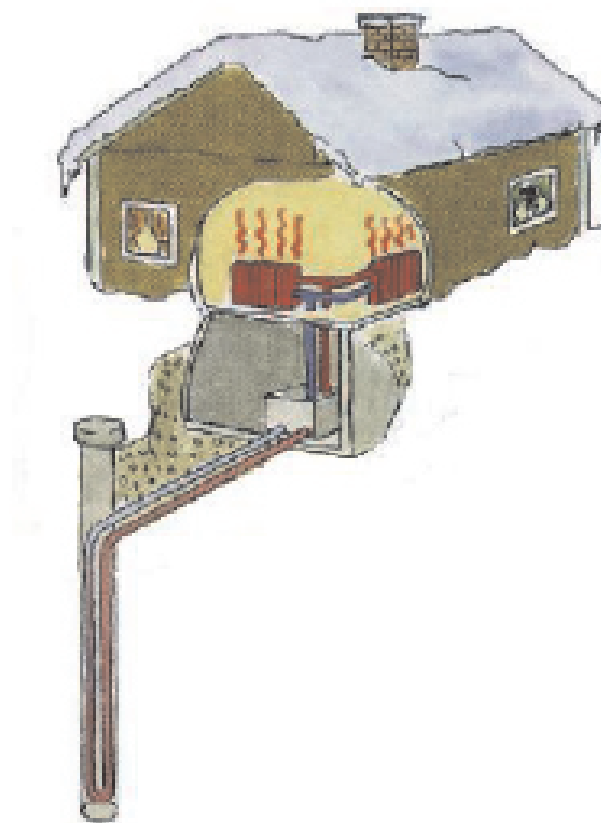


Bergvärmeanläggningar där frysning i borrhål orsakar hopklämda kollektorslangar



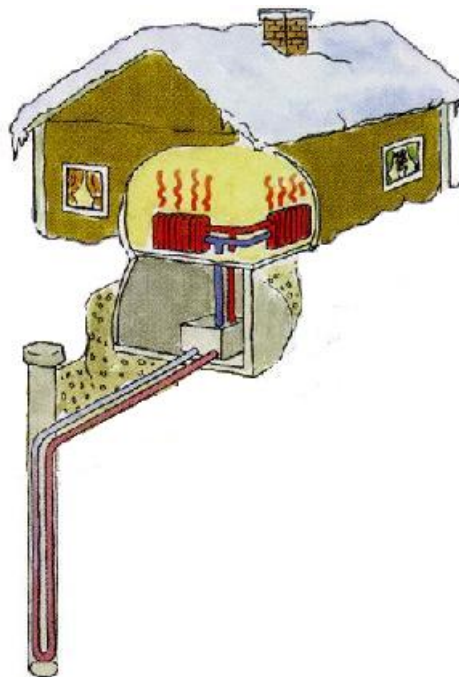
ANNA-KARIN AHLSTROM

CIVILINGENJÖRSPROGRAMMET

Luleå tekniska universitet
Institutionen för samhällsbyggnad • Avdelningen för förnyelsebar energi



Bergvärmeanläggningar där frysning i borrhål orsakar hopklämda kollektorslangar



Anna-Karin Ahlström

Civilingenjörsprogrammet
Institutionen för Samhällsbyggnad
Avdelningen för förnyelsebar energi
Hösten 2004

Sammanfattning

Bergvärme är en miljövänlig uppvärmningsmetod där ungefär 70 procent av värmen hämtas upp från berggrunden. Dessa 70 procent är ren förnyelsebar energi medan de resterande 30 procenten behöver tillföras värmepumpen vid drift.

Ett bergvärmesystem består av ett borrhål som borrar till cirka 150 meters djup i marken, ett rörsystem och en värmepump. Rörsystemet går från botten av hålet till värmepumpen och är fylld med en köldbärarvätska. Denna vätska, som cirkuleras genom borrhålets rörsystem, har lägre temperatur än marken och eftersom markens värme strömmar mot det kalla borrhålet förhöjs köldbärarens temperatur en aning. Värmen som tas upp går vidare till värmepumpen som höjer temperaturen till en användbar temperatur, det vill säga till den temperatur som krävs för uppvärmningen. Denna temperatur kan variera från 30 till 50 grader beroende på radiatorernas utformning.

När köldbärarvätskan avgett sin värme till värmepumpen är den åter några grader kallare på tillbakavägen ner i berget och värmeuttaget från borrhålet medför en liten nedkylning av berget. Under de första årens drift sjunker temperaturen i omgivande mark, men efter några år kommer systemet i balans genom att varje års temperatursänkning återställs under sommaren.

I de borrhål där köldbärartemperaturens returtemperatur är under 0 grader (från värmepumpen) sker det ofta en frysning i borrhålet. Detta sker oftast uppifrån och ner i hålet, vilket normalt inte ställer till något problem utan rent av kan vara bra då frysningen bidrar med tillskottsenergi.

I vissa sällsynta fall kan frysningen ge upphov till problem, vilket rör sig om ungefär 1 borrhål på 10 000. Det som sker är att isen, i dessa fall, orsakar så högt tryck att den klämmer ihop kollektorslangarna i hålet. För att detta höga tryck ska kunna uppstå måste vatten bli instängt mellan två frusna delar och när det instängda vattnet till slut fryser blir expansionsstrycket så högt att slangarna pressas ihop.

Det finns flera olika orsaker till varför vatten blir instängt av isen. Här redovisas ett flertal principiella förklaringar till problemet liksom även principiella lösningar på problemet.

Abstract

Extracting heat from the bedrock by a heat pump system is an environmental friendly heating method where 70 percent of the heat is taken from the underground. This part is renewable energy while the rest (30 percent) needs to be provided as driving energy to the heat pump.

The systems, which extract solar heat from the underground, consist of one or more boreholes drilled to about 150 meters depth, a pipe system and a heat pump. The brine filled pipe system is installed in the borehole. By circulating the brine through the pipe system, at a lower temperature than the ground, heat is flowing to the borehole from the warmer surrounding. The energy of the warmed brine is extracted by the heat pump which also raises the temperature to the level required by the heating system. This temperature varies from 30 to 50 degrees, depending on the type of the radiator.

When the brine has given its heat to the heat pump it is a few centigrades colder on the way back to the rock. The heat extraction from the borehole lowers the ground temperature, but after a few years this temperature drop will reach to a point, a steady state, where it will be restored during the summers.

In systems where the borehole temperature is below 0 degrees the borehole groundwater will freeze to ice. This freezing occurs from the top and down into the borehole. This is normally not a problem and is even an advantage because ice conducts heat more easily than water.

In certain unusual cases, about 1 borehole of 10 000, the freezing will cause problem. In these cases the freezing causes a high pressure that deforms (flatten) the pipes in the borehole. In such cases some water is confined between two frozen parts (plugs) and when that water finally freezes the occurring expansion pressure becomes high enough to deform the pipes.

There are many different reasons of how water can be confined by the ice. This report presents principle explanations to the problem and principle solutions to solve the problem.

Förord

Detta 20 veckors examensarbete ingår som en avslutande del på Institutionen för Samhällsbyggnads civilingenjörsprogram med inriktning mot energi. Arbetet har gjorts på avdelning Förnyelsebar energi vid LTU i samarbete med Thermia AB, Arvika.

Jag skulle vilja tacka alla personer som har varit med och hjälpt till för att få fram detta examensarbete och en bra start på ett förhoppningsvis fortsatt doktorandarbete.

Först och främst vill jag tacka min handledare Bo Nordell, utan vars stöd och oerhörda hjälp samt positiva syn jag hade gett upp för länge sen. Även tack till Marie Johansson, laborationschef på Thermia, för all hjälp med information, kontaktpersoner och besök på företaget samt andra personer på Thermia som har varit inblandade. Bland dessa ingår bland annat Thermia AB:s chef för forskning och utveckling, Adam Fjæstad, som kontaktade LTU och initierade projektet.

De personer som haft problem med sina egna borrhål har varit mycket hjälpsamma, men på grund av sekretess nämns inte deras namn här. Andra personer har också hjälpt till angående information om olika bergvärmeanläggningar och dessa är regionsansvariga på Thermia: Arne Boson (norra Sverige), Tommy Christensson (södra Sverige, Gotland och Öland), Henrik Johnsson (västra Sverige), Sune Davidsson (Örebro), samt övriga: Conny Jakobsson (Dorotea Värme & Sanitet), Lage och Stefan Andersson (LA:s rör i Norsjö) och Rickard Larsson (Piteå Rörservice).

Andra som hjälpt mig med information om bergvärmeanläggningar och frågor rörande detta är Svenne Svedberg (Avanti System, Skene) och Anders Nelson (Geotec).

Även tack till de företag som tagit sig tid och eventuellt fås ett framtida samarbete med: SVEP (Martin Forsén), SEV (Arne Lödgberg), NIBE (Holger Svensson), IVT (främst en hel del återförsäljare).

