

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

D13-D15-D16 Eksempler og evaluering af systemdesign

+

GeoEnergi

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

Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrations Program (EUDP)

Theme: Energieffektivisering

Programme: EUDP 10-II

J.nr.: 64011-0003

Projekt start: 2011-03-01

Varighed: 3 years

D13-D15-D16 Eksempler og evaluering af systemdesign

Version: 0

Ansvarlig partner for denne leverance:

VIA UC



Leverance:	D 13 Eksempler og evaluering af installationstyper D 15 Eksempler på installationer D 16 Vejledning til systemdesign
Work package:	WP 5 Systemdesign og energibalance
Ansvarlig partner:	VIA UC
Dato:	08-09-2014

Authors		
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 energibalance, energilagring (opvarmning og afkøling) samt modellering af varme- og grundvandsstrømning.
- Opbygning af en database med resultater fra indsamling af eksisterende informationer, måleprogrammer og kortlægningsarbejde.
- Oplysnings- og informationsaktiviteter, offentlig webbaseret database, kursusmateriale til uddannelse og efteruddannelse, workshops og seminarer, tekniske vejledninger og forslag til udbygning af administrationsgrundlag.

Denne rapport udgør, hvad der i projektbeskrivelsen er benævnt D13 *Eksempler og evaluering af installationstyper*, D15 *Eksempler på typer af installationer* og D16 *Vejledning til systemdesign*.

INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1	INDLEDNING 5
2	SYSTEM KOMPONENTER 6
2.1	Rør og slanger i jorden 6
2.2	Brine 6
2.3	Varmepumpe 7
2.4	Tank til varmt vand 9
2.5	Husets varmesystem 9
2.6	Suppleringsvarme 9
2.7	Energiabsorber og varmelagring i jord 10
2.8	Måleinstrumenter til dokumentation af drift og effektivitet 11
3	EKSEMPLER PÅ SYSTEM DESIGN 13
3.1	Jordvarmeboringer uden lagring 13
3.2	Jordvarmeboringer med lagring 14
4	VEJLEDNING OG ANBEFALINGER VED SYSTEM DESIGN 19
5	REFERENCER 23

Leverance:	D 13 Eksempler og evaluering af installationstyper D 15 Eksempler på installationer D 16 Vejledning til systemdesign
Work package:	WP 5 Systemdesign og energibalance
Ansvarlig partner:	VIA UC
Dato:	08-09-2014

Authors		
Navn	Organisation	E-mail
Inga Sørensen	VIA UC	inga@viauc.dk

1 INDLEDNING

Som beskrevet i rapport D2 (Parametre ved design af jordvarmeanlæg), er der en række forhold der gør sig gældende ved et varmeanlæg baseret på lukkede jordvarmeboringer. Det er geologi, borearbejde, muligt samspil med andre energikilder, husets varmesystem mv. I rapporten her vil der blive bragt eksempler på og vurdering af forskellige installationstyper afsluttende med hvilke anbefalinger, der kan gives på baggrund af den nuværende viden. Rapporten udgør EUDP-projektets leverance D13 (Eksempler og evaluering af installationstyper), D15 (Eksempler på typer af installationer) og D16 (Vejledning til systemdesign).

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

Generelt består et jordvarmesystem minimum af følgende 5 komponenter:

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

Dertil kommer følgende komponenter, som jordvarmesystemet kan være udbygget med:

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

I det følgende afsnit (2.1 til 2.8) beskrives de forskellige komponenter mere detaljeret, hvorefter der gives eksempler på, hvordan de kan kobles sammen (afsnit 3). Endvidere er det forsøgt at evaluere de forskellige design ved at beskrive fordele og ulemper ved de viste eksempler. I afsnit 4 gives der herefter generelle anbefalinger til design, samt hvad man skal være opmærksom på ved planlægning af en installation med lukkede jordvarmeboringer.

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

2 SYSTEM KOMPONENTER

2.1 Rør og slanger i jorden

Rør og slanger i lukkede boringer omtales også som ”borehulssonder” eller BHE, der er en forkortelse for Borehole Heat Exchangers. Borehulssonderne skal opsamle energien fra jorden, og ved hjælp af brinen (den cirkulerende væske) føres energien hen til varmepumpen. Rør og slanger består af plastmaterialer, som det nærmere er gjort rede for i rapport D7 (Termiske egenskaber for materialer. Grout, rør og briner). I samme rapport (D7) beskrives også de forskellige udformninger som rørene kan have i borehullet (enkelt U, dobbelt U eller co-aksial). Diameteren på rørene er typisk i størrelsesordenen 20-40 mm – alt efter hvor meget plads der er i borehullet. Det er afgørende for varmeoptaget, at borehulssonderne har en god kontakt til den omgivende jord, hvilket opnås ved at nedpumpe forseglingsmateriale (grout) omkring rørene. Der er også set eksempler på, at forseglingsmateriale som pellets hældes ned i boringen ovenfra.

Borehullerne udføres i langt overvejende grad som lodrette boringer uden hældning, men de kan også være udformet som skrå boringer udgående fra en central brønd, som det nærmere er omtalt i afsnit 3.2.

Rør og slanger til opsamling af varme fra jorden kan også være indbygget i funderingspæle – i så fald benævnes de ”energipæle”. De er aktuelle, hvis der er tale om nybyggeri på jordlag af ringe bæreevne, hvor der af geotekniske årsager vælges pælefundering. Til trods for at energipælene typisk har ret korte længder sammenlignet med jordvarmeboringer, så kan de alligevel bidrage med et stort varmeoptag fra jorden, fordi de ofte etableres i et stort antal. Således er der under en udbygning af Rosborg Gymnasium i Vejle Å-dal banket ikke mindre end 199 energipæle ned i jorden under en 3.500 m² ny tilbygning (1).

Det er normalt borefirmaet, der i sammenhæng med borearbejdet placerer sonderne i borehullerne og skaber kontakt til den omgivende jord via en passende forsegling. Den videre rørforbindelse fra boringen og ind til varmepumpen udføres derimod typisk af den VVS'er, der har opgaven med at installere varmepumpen.

2.2 Brine

Væsken, der transporterer varmen fra jorden og ind til varmepumpen benævnes brine. Brinen består af vand tilsat frostvæske. Det er afgørende at kende blandingsforholdet mellem vand og frostvæske for at kunne anslå en varmfylde for brinen, idet denne størrelse bruges ved udregning af den energimængde, der optages fra jorden.

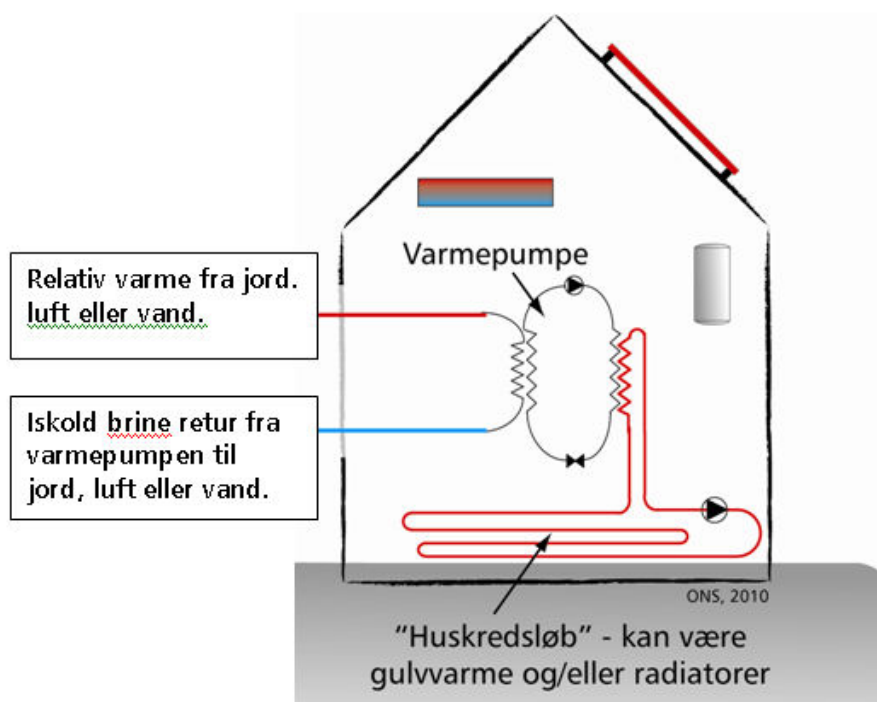
I EUDP-projektet er især anvendt IPA-sprit til frostsikring af brinen. Blandingsforholdet har været 1 del sprit og to dele vand. Ved at gå ind i datablade for de to stoffer, som IPAsprit er en blanding af (10 % Ethanol og 90 % Isopropanol) kan det udregnes, at en brine baseret på 1/3 del IPA-sprit medfører at væsken har en varmfylde på 3403 kJ/m³ K.

