
RAPPORT

DEPARTEMENTET FOR MILJØ OG NATUR

Qaqortoq/Narsaq forstudie

PROJEKTNUMMER 1250121000

HOVEDRAPPORT



2014-02-03, REV 2014-06-26

**SWECO ENVIRONMENT AB
MALMÖ GEOENERGI**



ERIK MOLIN

OG



CLAES REGANDER



GRANSKET AF OLOF ANDERSSON

Sammenfatning

Dette studie har vist, at det er teknisk muligt at bygge energieffektive fjeldvarme- og andre geoenergianlæg i det sydvestlige Grønland. I rapporten konstateres det, at indførelsen af teknikken skulle indebære et samfundsudbytte i form af mindsket olieimport og mindskede udslip af miljøskadelige stoffer. Hvor stort dette udbytte ville blive ved anvendelse af geoenergi kan kvantificeres, men det har ligget uden for studiets rammer.

Forudsætningerne for geoenergibenyttelsen på Grønlands sydvestkyst kan sammenlignes med dem i det nordlige Sverige.

Geoenergisystemer kan have en vigtig rolle i både Qaqortoq og Narsaq. Varmepumpeanlæg med vel valgte varmekilder bør kunne spille en stor rolle både i Narsaqs og Qaqortoqs varmforsyning i fremtiden.

Opvarmningen i dag baseres i en vis udstrækning på drift af elkedler, som foruden at påvirke el-nettet også trækker store mængder primærenergi. I rapporten diskuteres muligheden for at erstatte eller komplettere elkedler som bruges til at producere fjernvarme med varmepumper. Den på den måde frigjorte el-kapacitet ville mindske behovet for oliefyring, da perioderne med el-underskud ville blive kortere.

Generelt kan en større investering i geoenergi mindske behovet for udbygning af andre energikilder, såsom vandkraft. For at undersøge om dette er tilfældet i Sydvestgrønland kræves supplerende undersøgelser.

Med dagens el- og oliepriser er det formodentlig ikke økonomisk rentabelt at erstatte oliefyring med varmepumpesystemer for den enkelte boligejer. Men hvis elprisen skulle falde og/eller olieprisen stige, så ville det kunne blive profitabelt. Med dagens elpriser kræves en oliepris på omkring 7.400 DKK/m³ for "break even" for mindre varmepumpeanlæg (COP 3,5).

I de (sjældne) tilfælde hvor opvarmning i dag måtte ske med direkte virkende elradiatorer, bør det derimod være yderst økonomisk rentabelt at installere et fjeldvarmeanlæg.

Det er vigtigt at undersøge, hvilke muligheder der er for energieffektiviseringer i en ejendom, inden man installerer et fjeldvarmesystem. For det første er omkostningerne for en effektiviserings-indsats ofte lavere per sparet kWh end boring af et tilsvarende længde borehul. For det andet så bliver systemet ikke bare suboptimeret i økonomisk henseende, men også rent teknisk. Ved en energieffektiviserings-indsats mindsker man ofte også det maksimale effektbehov. Hvis man så allerede tidligere har installeret en varmepumpe, så er der stor risiko for at den er overdimensioneret efter effektiviserings-indsatsen. En overdimensioneret varmepumpe har tendens til at koble til/fra meget ofte, hvilket giver øget slitage og dermed en forkortet levetid.

Forsidebillede: Sweco (øverst til højre og nederst til venstre) og Kommune Kujalleq (øverst tv og nederst til højre)

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	1
2	Alment om geoenergi	1
2.1	Oversigt	1
2.2	Geoenergiens udvikling	3
2.3	Varmepumpen	4
2.4	Varmekilder	8
2.5	Sæsonlagring	13
3	Elektricitetens betydning	14
4	Geologiens betydning	14
4.1	Forskellige geologiske miljøer – forskellige typer af systemer	14
4.2	Grundfjeldets termiske egenskaber	15
4.3	Boring	17
5	Klimaets betydning	18
6	Mulige applikationer	20
6.1	Kombination med andre varmeproduktionssystemer	20
6.2	Opvarmning af drivhus	21
7	Økonomi	21
7.1	Investeringsomkostninger	21
7.2	Driftsomkostninger	22
7.3	Vedligeholdelsesomkostninger	22
7.4	Energipriser og varmefaktoren cop	22
8	Geoenergiens miljøeffekter	24
8.1	Udledninger	24
8.2	Termisk påvirkning	25
9	Merværdier med grønlandsk geoenergi	25
10	At indføre ny teknik – anbefalinger til myndighederne	26
10.1	Begynd med energieffektivisering	26
10.2	Stil krav til Boreprotokol / standard for brøndudførelse	26
10.3	Kræv registrering af varmepumper og saml Best practice	27
10.4	Beskyt grundvandet	27

10.5	Overvej investeringsstøtte	28
10.6	Ændre energifregningen	28
11	Referencer	28

Bilag

- Bilag A – Fysikken bag varmepumpen
- Bilag B – Eksempel på boreprotokol (på svensk)
- Bilag C – Boring af energibrønd, eksempler på udstyr
- Bilag D – Normbrunn 07 (på svensk)
- Ændringsblad med hensyn til ændringer i elpriser

1 Indledning

Formålet med rapporten er, at give et generelt billede af hvad geoenergi er, og præsentere nogle eksempler på hvordan teknologien skulle kunne implementeres i Qaqortoq og Narsaq.

Rapporten skal betragtes som en indledende orientering om emnet og er beregnet til at udgøre et underlag for både lægmand og teknikere i den fortsatte diskussion omkring vedvarende og bæredygtige energiløsninger i Grønland. Arbejdet præsenteres i tre dele:

1. Den hovedrapport som De læser nu.
2. To stedspecifikke studier; et for Narsaq og et for Qaqortoq. Det bør pointeres, at disse to delrapporter er meget generelle af natur. Der er ikke udført noget stedbesøg inden for opdraget. Der gennemføres sædvanligvis en forundersøgelse som inkluderer stedbesøg inden der træffes beslutning om at gennemføre et større geoenergi projekt.
3. Til hovedrapporten tilføjes også bilagene Fysikken bag varmepumpen, et forslag til boreprotokol, eksempler på udstyr i forbindelse boring af en energibrønd, samt den svenske borestandard "Normbrunn 07" (på svensk).

Da rapporten var skrevet færdig og leveret til Departementet til gennemlæsning blev der gennemført en betydelig ændring af elprisen. Det påvirkede i en vis grad en del af rapportens resultater og konklusioner. Dette drøftes i et nyskrevet ændringsblad.

2 Alment om geoenergi

2.1 Oversigt

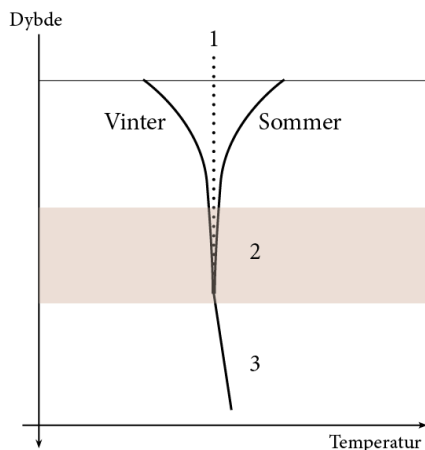
Geoenergi er et samlingsbegreb for en række teknikker som benytter den termiske energi som er lagret i jord, i overfladevand, i grundvand og i fjelde. Geoenergi kan bruges direkte til at producere kulde, eller via et varmepumpeanlæg til varmeproduktion. Den mest almindelige form for geoenergi er såkaldt fjeldvarme, hvor der hentes varme fra fjeldet. Geoenergi begrebet omfatter også aktiv lagring af termisk energi i grundfjeldet.

Uanset om man skal producere varme eller kulde, så udnytter man den termiske ressources temperatur. Jord- og overfladevandtemperaturen varierer med årstiderne, men cirka ti meter under jordoverfladen holder temperaturen sig i princippet konstant uanset årstiden (se markeret område i Figur 1). Den svarer da til (med en vis påvirkning fra f.eks. snedække) den årlige middeltemperatur ved jordoverfladen for det aktuelle sted. Trods bidende vinterkulde over jorden kan temperaturen være flere plusgrader på denne dybde. Til forskel for hvad mange tror, skyldes dette hovedsagligt ikke varme fra jordens varme kerne, men solindstrålingen.

Efter den konstante temperaturzone øger temperaturen i dybden med ca. 1-3 °C per 100 meter. Denne såkaldte geotermiske varmegradiant afhænger af varme som afgives fra jordens indre.

Geoenergi kan derfor siges at være hovedsaglig solenergi med et lille tilskud af naturlig kernekraft.

Geoenergi adskiller sig derfor fra geotermi, som omfatter teknikker til at udvinde geotermisk energi fra store dybder i fortrinsvis vulkansk aktive områder, som f.eks. i Island.



Figur 1. Skematisk skitse af temperaturen i jord og fjeld. 1. Årlig middeltemperatur 2. Zone med relativt konstant temperatur 3. Zone påvirket af geotermisk varmestrømning (geotermisk varmegradiant).

Middeltemperaturen i et 200 m dybt borehul i de aktuelle byer bedømmes til at være ca. 4 plusgrader (se videre i de stedspecifikke rapporter). Denne temperatur er tilstrækkelig til at fungere som varmekilde til en varmepumpe, som producerer varme og varmt vand (læs videre om varmepumper i kapitel 2.3).

Sø- eller andet overfladevand, som har endnu højere temperaturer om sommeren, er også yderst egnede varmekilder til varmepumpeanlæg (læs mere om forskellige varmekilder i kapitel 2.4).