För lån av utrustning och goda råd tackas även Thomas Forsberg på Väg & Vattens testlabb och Roger Lindfors på Avfallsteknik samt för lån av bil till bergvärmeanläggning och personligt stöd Ellinor Rönnkvist.

Till sist tackas företaget Thermia AB åter en gång och Luleå tekniska universitet för sponsring av projektet.

Innehållsförteckning

1. INLEDNING	7
1.1 Bakgrund	7
1.2 Problem	8
1.3 Mål	8
1.4 Tillvägagångssätt	8
1.5 Avgränsning	8
2. BERGVÄRME.....	9
2.1 Bergvärmeanläggningens utformning	9
2.2 Temperaturens inverkan	11
2.4 Köldbärarvätska	12
2.4.1 Köldbärarvätskans funktion och egenskaper.....	12
2.4.2 Exempel på frostskyddsvätskor.....	12
2.5 Värmepumpar	13
2.5.1 Allmänt om värmepumpar	13
2.5.2 Förklaring av värmepump	13
2.5.3 Värmepumpens funktion	14
2.5.4 Dimensionering av värmepump	15
2.6 Miljöaspekter	15
2.6.1 Borrhål.....	15
2.6.2 Värmepump	15
2.6.3 Fördelar och nackdelar med bergvärme	15
2.7 Värmeledningsförmåga	16
2.8 Latent värme	17
2.9 Vattnets volymexpansion vid frysning	18
3. FRUSNA BORRHÅL	20
3.1 Beräkning av expansionsvolym på frysning i borrhål	20
3.2 Anläggningar med hoptryckta kollektorslangar	22
3.3 Jämförelser mellan problemanläggningarna	23
3.4 Felkällor som ger upphov till frysning	24
3.5 Orsaker till frysning och eventuella förebygganden	25
3.5.1 Feldimensionering.....	25
3.5.2 Låg grundvattennivå i borrhålet	25
3.5.3 Stort grundvattenflöde.....	25
3.5.4 Långt till berg	25
3.5.5 Extremit täta borrhål.....	26
3.5.6 Lågt flöde i köldbärarkretsen	26
3.5.7 Klämskador	26
3.5.8 Värmeledningsförmåga	26
3.5.9 Temperatur	26
3.5.10 Grannar.....	26
3.6 Åtgärder för att motverka frysproblem	27
3.6.1 Fyllning av foderrör/borrhål.....	28
3.6.2 Fyllning av luft i foderrör.....	28
3.6.3 "Ballong".....	29
3.6.5 Dränering via rör	30
3.6.6 Perforering av foderröret.....	30
3.6.7 Värmekabel i hålet	31
3.6.8 Temperaturgivare i hålet	31
3.7 Expansionskärl	32

4. DISKUSSION OCH SLUTSATSER.....	33
4.1 Fortsatt arbete	34
Källförteckning.....	35

Bilagor

Bilaga A: Sammanställning av aktuella borrhål.....	37
Bilaga B1: Borrhål utanför Vårgårda, Alingsås	38
Bilaga B2: Borrhål i Dorotea	39
Bilaga B3: Borrhål i Askeby, Linköping	40
Bilaga B4: Borrhål i Norsjö	43
Bilaga B5: Borrhål i Stigtomta, strax utanför Nyköping	45
Bilaga B6: Borrhål i Piteå	47
Bilaga B7: Borrhål i Sorsele.....	49
Bilaga B8: Borrhål i Länghem, Svenljunga	50
Bilaga C: Beräkning av frysning med olika dimensioner	51
Bilaga D: Företaget Thermia AB	52
Omsättning	52
Logotyp	52
Affärsidé.....	53
Fem nyckelbegrepp	53
Thermia Online	53
Historik.....	54

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

I Sverige finns det för nuvarande omkring 250 000 bergvärmesystem, vilka antas öka med cirka 30 000 per år.¹ Under år 2000 gav bergvärme 15 terawattimmar av de totalt 97 terawattimmar som används för all uppvärmning i Sverige (16 procent av Sveriges totala i energikonsumtion).² År 2010 beräknas bergvärmen ge 27 terawattimmar och därmed stå för 27 procent av Sveriges uppvärmning. Av dessa 27 procent som bergvärmen kommer att stå för är 2/3 förnyelsebar energi.¹

Bergvärme är en miljövänlig teknik där man utvinner värme ur marken via borrhål, ofta för uppvärmning av byggnader. Ett bergvärmesystem består av ett vertikalt borrhål som borrar till cirka 150 meters djup i marken, ett rörsystem och en värmepump. I dessa borrhål finns två (eller flera par) slutna rörsystem installerade genom vilken en frostskyddad vätska (köldbärare) cirkuleras. Eftersom köldbäraren har lägre temperatur än marken strömmar markens värme mot det kalla borrhålet. Därmed höjs köldbärarens temperatur en aning. Den uppvärmda köldbäraren pumpas vidare till värmepumpen som utvinner den värme som tagits upp ur marken. Värmepumpen avger värmen vid en användbar temperatur, det vill säga vid den temperatur som krävs för uppvärmningen. Denna användbara temperatur varierar från 30 till 50 grader beroende på radiatorernas utformning.

Borrhålet kan även utnyttjas för kylning under sommaren. I detta fall behöver inte värmepumpen användas, utan endast en vanlig pump för att cirkulera köldbäraren i borrhålet. Då borrhålet utnyttjas på detta sätt skickas värme tillbaka till berget som därmed värms upp. Detta är gynnsamt för vinterns värmeuttag.

Marktemperaturen på 10 till 15 meters djup (i berg) påverkas inte av säsongsvariationerna ovan jord, utan är på detta djup ungefär densamma som medeltemperaturen i luft med omkring 10 grader i Skåne till 2 grader i Norrbotten.

I södra Sverige, där marktemperaturen är relativt hög, är det ovanligt att bergvärmesystem dimensioneras för så låg temperatur att det fryser i borrhålen. En orsak till att frysning ändå sker är felaktig dimensionering (underdimensionering) av bergvärmesystemet. I Norrland däremot är det regel att bergvärmesystem dimensioneras för att frysning ska ske.

Frysning i borrhål orsakar endast i sällsynta fall problem i bergvärmesystemen. Detta består i att frysningen orsakar ett övertryck i vattnet i borrhålet så att rörsystemet (plastslangarna) kläms ihop helt eller delvis. Följaktligen stoppas eller reduceras flödet genom rörsystemet.

Detta är ett litet problem på så sätt att det är få som drabbas, men det är ett stort problem för de drabbade. Problemet har diskuterats under en längre tid hos olika värmepumpstillverkare, VVS-firmor och på olika webbsidor. Aktuell studie som belyser frysproblem i borrhålsystem initierades genom att Thermia AB (Bilaga D) kontaktade Luleå tekniska universitet.

1.2 Problem

Uttagstemperaturen ur bergvärmehål är ofta så låg att det bildas is i borrhålen. Detta kan vara till fördel för värmeuttaget då is leder värme bättre än vatten. Ibland uppkommer emellertid så höga tryck av frysningen att slangarna i borrhålen trycks ihop. Detta leder till att cirkulationen i rören reduceras eller blockeras helt, vilket även reducerar värmeuttaget.

1.3 Mål

Projektets övergripande mål är att finna orsaker och samband till varför frysning i bergvärme-system i sällsynta fall orsakar så stora tryck att kollektorslangarna trycks ihop. Genom denna förståelse hoppas vi kunna åtgärda de system där problemet redan uppkommit samt förhindra att problemet uppstår i framtida bergvärmeanläggningar. Detta inledande arbete sker genom att samla in fakta om och kartlägga de borrhålssystem med problem för att sedan komma fram till gemensamma nämnare och åtgärder mot problemen.

1.4 Tillvägagångssätt

Till en början gjordes en kunskapsuppbyggnad genom självstudier inom områdena bergvärme, värmepumpar och isfysik. Därefter kontaktades olika företag och personer med erfarenheter av frysning i borrhål för att få bättre kännedom om problemen. Besök gjordes även vid en anläggning som under flera år haft frysproblem. Efter studier av hur de höga trycken kan uppkomma i borrhålen togs olika principiella åtgärdsförslag fram.

1.5 Avgränsning

Från början var det tänkt att kartlägga alla existerande problemanläggningar i Sverige samt komma fram till gemensamma nämnare för dessa. Dessvärre var det av olika skäl svårt att få tag i alla problemborrhål. Detta berodde bland annat på att ämnet är väldigt känsligt – rädslan för att problemen kan ge dålig reklam och utnyttjas av konkurrenter, samt att det tar ett tag innan ägarna av borrhålen blir medvetna om problemet.