Varmefylden er vanskeligt at måle i praksis, og derfor er vurderinger af energimængder optaget fra jorden således baseret på ovenstående tabelopslag – og ud fra kendskab til blandingsforhold mellem vand og frostvæske. Dette blandingsforhold kan relativt let kontrolleres ved at måle væskens brydningsindeks med et refraktometer evt. suppleret med direkte måling af alkoholprocenten med et alkometer. VIA har foretaget forsøg med disse målinger og endvidere testet frysepunkt af forskellige blandingsforhold af vand og IPA-sprit. Forsøgene viste, at brine med blandingsforhold af IPA-sprit og vand i forholdet 1:4 har frysepunkt lavere end minus 20°C, hvilket var det laveste frysepunkt, der kunne testes med den fryser, der var til rådighed. Det kan

således konkluderes at brine, hvor 1/3 af væsken er IPA-sprit, vil have et noget lavere frysepunkt end minus 20°C.

2.3 Varmepumpe

Varmepumpens rolle i systemet er via brinen at transformere varme fra borehullet ud til husets radiatorer og/eller gulvvarmerør. Varmepumpen har sit eget kredsløb af et kølemiddel, der ved at passere to varmevekslere dels trækker varmen ud af brinen (ved at en ekspansionsventil får kølemidlet til at fordampe, så den bliver meget kold) og dels overfører varme til huskredsløbet (ved at en kompressor trykker luften sammen, hvorved kølemidlet bliver til en varm væske). Princippet er vist på figur 2.1.



Figur 2.1. Varmepumpens kredsløb er mellemlid mellem jordkredsløbet og huskredsløbet.

Varmepumper kan groft opdeles i følgende tre hovedtyper:

- luft til luft indtag af udeluft og opvarmning ved udblæsning af varm luft i huset
- luft til vand indtag af udeluft og opvarmning af vand til radiatorer og/eller gulvarme
- jord til vand indtag af varme fra jord og opvarmning af vand til radiatorer og/eller gulvarme

Varmepumpen fra jord til vand kan også være omtalt som en ”vand til vand” varmepumpe, idet varmen kan optages fra f.eks. en sø – eller oppumpet grundvand, i stedet for fra slanger placeret i jorden.

Der er mange forskellige varmepumper på markedet. Foreningen af Varmepumpefabrikanter i Danmark (VPF) har således 31 medlemmer – det er dog kun 21 af medlemmerne, der producerer varmepumper, der kan anvendes til jordvarme.

Energistyrelsen har udarbejdet en officiel *Varmepumpeliste*, der kan sorteres efter de tre typer *Jordvarme*, *Luft til vand*, og *Luft til luft*, (2). Listen omfatter i alt 23 forskellige producenter af varmepumper, der kan anvendes til jordvarme. Listen er opdelt, så man kan søge indenfor en

given kapacitet (angivet som ydelse i kW), se figur 2.2. Ydelsen er et udtryk for det varmebehov som pumpen skal dække og dermed den hastighed, hvormed pumpen skal kunne levere varmen. Jo større hus, jo mindre isolering og jo flere mennesker, der bruger varmt vand, desto højere ydelse skal varmepumpen have for at dække behovet.

Vælg	Produkt	Ydelse	Effektivitet
8 kW 9 kW 10 kW	Weishaupt Jordvarmepumpe Weishaupt WWPS 8 IDT	8,12 kW	5,54
<input checked="" type="checkbox"/> Jordvarme <input type="checkbox"/> Luft til vand <input type="checkbox"/> Luft til luft	Weishaupt Jordvarmepumpe Weishaupt WWPS 8 ID	8,12 kW	5,38
PRODUCENT <input checked="" type="checkbox"/> Vælg alle <input checked="" type="checkbox"/> Baxi <input checked="" type="checkbox"/> Bosch <input checked="" type="checkbox"/> CopMax <input checked="" type="checkbox"/> CTC <input checked="" type="checkbox"/> Danfoss <input checked="" type="checkbox"/> Dimplex <input checked="" type="checkbox"/> DVI <input checked="" type="checkbox"/> Heat Saver <input checked="" type="checkbox"/> IVT (SE, NO, FI)	Vaillant Jordvarmepumpe Vaillant VWS 101/3	10,89 kW	5,28

Figur 2.2. Del af Varmepumpelisten fra Energistyrelsen (2)

Generelt gælder at effektiviteten af en jordvarmepumpe afhænger af, hvor stor en forskel der er mellem temperaturen på den brine, der kommer ind til varmepumpen og så temperaturen på det vand, som varmepumpen skal opvarme. Des større forskel des mindre effektiv er varmepumpen.

På Energistyrelsens varmepumpeliste er der udover Ydelse også angivet Effektivitet, se figur 2.2. Her er varmepumpens effektivitet angivet ved en SCOP værdi, der er en forkortelse for **S**easonal **C**oefficient **O**f **P**erformance. SCOP beskriver således den gennemsnitlige årseffektivitet for varmepumpen dvs. hvor meget el i kWh varmepumpen bruger i drift i forhold til hvor meget varme målt som kWh, den leverer til huset. Jo højere SCOP, jo mere effektiv er pumpen. SCOP 4 betyder f.eks., at varmepumpen i gennemsnit over hele fyringssæsonen producerer 4 kWh, for hver kWh el, den bruger til drift.

For hver varmepumpe på ”Varmepumpelisten” kan man under ”Flere detaljer” bl.a. se, hvorledes den angivne ydelse og effektivitet er fremkommet. Der vil typisk være følgende tekst: *Varmepumpens ydelse og effektivitet er bekræftet af en akkrediteret testrapport. SCOP-værdien for denne varmepumpe er beregnet på baggrund af en akkrediteret test efter en ældre standard.*

Der findes en europæiske standard for, hvorledes SCOP-værdien skal beregnes (En14825). Energistyrelsen har på deres hjemmeside en teknisk rapport, der forklarer hvordan beregningen af SCOP skal udføres, dvs. ved hvilke temperaturintervaller varmepumpen skal afprøves og hvordan driftstiderne skal være (3).

2.4 Tank til varmt vand

I mange varmepumper vil en tank til varmt vand være indbygget i varmepumpens kabinet som en varmtvandsbeholder. Det er imidlertid relevant, at nævne tanken som en selvstændig komponent, fordi den også kan optræde som en selvstændig tank ofte benævnt ”systemtank”. Det er især en fordel at have en selvstændig tank af en vis størrelse, når anlægget også omfatter solfangere eller andre energiabsorbere, hvor det er relevant at have en stor lagerkapacitet, som det nærmere er omtalt i afsnit 3.2.

2.5 Husets varmesystem

Der er forskel på effektiviteten af systemet alt efter om varmepumpen leverer til radiatorer eller til gulvvarme, idet fremløbstemperaturen til radiatorer generelt er højere – typisk 55 til 60°C, sammenlignet med gulvvarme, hvor fremløbstemperaturen ligger i intervallet 35 til 40°C. Denne størrelsesorden af fremløbstemperaturer er nævnt i ”Den lille blå om Varmepumper” side 108, ref. (4).