Sammenfattende kan geoenergisystemer siges at have en række karakteristiske egenskaber:

- De kan i princippet opføres hvor som helst
- De bruger en lokalt forekommende naturlig, vedvarende ressource (temperaturen i fjeldet, søer eller grundvand)
- De sparer på ressourcer og sænker energiforbruget
- De kan med fordel kombineres med andre energiformer
- De muliggør sæsonlagring af varmeenergi

2.2 Geoenergiens udvikling

Som nævnt er varmepumpen en central komponent i de fleste geoenergisystemer. Den forædler en termisk ressource af lav kvalitet og omdanner den til en brugbar temperatur. Varmepumpens teori blev udviklet af Lord Kelvin allerede i midten af 1800-tallet, og den første varmepumpe blev allerede bygget nogle år senere. Det varede imidlertid til 1940-erne inden den første fjeldvarmepumpe blev konstrueret.

Det skulle vare yderligere nogle årtier til 1970-erne inden der virkelig kom gang i udviklingen. Sverige var tidligt med og forestod denne udvikling og er i dag et af de ledende lande med henblik på varmepumpefremstilling.

Anledningen til at Sverige kom med så tidligt er, at oliekrisen, som opstod i midten af 70-erne, ramte Sverige hårdere end mange andre industrilandene. Sverige manglede egne fossile energikilder, men havde samtidig en tung industri (først og fremmest papir- og stålindustrien) som forbrugte store mængder energi. Vandkraften var for en stor del udbygget, og energikrisen var et faktum. Den svenske stat satsede da store beløb på støtte til udvikling af forskellige alternative energikilder, bl.a. til varmepumper, både store pumper med effekter over 10 MW til indkobling på fjernvarmenettene og mindre varmepumper til opvarmning af enfamiliehuse (i størrelsesordenen 5-15 kW).

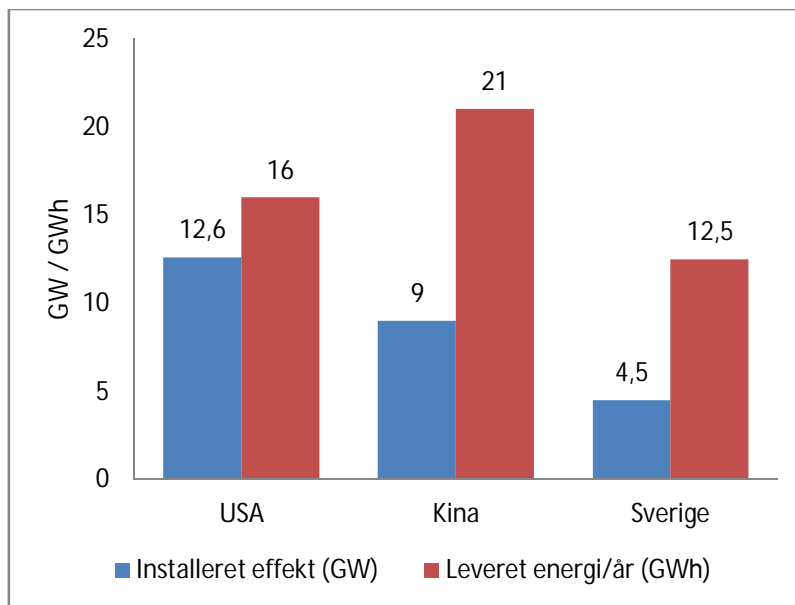
Energikrisen og behovet for nye alternativer, samt en massiv statsstøtte, førte til et tidligt "boom" for geoenergi i Sverige sidst i 70-erne og først i 80-erne. Opsvinget blev efterfulgt af en tilbagegang da olieprisen faldt, men der kom gang i det igen i lidt inde i 90-erne, denne gang uden statsstøtte.

Med stigende energipriser, mere effektive varmepumper og et, ud fra et geoenergisynspunkt, gunstigt klima (kolde vintre og relative varme somre), samt et generelt passende grundfjeld, blev det en rentabel investering for villaejere at skifte fra olie- eller el-opvarmning til fjeldvarme.

Indtil nu har over 400.000 villaejere installeret fjeldvarme. Yderligere flere hundred tusind har valgt luftvarmepumper, som har fordelen ved en billigere installation (ingen boreri behøves) men som også har den ulempe, at de ikke virker tilfredsstillende under strenge vintre.

I løbet af de sidste ca. 10 år er større geoenergisystemer blevet mere og mere almindeligt. Det handler da oftest om bygninger, som har behov for både komfortvarme om vinteren og komfortkøling om sommeren, f.eks. indkøbscentre, hoteller og kontorer. Som et eksempel kan det nævnes at de fleste nyere IKEA-varehuse i Sverige har geoenergianlæg.

Figur 2 giver en illustration af Sveriges særstilling med henblik på brug af geoenergi som energikilde. I USA køres anlæggene ofte på en lidt anderledes måde, hvilket kan ses i statistikken.



Figur 2. Brug af geoenergi i verden 2010, "Top tre"-listen. (John W. Lund, 2010)

2.3 Varmepumpen

En varmepumpe forædler en termisk ressource af lav kvalitet (f.eks. fjeld, hav, sø) til en ressource med en højere temperatur (opvarmning, varmt vand). I processen bruges elektriciteten hovedsagligt til mekanisk kompressionsarbejde i pumpen.

Varmepumpens store fordel er at den leverer store mængder varme med et relativt lille forbrug af elektricitet.

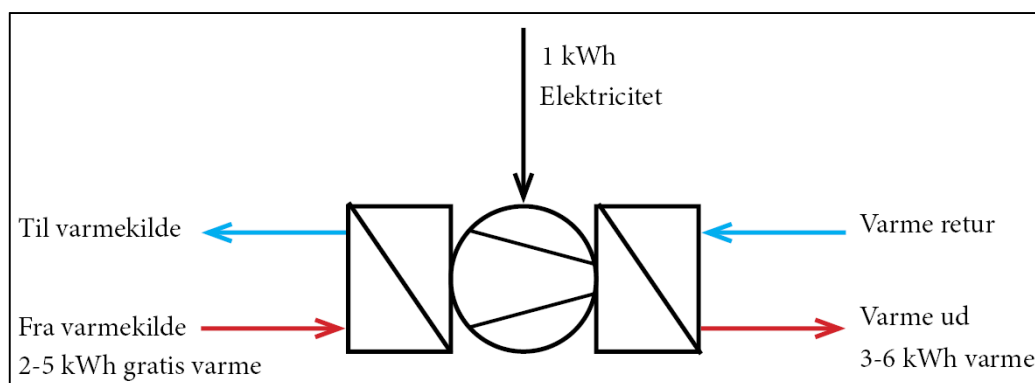
I Figur 3 nedenfor vises et systemprincip for et varmepumpesystem, hvor varme hentes fra en varmekilde, forædles og leveres. De mest almindelige varmekilder beskrives i afsnit 2.4.

Varmepumpen bliver mere effektiv jo varmere varmekilden er, og desto lavere afgivelsestemperaturen er. Forskellen imellem dem kan beskrives som "hævehøjden".

En varmepumpes effektivitet beskrives med termen COP, Coefficient Of Performance. For eksempel indebærer COP 4 at 1 kWh elektricitet giver 4 kWh varme. 3 kWh hentes da gratis fra varmekilden. Den el-energi som bruges omdannes også til varme.

Varmepumpeproducenterne plejer at angive COP på produktbladet til den aktuelle varmepumpe. Man skal huske at den angivne COP kun gælder ved optimal drift og med for pumpen optimale temperaturer på både fordampersiden og kondensatorsiden. Hvis man f.eks. har en lidt lavere temperatur på fordampersiden og en lidt højere på kondensatorsiden, så bliver pumpens COP lavere.

I større varmepumpeanlæg er systemets SPF vigtig. SPF betyder Seasonal Performance Factor og tager hensyn til flere faktorer udover varmepumpens faktiske COP, f.eks. cirkulationspumpers el-behov, tab over varmevekslere, osv.



Figur 3. Systemprincip. Varmepumpen bruger elektricitet til at hente lav-kvalitets varmeenergi fra en varmekilde og levere denne ved en højere temperatur.

Hvordan en varmepumpe virker fysisk, beskrives i Bilag A “Fysikken bag varmepumpen”.

Varmepumper fås i alle størrelser. Nedenfor vises eksempler på varmepumper i tre størrelsesklasser:

- Fritliggende enfamilieshuse
- Større ejendom
- Industri/fjernvarmeproduktion



Figur 4. Eksempel på varmepumpe til varme- og varmvandsproduktion i en villa, inklusive varmtvandsbeholder. Varmeeffekt ca. 5-15 kW. (Foto: NIBE)



Figur 5. Eksempel på varmepumpe til varmtvands- og varmeproduktion i en større ejendom. Varmeeffekt ca. 50-100 kW. Her placeres varmtvandsbeholderen eksternt. Mål ca. 1x1x1 m. (Foto: Carrier)



Figur 6. Varmepumpe til industrien eller fjernvarmeproduktion. Varmeeffekt ca. 500-2000 kW. Mål ca. 3x1x2 m. (Foto: Carrier)

Varmepumpefabrikanterne giver som regel forbrugerne en garanti mellem 3 og 10 år på produkterne. For større entrepriser styres garantier af aftaler, men 5 år er normalt.

Det mest almindelige større servicetiltag på varmepumper er udskiftning af kompressoren. Levetiden for en kompressor til en fjeldvarmepumpe kan anslås til 15-20 år. Blandt større varmepumper er dobbelte kompressorer almindelige, hvorfor driftsafbrydelser delvist kan undgås.

De fleste moderne varmepumper er udstyret med mulighed for driftsovervågning på afstand via internettet. Samtlige moderne styresystemer til ejendomme tilbyder samme mulighed.

Det muliggør drift, opfølgning og support fra erfarne entreprenører, selv fra udlandet. Sådanne aftaler er meget almindelige i Sverige.

