

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

D2 Parametre ved design af jordvarmeanlæg

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

D2 Parametre ved design af jordvarmeanlæg

Version: 0

Ansvarlig partner for denne leverance:
VIA UC



Leverance:	D2 Parametre ved design af jordvarmeanlæg
Work package:	WP1 Database og formidling
Ansvarlig partner:	VIA UC

Forfattere		
Navn	Organisation	E-mail
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 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 Håndværkerskole (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 energibalace, 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.

Denne rapport udgør leverance "D2 Parametre ved design af jordvarmeanlæg" i "WP1 Database og formidling" og giver et overblik over væsentlige parametre, der har betydning for dimensionering af jordvarmeanlæg og problemstillinger ved den praktiske etablering af anlæg.

INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1	INTRODUKTION..... 3
2	PARAMETRE VED DESIGN AF JORDVARMEANLÆG..... 4
2.1	Varmebehov 4
2.2	Tilgængeligt areal 6
2.3	Planstatus og lovgivning..... 7
2.4	Forventet geologi og grundvandsforhold 8
2.5	Borearbejde og udbygning med rør..... 10
2.6	Valg af varmepumpe og brine 13
2.7	Fra boring til hus 14
2.8	Husets varmesystem 15
2.9	Dokumentation af energioptag 15
2.10	Muligt sammenspil med andre energikilder 16
2.11	Økonomi 17
3	REFERENCER 18

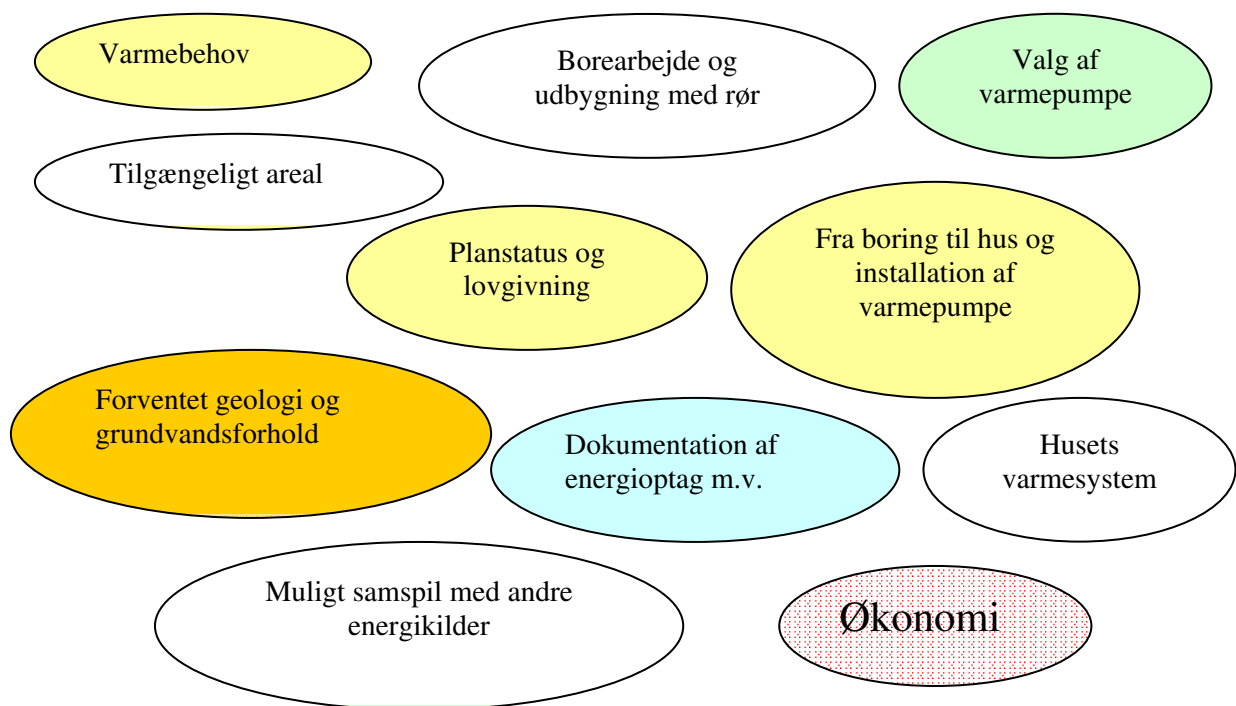
1 INTRODUKTION

Etablering af varmeanlæg baseret på jordvarmeboringer er en relativ ny disciplin i Danmark, og der er ikke mange driftserfaringer at trække på. Formålet med denne rapport er at identificere væsentlige parametre, der har betydning for dimensionering af et jordvarmeanlæg og at give et overblik over problemstillinger ved den praktiske etablering af anlægget. Der fokuseres på jordvarmeanlæg baseret på boringer med lukkede kredsløb, men en del af de nævnte parametre og problemstillinger er også relevante for horisontale anlæg.

Et jordvarmeanlæg omfatter altid en varmepumpe, og da installationen af en sådan traditionelt udføres af et autoriseret VVS-firma, er denne branche typisk hovedansvarlig for etablering af jordvarmeanlæg i Danmark. Imidlertid kræver arbejdet også medvirken af en række andre brancher og fagpersoner. Samlet set er følgende aktører således på banen ved etablering af et jordvarmeanlæg:

- Borefirma – til at bore huller og nedsætte rør til varmeveksling med jorden
- Producent af varmepumpe
- Installatør fra VVS-firma – til rørarbejde inklusive tilslutning til husets varmeanlæg
- Elektriker – til varmepumpens elforsyning og dens forbindelse til udendørs føler
- Kloakmester eller anden graveentreprenør
- Ejeren, der skal finansiere anlægget og de efterfølgende driftsomkostninger
- Designeren, der dimensionerer anlæggets udformning og størrelse

For at ovenstående involverede personer skal have et kompetent samarbejde kræver det en fælles referenceramme og forståelse for problemstillingerne – noget som denne rapport sigter imod, idet den forsøger at identificere de forhold, det er relevante at medtage i fremtidige danske vejledninger om varmeanlæg baseret på jordvarmeboringer, se Figur 1.



Figur 1. Problemstillinger ved etablering af varmeanlæg baseret på jordvarmeboringer.

2 PARAMETRE VED DESIGN AF JORDVARMEANLÆG

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 vedrørende 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?

I de følgende afsnit beskrives ovenstående punkter nærmere. Teksten skal bl.a. tjene som et oplæg til de øvrige deltagere i EUDP-projektgruppen med henblik på at få kommentarer og input til de emner, der skal tages med i en kommende vejledning i etablering af jordvarmeboringer.

2.1 Varmebehov

Det første punkt, der skal vurderes ved etablering af jordvarme, er størrelsen af energibehovet, dvs. hvor mange kWh anlægget skal kunne levere pr. år til den givne bygning. Denne vurdering udføres typisk på forskellig måde alt efter om jordvarmen skal installeres i en eksisterende bygning eller om det er en ny bygning, der skal have jordvarme.

