



Varmepumper med lodrette boringer som varmeoptager

Elforsk projekt nr.: 343-037

Januar 2013

1	Indhold	
2	Forord.....	3
3	Diskussion af resultater og konklusion	4
4	Vurdering af geologi og grundvandsforhold	5
4.1	Geologisk vurdering af lokalitet Morud på Fyn.....	6
5	Dimensionering af jordslange og programvejledning.....	15
5.1	Simpel beregning	15
5.2	Detaljeret beregning	17
6	Beskrivelse af målinger og måleresultater.	20
6.1	Præsentation af beregning og måleresultater for Glud Kirkevej.....	20
	Beskrivelse af case:	20
	Beregning af jordslange ved hjælp af det udviklede jordslangeberegningsprogram.	21
	Beskrivelse af målinger:.....	23
	Konklusion:	24
6.2	Præsentation af beregning og måleresultater for Morud.....	25
	Beskrivelse af case:	25
	Beregning af jordslange ved hjælp af det udviklede jordslangeberegningsprogram.	25
	Beskrivelse af målinger:.....	28
	Konklusion:	29
6.3	Sammenfatning af beregning og måleresultater for borehuller i Hou.....	30
	Beskrivelse af case:	30
	Konklusion på målinger i Hou:	34
	Referenceliste.....	35
	Bilag 1: Målinger	36
	Beskrivelse af måleforløb:	36
	Præsentation af måleresultater for Rosenholmgrenen, Morud.....	42
	Beskrivelse af måleforløb:	42
	Præsentation af måleresultater for Houvej 10 i Hou	46
	Beskrivelse af måleforløb:	46
	Præsentation af måleresultater for Solvænget i Hou.....	54
	Beskrivelse af måleforløb:	54
	Bilag 2: Forudsætninger for beregninger	60

2 Forord

Denne rapport gengiver resultaterne af et Elforsk projekt j.nr. 343-037 med titlen " Varmepumper med lodrette boringer som varmeoptager".

Rapporten skal ses dels som en afrapportering af de i projektet gennemførte aktiviteter samt som en vejledning i, hvorledes lodrette boringer fremover kan dimensioneres ved hjælp af den udviklede beregningsmodel til dimensionering af lodrette boringer.

Målet med projektet var at færdiggøre den beregningsmodel, som er udviklet gennem de to projekter, samt at foretage målinger på to installationer med lodrette boringer for at kunne få en verificering af beregningsmodellen.

Den udviklede beregningsmodel er lavet med forskellige detaljeringsniveauer:

En simpel model som er beregnet til at dimensionere længden af jordslangen ud fra husets varmebehov. Denne model er tænkt benyttet af installatører til dimensionering af jordslangen inden etablering. Dimensioneringsforudsætningerne og beregningerne er baseret på en kendt tysk norm for dimensionering af jordslanger til energioptag.

En detaljeret model, som kan benyttes til at vurdere om slangen er lang nok efter det første hul er boret. Denne model er tænkt benyttet af brøndborere og andre specialister, som ønsker en detaljeret beregning over temperaturniveauet over slangens levetid.

Lodrette boringer som varmeoptagere vil vinde mere frem i fremtiden specielt i tættere bebyggelser, hvor udenomsarealet ikke er stort. Rapporten og det udviklede program er derfor yderst relevant i forbindelse med dimensioneringen af lodrette jordslanger som energioptager.

Projektet er udført af:

Lotte Thøgersen, VIA University College
Inga Sørensen, VIA University College
Henrik Bjørn, VIA University College
Niels Radisch, Rambøll
Christian Christiansen, Brøndborer Poul Christiansen
Hans Jørn Hansen, Foreningen Energi Horsens
Marcin B. Andreasen, Teknologisk Institut
Svend V. Pedersen, Teknologisk Institut
Claus S. Poulsen, Teknologisk Institut.

Der rettes en speciel tak til Elforsk for den økonomiske støtte til projektet. Der skal desuden rettes en tak til Exportgruppen Helia ApS for tilgang til data fra deres måleopstilling.

Teknologisk Institut
Køle- og Varmepumpeteknik

Svend Pedersen, Projektleder
Januar 2013

3 Diskussion af resultater og konklusion

I denne rapport er der givet en vejledning i, hvad man skal vurdere, når man skal etablere lodrette boringer som energioptagere til jordvarmeanlæg. Denne rapport giver en indførelse i, hvad man skal være opmærksom på, når man skal dimensionere lodrette jordslanger som varmeoptagere til varmepumper.

De indledende geologiske vurderinger, man skal foretage, er beskrevet og der henvises til de tilgængelige værktøjer og hjemmesider, der findes i dag.

Der er i projektet udviklet en beregningsmodel til dimensionering af lodrette jordslanger. Denne beregningsmodel er tiltænkt som værktøj for installatører og rådgivere samt for brøndborere. Beregningsmodellen indeholder to beregningsmodeller; den ene kan benyttes til indledende beregninger og dimensionering af lodrette jordslanger, den detaljerede model kan benyttes til efterkalkulation af brøndboreren.

Den simple beregningsmodel er baseret på kendt dimensioneringsmetode fra den tyske standard VDI 4640, og den detaljerede beregningsmetode en kendt empirisk beregningsmetode, som forudsætter, at man kender geologien mere detaljeret. Dimensioneringskriterierne der er indlagt i beregningsprogrammet gør at man har en vil have en god sikkerhed for at jordslangen vil have en levetid på over 30 år.

Sammen med rapporten fra Elforsk projekt nr. 342-066, som omhandler jordens forskellige termiske egenskaber og indledende modeller for varmeoptag fra lodrette jordslanger, danner denne rapport derfor et godt dimensioneringsgrundlag for dimensionering af lodrette jordslanger som varmeoptagere til varmepumper.

Der er i projektet foretaget målinger på to installationer. Og der er lavet databehandling på to installationer, som blev etableret i forbindelse med et tidligere EUDP projekt. De fire installationer er blevet gennemregnet med den udviklede beregningsmodel, og der er god overensstemmelse mellem målingerne og det beregningsmodellen viser.

4 Vurdering af geologi og grundvandsforhold

Den generelle fremgangsmåde ved vurdering af geologi og grundvand blev kort omtalt i afrapporteringen af første projekt om varmepumper med lodrette borer som varmeoptager (Elforsk projekt nr. 342-066, dec. 2010). Heri blev også givet en generel beskrivelse af jordens beskaffenhed og egenskaber.

I projektet her er indhentet data fra de to lokaliteter Morud på Fyn og Glud i Østjylland. I det følgende beskrives, hvilke skøn over geologi og grundvandsforhold, man på forhånd kunne vurdere for de to lokaliteter, sammenholdt med den lagserie de foretagne jordvarmeboringer afslørede.

Overordnet kan vurdering af geologi og grundvand på en bestemt lokalitet sammenfattes til, at man skal søge svar på følgende fem spørgsmål:

- Hvordan er stedets terrænforhold og øvre jordlag
- Hvilke borer er der i naboområderne, og hvad viser de om jordlag og dybde til grundvand
- Hvilke jordlag og hvilken grundvandsdybde kan forventes ved den aktuelle adresse
- I hvor høj grad kan forventes jordlag med strømmende grundvand
- Hvilke grundvandsinteresser er der på stedet, og hvad er afstanden til nærmeste vandindvinding

De oplysninger, der skal bruges for at finde svar på ovenstående spørgsmål, kan i overvejende grad findes ved hjælp af en statslig internetjeneste kaldet Miljøportalen eller ”Arealinfo” med web-adressen <http://kort.arealinfo.dk>. Her er mulighed for at søge på en adresse, der efterfølgende markeres med beliggenhed på et skærmbillede. Fremgangsmåden er så, at man skifter baggrundskortet ud med en række forskellige temakort, der viser f.eks. boreoplysninger, terrænforhold og andre relevante forhold, som det vil blive vist i gennemgangen af de to eksempler: Rosenholmgrenen 23 på Fyn og Glud Kirkevej 48 i Østjylland.

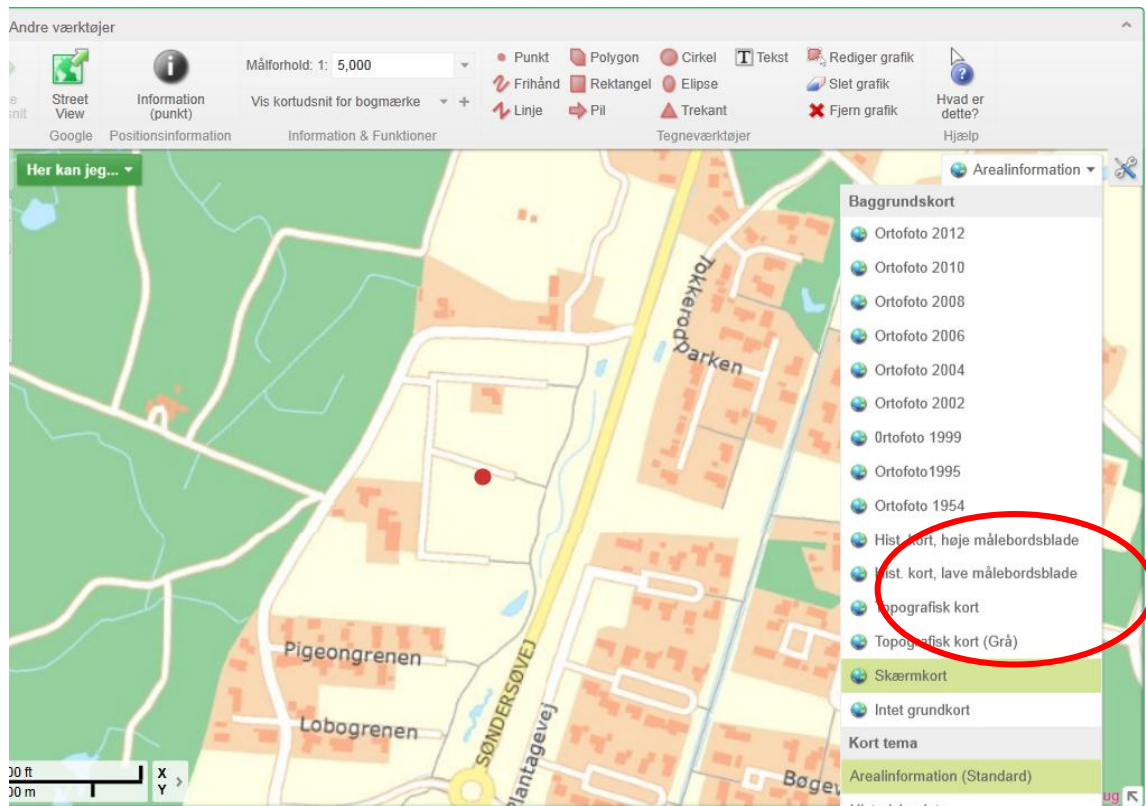
4.1 Geologisk vurdering af lokalitet Morud på Fyn

Adressen på lokaliteten er Rosenholmgrenen 23 med postnummer 5452 Morud. Med denne oplysning som søgekriterium findes den nøjagtige beliggenhed på <http://kort.arealinfo.dk> med et almindeligt skærmbillede som baggrund. Ved at zoome ud ses at lokaliteten ligger vest for Odense på den nordlige del af Fyn, se figur 4.1.



Figur 4.1. Adressen Rosenholmgrenen 23 vist som en rød prik på oversigtskort fra <http://kort.arealinfo.dk>

Terrænforhold ved Rosenholmgrenen 23 findes ved at vælge *Topografiske kort* eller *Historiske kort* som baggrundskort, se rød markering på figur 4.2.



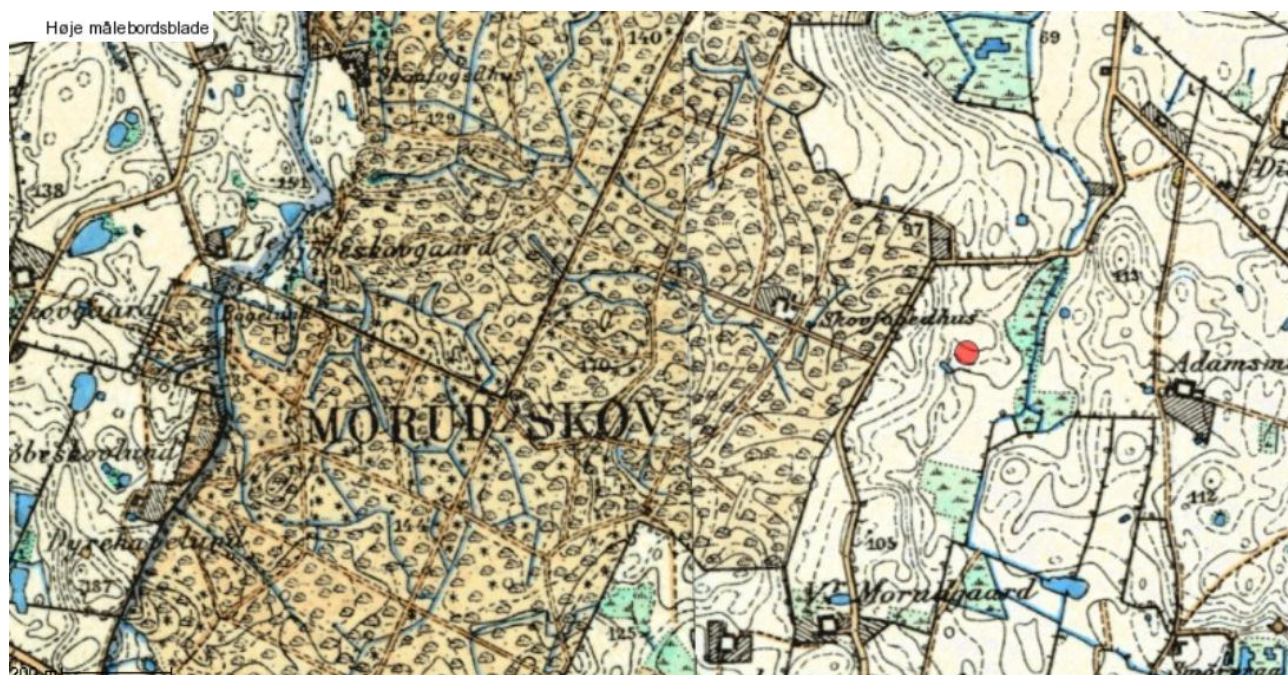
Figur 4.2. Rosenholmgrenen 23 og menuen af baggrundskort fra <http://kort.arealinfo.dk>. Målestokken fremgår til dels af husene. Rosenholmgrenen er en ny udstykning, der ifølge kortet mangler en del huse i at være fuldt udbygget – hvilket også fremgår, når man vælger "Ortofoto 2012" som baggrund.

De historiske kort har den fordel, at de i langt de fleste tilfælde viser de naturskabte terrænforhold – før en evt. udjævning i forbindelse med bebyggelser og vejanlæg mv. Hvordan det ser ud for Rosenholmgrenen 23 ses af figur 4.3, der viser ”Hist. kort, høje Målebordsblade” som baggrunds-kort. På figur 4.4 ses samme område som figur 3, men nu med ”Topografiske kort” som baggrund.

Den sammenfattende vurdering af terrænforhold for Rosenholmgrenen 23 er, at området viser en meget småkuperet overflade med en hel del lavninger med moser og søer samt mange vandløb. Det kan tolkes som et landskab dannet ved smeltning af is, hvor de øverste jordlag består af moræneler. At de øverste jordlag består af mere ler end sand, skønnes ud fra forekomsten af de mange små vandløb og søer i overfladen, der indirekte viser, at regnvand har svært ved at sive ned. Der kan også være tale om, at grundvandspejlet er tæt på terræn – om det er tilfældet vil ofte kunne afgøres ud fra de eksisterende boreoplysninger i området, som det vil fremgå af det følgende.

Terrænkoten ved adressen kan aflæses ved hjælp af højdekurverne, der på de gamle målebordsblade er i fod, og på det topografiske kort er i meter. Ved at zoome ind og ud på kortet ses adressen (den røde prik) at være beliggende tæt på 27½ meter kurven på det topografiske kort – dvs. i koteintervallet mellem +30m og +25m i forhold til havniveau (kote 0).

Bestemmelsen af koteintervallet er vigtig for at kunne sammenligne de eksisterende boreoplysninger, hvor jordlagsgrænser og vandspejl typisk omregnes fra ”meter under terræn” til koter, hvilket er nødvendigt for at danne en tredimensionel model af jordlagenes udstrækning.

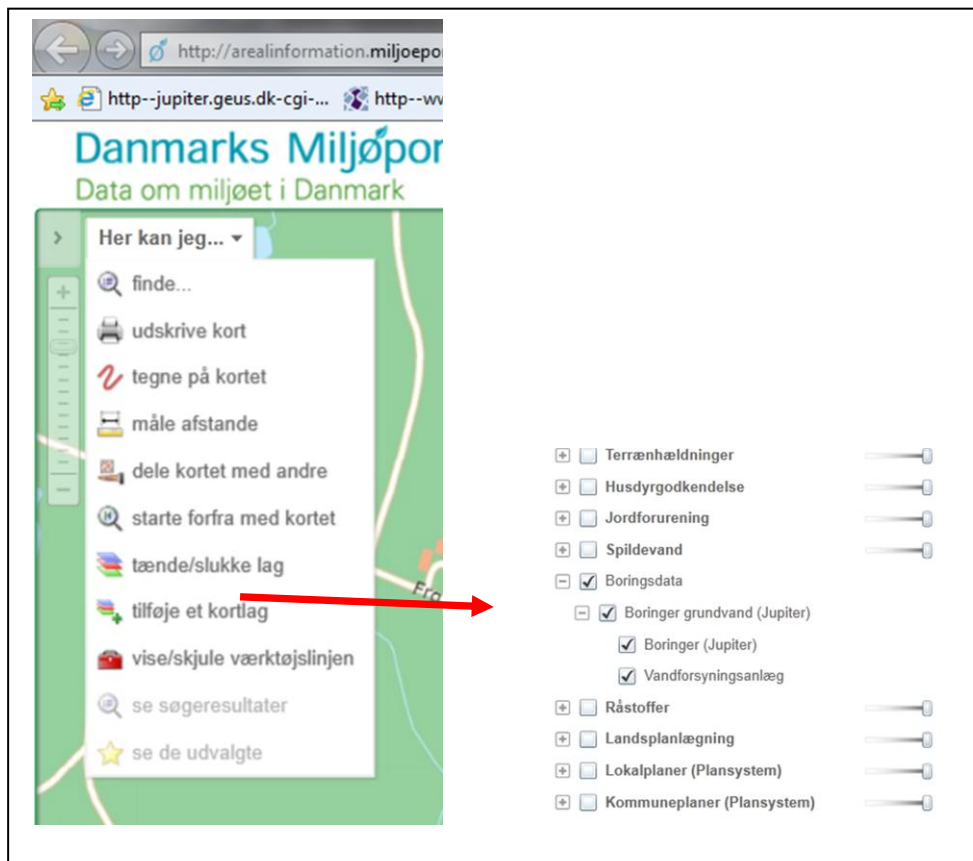


Figur 4.3. Lokaliteten i Morud vist som rød prik med ”Høje målebordsblade” som baggrund. Kortudsnittet er ca. 2,3 km i bredden. Skærmprent fra <http://kort.arealinfo.dk>.



Figur 4.4. Lokaliteten i Morud vist som rød prik med "Topografiske kort" som baggrund. Kortudsnit ca. 2,3 km i bredden. Skærmpoint fra <http://kort.arealinfo.dk>.

De eksisterende boreoplysninger i området kan ses på internettet via boredatabasen Jupiter, der er tilgængelig på Danmarks Geologiske Undersøgelser hjemmeside www.geus.dk. Boringerne kan imidlertid også ses via <http://kort.arealinfo.dk>. På den grønne rullemenu "Her kan jeg" (øverste til venstre) vælge "tænde/slukke lag", se figur 4.5. I de mange muligheder, der her kommer frem, vælges "Boringsdata / Boringer grundvand (Jupiter)".



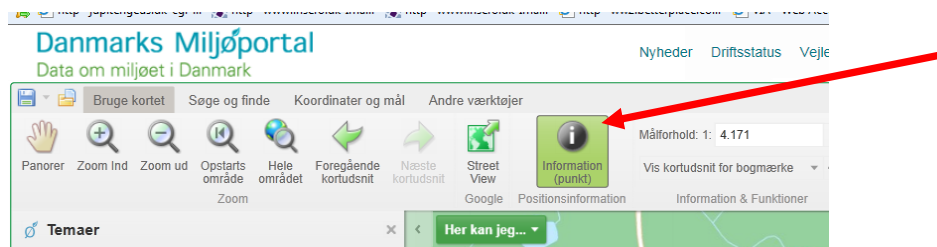
Figur 4.5. Del af menu for at vælge at få vist borepunkter på kortet.

Resultatet af at vælge "Boringsdata" ses på nedenstående kort, figur 4.6, der stadig viser adressen Rosenholmgrenen 23 som en rød prik på et kort med sidelængde 1,6 km. Tallene på kortet er borenumre på de eksisterende boringer i Jupiter databasen. Tal ved den røde prik viser boring 136.1467, der er nummeret på den nye jordvarmeboring på adressen. I første omgang ses bort fra denne boring (som jo ikke var tilgængelig ved forhåndsvurderingen).



Figur 4.6. Borepunkter og vandindvindingsanlæg omkring lokaliteten "Rosenholmgrenen 23" (rød prik). Kortet har en sidelængde på ca. 1,6 km.

Med værktøjet ”i” fra arealinfo’s topmenu ”Bruge kortet” er det muligt at få vist informationer om boringen inkl. optegnet boreprofil, se figur 4.7.



Figur 4.7.

Til trods for de tilsyneladende mange borepunkter omkring adressen ”Rosenholmgrenen 23” viser de eksisterende borerer meget lidt om, hvilke jordlag der kan forventes, idet alle borerer er af meget beskeden dybde. Langt de fleste af dem er således geotekniske borerer, der kun er 1-3 meter dybe. Når der er oplysninger om jordlag, viser de moræneler, og typisk et grundvandsspejl 1 til 2 meter under terræn, se figur 4.8.

Indenfor en radius på over 1 km er der således ikke boreoplysninger, der kan danne grundlag for at vurdere jordlagene fra ca. 3 meter og nedefter ved Rosenholmgrenen 23.

I en afstand længere væk end 1 km kan der i enkelte borerer ses sandlag med strømmende grundvand, f.eks. i den 18 meter dybe boring 136.821, der ligger ca. 1,2 kilometer nordvest for Rosenholmgrenen 23. Det er dog særdeles usikkert i et morænelandskab (som det vi har ved Morud), at vurdere ensartede forhold i de glacielle lag. Derfor er konklusionen, at der ikke er tilstrækkelige boreoplysninger til at vurdere, om der kan forventes sandlag med strømmende grundvand ved en jordvarmeboring på Rosenholmgrenen 23.