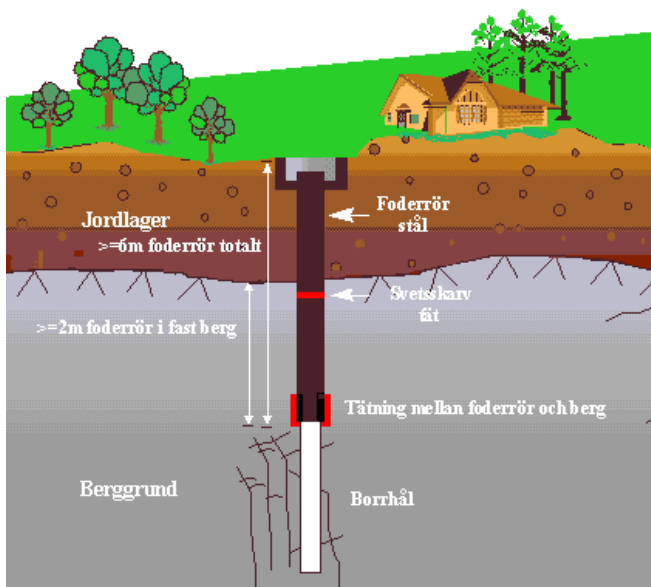
2. BERGVÄRME

Bergvärme innebär att berggrunden utnyttjas för trygg och säker utvinning av ”gratis” och miljövänlig värmeenergi. Berget håller nästan samma temperatur året om och kan därför användas för både uppvärmning på vintern som kylning på sommaren. Bergvärme kan anpassas för olika typer av byggnader oavsett storlek.³ Värmen i berggrunden är dels passivt inlagrad solvärme, men även ett resultat av värme från jordens inre (geotermisk energi). Det vanligaste sättet att utvinna markvärme är via bergvärme, men den kan även tas upp genom att använda ytjordvärme eller grundvattenvärme. Det alternativ som väljs beror på de naturliga förutsättningarna, husets energibehov och vilket värmesystem som finns i huset sedan tidigare.⁴ Värmeeffekten som kan tas ut från borrhålet beror på bergets värmeledningsförmåga, det aktiva borrhålsdjupet, borrhålsradien och temperaturdifferensen mellan borrhålets medeltemperatur och markytans årsmedeltemperatur.⁵

2.1 Bergvärmeanläggningens utformning

Bergvärme utvinnet värmeenergin i berget genom att en sluten slangslänga (kollektorslang) tar upp lågvärdig värme ur borrhålet i berggrunden.

Borrhålet borrar oftast från 100 till 180 meters djup. Den vanligaste borrhålsdiametern på äldre borrhål är 115 millimeter, medan det på senare år blivit vanligare med 140 millimeter. I jordlagret skyddas borrhålet av ett stålrör (foderrör) och efter borrhållningen tätas detta foderrör



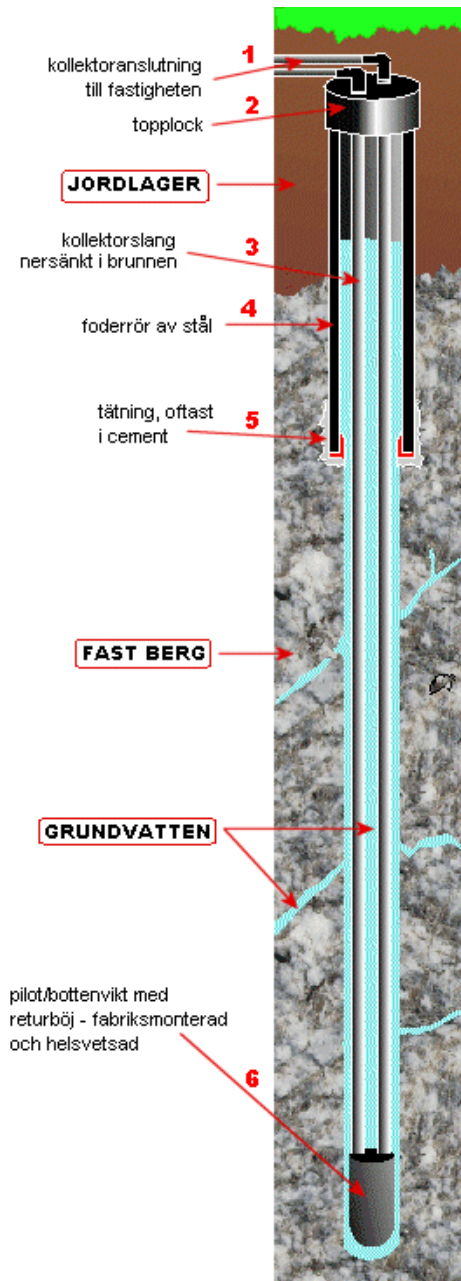
Figur 2.1: Skiss över bergvärmeanläggningens uppbyggnad.⁸

mellan berg och jord. Detta krävs för att inte riskera att få ner förorenat ytvatten i brunnen och grundvattnet samt för att förhindra att brunnen rasar ihop^{1,6}. Foderröret ska vara minst 6 meter långt, varav minst 2 meter ska vara nerborrat i det fasta berget. Jordborrningen är avsevärt dyrare per meter än vad bergborrningen är vid bergvärmeinstallation.

I borrhålet installeras en kollektorslang, oftast av polyetenplast. Genom denna cirkuleras köldbärarvätskan som värms av det omgivande berget i den aktiva delen av borrhålet, det vill säga den del av borrhålet som är vattenfylld. Köldbärarens värme utvinns i en värmepump.⁷

Figur 2.1 visar översiktligt hur en bergvärmeanläggning ser ut och förhåller sig till huset. Som framgår av bilden tar anläggningen inte upp någon markyta utan det mesta finns dolt under marken. Det behövs dock tillräckligt med utrymme under borrhållningen för borrhållrustning och för att ta hand om borrhållkax (det bergmaterial som kommer upp när man borrar hålet). Detta gör att borrhålet borde vara minst 4 meter ifrån huset. Kollektorslangarna mellan hus och borrhål läggs ofta 0,5 till 1,0 meter under markytan. Om det behövs tilläggsisolerar denna slang på den kalla delen (den ut från huset).⁹ Om det finns fler borrhål bör dessa placeras minst 15 till 20 meter ifrån varandra, detta för att undvika termisk influens.¹⁰

Ifall något händer ska det vara möjligt att komma åt slangen som går mellan borrhålet och huset, samt själva borrhålet. Marken håller givetvis för att gå på, men ska inte byggas över med hus eller annat så att åtkomsten av borrhålet försvåras. Figur 2.2 visar mer i detalj hur det ser ut i själva borrhålet.



Figur 2.2: Detaljerad bild på borrhål.⁶

1. Kollektoranslutningen förbinder energibrunnen till värmepumpen i huset. Den ligger under ett jordtäck som skyddar mot yttre mekanisk åverkan.

2. Topplocket är av metall eller plast och har till uppgift att hindra ytvatten och jordmassor från att läcka/rasa in i brunnen. Locket ska klara att motstå en viss upptryckningskraft för att sitta kvar på plats.

3. Kollektorslangen hämtar upp energi ur borrhålet med hjälp av köldbärarvätskan som den är fylld med.

4. Foderröret i stål är fastsatt i berget för att skydda mot föroreningar i grundvattnet eller brunnen från att rasa ihop.

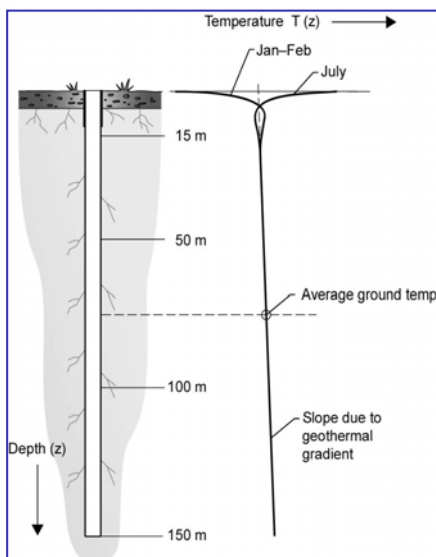
5. Mellan foderröret och berget tätas det med cement för att skydda grundvattnet från eventuellt inläckage av ytvatten.

6. U-röret i botten på hålet är till för att köldbärarvätskan ska kunna cirkulera i kollektorslangen. Själva U-böjen är ingjuten i bottenvikten som har till uppgift att hjälpa till vid installation genom att tynga ner kollektorslangarna för att få ner dem i borrhålet samt att hålla slangarna raka vid nedsättningen.⁶

2.2 Temperaturens inverkan

Temperaturen i berggrunden är i stort sett densamma som luftens årsmedeltemperatur med 8 grader i söder till 2 grader i norr, men i Norrland isolerar snön marken under den allra kallaste perioden så att temperaturen blir ett par grader högre. Nedåt i berget ökar temperaturen med cirka 1 till 2 grader var hundra meter och efter någon kilometer accelererar temperaturhøjningen. Enligt figur 2.3 syns temperaturskillnaden som påverkar borrhålet samt skillnaden mellan den kallaste tiden (januari-februari) och den varmaste tiden (juli).

