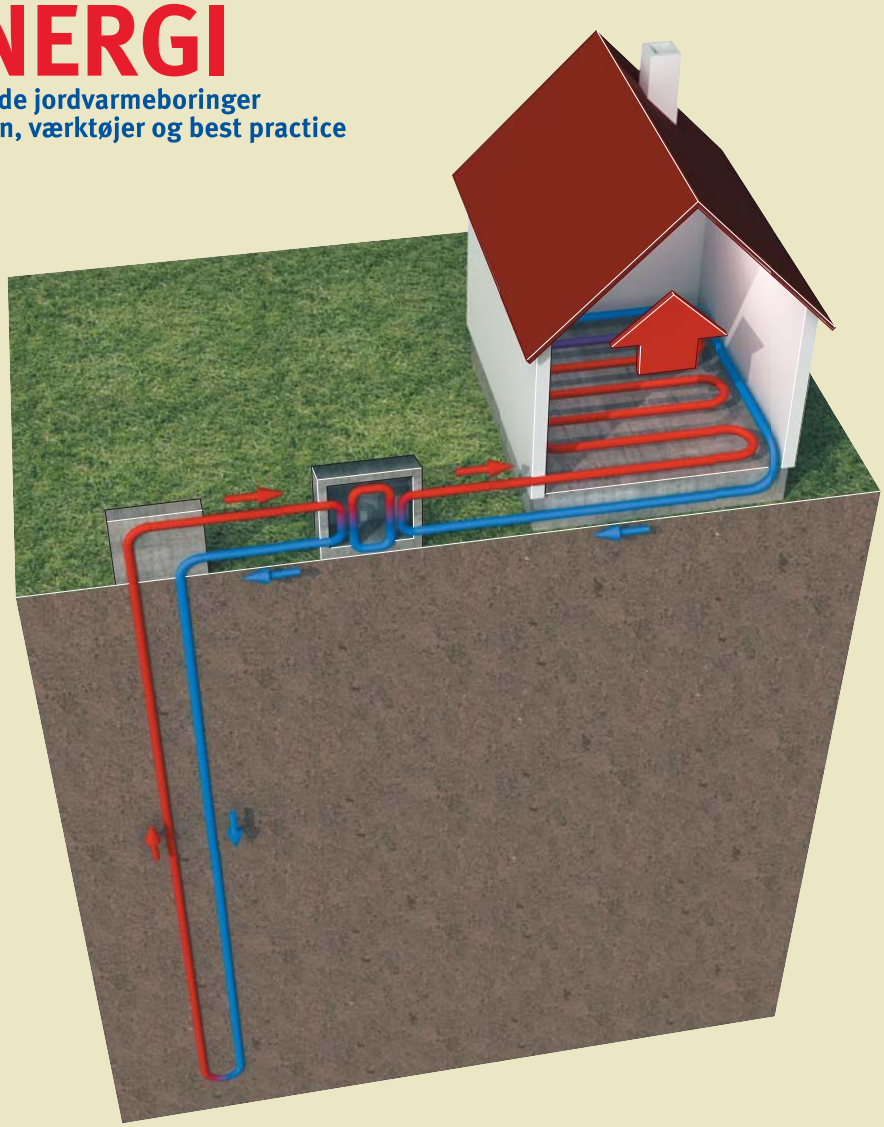
GEOENERGI

Lukkede jordvarmeboringer
– viden, værktøjer og best practice



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

D6 Overfladenære jordarters termiske egenskaber

GEOENERGI
Lukkede jordvarmeboringer
– viden, værktøjer og best practice

GeoEnergi

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

Projektstart: 2011-03-01
Varighed: 3 år

D6 Overfladenære jordarters termiske egenskaber

Version: 0

Ansvarlig partner for denne leverance:
VIA-UC / GEUS

GEOENERGI
Lukkede jordvarmeboringer
– viden, værktøjer og best practice

Leverance:	D6 Overfladenære jordarters termiske egenskaber
Work package:	WP2 Udstyr og målinger
Ansvarlig partner:	VIA-UC
Dato:	5. maj 2014

Forfattere		
Navn	**Organisation**	**E-mail**
Claus Ditlefsen	GEUS	cdi@geus.dk
Inga Sørensen	VIA-UC	inga@viauc.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 CO_2 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 SAMMENFATNING 6
2 INDLEDNING 7
2.1 Varmekapacitet 7
2.2 Varmeledningsevne 8
3 RESULTATER 10
3.1 Undersøgte prøver 10
3.2 Gentagne målinger på samme prøve 11
3.3 Målinger på forskellige prøver fra samme enhed 12
3.4 Målinger af samme sedimenttype fra forskellige lokaliteter 13
3.5 Varmeledningsevne og mineralindhold 14
4 PRØVETAGNING 16
4.1 Indledende overvejelser 16
4.2 Prøvetagning i rør 18
4.3 Prøvetagning i plastposer 18
5 PRØVEPRÆPARATION 19
6 BESTEMMELSE AF SEDIMENTERS VARMELEDNINGSEVNE 20
6.1 Evaluering af målinger 21
6.2 Gentagne målinger 22
7 REFERENCER 23

APPENDIKS A: Undersøgte sedimentprøver
APPENDIKS B: Mineralanalyser med røntgendiffraktometri (XRD)

1 SAMMENFATNING

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.

Ved varmeindvinding har jordarternes varmeledningsevne stor betydning for hvor hurtigt varme eller kulde kan føres til boringen og dermed for anlæggets kapacitet, skønt andre parametre som den termiske gradient og eventuel grundvandsstrømning også spiller en rolle.

Varmeledningsevnen afhænger både af jordarternes vandindhold, tekstur og mineral-sammensætning. Over grundvandsspejlet, hvor der kan optræde luft i porerummene, har jordarterne generelt en dårligere varmeledningsevne, og man tilstræber derfor normalt at så lille en del af en jordvarmeboring som muligt ligger over grundvandsspejlet.

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. Dette fremgår tydligt 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 findes kun få publicerede undersøgelser af varmeledningsevnen i almindeligt forekommende overfladenære danske sedimenter, hvoraf spredningen i varmeledningsevnen for de enkelte jordartstyper vanskeligt kan vurderes.

Der er i nærværende undersøgelser bestemt varmeledningsevne på 51 sedimentprøver af typisk forekommende danske jordarter. Det har herved været muligt at vurdere hvor stor spredning på målingerne man kan forvente dels inden for et enkelt lag på en bestemt lokalitet, dels inden for de enkelte jordartstyper som helhed. Ved undersøgelsen af de enkelte jordarter er der fundet en mindre variationsbredde 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 boredybde og antal af boringer til nye anlæg ud fra jordartsbeskrivelser i nærliggende eksisterende boringer.

I rapporten gives endvidere anbefalinger til prøvetagning i felten, prøvepræparation og måleprocedurer.

2 INDLEDNING

Når vi ønsker at udnytte temperaturforholdene i jorden til indvinding (eller lagring) af varme med jordvarmeboringer, har de termiske egenskaber af de geologiske materialer omkring boringen væsentlig betydning for hvor hurtigt energi kan afgives til (eller optages fra) boringen, skønt andre parametre som den termiske gradient og tilstedeværelsen af grundvandsstrømning også spiller en rolle (Højberg og Rasmussen 2014).