BORERAPPORT

DGU arkivnr: 136. 1039

Borested : Søndersøvej 291
5462 Morud

Kommune : Nordfyns
Region : Syddanmark

Boringsdato : Boringsdybde : 3.7 meter Terrænkote : 27.15 meter o. DNN

Brøndborer : Brøndboreren er ukendt
MOB-nr :
BB-journr :
BB-bornr :

Prøver
- modtaget :
- beskrevet :
- antal gemt : 0

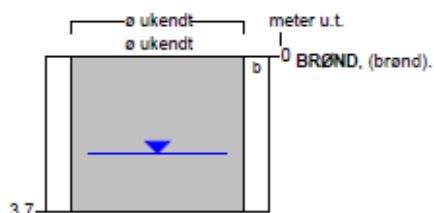
Formål : Brønd
Anvendelse : Sløjfet/opgivet bor
Boremetode :

Kortblad : 1313IIISØ
UTM-zone : 32
UTM-koord. : 575332, 6146305

Datum : ED50
Koordinatkilde : GEUS
Koordinatmetode : KMS digitale kort

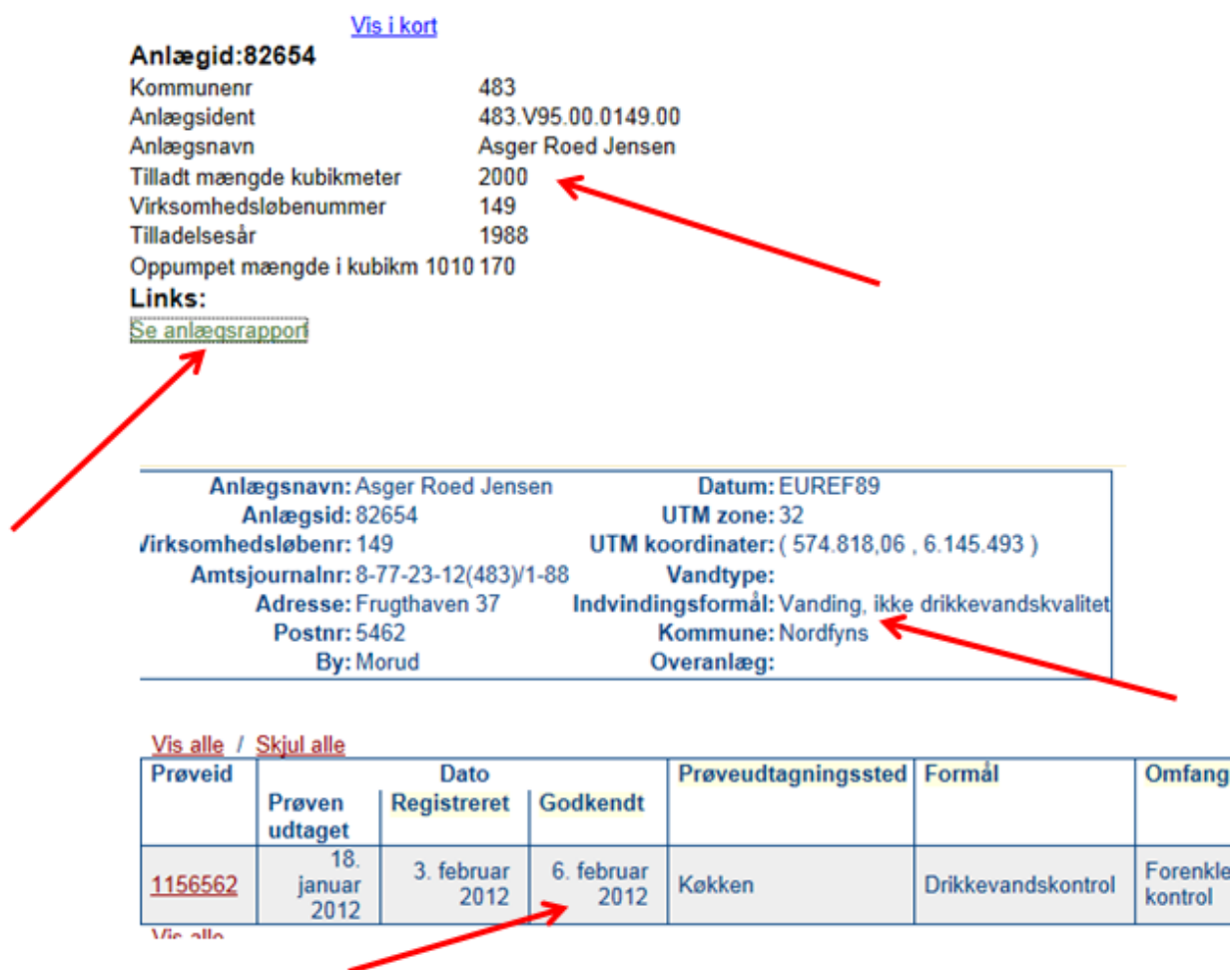
Indtag 1 (seneste)	Ro-vandstand	Pejledato	Ydelse	Sænkning	Pumpetid
	2.3 meter u.t.	10/6 2001			

Notater : Årsag til sløjfning: påbud



Figur 4.8. Eksempel på borejournal fra en de mange geotekniske borerer, der er registreret i Jupiterdatabasen fra Morud området.

Angående spørgsmålet om, hvilke grundvandsinteresser der er på Rosenholmgrenen 23, og hvad der er afstanden til nærmeste vandindvinding, så viser kortet figur 4.6, at der ligger en privat indvinding ca. 300 meter syd-sydvest for adressen. Opslag i databasen Jupiter viser, at der tale om et anlæg til vanding – ikke drikkevandsformål – med en tilladt vandmængde på max 2000 m³ om året. Endvidere fremgår det, at anlægget stadig er i brug – i hvertfald først på året i 2012, se figur 4.9. Yderligere kan det ses i databasen, at der senest er indberettet årlig oppumpning for 2003, og den var dengang på kun 170 m³. Det fremgår også, at der er tale om grundvand (ikke overfladevand). Der er dog ingen oplysninger om den boring eller brønd, hvorfra den aktuelle grundvandsindvinding kan ske.



Figur 4.9. Oplysninger om det private vandindvindingsanlæg, der ligger 300 meter syd-sydvest for adressen Rosenholmgrenen 23.

5 Dimensionering af jordslange og programvejledning.

I det følgende kapitel præsenteres det i projektet udviklede program. Programmet er tiltænkt at være et støtteværktøj til dimensionering af jordvarmeboringer. Programmet stiller intet krav til computerkraft eller software og udleveres i ".exe" format, som kan benyttes direkte efter opstart.

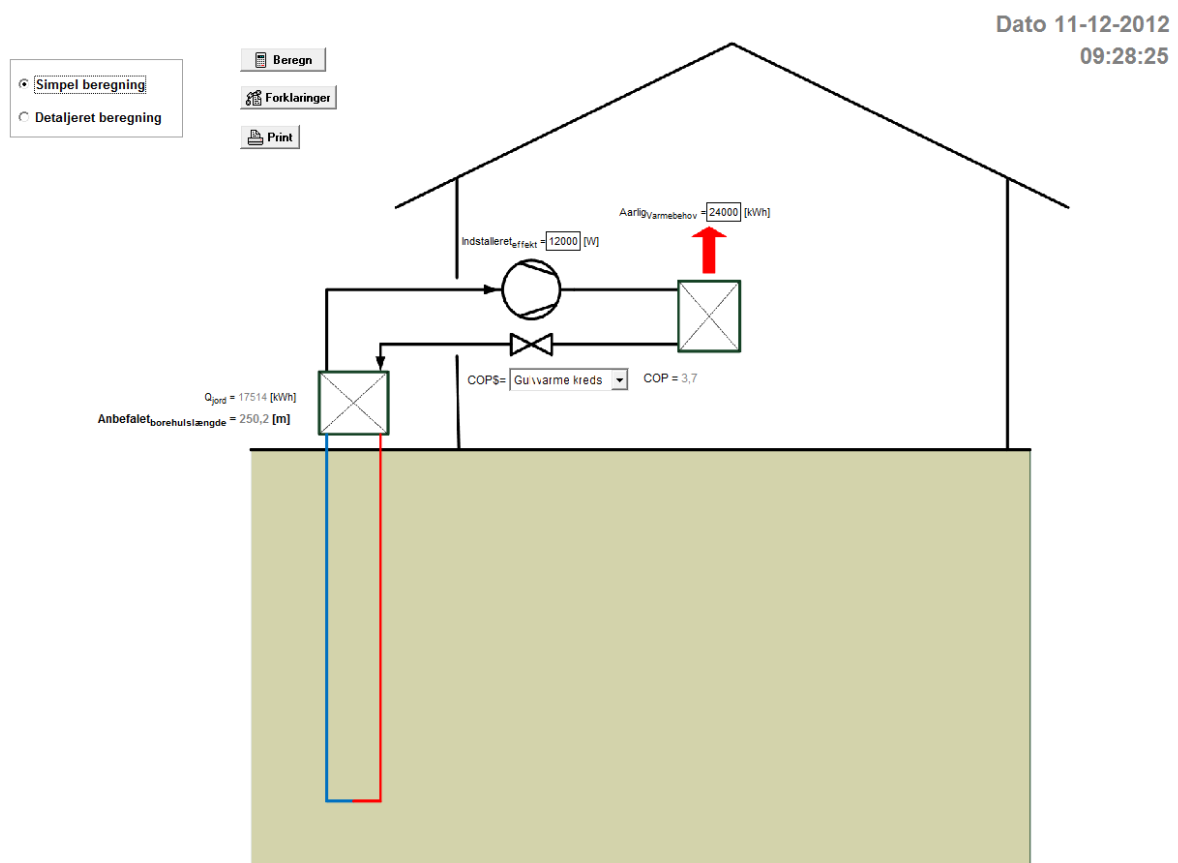
I programmet kan man vælge mellem 2 beregningsindstillinger, som beskrives i det følgende:

- Simpel beregning
- Detaljeret beregning

Hvilken indstilling man vælger, afhænger af hvor mange informationer man har til rådighed, og hvem der udfører beregning. Det kræver større indsigt i boremetoden og det geologiske forhold på stedet, når man vælger den detaljerede beregning.

5.1 Simpel beregning

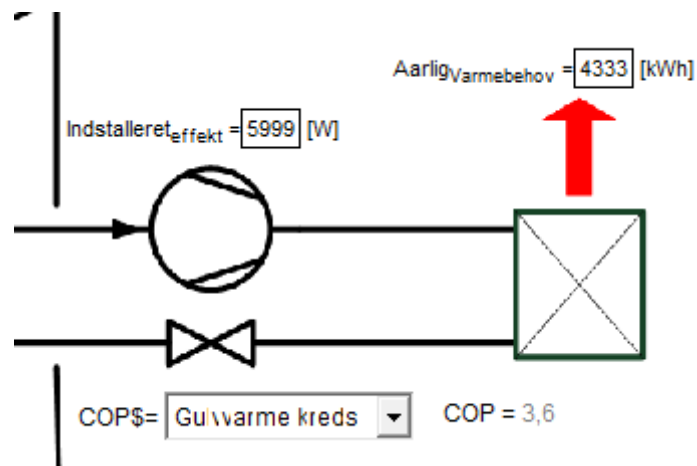
I figuren 5.1 ses brugerfladen, når man vælger den simple beregning.



Figur 5.1: Brugerfladen i det udviklede beregningsprogram - simpel beregning.

Som input til beregning skal man indtaste følgende informationer, jævnfør figur 5.2.:

- Husets årlige varmebehov i [kWh]
- Installeret varmepumpes afgivne varmeeffekt i [W]
- Varmepumpens SCOP



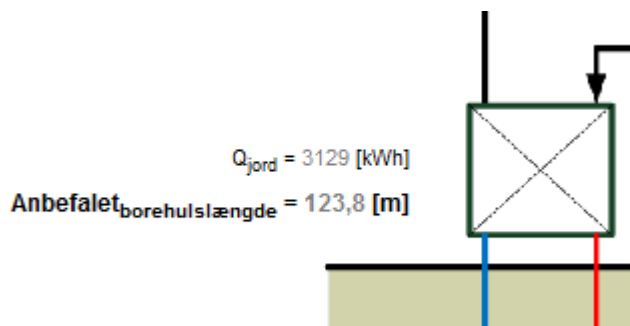
Figur 5.2: Nødvendige input som skal indtastes i programmet.

	Radiator	Gulvarme
0-3kW	2.6	3.0
3-6kW	2.8	3.6
>6kw	3.0	3.7

Tabel 5.1: Default COP værdier for varmepumpen baseret på krav i bygningsreglementet.

Der er lagt default værdier for varmepumpens SCOP. Disse ses i tabellen 4.1. I programmet skelner man mellem om varmepumpen kører på radiator eller gulvvarmekreds som opvarmningssystem. Desuden afhænger SCOP af varmepumpens størrelse. Default værdierne er baseret på krav der er stillet til COP i bygningsreglementet. Udover default værdier er der mulighed at indtaste egen værdi for SCOP, hvis man kender disse.

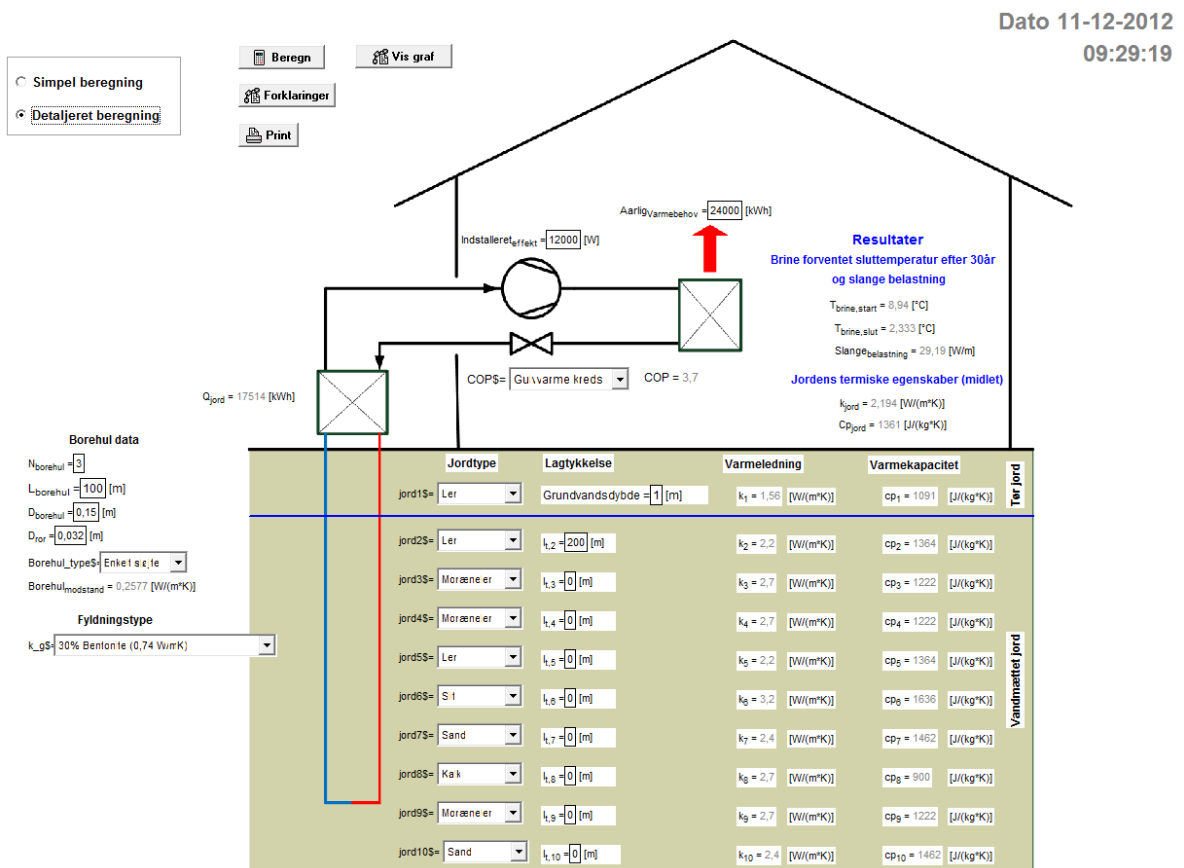
I output feltet vist i figur 4.3 får man vist resultaterne af beregningen i form af anbefalet borehulslængde, samt hvor meget energi der trækkes fra jorden på årsbasis.



Figur 5.3: Output data efter udførelse af beregning.

5.2 Detaljeret beregning

I figuren 5.4 ses brugerfladen når man vælger den detaljerede beregning.



Figur 5.4: Brugerfladen i det udviklede beregningsprogram - detaljeret beregning.

Den detaljerede beregning kræver flere informationer. Udover det årlige varmebehov, Installeret varmepumpeeffekt samt SCOP kræver beregningen informationer om borehullet og jordslangens diameter samt geologiske forhold på stedet. I figur 5.5 ses de borehulsdata, man skal forholde sig til.

Borehul data

N_{borehul} = 2

L_{borehul} = 60 [m]

D_{borehul} = 0,15 [m]

D_{ror} = 0,032 [m]

Borehul_typeS = Enkelt sigele

Borehul_modstand = 0,2577 [W/(m*K)]

Fyldningstype

k_gS = 30% Bentonite (0,74 W/mK)

Figur 5.4: Nødvendige input vedrørende borehulsdata.

Man skal forholde sig til, hvor mange borehuller man ønsker, og hvor dybe de skal være. Hvor stor borehulsdiameter bliver samt dimensionerne af rør der anvendes. Desuden skal man vælge, hvilken type borehul man har; om det er enkelt eller dobbelt sløjfe, og hvilken fyldning der bruges i hullet. Alt sammen er data, som kræver viden om, hvordan boring udføres. Det burde udfyldes af brøndborer.

Derudover skal man indtaste jordforholdene på stedet jævnfør figur 5.6

	Jordtype	Lagtykkelse	Varmeledning	Varmekapacitet	Tør jord
jord1\$=	Ler	Grundvandsdybde = 1 [m]	$k_1 = 1,56$ [W/(m*K)]	$cp_1 = 1091$ [J/(kg*K)]	
jord2\$=	Kalk	$l_{2,2} = 200$ [m]	$k_2 = 2,7$ [W/(m*K)]	$cp_2 = 900$ [J/(kg*K)]	
jord3\$=	Moræne ler	$l_{3,3} = 0$ [m]	$k_3 = 2,7$ [W/(m*K)]	$cp_3 = 1222$ [J/(kg*K)]	
jord4\$=	Moræne ler	$l_{4,4} = 0$ [m]	$k_4 = 2,7$ [W/(m*K)]	$cp_4 = 1222$ [J/(kg*K)]	

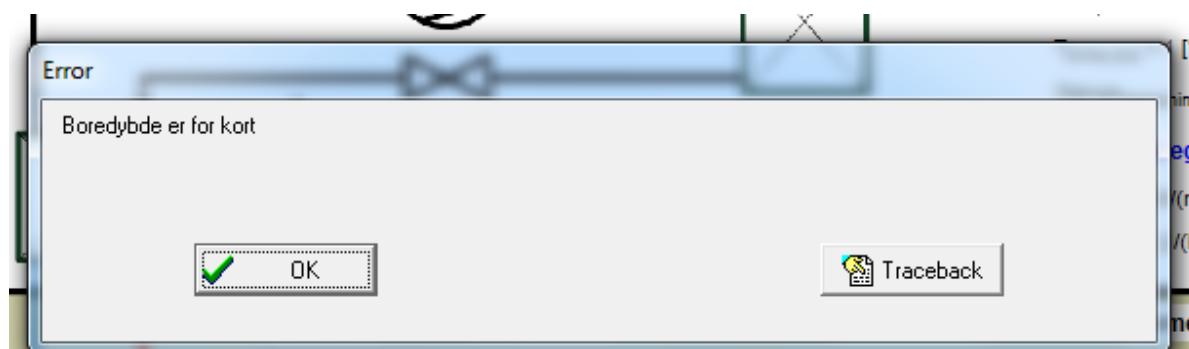
Figur 5.5: Nødvendige input vedrørende de geologiske forhold på stedet.

Der er 3 ting man skal forholde sig til, nemlig grundvandsdybde, lagtykkelse af de enkelte jordlag samt hvilke jordarter der er på stedet. Vandindholdet i jorden har stor betydning på de termiske egenskaber af jorden. Derfor skelner man i programmet mellem de tørre jordlag, som er den jorden over grundvandspejlet, og vandmættet jord som er jorden under grundvandsdybden. For hvert nyt jordlag kan man vælge mellem 5 forskellige jordarter:

- Sand
- Silt
- Ler
- Moræneler
- Kalk

Det er de meste typiske jordarter i Danmark. I programmet er der indlagt default værdier for de termiske egenskaber, men der er også mulighed at indtaste sine egne data.

Når man har indtastet de nødvendige informationer og trykket på beregn, kan man komme ud for, at den indtastede borehulslængde er for kort til givne belastning og jordforhold. I dette tilfælde får man en fejlmeddelelse jævnfør figur 5.7. I sådanne tilfælde skal man trykke på "OK" og indtaste en ny og længere borelængde.



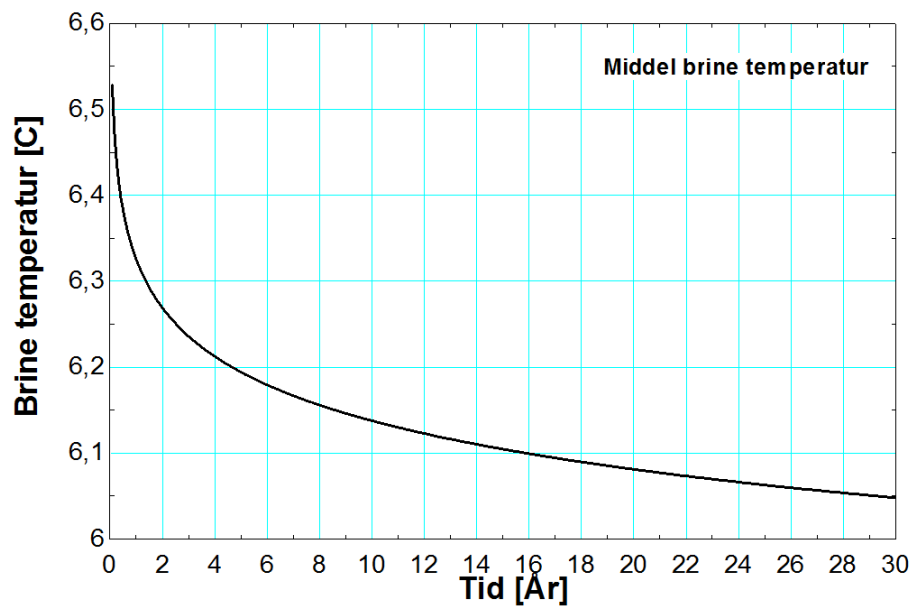
Figur 5.6: Fejlmeddelelse som vises når boreddybde er for kort.