Sammenfatning:

- En varmepumpe kan bruge mange forskellige energikilder (f.eks. energi lagret i fjelde og grundvand eller overfladevand) til at producere varme.
- En varmepumpe drives af elektricitet. Nødvendig tilført effekt svarer overslagsmæssigt til afgivet varmeeffekt divideret med COP.
- Generelt gælder det at jo lavere hævehøjde af temperaturen, desto mere effektivt arbejder varmepumpen.
- Sædvanligvis får man mellem 3-6 gange indsat el-energi ud som varme.
- Overvågning og driftssupport kan ske via internettet

2.4 Varmekilder

2.4.1 Luft

I Sverige er det meget almindeligt at bruge udendørsluften som varmekilde. Det virker godt ned til omkring -10 °C (med svenske elpriser) og er derfor mest almindeligt i de sydlige dele af landet.

Om vinteren falder luftvarmepumpens effektivitet og ved tilstrækkelig lave temperaturer (omkring -20 °C) slår den nødvendige afrimning driften helt ud.

Som følge af den ujævne varmekilde slides kompressorerne og de har derfor en levetid som oftest er 8-10 år. Desuden kræver luftvarmepumper typisk 100 % redundans i andre systemer, f.eks. elpatroner, især i kolde klimaer.

En interessant varmekilde til luftvarmepumper er bygningers luftafgang, i de tilfælde hvor den er samlet.

2.4.2 Fjeld

Den mest almindelige energikilde til geoenergisystemer udgøres af fjeldborede såkaldte energibrønde, sædvanligvis ca. 200 m dybe. I energibrønden installeres en kollektorslange, i hvilken en vand-ethanolblanding cirkuleres for at hente varme fra fjeldet. Ethanolen gør at brinevæsken ikke fryser selv om termisk energi udvindes ved minusgrader.

Kollektorslangen trækkes til en energicentral under et isolerende jorddække, hvis det forefindes, eller isoleres omhyggeligt. Anlægget berøres således ikke af udendørstemperaturen, men får en jævn temperatur at arbejde med. Det hjælper varmepumpen som dermed får en høj varmfaktor, selv i den kolde årstid, og en gunstig kompressordrift med en levetid sædvanligvis på mellem 15-20 år. Selve energibrønden har en næsten uendelig levetid.

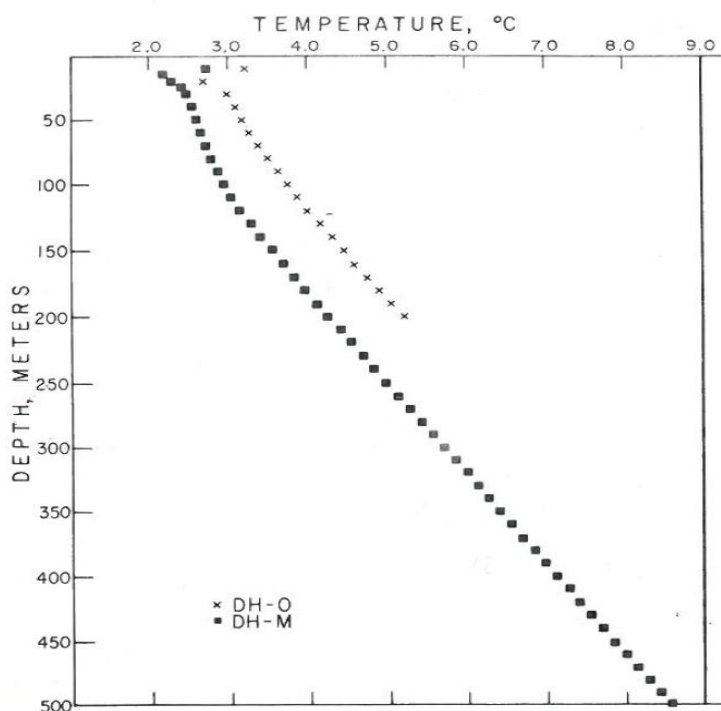
I anlæggets energicentral varmeveksles brinevæsken fra kollektorslangerne med varmepumpen. Vedligeholdelsesbehovet på brinekredsen er i princippet nul, da der ikke findes nogen bevægelige dele på denne kreds. Normalt set er varmeveksleren ensbetydende med varmepumpens fordamper, men fritstående pladevarmeveksler forekommer i de tilfælde hvor brinekredsen skal levere frikøling eller hvor genopladning af overskudsvarme skal kunne ske.

I Figur 7 nedenfor vises temperaturer i to dybe borehuller, som er boret i Ivittuut. Temperaturerne i normal maks. boreddybde (200 m) varierer her mellem 4-5 °C, hvilket giver en middeltemperatur i borehullerne på omkring 3-3,5 °C. Det er ganske tilstrækkeligt som varmekilde til at fjeldvarmesystem og er betydeligt bedre end udendørsluften om vinteren.

Hullængden varierer alt efter fjeldets termiske egenskaber og størrelsen af varmepumpen. I det sydlige Grønland bør en typisk hulddybde ligesom i Nordsverige være omkring 200 m. Effektafgivelsen er allerbedst i krystallinsk grundfjeld (f.eks. granit og

gnejs), oftest med ca. 30-40 W/m borehul. Man kan også forvente en effektafgivelse i denne størrelsesorden fra det grønlandske grundfjeld.

Såkaldte termiske respons tests (TRT) som er udført i Nuuk i 2010 bekræfter dette interval (Ekestubbe J, 2011). Læs mere om TRT nedenfor.



Figur 7. Temperatur i to borehuller ved Ivittuut. (J.H. Sass, 1972)

Fjeldvarme i forskellige skalaer

Fjeldvarmesystemer kan levere varme både til fritliggende enfamilieshuse, til større ejendomme eller til fjernvarmenet, se Figur 8. Ofte kræves der ikke mere end ét hul til et fritliggende enfamilieshus.

I de senere år er større fjeldvarmesystemer med flere borehuller blevet mere og mere almindeligt. I Sverige placeres borehullerne da med en mindste c/c- afstand på 20-30 m for at fjeldet skal kunne genopvarmes fuldt ud i sommerhalvåret. De svenske myndigheder stiller også den samme omtrentlige mindste c/c-afstand som krav i de områder, hvor individuelle fjeldvarmesystemer til enfamilieshuse er blevet meget almindelige. Med geologisk og klimatologisk viden kan denne mindste afstand også bestemmes for Grønland. Den bør dog være i samme størrelsesorden.

Til større ejendomme kobles flere borehuller sammen til en større enhed. De største systemer af denne slags i verden har flere hundrede borehuller og leverer flere MW

varme. Et eksempel på et stort system er Nya Karolinska Sjukhuset i Stockholm, hvor fjeldvarmesystemets 150 borehuller reducerer behovet for købt energi fra det nationale gennemsnit for store sygehuse på 260-280 kWh/(m²*år) til 160 kWh/(m²*år) – en reducereing på ca. 40 %.

I den senere tid er fjeldvarmebrønde også mere og mere begyndt at blive brugt til komfort- eller proceskøling, hvilket øger genopvarmningen af fjeldet. Systemer til både varme og køling kaldes borehullslager og kendetegnes ved at borehullerne ligger betydeligt nærmere hinanden, end hvis der kun udvindes varme. Anden “kunstig” genopvarmning er også mulig, f.eks. fra en spildvarmekilde eller anden tilgængelig varme.

Hvis der kun udvindes varme er energifaktoren (COP) for systemet normalt mellem 3 og 4. Hvis der også udvindes kulde, eller hvis varme aktivt genoplades bliver energifaktoren endnu lidt højere.



Figur 8. Fjeldvarmesystem for enfamilieshuse henholdsvis stor ejendom.

Anlæg af fjeldvarmesystem

Når et fjeldvarmesystem anlægges er det meget vigtigt først at undersøge fjeldet omhyggeligt. Informationen på geologiske kort er tilstrækkelig til at kunne give et overskueligt billede, men for bedre at kunne dimensionere større systemer er det nødvendigt at udføre en såkaldt termisk respons test (“TRT-test”). Ved en TRT-test bores et hul, hvorefter fjeldets termiske egenskaber testes med specialudstyr. Udførelsen af TRT-tests for større systemer er standardprocedure i Sverige. Der blev også udført tre TRT-tests i Nuuk i 2010.



Figur 9. T.v. Boring af energibrønd til enfamilieshuse. T.h. Kollektor installeret i energibrønd.

Som det fremgår af Figur 9 kræves der ikke en speciel stor overflade for at anlægge en energibrønd. Kravet er hovedsagligt at have plads og adgang til en borerig på grunden eller en anden overflade nær huset. Det mindre behov for overfladeplads gør at fjeldvarmesystemer er egnede selv i tæt bebyggelse. Der er til og med svenske eksempler, hvor borehullerne ved nybyggeri er placeret under en bygnings fundament. Energibrønden behøver normalt ikke at være tilgængelig efter færdiggørelsen.

Dimensionering af fjeldvarmeanlæg

Et fjeldvarmeanlæg dimensioneres sædvanligvis for at dække en basislast på 50-60 % af det aktuelle maksimale effektbehov. Varmepumpen vil da dække ca. 80-95 % af det årlige energibehov. Det resterende varmebehov, det såkaldte spidsbehov, som findes på de koldeste vintredage og vinternætter, kan f.eks. dækkes af en elpatron, en oliekedel, en gaskedel eller med fjernvarme, hvis det er tilgængeligt.

Årsagen til at man ikke dimensionerer et fjeldvarmeanlæg til at dække 100 % af effekt- og energibehovet er rent økonomisk, da installationsomkostningerne for borehul og varmepumpe er væsentlig højere per installeret kW end for en elpatron/elkedel eller en oliekedel.