I forudgående projektrapport D3 om geologi og jordvarmeboringer (Ditlefsen m.fl., 2012) gives en oversigt over de geologiske forhold i Danmark som har betydning for lukkede jordvarmeboringer. Det konkluderes bl.a. at der kan være op til 40 % forskel i energiudbyttet mellem boringer placeret under gunstige og ugunstige geologiske forhold (Vangkilde-Pedersen m.fl., 2012). Endvidere blev der kun fundet få tidligere undersøgelser af overfladenære danske sedimenters termiske egenskaber. På den baggrund er der udført undersøgelser af hyppigt forekommende danske jordarters termiske egenskaber med særlig fokus på jordarternes varmeledningsevne. Disse undersøgelser beskrives i nærværende rapport.

2.1 Varmekapacitet

Varmekapaciteten af et materiale beskriver dets evne til at lagre energi (dvs. hvor mange Joule, der skal tilføres materialet for at opvarme det 1 grad). Varmekapaciteten angives som specifik varmekapacitet i forhold til en vægtenhed (J/K kg) eller som volumetrisk varmekapacitet i forhold til et rumfang (J/K m3). Når der skal lagres varme i jorden vil en høj varmekapacitet være en fordel.

Tabel 2.1. Varmekapacitet for luft, vand og udvalgte mineraler. Værdierne er taget fra Banks (2008), hvori de primære referencer er angivet.

Mineral	**Specifik varmekapacitet** (MJ/m^{3}K)
Kvarts	1,9-2,0
Feldspat	1,6-2,2
Glimmer	2,2-2,3
Calsit	2,2
Stensalt	1,98
Vand (10° C)	4,15
Luft (1 atm.)	0,0013

Af tabel 2.1. fremgår at varmekapaciteten af almindeligt forekommende mineraler som kvarts, feldspat og calsit er forholdsvis ensartet (mellem 1,6 og 2,3 MJ/m^{3}K). Endvidere fremgår det at vand har en relativ høj varmekapacitet og luft en meget lille varmekapacitet. Herved bliver det i højere grad vandindholdet end mineralsammensætningen, der er afgørende for et sediments varmekapacitet, hvilket for udvalgte sedimenter er illustreret i tabel 2.2.

Tabel 2.2. Eksempler på forskellige sedimenters varmekapacitet og densitet. Sanner (2011a), VDI (2010).

Jordart	**Specifik varmekapacitet** (Volumetrisk) MJ/K m^3	**Densitet** 10^3 kg/m^3
Ler og silt (tør)	1,5-1,6	1,8-2,0
Ler og silt (vandmættet)	2,0-2,8	2,0-2,2
Sand, tørt	1,3-1,6	1,8-2,2
Sand, fugtigt	1,6-2,2	1,9-2,3
Sand, vandmættet	2,2-2,8	1,9-2,3
Moræne (uspecificeret)	1,5-2,5	1,8-2,3
Kalksten (uspecificeret)	2,1-2,4	2,4-2,6

Af tabel 2.2. fremgår at varmekapaciteten for vandmættede sedimenter må forventes at være mellem 2,0 og 2,8 afhængig af det aktuelle vandindhold.

Da varmekapaciteten og variationerne i denne kun i mindre grad har indflydelse på lukkede jordvarmeboringers ydelse, er denne faktor ikke nærmere undersøgt i nærværende rapport.

2.2 Varmeledningsevne

Varmeledningsevnen af et materiale er evnen til at overføre effekt gennem materialet og angives med enheden Watt per meter per grad temperaturændring (W/mK). Idet 1 Watt er 1 J/sec kan varmeledningsevnen også opfattes som den hastighed, hvormed energien kan ledes gennem materialet. Når man skal trække varme ud af jorden, er en høj varmeledningsevne en fordel. Derfor er denne parameter vigtig ved vurdering af jordvarmeboringers ydelse og ved dimensionering af jordvarmeanlæg.

Ved termisk diffusivitet forstås forholdet mellem varmeledning og varmekapacitet.

Tabel 2.3. Varmeledningsevne for udvalgte mineraler samt vand og luft. Værdierne er taget fra Banks (2008), hvori de primære referencer er angivet.

Mineral	**Varmeledningsevne** (W/mK)
Kvarts	7,7
Feldspat	1,5-2,5
Glimmer	2,0-2,3
Calsit	3,6
Vand (10° C)	0,6
Luft (1 atm.)	0,024

Tabel 2.3. viser varmeledningsevnen for udvalgte, almindeligt forekommende mineraler. Heraf fremgår at især kvarts og til dels calsit har en høj varmeledningsevne. Endvidere fremgår det at vand har en lille varmeledningsevne, og luft (som god isolator) har meget lille varmeledningsevne. Et sediments varmeledningsevne afgøres derved dels af mineralsammensætningen og dels

af teksturen, porøsiteten og vandindholdet. Sedimenter over grundvandsspejlet, hvor der optræder luft i porerummene, vil derved samlet set normalt have en lille varmeledningsevne. Det betyder overordnet at den del af en jordvarmeboring, som ligger over grundvandsspejlet, kun langsomt kan optage varme fra jorden, og derved ikke bidrager væsentligt til den samlede ydelse.

I tabel 2.4. ses publicerede tabelværdier for forskellige almindeligt forekommende jordarter ved forskelligt vandindhold. Det ses at tørre og let fugtige sedimenter generelt som forventet har lave varmeledningsevner.

Tabel 2.4. Tabelværdier for varmeledningsevnen og spændvidden af denne for udvalgte sedimenter fra VDI (2010) samt *) Banks (2008) table 3.3. © BGS.

Jordart	**Varmeledningsevne** (W/mK)	
Ler og silt (tør)	0,4-1,0	
Ler og silt (vandmættet)	1,1 – 3,1	
Sand, tørt	0,3-0,9	Tør / let fugtig
Sand, fugtigt	1,0-1,9	
Sand, vandmættet	2,0-3,0	
Grus, vandmættet	1,6-2,0	Vandmættet
Moræne	1,1-2,9	
Skrivekridt vandmæt. *)	1,3-2,3	
Kalksten	2,0-3,9	
Sandsten	1,3-5,1	Begrænset porøsitet
Skifer	1,5-2,6	
Kvartsit	5,0-6,0	
Granit	2,1-4,1	

Endvidere ses der i tabel 2.4. en stor spændvidde i de publicerede værdier for en række jordarter, heriblandt vandmættet ler og silt, moræneaflejringer og Skrivekridt, der alle er jordarter som er almindeligt forekommende i Danmark. Endelig ses af tabellen at granit og kvartsit, som i Danmark træffes overfladenært på Bornholm, har særligt høje varmeledningsevner.

Det har kun været muligt at finde få publicerede målinger af varmeledningsevne for danske aflejringer, Balling m. fl. (1981), Porsvig (1986). Disse er nærmere beskrevet og sammenstillet med resultaterne af nærværende undersøgelse i afsnit 3.4. På baggrund af den store spændvidde i de internationalt publicerede tabelværdier (tabel 2.4) er der foretaget yderligere at undersøgelser af varmeledningsevnen i hyppigt forekommende danske sedimenter.

3 RESULTATER

3.1 Undersøgte prøver

Med henblik på at få et bedre kendskab til hyppigt forekommende danske jordarters varmeledningsevne, er der foretaget en systematisk indsamling af prøver fra geologiske blotninger ved kystprofiler og i råstofgrave. Prøverne er primært udtaget i det østjyske område. Der er dog tilstræbt en vis geografisk spredning mellem prøvetagningsstederne, se figur 3.1.

Figur 3.1 Prøvetagningssteder, se appendiks A for lokalitetsnavne og sedimenttyper.

Der er på hver lokalitet som minimum udtaget dobbeltprøver fra samme enhed. I alt er 51 forskellige sedimentprøver analyseret. Med henblik på at undersøge om man ud fra prøvernes lithologiske sammensætning kan estimere størrelsen af sedimentets varmeledningsevne i vandmættet tilstand, er prøverne opdelt i nedenstående 7 sedimenttyper, tabel 3.1.
En liste med samtlige undersøgte prøver opdelt efter lokalitet og sedimenttyper findes i appendiks A.