I figur 5.8 vises overordnede resultater af beregningen. Man får informationer om slangebelastning samt forventet brine middeltemperatur efter 30 år. Figuren viser et forventet et fald i brine temperaturen på 2,5°C i forhold til det første år, før boring er blevet belastet.

Resultater	
Brine forventet sluttemperatur efter 30år og slange belastning	
$T_{\text{brine,start}}$	= 8,456 [°C]
$T_{\text{brine,slut}}$	= 6,048 [°C]
$\text{Slange}_{\text{belastning}}$	= 25,92 [W/m]
Jordens termiske egenskaber (midlet)	
k_{jord}	= 2,681 [W/(m*K)]
$C_{p_{\text{jord}}}$	= 903,2 [J/(kg*K)]

Figur 5.7: Resultater fra den detaljerede beregning.

Desuden kan man få afbilledet udvikling i middel brine temperaturen se figur 5.9.



Figur 5.8: Udvikling i middel brine temperatur

6 Beskrivelse af målinger og måleresultater.

Inden målingerne påbegyndtes blev der lavet en undersøgelse af egnede steder, hvor det kunne være relevant at måle. Det har været af stor vigtighed at få lavet målinger i forskellige jordtyper i den danske undergrund, herunder ler, sand og kalk.

Der er inden for projektperioden opstillet måleudstyr til måling af temperatur og energiflow fra lodrette jordslanger som varmeoptagere. Målingerne har kørt lidt over et år, og første års data viser gode resultater. De to målte installationer benytter udelukkende varmepumpe som energikilde til opvarmning af boligen.

Der er desuden bearbejdet data for målinger fra et tidligere EUDP projekt, hvor vi har fået tilgang og tilladelse til at benytte måledata fra måleopstillingen. På disse to installationer er varmepumpen med lodrette jordslanger kombineret med solfangere, der lader på jorden om sommeren, samt brændeovn.

I dette afsnit er de enkelte installationer inklusiv beregning og måling beskrevet. Målingerne og bearbejdningen af disse er beskrevet detaljeret i bilag 1.

6.1 Præsentation af beregning og måleresultater for Glud Kirkevej

Beskrivelse af case:

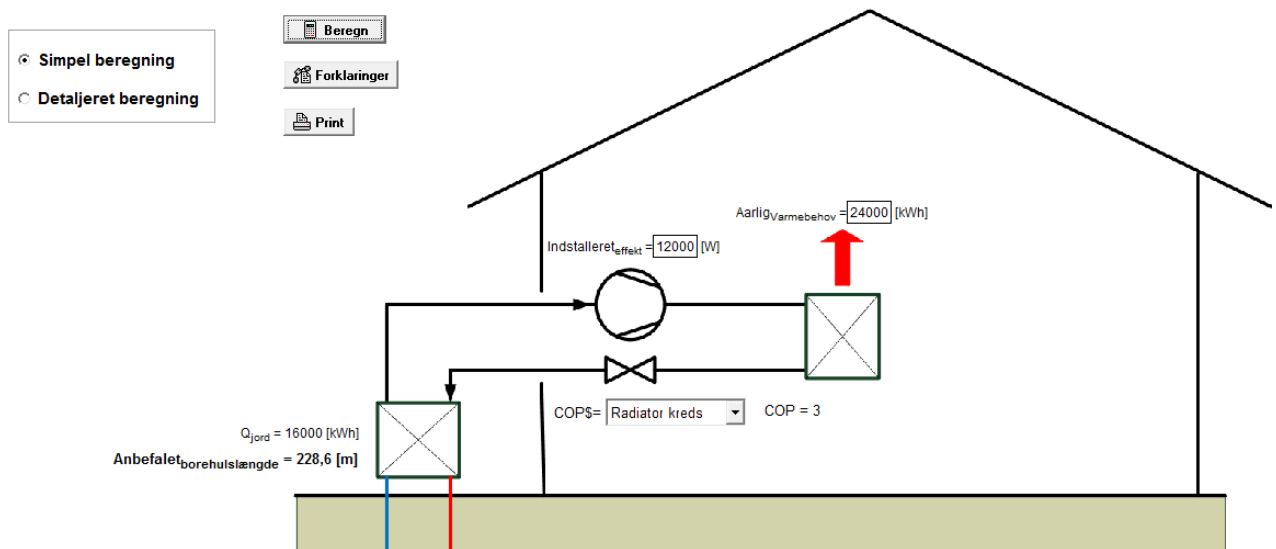
Den ene installation, der måles på, er en renoveret skole fra 1930 med et samlet opvarmet areal på 228 m². Opvarmningsbehovet er beregnet til ca. 24000 kWh/år ved hjælp af VPO's beregningsprogram. Der er installeret en 12 kW varmepumpe, og opvarmningssystemet er radiatorer. Som varmeoptager er der installeret 2 lodrette jordslanger af 100 meter. Jordbunden er fed glimmerler.



Figur 6.1: Billede af renoveret skole fra 1930

Beregning af jordslange ved hjælp af det udviklede jordslangeberegningsprogram.

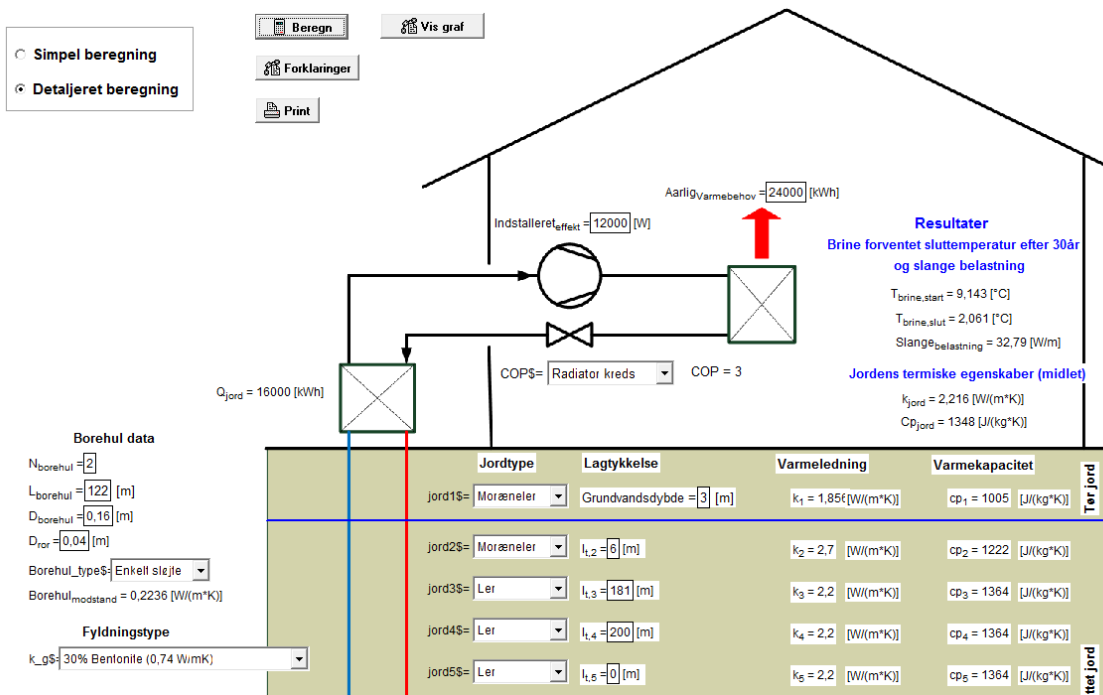
Der er foretaget en beregning af jordslangen i den simple beregningsmodel, ud fra ovenstående oplysninger om huset med hensyn til installeret effekt og årligt varmebehov.



Figur 6.2: Indtastning og beregning i simpel jordslangemodell.

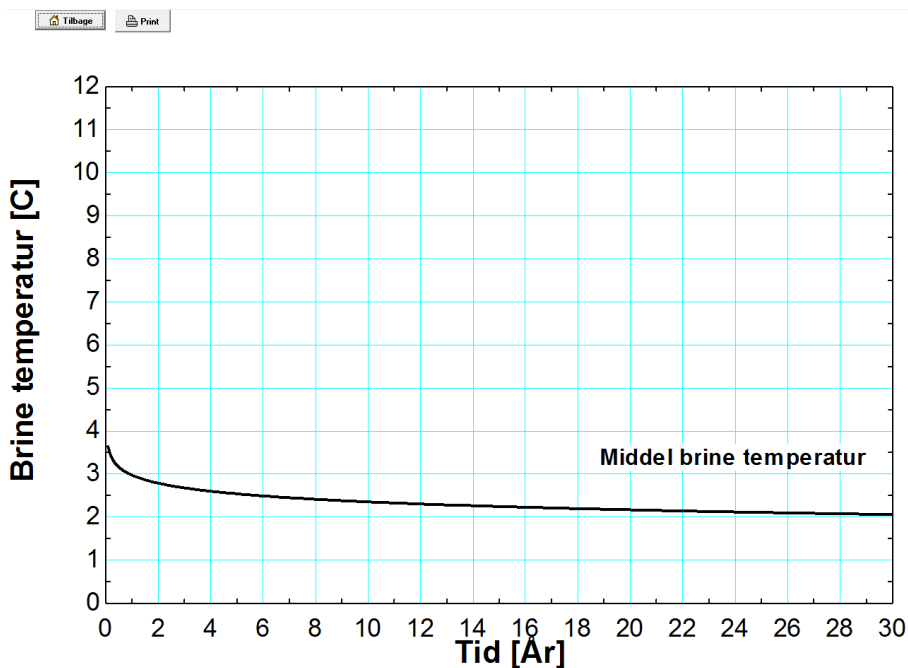
Den simple beregning af jordslangen viser, at den nødvendige slangelængde er 228,6 m, og at der optages 16000 kWh fra jorden årligt.

Ud fra borehulsrapporten er der lavet en detaljeret beregning af den lodrette slange. Denne beregning er vist nedenfor.



Figur 6.3: Indtastning og beregning af jordslange i den detaljerede slangemodell.

Den detaljerede beregning viser at slangen bør være 122 meter pr. stk. Dette medfører at middel brine temperaturen efter 30 år ligger lige over 2 °C.



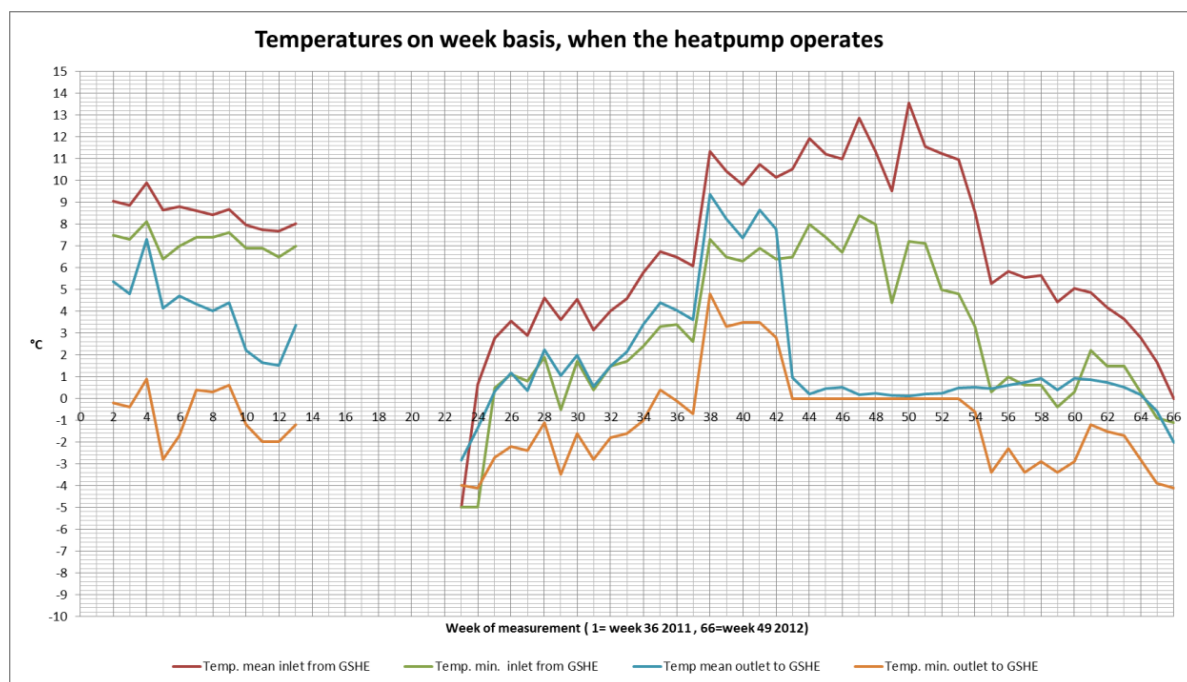
Figur 6.4: Middel brine temperatur beregnet over 30 år.

Sammenfatning for beregning på jordslangen:

Parameter	Resultat	Enhed
Beregnet slangelængde simpel	228,6	m
Beregnet slangelængde detaljeret	2 x 122	m
Starttemperatur	9,14	°C
Middel brine temperatur efter 30 år	2,06	°C
Energi leveret fra jordslange pr år.	16000	kWh
Slangeydelse i koldeste periode	8,0	kW
Slangeydelse maksimalt i koldeste periode [W/m]	32,79	W/m
Årlig slangebelastning	65,57	kWh/(m*år)
Middelbelastning for et år 8760 h	7,48	W/(m*år)

Beskrivelse af målinger:

Der er foretaget målinger siden uge 36 i 2011 til og med medio november 2012, hvilket giver målinger for et helt år.



Figur 6.5: Viser middeltemperaturer pr. uge for varmepumpen under drift, samt minimumstemperaturen.

Sammenfatning for målingen på jordslangen:

Parameter	Resultat	Enhed
Starttemperatur i uge 36 2011	9	°C
Sluttemperatur (max) i uge 33 2012	13,5	°C
Laveste temperatur fra borehul	-0,5 °C	°C
Laveste temperatur til borehul	-3,5 °C	°C
Energi leveret fra jordslange uge 42 i 2011 til uge 42 i 2012	16459	kWh
Energilevering fra jord 1. år	82,295	kWh/(m*år)
Slangeydelse i koldeste periode	8,25	kW
Slangeydelse i koldeste periode [W/m]	41,25	W/m
Maximal slangeydelse forår efterår	10,86	kW
Maximal slangeydelse forår efterår	54,3	W/m
Driftstimer for varmepumpe/jordslange fra uge 42 i 2011 til uge 42 i uge 2012	2019	H
Middelbelastning for et år	9,39	W/(m*år)

Konklusion:

Den installerede slangelængde på 200 meter er kortere end de 228,6 meter som den simple model foreskriver, eller de 122 meter x 2 som den detaljerede model foreskriver. Dette ses også af middeltemperaturen for brinen på målingerne, som er lavere i den koldeste periode end de 2 °C som den detaljerede model beregner som bundniveau efter 30 år. Varmepumpen har dog kørt effektivt med en SCOP på 3,69 for et helt år.

6.2 Præsentation af beregning og måleresultater for Morud

Beskrivelse af case:

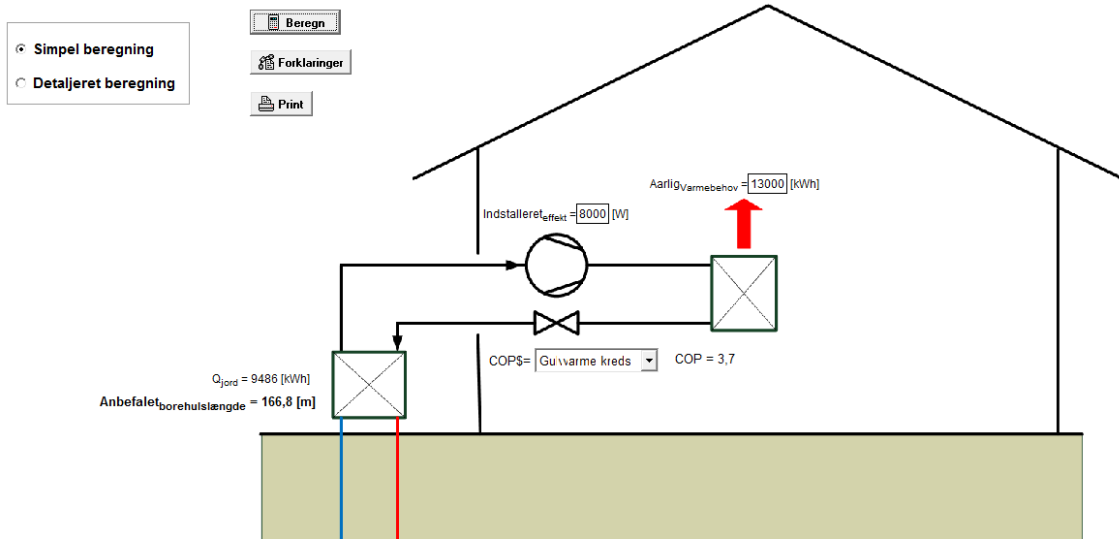
Denne installation er et nyt hus fra 2010 med et opvarmet areal på 200 m². Opvarmningsbehovet er beregnet til ca. 13000 kWh/år ved hjælp af VPO's beregningsprogram. Der er installeret en 8 kW varmepumpe og opvarmningssystemet er gulvvarme. Som varmeoptager er der installeret 3 lodrette jordslanger af ca. 60 meter. Jordbunden er grå ler fra 0-32 meter og grå sand fra 32 til 64 meter.



Figur 6.6: Billede af nyt hus fra 2010.

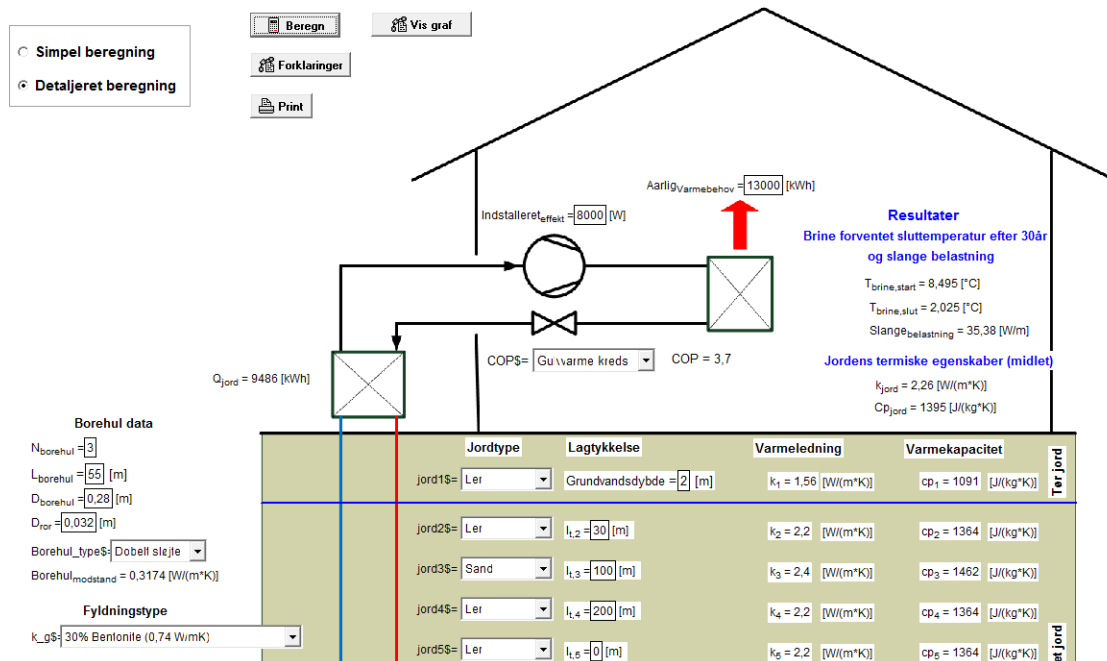
Beregning af jordslange ved hjælp af det udviklede jordslangeberegningsprogram.

Der er foretaget en beregning af jordslangen i den simple beregningsmodel ud fra ovenstående oplysninger om huset med hensyn til installeret effekt og årligt varmebehov.



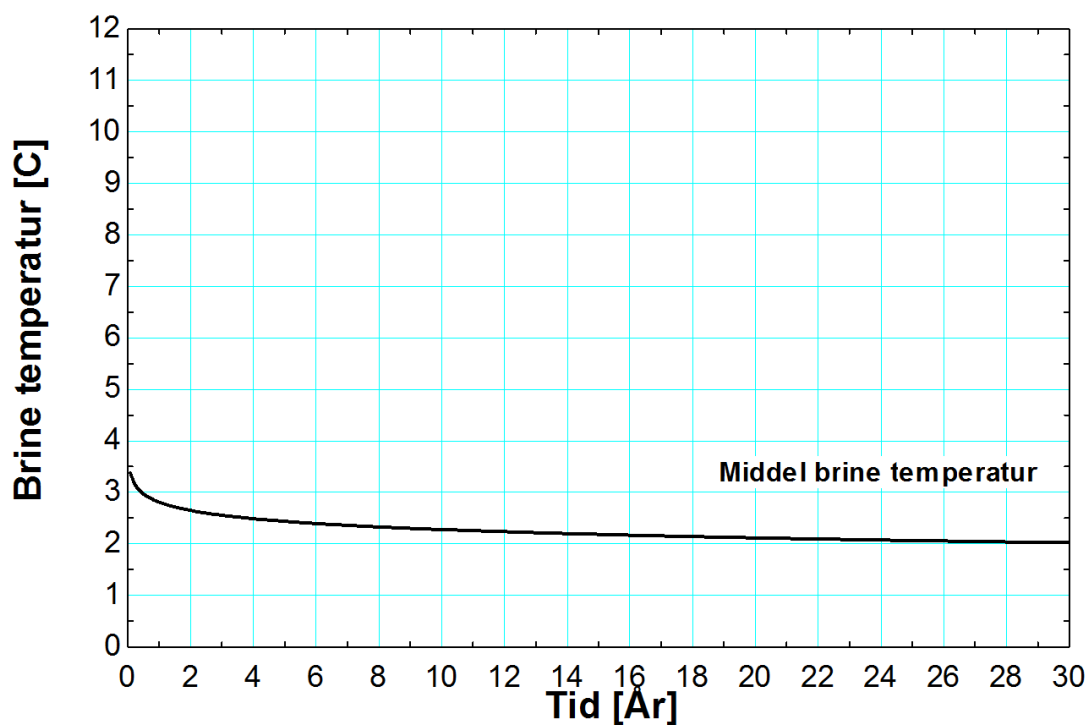
Figur 6.7: Indtastning og beregning i simpel jordslangemodell.

Den simple beregning af jordslangen viser, at den nødvendige slangelængde er 166,8 m og at der optages 9486 kWh fra jorden årligt.



Figur 6.8: Indtastning og beregning af jordslange i den detaljerede slangemodell.

Den detaljerede beregning viser, at slangerne bør være 3 x 55 meter pr. stk. Dette medfører at middel brine temperaturen efter 30 år ligger lige over 2 °C.



