefsen, C. and Højberg, A.L	GEUS. Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin 26, 37–40. GEUS 2012.
Shallow geothermal energy in Denmark – current status and trends. Claus Ditlefsen and Thomas Vangkilde-Pedersen, GEUS	Extended abstract from EAGE workshop on geothermal Energy 08-06-2012.
GeoEnergy – a national shallow geothermal research project. Ditlefsen, C., Sørensen, I., Bjørn, H., Balling, I.M., Højberg, A.L. and Vangkilde-Pedersen, T.	EAGE. Proceedings of the European Geothermal Congress Pisa, 2013
Geothermal Energy Use, Country Update for Denmark. Mahler, A., Røgen, B., Ditlefsen, C., Nielsen, L. H. and Vangkilde-Pedersen, T.	EAGE. Proceedings of the European Geothermal Congress Pisa, 2013
Ground Source heating, - Elements in a sustainable energy supply. Science for the Environment 2013. Ditlefsen, C., Møller, I. Sørensen, I., Bjørn, H., Højberg, A. L. & Vangkilde-Pedersen, T. 2013	Aarhus University. Danish Centre for Environment and Energy. Conference Book, Abstract. p. 27.
Estimation of thermal conductivity from existing soil descriptions. – A new web based tool for planning of ground source heating and cooling. Ditlefsen, C., Sørensen, I., Slott, M. & Hansen, M.	GEUS. Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin 31. 55-58- GEUS 2014.
Foredrag	Tid og Begivenhed
Undergrunden som geotermisk ressource v. Thomas Vangkilde-Petersen.	AVT. 25/5-11 Undergrunden som termisk ressource
Introduktion til jordvarme og varmepumpens velsignelser, v. Inga Sørensen.	ATV. 25/5-11 Undergrunden som termisk ressource
Geothermal energy in Denmark - current status	6-7/12-11 GeoPower Europe 2011
Shallow geothermal Energy in Denmark, v Claus Ditlefsen	16. marts 2012. New Energy Husum FURGY kongres
Current status and trends for shallow geothermal energy in Denmark, v. Claus Ditlefsen	8. juni 2012. EAGE workshop
Jordvarme fra lodrette borer, v. Inga Sørensen	Storsspot med QR-koder opsat i Energiparken VIA UC i juni 2012
Solceller med jordkøling., v Inga Sørensen	Storsspot med QR-koder opsat i Energiparken VIA UC i juni 2012
Geologi og jordvarmeboringer, v. Claus Ditlefsen	Foredrag for geologistuderende Kbh. Uni Okt. 2012
Shallow Geothermal Systems v. Henrik Bjørn	Videotransmitteret lektion afholdt af Henrik Bjørn 4. oktober for Universitetet i Santander, Spanien.
Introduktion til Jordvarmeboringer. v Henrik Bjørn	Foredrag af ved besøg fra Horsens Gymnasium 6. november 2012.
Geologi og jordvarmeboringer, v. Claus Ditlefsen	Dansk Geologisk Forening, Aarhus Nov. 2012
Overfladenær Energilagring, V. Henrik Bjørn	Dansk Geologisk Forening, Aarhus Nov. 2012
Dimensionering, etablering og drift af jordvarmeboringer, V Inga Sørensen	Dansk Geologisk Forening, Aarhus Nov. 2012
Hvordan virker jordvarmeboringer og hvordan kan de	ENVINA kursus for kommunale sagsbehandlere,

påvirke den lokale hydrogeologi , v. Claus Ditlefsen	november 2012
Hvordan skaffes relevante hydrogeologiske data til sagsbehandling, v. Claus Ditlefsen	ENVINA kursus for kommunale sagsbehandlere, november 2012
Jordvarmeboringer og grundvandskvalitet, v. Lærke Thorling Sørensen	ENVINA kursus for kommunale sagsbehandlere, november 2012
The Sunwell Concept. Heat extraction from boreholes combined with seasonal heat storage in the subsurface, v. Inga Sørensen.	Workshop Interegrated Energy System VIA UC, tirsdag d. 6. november 2012.
Forundersøgelser og om eksempler på borearbejde v. Inga Sørensen	Kursus i dimensionering af jordslange anlæg med lodrette boringer. Teknologisk Institut, december 2012.
Ground Source heating, - Elements in a sustainable energy supply.	Aarhus Universitet. Science for the Environment, oktober 2013.