Radiatorer findes i mange udgaver. Ved skift til en jordvarmebaseret varmepumpe kan det ofte være relevant også at skifte smalle radiatorer ud med brede modeller (med større overfladeareal), der passer bedre til en lavere fremløbstemperatur.

I en typisk varmepumpeinstallation vil fremløbstemperaturen været styret af en udendørs sensor, der registrerer udetemperaturen. Herudover kan fremløbstemperaturen også reguleres på varmepumpens display.

2.6 Suppleringsvarme

En varmepumpeinstallation med jordvarmeboringer dimensioneres typisk til lidt mindre end det beregnede maksimale varmetab, idet behovet på de meget kolde dage dækkes af suppleringsvarme i form af en el-patron indbygget i varmepumpen. Hvis varmepumpen dimensioneres til at skulle klare alle spidsbelastninger vil kompressoren det meste af tiden skulle køre kun med dellast, hvilket er en dårlig udnyttelse af varmepumpens kapacitet udover at det også vil betyde flere start-stop af pumpen, og dermed større slid på kompressoren.

Varmepumpens supplerende el-patron bruges også i forbindelse med varmtvandsbeholderens legionella funktion, dvs. den funktion der sikrer at tankens temperatur med jævne mellemrum kommer over 55 °C, således at legionella bakterier ikke kan trives. Et andet argument for, at et jordvarmesystem bør have suppleringsvarme, er den store forskel, der kan være på vinterens varmebehov. Denne forskel kan direkte måles i form af antal graddage, hvor der kan være helt op til 40 % forskel på en kold vinter og en mild vinter, se rapport D2 (Parametre ved design af jordvarmeanlæg).

Udover el-patronen som suppleringsvarme kan el-radiatorer og/eller brændeovn også være relevant som suppleringsvarme til at klare de kolde perioder. Gaskedler – eller endog fjernvarme - kan også være en mulighed.

Til slut skal nævnes at solfangere til produktion af varmt brugsvand også kan betragtes som suppleringsvarme, idet varmepumpen på denne måde aflastes. Solfangerne kan også anvendes i forbindelse med lagring af varme i jorden fra sommer til vinter, som det nærmere er omtalt i det følgende afsnit 2.7.

2.7 Energiabsorber og varmelagring i jord

Ordet ”Energiabsorber” er brugt allerede i 1980’erne af blandt andet Arne Vedel i Christiansfeld (5). Han har konstrueret et system, der absorberer energi ved at cirkulere frostvæske i et hegn af sorte plastrør, der optager varme fra udeluften, se figur 2.3. Arne Vedel brugte energien til at lagre varme i jorden i en energibrønd, som det nærmere vil blive beskrevet i afsnit 3.2 . se skitse i figur 2.4.



Figur 2.3. Energiabsorber i form af et hegn af sorte slanger. Foto til højre viser temperatursensoren ved basis, der styrer hvornår frostvæsken i slangerne skal cirkulere.

Energiabsorbere i form af solpaneler anvendes især til produktion af varmt brugsvand. At den producerede energi også kan lagres i jorden er noget relativt nyt, bortset fra at nogle ganske få ”nørder” efterprøvede ideen allerede i 1980’erne. Det gælder således Arne Vedels energibrønd (5) og Niels Jørgens Knudsens ”Solbrønd” (6). Arne Vedel installerede en halv snes energibrønde i 1980’erne efter samme princip, som det anlæg han installerede i sit eget hus, figur 2.5. I nogle tilfælde var energiabsorberen blot en sammenrullet plastslange placeret på taget af carporten.

Nutidens varmepumpeleverandører er også begyndt at oplyse om fordelene ved en ”energifanger”, som det kan ses af nedenstående annonce fra DVI.

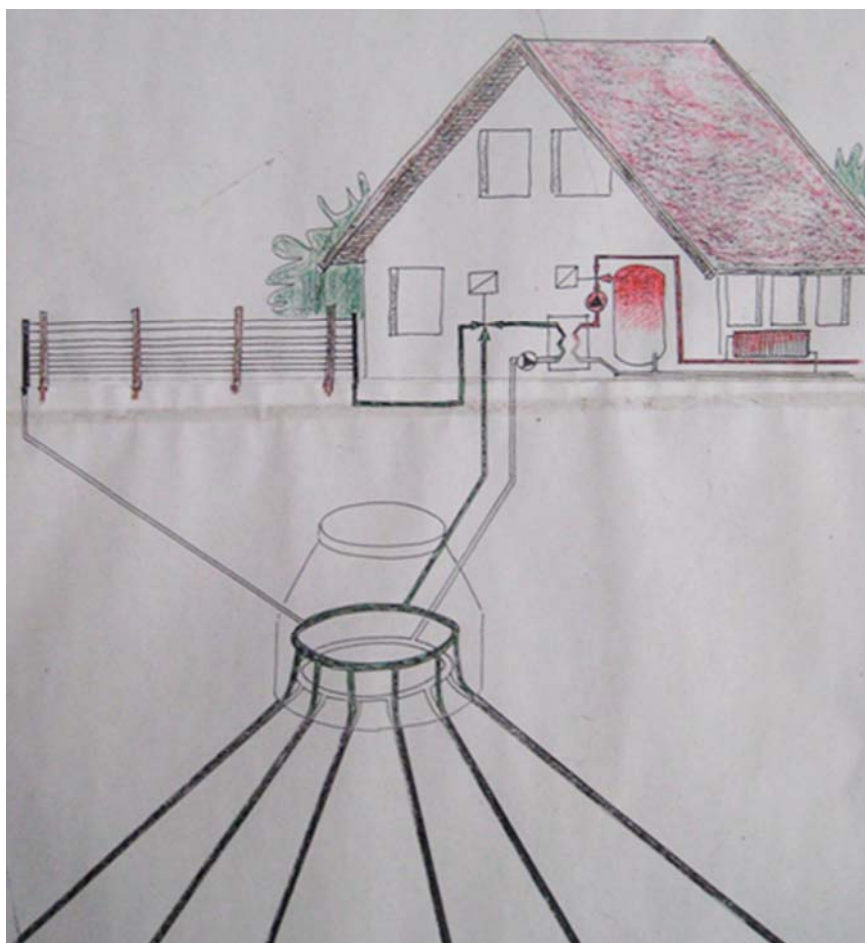


(7)Energifangeren reducerer jordslangelængden eller forbedre dit anlæg

Et smartere jordvarmeanlæg

Energifangeren optager energi fra udeluft i form af blæst, sol og regn og tilkobles et jordvarmeanlæg for at hæve temperaturen i jorden omkring jordslangerne. Dette betyder i praksis, at energifangeren ved et normalt dimensioneret jordvarmeanlæg hæver temperaturen på jordslangerne. Hermed opnås et lavere elforbrug til varmepumpen

Figur 2.4. Reklame for et jordvarmeanlæg med energiabsorber (7).



Figur 2.5. Arne Vedels egen skitse af den energibrønd han i 1982 installerede i sit hus i Christiansfeld. Energibrønden er stadig i brug, men varmepumpens kompressor er udskiftet en enkelt gang (5).

2.8 Måleinstrumenter til dokumentation af drift og effektivitet

Udover de syv ovenfor nævnte komponenter i et jordvarmesystem, er det valgt også at nævne måleinstrumenterne til dokumentation af driften som en selvstændig komponenttype. Installation af disse måleinstrumenter forsømmes ofte, idet der ikke er noget lovkrav om det, og det vil andet lige også fordyre anlægget. Tages der højde for det ved installation af varmepumpen, er det dog kun en meget beskednen merudgift disse instrumenter koster.