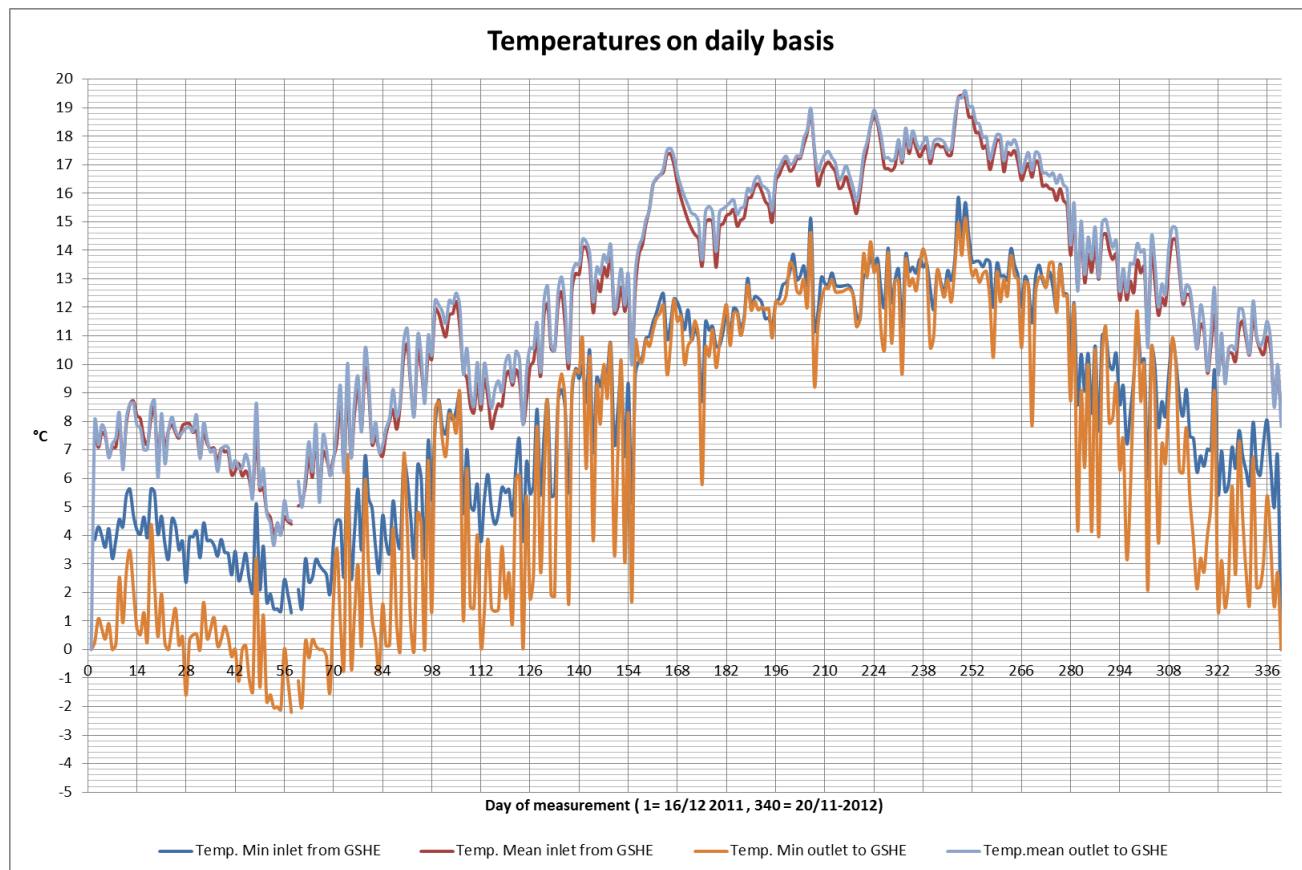
Figur 6.9: Middel brine temperatur beregnet over 30 år.

Sammenfatning for beregning på jordslangen:

Parameter	Resultat	Enhed
Beregnet slangelængde simpel	166,8	m
Beregnet slangelængde detaljeret	3 x 55	m
Starttemperatur	8,49	°C
Middel brine temperatur efter 30 år	2,025	°C
Energi leveret fra jordslange pr år.	9486	kWh
Slangeydelse i koldeste periode	5,84	kW
Slangeydelse maksimalt i koldeste periode [W/m]	32,79	W/m
Årlig slangebelastning	65,57	kWh/(m*år)
Middelbelastning for et år 8760 h	7,48	W/(m*år)

Beskrivelse af målinger:

Der er foretaget målinger siden den 16/12-2011 til den 20/11-2012, hvilket giver målinger for næsten et år.



Figur 6.10: Viser middeltemperaturer pr. uge for varmepumpen under drift samt minimums-temperaturen.

Sammenfatning for målingen på jordslangen:

Parameter	Resultat	Enhed
Start temperatur i 17/12 2012 uge 50	7,74	°C
Slut temperatur i uge 24	11,1	°C
Laveste temperatur fra borehul	+1,3 °C	°C
Laveste temperatur til borehul	-2,2 °C	°C
Energileveret fra jordslange 16/12-2011 i uge 50 til 18/11-2012 i uge 46	9538	kWh
Energilevering fra jord 1 år. (måleperiode)	55,8	kWh/m ³ år
Slange ydelse i koldeste periode beregnet	5,58	kW
Slange ydelse i koldeste periode [W/m]	32,6	W/m
Middelbelastning for et år 8760 h	6,37	W/(m ³ år)

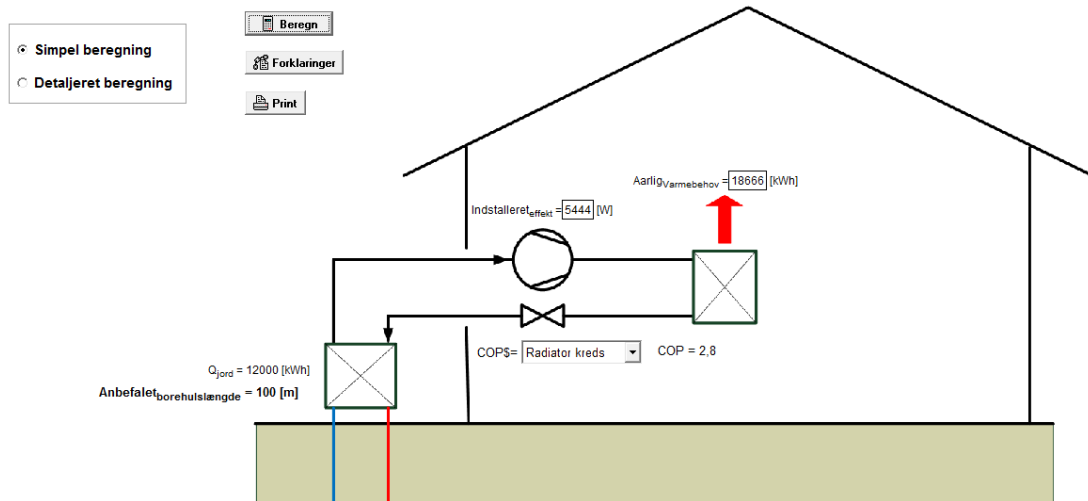
Konklusion:

Den installerede slangelængde på $64+55+51$ meter, i alt 171 meter, er længere end de 166,8 meter som den simple beregning viser er nødvendig. Målingerne viser også at middeltemperaturerne ligger over de $2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, som den skulle ligge på efter det første år. Varmepumpen har dog kørt effektivt med en SCOP på 4,37 for et helt år.

6.3 Sammenfatning af beregning og måleresultater for borehuller i Hou

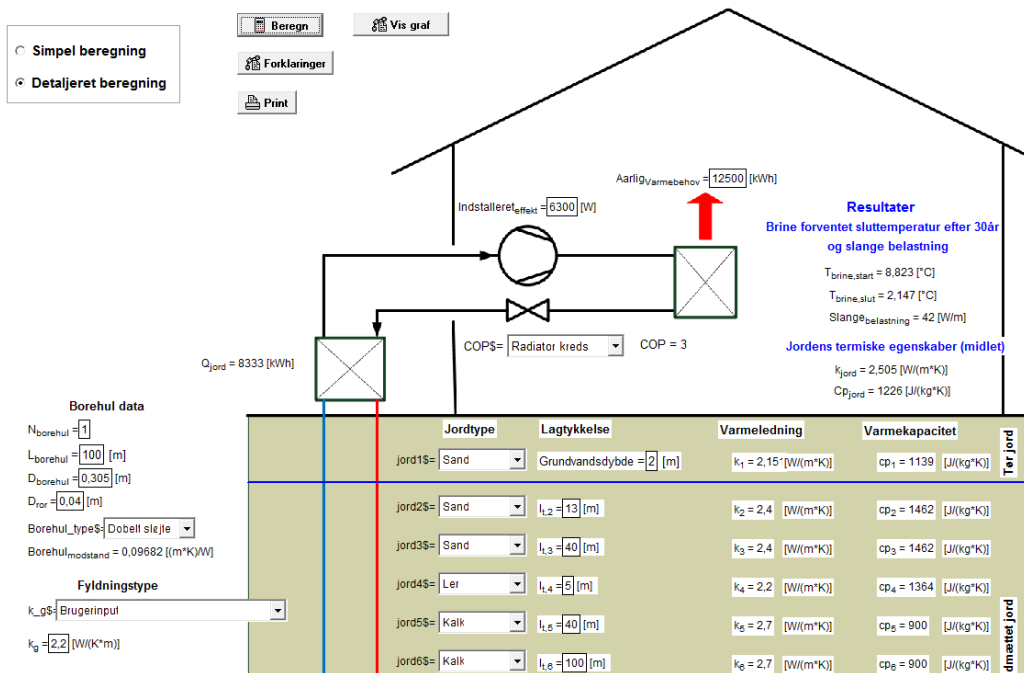
Beskrivelse af case:

Denne sammenfatning omhandler to installationer som er udført i forbindelse med et EUDP projekt i Hou. Bygningerne er henholdsvis en produktionsejendom og et sommerhus, der benyttes til helårsbeboelse. Systemerne er ensartet bygget op, og der er i begge tilfælde installeret en 100 meter lodret jordslange som energioptager.

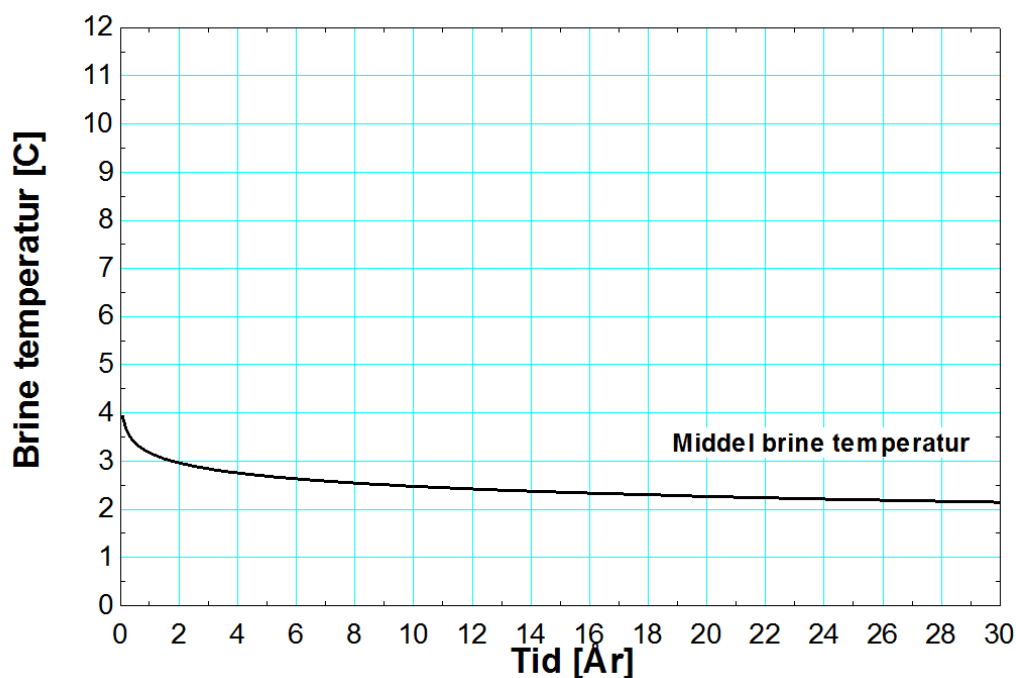


Figur 6.11: Indtastning og beregning i simpel jordslange model.

Den simple beregning af jordslangen viser, at der med den installerede slangelængde på 100 m kan optages 12000 kWh fra jorden, og at der kan trækkes 3500 W fra jorden. Dette medfører, at der kan installeres en varmepumpe med en effekt på 5444 W og en COP på 2,8.



Figur 6.12: Indtastning og beregning af jordslange i den detaljerede slangemodell.



Figur 6.13: Middel brine temperatur beregnet over 30 år.

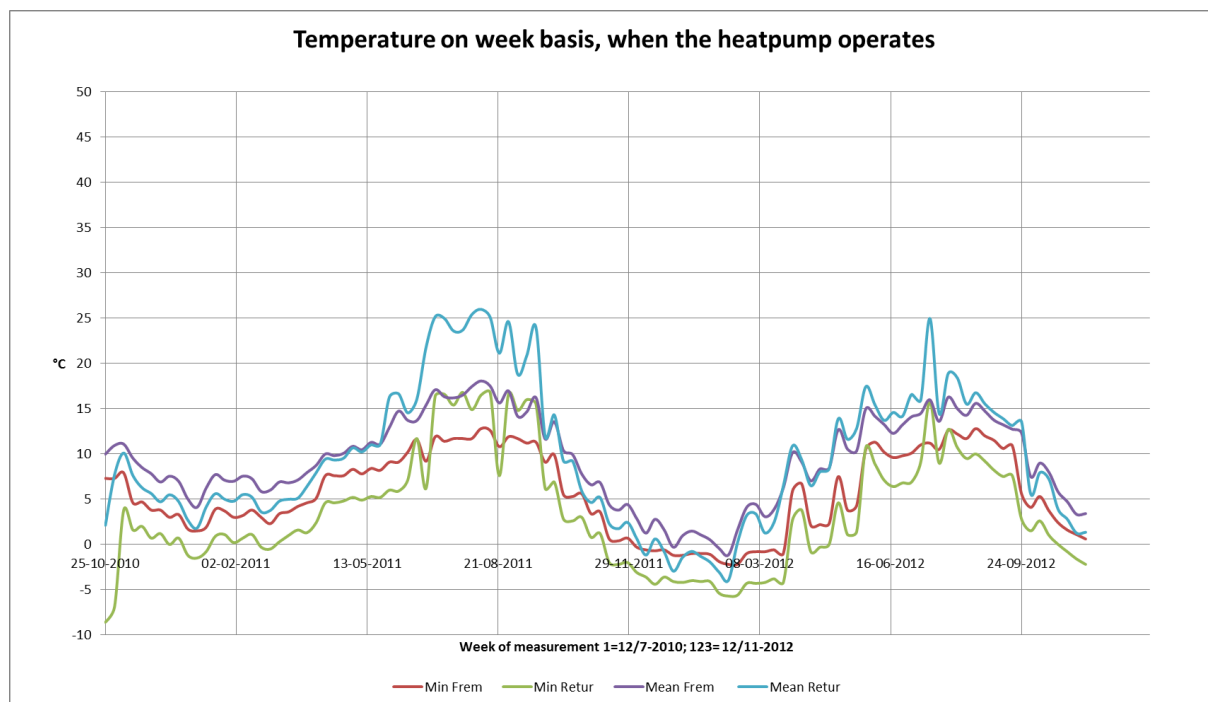
Den detaljerede beregning viser, at slangen med en længde på 100 meter kan optage 8333 kWh pr. år og den maksimale belastning bliver på 4200 W. Dette medfører, at middel brine temperaturen efter 30 år ligger lige over 2 °C.

Set i forhold til den simple beregning viser den detaljerede beregning, at den årlige energimængde, der kan trækkes fra jorden er mindre, hvilket skyldes at kalk har en markant lavere termisk kapacitet end ler og sand. Man kan dog trække en større effekt, da varmeledningsevnen er større.

Sammenfatning for beregning på jordslangen:

Parameter	Resultat	Enhed
Beregnet slangelængde simpel	100	m
Beregnet slangelængde detaljeret	1	m
Starttemperatur	8,8	°C
Middel brine temperatur efter 30 år	2,125	°C
Energi leveret fra jordslange pr år.	8333	kWh
Slangeydelse i koldeste periode	4,2	kW
Slangeydelse maximalt i koldeste periode [W/m]	42	W/m
Årlig slangebelastning	83,3	kWh/(m*år)
Middelbelastning for et år 8760 h	9,51	W/(m*år)

Målinger på Houvej i Hou:

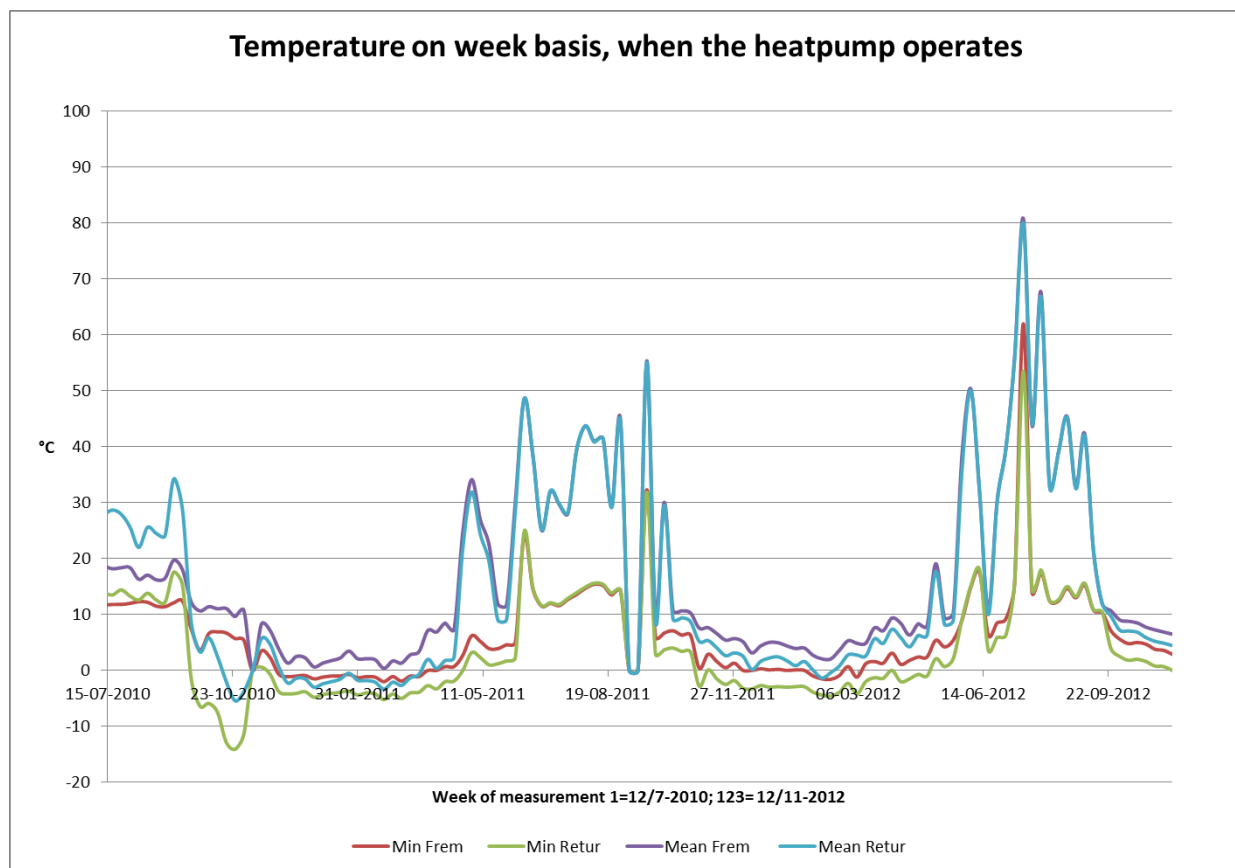


Figur 6.14: jordslangetemperaturer over hele måleperioden:

Sammenfatning for målingen på jordslangen Houvej:

Parameter	Resultat 1 år	Resultat 2 år	Enhed
Starttemperatur i uge 36 2011			°C
Sluttemperatur (max) i uge 33 2012			°C
Laveste temperatur fra borehul	1,5	-2,2	°C
Laveste temperatur til borehul	-1,5	-5,7	°C
Energi leveret fra jordslange uge 41 til uge 41 2010-2011-2012	3816	10305	kWh
Energi leveret til jordslange uge 41 til uge 41 2010-2011-2012	2191	0	kWh
Energi leveret fra jordslange netto uge 41 til u. 41 2010-2011-2012	1625	10305	kWh
Energilevering fra jord	16,2	103,05	kWh/(m*år)
Slangeydelse i koldeste periode		6,1	kW
Slangeydelse i koldeste periode [W/m]		61	W/m
Maximal slange ydelse forår/efterår			kW
Maximal slange ydelse forår/efterår			W/m
Middelbelastning for et år	1,86	11,76	W/(m*år)

Målinger på Solvænget i Hou:



Figur 6.15: jordslangetemperaturer over hele måleperioden:

Sammenfatning for målingen på jordslangen Solvænget i Hou:

Parameter	Resultat 1 år	Resultat 2 år	Enhed
Laveste temperatur fra borehul	-0,4	-1,6	°C
Laveste temperatur til borehul	-3,8	-4,6	°C
Energi leveret fra jordslange uge 26 i 2010 til uge 26 i 2011	12124	8351	kWh
Energi leveret til jordslange uge 26 i 2010 til uge 26 i 2011	3103	2119	kWh
Energi leveret fra jordslange netto uge 26 i 2010 til uge 26 i 2011	9021	6232	kWh
Energilevering fra jord 1. år	90,2	62,3	kWh/(m*år)
Slangeydelse i koldeste periode	4,0	3,79	kW ”døgn”
Slangeydelse i koldeste periode [W/m]	40	37,9	W/m”døgn”
Maximal slangeydelse vinter 2011 køretid 13h af 24h 52%	7,15		kW
Maximal slangeydelse vinter 2011 køretid 13h af 24h 52%	71,5		W/m
Middelbelastning for et år	1,03	0,71	W/(m*år)

Konklusion på målinger i Hou:

Målingerne i Hou er interessante, da det er to ens installationer i samme jordbund, hvor de øverste 60 meter består af sand og ler, og de nederste 40 meter består af kalk, som har en markant ringere varmekapacitet men bedre ledningsevne. Belastningen på slangen på Houvej er det første år ikke så stort, men andet år er det større, end det beregningen viser, man kan trække. Dette ses også på temperaturerne på brinen, som det første år er højere end den beregnede middel brine temperatur og andet år er bundniveauet for middel brine temperaturen lavere.