Inden man dimensionerer et geoenergisystem til en eksisterende bygning eller et distributionssystem, kan det være profitabelt at undersøge om der er nogle energieffektiviseringsforanstaltninger der skal træffes, se videre kapitel 9.1.

Hvis man planlægger at bygge et geoenergianlæg i forbindelse med et nybyggeri, så er der al grund til at projektere for et lavtemperaturssystem på distributionssiden, se videre kapitel 7.4 og bilag A.

Radon og andre miljø- og sundhedsrisici

Som beskyttelse for nedtrængning af forureninger fra jorden, som vil kunne forurene grundvandet er der i Sverige regler, som siger at energibrønde skal have et beskyttende foret rør de øverste seks meter (standarden hedder Normbrunn 07 og kan ses i bilag D). Endvidere er låget til energibrønden altid helt tæt og kollektorerne hermetisk tillukkede. Det garanterer at beskyttelsen af grundvandet er tilgodeset.

I enkelte tilfælde kan det dog være nødvendigt at tætte fjeldvarmebrønde med injektion. I sådanne tilfælde handler det om, at der er risiko for at grundvandsmagasineringer fra forskellige niveauer skal forhindres i at blande sig med hinanden. Det kan også handle om en risiko for at salt grundvand strømmer op nedefra i dybt borede brønde.

De hermetisk tillukkede energibrønde medfører heller ikke nogen sundhedsrisiko. Eksempelvis kan gasser (eksempelvis radon) fra fjeldet eller fjeldets grundvand ikke trænge ind i kollektorslangerne eller op til jordoverfladen genne energibrønden.

Den eneste påvirkning som den cirkulerende brinevæske er udsat for, er den temperaturændring som opstår og som er en nødvendighed for den termiske udveksling med fjeldet.

2.4.3 Vand

Grundvand

Da grundvand som pumpes fra en dybde på 10 m eller mere har en konstant temperatur året rundt udgør det en ekstrem velegnet varmekilde til varmepumpedrift.

I Sverige er der mange eksempler på hvordan grundvandsmagasiner bruges som både varme- og kuldekilder. Et eksempel er Stockholm Arlanda Airport som baserer en stor del af sin varme- og kuldeforsyning på et grundvandsbaseret geoenergisystem. I systemet pumpes maksimalt 200 l/s mellem varme og kolde brønde årtidsvis, hvorved maksimalt 12 MW varme henholdsvis kulde tilføres lufthavnen.

Et krystallinsk fjeld har også grundvandforekomster i sprækkedannelser af forskellige slags. Netop en sådan vandføring bruges ret ofte i mindre svenske anlæg.

I sedimentære porøse bjergarter kan der være dybtliggende fossilt grundvand. Det er eksempelvis tilfældet i det sydvestlige hjørne af Sverige, hvor byen Lund med 100.000 indbyggere har et stort grundvandsbaseret anlæg. Her produceres 1/3 af fjernvarmen med varmepumper, som bruger fossilt grundvand som varmekilde. Borehullerne er så dybe (600 m) og geologien så beskaffen, at temperaturen i borehullerne ligger på ca. 20 °C. Anlægget har en effekt på 40 MW og har allerede siden starten af 1985 bidraget med 270 GWh varme årligt. Det grænser til hvad man strengt taget kan kalde geotermi, men systemet fungerer som et eksempel på i hvilken skala varmepumpesystemer er integreret i det svenska energisystem.

I Grønland kan der meget vel findes grundvand i grundfjeldets sprækker og udgør i sådanne tilfælde en potentiel meget velegnet varmekilde. Dette til trods for at temperaturen er temmelig lav (ca. 3-4 grader i en dybde på 150-200 m).

Sø- og havvand

Sø- eller havvand kan også bruges som varmekilde.

Värtaverket i Stockholm er med sine 260 MW et af verdens største varmpumpeanlæg. Der bruges solopvarmet havvand som varmekilde til varmpumper, som leverer fjernvarme i Stockholm.

I mindre anlæg kan kollektorslanger af samme type som bruges i fjeldborede brønde lægges på sø- eller havbunden.

Til forskel fra fjeldvarmesystemet kræver overfladevandsystemets "udendørs-del" en vis grad af vedligeholdelse, særligt hvis varmevekslingen sker direkte ved hjælp af vandet.

Samtidig med at is- og tidevand-forholdene i Grønland gør at installationer i havstokken formodentlig vil være svære at gennemføre, udgør indsøer og vandløb en potentiel meget interessant varmekilde, enten benyttet direkte med en varmpumpe eller som varmekilde til genoplading af energibrønde. Trods vanskelighederne bør havet også betragtes som en virkelig uendelig varmeressource. Vand indeholder meget energi: ingen andre praktisk brugbare stoffer kan holde på så meget varme. (Fortum.se, 2013)

Spildevand

Det er også almindeligt at udnytte den varme, som følger med spildevandet fra boliger, industrier og anden virksomhed.

Verdens største anlæg af den type blev taget i drift i 1986 i Stockholm og har siden da leveret varme som er tilstrækkeligt til 95.000 lejligheder. Alt efter årstiden og tidspunktet holder spildevandet der en temperatur på mellem 7 °C og 22 °C.

Ud fra et energibesparelsperspektiv er opvarmet spildevand at betragte som en virkelig vigtig ressource. I en grønlandsk kontekst bør det derfor være meget interessant at se nærmere på muligheder for at benytte denne energi – som ellers går helt til spilde. (Fortum.se, 2013)

2.5 Sæsonlagring

Med lagring kan man hente energi når den er tilgængelig, og gemme den til man behøver den.

Når brøndene i et fjeldvarmesystem placeres relativt tæt (c/c omkring 10 m og derunder) kan man få fjeldmassen til at lagre varmeenergi fra sommer til vinter, hvorfor et sådant system da kaldes et borehulslager.

I Emmaboda i Sverige er der netop blevet sat et højtemperaturlager (140 huller à 150 m) i drift. Ved at køle et støberi mod fjeldet, lagres store varmemængder i fjeldet ved høj temperatur (ca. 60 °C).

Målet er årligt at kunne lagre 3.800 MWh varme/år og genvinde hovedparten om vinteren ved 55-40 °C, kun ved hjælp af enkle cirkulationspumper med meget lavt energiforbrug.

Under grønlandske forhold ville et lignende højtemperaturlager egne sig godt hvor f.eks. et el-overskud på visse tidspunkter konverteres til varme, lagres i fjeldet for derefter at genvindes, når der er mangel på el. Anden varme, f.eks. solvarme eller spildvarme, kan også udnyttes på denne måde. Det grønlandske grundfjeld er velegnet til dette.

Det er helt klart, at sæsonlagring af høj eller middelhøj temperatur burde være principielt meget interessant under grønlandske forhold. Selv lagring af lavere temperaturer, som f.eks. sommerens overfladevandtemperatur, ville virke godt i et bæredygtigt energisystem.

3 Elektricitetens betydning

Varmepumpesystemer drives af elektricitet – hvor meget el der forbruges afhænger først og fremmest af COP i varmepumpen. Andet som påvirker i mindre udstrækning er det eventuelle distributionsnets cirkulationspumper samt overvågning af dette. Disse dele indgår dog uanset varmeproduktionsmåde.

I Sverige, hvor adgangen til el er meget god og dens miljøpræstation er høj bliver geoenergisystemernes konkurrencedygtighed derfor høj i forhold til alle andre energiformer, inklusive biobrændsel.

I andre lande, hvor elektriciteten enten er relativ dyr, adgangen til den er begrænset eller hvor den produceres med relativ miljøskadelige teknikker, er det vigtigere at gennemføre økonomiske og miljømæssige konsekvensanalyser.

En mere effektiv og miljømæssigt venligere brug af el ved hjælp af varmepumper baseret på geoenergiens mange varmekilder og systemer kan nemt udledes:

- Geoenergisystemer medfører generelt mellem 1/3 og 1/6 af indgående elektricitets miljøpåvirkning per leveret kWh varme
- Omkostningerne for el reduceres med mellem 2/3 og 5/6 sammenlignet med omkostningerne for direkte virkende varmeproduktion via elkedel.

Det kan derfor omgående indses, at direkte virkende el (radiatorer, elpatroner) altid er dyrere i drift og mere miljøbelastende end geoenergisystemer.

Under forhold hvor der er el-mangel er det også tydeligt, at en varmepumpe som giver 3-6 gange så meget varme per kWh el er en fremragende måde at spare eleffekt og elforbrug sammenlignet med direkte virkende el-løsninger. Det bør være af stor vigtighed for beslutningstagere i både Narsaq og i Qaqortoq at tage hensyn til ved energiplanlægningen både nu og for fremtiden.

4 Geologiens betydning

4.1 Forskellige geologiske miljøer – forskellige typer af systemer

Geoenergisystemer som udnytter jorden til udtag (eller lagring) af energi plejer at blive inddelt i to grupper.

Dem der bruger grundvand som energibærer og derfor er åbne til grundfjeldet eller jordlagene kaldes for "åbne systemer".

Den anden type kaldes for "lukkede systemer" hvor energiudvekslingen sker ved at en brinevæske cirkuleres i lukkede kollektorer. Kollektorslangerne kan som tidligere vist hente varme fra forskellige varmekilder.

Åbne systemer er afhængige af at der er en tilstrækkelig stor adgang til grundvand på stedet. Hvor det er muligt, vælges ofte et åbent system frem for et lukket, da de åbne systemer generelt er betydeligt mere omkostningseffektive end de lukkede.

Generelt er grundvandforholdene i Grønland ikke særligt godt undersøgt, sandsynligvis på grund af at der ikke har været noget behov for grundvand til vandforsyningsformål, da der er meget rent overfladevand til rådighed de fleste steder.