Hvis en eksisterende bygning skal forsynes med jordvarme, kan der tages udgangspunkt i det tidligere forbrug af energi til opvarmning. Denne viden kan opnås ved at foretage forbrugsmålinger af den varmeforsyning, der skal udskiftes – f.eks. i form af forbrugt liter olie eller kubikmeter naturgas. Normalt angives varmebehovet i kWh, se omregningsfaktor i Tabel 1.

Tabel 1. Omregning af enheder for energi anvendt ved vurdering af varmebehov.

Enheder for energi	Ws	Wh	kWh	MWh
1 Watt sek (Ws) = 1 Joule (J) = 0,239 cal	1 Ws	$2,77 \times 10^{-4}$ Wh	$2,77 \times 10^{-7}$ kWh	$2,77 \times 10^{-10}$ MWh
1 Watt time (Wh)	3600 Ws	1 Wh	0,001 kWh	10^{-6} MWh
1 kilo Watt time (kWh)	$3,6 \times 10^6$ Ws	1000 Wh	1 kWh	0,001 MWh
1 Mega Watt time (MWh)	$3,6 \times 10^9$ Ws	10^6 Wh	10^3 kWh	1 MWh
1 liter olie (brændværdi)	36×10^6 Ws	10.000 Wh	10 kWh	0,01 MWh
1 m ³ gas (brændværdi)	$39,6 \times 10^6$ Ws	11.000 Wh	11 kWh	0,011 MWh

Da effektiviteten af olie- og gaskedler ikke er 100%, er det virkelige energibehov normalt mindre end det tal, man får ved direkte at se på f.eks. indkøbt mængde olie eller gas. Hvor meget mindre tallet er, må skønnes ud fra alder og varemærke af det eksisterende fyr.

Hvis jordvarmen skal installeres i nye bygninger kan varmebehovet vurderes ved at beregne bygningens varmetab ud fra U-værdier, der typisk findes ved tabelopslag, når man kender byggematerialerne. U-værdien angiver, hvor stor en energimængde, målt i kWh, der i løbet af en time passerer gennem 1 m² af konstruktionen, når temperaturforskellen mellem den indvendige og udvendige flade er 1°C. U-værdien er tykkelsesafhængig og inkluderer alle materialer i konstruktionen. Metoden med at vurdere varmebehovet ud fra U-værdier kan også anvendes i eksisterende bygninger, hvis man kender de forskellige materialer, der indgår i konstruktionen.

Udover det samlede årlige gennemsnitsforbrug af varme, må der også tages stilling til fordelingen af varmebehovet hen over året og til spidsbelastningen, dvs. hvor megen energi pr. tidsenhed, er der brug for i de koldeste perioder. Belastningen – også kaldet effekten – angives i Watt eller i kW. Vurdering af effekt er nødvendig for at afgøre størrelsen af varmepumpen dvs. om det f.eks. skal være en 4, 8, 10 eller 12 kW pumpe. Størrelsen af pumpen bør imidlertid ikke helt modsvare spidsbelastningen, fordi det vil resultere i en overdimensionering med for mange start og stop af varmepumpen. På meget kolde dage kan det i stedet være mere økonomisk at lade varmepumpen bruge et elektrisk varmeelement (en varmepatron), der som standard er indbygget i de fleste varmepumper.

Fordelingen af varmebehovet hen over året kan beregnes ud fra fordelingen af graddage. Graddagetallet udregnes for hvert døgn som 17°C minus døgnmiddeltemperaturen, hvis denne er mindre end eller lig med 17°C. Hvis døgnets gennemsnitstemperatur har været højere end 17°C er graddagetallet 0 for det pågældende døgn. Hvis f.eks. gennemsnitstemperaturen i et døgn er 5°C er graddagetallet 12 for det pågældende døgn.

DMI udgiver oversigter over antal graddage i hver måned indsamlet for et antal lokaliteter i Danmark, ref. /1/. Som eksempel herpå ses i Tabel 2 data fra lokaliteten Bygholm ved Horsens.

Tabel 2. Månedlige antal graddage i de seneste 8 fyringssæsoner for DMI's vejrstation ved Bygholm. Tabellen viser også det samlede antal graddage i hver fyringssæson. Efter ref. /1/.

	2003– 2004	2004– 2005	2005– 2006	2006– 2007	2007– 2008	2008– 2009	2009– 2010	2010– 2011
September	110	117	106	42	129	138	104	137
Oktober	343	238	213	163	277	251	286	261
November	315	358	349	279	376	340	287	424
December	426	412	459	316	426	449	507	672
Januar	539	419	566	375	399	498	611	511
Februar	431	477	457	413	356	445	540	462
Marts	416	490	530	333	424	398	431	416
April	270	280	320	239	296	226	294	198
Maj	176	195	177	177	149	178	233	183
Juni	112	101	81	65	80	114	104	69
Juli	80	32	8	56	36	32	13	35
August	34	74	28	44	36	24	57	48
I alt	3252	3194	3289	2492	2982	3092	3467	3418

Som det fremgår af Tabel 2 kan antal graddage – og dermed varmebehovet – svinge meget fra år til år. En sammenligning mellem den varme fyringssæson 2006/2007 og den kolde sæson 2009/2010 viser således en forskel på 975 graddage – svarende til at den kolde har næsten 40% flere graddage end den varme sæson.

Til slut skal nævnes at varmebehovet også kan skønnes ved tabelopslag i ”Den lille blå om varmepumper”, en håndbog udgivet af Dansk Energi, der er brancheforening for el-selskaberne ref. /2/. I håndbogen er der på side 28 vist en tabel over gennemsnitlige værdier for varmebehov til rumopvarmning og varmt brugsvand i kWh/m² som funktion af byggeår og bygningsareal. Grundlaget for tabellen er indberetning fra ca. 90.000 huse undersøgt i forbindelse med energimærkeordningen.