For Solvænget er belastningen højere end det, beregningen viser, den bør være det første år, hvilket også ses af, at den målte middel brine temperatur er lavere, når det er koldest. Det andet år er energibelastningen på slangen lavere hvilket ses ved at temperaturen for brinen er højere. Den lodrette jordslange på Solvænget belastes i fyringsperioden hårdere end det tilrådelige set i forhold til beregningen, men da solfangeren hjælper med regenereringen om sommeren er den årlige belastning, svarende til det beregningen viser er tilrådeligt. Begge varmepumper kører med en årsvirkningsgrad omkring 3,0.

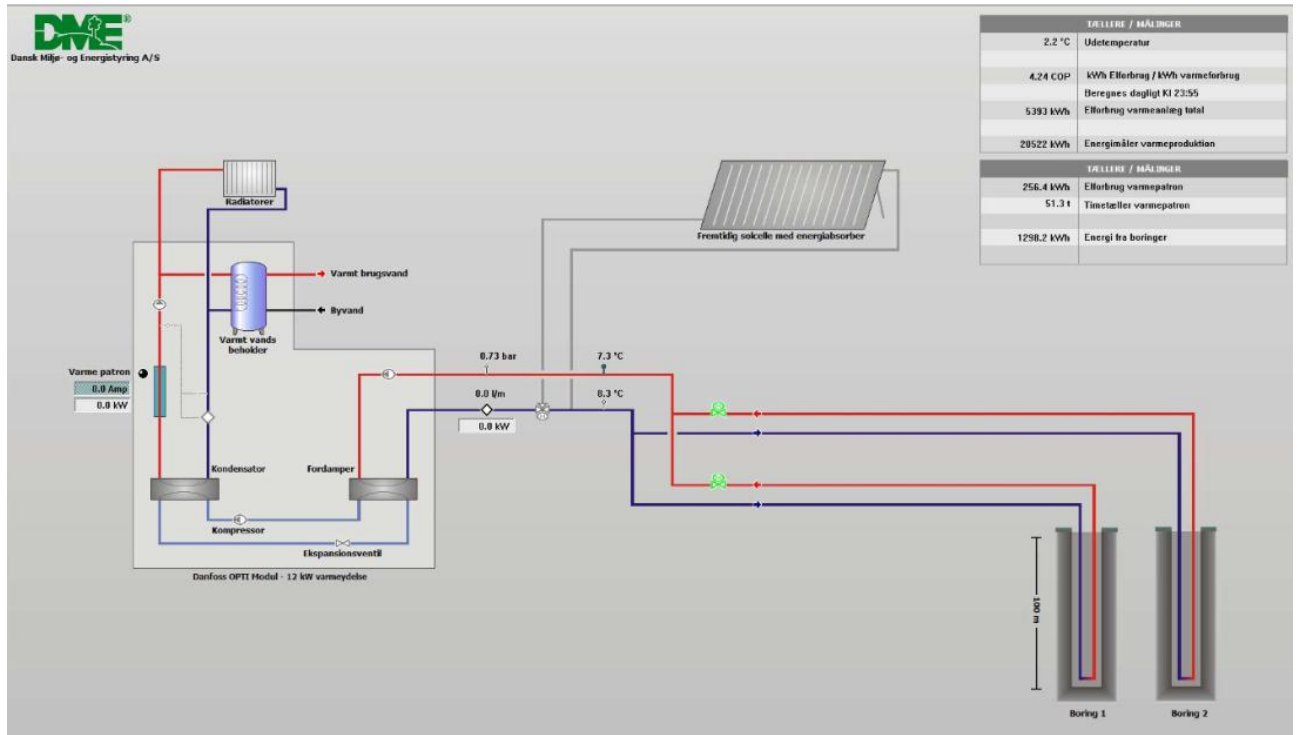
Referenceliste

- /1/ VDI norm 4640 Thermische Nutzung des Untergrundes
- /2/ “Thermal Response Test – In situ Measurements of Thermal Properties in Hard Rock”, Signhild Gehlin, Licentiate Thesis, Luleå Tekniska Universitet, 1998
- /3/ “Borehole Resistance and Heat Conduction Around Vertical Ground Heat Exchangers”, Zoi Sagia, Athina Stegou and Constantinos Rakopoulos, The Open Chemical Engineering Journal, 2012, 6, 32-40

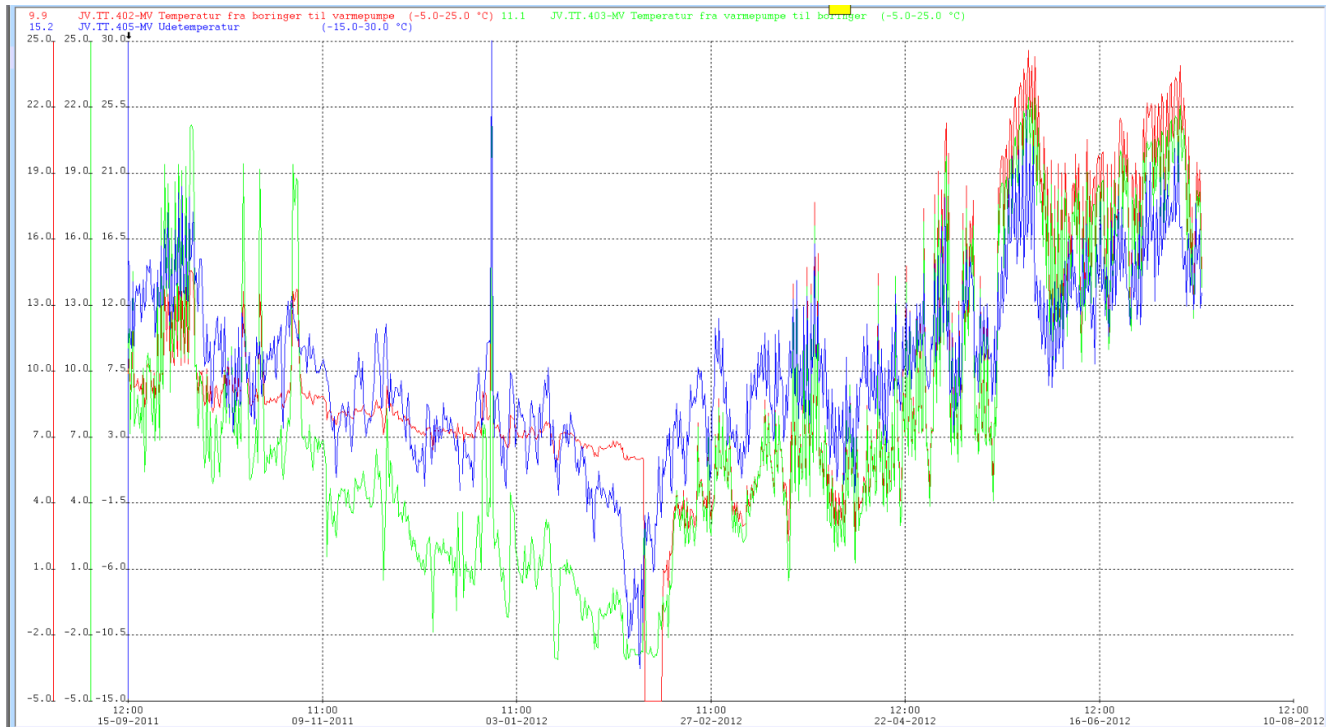
Bilag 1: Målinger

Beskrivelse af måleforløb:

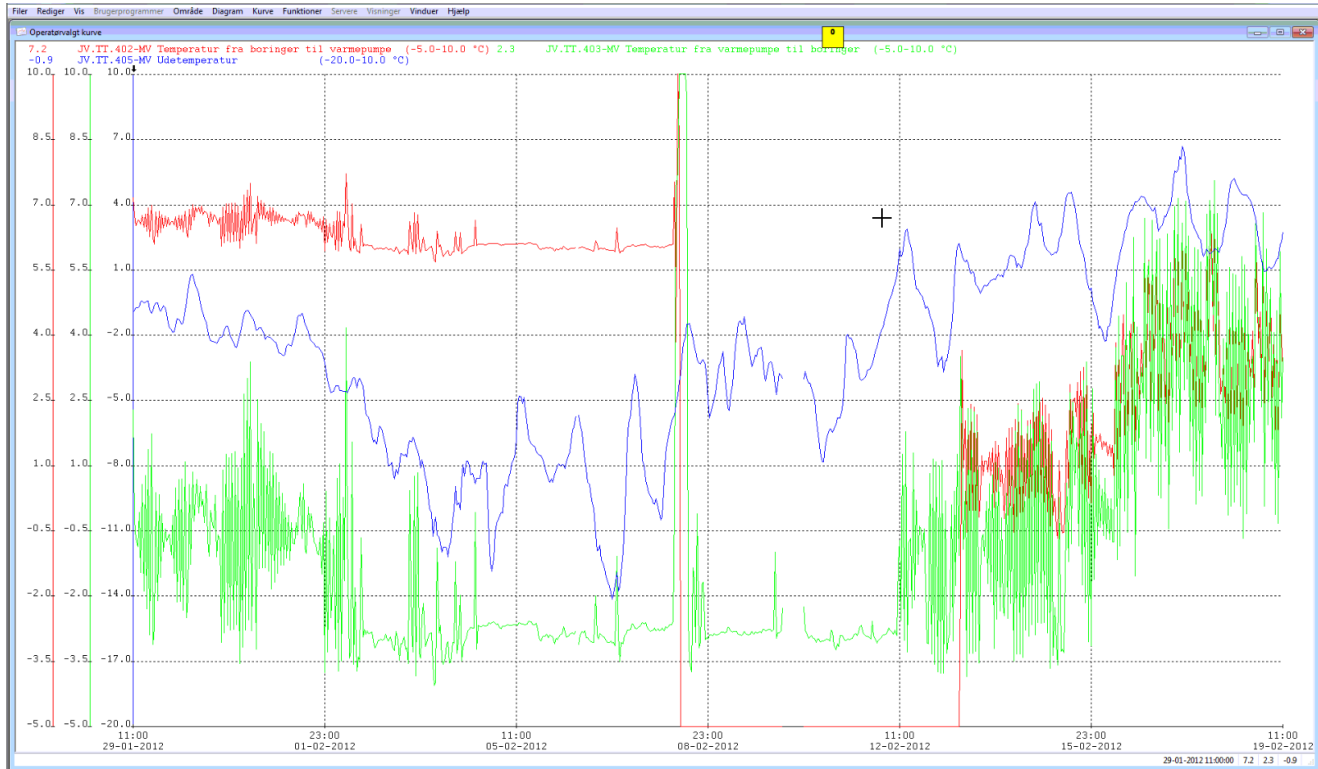
Der er foretaget målinger siden uge 36 i 2011, måleopstillingen er dog først endeligt indkørt fra uge 42. Kalibrering af føler, som viser temperaturen fra jordslangen, blev foretaget i uge 6 i 2012. Den viste sig at være defekt og blev derefter udskiftet. Der har ligeledes været udfald på flowmålingen fra jordslangen fra uge 49 til uge 6. Databearbejdning for logninger er foretaget hvert 10 minut.



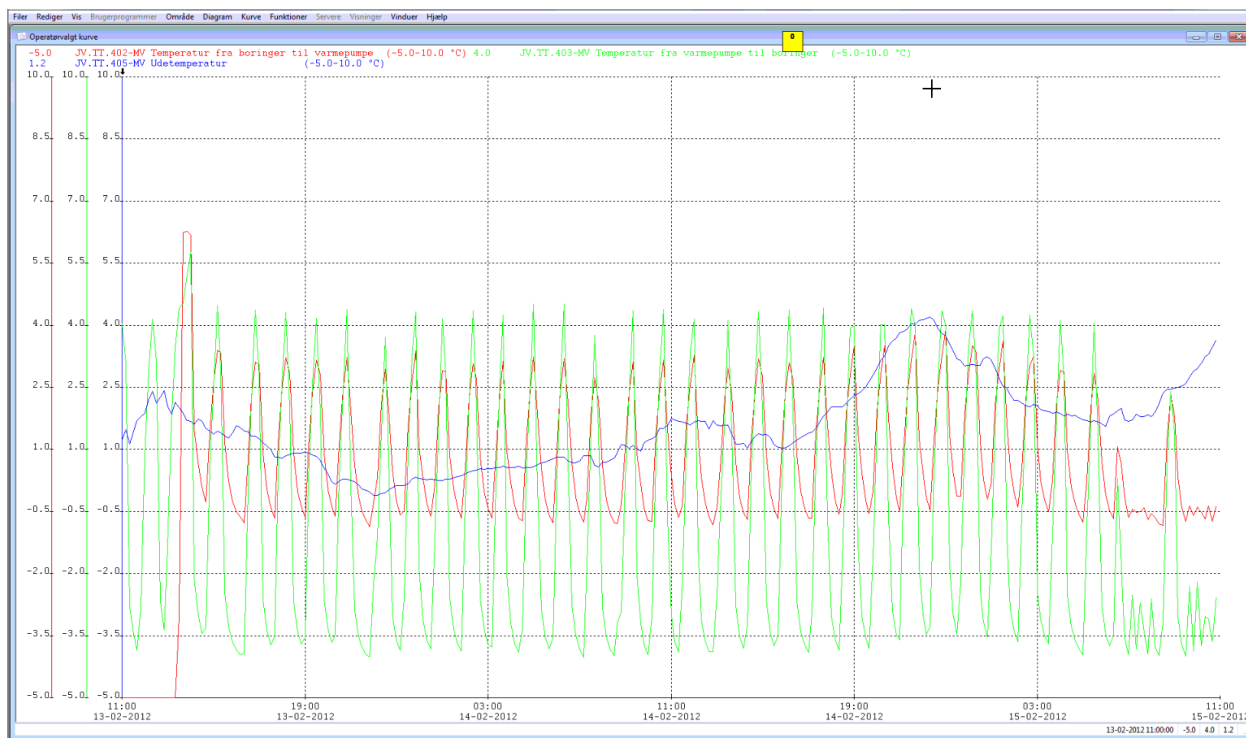
Figur 7.1 med måleopstilling.



Figur 7.2: jordslangetemperaturer over hele måleperioden: Grøn fra Varmepumpe, rød fra jordslange, blå er udetemperatur.



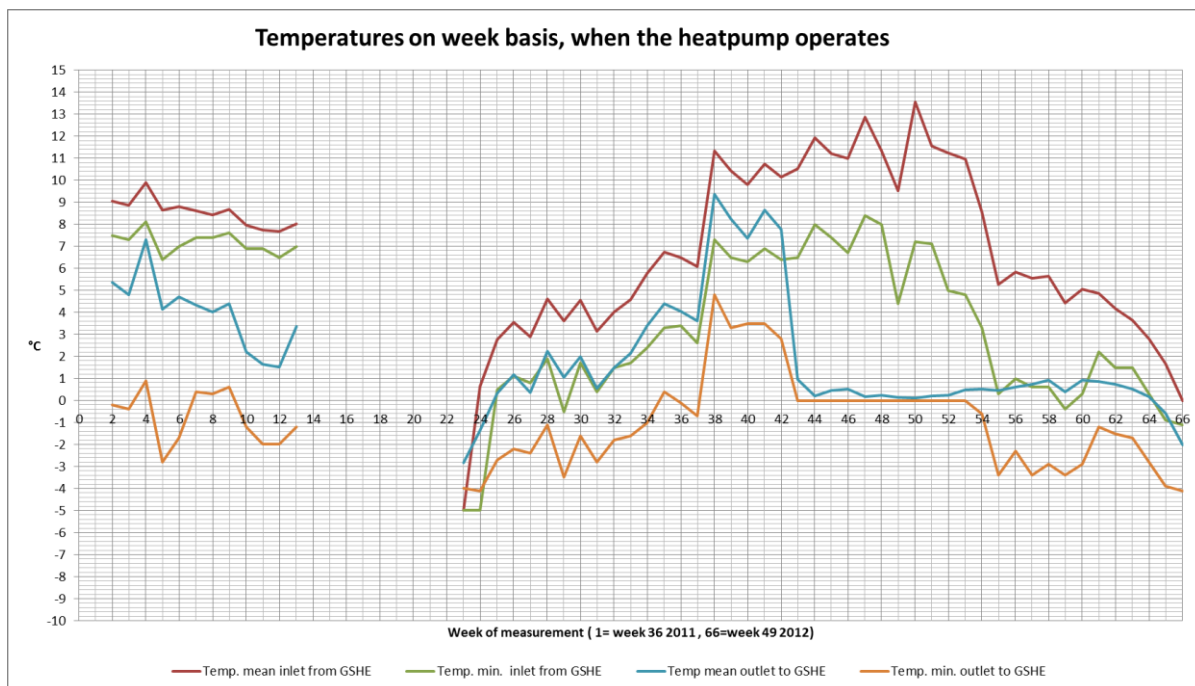
Figur 7.3: jordslangetemperaturer. Periode uge 5,6,7 med laveste temperaturer og stort energiudtag fra jordslangerne: Grøn fra Varmepumpe, rød fra jordslange, blå er udetemperatur.



Figur 7.4: Viser de to dage med laveste jordslangetemperatur.

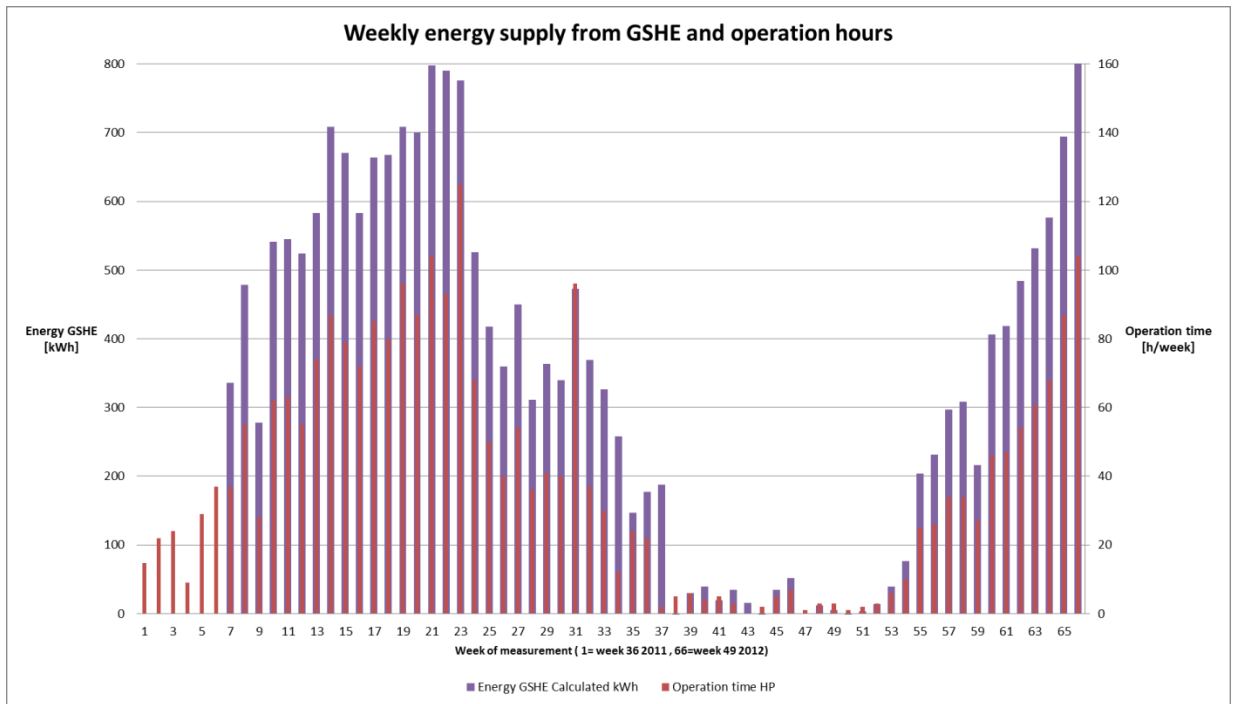
Den 13/2 var varmeleveringen 136 kWh og elforbruget var 37 kWh. Varmepumpen havde en køretid på 12 timer. Det viser at slangen har leveret 99 kWh, og at effekten trukket fra slangen har været på 8,25 kW.

Ovenstående figurer viser temperaturen for jordslangerne målt ved ind- og udløb fra varmepumpen. Da målingen er foretaget inde ved varmepumpen, vil temperaturerne nærme sig rumtemperaturen, når varmepumpen ikke kører, da cirkulationspumpen kun kører under varmepumpedrift. Det ses også at der er en fejl på temperaturen målt fra jordslangen. Denne fejl er rettet fra den 15/2 2012. Generelt er temperaturen til jordslangen 3 K lavere end temperaturen fra jordslangen under drift. Dette skyldes, at pumpen er frekvensreguleret og vil tilpasse flowet til denne temperaturdifferens. Laveste temperatur fra borehullet er $-0,5\text{ °C}$ og $-3,5$ til borehullet.

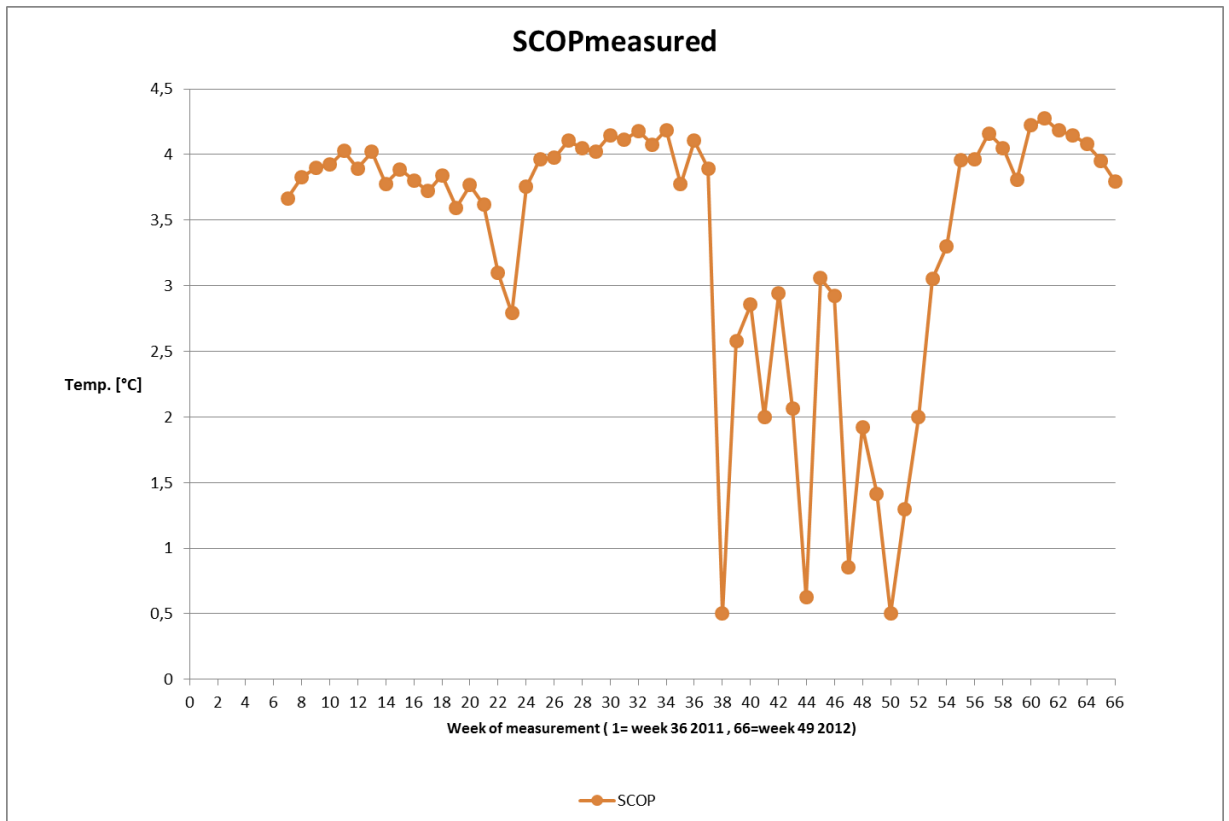


Figur 7.5: Viser middeltemperaturer pr. uge for varmepumpen under drift samt minimums-temperaturen.