Større grundvandmagasiner (såkaldte akviferer) findes oftest i specielle geologiske miljøer, som f.eks. i sedimentære bjergarter og i iselvssedimenter. Sådanne miljøer findes i Grønland, og som et eksempel kan nævnes Schucherldalen med en mægtig iselvsaflejring (grus og sand), samt Jameson Land (sandsten) i Østgrønland. I de mere befolkningstætte dele af Grønland, f.eks. Nuuk-området og Qaqortoq/Narsaq-området, mangler der ifølge tilgængeligt kortmateriale sådanne geologiske miljøer.

Grundfjeldet i det sydlige og vestlige Grønland domineres af krystallinske bjergarter. Disse er i normale tilfælde stort set tætte, men i eventuelt forekommende større sprækkezoner kan grundvandføringen være betydelig.

Lukkede systemer, fjeldvarmeanlæg, kan rent boringteknisk i princippet anlægges hvor som helst. Det som kan udgøre en hindring er, hvis de overliggende jordlag er alt for tykke eller hvis grundfjeldet er dybt forvitret, noget som næppe kan forventes at forekomme i Grønland.

Der er store forskelle med hensyn til geologiske forhold, undersøgelsesmetodik, beregningsmetodik og dimensioneringsforudsætninger mellem åbne og lukkede systemer.

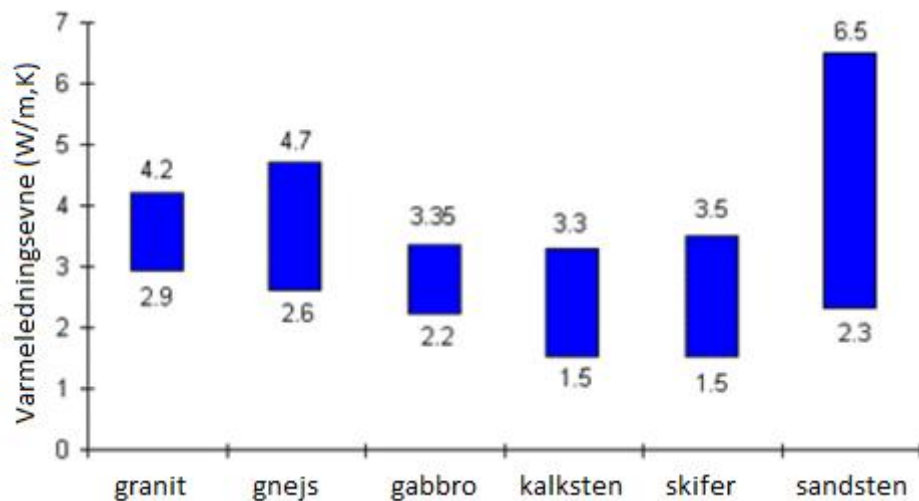
Da de almene geologiske forudsætninger for åbne systemer inden for de aktuelle områder i Grønland generelt er dårlige bliver disse ikke behandlet videre i rapporten.

4.2 Grundfjeldets termiske egenskaber

Alle bjergarter og mineraljorde består af mineraler. Der findes flere tusind kendte mineraler, men det er kun cirka tyve, som er så almindelige, at de kan siges at være bjergartsdannende.

Generelt er mineraler dårlige termiske ledere, de kan egentlig snarere betragtes som isolatorer. De fleste almindelige mineraler har en varmeledningsevne (termisk konduktivitet) omkring 1-3 W/(m*K), men kvarts udgør en undtagelse med lige under 8 W/(m*K). Det indebærer at bjergarter med højt kvartsindhold leder varme bedre end kvartsfattige bjergarter.

I Figur 10 nedenfor vises varmeledningsevnen i nogle almindeligt forekommende bjergarter. Af billedet fremgår det dels at den termiske konduktivitet varierer mellem forskellige bjergarter, men at der også er en betydelig variation inden for samme bjergart.



Figur 10. Varmeledningsevne i nogle almindelige bjergarter

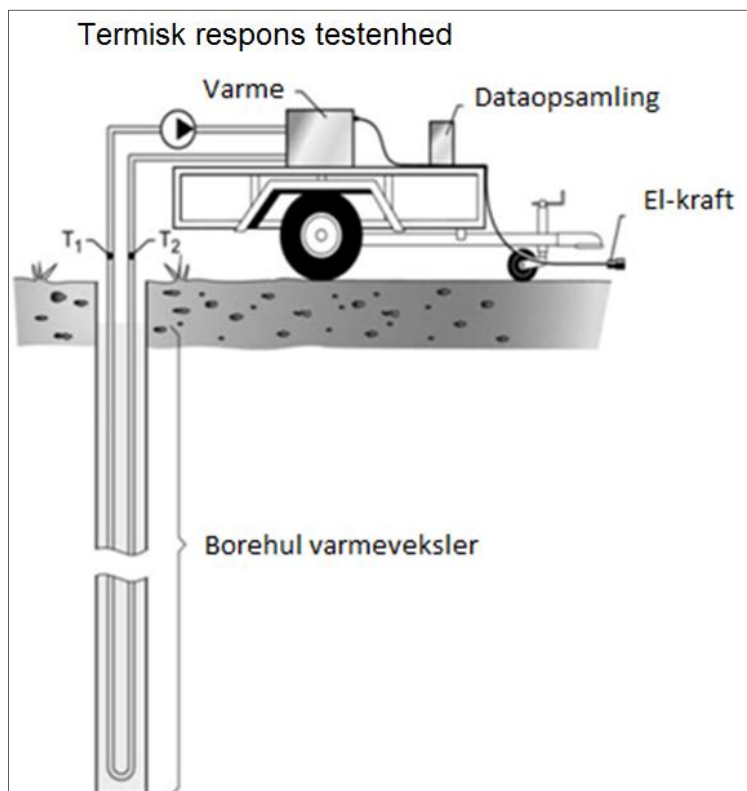
Grundfjeldets termiske konduktivitet er den styrende parameter for effektudtaget per meter i et borehul.

Jo højere varmeledningsevne, desto højere effekt er mulig at hente per meter borehul.

For at bestemme grundfjeldets termiske konduktivitet omkring et specifikt borehul kan der udføres en termisk respons test (TRT). Under testen tilføres varme til borehullet via brinevæsken som cirkuleres i kollektorslangen. Brinevæskens ind- og udgående temperatur måles kontinuerligt under testen. I Figur 11 nedenfor vises et principbillede af instrumentopsætningen til en respons test.

En anden vigtig termisk parameter er den *volumetriske varmekapacitet* som angiver en bjergarts evne til at afgive energi (per kubikmeter fjeld og grads temperaturændring).

Sammenfattende bedømmes forudsætningerne i det sydlige Grønland til at være generelt gode til at anlægge fjeldvarmesystemer, da grundfjeldet består af krystallinske bjergarter, hvilke ofte har en relativt høj varmeledningsevne.



Figur 11 Principiel instrumentopsætning til termisk respons test (Gehlin, 2002)

4.3 Boring

I Sverige udføres al energiboring i princippet med konventionel brøndboringsteknik. Det indebærer at et foret rør i stål drives ned gennem jordlagene og ca. 2 meter ned i fast grundfjeld, hvor det støbes fast med cement. Derefter bores hullet til den ønskede dybde med en trykluftdreven DTH-hammer (Down The Hole). Metoden kaldes ofte bare for "hammerboring" og er meget almindelig i f.eks. Sverige, Norge og Finland, da den er særlig egnet til at bruge hvor grundfjeldet består af krystallinske bjergarter og jordlagene er relativt tynde. I Danmark derimod, hvor geologien domineres af mægtige jordlag ovenpå et sedimentært grundfjeld, er andre boringmetoder mere almindelige.

Den maksimale boreddybde med hammerboringsteknikken er ca. 200 – 230 meter. Metoden er hurtig og omkostningseffektiv. Det tager kun ca. en arbejdsdag at bore et hul.

Når brønden er færdigboret og kollektorslangen installeret, lukkes hullet til med et tæt låg, og derefter dækkes borehullet til med jord/sand. Når installationen er klar, er der normalt

set ikke behov for vedligeholdelse af brønden. For yderligere information om boring af energibrønde, se bilagene C og D.

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) har udgivet en vejledning, Normbrunn 07, hvor det udførligt beskrives hvordan boringsarbejdet skal udføres på en korrekt måde for at minimere forskellige typer af risici, som f.eks. kontaminering af grundvand, termisk påvirkning mellem nærliggende brønde etc.

Store dele af den svenske Normbrunn 07 bedømmes også til at være passende til grønlandske forhold, og bør derfor kunne udgøre en god grund til udarbejdelsen af et grønlandsk sidestykke.

Normbrunn 07 vedlægges som PDF til denne rapport (Bilag D), men kan også downloades fra følgende adresse:

<http://resource.sgu.se/produkter/broschyler/normbrunn-07.pdf>

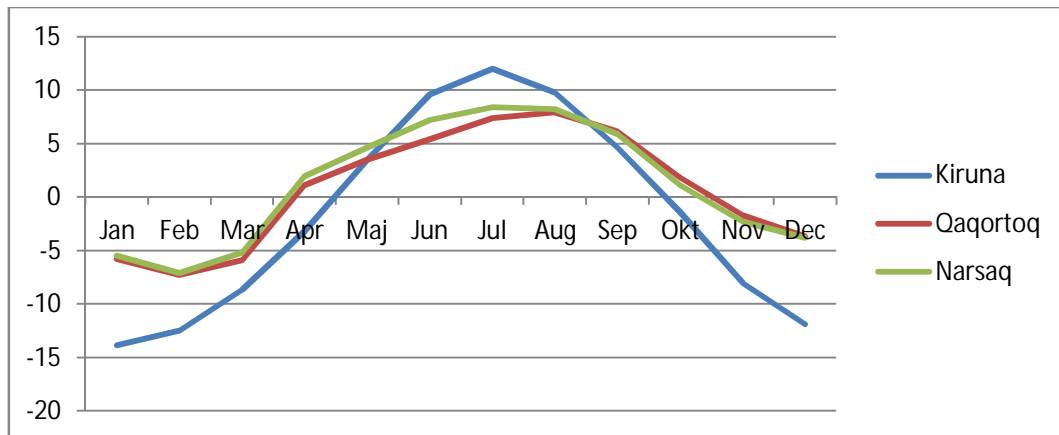
5 Klimaets betydning

Som tidligere vist holder fjeldet en årlig middeltemperatur på nogle ti-meters dybde hele året rundt. Ifølge Sveriges Hydrologiske og Meteorologiske Institut (SMHI) bør man dog tilføje ca. 1,5 °C per 100 dages snedække for at få middeltemperaturen i jorden.