Värmepumpen kylvärmevätskan så att den är kallare än bergtemperaturen innan den pumpas genom borrhålet. Ju större temperaturskillnaden är mellan det orörda berget och borrhålet, desto mer värme strömmar till från bergmassan i borrhålets närhet.^{7,11} Värmeuttaget gör att berget blir något kallare efter varje år, men efter ungefär fem år stabiliseras temperaturen till att vara några få grader lägre än innan bergvärmens togs i drift.⁹



Figur 2.3: Geotermalkurva som anger temperaturens ökning mot djupet i jordskorpan.¹²

2.4 Köldbärarvätska

2.4.1 Köldbärarvätskans funktion och egenskaper

Köldbärarvätskan cirkuleras i kollektorslangen för att ta upp värme från berget och för en enskild bergvärmebrunn krävs det omkring 150 till 200 liter köldbärarvätska i systemet under drift.¹³ Vätskan är en blandning av vatten och frostskyddsvätska med blandningen 3:1 eller 4:1 med majoritet vatten.¹⁴ Frostskyddsvätskan tillsätts vattnet för att undvika frysning och klarar en temperatur ner mot tio minusgrader utan att frysa.¹³

2.4.2 Exempel på frostskyddsvätskor

Den vanligaste frostskyddsvätskan är bioetanol, figur 2.4, som är biologiskt nedbrytbar och inte miljöfarlig. Skulle det mot förmodan ske ett läckage skulle konsekvenserna inte bli alltför stora.¹⁴ Glykol används också ofta, men är inte bra vid läckage då ämnet är giftigt för både människor och organismer i marken. Vid läckage till grundvattnet finns det en stor risk att det sprids vidare till grundvattentäkt.¹⁶ Förr i tiden användes pottaska till känsliga regioner såsom vattenskyddsområden, men som köldbärare är den mycket korrosiv och försämrar värmepumpens hållbarhet.¹⁴ Numera används istället Thermera vid extra känsliga områden, men bara då eftersom det är en dyr köldbärare. Thermera består i huvudsak av vatten samt betain (aminosyra) som härrör från sockerbetsprocessen. Produkten är rent naturlig och har väldigt låg miljöbelastning.¹⁷



Figur 2.4: En dunk med Etherm KBS Bio (25 liter).¹⁸

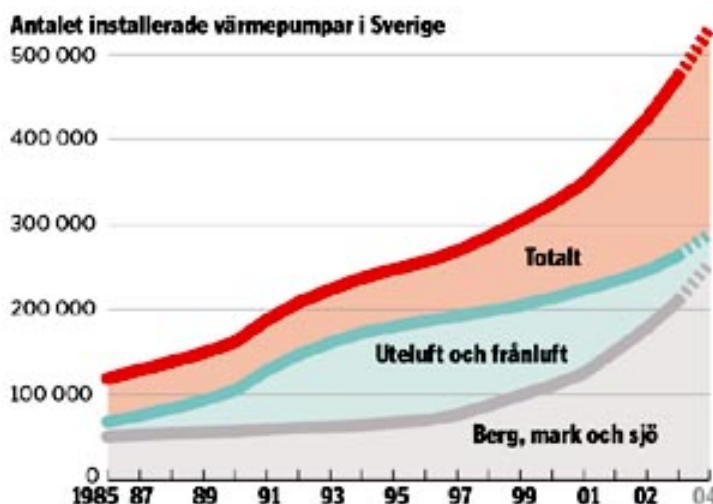
Andra frostskyddsvätskor är saltlösningar (kalciumklorid) och vegetabiliska oljor (rapsolja) som är vattenlösliga vätskor med låg giftighet, samt HFC (ofullständigt fluorerade kolväten). HFC är lättflyktiga, har låg vattenlöslighet och är relativt lättnedbrytbara, men har en hög klimatpåverkande effekt vid läckage.¹³

2.5 Värmepumpar

2.5.1 Allmänt om värmepumpar

En värmepump för ett enfamiljshus har vanligen en utgående värmeeffekt på 7 kilowatt-timmar med en variation på 5 till 11 kilowatttimmar. Husets energibehov är ofta 25 000 till 30 000 kilowatttimmar, varav 30 procent är drivenergi (tillförd energi utifrån till värmepumpen).¹ Försäljningen av värmepumpar har ökat betydligt i Sverige, mycket på grund av det stigande oljepriset. I slutet av år 2003 hade det installerats mer än 475 000 värmepumpar i Sverige, vilket är ungefär hälften av alla värmepumpar i Europa.¹⁹ Årligen säljs det mellan 30 000 till 40 000 värmepumpar i Sverige²⁰. De installerade värmepumparna använder uteluft, frånluft, berg, mark och vatten som värmekälla, fördelat enligt figur 2.5.¹⁹

Värmepumparna som installerades 2003 minskade oljeförbrukningen med ungefär 65 000 kubikmeter, vilket ger en minskning på koldioxidutsläppet med cirka 200 000 ton.²¹

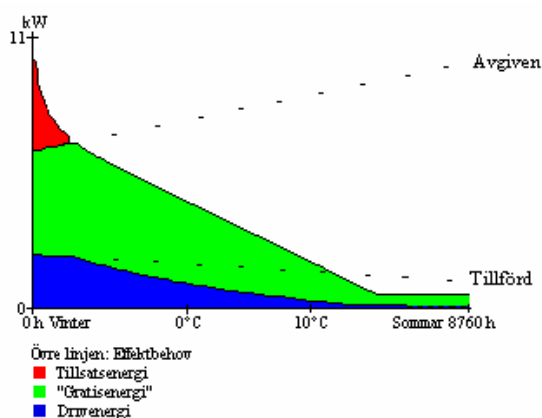


Figur 2.5: Värmepumpar som installerats i Sverige med jämförelse för olika värmekällor.¹⁹

2.5.2 Förklaring av värmepump

Värmepumpen utnyttjar lågvärdig värmeenergi (låg temperatur) och höjer temperaturen till en lagom nivå för uppvärmning av huset och eventuellt tappvarmvatten.²² Värmepumpen i ett bergvärmsystem har en värmefaktor på minst 3, vilket betyder att energin som fås ut är 3 gånger högre än den tillförda drivenergin.⁴ Detta kan jämföras med en oljepanna som har en verkningsgrad på 80 procent. Ju högre värmefaktor pumpen har, desto effektivare fungerar värmepumpen. Håller gratisvärmen en hög temperatur och husets värmesystem en låg temperatur fås den bästa värmefaktorn.

De blå staplarna i figur 2.6 visar energin som går åt till kompressorn och de gröna staplarna den gratisenergi som fås ut. De röda staplarna är från tillsatsenergi (t.ex. elpatron) som ofta behöver tillföras under den kallaste perioden.²²

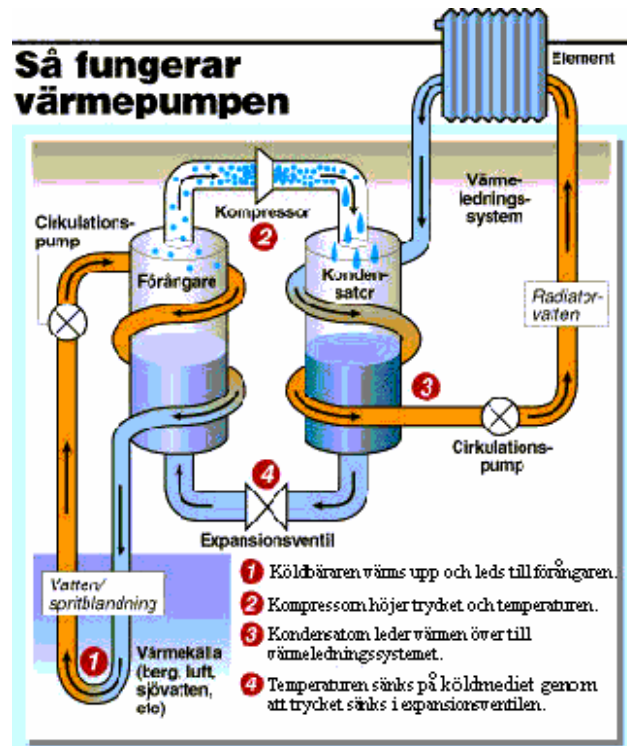


Figur 2.6: Diagrammet visar hur stor del av det totala effektbehovet under året som är tillförd energi (blå), avgiven gratisenergi (grön) och tillsatsenergi (röd).²³

2.5.3 Värmepumpens funktion

Värmepumpen fungerar enligt samma princip som ett kylskåp. I ett kylskåp tas värme inifrån skåpet och avges på skåpets baksida och i en värmepump tas värme från berget för att avges till huset.²⁴ Själva värmepumpen består av fyra sammanbundna delar i ett slutet rörsystem; förångare, kompressor, kondensor och expansionsventil. Till värmepumpen kopplas kollektorn som även den består av ett slutet system. Uppbyggnaden kan ses i figur 2.7.⁴

1. I kollektorslangen cirkulerar en köldbärarvätska som tar upp värme från borrhålet. Värmen avges i en värmexväxlare som kallas förångare. Förångaren är en del av den köldmediekrets som höjer temperaturen på den energi som tas upp från marken till en temperatur som är användbar för radiatorsystemet i huset. I förångaren kokas köldmediet från vätskefas till gasfas. När köldmediet lämnar förångaren är allt köldmedia i gasfas. Köldmediet går sedan in i kompressorn.
2. I kompressorn komprimeras köldmediet med följd att temperaturen höjs till en 100-gradig gas. Kompressorn är den enda del i värmepumpen som behöver tillföras energi, via en elmotor, och denna tillförsel är ungefär 1/3 mot vad som fås ut totalt. Detta ger därmed en ren vinst på 2/3 av det som fås ut. Från kompressorn leds köldmediet vidare till kondensorn.