De relevante måleinstrumenter er

- Temperaturmåling af brine ind i varmepumpen og afkølet brine ud af varmepumpen
- Udendørs temperaturmåling
- Varmepumpens driftstid – dvs. hvor mange timer har den været i gang
- Flow af brine i jordkredsen (antal liter pr. tidsenhed)
- Selvstændig energimåler til registrering af systemets samlede elforbrug, (dvs. el til drift af kompressor, el-patron, jordkredspumpe, pumpen i huskredsløbet og evt. pumpe til lagring af varme.
- Selvstændig energimåler til registrering af varmeproduktion til huset og til varmt brugsvand.
- Selvstændig måling af el-patronens energiforbrug

Måleinstrument a), b) og c) vil normalt være indbygget i varmepumpen, medens de øvrige måleinstrumenter ikke i dag er standard ved installation af et jordvarmeanlæg. Den selvstændige energimåler til systemets elforbrug er nødvendig for at kunne skelne det fra husets øvrige elforbrug. Hvis der ikke monteres en sådan bimåler, vil elforbruget til varmepumpen blive registreret sammen med husets øvrige elforbrug. Herved bliver det meget vanskeligt at vurdere anlæggets virkningsgrad eller effektivitet, SCOP, som beskrevet i afsnit 2.3 om varmepumpen.

For at kunne beregne effektiviteten er det også nødvendigt at måle, hvor meget energi, der tilføres huset i form af rumopvarmning og varmt brugsvand. Det er således forbundet med en del usikkerhed, hvis varmemåleren vurderes alene ud fra husets teoretiske varmebehov og antal beboere. Opvarmningsbehovet er således meget styret af det varierende vejrlig (antal graddage) samt de forskellige krav til komfortvarme, som beboerne måtte have, og derfor er en måling af det faktiske forbrug nødvendig.

I udlejningsejendomme er det meget almindelig, at hver lejlighed eller beboelse er forsynet med en varmemåler til afregning af forbrug. Den samme tradition er der ikke i huse, hvor ejer og beboer er samme person, som det typisk er tilfældet ved jordvarmeboringer.

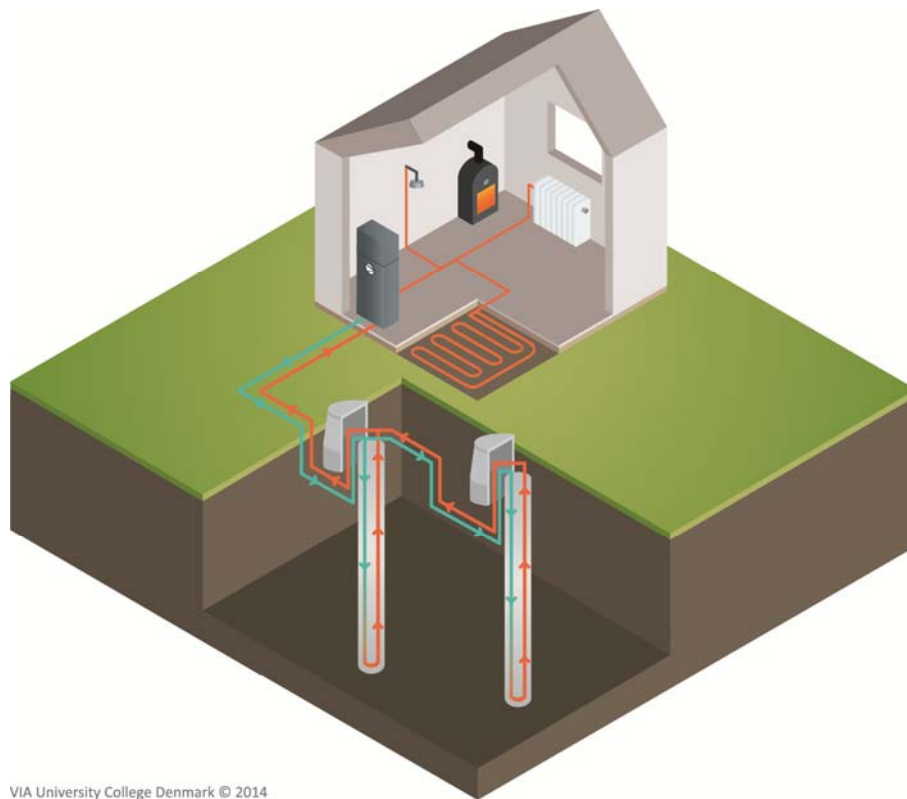
At det ikke er normalt at montere de to nødvendige måleinstrumenter, der er nødvendige til udregning af virkningsgraden, blev dokumenteret i den brugerundersøgelse, der i starten af projektperioden blev udført blandt ejere af jordvarmeboringer. Af de i alt 29 svar, der i 2012 kom tilbage på 100 udsendte spørgeskemaer, havde kun 5 af dem tilstrækkelig med oplysninger til at COP-værdien kunne beregnes – inkl. testlokaliteten Glud Kirkevej 48.

3 EKSEMPLER PÅ SYSTEM DESIGN

De forskellige komponenter, der er nævnt i afsnit 2 kan kombineres på mange forskellige måder – og der er således mange eksempler på systemdesign, hvor jordvarmeboringer indgår med input af energi. I nærværende afsnit 3 vil der blive præsenteret eksempler på design af installationer med kommentarer vedrørende driftserfaringer og vurdering af fordele og ulemper.

3.1 Jordvarmeboringer uden lagring

En traditionel installation, hvor et ældre hus har fået installeret lodret jordvarme kan se ud som skitseret på figur 3.1. Der er to borer tilkoblet en varmepumpe med indbygget varmtvandsbeholder. Huskredsløbet har radiatorer, men i forbindelse med renovering er der også indlagt gulvvarme i nogle af husets rum. Anlægget på Glud Kirkevej 48 er et eksempel på en sådan installation – dog uden brændeovn som suppleringsvarme.



VIA University College Denmark © 2014

Figur 3.1. Jordvarmeboringer med varmepumpe. Huskredsløbet består både af radiatorer og gulvvarme. Suppleringsvarme i form af en brændeovn.

Driftserfaringer fra anlægget på Glud Kirkevej viser en tilfredsstillende SCOP-værdi på 3,8 for de første 2½ år. Varmepumpen er indstillet således, at den slår fra, når den indgående brine temperatur er nede på minus 0,9 °C – og det har den været i kolde vinterperioder. I så tilfælde træder varmepumpens el-patron i funktion og leverer den nødvendige opvarmning til huskredsløbet. I disse kuldeperioder vil varmepumpens temperatursensor efter en lille henstand igen være over nul, hvorefter varmepumpen går i gang igen i en relativ kort periode indtil temperaturen igen falder til minus grader. På denne måde vil en vinterkuldeperiode kunne resultere i at varmepumpen tænder og slukker op til 6-8 gange indenfor en time.

Det kan diskuteres, hvorvidt det er nødvendig at indstille varmepumpen, så den slukker, når den indgående brine har minusgrader. Argumentet for at gøre det er, at de leraflejninger, som

borehulssonderne er omgivet af, formodentlig vil udvide sig ved frysning (pga. lerets relative store vandindhold). Dette kan medføre et u hensigtsmæssigt tryk på sonderne. Om dette tryk er til reel fare for sonderne er ikke afklaret. Et andet argument for ikke at lade den indgående brine temperatur blive for lav er, at varmepumpens virkningsgrad bliver mindre, des større forskellen er mellem indgående temperatur og den temperatur varmepumpen skal levere til huskredsløbet.

En fordel ved installationen på figur 3.1 er, at den er meget nemt at vedligeholde, idet udendørstemperaturen samt indstilling for ønsket temperatur i huskredsløbet styrer varmepumpens drift. At der både er radiatorer og gulvvarme i samme kredsløb kan betyde, at radiatorerne har svært ved at varme et rum op, fordi fremløbstemperaturen er for lav i forhold til deres overflade. Dette problem kan løses ved at skifte til en bredere model af radiatorer – alternativt skifte til gulvvarme, hvis det er muligt. En anden mulighed er suppleringsvarme i form af el-radiatorer.