11.2 Behov for kurser og efteruddannelse

Der er behov for at udvikle kursusmoduler om lodrette jordvarmeanlæg hvor der lægges vægt på hvordan jordvarmeboringer etableres i praksis, og hvilke krav der skal stilles til dem. VVS-branchen og mange andre tænker ofte primært på horisontale anlæg når der overvejes installation af jordvarme. Det skal ændres så lukkede jordvarmeboringer indgår i overvejelserne på lige fod med andre miljøvenlige løsninger, og det desuden tages i betragtning at det er muligt at lagre varme i jorden fra sommer til vinter, hvilket er ikke muligt i de vandrette anlæg.

At gøre VVS-installatører mere bekendt med de lodrette anlæg kræver at der udbredes viden om fordelene ved disse anlæg og dokumentation af driftserfaringer. Desværre er der endnu kun få anlæg hvor det muligt at dokumentere effektiviteten, idet der ikke er opsat de nødvendige måleinstrumenter til separat måling af el til varmepumpen og måling af den producerede varme til huset.

11.2.1 Videreudvikling af kurser på ingeniørniveau

De eksisterende kurser om jordvarme (se [D7](#), appendiks 1 og 2) bliver løbende opdateret med hensyn til indholdet. Herudover er der behov for nye kurser der fokuserer på dimensionering af konkrete anlæg og dimensionering af integrerede energiløsninger. Endvidere er der behov for at ingeniørerne har et grundigt kendskab til varmepumpeprincippet, og de muligheder der er for at udnytte varmepumper i integrerede energiløsninger, herunder lagring af energi i jorden fra sommer til vinter. Disse emner vil i høj grad blive tilgodeset i den nye uddannelse til forsyningsingeniør som vil starte på VIA fra sommeren 2015.

Elementer af kurserne for kølemontører og VVS-branchen vil også være relevant for ingeniører, arkitekter og andre af de målgrupper der er nævnt i introduktionen. For eksempel er kendskabet til varmepumper og principper for lagring af energi i jorden essentielle for stort set alle personer der beskæftiger sig med design af energiløsninger

I EU-regi udvikles og afholdes kurser for brøndborere, planlæggere og undervisere. En oversigt over afholdte kurser og tilhørende kursusmateriale kan ses på <http://www.geotrained.eu/moodle/>

12 ANBEFALINGER OG GUIDELINES

I forbindelse overvejelse og planlægning af varmeanlæg baseret på en lukkede jordvarmeboringer skal en række spørgsmål afklares. Disse er forsøgt besvaret i nedenstående anbefalinger og guidelines.

12.1 Hvad er fordelene ved lukkede jordvarmeboringer frem for andre energikilder?

Jordvarmeboringer til husopvarmning er en af flere grønne løsninger, der bygger på velkendt varmepumpeteknologi.

En lukket jordvarmeboring kan levere op mod 100 % vedvarende energi, afhængig af oprindelsen af strøm til varmepumpen.

Teknologien giver endvidere mulighed for varmelagring samt energi til køleformål i sommerhalvåret.

Nu nuværende erfaringer tyder på at levetiden af en rigtig udført boring er meget høj.

I modsætning til anlæg med terrænnære jordvarmeslanger kræver jordvarmeboringer kun lidt plads og kan etableres de fleste steder. Det gælder også under de fleste geologiske forhold. Tilstrømning af varme fra omgivelserne vil dog afhænge af jordlagenes beskaffenhed og af om der er lag med strømmende grundvand. Men rigtig dimensioneret og drevet vil lukkede jordvarmeboringer også fungere, hvor der ikke er lag med strømmende grundvand.

Jordvarmeboringer kan etableres uden nogen synlige dele og er støjfri ved drift.

12.2 Hvordan er økonomien ved skift til jordvarmeboringer?

Da jordvarmeboringer benytter ”gratis” vedvarende energi og de forventelig har lang levetid og få serviceudgifter vil en jordvarmeboring tilnærmelsesvis være en engangs investering. Den samlede økonomi vil dels afhænge af de nuværende udgifter til den varmforsyning der skal erstattes, og af hvordan anlægsudgifterne i øvrigt kan finansieres. Periodevis kan forskellige støtteordninger til vedvarende energi benyttes. Oplysninger om eksisterende støtteordninger kan findes på [Energistyrelsens hjemmeside](#). Disse forhold gør at tilbagebetalingstiden på et nyt jordvarmeanlæg kan være varierende.