Overvejelser om procedure ved prøvetagning er beskrevet i afsnit 4 og prøvepræparationen i afsnit 5. Måleprocedure, teori, databehandling og evaluering af måleresultater er beskrevet i afsnit 6. Se endvidere Sørensen m. fl. (2014) for instrumentbetjening m.m. Målingerne er primært foretaget i vandmættet tilstand da hovedparten af lagene i en jordvarmeboring kan forventes at være under grundvandsspejlet. jf. afsnit 2.2.

Tabel 3.1: Undersøgte sedimenttyper

Sedimenttype	Antal prøver
Fedt ler (Paleocænt ler)	3
Glimmersand og andet finkornet sand (miocænt og kvartært sand)	8
Gytje, tørv og brunkul (organiske aflejringer)	3
Kvartssand (miocænt flod- og deltasand)	3
Moræneaflejringer	20
Sand og grus (smeltevandsaflejringer)	4
Siltet ler (smeltevandsler, marint kvartært ler og miocænt glimmerler)	10

3.2 Gentagne målinger på samme prøve

Med henblik på at undersøge hvor godt man kan reproducere målingerne, er der foretaget gentagne målinger på samme prøve. Som hovedregel har prøverne henstået i minimum 16 timer mellem målingerne for at sikre, at de var i termisk ligevægt inden starten på næste måling. Det skal endvidere bemærkes at målesonden blev fjernet og genindsat i prøven mellem hver måling. Enkelte forsøg (som ikke vises her) indikerer at der ikke er registrerbar forskel mellem målingerne, hvis de gentages med uændret placering af sonden. Dette tyder på at de forskelle man registrerer ved gentagne målinger på den samme prøve, primært er relateret til variationer i kontakten mellem sediment og målesonde fra gang til gang.

Tabel 3.2: Gentagne målinger af varmeledningsevne på samme prøve. Prøver af ler og gytje er målt i vandmættet tilstand i 20 cm lange rør med en diameter på 7,5 cm eller 10 cm. Sandprøver er målt vandmættet i bægerglas.

Prøve	Antal målinger	Gennem-snitlig varme-ledningsevne (W/ mK)	En standard-afvigelse (W/ mK)	Sedimenttype
Plastisk ler Ølst, RL, prøve 1	3	0,8	0,02	Fedt ler
Fint sand, Kallerup, Roskilde, glasbæger	2	2,17	0,04	Glimmersand / Finsand
Glimmersand, Brejning p1	6	1,85	0,05	Glimmersand / Finsand
Gytje, Helgenæs rør 1 (3/4 rør)	2	0,86	0,3	Gytje, tørv og brunkul
Gytje, Helgenæs rør 2	2	0,58	0,04	Gytje, tørv og brunkul
Gytje, Helgenæs rør 3	2	0,61	0,03	Gytje, tørv og brunkul
Groft kvartssand, Voervadsbro	2	3,34	0,56	Kvartssand
Mellemkornet kvartssand, Voervadsbro	3	2,51	0,3	Kvartssand
Mellemkornet miocænt sand VIA 8 8,5 m p1	5	2,41	0,18	Kvartssand
Moræneler VIA boring L2 5-6 m P1	2	2,04	0,19	Moræneaflejringer
Moræneler VIA boring L2 5-6 m P2	2	1,98	0,12	Moræneaflejringer
Moræneler, Kallerup, Roskilde P1	2	2,09	0,26	Moræneaflejringer
Moræneler, Kallerup, Roskilde P2	2	1,9	0,04	Moræneaflejringer
Øvre moræneler Haldum forvitret P2	2	1,5	0,08	Moræneaflejringer

Prøve	Antal målinger	Gennem-snitlig varme-ledningsevne (W/ mK)	En standard-afvigelse (W/ mK)	Sedimenttype
Øvre Moræneler, Voervadsbro 1 m u.t.	3	2,08	0,18	Moræneaflejringer
Øvre Moræneler, Voervadsbro, 1,5 mut	2	1,87	0,1	Moræneaflejringer
Smeltevandssand, bunke Vestbirk	2	2,22	0,06	Sand og grus
Smeltevandssand, Slesvig-Holsten, Probe 1	10	2,43	0,15	Sand og grus
Glimmerler, Brejning, 100 mm	4	1,08	0,17	Siltet ler
Glimmerler, Brejning, 75 mm sprækket prøve	2	0,9	0,34	Siltet ler
Smeltevandsler, Odder, flamingobær	2	1,24	0,23	Siltet ler
Smeltevandsler, Odder, rør P1	3	1,14	0,09	Siltet ler
Smeltevandsler, Odder, rør P2	2	0,92	0,08	Siltet ler

Tabel 3.2. viser resultaterne af gentagne målinger på 23 forskellige prøver. De største standard-afvigelser på op til 0,56 W/mK ses på prøver af groft og mellemkornet kvartssand, hvilket kan skyldes en stor forskel i varmeledningsevne mellem kvartskorn og porerum med vand (se tabel 2.2). Når målesonden genplaceres i et medium af relativt grove korn vil porerumskonfiguration-en omkring sonden og dermed den samlede varmeledningsevne forventes at variere en del fra gang til gang.

Generelt ligger en standardafvigelse på gentagne målinger mellem 0,02 og 0,26 W/mK, når man ser bort fra to dårligt udtagne prøver af hhv. gytje i ¾ fyldt prøvebeholder og sprækket glimmerler.

3.3 Målinger på forskellige prøver fra samme enhed

For at vurdere hvor store variationer der kan forventes inden for samme lag/sedimentenhed er den gennemsnitlige varmeledningsevne og standardafvigelsen på målinger af forskellige prøver fra samme lag/enhed på samme lokalitet bestemt. I alt indgår 39 prøver fra 13 sedimentenheder i denne bestemmelse. Antallet af målinger på den enkelte prøve indgår ikke i bestemmelsen, da der for hver prøve er anvendt den for prøven gennemsnitlige varmeledningsevne. En oversigt over samtlige 51 analyserede prøver findes i appendiks A.

Tabel 3.3:Målinger på 39 forskellige prøver fra sammen enhed.

Formation	Antal prøver	Gennemsnitlig varmelednings evne (W/mK)	En standard - afvigelse (W/mK)	Sedimenttype
Plastisk ler Ølst	3	0,98	0,17	Fedt ler
Tapes sand, Stensigmose	4	1,59	0,08	Glimmersand / Finsand
Fint sand, Kallerup, Roskilde	2	2,18	0,01	Glimmersand / Finsand
Gytje, Helgenæs	3	0,68	0,15	Gytje, tørv
Øvre Moræneler, Voervadsbro	3	2,20	0,41	Moræneaflejringer
Nedre moræneler, Stensigmose	5	1,69	0,31	Moræneaflejringer
Øvre moræneler Haldum	5	1,74	0,19	Moræneaflejringer
Morænesand, Knudsstrand	2	2,05	0,13	Moræneaflejringer
Moræneler, Kallerup, Roskilde	2	2,00	0,13	Moræneaflejringer
Moræneler VIA	2	2,01	0,05	Moræneaflejringer
Cyprina Ler, Stensigmose	2	1,31	0,16	Siltet ler
Glacialt smeltevandsler, Odder	4	1,12	0,14	Siltet ler
Glimmerler, Brejning	2	0,99	0,13	Siltet ler

Af tabel 3.3. ses at standardafvigelserne varierer mellem 0,41 og 0,01 W/mK med en gennemsnitlig standardafvigelse på 0,16 W/mK. Med henblik på at minimere standard-afvigelserne anbefales det at kontrollere at der så vidt muligt ikke optræder inhomogeniteter i de enkelte prøver, og som minimum at udtage 3 prøver fra hver enhed.