De mange start-stop af varmepumpen i ekstra kolde perioder, når temperaturen på den indgående brine kommer under nul grader, må vurderes som en ulempe, fordi det alt andet lige vil nedsætte kompressorens levetid. Denne ulempe kan imidlertid imødegås ved at tilføre borehullet varme i sommerperioden, således at situationen med indkommende brine under nul grader evt. kan undgås.

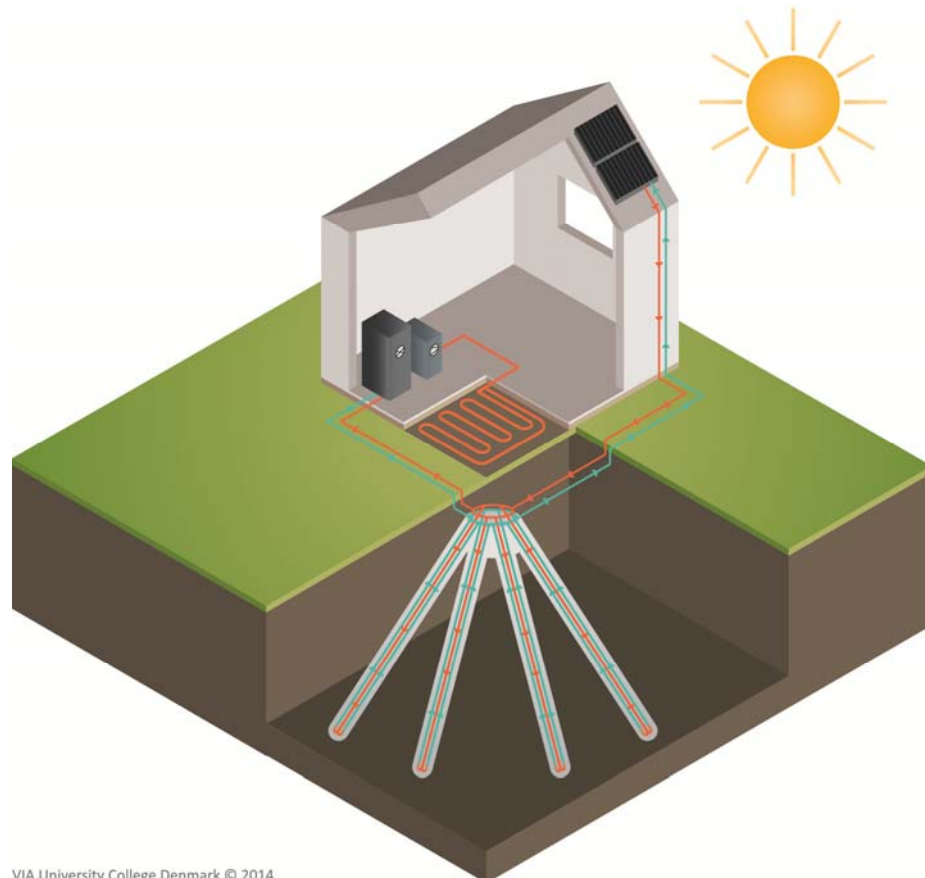
En generel usikkerhed ved jordvarmeboringer uden lagring (figur 3.1) er, at den varme der trækkes op af borehullerne måske ikke kan nå at blive erstattet af den naturlige tilstrømning af varme fra den omgivende jord – dvs. at den indgående brine-temperatur vil falde hen over årene, hvilket betyder at varmepumpen får en stadig lavere virkningsgrad.

3.2 Jordvarmeboringer med lagring

Når jordvarmeboringer skal kombineres med lagring af varme i jorden, sker det ofte ved, at der opsættes solfangere til opsamling af energien. Solfangerne er i kredsløb med en selvstændig tank, hvorfra varmen kan tilgå jordkredsløbet via en varmeveksler i tanken. Dette design er generelt skitseret på figur 3.2. Et eksempel på en installation af denne type, er ”solbrønden” i Hornsyld (beskrevet i rapport D14 (Design og installationer på testsite). Et andet eksempel på jordvarmeboringer med lagring er Arne Vedels ”energibrønd”, vist på figur 2.5.

Begge de to eksempler har skrå boringer gående ud fra en central brønd, i stedet for lodrette jordvarmeboringer. Argumenterne for den skrå udformning af boringerne er b.l.a. at det rent teknisk er mere rationelt at have borehulssonderne koncentreret i et fælles felt, når brinen skal samles og føres ind i huset til varmepumpen. Endvidere er det arealmæssigt besparende kun at skulle finde ét egnet borested i stedet for flere boresteder indenfor samme matrikel. De skrå boringer giver også mulighed for at udnytte varmen i jorden under husene, idet der bores skråt ind under dem. Endelig skal nævnes, at de relativ korte og skrå boringer set hos pionererne Arne Vedel (5) og Niels Kristian Knudsen (6) i 1980’erne også var begrundet i datidens boremetoder, hvor rørene blev spulet eller hamret ned i undergrunden.

En ulempe ved at samle for mange boringer i en fælles brønd er, at der sker en massiv påvirkning af de allerøverste meter jord, fordi borehulssonderne ligger så tæt. Det kan give sig udslag i, at jorden omkring sonderne meget let fryser til is om vinteren – og hvis der – f.eks. efter en nedbørsrig periode også har samlet sig vand i samlingsbrønden, kan det resultere i én stor isklump omkring brøndens installationer. Dette er set på testlokaliteten i Hornsyld i vinteren 2013.



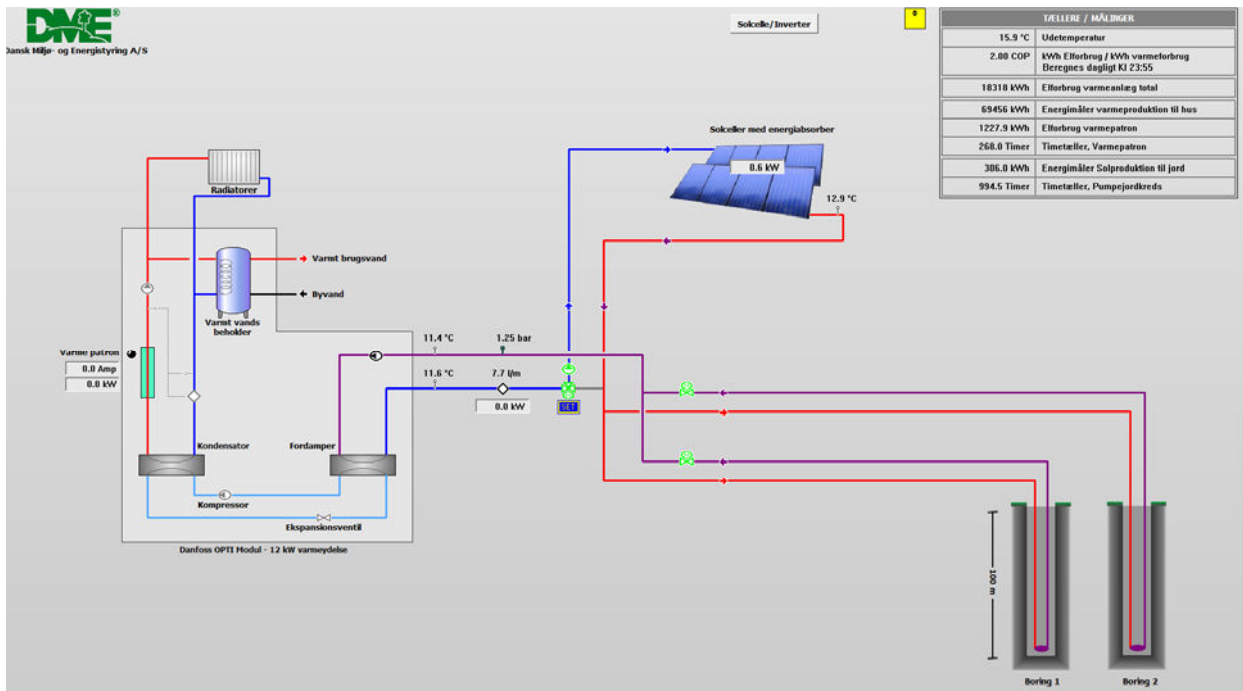
VIA University College Denmark © 2014

Figur 3.2. Skrå jordvarmeboringer tilsluttet varmepumpe, systemtank og solfangere på taget.