Et velfungerende varmeanlæg der bygger på vedvarende energi vil alt andet lige øge en ejendoms samlede værdi.

For at fremme investeringerne i grøn energi, kunne man anbefale at der arbejdes på at finde en form for lånegaranti til investeringer i lodret jordvarme – og andre ”grønne” løsninger med relativ store anlægsudgifter og at en sådan lånemulighed knytter sig til ejendomme frem for til den nuværende ejer. Når tilbagebetalingstiden er længere end perioden en ejer påregner at bo i huset, vil investeringen derved på en gennemskuelig måde blive delt mellem flere ejere.

12.3 Hvad er varmebehovet og hvor godt er huset isoleret?

Her skal man både kende det årlige forbrug og spidsbelastningen om vinteren. Man skal også være opmærksom på at antallet af graddage varierer i forskellige dele af landet på

grund af det lokale klima, jf. D9. Man skal have kendskab til hvor godt bygningen er isoleret. I mange situationer kan det være en økonomisk fordel først at efterisolere bygningen og herefter beregne varmebehovet.

12.4 Hvilket areal er tilgængeligt for det aktuelle anlæg?

Dette areal med tilhørende pladsforhold skal sammenholdes med afstandskravene i gældende [Bekendtgørelse om jordvarmeanlæg](#). Krav om 20 m mellem jordvarmeboringer tilsluttet samme anlæg forventes slækket i kommende revision af Bekendtgørelsen. Kommunerne kan i nogle tilfælde dispensere for afstandskravene. Er der behov for dette, anbefales det at man indledende tager kontakt til den kommunale sagsbehandler.

12.5 Hvad er planstatus og lovgivning for det valgte areal?

I den forbindelse er der afstandskrav om 300 m til offentlig vandforsyningsboring og 50 m til anden vandforsyning. Andre begrænsninger kan være knyttet til en lokalplan for området. For eksempel kan der være regler om at alle ejendomme i et givet område skal tilsluttes et eksisterende netværk af fjernvarme eller naturgas.

12.6 Hvor mange og hvor dybe boringer er der behov for?

Det nødvendige antal bore-metre afhænger dels af varmebehovet, dels af geologien på stedet. Det er især jordens varmeledningsevne samt hvorvidt der er grundvandsstrømning i jorden der er afgørende for ydelsen.

Varmeledningsevnen i det pågældende område kan anslås ud fra eksisterende boringsoplysninger ved hjælp af den i projektet udviklede [webapplikation](#). Ud fra den gennemsnitlige varmeledningsevne i området kan der videre gøres et skøn over den maksimale effekt pr. boremeter (W/m) ved hjælp tabelopslag (f.eks. fra [den britiske energi-certificering](#)). Ud fra varmeledningsevnen og årlig middeltemperatur (8,7 °C i Dk) kan antallet af boremeter derved skønnes ved forskellige årlige driftsperioder.

Det skal i den forbindelse bemærkes at det af borings- og installationstekniske grunde anbefales ikke at bore den enkelte boring dybere end 100-130 m. Hvis der er tale om et større anlæg med behov for mere end 2 boringer, anbefales det endvidere at der foretages en egentlig dimensioneringsberegning f.eks. med [EED](#).

Som nævnt vil tilstedeværelsen af grundvandsstrømning øge tilstrømningen af energi til boringen, og dermed være med til at sikre energioptaget på længere sigt. Det vil normalt kræve en erfaren geolog eller brøndborer indledende at vurdere hvorvidt der kan forventes grundvandsstrømning. Som minimum kræves at boringen indeholder vandførende lag.

For større mere komplekse anlæg hvor der også påtænkes lagret energi (f.eks. fra solceller) i jorden, kan der med fordel foretages en 3D modelberegning som både omfatter varme- og grundvandsstrømning, hvor varierende driftsforhold også kan indgå. Til dette kan benyttes programpakken [FEFLOW](#). Dette er dog et ekspertværktøj som kræver større modelerfaring.