2.2 Tilgængeligt areal

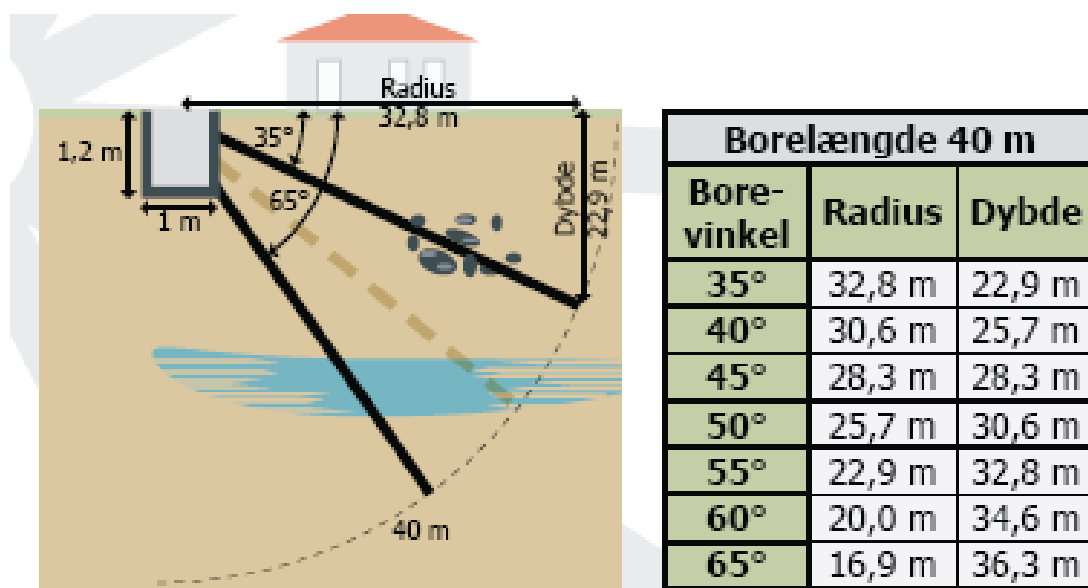
Efter at have beregnet det relevante varmebehov er næste skridt at vurdere den grund, hvor jordvarmen skal installeres. Er det tilgængelige areal stort nok til et horisontalt anlæg? Selvom svaret på dette spørgsmål er ”ja”, kan et system baseret på en jordvarmeboring godt være at foretrække, fordi det er en mere stabil varmekilde i forhold til de horisontale anlæg, der er mere sårbare overfor vinterkulde, der trænger ned ovenfra. Desuden er der ved boringer mulighed for at udbygge systemet med energilagring fra sommer til vinter, se afsnit 2.10.

Indtil nu er de horisontale systemer langt hyppigere i Danmark end jordvarmeboringer – mest fordi de horisontale anses for billigere i anlægsfasen sammenlignet med udførelse af en boring. En anden årsag til det meget større antal horisontale anlæg er simpelthen mangel på viden om anlæggene baseret på boringer. Imidlertid har enkelte boreentreprenører nu investeret i borerigge, der er specielt fremstillet til jordvarmeboringer og installation af de rør, der udgør varmevekslerne i borehullet. Derfor er der nu kun en lille – eller måske ingen forskel i pris mellem de to systemer – dog afhængig af lokale forhold.

De fleste horisontale anlæg findes i nye udstykninger, hvor nedgravning af rør kan udføres før haven anlægges og rørføring ind i huset kan planlægges sammen med det øvrige byggearbejde. De horisontale systemer bliver imidlertid også installeret i ældre huse, hvis området omkring huset er stort nok. Hvis arealet er for lille, kan det nødvendige areal til jordvarme evt. lejes, f.eks. på en tilstødende mark, idet landmanden fortsat kan dyrke jorden over de nedgravede jordslanger.

I byområder er anlæg baseret på boringer i mange tilfælde den eneste mulighed for at få jordvarme, fordi der ikke er plads nok omkring bygningerne til et horisontalt anlæg.

Udover varmeindvinding fra almindelige lodrette boringer kan indvinding af jordvarme også foretages fra energibrønde, hvor der fra en central brønd bores ud med skrå boringer, hvis antal og længde bestemmes ud fra det aktuelle varmebehov og de lokale forhold, se Figur 2. Energibrønden har ligesom de lodrette anlæg et meget lille pladsbehov sammenlignet med de horisontale jordvarmeanlæg.



Figur 2. Energibrønd med skrå boringer. Efter ref. /3/.

2.3 Planstatus og lovgivning

Ved planlægning af jordvarme er det nødvendigt at tage hensyn til lovgivning og gældende lokalplaner for det område, hvor jordvarmeboringerne skal installeres.

I Danmark skal kommunen give tilladelse til at etablere jordvarme. Ifølge lovgivningen er jordvarmeboringer ikke tilladt inden for en afstand af 300 meter fra en offentlig vandforsyning, og for en ikke-offentlige vandforsyning er afstandskravet 50 m, ref. /4/. Hvis ejeren af vandforsyningen er identisk med ejeren af jordvarmeboringen kan der gives tilladelse til en afstand mindre end 50 m mellem de to anlæg. Endvidere skal den indbyrdes afstand mellem jordvarmeboringer ifølge loven være mindst 20 meter. Dette afstandskrav har dog ikke nogen klar faglig begrundelse og i udlandet designes energianlæg med mange jordvarmeboringer ofte med en indbyrdes afstand mellem boringerne på f.eks. 5-8 meter. Afstandskravet for horisontale jordvarmeslanger til skel er til sammenligning 0,6 meter.

Begrænsninger for jordvarme kan også være relateret til regionale vandplaner. I områder med særlige drikkevandsinteresser, er nogle kommuner betænkelige ved risikoen for lækage mellem grundvandsmagasiner, hvis jordvarmeboringerne ikke er ordentligt forseglede. Betænkeligheden kan også være knyttet til risikoen for udslip af den cirkulerende frostvæske i rørene. Risikoen for udslip af væske er dog vurderet til at være meget lille af Miljøstyrelsen i en rapport fra 2008, ref. /5/.

Andre begrænsninger kan være knyttet til en vedtagen 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.

2.4 Forventet geologi og grundvandsforhold

Før man går i gang med jordvarmeboringer er det vigtigt at have et overblik over stedets geologi og grundvandsforhold. Derfor bør der altid foretages en forhåndsvurdering ud fra de nærmest liggende boringer, da de i de fleste tilfælde kan give værdifuld information om hvilke jordlag, der kan forventes og i hvilket niveau grundvandets trykniveau formodes at være.

Denne foreløbige geologiske model kan så senere justeres med de oplysninger, der fås fra de opborede jordprøver ved det senere borearbejde.

De geologiske oplysninger fås typisk via Jupiter-databasen over danske boringer. Databasen drives af GEUS (De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland) og den er bl.a. tilgængelig på webstedet <http://www.geus.dk/jupiter/index-dk.htm>. I nogle områder er der et tæt net af boringer, og her kan der udarbejdes en relativ sikker tolkning af de forventede jord- og grundvandsforhold. Hvis der er tyndt besat med boreoplysninger må tolkningen baseres på geologiske oversigtskort samt baggrundsviden om processer i de forskellige geologiske perioder, jf. ref. /6/.

I princippet kan der etableres jordvarmeboringer i alle typer jordlag, men udbyttet i form af kWh energimængde og Watt pr. meter vil afhænge af jordlagenes termiske egenskaber. Det er især to egenskaber, der er afgørende, og det er jordlagenes varmeledningsevne W/mK (Watt per meter per grad Kelvin) og deres varmekapacitet, der måles i f.eks. MJ/m³K (MegaJoule pr. m³ per grad Kelvin).

Der er ikke foretaget særlig mange målinger af de termiske egenskaber af de øvre danske jordlag (fra 0-300 meter). Geoteknisk Institut har dog tilbage i 1980'erne foretaget målinger af jordprøvers varmeledningsevne og varmekapacitet i forbindelse med Energiministeriets varmepumpeforskningsprogram, se ref. /7/ og Tabel 3.

Tabel 3. Varmeledningsevne af danske jordarter ved forskellige vandindhold. Fra ref. /7/.