3.4 Målinger af samme sedimenttype fra forskellige lokaliteter

Tabel 3.4: Gennemsnitlig varmeledningsevne af udvalgte jordarter for samtlige lokaliteter

Sedimenttype	Antal lokaliteter	Gennemsnitlig varmeledningsevne (W/mK)	En standard-afvigelse (W/mK)	Interval (W/mK)
Fedt ler	1	0,98		
Glimmersand / finsand	4	1,89	0,25	1,58-2,18
Gytje, tørv og brunkul	1	0,68		
Kvartssand	3	2,75	0,51	2,41-3,34
Moræneaflejringer	6	1,95	0,2	1,69-2,20
Sand og grus	4	2,24	0,19	1,98-2.43
Siltet ler	5	1,17	0,17	0,99-1,38

Sammenligner man den gennemsnitlige varmeledningsevne der er bestemt på én lokalitet med varmeledningsevne af tilsvarende sedimenter fra andre lokaliteter (tabel 3.4), ses det at de enkelte sedimenttyper udviser karakteristiske varmeledningsværdier, og at det har været mulig at bestemme denne med en standard afvigelse på omkring 0,22 W/mK når man ser bort fra lokaliteterne med kvartssand jf. ovenstående diskussion af bestemmelsen af varmeledningsevnen i løst kvartssand.

Alternativt kan man bestemme varmeledningsevnen af de enkelte sedimenttyper som et gennemsnit af alle prøver målt på den enkelte sedimenttype, hvilket er vist i tabel 3.5.

Tabel 3.5: Gennemsnitlig varmeledningsevne af udvalgte jordarter for samtlige prøver

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

Overordnet er der lille forskel i gennemsnitsværdier og standardafvigelser mellem tabel 3.4 og 3.5. Intervallet af værdier (bestemt på enkeltprøver) er dog lidt større når resultaterne ikke midles for hver lokalitet.

Tidligere publicerede værdier for varmeledningsevnen i danske sedimenter (Balling m.fl. 1981 og Porsvig 1986) findes samlet i Ditlefsen m. fl. (2012). Den gennemsnitlige varmeledningsevne for de undersøgte sedimenttyper er sammenstillet i nedenstående tabel 3.6.

Tabel 3.6. Gennemsnitlig varmeledningsevne for udvalgte jordarter fra tidligere undersøgelser: A: Balling m. fl (1981), B: Porsvig (1986).

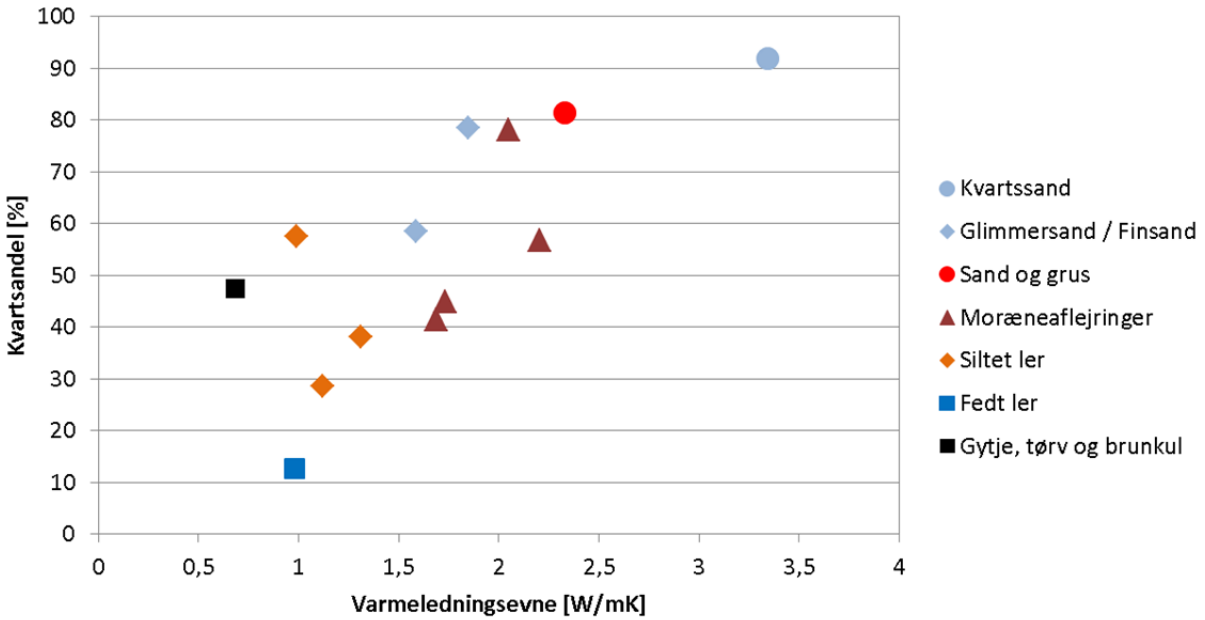
Sedimenttype	Gennemsnitlig varmeledningsevne (W/mK)	En standardafvigelse (W/mK)	Antal prøver	Reference
Moræneaflejringer	2,19	0,08	4	B
Glimmersand / finsand	1,87	0,14	3	B
Fedt ler	1,45	0,08	4	A
Skrivekridt	1,62	0,13	4	A

For moræneaflejringer og fint sand ses der at være en god overensstemmelse med tidligere ålinger, idet gennemsnittet af de tidligere målinger på de pågældende sedimenttyper ligger inden for standardafvigelsen på de nye målinger. De nye målinger på fedt ler synes at ligge lavere end målinger tidligere foretaget ved Aarhus Universitet. Dette kan skyldes måletekniske forhold eller forskelle i graden af vandmætning af det fede ler. Endelig kan der ud fra de tidligere målinger beregnes en gennemsnitlig varmeledningsevne for Skrivekridt, som ikke har indgået i måleprogrammet i nærværende undersøgelse, se tabel 3.6.

3.5 Varmeledningsevne og mineralindhold

Med henblik på at undersøge mineralindholdets betydning for varmeledningsevnen er prøvernes mineralsammensætning bestemt med røntgendiffraktometri (XRD) på pulveriserede prøver. For en introduktion til metoden se f.eks. Karlsen (2004). De samlede resultater fremgår af appendiks B. Da kvarts har væsentlig højere varmeledningsevne end de øvrige naturligt forekommende

mineraler, forventes andelen af dette mineral at have særlig betydning for varmeledningsevnen. For at undersøge denne hypotese er varmeledningsevnen plottet som funktion af kvartsindholdet på figur 3.2.



Figur 3.2 Plot af varmeledningsevne som funktion af kvartsindhold opdelt på jordarts-typer. Analysen omfatter 13 sedimentenheder/lag. Kvartsindholdet er fundet ved dobbeltbestemmelse på 2 delprøver fra laget, appendiks A og B. I plottet er benyttet det gennemsnitlige kvartsindhold og den gennemsnitlige varmeledningsevne for det pågældende lag.