Årlig middeltemperatur og snedække er derfor to af flere parametre som påvirker designet af geoenergisystemer.

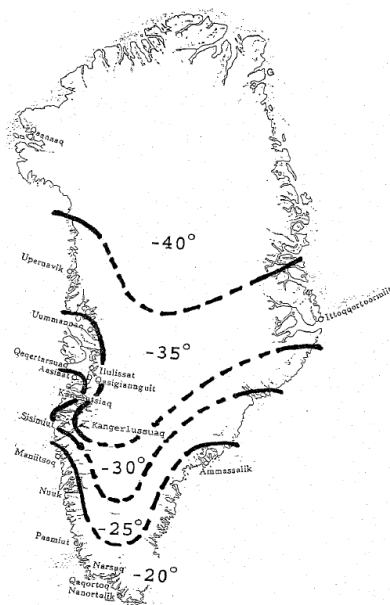
I Sverige er der fjeldvarmesystemer i drift i hele landet. Kirunas rumbase Esrange varmes f.eks. af 15 borehuller som via en varmepumpe leverer 120 kW varme. Det er tilstrækkeligt til at sørge for basens varmebehov helt ned til -35 °C (NIBE.se, 2014).

I Sveriges nordligste by Kiruna er den årlige middeltemperatur -1,7 °C, som kan sammenlignes med f.eks. Narsaqs +1,1 °C eller Qaqortoqs +0,7 °C, se Figur 12. I dette henseende er forudsætningerne altså bedre i begge de grønlandske byer end i Kiruna. Oplysninger om snedækning i Narsaq og Qaqortoq har vist sig at være meget dyre at fremskaffe, men det kan konstateres at de grønlandske klimatologiske forudsætninger (i Narsaq og Qaqortoq) for fjeldvarme i hvert tilfælde ikke bør være værre end de svenske.



Figur 12. Månedlige middeltemperaturer i Kiruna, Qaqortoq og Narsaq (BYG DTU, 2002), (SMHI.se, 2014)

En anden måde at beskrive klimaet for byggeri er den dimensionerende vinterudetemperatur (DVUT), for hvilken klimaskallen og energisystemerne skal kunne garantere et vist indendørsklima. I Figur 13 og Tabel 1 nedenfor fremlægges en række DVUT for svenske og grønlandske forhold, og eksempler på geoenergisystemer for hver svensk by.



Figur 13. Dimensionerende DVUT for Grønland. (DTU, 2004)

Tabel 1. DVUT i nogle svenske byer (Boverket, 2014) og lokale geoenergisystemer (NIBE.se 2014, Sweco)

By	DVUT	Eksempel på geoenergisystem	Effekt
Kiruna	-30,3 °C	Esrang rumbase	120 kW
Umeå	-24,5 °C	IKANO köpcenter	950 kW
Stockholm	-17,1 °C	Vällingby centrum	~2 500 kW

Ved dimensionering af fjeldvarmesystemet sørger man for at fjeldet ikke giver anledning til en koldere brinevæske end som lavest -2,5 °C til -3 °C som middeltemperatur.

Under denne middeltemperatur risikerer man frysning af borehullet, hvilket kan medføre skader på kollektorerne.

6 Mulige applikationer

6.1 Kombination med andre varmeproduktionssystemer

Ud fra et samfunds-planlægningsperspektiv er det vigtigt at se hvordan geoenergisystemer kan fungere i en større sammenhæng.

For fritliggende enfamiliehuse suppleres varmepumpens basisproduktion sædvanligvis med en el-spids f.eks. til varmt vand. Denne funktion er indbygget i de fleste villavarmepumper (se Figur 4).

Det er også muligt at beholde en del af sit ældre system netop til spidsbehovene. Et eksempel på varmeproduktionssystemer som fungerer godt sammen med geoenergi er:

- Elkedler
- Olie- og gaskedler
- Biobrændstofkedler

Fjernvarmeintegreret geoenergi er også almindeligt, først og fremmest til større bygninger, men også til hele områder (f.eks. bomessen Bo01 i Malmö).

Ved fjernvarmeproduktion kombineres varmepumpen ofte med f.eks. elkedel, oliekedel, gaskedel, træfliskedel eller affaldsforbrænding.

6.1.1 Varmepumper og el-varme

Et springende punkt er adgangen til elektricitet. Som denne rapport dog viser, giver et geoenergisystem 3-6 gange tilsat el-energi som varme.

Derfor er det under alle omstændigheder ud fra et energibesparelsperspektiv bedre at bruge varmepumper end el-varme.

Det er meget almindeligt at varmepumpeanlæg kompletteres med en elpatron, se videre kap 7.1.

6.1.2 Varmepumper og olie/gas

Olie- eller gaskedler er hurtige i starten og kan omgående levere høje temperaturer ved pludselig kulde. Samtidig er brændslet dyrt og kræver både en fungerende fragtkæde og lokalt lager, hver især med deres udfordringer. Desuden følger forureningerne (sod, partikler, svovl- og nitrogenoxider m.m.) i forbrændingens spor.

Olieforbruget kan dog blive reduceret med 80-90 % i kombination med en varmepumpe. Kun på særligt kolde dage eller perioder går olie- eller gaskedlen ind og tager topeffekter og "tilspidser" temperaturen i distributionen.

De miljømæssige fordele bliver tydelige i et sådant eksempel, hvor den fossile energianvendelse reduceres kraftigt. Hvor vidt det er rentabelt eller ej afhænger af de gældende energipriser.

Systemet bliver endvidere mere robust i den forstand, at den største energimængde leveres fra en lokal adgang (elektricitet + lagret solvarme i fjeldet), og en eventuel olietank behøver ikke at påfyldes så ofte.

Et varmepumpeanlæg og olie- eller gaskedel kan meget vel levere varme til et fælles net eller fungere sammen i samme ejendom.

6.2 Opvarmning af drivhus

Lagring af varmeenergi fra kilder, som kun er tilgængelige om sommeren, vil også kunne bruges som en meget omkostningseffektiv måde at opvarme drivhuse til lokal produktion af grønsager.

Sådanne systemer kan designes både med og uden varmepumper.

7 Økonomi

7.1 Investeringssomkostninger

Geoenergisystemer er investeringstunge. Sammenlignet med en el- eller oliekedel koster varmepumpeeffekt meget. Det er derfor geoenergi ofte tilspidset med varme fra sådanne systemer under effekttoppe.

Systemets tunge investering tjenes dog hjem på rimelig tid takket være de lave driftsomkostninger.

7.1.1 Fjeldvarme

Et fjeldvarmesystem anlagt i Sverige koster sædvanligvis 15.000-20.000 SEK/ kW, inklusive varmepumper, fjeldboring og rørlægninger.

Boring-omkostningerne udgør normalt cirka halvdelen af den totale investering.

Det omkostningsdrivende er jorddybden (hvor dybt under jordoverfladen fjeldet befinder sig) da jordlagene skal skærmes af med dyre stålrør. Jo mindre jorddybde, desto billigere boring.

Grønlandske forhold er nærmest optimale med hensyn til jorddybde. Den relativt lave temperatur i fjeldet gør dog at antallet af boringsmeter stiger i forhold til de mest optimale områder med store årstidsvariationer, men høj års-gennemsnitstemperatur.

7.1.2 Øvrige varmekilder

Systemer som udnytter f.eks. sø- eller spildevand som varmekilde viser sædvanligvis ca. 5.000 SEK/kW lavere investeringsomkostninger end fjeldvarmesystemer, men varierer ganske bredt afhængigt af lokale forudsætninger.

7.2 Driftsomkostninger

Generelt er driftsomkostningerne per kWh meget lave for geoenergisystemer. Varmekilden har dog en betydning for hvilken COP der opnås og hver grad på fordampersiden, se Bilag A, påvirker denne faktor med ca. 3 %. Tilsvarende på kondensatorsiden er ca. 1 %. De laveste driftsomkostninger fås altså for systemer med relativ høj temperatur på varmekilden og en lav på kondensatorsiden.

Det er på de lave driftsomkostninger at geoenergisystemets tunge investeringer kan tjenes hjem økonomisk.

7.3 Vedligeholdelsesomkostninger

For fjeldvarmesystemer gælder at borehuller og øvrige underjordiske dele kan betragtes som vedligeholdelsesfrie. Levetiden for disse er mindst 50 år. Afskrivningstiden plejer at blive sat til 40 år i Sverige.

De eneste vedligeholdelsesomkostninger for fjeld- og sø-varmesystemer er normalt set kun for varmepumpe og cirkulationspumpe. Standardiseret plejer man at regne med 6 % af investeringen i disse komponenter som årlig omkostning.

Den typiske levetid (afskrivningstid) for en varmepumpe med geoenergi som varmekilde er normalt 15-20 år.