Jordart	Vandindhold %	Varmeledningsevne W/(m×K)
SAND, fint, siltrigt, smeltevandsaflejret, glacialt.	0	0,32
SAND, fint, siltrigt, smeltevandsaflejret, glacialt	15	1,71
SAND, fint, siltrigt, smeltevandsaflejret, glacialt	19,4	2,03
SAND, mellemk., ringe sorteret, siltholdigt, smeltevandsaflejret, glacialt	0	0,31
SAND, mellemk., ringe sorteret, siltholdigt, smeltevandsaflejret, glacialt	2,8	0,85
SAND, mellemk., ringe sorteret, siltholdigt, smeltevandsaflejret, glacialt	17,1	1,90
MORÆNLER, sandet, gruset, gletcheraflejring, glacialt	12,4	2,21
MORÆNLER, sandet, stenet, ret fedt, gletcheraflejet, glacialt	16,3	2,21
MORÆNLER, sandet, stenet, gletcheraflejet, glacialt	17	2,06
MORÆNLER, meget sandet, gletcheraflejet, glacialt	12,2	2,27

Udenfor Danmark er der publiceret flere oversigter med termiske egenskaber for jord- og bjergarter. Således i den tyske VDI norm for termisk udnyttelse af undergrunden, /8/, i David Banks bog "An Introduction to Thermogeology" /9/, og i programmet EED (Earth Energy Designer) /10/. Udvalgte tabelværdier fra ovenstående kilder er sammenstillet i Tabel 4.

Udover jordlagenes termiske egenskaber betyder flowhastigheden og viskositeten af væsken i jordkredsløbet også noget for, hvor meget varme, der optages i slangerne.

Tabel 4. Eksempler på termiske egenskaber for jordarter. Baseret på ref. /8/, /9/ og /10/.

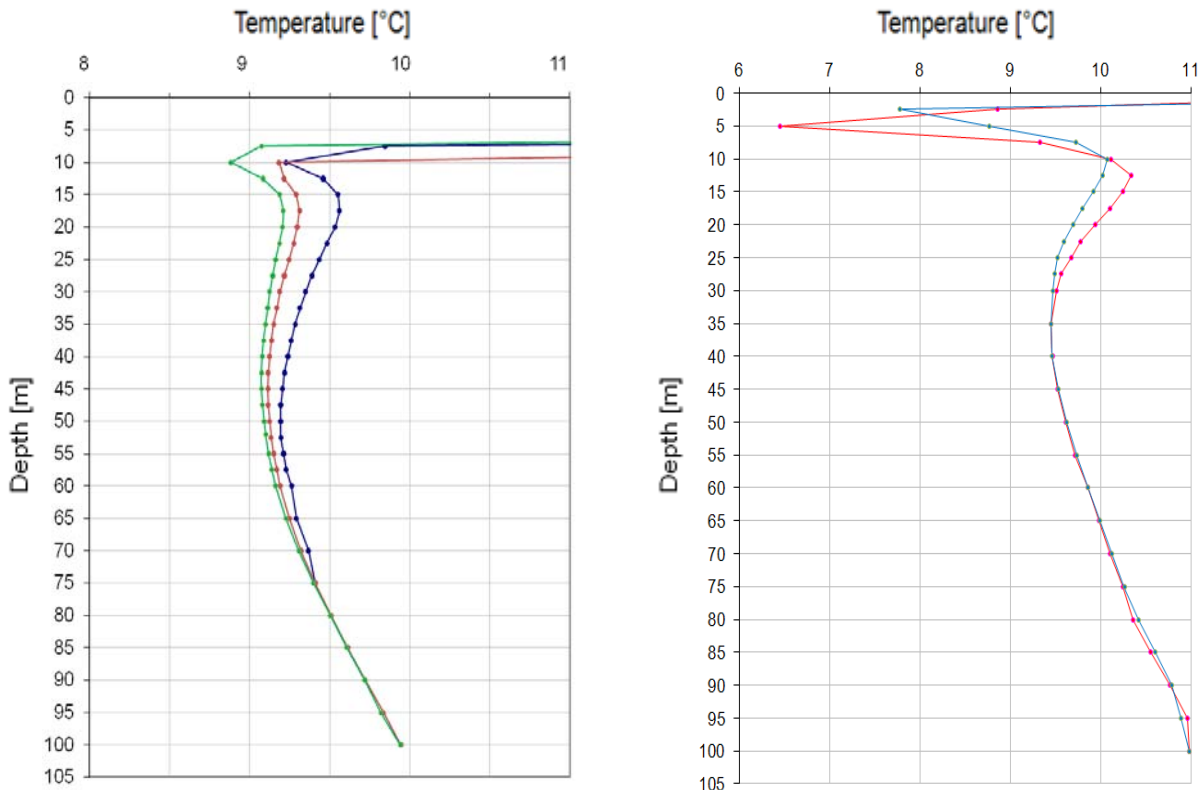
Jordart eller materiale	Ref.	Varmeledningsevne W/(m×K)	Anbefalet varmeledningsevne W/(m×K)	Specifik varmekapacitet (volumetrisk) MJ/m ³ ×K	Densitet 10 ³ kg/m ³
Ler og silt (tør)	/8/	0,4-1,0	0,5	1,5-1,6	1,8-2,0
Ler og silt (vandmættet)	/8/	1,1 – 3,1	1,8	2,0-2,8	2,0-2,2
Sand, tørt	/8/	0,3-0,9	0,4	1,3-1,6	1,8-2,2
Sand, fugtigt	/8/	1,0-1,9	1,4	1,6-2,2	1,9-2,3
Sand, vandmættet	/8/	2,0-3,0	2,4	2,2-2,8	1,9-2,3
Moræne	/10/	1,-2,5	1,75	1,5-2,5	1,8-2,3
Kalksten	/8/	2,0-3,9	2,7	2,1-2,4	2,4-2,6
Kridt	/9/	1,25-2,33	1,79	-	-
Beton	/10/	0,92-2,02	1,6	1,87	0,919
Vand (0 til 10°C)	/10/	0,56-0,59	0,6	4,15	0,999

Som det ses af Tabel 4 er der for de forskellige jordarter givet et interval af værdier for varmeledningsevnen og varmekapaciteten, idet der kan være stor forskel selv indenfor samme geologiske hovedbjergart. Dette skyldes bl.a. forskel i bjergarternes vandindhold, forvitningsgrad og opsprækkethed.

Med udgangspunkt i en foreløbig geologisk model og en formodet (eller verificeret) lagserie, kan der ud fra ovenstående tabeller gives et groft skøn over en jordvarmeborings forventede gennemsnitlige varmeledningsevne i W/(mK). Skønnet fås ved at vægte de forskellige lags varmeledningsevne efter den tykkelse, de har i lagserien.

Udover de lokale jordartstyper og deres termiske egenskaber, kan det også være af interesse at kende den lokale geotermiske gradient i planlægningsfasen. Gradienten angiver, hvor meget temperaturen stiger med dybden. Generelt varierer gradienten fra 1,5°C til 3-4°C pr. 100 meter, ref. /11/. Hvor stor – eller lille – gradienten er på en given lokalitet kan være vanskeligt at vurdere på forhånd, idet der ikke (på dette stade i EUDP-projektet) er foretaget ret mange målinger af den geotermiske gradient i de øvre jordlag. Der er således ingen regionale kort, der viser størrelsesorden og geografisk fordeling af den geotermiske gradient i Danmark.