Af figur 3.2. ses som forventet en generel stigning i varmeledningsevne med stigende kvartsindhold. Der ses dog også en del variationer som antyder at der ikke er tale om en direkte lineær sammenhæng, men at andre forhold, som formodentlig teksturen af den enkelte prøve, spiller ind og giver variationer i forholdet mellem varmeledningsevne og kvartsindhold. Der ses f.eks. en betydelig variation i kvartsindholdet af siltet ler (ca. 30 % -og 60 %), mens den tilsvarende varmeledningsevne blot varierer mellem ca. 1 og 1,3 W/mK. Dette skyldes muligvis at der i siltet ler kan optræde tynde lag af kvartsrigt sand som kan påvirke det samlede kvartsindhold, selv om den samlede varmeledningsevne ikke påvirkes så meget. Endvidere ses for moræneler en betydelig variation i både varmeledningsevne (1,7-2,2 W/mK) og kvartsindhold (40-80 %) hvilket er i god overensstemmelse med petrografiske studier af moræneaflejringer, se f.eks. Kronborg (1986).

For mere sikkert at forklare de observerede variationer, vil det være nødvendigt at foretage detaljerede studier af den teksturelle fordeling af kvarts i sedimentet sammenholdt med varmeledningsevnen.

4 PRØVETAGNING

4.1 Indledende overvejelser

Før man påbegynder prøvetagning til måling af sedimenters varmeledningsevne er der nogle indledende overvejelser man må gøre sig.

1. Er det i den konkrete undersøgelse af betydning at kende varmeledningsevnen ved den fugtighed/det vandindhold som prøven p.t. har i naturen (feltfugtighed), eller er det tilstrækkeligt at kende varmeledningsevnen i vandmættet tilstand?
    a. Normalt er hovedparten af en lukket jordvarmeboring under grundvandsspejlet, hvorfor varmeledningsevnen i vandmættet tilstand er vigtigst at kende for at kunne anslå energioutput fra boringen samt evt. at kunne foretage model-beregninger af varmestrømning omkring boringen. Hvis varmeledningsevnen målt ved feltfugtighed er af betydning for de videre beregninger/vurderinger, er det dog vigtig at prøven tages i tætte plasticposer, og at målingen foretages kort efter prøvetagningen.

2. Hvilken størrelse prøve skal der tages?
    a. Normalt er prøvestørrelsen specificeret af producenten af det termiske måleudstyr. Til måling med Hukseflux TP02 transcient nålesonde anbefales en cylindrisk prøve med en radius på 3 cm og en højde på 20 cm for at undgå indflydelse fra siderne, se www.hukseflux.com

3. Indeholder prøven strukturer eller andre inhomogeniteter som vil kunne påvirke målingerne?

    a. Laminerede sedimenter udviser ofte forskellig varmeledningsevne i horisontal og vertikal retning, især når tynde lag / laminæ har forskellig kornstørrelse og mineralindhold. Når det er tilfældet anbefales det at indsamle prøverne i cylindere så uforstyrret som muligt og notere orienteringen af cylinderen i felten, se nedenfor. Dette kan normalt gøres i udgravninger med lerede og siltede aflejringer samt i aflejringer af finkornet, velsorteret sand. I grovkornede sedimenter er det derimod vanskeligt at indsamle orienterede prøver. Her forventes imidlertid heller ikke nogen væsentlig variation i varmeledningsevnen mellem varierende grovkornede lag. Det anbefales derfor at grovkornede sedimenter indsamles i kraftige plastikposer, og at de efterfølgende hældes i rør eller bægre før de måles, se nedenfor.
    b. Moræneaflejringer og andre usorterede sedimenter er karakteriseret ved tilstedeværelsen af store enkeltkorn i en mere finkornet masse (matrix). Når der anvendes en nålesonde er der derfor en risiko for at de store enkeltkorn vil kunne påvirke/dominere målingerne hvis de ligger lige op ad nålen. Forekomsten af sådanne eventuelle effekter kan vurderes ved at måle på en større mængde prøver (4-5 stk.) fra den samme enhed og deraf vurdere om der forekommer enkelte afvigende resultater i målesættet. I den nærværende undersøgelse er

standardafvigelsen på målinger af moræneler fundet til mellem 0,05 og 0,41 W/mK, se tabel 3.3., og det vurderes at 3 prøver fra samme enhed normalt vil være tilstrækkeligt til at opnå en værdi med en acceptabel standardafvigelse.

4. Hvor mange prøver skal indsamles?
    a. I inhomogene enheder anbefales det at der indsamles 3-4 prøver.

5. Hvordan dokumenteres prøvetagningen?

    Det er først og fremmest vigtigt at prøverne mærkes unikt. Dette bør inkludere

    - Prøvetagningsdato
    - Prøvetager (ID)
    - Lokalitetsnavn (eller nummer)
    - Navn på sedimentenheden
    - Prøvenummer
    - Evt. orientering af prøven

    Endvidere anbefales det at fotografere prøvestedet og hele udgravningen/profilet med et kamera med GPS. Når der tages prøver fra en boring anbefales det tilsvarende at fotografere de friske prøver udlagt af boreentreprenøren.

6. Hvordan pakkes og opbevares prøverne?
    a. Efter prøvetagningen er det som hovedregel vigtigt at forsegle prøverne så den naturlige fugtighed bevares. Solid plasttape er velegnet til dette. Endvidere skal prøverne opbevares ved temperaturer over 3° C for at undgå risiko for ændringer ved frysning og genoptøning samt under 25 ^{o} C for et undgå udtørring.

4.2 Prøvetagning i rør

Uforstyrrede prøver af finkornede sedimenter kan indsamles i rør af plast eller metal. Det anbefales at benytte rør med en diameter på 75 mm eller mere, se figur 4.1. Først renses udgravningen omkring prøvetagningsstedet med en spade og røret hamres ind i den friske blotning. Der kan med fordel anvendes et slagstykke sat på toppen af røret. I bløde sedimenter kan plastrør anvendes, men det anbefales at benytte metalrør (stål) i mere faste aflejringer som moræneler. Efter at røret er hamret i bund, graves det forsigtigt ud og lukkes i enderne med plastlåg der forsegles med tape. Prøve-id og orientering noteres på røret med vandfast tusch.

Figur 4.1: prøvetagning henholdsvis i plast -og stålrør (diameter: 75 mm).
Foto: Claus Ditlefsen

4.3 Prøvetagning i plastposer

Det kan som nævnt være vanskeligt at udtage uforstyrrede prøver af sandede og grusede aflejringer. Det anbefales at sådanne grove sedimenter i stedet indsamles i kraftige plastposer, og efterfølgende placeres i passende prøvebeholder i laboratoriet, se nedenfor. En liter prøve er som regel tilstrækkelig. Poserne lukkes med tape og prøve-id m.m. noteres med vandfast tusch.

5 PRØVEPRÆPARATION

For at måle den termiske ledningsevne af vandmættede prøver er det nødvendigt at vandmætte prøverne i laboratoriet. Prøver i rør åbnes i toppen og vandmættes ved at placere dem i en spand med vand. Grovkornede aflejringer genaflejres i et bægerglas med vand og eventuelle luftbobler frigives ved udtralydsbehandling i ca. 5 min. I finkornede sedimenter med spredt indhold af grus og sten (som moræneler) indføres et tyndt lederør af metal (guiding tube) i toppen af prøven. Lederøret kan normalt købes hos producenten. For at stabilisere temperaturen i prøverne inden måling placeres de efter præparationen i et varmeskab ved 20 ^{o}C i mindst 16 timer.

Figur 5.1: Indsættelse af termisk nål i en prøve før måling. Til venstre ses kablet til den termiske nål ført ud i siden af skabet.