I Hornsyld bliver varmen fra solfangerne tilført jorden via en varmeveksler i systemtanken. I Arne Vedels energibrønd er det samme brine, der cirkulerer i jorden og i energiabsorberen (det flettede hegn). Når Arne Vedels varmepumpe går i gang træder en trevejsventil i funktion, der lukker kredsløbet til energiabsorberen, således at varmepumpen nu kommer i kredsløb med borerne, se figur 2.5.

Samme princip, hvor brine i energiabsorber er i direkte kredsløb med brine i borerne, ses også i den nuværende installation på Glud Kirkvej 48. Her blev jordkredsen i januar 2014 tilsluttet energiabsorber i form af et rørsystem monteret på bagsiden af 8 fritstående solceller, se skitse på figur 3.3. Varmepumpens behov har fortrinsret overfor lagringskredsløbet, der lukkes af ved hjælp af en trevejsventil, når varmepumpen starter. Når varmepumpen ikke kører er styringen således, at lagringskredsløbet går i gang såfremt en temperatursensor i brinerøret bag solcellerne er over et givet setpunkt.

Setpunktet afhænger af borehullets temperatur, idet lagringskredsløbet kun giver mening, såfremt der tilføres en højere temperatur til borehullet end der er i forvejen. Der er indtil videre manuel regulering af setpunktet, der i januar 2014 startede på nogle få grader, men som hen mod sensommeren er blevet reguleret op til 14 grader.

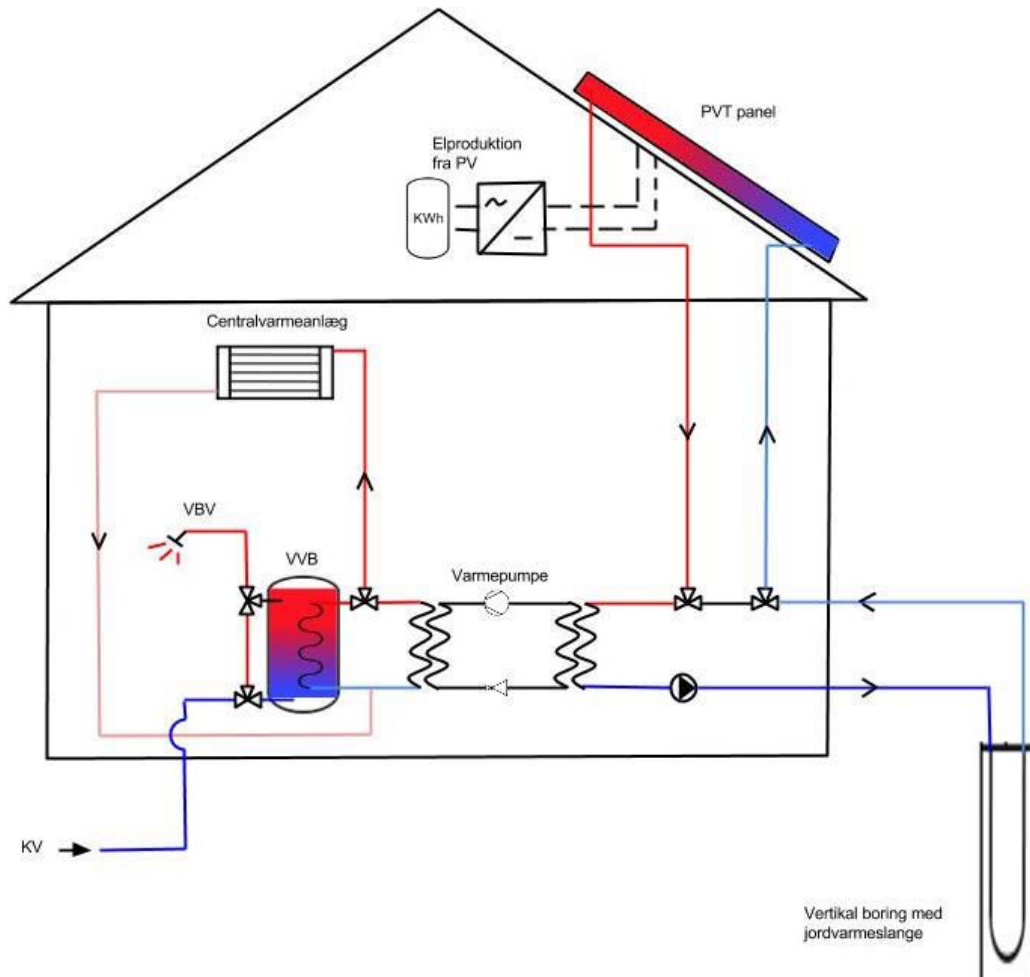


Figur 3.3. Lagringskredsløbet i drift på Glud Kirkevej 48. Fra energiabsorber til borerne er brine-temperaturen 12,9 °C, medens temperaturen op fra borerne er 11,4 °C, hvilket giver en effekt på 0,6 W. Figuren er et skærmpint fra 10-06-2014.

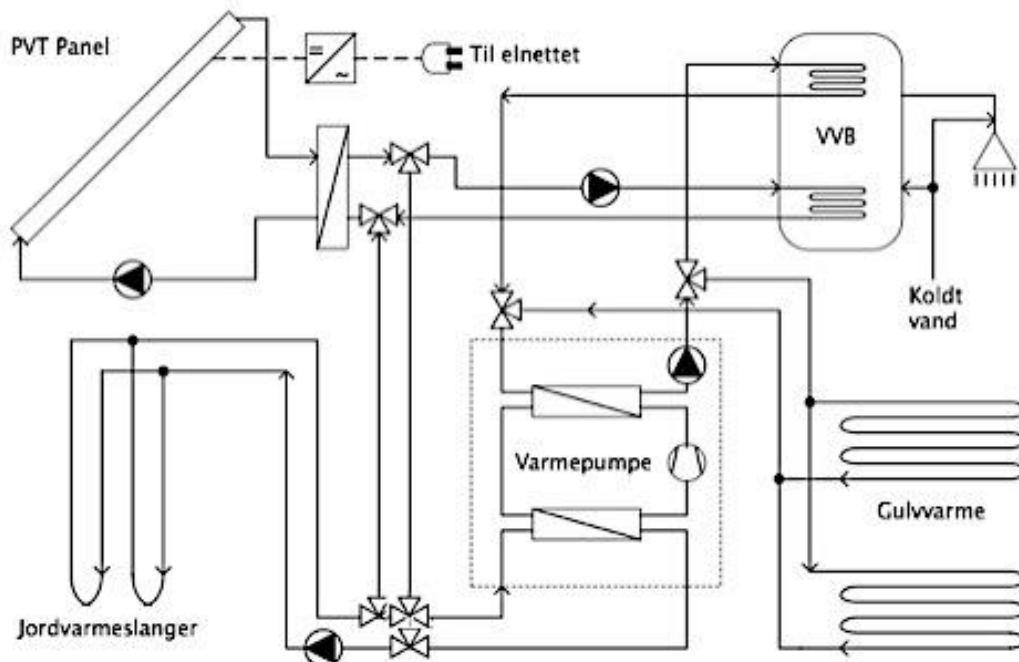
Den energimængde der tilføres borehullet ved en drift som skitseret på figur 3.3, skal naturligvis holdes op mod den energimængde, der forbruges af pumpen, der driver lagringskredsløbet. Situationen på figur 3.3 viser, at der siden januar 2014 og frem til 10-6-2014 er tilført jorden en energimængde på 306 kWh og den tilhørende jordkredspumpe har været i drift 994,5 timer. En samlet økonomisk betragtning af driften, vil blive opgjort senere.