Den regelmæssige stigning af temperaturen med dybden, sker under en øvre zone påvirket af årstid og klimavariationer. Der er hidtil ikke foretaget mange målinger af tykkelsen af denne øvre zone, men temperaturen i de øverste 25-50 m af lagserien kan tilsyneladende variere en del over ganske korte afstande som vist i Figur 3. Figuren viser temperaturmålinger ved to lokaliteter med henholdsvis 3 og 2 jordvarmeboringer. Målingerne er udført i 2011 af Århus Universitet som en del af EUDP-projektet. Kurverne i Figur 3 viser, at de enkelte boringer på de to lokaliteter er ret forskellige med hensyn til temperaturen i den øvre zone – til trods for, at afstanden mellem dem kun er ca. 20 meter. Denne variation tilskrives umiddelbart, at boringerne ligger med forskellig afstand til huse, hvorunder der antageligt er oparbejdet et ”varmelager” ved mange års opvarmning af huset. Denne hypotese skal afprøves ved at foretage flere målinger på andre lokaliteter.



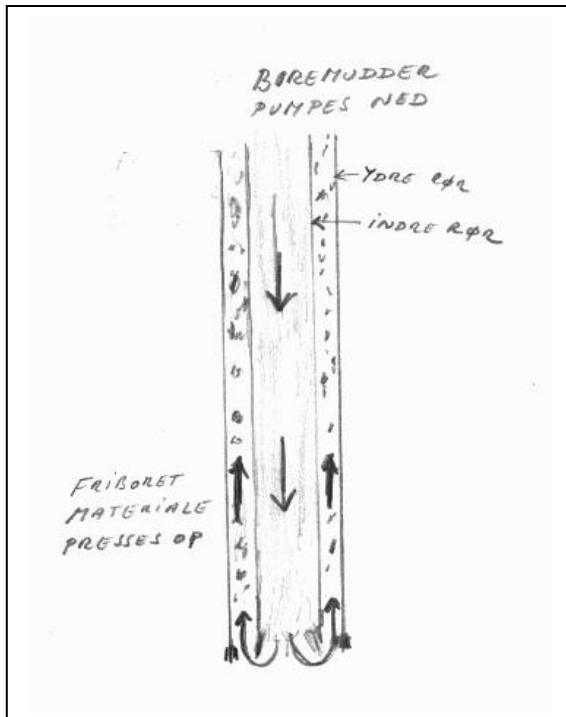
Figur 3. Temperaturmålinger ved to lokaliteter med jordvarmeboringer. Til venstre målinger i tre boringer ved Hou i Nordjylland og til højre målinger i to boringer ved Glud i Østjylland. Kopieret fra ref. /10/.

For varmforsyning til et enkelt parcelhus vil en simpel geologisk model sammen med de generelle værdier for varmeledningsevne kunne anvendes som grundlag for dimensionering af et jordvarmeanlæg – tillige med Tabel 5 i næste afsnit. For installationer i større bygninger kan det være nødvendigt med en mere udførlig modellering af varmestrømningen i de øvre jordlag for at bestemme nødvendigt antal og dybde af jordvarmeboringer til opvarmning og afkøling. Her anvendes software som modelprogrammet FEFLOW eller lignende programmer.

2.5 Borearbejde og udbygning med rør

Borearbejdet og udbygning af boringen med rør til varmeveksling udføres normalt af det samme firma. Boremetoden er som regel skylleboring, hvor det friborede materiale transporteres op til overfladen ved hjælp af en cirkulerende mudderstrøm. Der findes borerigge specielt designet til at udføre jordvarmeboringer – de borer med en relativ lille diameter og med to borerør – et ydre rør, der tjener som afstivende forerør under borearbejdet og et indre rør, hvorigennem det cirkulerende boremudder pumpes ned. De to rør roterer hver sin vej under borearbejdet, se principskitse i Figur 4 og foto i Figur 5. Prøvetagning foregår fra mudderstrømmen, når den plasker ned i en container, hvorfra en pumpe sørger for det videre kredsløb ned i boringen.

Når boringen har nået slutdybden trækkes det inderste rør op, og herefter skal den udbygges med slanger til det endelige jordkredsløb med varmepumpen. Slangerne leveres oprullet i faste længder og med færdig U-vending i bunden. Da det kan være vanskeligt at presse slangerne ned til bunden af det mudderyldte borehul på grund af opdrift, hænges der vægtlodder nederst på slangerne og de fyldes med vand for at gøre dem så tunge som muligt.



Figur 4. Principskitse af boremotoden med dobbelt roterende rør – det indre og ydre rør roterer hver sin vej under borearbejdet, se foto af borekronerne i Figur 5.



Figur 5. Eksempler på borekroner for ydre rør (til venstre) og indre rør (til højre). Borediameteren bestemmes af det ydre rør, der her er 16 cm i diameter.

Kun få danske borefirmaer har på nuværende tidspunkt investeret i de specielle borerigge til jordvarmeboringer. Til at dække den stigende efterspørgsel efter disse boringer, ses derfor også tyske og svenske borefirmaer på det danske marked.

Dybde og antal af boringer vurderes ud fra det beregnede energibehov samt den forventede geologiske lagfølge, se afsnit 2.1 og 2.4. I den tyske norm, ref. /8/ gives der nogle generelle værdier for, hvor mange watt pr. meter der kan forventes fra forskellige typer af bjergarter.

Tallet afhænger af hvor lang tid varmepumpen er i gang, og derfor er der givet to forskellige værdier af W/m for henholdsvis 1800 og 2400 årlige driftstimer.

Det ses, at for 2400 årlige driftstimer er varmeydelsen per meter lavere end for 1800 timer, idet der med 2400 driftstimer er mindre tid til at genoplade volumen omkring boringen med tilstrømmende varme fra siderne.

Tabel 5. Eksempler på varmeindvinding pr. meter fra forskellige typer af bjergart. Fra ref. /8/.