7.4 Energipriser og varmefaktoren cop

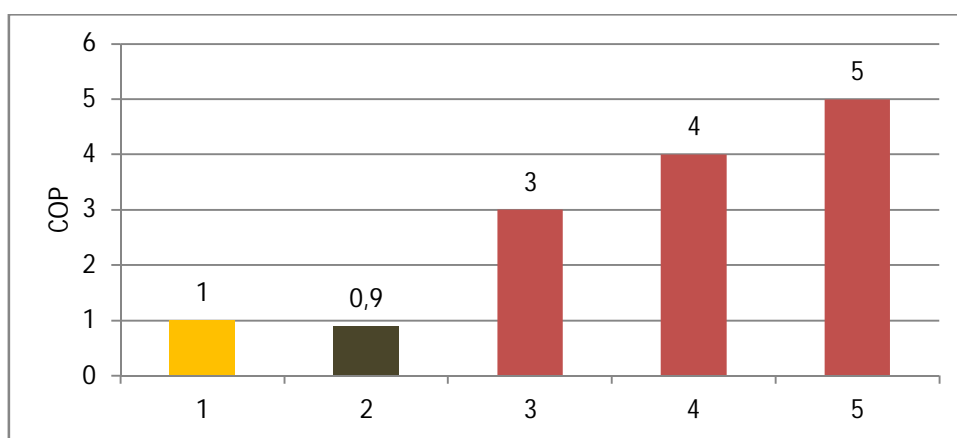
Varmefaktoren COP for varmepumpen afhænger, som vi har set, hovedsagligt af tre faktorer:

- Type af varmepumpe
- Varmekildens temperatur
- Afgivelsestemperatur i distributionssystemet.

Alle disse faktorer kan brugeren påvirke for at presse COP opad ved at

- Vælge en effektiv varmepumpe af et velkendt fabrikat,
- Designe borehullerne og deres placering ud fra lokale geologiske forhold samt et nøje overvejet effekt- og energibehov,

- Vælg et system med relativ lav afgivelsestemperatur.
- Typiske værdier for varmfaktoren COP præsenteres i Figur 14 nedenfor. I diagrammet fremgår det tydeligt at distributionstemperaturen har stor betydning for varmepumpens COP.
- Fjernvarmesystemer hvor opvarmningen sker med elkedler kan henføres til den gule søjle (1) i diagrammet. Sammenligningen er dog ikke helt korrekt, da den ikke tager hensyn til det energitab, som altid findes i et fjernvarmenet. På den anden side vil dette energitab blive det samme uanset om fjernvarmeproduktionen sker med elkedel, oliekedel eller varmepumpe.



Figur 14. Typisk COP for forskellige varmeproduktionssystemer. (1) Direkte virkende el-varme, (2) Fyringsolie, (3) Varmepumpe, højtemperatur (65 °C), (4) Varmepumpe, lavtemperatur (50 °C), (5) Varmepumpe med gulvvarme (40 °C)

Selv om høje værdier på COP er efterstræbelsesværdige, kan det være nyttigt at påminde sig selv om, at selv relativ lave COP indebærer store økonomiske fordele sammenlignet med ren el-drift.

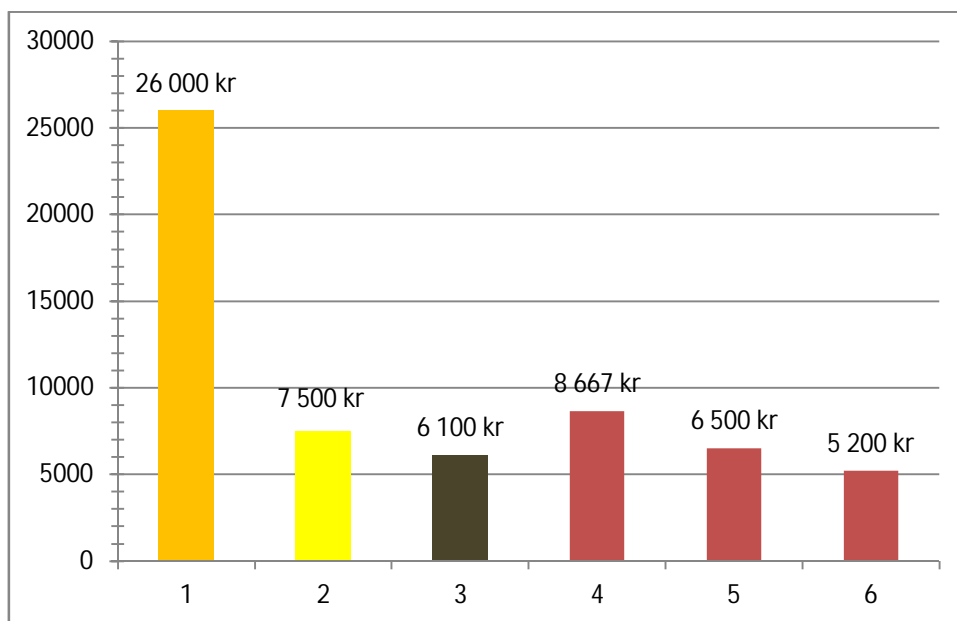
I Figur 15 nedenfor vises omkostningerne for at levere 10.000 kWh varme til en ejendom med en antaget elpris på 2,6 DKK/kWh og en oliepris på 6.100 DKK/m³ (Departementet for Miljø og Natur, 2014).

Virkningsgraden for direkte virkende el er sat til 100 %, og for oliekedlen til 90 %. Gamle oliekedler har en væsentlig lavere virkningsgrad, i blandt ned mod 50 %. Hvis der bruges ældre oliekedler får det altså stor indvirkning på beregningen (Energimyndigheden.se, 2014).

I Sverige er olieprisen højere (ca 8.900 DKK/m³) og elprisen lavere (ca 0,75-0,85 DKK/kWh) end i Grønland. Som tidligere nævnt har dette bidraget stærkt til den kraftige udbygning af varmepumpesystemer i Sverige.

Oliefyring medfører desuden åbenbare miljømæssige ulemper (sod, klimaudslip) og også risici ved håndtering og lagring af olien. Desuden varierer olieprisen kraftigt, for en stor del afhængigt af politisk instabile regioner i verden. Svenska Energimyndigheten peger

også på, at adgangen til olie kan blive usikker i fremtiden. På lang sigt er det tydeligt, at brugen af olie bør reduceres, både af miljømæssige og af økonomiske årsager. (Energimyndigheden.se, 2014)



Figur 15. Omkostninger for at levere 10.000 kWh varme med grønlandske energipriser. (1) Direkte virkende el-varme, (2) Afbrydelig el (3) Fyringsolie, (4) Varmepumpe, højtemperatur (65 °C), (5) Varmepumpe, lavtemperatur (50 °C), (6) Varmepumpe med gulvvarme (40 °C)

8 Geoenergiens miljøeffekter

8.1 Udledninger

Geoenergien som sådan er internationalt klasseret som vedvarende samt helt fri for udledninger til miljø og atmosfære. Det samme må formodes at gælde for den el, som produceres som vandkraft i Grønland.

I alle varmepumper indgår et såkaldt kølemedium, d.v.s. den gas som skiftevis komprimeres og ekspanderes i henhold til beskrivelsen i Bilag A. Der er mange varianter af kølemedier, hvoraf en del har drivhuseffekt, hvis de lækker. Det sker dog kun ved alvorlige fejl i anlægget og er desuden af så ringe mængde, at det ikke påvirker miljøpræstationen særligt. Der er også andre kølemedier, som ikke har drivhusegenskaber, og der er flere på vej ind på markedet.

For at klarlægge et geoenergisystems miljøpåvirkning i store træk kræves en analyse af indgående elektricitet og hvilken varmeenergi der erstattes. Hvis systemet f.eks. drives med vandkraft og erstatter oliefyring bliver miljøfordelene meget tydelige (omkring 300 kg CO₂/MWh) (SABO, 2014).

8.2 Termisk påvirkning

Varmekildens naturlige temperatur påvirkes af et varmeudtag. For fjeldvarmesystemer under Sydgrønlandske forhold er en temperatursænkning dybt i fjeldet på ca. 5 °C rimelig at forvente. Det termisk påvirkede område strækker sig i størrelsesordenen ti-femten meter fra brøndene.

Med hensyn til andre varmekilder (f.eks. overfladevand, spildevand) afhænger temperatursænkningen af effekt og udtagstider.

Indlagring af varme øger temperaturen i fjeldet. Det medfører varmetab som når jordoverfladen, og derfor kan påvirke jordtemperaturen i en vis grad. Jo højere indlagringstemperatur, desto større bliver tabet. Ved at sørge for et højtemperaturlager med overliggende isolering kan tabet dog minimeres.

9 Merværdier med grønlandsk geoenergi

For den enkelte energikonsument, f.eks. en husejer, er det den egne økonomi som styrer valget af opvarmningsmetode. Med dagens (efterår/vinter 2013) elpris er det tvivlsomt om det kan betale sig for husejeren at installere fjeldvarme i boligen. Men hvis elprisen skulle falde og/eller olieprisen stige, så ville det kunne blive profitabelt. Kort sagt så skal værdien af den el/olie man sparer i varmepumpens levetid (ca. 20 år) overstige omkostningerne for boringen og varmepumpeinstallationen. Erfaringer fra Sverige viser, at tilbagebetalingstider på 15 år ikke afskrækker, da varmepumpeinstallationen samtidig øger ejendommens værdi ved et eventuelt salg.

Hvis den enkelte husejer ville få mulighed for at drive sin varmepumpe med afbrydelig el, så ville det allerede i dag være en meget profitabel investering, men det forudsætter dels at denne el ikke brydes for ofte og i for lange perioder og dels at boring og kollektorinstallation ville kunne købes lokalt.

Ud fra et samfundsperspektiv kan der være store fordele ved at satse på at implementere geoenergiteknikken i Grønland.

Da der kun bruges lokale ressourcer mindskes afhængigheden af importeret brændsel. Dermed bliver økonomien også mindre følsom over for prisfluktuationer på internationale energimarkeder.