Ideen med at opsamle energi på bagsiden af solceller og lagre varmen i jorden, er beskrevet i et bachelorprojekt fra DTU i foråret 2014 (8). Her benævnes de afkølede solceller ”PVT-paneler” (Photo-Voltaic-Thermal). De forskellige komponenter i systemet er vist på figur 3.4. Driften er her således, at brinen fra PVT-panelerne kun føres til varmepumpen, hvis temperaturen er højere end fremløbstemperaturen fra jorden. Designet i figur 3.4 adskiller sig fra anlægget i Glud (figur 3.2) ved at have to trevejsventiler, således at brinen fra jorden kan tempereres bag solcellerne før den tilgår varmepumpen. Glud anlægget har kun én trevejsventil, og derfor lukkes der helt af for solcellekredsen, når varmepumpen kører.

Designet med PVT-paneler kan optimeres, således at solvarmen fra PVT-panelerne også er med til at opvarme tanken til varmt brugsvand. På den måde vil der kunne spares energi til varmepumpen i sommerperioder, hvor der ikke er brug for rumopvarmning, men kun for varmt brugsvand. Princippet er vist på figur 3.5, hvor man ser de to varmevekslere i tanken med varmt brugsvand. Den nederste veksler varme med PVT-panelerne, medens den øverste veksler varme med varmepumpen, der skal producere det varme vand, når PVT-panelerne ikke kan levere den tilstrækkelige mængde energi. PVT panelerne er stadig forbundet med jordkredsløbet (som i figur 3.4), og dette kredsløb skal træde i kraft, hvis der er overskud af varme efter at varmtvandstanken er fuld opvarmet.



Figur 3.5. PVTpaneler i kredsløb med jordvarmeboringer. Kopi fra (8)



Figur 3.6. Optimeret PVT-jordkredsløb med varmeveksler i tank. Kopi fra (8).

Solbrønden i Hornsyld er i princippet designet efter lidt samme filosofi som figur 3.5, idet varmtvandsbeholderen også her kan opvarmes direkte af solpaneler. Til forskel fra figur 3.5, er anlægget i Hornsyld imidlertid designet således, at der ikke er mulighed for at brinen fra solpanelerne kan tilgå borerne direkte – der er en varmeveksler imellem, hvilket alt andet lige betyder, at der sker et varmetab.

Ideen at kombinere varmeoptag og elproduktion i de samme paneler – hybridsolceller – eller PVT-paneler som de er benævnt på figur 3.5 og 3.6 har generelt det dobbelte formål både at producere varmt vand, og også at optimere el-produktionen fra solcellerne. Produktion af varmt vand betyder tilgang af relativt koldt vand til erstatning af det varme. Det vil bevirke en afkøling af solcellerne, hvilket alt andet lige betyder øget el-produktion.

I solrige perioder vil der meget let opstå en overkapacitet af varmt vand fra solpaneler, såfremt der ikke er koblet jordvarmeboringer til systemet – dog afhængig af størrelsen på varmtvandsbeholderen (lagertanken), antal paneler og forbruget af varmt vand. For at kunne udnytte hele den producerede termiske energi fra solfangere – eller PVT-paneler – er det således en stor fordel at kunne lagre overskudskapaciteten i jorden ved hjælp af borehuller. Hvordan dette design kan være er illustreret på figur 3,5, hvor anlægget har følgende fordele

- Den måde varmen samles op på medvirker til øget produktion af el fra solcellerne.
- Varmepumpens driftstid minimeres, fordi den ikke skal producere varmt vand i de perioder, hvor der ikke er brug for rumopvarmning og hvor PVT-panelerne alene kan klare forsyningen af varmt brugsvand.
- Jorden tilføres varme, hvilket er med til at balancere varmeoptag og varmelagring.
- Der er mulighed for direkte forbindelse med jordkreds og energiabsorber uafhængig af varmeveksler.

Alt andet lige er systemer, hvor der kan lagres varme i borehullerne at foretrække, frem for de systemer, hvor der ikke lagres varme i jordvarmeboringerne. Det er dog ikke alle jordvarmeboringer, der er egnede til lagring. Hvis jordlagene består af permeable jordlag med strømmende grundvand, vil meget af den tilførte varme blive ført bort af grundvandet. Til gengæld nyder boringen godt af, at det strømmende grundvand tilfører systemet en hel del varme.

Ved større anlæg med flere jordvarmeboringer, kan det evt. være relevant at lagre i nogle af borerne, hvis andre borer er placeret nedstrøms til at ”samle varmen op”. Hvis der skal designes en sådant system kræver det en forudgående modellering af magasinforhold og det grundvandshydrauliske system, før det beslutes om der skal ske lagring af varme. Ved større anlæg kan det også overvejes, om borerne kan have forskellig længde, således at f.eks. nogle borer kun når ned til 20 meter (fordi der her kun er ler), og andre borer går ned til 60 meter omfattende et interval med vandførende sand. Et sådant design kræver en styring af de forskellige kredsløb, med passende placering af temperatursensorer og trevejsventiler, der kan åbne og lukkes ved hjælp af f.eks. et scadasystem. Det kan også være nødvendigt at de større anlæg er opbygget med flere varmepumper, for at tilgodese de hydrauliske udfordringer der er ved at have borer i forskellige længder.

4 VEJLEDNING OG ANBEFALINGER VED SYSTEM DESIGN

Et jordvarmeanlæg baseret på boringer skal altid designes, så det passer til stedets specifikke geologiske forhold og til det specifikke varmebehov, der skal dækkes. Eftersom disse forhold kan variere en hel del, vil der her kun blive givet generelle vejledninger og anbefalinger mht. design af systemet.

Økonomien er et andet spørgsmål, der gør det lidt vanskeligt at give detaljerede råd. Anlæg med jordvarmeboringer er generelt dyre i anskaffelse og billige i drift. De følgende råd og anbefalinger er koncentreret om de tekniske løsninger og den mest hensigtsmæssige drift. Hvorvidt det også er en god investering rent økonomisk, er ikke taget i betragtning, idet tilbagebetalingstiden for investeringen bl.a. er afhængig af nuværende udgifter til den varmeforsyning, der skal erstattes og af hvordan anlægsudgifterne kan finansieres.

Før der tages stilling til design af systemet skal der foretages en vurdering af myndighedsforhold for at afgøre f.eks. om jordvarmeboringer vil være i konflikt med vandindvinding. Endvidere skal de geologiske forhold vurderes, for at afgøre stedets forventede lagfølge og det lokale trykniveau af grundvandet.

Herefter kan anbefalingerne til systemdesign opdeles i følgende emner:

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

4.1 Vurdering af varmebehov

I rapport D2 (Parametre ved design af jordvarmeanlæg), blev der i afsnit 2.1 givet en introduktion til hvordan man kan opgøre en bygnings varmebehov. Det kan være varmetabsberegninger (tilgængelig især ved nye bygninger), tidligere forbrug (normalt tilgængelig ved eksisterende bygninger) eller brug af tabelopslag ud fra byggeår og bygningsareal.

Når varmebehovet er fastlagt, skal der skønnes en nødvendig max-effekt – dvs. hvor hurtigt skal varmen kunne produceres på den koldeste dag i året. Fordelingen af varmebehovet hen over året skal vurderes herunder hvad der kan blive det største behov på den koldeste dag. Denne vurdering kan f.eks. gøres ved opslag af graddage på nærmeste vejrstation ved hjælp af www.degreedays.dk. Der dimensioneres dog ikke helt efter at varmepumpen ved normal drift skal kunne klare den koldeste dag, men derimod sigtes der efter, at den ved normal drift skal kunne klare f.eks. 90 % af behovet på den koldeste dag, idet det resterende behov kan dækkes af varmepumpens indbyggede el-patron.