Generelle værdier for undergrunden	Specifik udtræk af energi pr. år	
	ved 1800 driftstimer W/m	ved 2400 driftstimer W/m
Dårlig konsolideret (tør sediment) ($\lambda < 1.5 \text{ W/m}^*\text{K}$)	25	20
Normal konsolideret og vandmættet ($\lambda < 1.5 - 3,0 \text{ W/m}^*\text{K}$)	60	50
Faste bjergarter, høj varmeledning ($\lambda > 3 \text{ W/m}^*\text{K}$)	84	70
Værdier for individuelle typer af jordlag		
Grus, sand (tør)	< 25	< 20
Grus og sand, vandmættet	65-80	55-65
Sand eller grus med stor grundvandsstrømning	80-100	80-100
Ler og silt, fugtigt	35-50	30-40
Kalksten, masiv *	55-70	45-60
Fast klippe (Granit) *	65-85	55-70
Fast klippe (Basalt) *	40-65	35-55

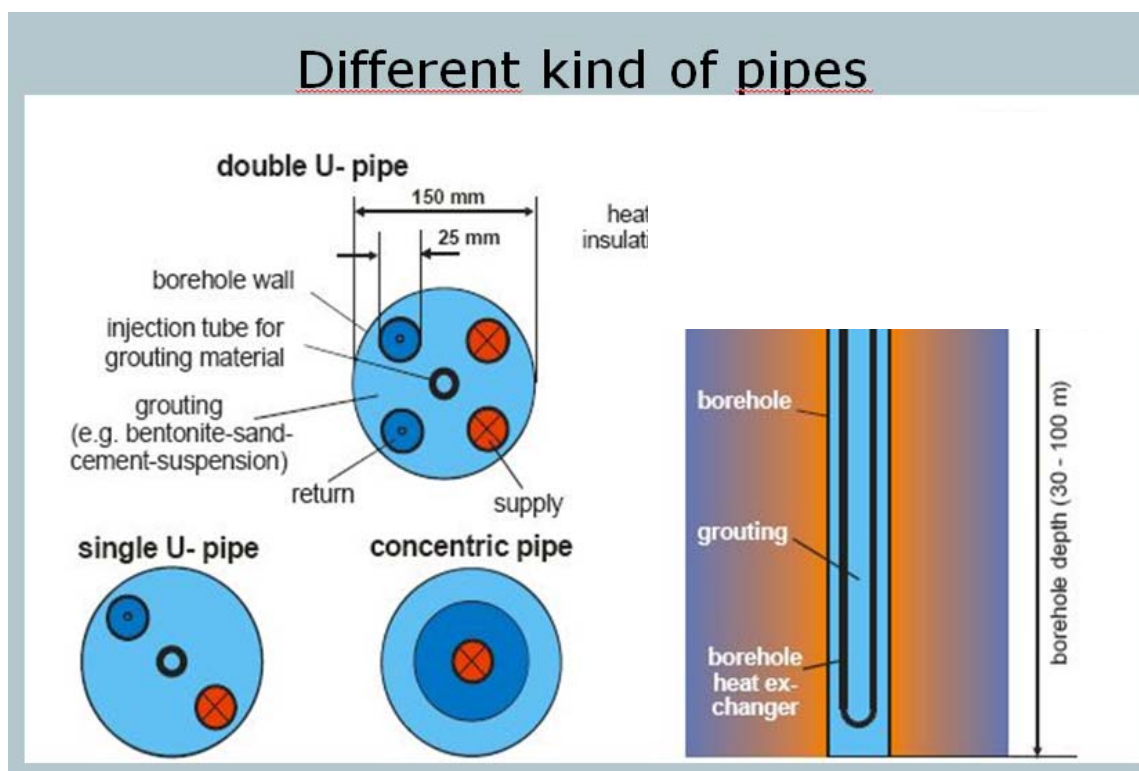
* Værdierne kan variere afhængig af sprækker, skifrihed, nedbrydningsgrad etc.

Udover dybde og antallet af boringer, skal designeren af et jordvarmeanlæg også overveje følgende punkter i forbindelse med borearbejdet:

- Diameter af boringen (er ofte givet ud fra boreriggens udstyr)
- Type af varmeslange (co-axial, enkelt U, dobbelt U, tredobbelt U, se Figur 6)
- Varmeslangens diameter (er mere eller mindre knyttet til typen af varmeslange)
- Varmeslange materiale
- Type af forseglingsmateriale (f.eks. termo-forbedret materiale)
- Forseglingsmetode – hvordan kommer forseglingen på plads

Meget ofte er de fleste beslutninger om ovenstående punkter knyttet til den aktuelle borerig og de rutiner, der er opbygget ved borefirmaet. Ved større projekter kan f.eks. slangediameter og materiale imidlertid designes til de aktuelle behov.

Efter afslutning af borearbejdet udføres der en tryktest af de indstøbte og vandfyldte slanger.



Figur 6. Forskellige typer af rør til jordvarmeboringer. Fra slide udarbejdet af Morten Kjærgaard, ref. /12/. Oprindelig figur fra Thomas Schmidt, Solites, Stuttgart.

2.6 Valg af varmepumpe og brine

I dag er der mange producenter af varmepumper og mange produkter at vælge i mellem. Forskellen mellem varmepumperne kan sammenlignes lidt med forskellen mellem forskellige bilmodeller – de er alle i stand til at køre, men de adskiller sig i udseende og tekniske detaljer.

Størrelsen af varmepumpen er givet i kW - den maksimale energi pr. tid pumpen er i stand til at producere. Valg af størrelse sker på baggrund af varmebehovet, se afsnit 2.1.

Installationen af varmepumpen foretages normalt af en VVS installatør, der typisk også bestemmer hvilken type ”brine”, der skal anvendes. Brinen er den cirkulerende væske i jordkredsløbet og den består af frostvæske i form af vand tilsat alkohol eller glycol. Væsken skal kunne tåle frostgrader, fordi returstrømmen fra varmepumpen til jorden kan blive adskillige minusgrader.

I den danske lovgivning er der anbefalet følgende stoffer som brine, ref. /4/:

- Ethanol
- IPA-sprit (ethanol med ca. 10% propylenglycol)
- Ethylenglycol
- Propylenglycol

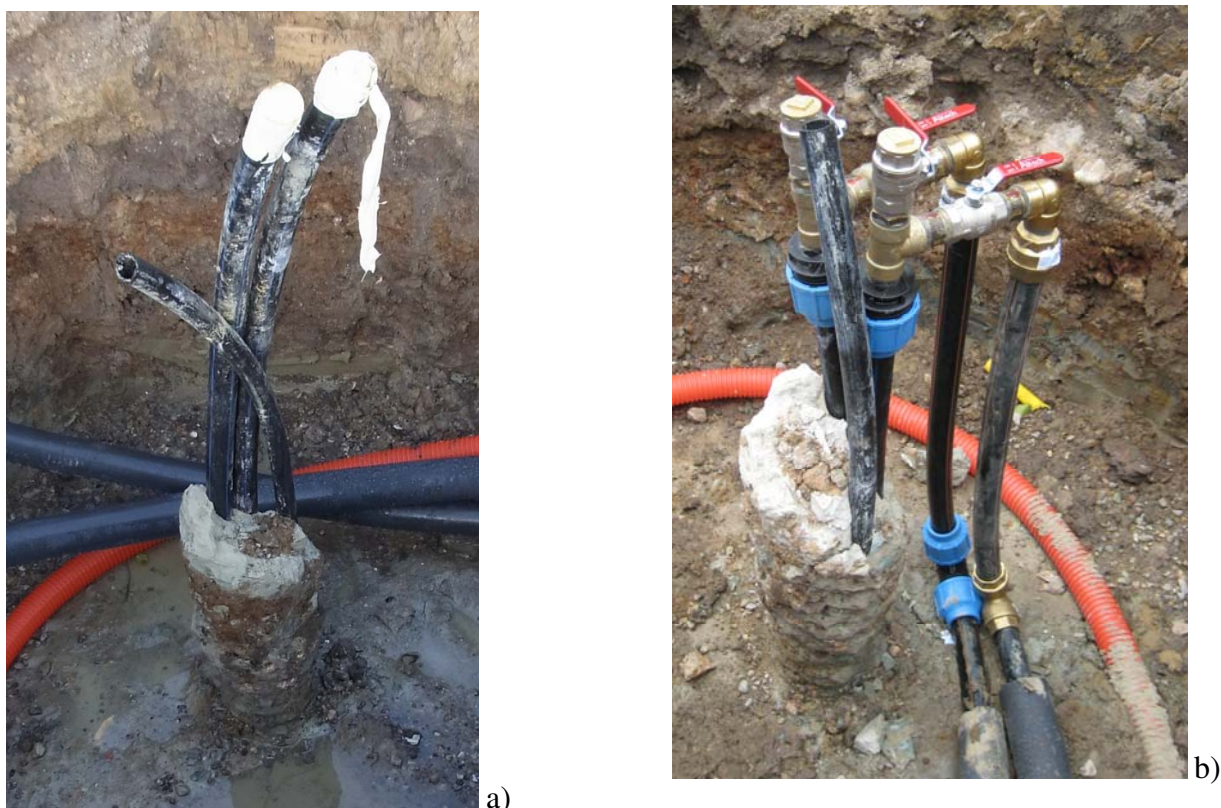
Tilsætning af anti-korrosionsmiddel er tilladt for de to sidstnævnte, når der blot gives fuldstændig oplysning om sammensætningen.