6 BESTEMMELSE AF SEDIMENTERS VARMELEDNINGSEVNE

Til at bestemme materialers varmeledningsevne kan benyttes forskellige typer af måleudstyr. Generelt skelner man mellem såkaldt steady state teknikker hvor prøverne skal nå en termisk ligevægt, og ikke-steady state tekniker (også kaldet transiente teknikker). Med transiente teknikker bestemmes prøvernes varmeledningsevne mens temperaturen ændres. Fordelen ved steady state teknikkerne er at analysen af det stabiliserede temperatursignal er relativ simpel. Fordelen ved de transiente teknikker er at måleperioden er relativ kort, og at prøvens dimensioner ikke nødvendigvis indgår i beregningerne.

Man bruger normalt en nålesonde til bestemmelse med den transiente metode. I nærværende undersøgelse er således benyttet en nålesonde udviklet af Hukseflux, se Hukseflux, (2003 og 2008). Nålesonden bygger på teorien om varmeudbredelse fra en lineær varmekilde (a linear heat source) og metodikken er beskrevet i veletablerede internationale standarder (ASTM D 5334-00, 5930-97 og IEEE Std 442-1981). En nærmere beskrivelse af metoden findes hos Wechsler (1992).

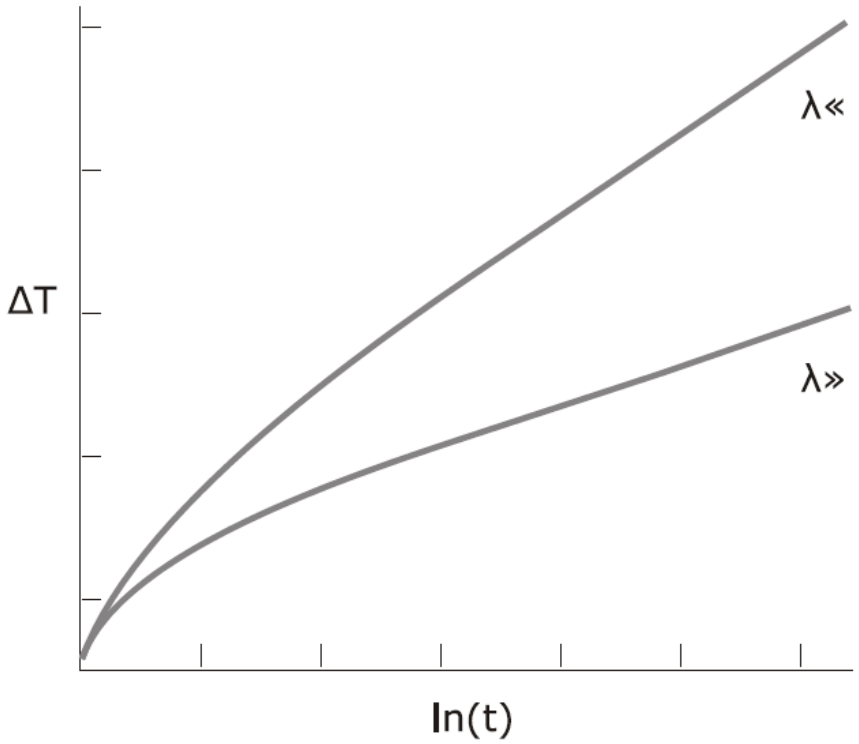
Generelt består en nålesonde af en varmetråd og en sensor der kan måle temperaturen ved varmekilden, se f.eks. Hukseflux (2003). Nålen indføres i prøven, det kontrolleres at temperaturen er stabil, og opvarmning og måling påbegyndes. Efter en kort overgangsperiode vil temperaturstigningen ΔT kun afhænge af varmeeffekten fra nålen Q og materialets varmeledningsevne λ:

$$\Delta T = (Q / 4 \pi \lambda) (\ln t + B) \quad 1$$

Hvor t er tiden i sekunder (s), ΔT angivet i grader Kelvin (K) er temperaturstigningen i forhold det tidspunkt hvor opvarmningen startede, t=0 , Q er angivet i W/m og λ i W/mK. B er en konstant. Ved at måle varmeeffekten og temperaturændringer som funktion af tiden kan varmeledningsevnen λ bestemmes. Prøvens dimension er ikke kritisk så længe prøvens radius omkring nålen er mere end 15 gangen nålens radius, hvilket for den anvendte nål TP02 er ca. 20 mm. Bestemmelsen af Q, t og ΔT sker alle ved direkte målinger som ikke kræver noget referencemateriale. Varmeledningsevnen kan bestemmes ud fra to målinger foretaget ved hhv. t1 og t2. Med det anvendte udstyr vil målingerne typisk ligge med 100 s mellemrum.

$$\lambda = (Q / 4 \pi \Delta T) \ln(t2 / t1) \quad 2$$

ΔT er temperaturstigningen mellem tiderne t1 og t2. Formel 2 er dog en førsteordens tilnærmelse som kun gælder under visse betingelser. Vigtigst er at der er termisk kontakt mellem nålen og prøven, og at prøven ved måleperiodens start er termisk stabil. Yderligere detaljer kan findes i producentens manual (Hukseflux 2008).

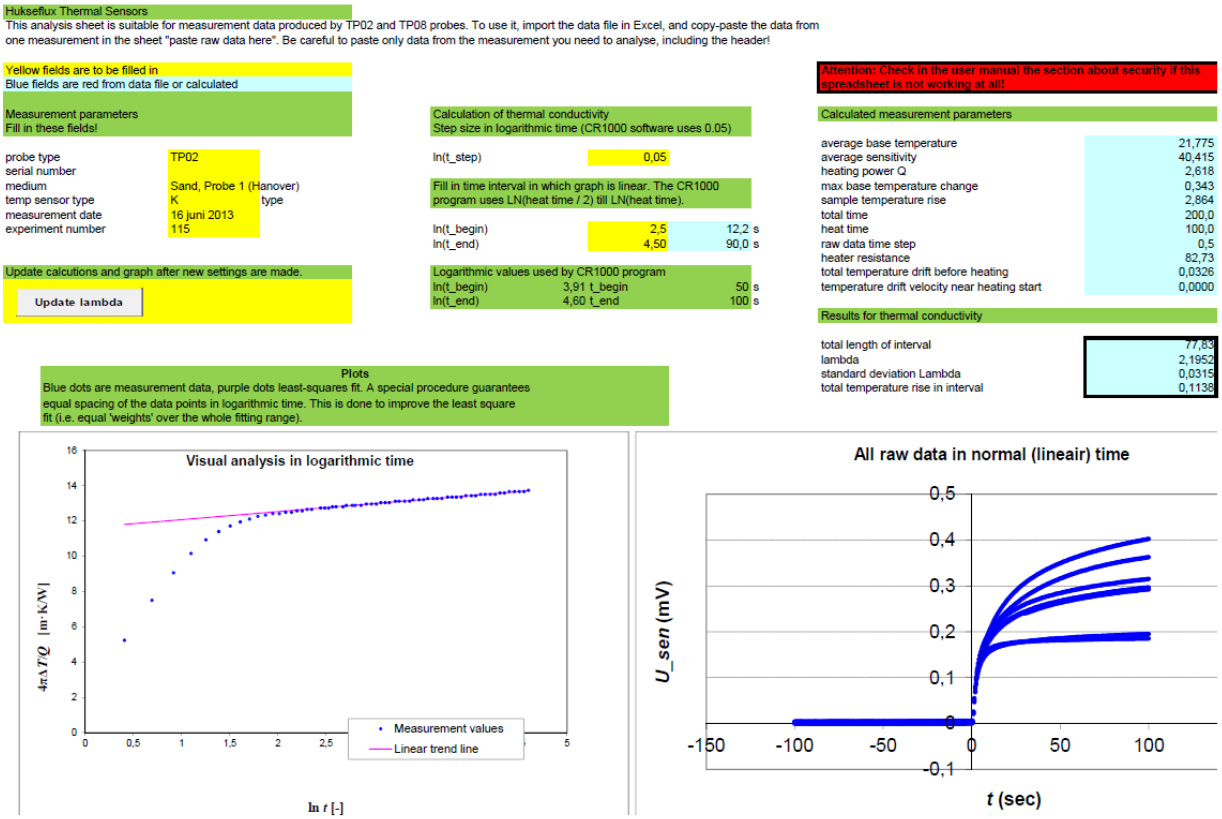


Figur 6.1: Signal fra målesonden (TP02) som funktion af den naturlige logaritme af tiden. Efter en indledende periode viser grafen et lineært forløb. I denne fase er hældningen omvendt proportional med prøvens varmeledningsevne λ.