For at få et billede af jordslangens temperatur når varmepumpen kører og der er flow på slangen, er der foretaget en sortering af data, så der kun ses på de perioder, hvor der er flow på jordslangen. Datasorteringen er lavet på ugebasis. Den ovenstående graf viser middeltemperaturen for temperaturen til og fra jordslangen under drift samt den laveste temperatur for den pågældende uge under drift. Måleuge 13 til 24 (svarende til uge 48 til 7) mangler. I denne periode er der ikke registreret flow på grund af en defekt flowmåler. Det kan derfor ikke registreres hvornår cirkulationspumpen har kørt. Den laveste registrerede temperatur under drift fra borehullet er på 0,5 °C i uge 7. Den laveste registrerede temperatur til borehullet er på -4°C.



Figur 7.6: Månedssdata for energioptag og driftstid



Figur 7.7: Uge data/ ugentlig effektivitet $SCOP_{uge}$

Sammenfatning for målingen på jordslangen:

Parameter	Resultat	Enhed
Starttemperatur i uge 36 2011	9	°C
Sluttemperatur (max) i uge 33 2012	13,5	°C
Laveste temperatur fra borehul	-0,5 °C	°C
Laveste temperatur til borehul	-3,5 °C	°C
Energi leveret fra jordslange uge 42 i 2011 til uge 42 i 2012	16459	kWh
Energilevering fra jord 1. år	82,295	kWh/(m*år)
Slangeydelse i koldeste periode	8,25	kW
Slangeydelse i koldeste periode [W/m]	41,25	W/m
Maximal slangeydelse forår efterår	10,86	kW
Maximal slangeydelse forår efterår	54,3	W/m
Driftstimer for varmepumpe/jordslange fra uge 42 i 2011 til uge 42 i uge 2012	2019	H
Middelbelastning for et år	9,39	W/(m*år)

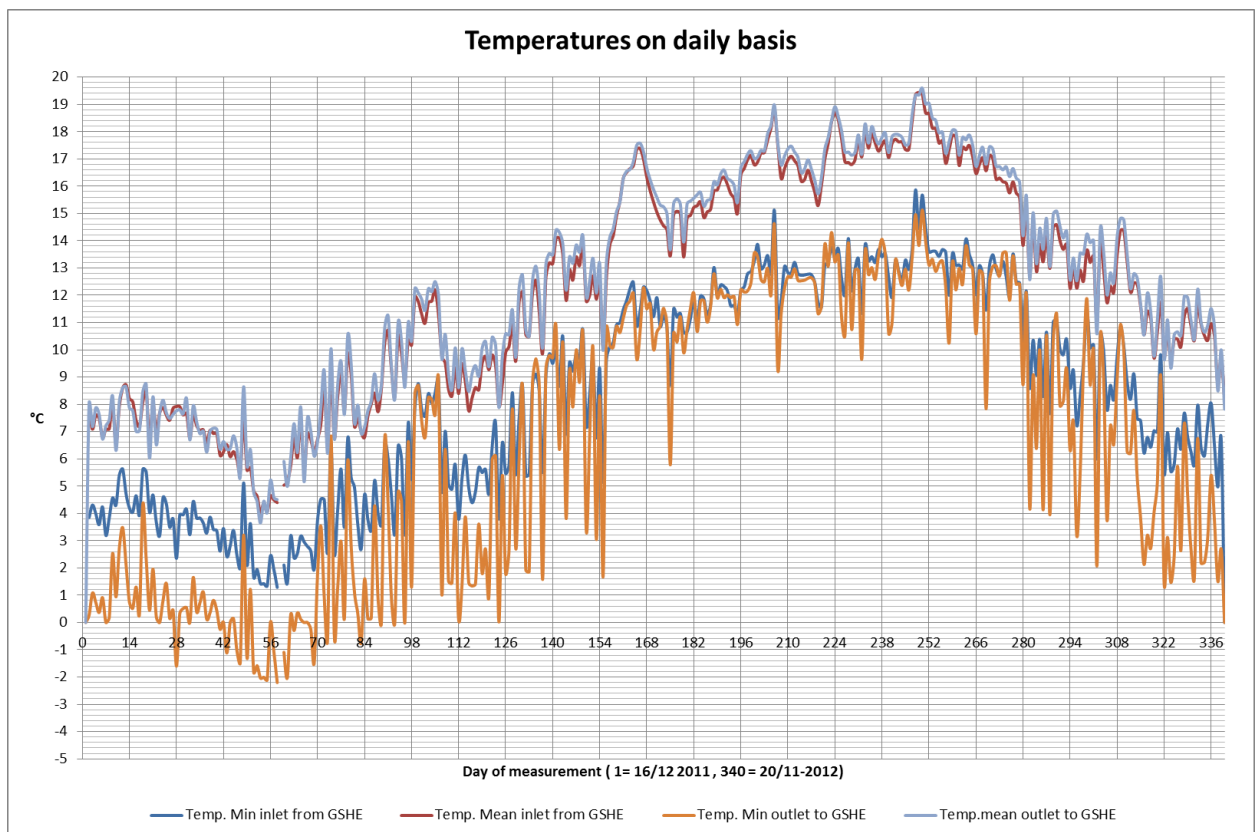
Sammenfatning for måling af driften på varmepumpen:

Parameter	Resultat	Enhed
Energi leveret fra varmepumpe uge 42 i 2011 til uge 42 i 2012	22572	kWh
Energi leveret fra jordslange uge 42 i 2011 til uge 42 i 2012	16459	kWh
Elforbrug varmepumpe incl. elpatron uge 42 i 2011 til uge 42 i 2012	6113	kWh
Elforbrug elpatron uge 42 i 2011 til uge 42 i 2012	492,1	kWh
Effektivitet for måleperioden SCOP _{målt} uge 42 i 2011 til uge 42 i 2012	3,69	-
Varmepumpeydelse i koldeste periode	11,33	kW
Slangeydelse i koldeste periode	8,25	kW
Maximal slangeydelse forår/ efterår	10,86	kW
Driftstimer for varmepumpe/jordslange fra uge 42 i 2011 til uge 42 i 2012	2019	h
Driftstimer med brugsvandsprioritering uge 42-42	57	h
Driftstimer elpatron	51	h

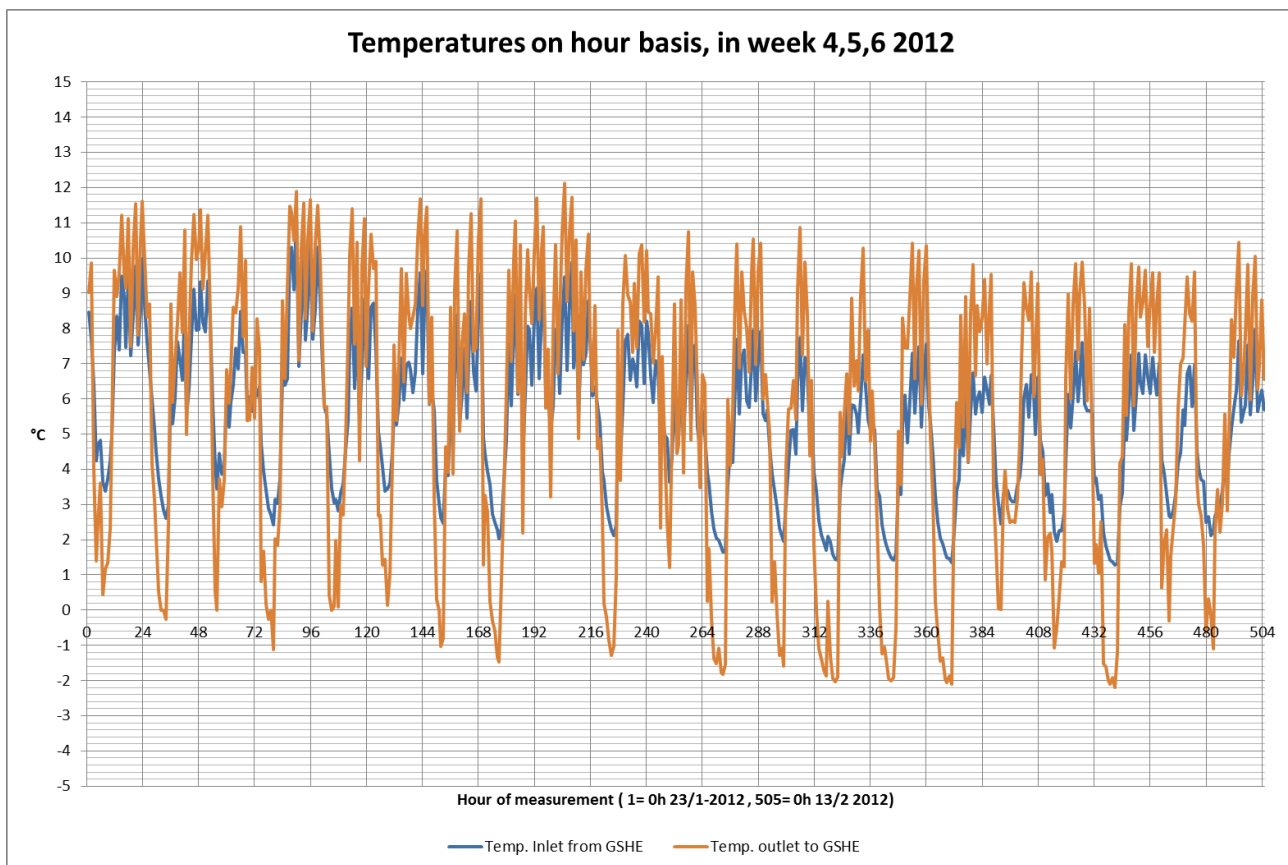
Præsentation af måleresultater for Rosenholmgrenen, Morud

Beskrivelse af måleforløb:

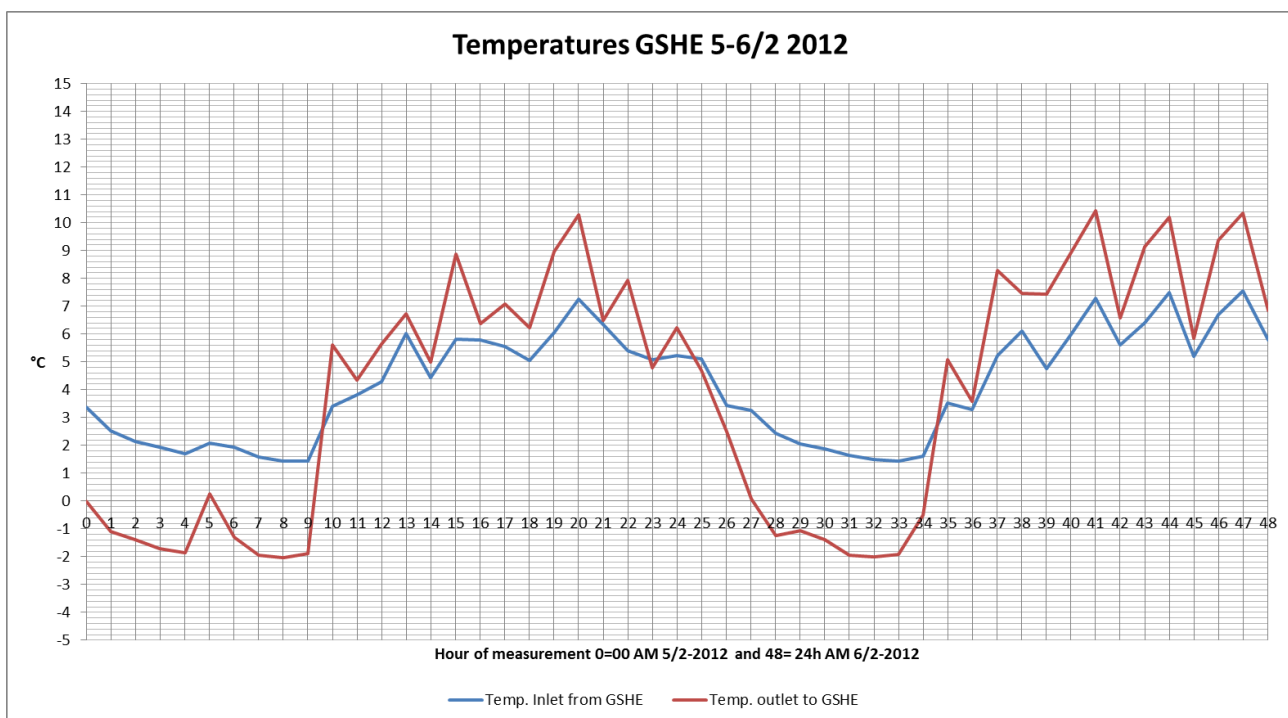
Der er målt på boringerne fra oktober, men måleopstillingen har først været endeligt tilrettet efter skift af energimåler i december. Der er derfor en samlet måleperiode fra den 16/12-2011 til 20/11 2012. Der måles energi og temperaturer på frem og returløb fra jordslangerne. Desuden er der monteret en temperaturmåler ude i brønden, fra det ene borehul. Der gemmes logningen for hver time.



Figur 7.8: Jordslangetemperaturer over hele måleperioden:



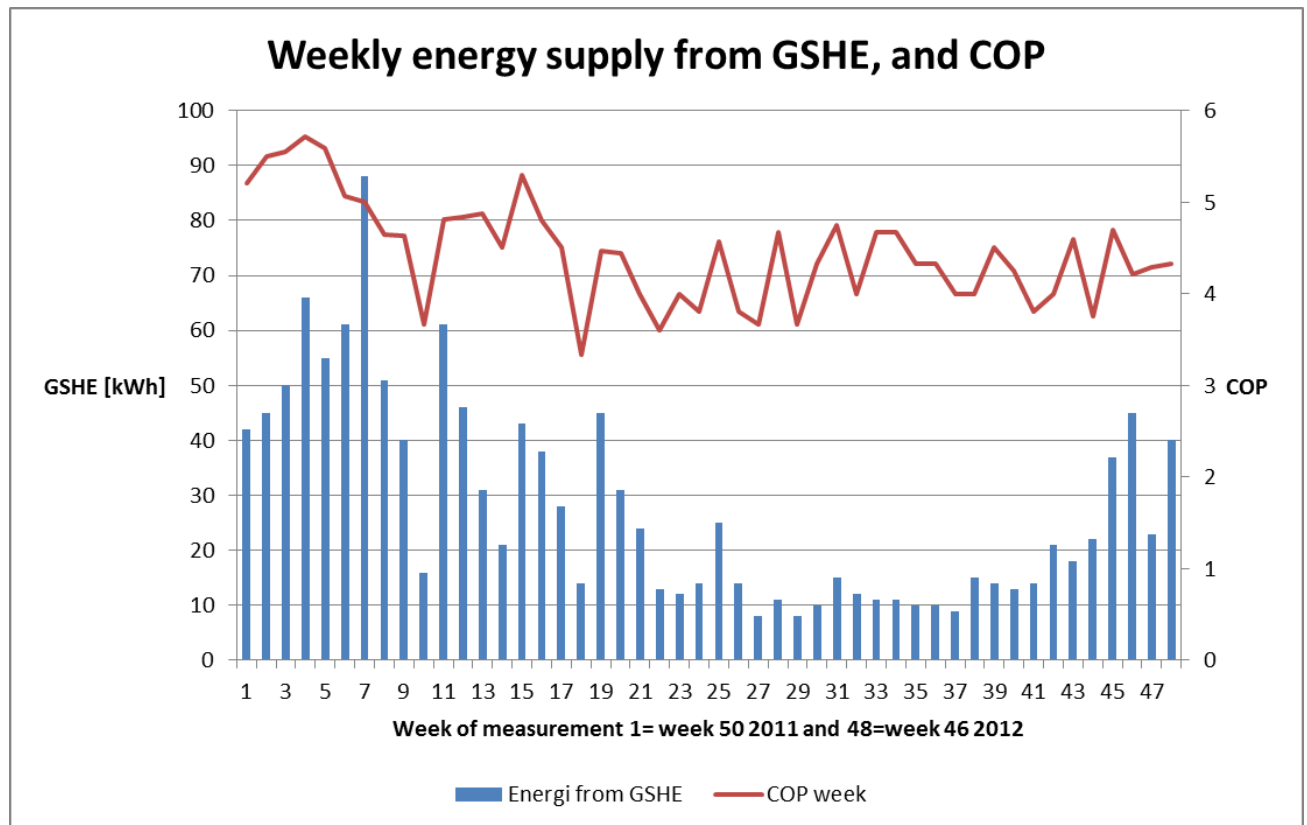
Figur 7.9: Jordslangetemperaturer: periode uge 4,5,6 med laveste temperaturer og stort energiudtag fra jordslangerne.



Figur 7.10: Viser to dage med stor energilevering og lav jordslangetemperatur, den 5-6/2 2012.

Den laveste temperatur fra jordslangen var 1,4°C, og den laveste temperatur til jordslangen var -2,0 °C. Jordslangen leverede henholdsvis 88 kWh og 74 kWh på de to dage. Der er ikke foretaget en måling af driftstid, men ud fra ovenstående graf vurderes driftstiden at være 29 timer ud af 48 timer. Dette giver en jordslangeeffekt på 5,58 kW. Elforbruget for varmepumpen for de to dage var 22 kWh og 18 kWh.

De laveste temperaturer for jordslangen blev dog registreret den 11/2 2012 med en minimumstemperatur fra jordslangen på 1,3 °C og en minimumstemperatur til jordslangen på -2,2 °C.



Figur 7.11: Uge data/ ugentlig energioptag fra slangen samt effektivitet $SCOP_{uge}$

Sammenfatning for målingen på jordslangen:

Parameter	Resultat	Enhed
Starttemperatur i 17/12 2012 uge 50	7,74	°C
Sluttemperatur i uge 24	11,1	°C
Laveste temperatur fra borehul	+1,3 °C	°C
Laveste temperatur til borehul	-2,2 °C	°C
Energi leveret fra jordslange 16/12-2011 i uge 50 til 18/11-2012 i uge 46	9538	kWh
Energilevering fra jord 1 år. (måleperiode)	55,8	kWh/m*år
Slangeydelse i koldeste periode beregnet	5,58	kW
Slangeydelse i koldeste periode [W/m]	32,6	W/m
Middelbelastning for et år	6,37	W/(m*år)

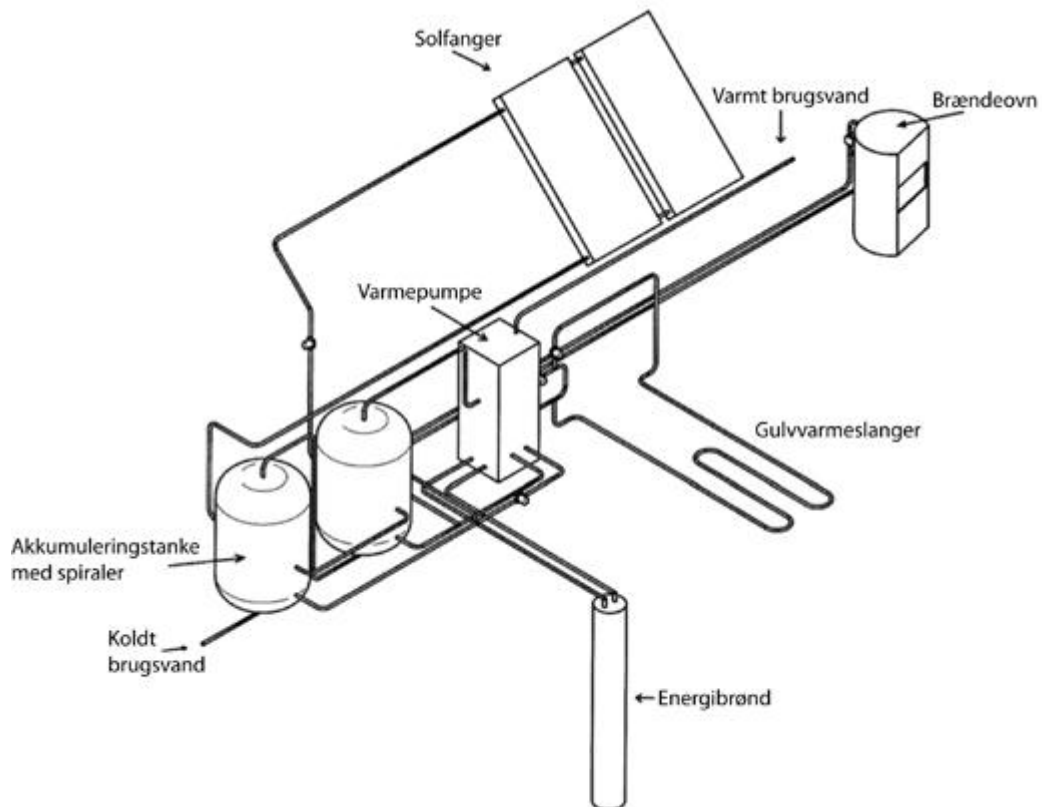
Sammenfatning for måling af driften på varmepumpen:

Parameter	Resultat	Enhed
Energi leveret fra varmepumpe beregnet fra uge 50 2011 til uge 24 2012	8610	kWh
Energi leveret fra jordslange uge 50 i 2011 til uge 24 i 2012	6838	kWh
Elforbrug varmepumpe incl. elpatron	1972	kWh
Elforbrug elpatron	?	kWh
Effektivitet for måleperioden $SCOP_{m\ddot{a}lt}$ for perioden uge 50 i 2011 til uge 24 i 2012	4,37	-
Varmepumpeydelse i koldeste periode beregnet	6,97	kW
Slangeydelse i koldeste periode	5,58	kW
Slangeydelse i koldeste periode	32,6	W/m
Maximal slangeydelse forår efterår	5,58	kW
Maximal slangeydelse forår efterår	32,6	W/m
Driftstimer for varmepumpe/jordslange for perioden uge 50 i 2011 til uge 24 i 2012	1408	h
Beregnet ud fra elforbruget for varmepumpen i perioden og en optaget effekt på 1,4 kW ved spidslastning den 5-6/2 2012		