Hver type brine har fordele og ulemper mht. viskositet, varmekapacitet og pris. På nuværende tidspunkt er det ikke muligt at give entydige svar på, hvilken type, der er bedst.

2.7 Fra boring til hus

Når borefirmaet har udført arbejdet skal slangerne forbindes med varmepumpen inde i bygningen. Det sker via en isoleret rørforbindelse, der typisk graves ned i frostfri dybde. Hvis jordvarmen installeres i forbindelse med nybyggeri er forbindelsen fra boring til hus relativ simpel at etablere – men for eksisterende bygninger kan gravearbejdet og forbindelsen gennem eller under soklen være en væsentlig post på budgettet.

Når der graves fri omkring boringen, kan det se ud som på Figur 7a, der viser de to ender af et U-rør, samt det rør, hvor igennem der blev pumpet flydende forseglingsmateriale ned omkring rørene. Figur 7b viser samme boring som Figur 7a, efter at der er monteret rørforbindelse ind til varmepumpen. Det ses at forseglingsmaterialet står frem som en prop med de indstøbte rør. Studs og lukke mulighed ved toppen af boringen er ikke standard, men er påmonteret her for at kunne komme til at foretage temperaturmålinger i boringen senere.



Figur 7. Boring med enkelt u-rør og rør anvendt til nedpumpning af forseglingsmateriale. a) er før og b) er efter montering af forbindelsesrør fra boringen og ind i huset.

Nedgravningen af rør fra boring til hus udføres typisk af en kloakmester, idet jordvarmeanlæggets rør ofte skal krydse hen over eksisterende forsyningsledninger.

Montering af rør og tilslutning til varmepumpen udføres af en autoriseret VVS-installatør, der også tilslutter varmepumpen til husets varmesystem. Udover en VVS-installatør til rørarbejdet er det også nødvendigt med en elektriker for at tilslutte den nødvendige strømforsyning til varmepumpen. Endvidere skal elektrikereren montere en udendørs temperaturføler, der sender signaler til varmepumpen om, hvornår den skal starte med at producere varme til huset.

2.8 Husets varmesystem

Varmepumper til jordvarmeboringer arbejder generelt med en relativ lav fremløbstemperatur til husets varmesystem sammenlignet med fremløbstemperaturer fra olie- og gas fyr. Den lave fremløbstemperatur passer godt til gulvvarme, fordi dette system netop opererer med lav fremløbstemperatur.

Medens stort set alle nye huse bygges med gulvvarme, så er radiatorer almindelig i mange ældre huse. Radiatorer kræver en større fremløbstemperatur end gulvvarmen – det kan varmepumpen også klare, men driftsøkonomien ændres, fordi den skal tilføres relativt mere el for at kunne levere den højere fremløbstemperatur.

Radiatorernes overfladeareal er med til at bestemme, hvor høj fremløbstemperaturen skal være for at give den nødvendige varme. En smal radiator med kun en enkelt flade af ribber har således en relativ lille overflade sammenlignet med en bred radiator, hvor der er to flader med ribber. For at få en bedre driftsøkonomi på varmepumpen, kan det derfor være nødvendigt at udskifte smalle radiatorer med brede typer, hvor der er en stor overflade.

Det kan være svært at vide eller beregne på forhånd, om det er nødvendigt at udskifte radiatorerne i et eksisterende hus for at opnå tilstrækkelig varme med en ny varmepumpe. Det bedste grundlag fås ved at have systemet kørende i en kold periode, og så observere de temperaturer, der opnås i husets forskellige rum.

Arbejdet med udskiftning af radiatorer udføres af VVS-installatøren – normalt den samme som har foretaget installationen af varmepumpen.

Under punktet “Husets varmesystem” hører også en vurdering af systemet til levering af varmt vand – det leveres meget ofte fra samme varmepumpe, der forsyner radiatorer og gulvvarme, men der kan også være andre løsninger, såsom en selvstændig el-vandvarmer eller solpaneler.

2.9 Dokumentation af energioptag

Ved etablering af et jordvarmeanlæg er det meget nyttigt at installere måleudstyr, så det er muligt at dokumentere anlæggets effektivitet og følge temperaturudviklingen i jorden. På nuværende tidspunkt er det imidlertid ikke almindeligt at bruge ressourcer på sådant udstyr ved installation af jordvarmeanlæg.

Først og fremmest er det relevant at registrere forbruget af el til varmepumpen og at måle den energimængde, der tilgår husets varmesystem. Når man har samtidige værdier af disse to parametre for et givet tidsinterval kan systemets virkningsgrad beregnes – det er COP-værdien (Coefficient of Performance). COP-værdien er defineret som forholdet mellem output og input af energi. En varmepumpe til jordvarmeboringer har typisk en COP-værdi mellem 3 og 4. Hvis varmepumpen tilføres 1 kWh kan den således yde mellem 3 og 4 kWh til opvarmning og varmt vand.

COP-værdien er ikke konstant, men varierer bl.a. efter den temperatur, som brinen i jordkredsen kommer ind med, og den fremløbstemperatur, som varmepumpen er sat til at levere til huset. Brug af varmepumpens el-patron er desuden en meget betydende faktor for COP-værdien.

COP-værdien er en væsentlig faktor ved vurdering af et anlægs driftsøkonomi, men for at kunne sammenligne denne parameter for to anlæg er det nødvendigt at udregne COP-værdien som

gennemsnit over et helt år. Den gennemsnitlige årlige virkningsgrad benævnes ”sæson-virkningsgraden” eller SPF (Seasonal Performance Factor).