12.7 Hvem skal udføre arbejdet?

Hvis man ikke har teknisk viden på området, anbefales det at vælge en rådgiver/entreprenør/installatør, der både har erfaring med etablering af jordvarmeboringer, og med valg, dimensionering, tilslutning og indkøring af varmepumpe samt eventuelt med tilslutning af andre komponenter/energikilder. Som regel vil der desuden være en eller flere underentreprenører involveret. Det anbefales at de referer til hovedleverandøren og ikke direkte til husejeren. Hermed har hovedleverandøren ansvaret for at der etableres et fuldt funktionsdygtigt anlæg, og det bør endvidere aftales at opbygning, drift og behov for løbende tilsyn af anlægget er beskrevet som en del af leverancen.

12.8 Af hvem og hvordan skal boringen udføres?

Boringer på land skal altid udføres af [uddannede brøndborere](#) efter [gældende lovgivning](#). Det bør endvidere sikres at den boreentreprenør man vælger har erfaring med etablering af lukkede jordvarmeboringer.

For at kunne styre boreprocessen og installationen af slanger i boringen, anbefales det at boringen udføres med casing. Det anbefales endvidere at der ved installation af slangerne i boringen benyttes afstandsstykker (spacere) mellem de enkelte slanger for at undgå korsslutning mellem varm og kold slange.

Med henblik på at opnå en så god termisk kontakt til den omgivende jord som muligt, anbefales det at man benytter et termisk optimeret produkt til at forsegling af boringen.

For at opnå en tæt forsegling og effektiv varmeudveksling, anses det for sikrest at forseglingsmaterialet pumpes fra bunden via fødeslang under hele fyldningen. For at reducere risikoen for sprængning af slangen, må der anvendes slanger af højt tryktrin.

Det er endvidere vigtigt at forseglingsmaterialet (grouten) blandes efter producentens anvisninger. Batch-blanding af en hel portion grout inden nedpumpning anses for at være den bedste måde til at opnå dette. Det anbefales endvidere at der føres nøje regnskab med mængden af forbrugte materialer i den enkelte boring. Det gælder både for opfyldningen med pumpet grout, og for efterfyldning fra toppen som typisk er nødvendig efter ca. 1 døgn. Det anbefales at dokumentation for mængden af forbrugt grout sendes digitalt til GEUS sammen med den lovpligtige indberetning af boringen.

Så længe forseglingsmaterialet indeholder vand kan der være risiko for at det svulmer op hvilket bl.a. kan medføre sætningsskader på jord og bygninger. Det anbefales derfor at udløbstemperaturen fra varmepumpen holdes over 0 ° C i mindst 40 dage efter at boringen er konstrueret, så grouten kan nå at størkne inden den evt. udsættes for frostpåvirkning.

Såfremt det planlægges at udføre flere boringer på samme lokalitet, skal man være opmærksom på de gældende afstandskrav. I den eksisterende lovgivning er der stillet et afstandskrav på 20 m mellem individuelle jordvarmeboringer. Kravet er stillet med henblik på at undgå at tætstående boringer kommer til at påvirke hinanden negativt. Risikoen er til stede, men på baggrund af de forsøg der er udført på VIA vurderes det at den kritiske afstand er væsentligt under 20 m. Efter 1 års drift på en af de første forsøgsboringer, der blev udført, har der kunnet observeres et ganske svagt temperaturfald (ca. 1° C) i en afstand på 1,5 m fra boringen.

Såfremt det ønskes at anvende borerne som sæsonvarmelager, skal man være opmærksom på at stor afstand mellem borerne vil have en negativ effekt. Her skal borerne optimalt set stå så tæt at de netop begynder at påvirke hinanden temperaturmæssigt for at reducere varmetabet.

Den optimale afstand mellem borerne afhænger derfor både af boringernes planlagte anvendelse, de lokale geologiske forhold, den samlede energimængde og de aktuelle driftstemperaturer. Ved større anlæg må det derfor anbefales at der foretages en egentlig modellering, før boringernes afstand, antal og dybde fastlægges.

Den gældende vejledning, herunder afstandskravet, er pt. under revision

12.9 Hvad skal man eller tage højde for ved installation

Rørforbindelse fra boring og ind til huset skal overvejes i planlægningsfasen. Ved nye huse er det meget enkelt at medtage rør til brine i den føringskanal som indeholder de øvrige forsyningsledninger og rør. Ved ældre huse kan det være nødvendigt at håndgrave forbindelsen fra jordvarmeboring til hus for at få installationen af brinerør på plads.