Figur 2.7: Funktion av värmepump.²⁵

3. Kondensorn kyler ner gasen och kondenserar den till vätska. Vid kondensationen avges den värme som leds till husets uppvärmningssystem.⁴ Denna så kallade framledningstemperatur varierar mellan 30 till 50 grader, beroende på radiatorernas utformning.
4. Efter kondensorn går köldmediet, som nu är i vätskeform, genom ett torkfilter som kan vara kombinerat med en tank för köldmediet. Filterdelen har till uppgift att samla upp eventuell fukt i systemet och tanken används som ett expansionskärl för köldmedium för att säkerställa att alltid rätt mängd befinner sig i kondensorn. För att kontrollera fyllnadsmängden i systemet används ett manometerställ. Därefter fortsätter vätskan till en expansionsventil som är en strypning mellan systemets hög- och lågtryckssida. Ventilen som har en avkännare (bulb) strax innan kompressorn, har till uppgift att släppa in rätt mängd vätska till förångaren. Då köldmediet nått fram till förångaren har det gått ett varv och processen börjar om på nytt.²⁶

Vid användning av köldmedium utnyttjas det faktum att en vätskas kokpunkt varierar med trycket. Vatten kokar vid 100 grader vid normalt tryck, men halveras trycket kokar vattnet redan vid 80 grader. Skulle trycket istället fördubblas kokar vattnet först vid 120 grader. Själva köldmediet har sin kokpunkt så lågt ner som 40 minusgrader vid atmosfärstryck.¹⁵

För att få använda ett visst köldmedium ställs det vissa krav och dessa är att de inte får övergå till fast form eller sönderdelas vid aktuella temperaturer och tryck. De får inte heller orsaka korrosion på material i köldmediesystemet.¹¹

2.5.4 Dimensionering av värmepump

Värmepumpen dimensioneras efter husets energianvändning och värmebehov och görs så att värmepumpens angivna effekt motsvarar 50 till 75 procent av det maximala behovet, vilket i sin tur motsvarar 80 till 90 procent av det totala energibehovet under året. Under de kallaste dagarna kompletteras värmepumpen med en annan energikälla, till exempel elpatron i värmepumpen, el- eller oljepanna.

2.6 Miljöaspekter

2.6.1 Borrhål

Den största delen av all biologisk aktivitet i marken sker nära markytan och när värme utvinns ur berggrunden påverkas denna del termiskt. Påverkan är mycket begränsad och liten i jämförelse med de variationer som orsakas av normala klimatförändringar och det som händer är bland annat att brunnen får en något lägre temperatur relativt omgivningen på ungefär en meters djup. En allvarigare miljörisk uppstår vid eventuellt läckage av köldbärarvätska från det slutna systemet, vilket förorenar grundvatten och vattentäcker.¹⁶

2.6.2 Värmepump

Värmepumpen är miljövänlig, tyst och effektiv. Det bildas inte några direkta restprodukter vid användning som det bildas vid till exempel eldning av fossila bränslen. Köldmediet som används inuti värmepumpen och dess inverkan på miljön beror på vilken typ av köldmedium som används.¹¹

Nuförtiden används vanligen R407c, men även R134a, R404A och R410A.²⁸ Dessa köldmedier är HFC-medel som inte påverkar ozonskiktet, men de har en stor påverkan på växthus-effekten och kan även vara instabila beträffande tryck och temperatur.¹³ Ammoniak används för närvarande inte alls i villor, mycket på grund av att det bland annat är frätande och explosivt.^{13,28} Fördelen med ammoniak är att det är bra gällande den tekniska biten då den har utmärkta termodynamiska egenskaper.²⁸

2.6.3 Fördelar och nackdelar med bergvärme

Fördelen med bergvärme är bergets relativt stabila temperatur under året och att energiutbytet är stort även under vintern då behovet är som störst. På vintern utnyttjas borrhålet för att ta upp värme och på sommaren kan densamma användas för kylning. Genom att använda borrhålet även på sommaren motverkas temperatursänkning av berget. Om det inte behövs eller går att använda kylan från berget kan det istället återladdas med spillvärme eller värme från solen (till exempel via solceller).²⁹ Bergvärmeuttaget under året innebär att berget omkring borrhålet kyles ned efterhand. Temperatursänkningen är som störst under de första driftåren och planar därefter ut.³¹ I vissa sällsynta fall kan frysning av borrhål ge upphov till klämda kollektorslangar och därmed orsaka problem.¹

Eftersom bergvärmesystem hämtar energin ur ett djupt borrhål tar den knappt någon markyta i anspråk. Värmeenergin som håller berget varmt är värme från solinstrålning och geotermiskt värmeflöde.

Bergvärmesystem är mer flexibelt än ytjord-, sjö- eller grundvattenvärme och den som påverkar närmiljön minst. Livslängden för ett energiborrhål är ”obegränsad”, medan livslängden hos foderröret och kollektorslangen uppskattas till ungefär 100 år.⁹

Uppskattningsvis sparar ett aktivt borrhål på 100 meter omkring 1,5 kubikmeter olja per år, vilket motsvarar en energimängd på 13 000 till 15 000 kilowattimmar. Den egentliga effekten som fås ut från oljan är dock 10 400 till 12 000 kilowattimmar på 1,5 kubikmeter olja, då en oljepannas verkningsgrad ligger runt 80 procent.³⁰

För ett enfamiljshus kostar en bergvärmeinstallation totalt omkring 100 000 kronor. Dessa kostnader är ganska jämt fördelade på borrhåll, värmepump och installationer. Vid jämförelse med fossila bränslen som uppvärmningsalternativ blir bergvärme billigare i längden.⁴

Energibrunnen är inte känslig för kortare perioder av högt energiuttag, i värsta fall leder det till att temperaturen i köldbäraren blir så låg att värmepumpen lämnar otillräcklig effekt för att fylla hela sin avsedda funktion. Även om effekten minskar ger anläggningen alltid värme.⁵

Den snabba ökningen av bergvärmepumpsförsäljningen har på senare tid lett till att oseriösa tillverkare dykt upp på marknaden, vilket i sin tur medför en sänkt kvalitetskontroll, ökat antal skadefall och därmed blir det kostsamt för både ägare och försäkringsbolag.¹⁹ På sikt kommer rimligen ett ökat antal installationer att ge säkrare och bättre bergvärmesystem.

2.7 Värmeledningsförmåga

Sveriges berggrund består till största delen av kristallina bergarter (gnejs och granit), främst i norra Sverige. Bergarterna i sig är nästan helt täta vilket gör att grundvattnet till största delen strömmar i spricksystemen i berget. Ofta förekommer krosszoner i berget och vattenströmningen koncentreras då till dessa.⁵ I södra Sverige förekommer mer sedimentära bergarter, såsom kalksten och skiffer.³¹ Dessa är ofta porösa och vatten kan passera både genom bergmassan och i spricksystemen.⁵

Värmeledningsförmågan (materialets förmåga att leda värme) är av stor vikt för bergvärmeanläggningar. Ju större värmeledningsförmåga berget har, desto mer värme kan tillföras borrhålet. För jord varierar värmeledningsförmågan i första hand med vattenhalt och densitet där hög densitet (låg porositet) innebär att kornen som leder värme bra kommer närmare varandra. Vatten är viktigt för ledningsförmågan och gör att kontakten mellan kornen förbättras. Jämförs värmeledningsförmågan mellan vatten och luft så leder vatten 20 gånger bättre än luft, vilket visas genom att värmeledning i sedimentärt berg (kalksten, skiffer) är högre då det är vattenmättat. Sedimentärt berg har i normalfallet inte lika hög värmeledningsförmåga som kristallint berg, där mineralinnehållet, till exempel kvarts, är den viktigaste faktorn för värmeledningsförmågan.³² För kristallina bergarter är värmeledningsförmågan 3 till 4 Watt per meter och grad och för de sedimentära bergarterna ligger det inom 1,5 till 3 Watt per meter och grad.³⁰ Detta kan jämföras med andra material enligt tabell 2.1.