Udgifter til dokumentation af COP-værdien er normalt ikke en del af budgettet ved etablering af jordvarmeanlæg. Ofte ses dog en separat måler for varmepumpens strømforbrug, men et instrument til måling af leveret energi til husets varmesystem er kun almindeligt for husstande tilsluttet fjernvarme eller anden fælles varmeforsyning.

Udover måling af varmepumpens strømforbrug samt leveret energi til huskredsløbet, er det også relevant at kunne måle:

- Temperatur af brine fra boringer til varmepumpe
- Temperatur af brine fra varmepumpe og tilbage til boringerne.
- Flow hastigheden af brinen

Ud fra disse tre parametre er det muligt at beregne effekten i Watt og den energi, der optages fra jorden i et givet tidsrum forudsat at man kender varmekapaciteten af brinen i jordkredsløbet. For at få disse oplysninger er det nødvendigt at installere temperatursensorer i rørene til og fra varmepumpen. Derudover skal der monteres en flowmåler i jordkredsløbet. Endvidere skal der være et system til dataopsamling og beregning.

Der er på nuværende tidspunkt ikke noget krav fra myndighedernes side om at registrere disse forhold, og derfor bliver det kun gjort i sjældne tilfælde, hvor ejeren af anlægget ønsker f.eks. at kunne følge med i temperaturudviklingen omkring jordvarmeboringen. Det kan således være relevant at vide, om der udvikles is omkring boringen og i hvilket tempo jorden afkøles i løbet af fyringssæsonen – og hvor hurtig jorden opvarmes igen, når varmebehovet falder på grund af forår og sommer.

2.10 Muligt sammenspil med andre energikilder

Jordvarmeanlæg kan kombineres med andre energiformer i et integreret system. Det mest oplagte element at integrere med jordvarmen er solpaneler eller andre energi absorbere, der kan optage energi fra solen. Ved at bruge brinen i jordkredsen som transportmedium kan den optagne solenergi lagres i jorden til senere brug om vinteren.

I bygninger, hvor der er brug for afkøling, kan der opsamles energi fra f.eks. udsugningsluften og denne energi kan via en varmeveksler lagres i jorden. En del af den lagrede energi vil kunne hentes op i forbindelse med varmeindvinding fra jorden – hvor meget vil afhænge af den aktuelle lagserie og især tilstedeværelsen af lag med strømmende grundvand.

Andre relevante energi-elementer at kombinere med jordvarme er solceller eller husstandsvindmøller til at producere elektricitet til varmepumpen. Selvom der ikke er nogen direkte forbindelse mellem jordvarmeanlæg og de strømproducerende elementer, skal designeren af jordvarmeanlæg være opmærksom på en eventuel fremtidig udvikling af stedets el-system, så de to systemer kan supplere hinanden bedst muligt.

2.11 Økonomi

Selvom økonomien er den sidste parameter, der er nævnt i denne rapport, er det ofte det første forhold, der skal overvejes for den fremtidige ejer af et jordvarmeanlæg. Det kan imidlertid være vanskeligt at give vejledende regler mht. økonomi, idet der altid vil være en vis usikkerhed ved beregninger af antal år før investeringen har tjent sig ind i form af besparelser til varmeudgifter.

Usikkerheden skyldes mangel på viden om, hvor meget prisen vil stige på olie, gas og el. Desuden spiller finansieringsmåden ind: hvilken rente er pengene lånt til, eller – hvis pengene repræsenterer en opsparat kapital – hvilken forrentning kunne der opnås ved andre investeringer i form af f.eks. obligationer eller aktier?

I øvrigt kan der i den indledende fase være en vis usikkerhed om de samlede omkostninger, fordi man ofte har flere håndværkere og firmaer involveret i opførelsen af hele systemet, såsom:

- Borefirma
- VVS installatør
- Elektriker
- Entreprenør til gravearbejde
- Leverandør af varmepumpe

Udover de ovennævnte aktører er der også designeren, der er ansvarlig for den endelige dimensionering og funktion af systemet. Designeren kan være fra et byggefirma, hvis systemet er installeret i et nyt hus. For ældre huse kan designeren af jordvarmesystemet være en af de ovennævnte håndværkere. Generelt er der en mangel på erfarne designere, fordi der endnu ikke har været meget erfaringsudveksling om driften af de eksisterende anlæg.

3 REFERENCER

- /1/ DMI Klima og Energiministeriet (2011). Teknisk rapport 11-17. Månedlige opgørelser af graddage 1. september 2003 - 1. september 2011. Mikael Scharling (ed). Rapporten er tilgængelig på www.dmi.dk/dmi/tr11-17.
- /2/ Dansk Energi (2011). Den lille blå om varmepumper. Tilgængelig på <http://www.danskeenergi.dk>, set 10-12-2011.
- /3/ Dansk Varmepumpeenergi. Energibrønd – nyhed i Danmark. <http://www.jordvarme.dk/nyheder/energibroend.html>, set 10-12-2011.
- /4/ Bekendtgørelse om jordvarmeanlæg. BEK nr 1019 af 25/10/2009.
- /5/ Miljøministeriet (2008). Jordvarmeanlæg. Teknologier og risiko for grundvandsforurening. Bente Willumsen. COWI A/S. Miljøprojekt Nr. 1328 2008.
- /6/ Claus Ditlefsen (2012): D1 Geologi og jordvarmeboringer. Oversigt over geologiske forhold af betydning ved etablering af jordvarmeboringer. GeoEnergi - Energianlæg baseret på jordvarmeboringer – udvikling af markedsfremmende værktøjer og best practice, EUDP projekt, J.nr. 64011-0003.
- /7/ Energiministeriets varmepumpeforskningsprogram. 33. Varmeovergangsforhold omkring jordslanger. Mogens Porsvig. Geoteknisk Institut. April 1986.
- /8/ VDI 4660. Thermische Nutzung des Untergrunds. Verein Deutscher Ingenieure e.V. Düsseldorf. Blatt 1 fra 2010, Blatt 2 og 3 fra 2001, Blatt 4 fra 2004.
- /9/ David Banks (2008): An Introduction to Thermogeology. Ground Source Heating and Cooling. Blackwell Publishing.
- /10/ Earth Energy Designer, software. Seneste version er EED 3.0, se hjemmesiden <http://www.buildingphysics.com/manuals/EED3.pdf>, set 11-12-2011.
- /11/ Niels Balling (2011): Temperature and heat flux. Slides fra workshop ”Vidensudveksling om jordvarmeboringer” afholdt på VIA i Horsens 7. og 8. september 2011. Materiale tilgængelig på http://geoenergi.org/publ_resultater/index.html, set 15-12-2011.
- /12/ Morten Kjærgaard (2011). Different types of pipes and brine. Slides fra workshop ”Vidensudveksling om jordvarmeboringer” afholdt på VIA i Horsens 7. og 8. september 2011. Materiale tilgængelig på http://geoenergi.org/publ_resultater/index.html, set 15-12-2011.