Ud fra plots som figur 6.1. bestemmes hvornår det lineære forløb begynder.
En detaljeret beskrivelse af hvordan Hukseflux TP02 betjenes findes i Hukseflux (2008) og Sørensen m. fl. (2014).

6.1 Evaluering af målinger

Efter hver måling udregnes varmeledningsevnen automatisk af softwaren til dataopsamling TPSYS02. Det anbefales imidlertid at man manuelt tjekker at data fra det anvendte måleinterval udviser et lineært forløb efter det indledende temperaturforløb. For at gøre det, med data fra TP02, er det nødvendigt at udtrække data og eksportere dem til et dertil udviklet regnearksprogram fra Hukseflux. Dette er nærmere beskrevet af Sørensen m. fl. (2014). I regne-arket specificerer man først hvilket datasæt man ønsker at analysere. Dernæst angiver man start- og slutpunkt for den ”lineære” måleperiode man ønsker at anvende i bestemmelsen, se figur 6.2.



Figur 6.2 Regneark til fastsættelse af start og stop af logaritmisk tidsplot og beregning af varmeledningsevne (Hukseflux 2008)

6.2 Gentagne målinger

For hver måling kan der beregnes en standardafvigelse. Denne bestemmelse er imidlertid kun relateret til den aktuelle måling på den aktuelle prøve og viser ikke noget om variabiliteten af varmeledningsevnen inden for den pågældende formation/blotning. For at få et billede af variabiliteten anbefales det at man foretaget et antal målinger. Dels gentagne målinger på den samme prøve, og dels målinger på forskellige prøver fra den samme formation. For at opnå en troværdig bestemmelse af varmeledningsevnen i en bestemt blotning (eller mægtigere lag i en boring) anbefales det at man mindst måler på tre prøver, og at man foretager mindst tre gentagne målinger på den enkelte prøve.

7 REFERENCER

Balling, N., Kristiansen, J. I., Breiner, N., Poulsen, K. D., Rasmussen, R., Saxov, S. 1981: Geothermal measements and Subsurface temperature modelling in Denmark. GeoSkrifter no. 16, Geologisk Institut, Aarhus Universitet.

Banks, D. 2008. An introduction to thermogeology. Ground Source heating and cooling. Blackwell Publishing.

Ditlefsen, C., Vangkilde-Pedersen, T. og Højberg, A. L. (2012): D3 Geologi og jordvarmeboringer. Oversigt over geologiske forhold af betydning ved etablering af jordvarmeboringer i Danmark. EUDP projekt om lukkede jordvarmeboringer. http://geoenergi.org/xpdf/jordvarme-og-geologi-d3_2.pdf

Hukseflux. 2003: TP02 Non-Steady-State Probe for Thermal Conductivity Measurement. TP02 manual v1209. Delft: Hukseflux Thermal Sensors, 2003.

Hukseflux 2008: TPSYS02 Thermal Conductivity Measurement System User Manual tpsys02 manual v0806.doc. Delft: Hukseflux Thermal Sensors, 2008.

Højberg, A., L. og Rasmussen, P. (2014): D20 Modellering af varmetransport. EUDP projekt om lukkede jordvarmeboringer. http://geoenergi.org

Karlsen, E. (2004): Røntgendiffraktometri- en lille introduktion. Geologisk Nyt 2004 / 6, 22-23.

Kronborg, C. (1986): Fine gravel Content of Tills. I: Møller J. T. (edit.): *Twenty-five Years of Geology in Aarhus*. GeoSkrifter Nr. 24. 189-210. Geologisk Institut, Aarhus Universitet.

Porsvig, M., Geoteknisk Institut 1986: Varmeovergangsforhold omkring jordslanger. Energi Ministeriets varmepumpeforskningsprogram, rapport nr. 33

Sanner, B. 2010: Concept and feasibility studies, p. 21-24. I Geotrainet training manual for designers of shallow geothermal systems. Ed. Mc Corry, M. & Jones, G. www.geotrainet.eu

Sørensen, I., Palola, M.A. og Ditlefsen, C. (2014): D8 Guidelines for equipment, methods and calibration Part 1 Measurement of Heat conductance. EUDP projekt om lukkede jordvarmeboringer.

Vangkilde-Pedersen, T., Ditlefsen, C. and Højberg, A.L: Shallow geothermal energy in Denmark. Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin 26. GEUS 2012, 37–40.

VDI 2010. Thermische Nutzung des Untergrundes – Richtlinie VDI 4640, Blatt 1 – Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte. Beuth Verlag, Berlin.

Wechsler, A. E., 1992: " The Probe Method for Measurement of Thermal Conductivity," in Compendium of Thermophysical Property Measurement Methods, Vol. 2, Recommended Measurement Techniques and Practices, edited by Maglic, K. D., Cezairliyan, A., and Peletsky, V. E., Plenum Press, New York, pp. 161-185.

APPENDIKS A
Undersøgte prøver

APPENDIKS A: Undersøgte prøver Prøve	Antal målinger	Gennemsnitlig varmelednings evne	Standard afvigelse	Sedimenttype	XRD analyse (posenummer) Se appendiks B
Mættet glycol	10	0,26	0,00	Standard	
Plastisk ler Ølst grågrønt, stålrør	1	1,14		Fedt ler	
Plastisk ler Ølst RL, plastrør	3	0,8	0,02	Fedt ler	36779 + 35780
Plastisk ler Ølst, LL, plastrør	1	1,00		Fedt ler	35775 + 35776
Fint sand, Kallerup, Roskilde, glas	2	2,17	0,04	Glimmersand / Finsand	
Fint sand, Kallerup, Roskilde, rør	1	2,19		Glimmersand / Finsand	
Glimmersand, Brejning p1	6	1,85	0,05	Glimmersand / Finsand	35773 + 35774
Marint sand, Gyldendal, Salling	1	1,96		Glimmersand / Finsand	
Tapes sand, Stensigmose 1	1	1,59		Glimmersand / Finsand	35771
Tapes sand, Stensigmose 2	1	1,66		Glimmersand / Finsand	35772
Tapes sand, Stensigmose 3	1	1,61		Glimmersand / Finsand	
Tapes sand, Stensigmose 4	1	1,48		Glimmersand / Finsand	
Gytje, Helgenæs rør 1 3/4 fuld	2	0,86	0,3	Gytje, tørv og brunkul	
Gytje, Helgenæs rør 2	2	0,58	0,04	Gytje, tørv og brunkul	35759
Gytje, Helgenæs rør 3	2	0,61	0,03	Gytje, tørv og brunkul	35760
Groft kvartssand, Voervadsbro	2	3,34	0,56	Kvartssand	35753 + 35754
Mellemkornet kvartssand, Voervadsbro	3	2,51	0,30	Kvartssand	
Mellemkornet miocænt sand VIA 8 8,5 m p1	5	2,41	0,18	Kvartssand	
Moræneler VIA boring L2 5-6 m P1	2	2,04	0,19	Moræneaflejringer	
Moræneler VIA boring L2 5-6 m P2	2	1,98	0,12	Moræneaflejringer	
Moræneler, Kallerup, Roskilde P1	2	2,09	0,26	Moræneaflejringer	
Moræneler, Kallerup, Roskilde P2	2	1,9	0,04	Moræneaflejringer	
Morænesand, Knudsstrand A	1	2,14		Moræneaflejringer	35761