Ved valg af varmepumpens størrelse tilrådes det at tage hensyn til om der i bygningen er supplerende varme i form af brændeovn, el-radiatorer eller andre varmekilder. Endelig kan der ved dimensioneringen også tages i betragtning, om der indenfor de nærmeste år er planlagt renovering med yderligere isolering, såsom f.eks. nye gulve med gulvvarme til erstatning af et ældre gulv og radiatorer.

Når varmebehovet er beregnet eller skønnet, er næste skridt at vurdere det nødvendige antal boremetre ud fra de lokale geologiske forhold og kendskab til de forskellige jordlags varmeledningsevne. Denne vurdering kan foretages ud fra de oplysninger og værktøjer, der er givet i rapporterne D3 (Geologi og Jordvarmeboringer) samt D4 (Offentlig database med termiske jordartsparemetre).

4.2 Borehuller med eller uden lagring

For at afgøre om stedet er egnet til lagring af varme i jorden, er det nødvendigt at se på, hvor meget ler, der indgår i den forventede lagserie og ved samme lejlighed være opmærksom på, om der er indikationer på permeable lag med strømmende grundvand. Lerlag er egnet til lagring af varme – medens de permeable lag med grundvandsstrømning ikke er. Tørt sand er også anvendeligt til lagring.

Hvis der ikke haves boreoplysninger i forvejen fra den aktuelle lokalitet kan forhåndsvurderingen af den forventede jordlagfølge være behæftet med nogen usikkerhed, og det er derfor ikke altid, at det er muligt at forudsige om det er relevant med lagring – nogle gange kan det først afgøres, efter at den første boring på stedet er foretaget og man ud fra boreprøverne kan give en mere sikker vurdering af geologien. Ved større anlæg, hvor der skal indgå flere boringer, kan det være relevant at planlægge med forskellige boretyper og flere varmepumper, som det er beskrevet i slutningen af afsnit 3.2.

Den generelle anbefaling er, at hvis jordlagene er egnet til lagring, så skal der i planlægningen besluttes hvilken type energiabsorber, der skal indgå i systemet. Det kan være solfangere, bagsiden af solceller, en energifanger af sorte rør (figur 2.4) eller måske bare et flethejn af sorte plastslanger, som vist på figur 2.3. En varmekilde til lagring i borehuller kan også være overskudsvarme fra en stald eller et serverrum med EDB-udstyr, et rum med invertere til en solcellepark, overskudsvarme fra en industri eller den varme, der altid er et biprodukt fra køle- og frysediske.

Udnyttelse af industriens spildvarme og overskudsvarme i forbindelse med opvarmning har hidtil været hæmmet af afgiftsregler, der vanskeliggør en passende forrentning af den nødvendige investering. Lagring af overskudsvarmen i borehuller er derimod et nyt koncept, hvor der (såvidt vides) ikke er de samme restriktive afgiftsregler. Det er et meget lovende potentiale til udbygning af den vedvarende energi, og det kan derfor stærkt anbefales at selv små private jordvarmeanlæg med et begrænset antal boremetre designes til lagring såfremt jordlagene er gunstige til det.

4.3 Type af varmepumpe og tank

Efter at det er lagt fast, om systemet skal kunne lagre – eller ikke lagre – varme i jorden, kan der tages stilling til valg af varmepumpe. Hvis der skal lagres – eller der skal være mulighed for det senere – skal der vælges en varmepumpe med separat systemtank. Det kan her altid anbefales, at der vælges en rimelig stor systemtank med plads til to varmevekslere – den ene til veksling af varmt vand med varmepumpen, og den anden til veksling af varmt vand med solfangerne (eller PVT- paneler eller anden overskudsvarme). Systemet er skitseret på figur 3.6.

Hvis der ikke skal lagres varme i borehullerne – og der ikke indgår energiabsorbere eller andre varmekilder til supplerende opvarmning af varmt brugsvand, kan der vælges en varmepumpe med indbygget varmtvandsbeholder. Hvordan en sådan kan være opbygget ses f.eks. på figur 4.2 i rapport D14 (Design og installation på testsite).

4.4 Pladsforhold og kredsløb i huset

Rørforbindelse fra boring og ind til huset skal overvejes i planlægningsfasen. Ved nye huse er det meget enkelt at medtage rør til brine i den føringskanal, som indeholder de øvrige forsyningsledninger og rør. Ved ældre huse kan det være nødvendigt at håndgrave forbindelsen fra jordvarmeboring til hus for at få installationen af brinerør på plads, se figur 3.7.

I nye huse vil varmepumpe og evt. tank naturligt skulle være i teknikrum eller bryggers. Ved ældre huse vil varmepumpen ofte mest hensigtsmæssigt kunne placeres samme sted som det eksisterende varmeanlæg, den skal erstatte.

Forbindelsesrør med brine skal altid isoleres fra boring og frem til varmepumpe, for at forhindre at den kolde brine fra varmepumpen vil få omgivelserne til at fryse. Hvis der f.eks. er en våd jord ved under husets fundament, vil det kunne medføre sætningsskader på huset, hvis den våde jord fryser til is med deraf følgende udvidelse.

Husets varmesystem skal også vurderes i planlægningsfasen for at finde frem til en passende fremløbstemperatur. Store overflader, som der er i gulvvarme, er mest fordelagtig. Radiatorer er egnet, men der kan være rum, hvor deres overflade er for lille i forhold til rummets størrelse. Det er ikke et problem, hvis der er naturgasfyr, hvor fremløbstemperaturen let kan reguleres op til f.eks. 50-60 grader på en kold vinterdag. En jordvarmepumpe vil derimod typisk have en max fremløbstemperatur på f.eks. 45 grader, og derfor kræves en større overflade for at varme rummet op.



Figur 3.7 Det kan være nødvendigt at håndgrave forbindelsen fra jordvarmeboring til hus for at få installationen af brinerør på plads. På foto til højre ses hvorledes de isolerede rør kommer op i det rum, hvor varmepumpen skal placeres. Foto fra testlokaltet Glud Kirkevej 48.

4.5 Driftsbetingelser, styring og dokumentation

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

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

Nedenfor er anført nogle af de spørgsmål, som der skal besvares ved planlægningen af driften:

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

Hvis lagring med energiabsorber

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

Hvis systemet skal kunne lagre varme anbefales et design efter samme princip som i figur 3.6, der viser et system, der kan levere varmt brugsvand om sommeren. Det betyder at varmepumpen ikke behøver at være i gang udenfor fyringssæsonen. Samtidig er det muligt at udnytte hele kapaciteten fra PVT-panelerne, idet overskudsvarme (efter at varmtvandstanken er fyldt op) kan lagres i borehullerne og på den måde være med til at balancere vinterens varmeoptag fra jorden.

5 REFERENCER

- (1) Alberdi M. Information about energy piles at Rosborg. 2014.
- (2) Energistyrelsen. Varmepumpelisten. Available at:
<http://sparenergi.dk/forbruger/vaerktoejer/varmepumpelisten>. Accessed 25-08-2014, 2014.
- (3) Rasmussen P. Beregning af SCOP for varmeppumper efter En14825. 2011 31. dec. 2011(Teknisk rapport fra Energistyrelsen).
- (4) Jensen JB, Lindholm D. Den lille blå om Varmepumper. 1st ed.: Dansk Energi; 2011.
- (5) Vedel A. Skitser og andet skriftligt materiale om energibrønden udlånt til kopiering i 2011. 1982-1987.
- (6) Knudsen NK. Skitser og andet skriftligt materiale om solbrønden. 1981 til 2011.
- (7) DVI Dansk Varmepumpeindustri. **Energifanger**
Opnå et lavere elforbrug til varmepumpen med en energifanger. Available at:
<http://www.jordvarme.dk/privat/produkter/energifanger-til-jordvarme.html>. Accessed 09/01, 2014.
- (8) Christian V. Petersen. Udnyttelse af jordvarmepumpe koblet til PVT paneler med henblik på at øge energieffektiviteten. DTU Civil Engineering: Technical University of Denmark.; 2014.