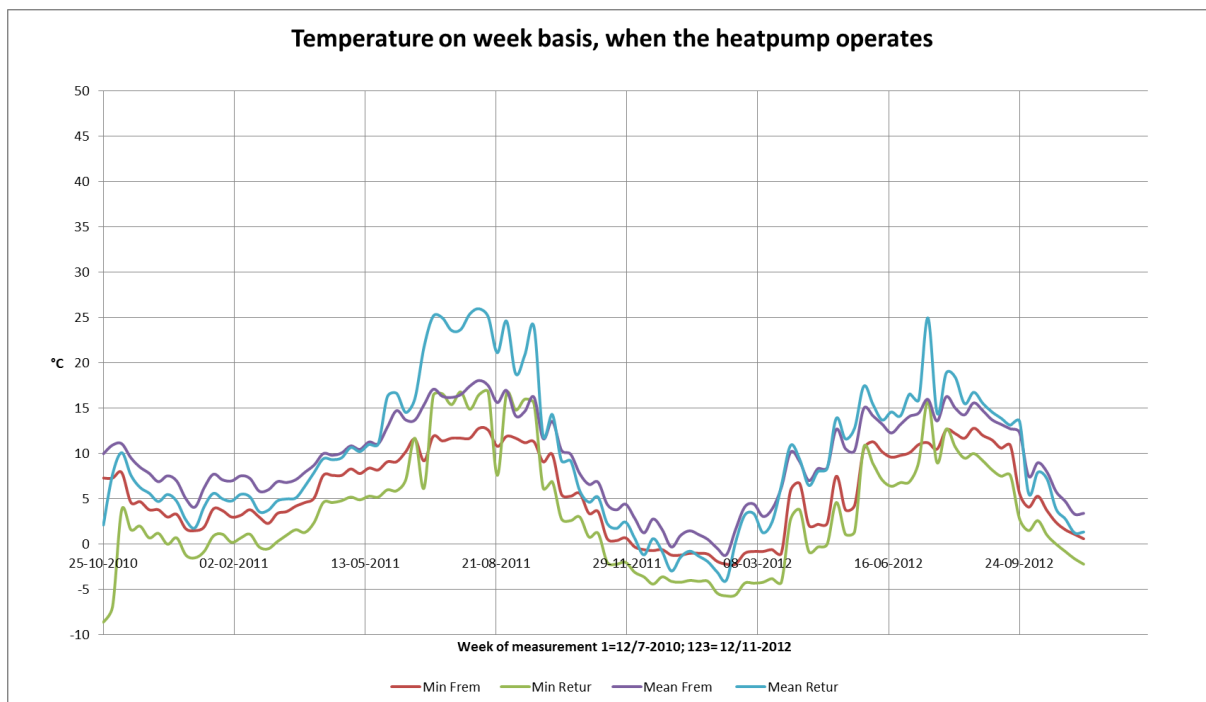
Præsentation af måleresultater for Houvej 10 i Hou

Beskrivelse af måleforløb:

Der er målt på boringerne fra oktober 2010. Den samlede måleperiode er derfor fra den 13/10-2010 til 1/1-2013. Der måles energi og temperaturer på frem- og returløb fra jordslanger, solfangere, varmepumpe og brændeovn. Desuden er der monteret temperaturfølere med 10 meters intervaller i borehullet ved jordslangen. Der er løbende logning på systemet helt ned til hvert minut.

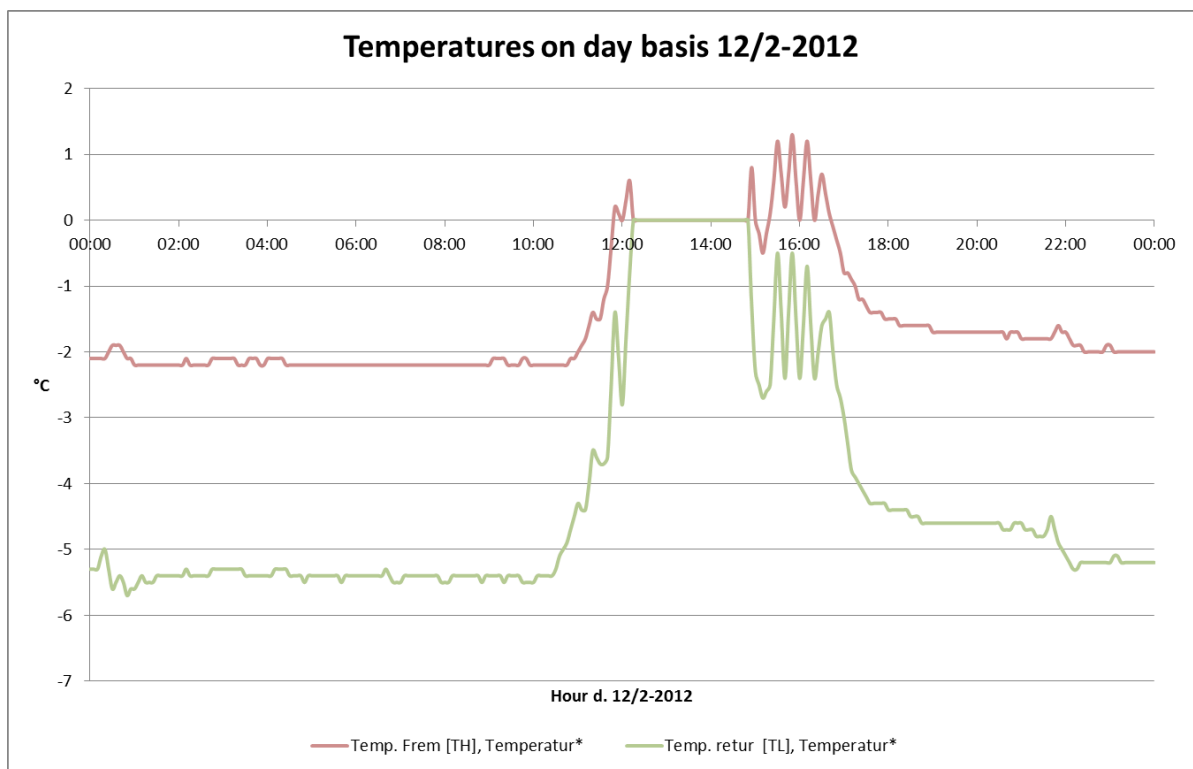


Figur 7.12: Billede med måleopstilling.



Figur 7.13: Jordslangetemperaturer over hele måleperioden:

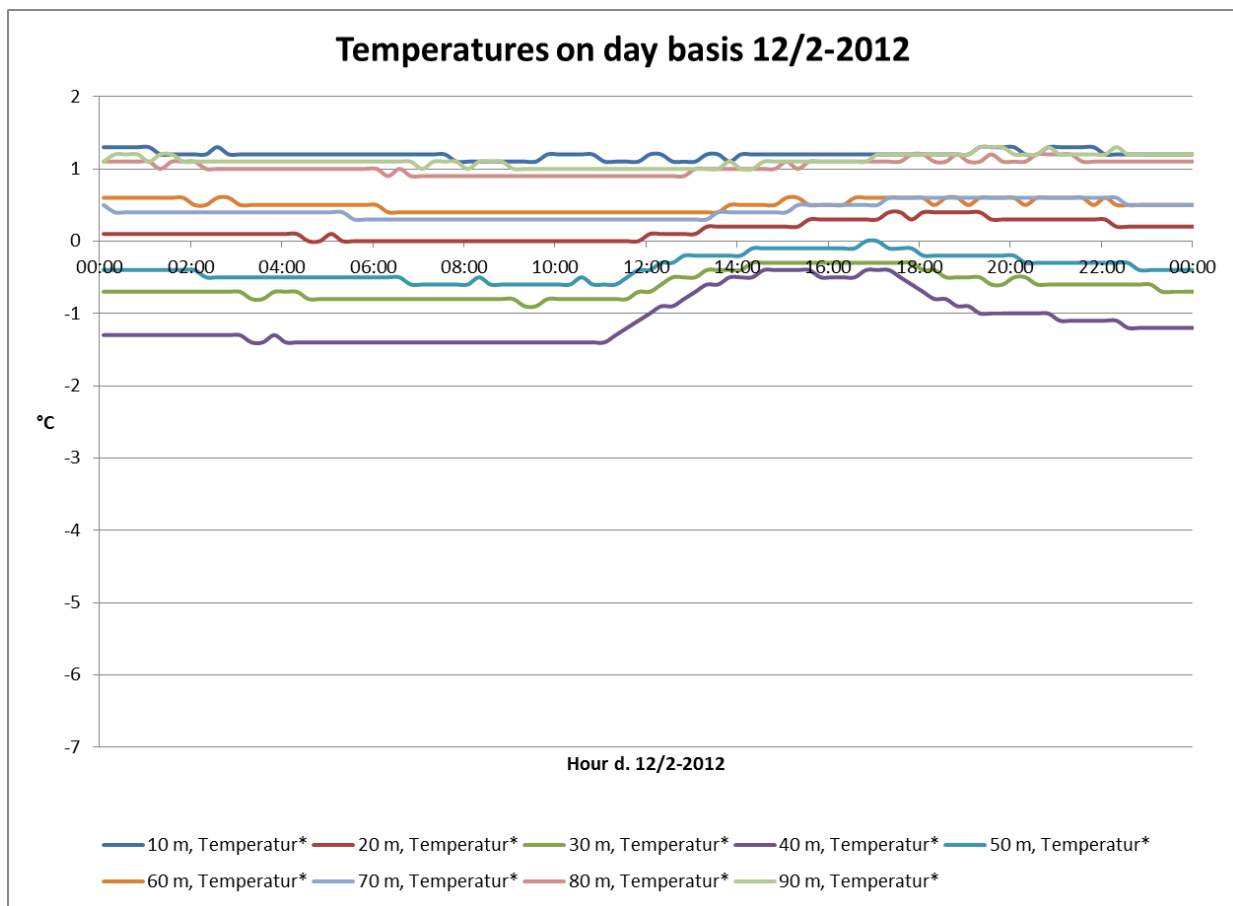
Ovenstående figur viser brine temperaturen til og fra varmepumpen, når denne kører. I alt er der bearbejdet data for 108 uger fra den 13/10-2010 til den 13/11-2012. Målingerne er foretaget med 5 minutters intervaller, og data er frasortet, når der ikke er flow til jordslangen. Dette sikrer, at de viste middeltemperaturer for ugen er uden indflydelse af temperaturer målt når cirkulationspumpen til jordslangen ikke er i drift. Minimumstemperaturen er den laveste temperatur målt for den pågældende uge. For fyringssæsonen 2010-2011 var den laveste temperatur fra jordslangen til varmepumpen på 1,5°C og retur til slangen på -1,5°C. Dette blev målt i ugen der sluttede den 3/1-2011. For fyringssæsonen 2011-2012 var minimumstemperaturen fra jordslangen -2,2 °C og -5,7 °C retur målt i ugen der sluttede den 13/2-2012. Jorden oplades ikke voldsomt med solfangeren, og den højeste temperatur var 28,6°C målt i juli måned 2011.



Figur 7.14: Brine temperatur ved max. belastning.

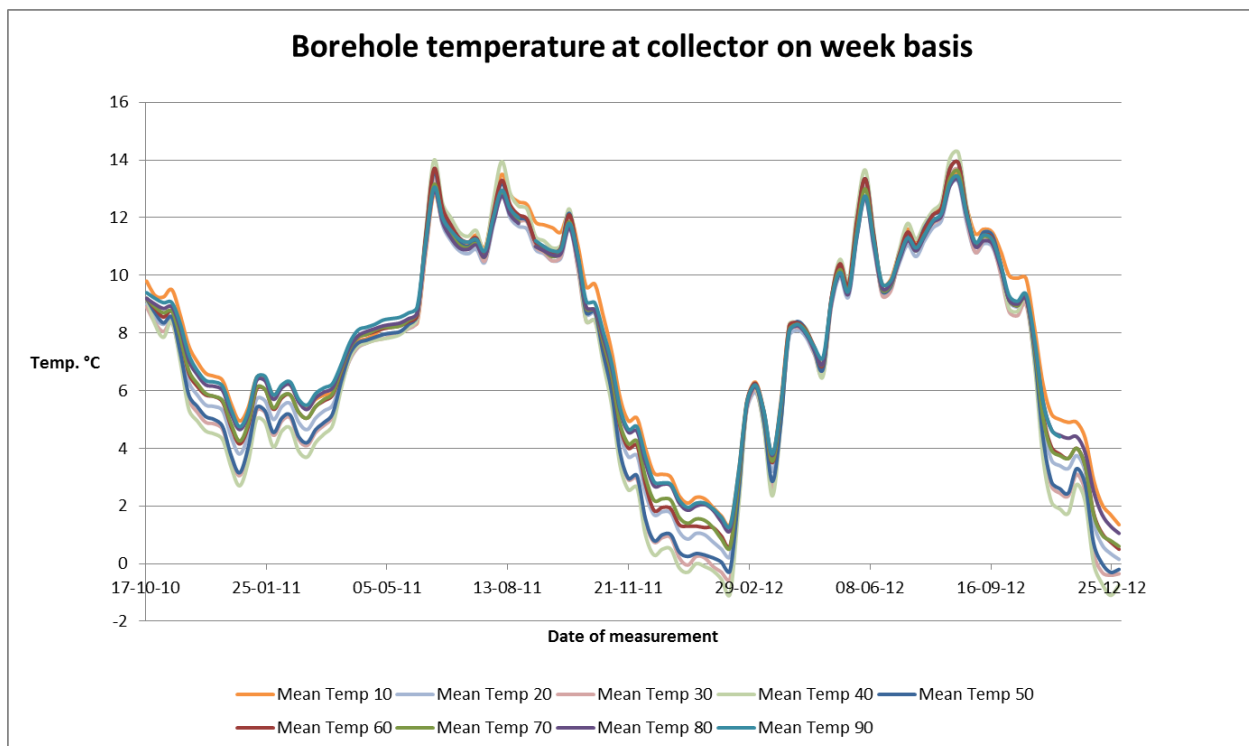
Ovenstående figur viser temperaturen til og fra jordslangen ved maksimal belastning. Jordslangen leverede 128 kWh på over 21 timer. Dette giver en belastning på slangen på 6,1 kW, hvilket er 61 W/m.

De laveste temperaturer for jordslangen blev registreret den 12/2-2012, hvor der er registreret en minimumstemperatur fra jordslangen på -2,2 °C og en minimumstemperatur til jordslangen på -5,7 °C.



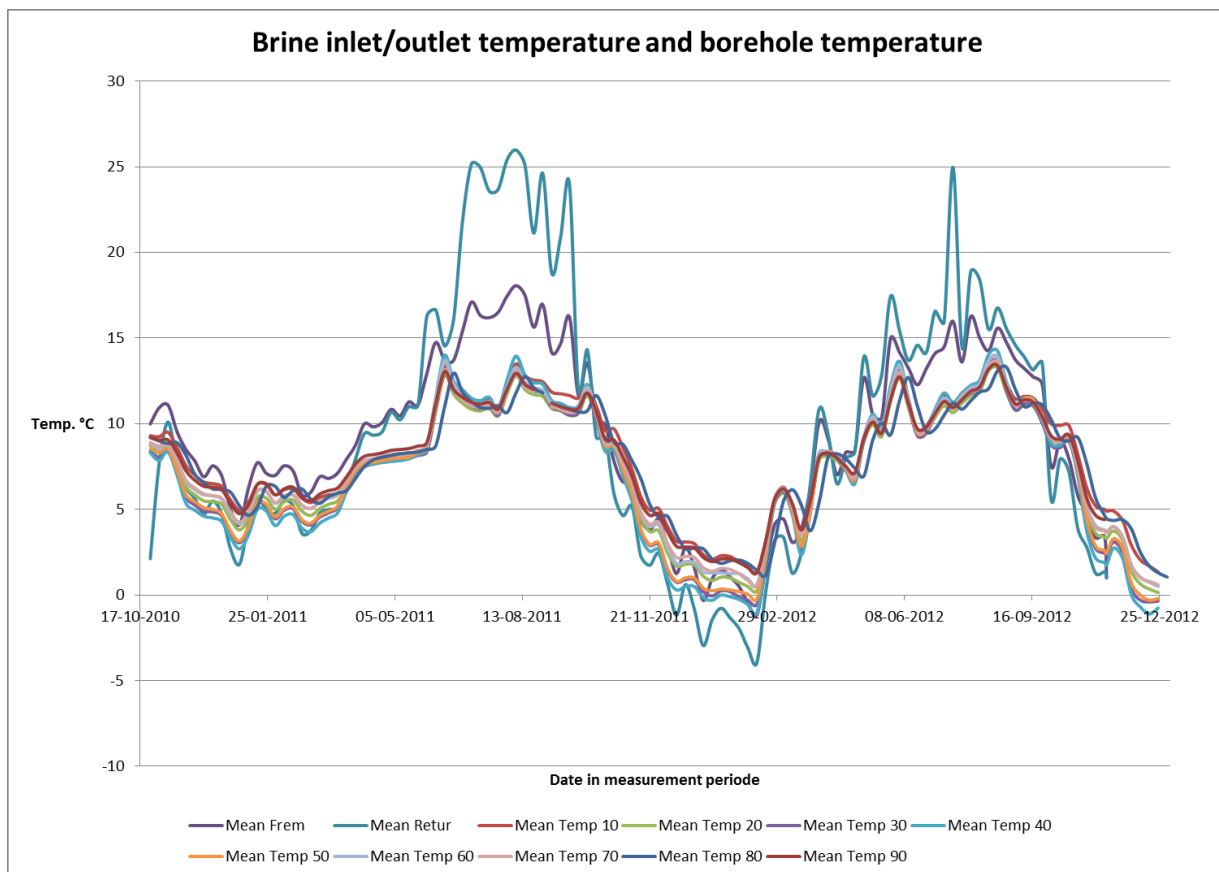
Figur 7.15: Jordtemperaturer ved max. belastning af slange.

Jordtemperaturerne på den hårdest belastede dag viser, at der sker en indfrysning af vand omkring slangen fra 20 meter og ned til 50 meter. Når varmepumpen stopper, sker der en optøning. Varmepumpen kører ikke i perioden fra kl. 12-15. I denne periode stiger temperaturen i jorden fra 20-50 meter.

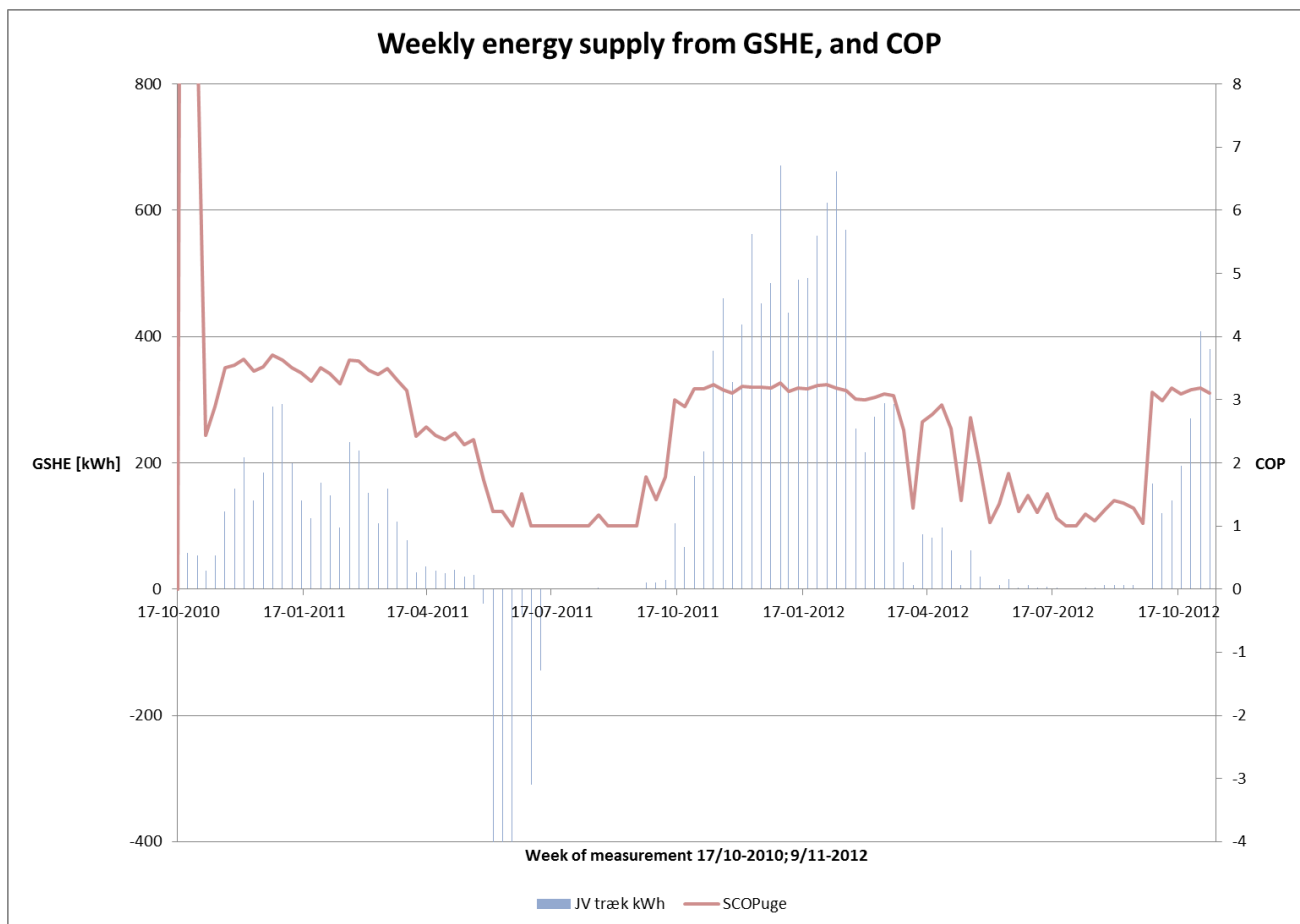


Figur 7.16: Temperatur i borehullet med 10 meters afstand.

Temperaturen er målt i borehullet over hele måleperioden. Der er behandlet data med intervaller af 15 minutter. Det ses tydeligt at borehullet belastes det andet år.



Figur 7.17: Temperatur i borehullet med 10 meters afstand samt brine temperatur.