APPENDIKS A: Undersøgte prøver Prøve	Antal målinger	Gennemsnitlig varmeledningsevne	Standard afvigelse	Sedimenttype	XRD analyse (posenummer) Se appendiks B
Morænesand, Knudsstrand B	1	1,96		Moræneaflejringer	35762
Nedre moræneler, Stensigmose 1	1	2,1		Moræneaflejringer	
Nedre moræneler, Stensigmose 2	1	1,5		Moræneaflejringer	
Nedre moræneler, Stensigmose 3	1	1,92		Moræneaflejringer	
Nedre moræneler, Stensigmose A	1	1,4		Moræneaflejringer	35763
Nedre moræneler, Stensigmose B	1	1,51		Moræneaflejringer	35764
Øvre moræneler Haldum forvitret P2	2	1,5	0,08	Moræneaflejringer	
Øvre moræneler Haldum ufrovitret P3	1	1,78		Moræneaflejringer	35767
Øvre moræneler Haldum, forvitret 4	1	1,64		Moræneaflejringer	
Øvre moræneler Haldum, forvitret P1 kort	1	1,73		Moræneaflejringer	
Øvre moræneler Haldum, ufrovitret 5	1	2,02		Moræneaflejringer	35768
Øvre Moræneler, Voervadsbro 1 m u.t.	3	2,08	0,18	Moræneaflejringer	
Øvre Moræneler, Voervadsbro, 1,5 mut	2	1,87	0,1	Moræneaflejringer	35777
Øvre Moræneler, Voervadsbro, 1,75 mut	1	2,66		Moræneaflejringer	35778
Smeltevandssand Højbjerg	1	1,98		Sand og grus	
Smeltevandssand, bunke Vestbirk	2	2,22	0,06	Sand og grus	
Smeltevandssand, Haldum	1	2,33		Sand og grus	35751 + 35752
Smeltevandssand, Slesvig-Holsten, Probe 1	10	2,43	0,15	Sand og grus	
Cyprina Ler, Stensigmose 1	1	1,2		Siltet ler	35769
Cyprina Ler, Stensigmose 2	1	1,42		Siltet ler	35770
Glacialt smeltevandsler, Risskov, Nord	1	1,38		Siltet ler	
Glimmerler, Brejning, 100 mm 1	4	1,08	0,17	Siltet ler	35765
Glimmerler, Brejning, 75 mm 1	2	0,9	0,34	Siltet ler	35766
Marint ler, Kås Hoved A	1	1,04		Siltet ler	

APPENDIKS A: Undersøgte prøver Prøve	Antal målinger	Gennemsnitlig varmeledningsevne	Standard afvigelse	Sedimenttype	XRD analyse (posenummer) Se appendiks B
Smeltevandsler, Odder, flamingobær	2	1,24	0,23	Siltet ler	
Smeltevandsler, Odder, klump	1	1,19		Siltet ler	35757 + 35758
Smeltevandsler, Odder, rør P1	3	1,14	0,09	Siltet ler	
Smeltevandsler, Odder, rør P2	2	0,92	0,08	Siltet ler	

APPENDIKS B
Mineralanalyser analyser (XRD)

Projekt EUDP	Appendiks B	DIV Lok.&Lith.	**RESULTS**						
16-okt-13		**NY XRD Areal**	**TABEL 1**						
AU Lab. No.		Prøve	**Bulk**	**Mineralogi**					
		Mineralnavn	Quartz	K-F.spar	Plagioclase	MixDolom	Calcite	Pyrite	ClayMinerals
	Posenr		%	%	%	%	%	%	%
13SL0108	35751	DS Haldum A	77,79	7,11	11,18	0,64	0,00	0,00	0,00
13SL0109	35752	DS Haldum B	84,98	6,91	6,67	0,95	0,49	0,00	0,00
13SL0110	35753	QS groft Voervadsbro	95,11	4,26	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00
13SL0111	35754	QS groft Voervadsbro	88,55	2,69	0,00	0,00	0,00	0,00	8,05
13SL0112	35755	DG Haldum A	58,18	11,38	14,35	1,68	9,30	0,00	5,10
13SL0113	35756	DG Haldum B	63,70	10,62	6,95	1,36	13,33	0,00	4,04
13SL0114	35757	DL Odder A	23,69	4,55	4,79	1,55	0,00	0,00	65,42
13SL0115	35758	DL Odder B	33,49	5,86	12,78	1,52	0,00	0,00	46,35
13SL0116	35759	Gytje Helgenæs A	60,36	7,15	9,67	1,46	0,00	0,00	21,36
13SL0117	35760	Gytje Helgenæs B	34,39	4,44	6,91	0,95	15,40	2,93	34,98
13SL0118	35761	MS Knudstrand A	81,72	9,06	3,86	1,05	0,00	0,00	4,32
13SL0119	35762	MS Knudstrand B	74,31	4,73	12,01	0,42	0,00	0,00	8,53
13SL0120	35763	ML Stensigmose A uf	41,66	6,18	11,91	1,02	24,39	0,61	13,01
13SL0121	35764	ML Stensigmose B fo	40,99	10,31	10,37	1,95	27,10	0,00	7,95
13SL0122	35765	GL Brejning A	56,30	5,81	3,88	2,02	0,00	1,94	29,03
13SL0123	35766	GL Brejning B	58,61	8,23	5,41	2,70	0,00	2,36	22,16
13SL0124	35767	ML Haldum uforv A	42,85	17,39	11,31	1,24	12,06	0,00	13,22
13SL0125	35768	ML Haldum uforv B	47,04	6,77	11,93	0,77	11,00	0,65	20,11
13SL0126	35769	Cyprina Ler A	41,47	4,92	4,46	3,20	26,28	2,73	14,67
13SL0127	35770	Cyprina Ler B	34,65	5,30	6,97	2,98	22,41	1,75	24,19
13SL0128	35771	Tapes Sand A	63,28	10,92	4,86	2,09	15,45	0,00	3,41
13SL0129	35772	Tapes Sand B	53,86	10,37	8,81	1,50	12,32	0,00	10,74
13SL0130	35773	GS Vejlefjord A	78,74	8,88	6,73	1,86	0,68	0,00	2,90
13SL0131	35774	GS Vejlefjord B	78,35	11,09	7,17	0,63	0,34	0,15	2,27
13SL0132	35775	Plastisk Ler Ølst, LL A	25,98	0,00	21,98	0,00	0,00	0,00	52,04
13SL0133	35776	Plastisk Ler Ølst; LL B	17,94	0,00	23,82	0,00	0,00	0,00	58,25
13SL0134	35777	ML Voervadsbro A 1,5	53,55	13,77	5,72	0,00	0,00	0,00	7,36
13SL0135	35778	ML Voervadsbro B 1,7	59,97	5,82	14,70	1,41	0,00	0,00	16,13
13SL0136	35779	Plastisk Ler Ølst, RL A	3,23	0,00	0,00	0,00	17,52	0,00	53,23
13SL0137	35780	Plastisk Ler Ølst, RL B	3,69	0,00	1,80	0,43	24,80	0,00	67,69