Teknikken giver et stort miljøudbytte i form af reduceret klimaudslip (CO₂), tilsodning, NO_x og SO_x, når den erstatter eksisterende oliefyring.

Indførelse af geoenergi-teknikken kan føre til besparelse af store mængder primærenergi i form af vandkraftsproduceret elektricitet. Særligt interessant er muligheden for at mindske brugen af el til de store elkedler, som bruges til at producere fjernvarme med afbrydelig el, dvs. det som hidtil blev betragtet som et overskud af el. Hvis en varmepumpe erstatter en stor elkedel, så vil det være længere inden der opstår et elunderskud. Det betyder, at en varmepumpe kan være i drift længere end en elkedel, hvilket naturligvis på sin side medfører at behovet for oliefyring mindskes.

Det indebærer også, at primærenergien kan bruges til andre formål end at producere varme, f.eks. til industrielle processer, ladning af eldrevne køretøjer, eller ganske enkelt mere husstands-el til flere husstande, når den bymæssige bebyggelse vokser.

Generelt kan en større investering i geoenergi mindske behovet for udbygning af andre energikilder, såsom vandkraft. For at undersøge om dette er tilfældet i Sydvestgrønland kræves supplerende undersøgelser.

10 At indføre ny teknik – anbefalinger til myndighederne

10.1 Begynd med energieffektivisering

Erfaringerne fra Sverige viser, at der er meget at gøre i eksisterende bebyggelse. For eksempel at installere varmegenvinding (hvor ventilationssystemerne tillader det) er oftest en meget omkostningseffektiv foranstaltning.

Energieffektivisering har i Sverige i mindst lige stor del også vist sig at handle om attituder og adfærd hos brugeren.

Der er to årsager til at det er ekstra vigtigt at undersøge, hvilke muligheder der er for energieffektiviseringer i en ejendom, inden man installerer et fjeldvarmesystem.

For det første er omkostningerne for en effektiviserings-indsats ofte lavere per sparet kWh end boring af et tilsvarende længde borehul.

For det andet så bliver systemet ikke bare suboptimeret i økonomisk henseende, men også rent teknisk. Ved en energieffektiviserings-indsats mindsker man ofte også det maksimale effektbehov. Hvis man så allerede tidligere har installeret en varmepumpe, så er der stor risiko for at den er overdimensioneret efter effektiviserings-indsatsen. En overdimensioneret varmepumpe har tendens til at koble til/fra meget ofte, hvilket giver øget slitage og dermed en forkortet levetid.

10.2 Stil krav til Boreprotokol / standard for brøndudførelse

I Sverige er der et lovkrav om at information fra brøndboringer sendes ind til Sveriges Geologiska Undersökning (SGU). Informationen sammensættes derefter i et brøndarkiv, som er tilgængeligt for offentligheden.

Informationen indsamles ved at entreprenøren, som udfører brøndboringen, udfylder de lovpligtige oplysninger på en blanket som sendes til SGU. Informationen gøres derefter tilgængelig for offentligheden ved tilgang på internettet via et brugervenligt geografisk informationssystem.

Fordelen ved denne fremgangsmåde er, at myndighederne får information, om hvor der opføres fjeldvarmeanlæg. Det kan være brugbart for at forhindre at der inden for et område etableres fjeldvarmeanlæg så tæt at nærliggende anlægs driftseffektivitet forringes. I brøndarkivet sammensættes der også information om yderligere geologiske formationer og grundvandforekomster. Det er information som ofte kan være brugbar ved kommende konstruktionsarbejder eller planlægning af udnyttelse af vandressourcer.

Inden for en fjeldvarmeekspansion anbefales derfor at de grønlandske myndigheder opbygger et brøndarkiv, som ligner det svenske, hvor brøndprotokoller opbevares og har søgemulighed. Her er GIS et udmærket værktøj.

10.3 Kræv registrering af varmepumper og saml Best practice

I Sverige er der pligt til at anmelde installation af varmepumper til den kommunale, lokale miljømyndighed. Der er dog ingen centralt samlet statistik, hvilket bl.a. har medført at der ikke findes nogle eksakte oplysninger om hvor meget energi der leveres fra geoenergianlæggene. Det er kun med historiske salgstal fra Svenska värmepumpsföreningen (SVEP) at størrelsen på vedvarende energi fra jord, fjeld og grundvand nu kan vurderes at nå op på ca. 10-12 TWh/år. Med et bedre krav om registrering af varmepumper ville der kunne dannes et tilfredsstillende statistisk underlag i Grønland.

En anden anbefaling kan være at udarbejde en såkaldt "best practice" for et grønlandsk fjeldvarmeanlæg. En måde at sprede informationen om de opnåede erfaringer kunne være via en speciel portal på internettet. Der er eksempler på både myndighedsejede og kommercielle portaler, men også portaler som vedligeholdes af forskellige interesseorganisationer.

I Sverige har SVEP en meget informativ portal med blandt andet en række faktablade som kan downloades. Hjemmesiden findes på www.svepinfo.se. En lignende grønlandsk portal ville være en betydelig hjælp for den enkelte forbruger.

10.4 Beskyt grundvandet

Efterhånden som der udføres borer som registreres i et brøndarkiv, vil billedet af grundvandsressourcen også blive mere detaljeret. I områder med rigelig grundvandstilgang kan det anbefales at denne tilgang beskyttes. I Sverige beskyttes grundvandindvindinger til drikkevand via et fastlagt beskyttelsesområde. Inden for disse områder er der forskellige restriktioner med hensyn til boring og visse typer af miljøfarlig virksomhed.

I Grønland bruges der generelt overfladevand til produktion af drikkevand. Men det bør tages i betragtning, at boring, pumpning og tilbageføring af grundvand inden for et område hvor der er jordforureninger indebærer en øget risiko for at disse forureninger spredes, hvilket eventuelt vil kunne medføre øget sundhedsrisici. Der bør derfor udvises stor forsigtighed ved boring i områder som er, eller mistænkes for at være, forurenede.

I Sverige er standarden Normbrunn 07 udarbejdet af SGU (Sveriges geologiska undersökning). Standarden beskriver udførelse af vand- og energibrønde. Dele af denne skulle kunne oversættes og bruges. Standarden, som vedlægges foreliggende rapport (Bilag D), findes også på <http://resource.sgu.se/produkter/broschyler/normbrunn-07.pdf>

10.5 Overvej investeringsstøtte

Hvis de grønlandske myndigheder ønsker at udfase olie til opvarmningssystemer (f.eks. af klimaårsager eller for at mindske afhængigheden af olieimport) også ved de gældende oliepriser bør en investeringsstøtte overvejes. Som rapporten viser, er det på nuværende tidspunkt ikke økonomisk rentabelt for private at erstatte oliekedler med geoenergiløsninger.

En sådan støtte ville eksempelvis kunne rettes til boring, til installation af varmepumper eller til en kombination. Hvordan en sådan støtte kan udformes og få tilknyttet betingelser, har været uden for rammerne af dette studie.

10.6 Ændre energifregningen

I ældre kollektive varmesystemer i Grønland afregnes ofte per areal (m²) og ikke per leveret energimængde. Det er Swecos mening, at en sådan energifregning vanskeliggør opfølgning og energieffektivisering. Ved en eventuel gennemgang af distribution og produktion bør et afregningssystem baseret på det faktiske forbrug (kWh) overvejes.

11 Referencer

DTU. (2004). *Beregning af bygningers varmebehov i Grønland*. DTU.

Boverket. (den 10 01 2014). *Boverket.se*. Hämtat från Boverket.se:
http://www.boverket.se/Global/Bygga_o_forvalta/Dokument/Bygg-och-konstruktionsregler/BBR_avsnitt_9/dvut_2009%201_4_dagar.pdf

BYG DTU. (2002). *Analysen til det nye grønlandske Bygningsreglement*.

Departementet for Miljø og Natur. (den 21 01 2014).

Ekestubbe J. (2011). *Nuuk, Advice and Guidance. Advice and guidance for procurement of ground source heat pump installations in Nuuk, Greenland*. Sweco.

Energimyndigheten.se. (den 14 01 2014). *Energimyndigheten.se*. Hämtat från Energimyndigheten.se: <http://www.energimyndigheten.se/Hushall/Din-uppvarmning/Olja/>

Fortum.se. (den 01 11 2013). Hämtat från https://www.fortum.se/countries/se/SiteCollectionDocuments/Vartaverket_anlaggningsblad_2010.pdf

Fortum.se. (den 01 11 2013). Hämtat från https://www.fortum.se/countries/se/SiteCollectionDocuments/anlaggningsblad_hamarby.pdf

Garde, A.A (2007). *Geological map of Greenland, 1:500 000, Sydgrønland, sheet 1. Second edition. Copenhagen: Geological Survey of Denmark and Greenland*.

Gehlin, S. (2002). *Thermal Response Test*.

Sass J.H., m.fl. (1972). *Heat flow and surface radioactivity at two sites in South Greenland*. Copenhagen: Grønlands geologiske undersøgelse.

John W. Lund, D. H. (2010). Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review. *Proceedings World Geothermal Congress 2010*, (s. 2). Bali, Indonesia.

NIBE.se. (den 09 01 2014). Hämtat från NIBE.se:
<http://www.nibe.se/Produkter/Bergvarmepumpar/Referenser/Referenser/Bergvarme-pa-rymdbas-i-35-C/>

SABO. (den 22 01 2014). SABO.se. Hämtat från SABO.se:
http://www.sabo.se/aktuellt/nyheter_s/2012/jan/Documents/Resultat%20Sk%C3%A5neinitiativet%202007-2010.pdf

SMHI.se. (den 09 01 2014). Hämtat från SMHI.se:
http://data.smhi.se/met/climate/time_series/month_year/normal_1961_1990/SMHI_month_year_normal_61_90_temperature_celsius.txt