Ud fra et miljømæssigt synspunkt anbefales det, at der i anlægget anvendes en nedbrydelig, fuldt deklareret frostsikret væske (brine) uden additiver f.eks. baseret IPA-sprit eller ethanol og en dertil passende varmepumpe.

Forbindelsesrør med brine skal altid isoleres fra boring og frem til varmepumpe for at forhindre at den kolde brine fra varmepumpen vil få omgivelserne til at fryse, hvilket vil kunne medføre sætningsskader på huset. Det anbefales endvidere at varmepumpen indstilles så den slukker når den indgående brine har en temperatur under nul grader.

Hvis jordlagene på stedet er egnet til varmelagring, anbefales det at mulighed for dette indbygges i anlægget. Det skal da overvejes hvilken type energiabsorber der skal indgå i systemet. Her er mange muligheder. Det kan være solfangere eller et rørsystem på bagsiden af solceller (PVT-paneler) eller andre energifangere der kan optage varme fra den omgivende luft. I forbindelse med industri kan endvidere forekomme forskellige former for overskudsvarme der kan lages. Det kan være overskudsvarme fra en stald eller et serverrum, overskudsvarme fra en industriproduktion eller varme fra køle- og frysediske m.m. Ved varmelagring anbefales endvidere at vælge en varmepumpe med separat systemtank – se skitsen figur 9.2.

Der er forskel på effektiviteten af systemet alt efter om varmepumpen leverer til radiatorer eller til gulvvarme, idet fremløbstemperaturen til radiatorer generelt er højere – typisk 55 til 60 °C, sammenlignet med gulvvarme hvor fremløbstemperaturen ligger i intervallet 35 til 40 °C. Det kan endvidere være nødvendig i planlægningsfasen at finde ud af om det er nødvendigt at udskifte smalle radiatorer med brede radiatorer.

Hvis man ønsker at overvåge systemets effektivitet og driftsøkonomi, anbefales det at installere en selvstændig bimåler til at registrere varmepumpens el-forbrug samt en energimåler til at registrere hvor stor en varmemængde, der er produceret til huset.

12.10 Gennemelle spørgsmål i forbindelse med kommunens sagsbehandling

Der vil endvidere typisk være en række spørgsmål en kommunal sagsbehandler vil stille til et jordvarmeanlæg. Det vil typisk være spørgsmål til om det er forsvarligt at etablere lukkede jordvarmeboringer inden for OSD og hvad skal man som sagsbehandler være opmærksom på?

Risikoen for lækage af større mængder frostsikringsmiddel fra lukkede jordvarmeboringer, der er etableret efter ovenstående retningslinjer, vurderes at være meget lille. Endvidere er nedbrydeligheden i af de mest anvendte frostsikringsmidler i jordmiljøet moderat til høj, og for frostsikringsmidler som ikke er tilsat additiver er giftigheden lille. Så når der benyttes frostsikringsmidler uden additiver, anses forureningsrisikoen ved etablering af jordvarmeboringer også i OSD at være meget lille.

Boringer skal i henhold til gældende bekendtgørelse altid forsegles ud for vandstandsende lerlag. Lukkede jordvarmeboringer vil normalt være forseget i hele boringens længde. Der kan, som for alle andre boringer, være risiko for at forseglingen ikke er lykkedes efter hensigten. Det gælder både forsegling med pumpet grout og traditionel forsegling med bentonit-pellets. Herved kan der være i uheldige tilfælde være risiko for at grundvand af forskellig kvalitet fra forskellige grundvandsmagasiner blandes.

Ved pumpet grout kan forseglingen kontrolleres ud fra mængden af forbrugt forseglingsmateriale, og krav om dokumentation af forbrugt forseglingsmateriale vil kunne være et vilkår i tilladelsen. Kommunen kan evt. stille som et skærpet vilkår at man varsles nogle timer inden forseglingen påbegyndes, og derved har mulighed for at føre tilsyn.

Under alle omstændigheder anbefales det at kommunen med jævne mellemrum fører tilsyn med borearbejder for derved at blive opdateret på arbejdsgange og valgte materialer m.m.