Tabell 2.1: Värmeledningstal för olika material. Två berg av till exempel granit kan ha olika värmeledningsförmågor på grund av sprickbildning och liknande. Är berget vattenmättat så blir det också högre tal, därav den stora skillnaden på sedimentärt berg.^{11, 32, 33}

Material	Värmeledningstal [W/mK]
Silver	430
Koppar	390
Guld	320
Aluminium	236
Platina	70
kol (kvarts)	8
Kvartsit	3,6-6,6
Sedimentärt berg	1,5-6,5
Granit	2,1-4,1
Gnejs	1,9-4,0
Syenit	2,0-3,0
is	2,2
Lera (våt)	0,9-2,2
glas	1
Lera (torr)	0,4-0,9
Vatten	0,6
Luft	0,161
ull	0,05

Energiuttaget som kan tas ut beror bland annat på värmeledningsförmågan och vanligen räknas det med att energiuttaget ligger på 10 till 30 Watt per meter vid kontinuerlig drift. Ju längre norrut, det vill säga lägre marktemperatur, desto lägre temperatur krävs i borrhålet för att utvinna denna värme. Under ett år ger ett bergvärmesystem omkring 145 kilowatt-timmar per meter borrhål.⁹

2.8 Latent värme

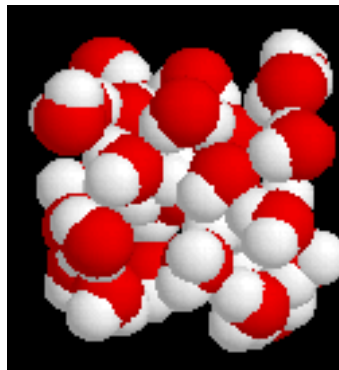
En ansevärd värmemängd frigörs när en vattenhållande jord fryser. Denna så kallade latent värme eller isbildningsvärme är ungefär 93 kilowattimmar per ton vatten. Den latent värmen kan ofta bidra med mellan 40 till 45 kilowattimmar mer per kubikmeter för jordar med hög vattenmättnad, för att minska drastiskt vid jordar ovan grundvattenytan (sand, grus, grusig morän). I en vattenmättad torv frigörs upp mot 90 kilowattimmar mer per kubikmeter vid frysning.

Värmeledningsförmågan i is är 4 gånger högre än den i vatten. Därför förbättras värmeledningen i mark avsevärt vid frysning, det vill säga vid temperaturer under 0 grader. Det frigörs dessutom värme vid frysningen. Porositeten och vattenmättnadsgraden är avgörande för hur stor påverkan som erhålls för specifik jordart. I finkorniga jordarter fryser inte allt vatten vid noll grader beroende på att vattnet är så hårt bundet till partiklarna och porsystemet. En lera innehåller fortfarande ofruset vatten vid 20 minusgrader.³²

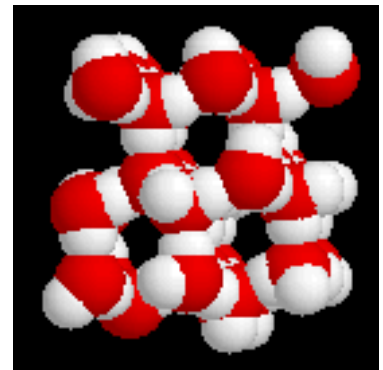
I norra Sverige dimensioneras bergvärmesystemen så att frysning förekommer under delar av uppvärmningssäsongen. Om borrhålen borrades utan att tillåta frysning skulle det bli orimliga borrhåldjup (300 meter) och kostnaderna för borrhållningen avsevärt högre.

2.9 Vattnets volymexpansion vid fryssning

Vatten och is har olika molekylstrukturer, enligt figur 2.8 och 2.9, vilket ger dem olika fysikaliska egenskaper. I vatten kan molekylerna röra sig fritt och kommer att bli tätt packade tillsammans. Isen har däremot en ordnad kristallstruktur bland sina molekyler som gör att det blir mycket mellanrum mellan molekylerna. Mellanrummen ger upphov till att isen tar mer plats än vatten, det vill säga att när vatten fryser till is så ökar dess volym.³⁴ Som exempel kan detta testas genom att lägga in en flaska fylld med vatten i frysen. När vattnet fryser expanderar volymen och trycket blir så pass stort att flaskan går sönder.



Figur 2.8: I flytande vatten kommer molekylerna nära varandra.³⁴



Figur 2.9: I is har molekylerna en mer ordnad struktur med större mellanrum än vad vattnet har.³⁴

För att beräkna hur mycket isen expanderar när det fryser från vatten måste först volymen från ett kilo vatten respektive is vara känt enligt:

$$V = \frac{1}{\rho} [\text{m}^3] \quad [2.1]$$

Volymen för is respektive vatten blir därmed:³⁵

$$V_{is} = \frac{1}{0,92} = 1,087 \text{ m}^3 \text{ (T=-4°C)}$$

$$V_{vatten} = \frac{1}{0,998} = 1,002 \text{ m}^3 \text{ (T=20°C)}$$

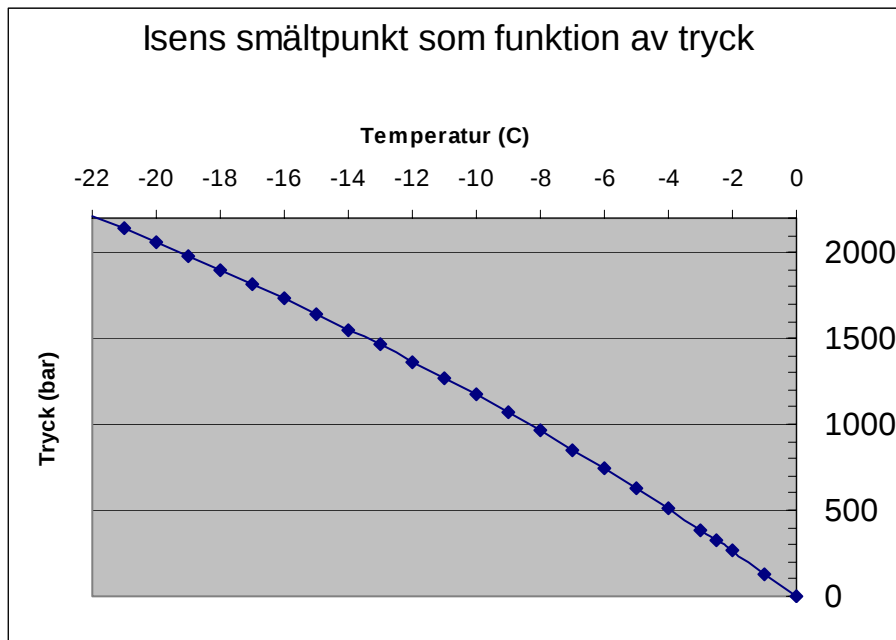
Expansionen kan därefter beräknas genom:

$$Expansion = \frac{V_{is} - V_{vatten}}{V_{vatten}} \cdot 100 [\%] \quad [2.2]$$

$$Expansion = \frac{1,087 - 1,002}{1,002} \cdot 100 = 8,478 \approx 8,5 \%$$

Isen expanderar således med omkring 8,5 procent när det övergår från flytande till fast form. Expansionen från is gäller dock vid 4 minusgrader och vid vatten för 20 plusgrader, vilken kommer att variera med ändrad temperatur. Med avseende på att expansionen kommer att öka ytterligare vid kallare temperaturer tas det som ett rimligt antagande att expansionen hädanefter kommer att vara omkring 10 procent.

Hur isen expanderar med temperaturen kan även ses i figur 2.10, där temperaturen ger ett ökat tryck och därmed en ökad expansion.