Figur 7.18: Uge data/ ugentlig energioptag fra jordslange og effektivitet $SCOP_{uge}$

Sammenfatning for målingen på jordslangen:

Parameter	Resultat 1 år	Resultat 2 år	Enhed
Starttemperatur i uge 36 2011			°C
Sluttemperatur (max) i uge 33 2012			°C
Laveste temperatur fra borehul	1,5	-2,2	°C
Laveste temperatur til borehul	-1,5	-5,7	°C
Energi leveret fra jordslange uge 41 til uge 41 2010-2011-2012	3816	10305	kWh
Energi leveret til jordslange uge 41 til uge 41 2010-2011-2012	2191	0	kWh
Energi leveret fra jordslange netto uge 41 til u. 41 2010-2011-2012	1625	10305	kWh
Energilevering fra jord	16,2	103,05	kWh/(m*år)
Slangeydelse i koldeste periode		6,1	kW
Slangeydelse i koldeste periode [W/m]		61	W/m
Maximal slangeydelse forår efterår			kW
Maximal slangeydelse forår efterår			W/m
Middelbelastning for et år	1,86	11,76	W/(m*år)

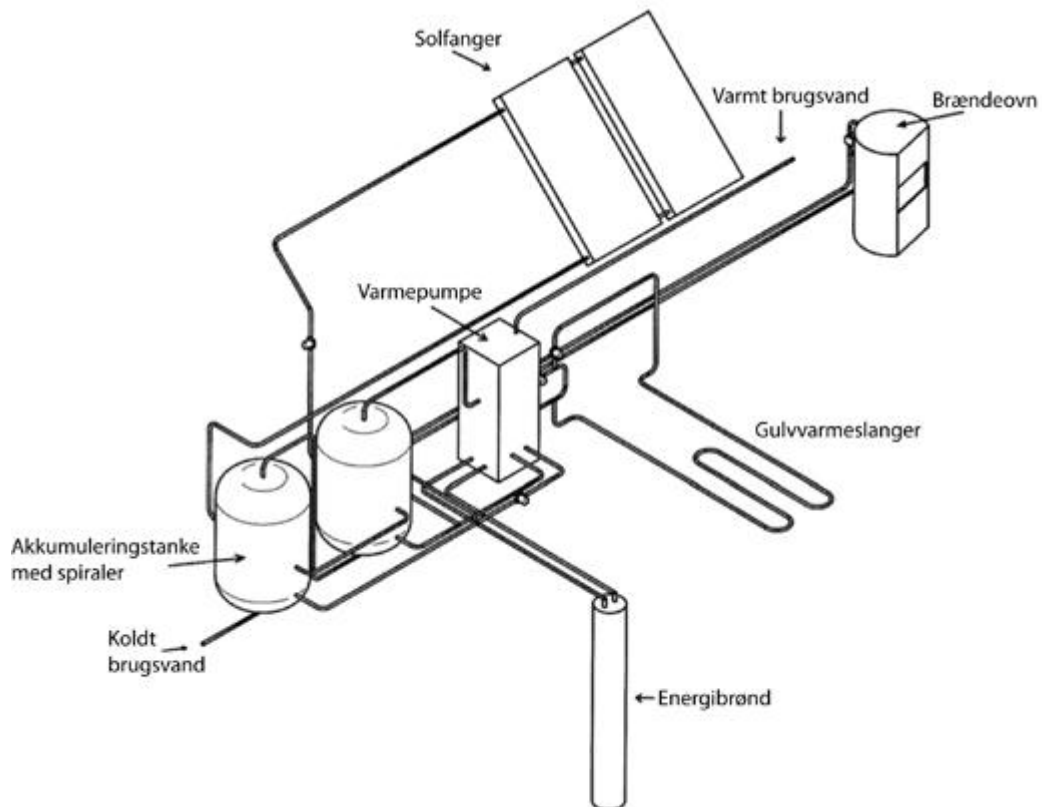
Sammenfatning for måling af driften på varmepumpen:

Parameter	Resultat 1 år	Resultat 2 år	Enhed
Energi leveret fra varmepumpe uge 41 til uge 41	5635,9	15426,7	kWh
Energi leveret fra jordslange uge 41 til uge 41	3816	10305	kWh
Elforbrug varmepumpe incl. elpatron uge 41 til uge 41	1819,9	5121,7	kWh
Effektivitet for måleperioden SCOP _{målt} uge 41 til uge 41	3,10	3,01	-
Varmepumpeydelse i koldeste periode			kW
Slangeydelse i koldeste periode		6,1	kW
Maximal slangeydelse forår/ efterår			kW

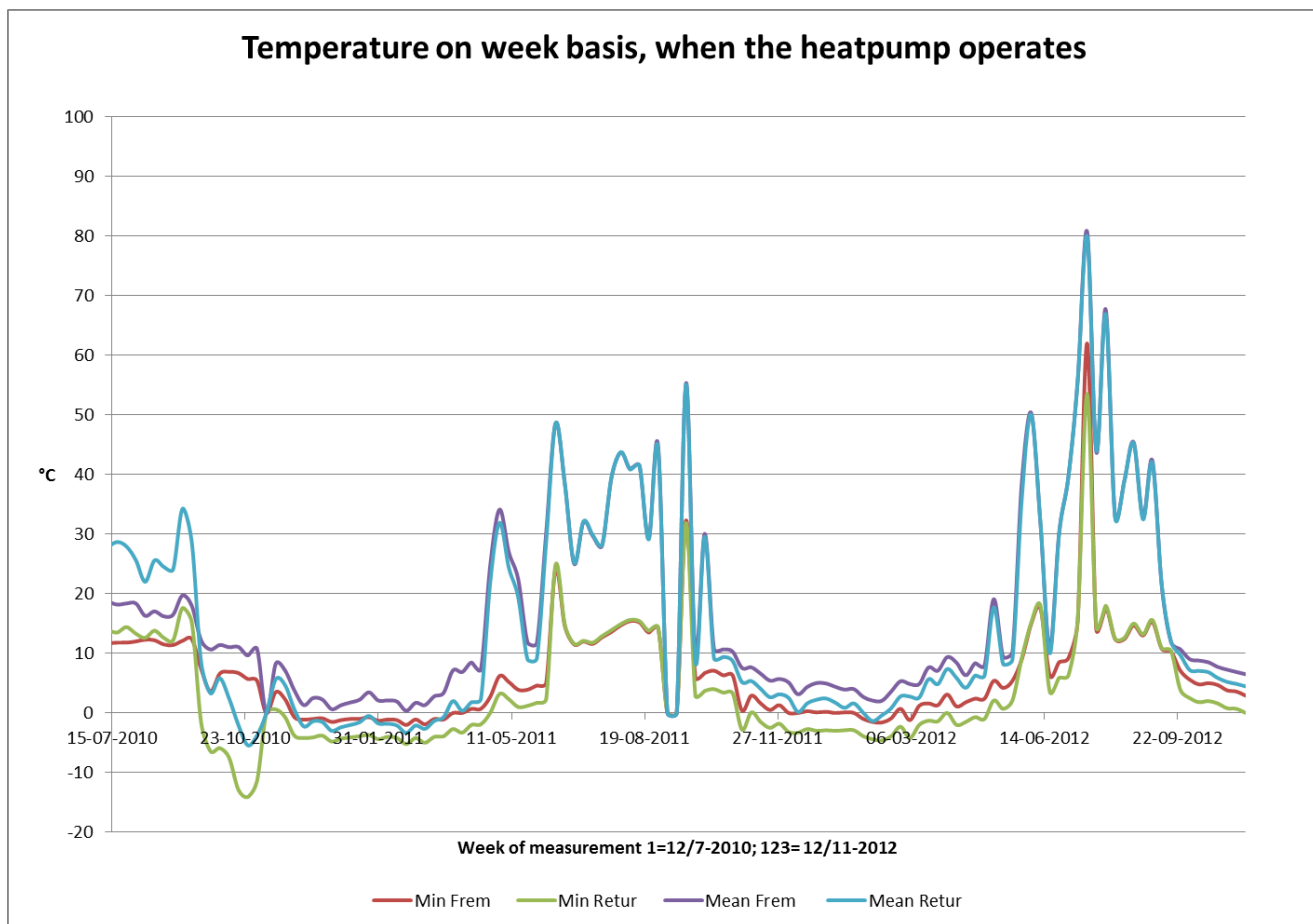
Præsentation af måleresultater for Solvænget i Hou

Beskrivelse af måleforløb:

Der er målt på boringerne fra juli 2010. Derfor er den samlede måleperiode fra den 12/7-2010 til 12/11-2012. Energi og temperaturer er målt på frem og returløb fra jordslanger, solfangere, varmepumpe og brændeovn. Desuden er der monteret temperaturfølere med 10 meters intervaller i borehullet ved jordslangen. Der er løbende logning på systemet helt ned til hvert minut.

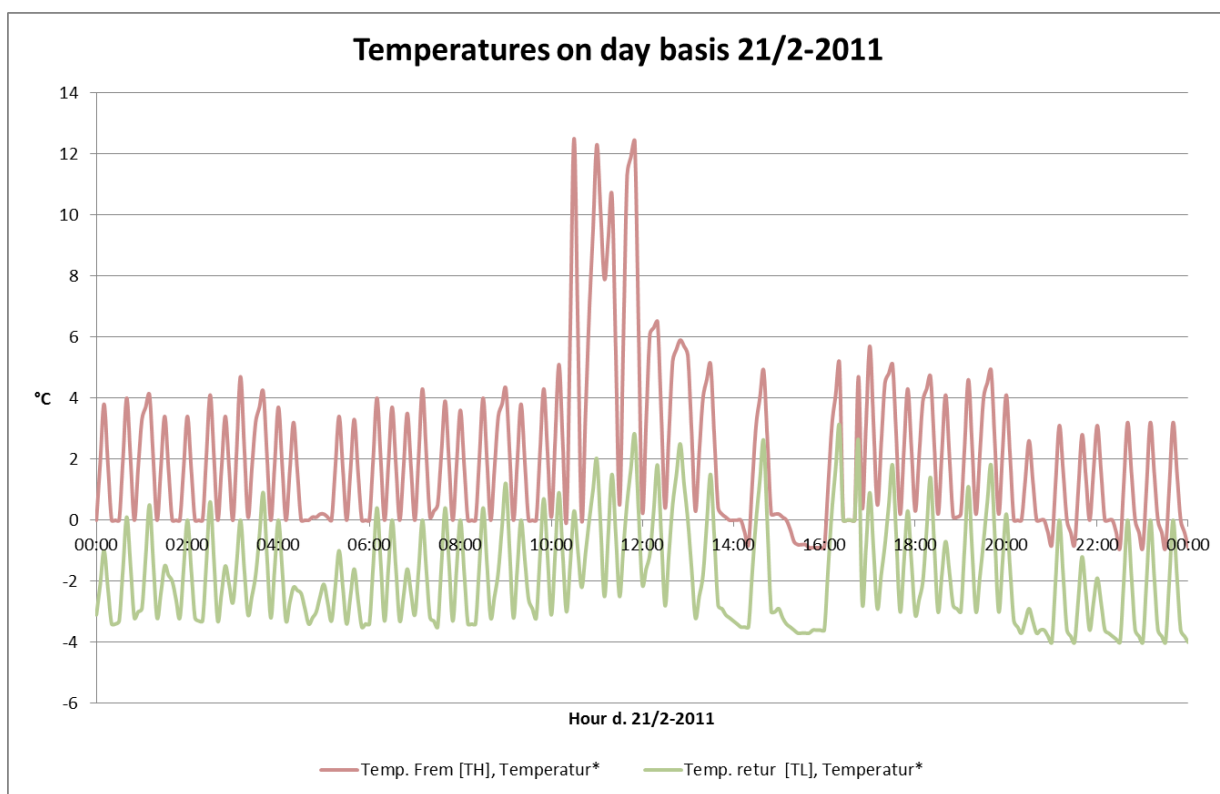


Figur 7.19 Figur med måleopstilling.



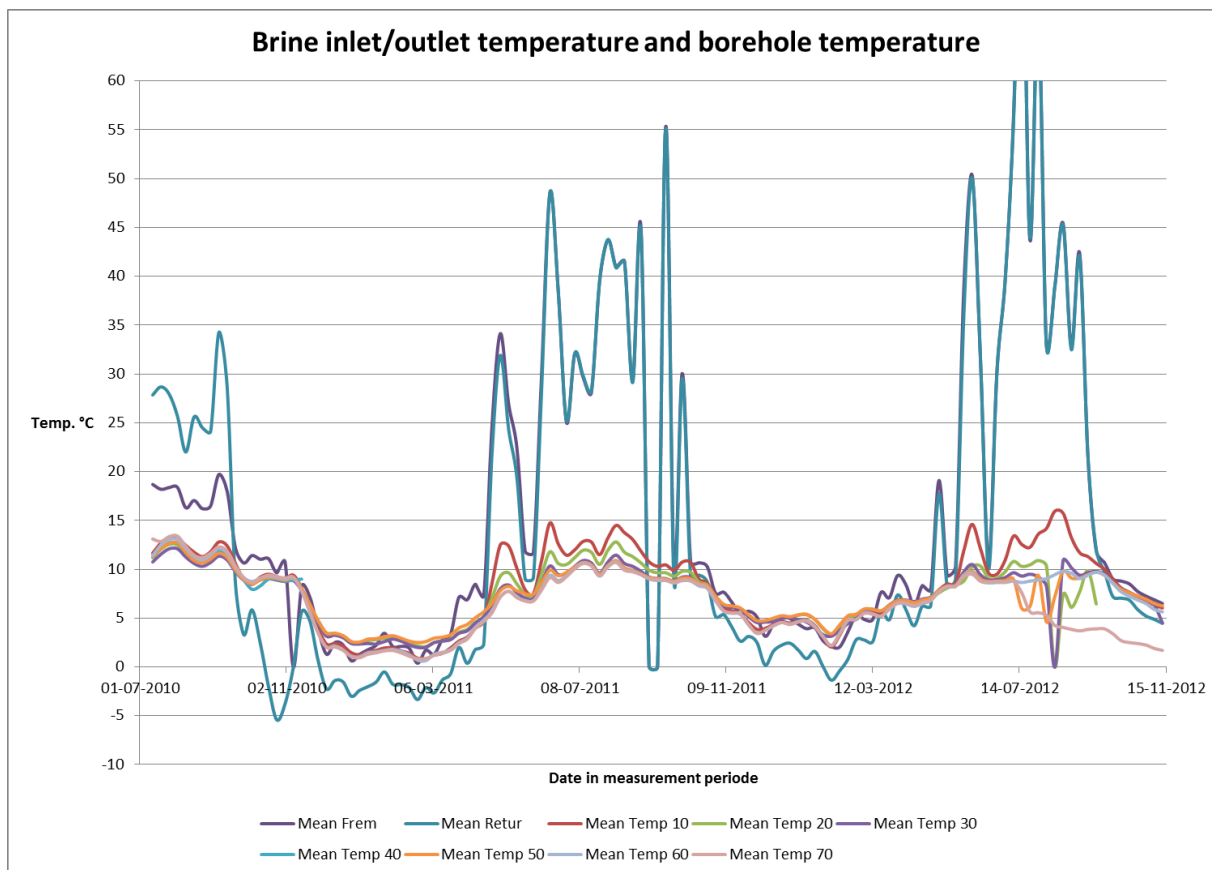
Figur 7.20: Jordslangetemperaturer over hele måleperioden:

Ovenstående figur viser brine temperaturen til og fra varmepumpen når denne kører. I alt er der bearbejdet data for 123 uger fra den 12/7-2010 til den 13/11-2012. Målingerne er foretaget med 5 minutters intervaller, og data er frasortet, når der ikke er flow til jordslangen. Dette sikrer at de viste middeltemperaturer for ugen er uden indflydelse af temperaturer målt, når cirkulationspumpen til jordslangen ikke er i drift. Minimumstemperaturen er den laveste temperatur målt for den pågældende uge. For fyringssæsonen 2010-2011 var den laveste temperatur fra jordslangen til varmepumpen på $-2,0^{\circ}\text{C}$ og retur til slangen på $-5,2^{\circ}\text{C}$. Dette blev målt i for ugen der sluttede den 21/1-2011. For fyringssæsonen 2011-2012 var minimumstemperaturen fra jordslangen $-1,6^{\circ}\text{C}$ og $-4,6^{\circ}\text{C}$ retur, målt i ugen der sluttede den 13/2-2012. Jorden oplades med solfangeren. Den højest målte temperatur er omkring 80°C målt i juli måned 2012.

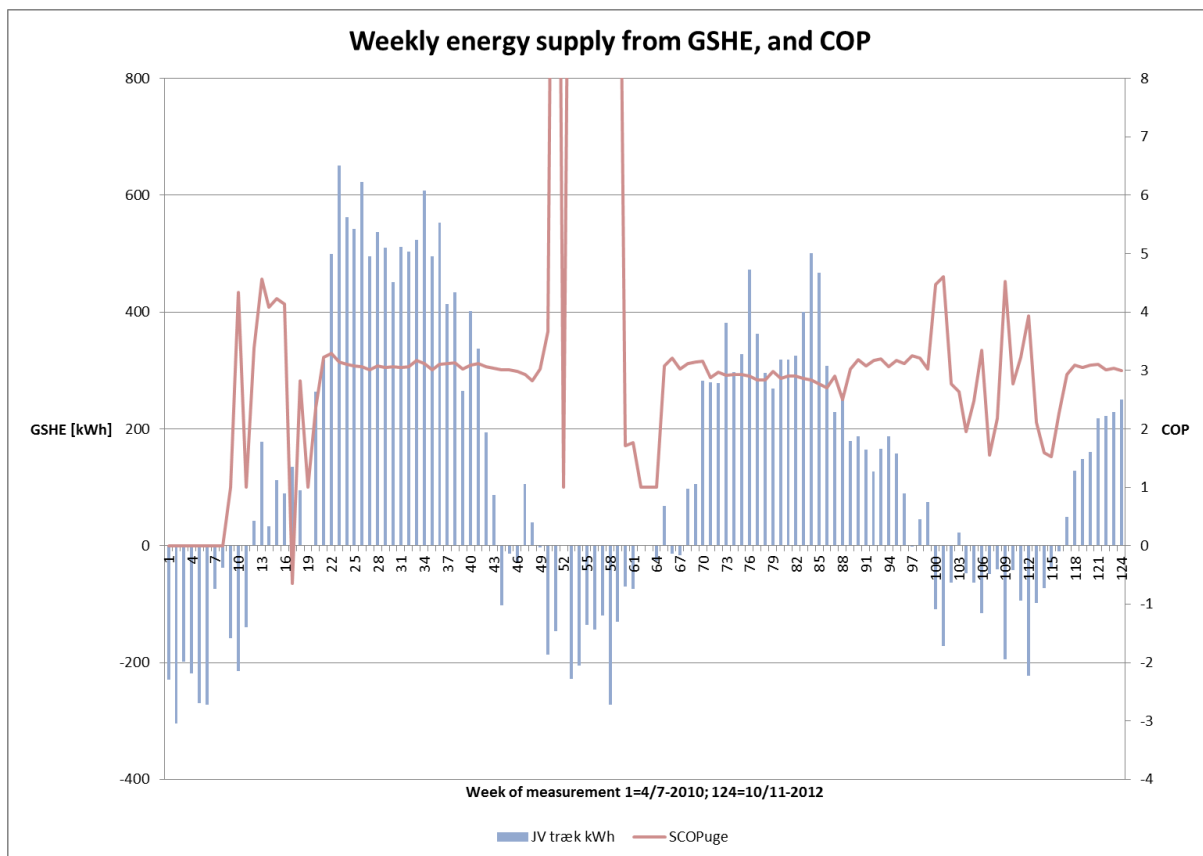


Figur 7.21: Jordslangetemperaturer den 21/2-2011 hvor der er lave temperaturer og stort energiudtag fra jordslangerne

Figur 7.21: Viser d. 21/2-2011 en dag med stor energilevering og lav jordslangetemperatur. Den laveste temperatur fra jordslangen var $-0,4^{\circ}\text{C}$, og den laveste temperatur til jordslangen var $-3,8^{\circ}\text{C}$. Jordslangen leverede 93 kWh denne dag. Der er ikke foretaget en måling af driftstid, men ud fra ovenstående graf og flow vurderes driftstiden at være 13 timer ud af 24 timer. Dette giver en jordslangeeffekt på 7,15 kW hvilket er 71,5 W/m.



Figur 7.22: Temperatur i borehullet med 10 meters afstand samt brine temperatur.



Figur 7.23: Uge data/ ugentlig energioptag fra jordslange og effektivitet $SCOP_{uge}$

Sammenfatning for målingen på jordslangen:

Parameter	Resultat 1 år	Resultat 2 år	Enhed
Laveste temperatur fra borehul	-0,4	-1,6	°C
Laveste temperatur til borehul	-3,8	-4,6	°C
Energi leveret fra jordslange uge 26 i 2010 til uge 26 i 2011	12124	8351	kWh
Energi leveret til jordslange uge 26 i 2010 til uge 26 i 2011	3103	2119	kWh
Energi leveret fra jordslange netto uge 26 i 2010 til uge 26 i 2011	9021	6232	kWh
Energilevering fra jord 1. år	90,2	62,3	kWh/(m*år)
Slangeydelse i koldeste periode	4,0	3,79	kW ”døgn”
Slangeydelse i koldeste periode [W/m]	40	37,9	W/m”døgn”
Maximal slangeydelse vinter 2011 køretid 13h af 24h 52%	7,15		kW
Maximal slangeydelse vinter 2011 køretid 13h af 24h 52%	71,5		W/m
Middelbelastning for et år	1,03	0,71	W/(m*år)

Sammenfatning for måling af driften på varmepumpen:

Parameter	Resultat 1 år	Resultat 2 år	Enhed
Energi leveret fra varmepumpe uge 26 til uge 26	18107	12695	kWh
Energi leveret fra jordslange uge 26 til uge 26	9021	6232	kWh
Elforbrug varmepumpe incl. elpatron uge 26 til uge 26	5984	4344	kWh
Effektivitet for måleperioden SCOP _{målt} uge 26 til uge 26	3,02	2,92	-

Bilag 2: Forudsætninger for beregninger

VDI norm 4640 Thermische Nutzung des Untergrundes /1/ er benyttet som grundlag for dimensionering i den simple model. Her er benyttet grænseværdier for dimensioneringen, som dækker de fleste danske jordtyper, og værdierne er valgt til den sikre side.

For den detaljerede model er der opstillet en beregningsmodel, som er baseret på kendte algoritmer for beregning af lodrette jordslanger.

Middel brine temperatur udregnes ved hjælp af følgende ligning /2/

$$T_{brine} = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot k_{jord} \cdot H} \cdot \ln(t) + \left[\frac{Q}{H} \cdot \left(\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot k_{jord}} \cdot \left(\ln \left(\frac{4 \cdot \alpha}{r^2} \right) - \gamma \right) - R_b \right) + T_{start} \right]$$

hvor

$$\alpha = \frac{k_{jord}}{Cp_{jord}}$$

og borehulsmodstand /3/ udregnes ved ligning

$$R_b = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot k_g} \cdot \ln \left(\frac{D_b}{D_r \cdot \sqrt{n}} \right)$$