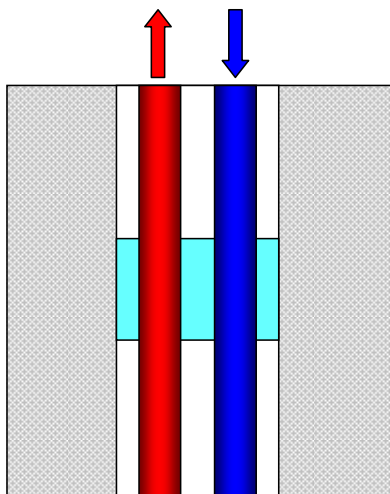
Figur 2.10: Isens smältpunkt som funktion av trycket, vilket visar att ju kallare temperaturen är desto större blir frystrycket på isen.¹

3. FRUSNA BORRHÅL

Vid dimensionering av bergvärme, i synnerhet i norra Sverige, tillåts köldbärarens temperatur tidvis att vara lägre än noll grader från borrhålet, det vill säga till värmepumpen. Denna låga temperatur innebär att delar av borrhålet fryser. Detta är normalt inget problem utan en vanlig företeelse som till och med är gynnsam då frysningen förbättrar markens värmeledningsförmåga och dessutom ger extraenergi (isbildningsvärme).¹

Kollektorslangen som går till huset avger sin värme i värmepumpen och kollektorn tillbaka till borrhålet blir då något kallare. Då denna returtemperatur sjunker några grader under noll bildas det is i toppen på borrhålet, vilket först sker med isbildning runt den kalla kollektorn och issörja runt den varma. Med en allt lägre temperatur bildas det vanligen is kring båda slangarna som sedan successivt växer sig nedåt i berget. Eftersom den bildade isens volym är större än det frysta vattnets måste denna expansionsvolym kunna lämna borrhålet. Så länge det sker en successiv frysning och vattnet har någonstans att ta vägen sker ingen tryckökning i borrhålet. Den is som redan frusit utövar inget tryck på omgivningen och kan inte skada kollektorslangen.

Det är inte alltid som frysning påbörjas uppifrån och ned, utan ett större delta (temperaturskillnad i in- och uttemperatur, tilltar med ökat uttag) kan medföra att det även börjar att frysa längre ned i borrhålet. Detta gäller för den varma kollektorn som har en kallare temperatur djupare ner i hålet mot högst upp (denna skillnad ökar med ökat delta), medan den kalla kollektorn fryser uppifrån och ned som vanligt.



Figur 3.1: Sektion av borrhål och kollektorslangar. I det vattenfyllda borrhålet har en vattenvolym (ljusblå) inneslutits mellan två isproppar. Den blå och röda kollektorn indikerar kallt (tilllopp) respektive varmt (utlopp) rör. Berget är grått och isen är vit.

Frystrycket uppstår endast om vatten blir instängt i borrhålet. Detta kan till exempel ske mellan två isproppar om borrhålet mellan dessa isproppar är vattentätt, enligt figur 3.1. När det instängda vattnet fryser orsakar isens expansion ett övertryck i vattnet. Detta tryck tas upp av det som lättast ger med sig, det vill säga kollektorslangarna kläms ihop. Detta minskar köldbärarflödet, vilket bidrar till nedsatt funktion för bergvärmesystemet. Eftersom det är ovanligt med helt vattentätt berg uppkommer denna typ av frysproblem oftast i foderröret.

Det kan finnas flera skäl till varför frysningen sker ojämnt längs med borrhålet, till exempel ett större grundvattenflöde i en sektion av borrhålet som gör att berget där inte kyls lika snabbt. I foderröret fryser det vanligen uppifrån och ner samtidigt som det kan börja frysa under foderröret, vilket gör att vatten stängs in i foderröret. I berget finns det ofta sprickor som dränerar vattnet (trycket). Foderröret är däremot tätt och vattnet har ingenstans att ta vägen.

3.1 Beräkning av expansionsvolym på frysning i borrhål

Den vattenvolym som kan frysa i borrhålet varierar med dess diameter. Denna vattenvolym reduceras av antalet kollektorslangar och dess yttre diameter. Borrhålsdiametern är vanligen 140 millimeter och kollektorslangarna varierar med enkla, dubbla eller till och med tredubbla U-rör, där de enkla U-rören är vanligast. Med ett enkelt U-rör menas en slang som går ner och sedan upp ur samma hål. Dubbelt U-rör innebär två av varje och så vidare.

Den vattenvolymen som kan frysa ges av:

$$V_{\text{vatten}} = V_{\text{borrhål}} - V_{\text{kollektorslang}} \quad [3.1]$$

Vattenvolymen minskar alltså med borrhålsdiametern samt ökande slangvolym, det vill säga ökande slangdiameter och antal slangar. Expansionen på grund av frysning beräknas sedan enligt:

$$V_{\text{Expansion}} = V_{\text{vatten}} \cdot \alpha \quad [3.2]$$

där α betecknar vattnets volymexpansionskoefficient vid frysning.¹

I ett tätt borrhål tas volymexpansionen ($V_{\text{Expansion}}$) upp av N kollektorslangar, som således kläms ihop. Köldbärarvätskans volym blir:

$$V_{\text{köldbärarvätska}} = N \cdot V_{\text{kolektor, inre}} = N \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{kolektor, inre}}^2}{4} \cdot 1 \quad [3.3]$$

Om expansionsvolymen ($V_{\text{Expansion}}$) är större eller lika stor som köldbärarvätskans volym kan hela slangen tryckas ihop av vattnet, enligt ekvation 3.6:

$$V_{\text{Expansion}} \geq V_{\text{köldbärarvätska}} \Rightarrow \text{Hela slangen kan tryckas ihop}$$

$$V_{\text{Expansion}} < V_{\text{köldbärarvätska}} \Rightarrow \text{Slangen kan delvis tryckas ihop}$$

I det senare fallet kan andelen fryst vatten i borrhålet beräknas genom:

$$\text{Andel fryst vatten} = \frac{V_{\text{expansion}}}{V_{\text{köldmedium}}} \cdot 100 \quad [\%] \quad [3.4]$$

I bilaga C visas hur mycket vatten som kan frysa per meter borrhål och vilken volymexpansion detta medför, för flera olika antal U-rör och rördimensioner.

Eftersom vattnets expansion vid frysning är omkring 10 procent blir mängden vatten som expanderar ungefär 1 liter per meter borrhål i normalfallet. I beräkningarna varierar det mellan 0,54 till 2,83 liter vatten per meter borrhål, med störst expansion för ett 195 millimeters borrhål med ett enkelt U-rör på 32 millimeter. Den minsta expansionen uppkommer vid dubbla U-rör på 40 millimeter och borrhålsdiametern 115 millimeter. En vanligare dimensionering är 140 millimeters borrhålsdiameter med kollektorslang på 50 millimeter, vilket ger en expansion på 1,15 liter per meter borrhål.

Tabell 3.1 (sammanfattning från bilaga C) visar hur antal U-rör och deras dimensioner påverkar frysningen. Ju mindre vatten det är i borrhålet, desto mindre del kan frysa och klämma ihop kollektorslangarna.

Tabell 3.1: Betydelsen av antal rör och dimension avseende frysning och expansion av isen i borrhål. Här är de vanligaste diametrarna medtagna från bilaga C.

D _{borrhål} [mm]	Ant U	D _y [mm]	V _{köldbärar- vätska} [l]	Hop- tryckt del	Hop- tryckt del [%]
115	1	32	0.53	1.66	100
115	1	40	0.84	0.93	93
115	1	50	1.31	0.49	49
115	2	32	1.06	0.68	68
115	2	40	1.69	0.32	32
115	3	32	1.59	0.35	35
140	1	32	0.53	2,6	100
140	1	40	0.84	1,53	100
140	1	50	1,31	0,87	87
140	1	63	2,08	0,44	44
140	2	32	1,06	1,15	100
140	2	40	1,69	0,61	61
140	2	50	2,62	0,29	29
140	3	32	1,59	0,66	66
140	3	40	2,53	0,31	31

I genomförda beräkningar varierar hoptryckningen av slangarna från 18 till 100 procent. I fallet där endast 18 procent blir hoptryckta används tredubbla U-rör på 63 millimeter i ett borrhål på 195 millimeter. 100 procent hoptryckning förekommer i 19 fall av de totalt 50 beräkningsfallen. Störst tryck uppkommer där det är mest vatten i förhållande till köldbärarvätskan, det vill säga ett enkelt 32 millimeters U-rör i ett 195 millimeters borrhål (5,23 gånger mer vatten än köldbärarvätska).

3.2 Anläggningar med hoptryckta kollektorslangar

Det finns ett antal bergvärmeanläggningar där frysproblem har uppstått. Det är emellertid svårt att hitta dessa anläggningar då problemet är ovanligt och ämnet känsligt. Därför har det inte heller varit möjligt att kontakta vederbörande ägare till samtliga borrhål eller få fram all fakta som önskats. De som presenteras här har kartlagts genom Thermia AB och kunderna är anonyma i denna rapport. De problemanläggningar som studerats finns i Sorsele, Dorotea, Piteå, Norsjö, Alingsås, Svenljunga, Nyköping och Linköping, se figur 3.2. På kartan framgår att det finns lika många anläggningar i norr som i söder vilket indikerar att marktemperaturen inte är den avgörande faktorn.

Av anläggningarna som studerats är en del redan åtgärdade med väntan på resultat, medan andra är på väg att åtgärdas. Fakta om varje borrhål samt problembeskrivning finns att läsa i bilagorna B1-B8. Bilaga A1 visar en tabell med översikt över samtliga borrhål och en del av deras egenskaper.



Figur 3.2: Sverigekarta med utsatta punkter på de ställen som har eller haft problem med sina borrhål.

Förutom dessa åtta anläggningar har det nyligen uppmärksamrats ytterligare borrhål med eventuella frysningsproblem i Vidsel, Alvik (Norrbotten) och ytterligare en i Norsjö (Västerbotten). Av dessa finns det än så länge ingen information mer än att den från Vidsel byggdes för två år sedan och fick problem redan första året. Som åtgärd byttes kollektorslangarna ut men värmepumpen stannade återigen. Vid denna bergvärmeanläggning är det cirka 30 meter till berg. För den som är i Norsjö har vätska kommit fram ur expansionsventilen under våren 2004 och på hösten samma år kom de riktiga problemen med hoptryckta kollektorslangar. Även här är det långt till berg (~40 meter) samt att värmeledningsförmågan i berget verkar vara lågt. Eventuellt blir det att lägga en ytjordslinga som det gjorts på den andra anläggningen i Norsjö (som för övrigt ligger 50 meter bort). På grund av faktabristen ingår inte dessa tre anläggningar i denna studie.

3.3 Jämförelser mellan problemanläggningarna

Det syns inga större likheter mellan problemanläggningarna förutom jorddjupet, det vill säga längden på foderrören. Samtliga borrhål utom det i Piteå har långa foderrör, vilket kan vara en av de bidragande orsakerna till frysproblemen. Den genomsnittliga längden på foderröret är 24,7 meter och varierar från 9 meter (Piteå) till 42 meter (Norsjö). Borrdjupet är i snitt 156 meter djupt och varierar från 90 meter (Svenljunga) till 190 meter (Norsjö). När det gäller grundvattenytans läge är det inte lika stor skillnad. Snittet är här på 3,4 till 5 meter med högst nivå på 0,8 meter (Norsjö) och lägst grundvattennivå på mellan 5 till 10 meter ner (Dorotea). Här bortses från anläggningen i Nyköping vars vattennivå efter borrning fyllts upp till 7 meter under markytan, liksom anläggningen i Linköping som fyllts med både vatten och sand till okänd nivå samt Alingsås vars grundvattennivå är okänd.

Avståndet från borrhål till hus kan ha en viss inverkan. Minsta tillåtna avstånd är 4 meter, men bör helst inte vara långt bort eftersom det kräver lång kulvertgrävning. Avståndet till huset är i genomsnitt 5,29 meter med 2 meter som lägst (Linköping) och 10 meter som längst (Norsjö). I detta fall har Alingsås okänt avstånd.

Borrhålsdiametererna i problemanläggningarna är 145 millimeter i Dorotea medan resterande är 140 millimeter. Just 140 millimeter är den vanligaste diametern för borrhål i nuläget, medan den vanliga standarden förr var 115 millimeter. Dessa 115 millimeter verkar vara tillbaka igen då de har visat sig fungera bättre. Den större diametern kan ha betydelse då det får plats mer vatten i borrhålet som kan frysa (se kapitel 3.1), samt att det inte framkommit någon anläggning med 115 millimeter som haft problem.

Åldern på borrhålen varierar inte mycket mellan platserna med ett äldsta borrhål gjort i augusti 1996 (Linköping) och det nyaste utfört i december 2002 (Nyköping). Genomsnittliga byggåret ligger vid årsskiftet 1999/2000. Av dessa har fem anläggningar fått problem i början eller den första vintern och resterande tre efter bara något år. Se tabell 3.2 för en mer överskådlig information och bilagorna A och B1-B8 för detaljerade uppgifter om de olika borrhålen.

Tabell 3.2: Översikt över de aktuella borrhålen med de lägsta och högsta värdena i fet stil, tagna ur bilaga A.

	Alingsås	Dorotea	Linköping	Norsjö	Nyköping	Piteå	Sorsele	Svenljunga	Genomsnitt
Borrdjup [m]	170	155	170	190	142	157	175	90	156
Foderrör [m]	Okänt	20	25	42	20-30	9	35	17	24,7
Gvy [m]	Okänt	5-10	Fyllts upp	0,8	Fyllt till 7	5-6	3	4-5	3,4-5
Avstånd hus [m]	Okänt	7	2	10	5	4	6	3	5,29
d _{borrhål} [mm]	140	145	140	140	140	140	140	140	140
Årtal	01/02	2001	1997	01/02	Dec 2002	1998	1998	98/99	1999/2000

3.4 Felkällor som ger upphov till frysning

I många fall räknas det med att det ska ske en frysning i borrhålen. I andra fall kan frysning ske på grund av feldimensionering, det vill säga att borrhålen inte är tillräckligt djupa. Fyra felkällor som kan ge upphov till oavsiktlig frysning är:

1. Felberäkning av husets effekt- och energibehov
2. Fel antagande om värmeledningsförmågan i berget
3. Längre ner till berg än förutsatt i dimensioneringen
4. Längre ner till grundvatten än förutsatt i dimensioneringen³⁶

Felkälla 1: Att husets effekt- och energiförbrukning underskattas är vanligt, särskilt för äldre fastigheter. Felet kan också uppkomma vid eventuell tillbyggnad som gör att energibehovet ökar.

Felkälla 2: Att bergets värmeledningsförmåga antas vara högre än den aktuella kan bero på att man antar en annan bergart än det är där brunnen borrats. Borraren märker ganska snart om det en ovanlig bergart för området, men då är ju redan borrhålets djup bestämt och i de allra flesta fall görs inte nya dimensioneringsberäkningar.

Felkälla 3: Eftersom jord normalt leder värme betydligt sämre än berg kan ett oväntat stort jorddjup betyda att borrhålet i berg blir för kort, vilket leder till att systemet blir underdimensionerat. Ändras inte borrhålets djup efter noterat större jorddjup än antaget minskar den tidigare beräknade värmen som annars skulle fås från borrhålet.

Felkälla 4: Grundvattennivån är viktig vid dimensionering av bergvärme eftersom borrhålets djup under grundvattenytan är det så kallade aktiva borrhålsdjupet, den del av borrhålet som ger värme. Om grundvattenytan ligger djupare än förutsatt blir systemet underdimensionerat.

Alla dessa felkällor leder till underdimensionering av borrhålet och om en av dessa fyra saker inträffar gör det inte så mycket då det finns en viss toleransnivå. Blir det däremot fel på flera felkällor under samma tid blir systemet underdimensionerat och frysning kommer att ske.³⁶

Dessa felkällor borde kunna undvikas, men många personer är inblandade och kunden vet ofta inte något om bergvärmetekniken. En brunnsborrning går i korthet till så att ett VVS-företag begär in en offert på energibrunnen av en brunnsborrningsfirma. Den offert som bedöms vara mest attraktiv (billigast?) antas och borringen påbörjas. Borrhålets djup är redan bestämt och även om borraren märker att bergarten inte är den förväntade så borras hålet normalt till det djup som var bestämt från början. I vissa fall varierar borrhålets djup beroende på om brunnen ger mycket vatten eller ej. Den bästa åtgärden vore att göra en ny dimensionering om man vet att bergarten är en annan än förutsatt. Skulle brunnen redan vara borrad kan det gamla borrhålet borras djupare, ett nytt hål borras eller så kan det sättas dit ytjordvärme som ett komplement till borrhålet.³⁶

Det finns en bra metod, termisk responstest¹², med vilken de termiska egenskaperna i borrhål och berg kan bestämmas, men tekniken är för kostsam för varje enskild energibrunn. Tekniken har dock blivit vanlig för större borrhålssystem (fler än sex till sju hål).

3.5 Orsaker till frysning och eventuella förebygganden

3.5.1 Feldimensionering

Om borrhålet inte klarar att leverera den energi som krävs för temperaturkravet i fastigheten kan borrhålet vara feldimensionerat. Vid konvertering från olja, el eller annat beror detta oftast på att villaägaren uppgett en felaktig förbrukning eller att förbrukningen ökat efter installationen (till exempel genom tillbygge). Det är även möjligt att dimensioneringen gjorts på ett felaktigt sätt eller att borrhålet inte är borrarat till det djup som bestämts. Resultatet blir ett överuttag för anläggningen som leder till att borrhålet successivt kyls ner tills det fryser, vanligen uppifrån och ned.

3.5.2 Låg grundvattennivå i borrhålet

Om borrhålen är torra eller har en låg vattennivå från början fyller man upp med nytt vatten, sand, bentonit eller annat fyllnadsmaterial. När borrhålet fyllts på finns en risk att utfyllnaden sjunker efter ett tag och måste fyllas på ännu en gång. Det kan dock ta ett tag innan nivån sjunker och det gäller att kontrollera den ibland. Anledningen till att nivån i borrhålet sjunker är att det bildas proppar av sand eller annat material under påfyllningen som stoppar upp ett tag. När dessa proppar går sönder ramlar nivån ner ytterligare en bit med risk för att samtidigt förstöra slangen. Man bör alltid fylla hålet från botten med hjälp av en extra slang i hålet som stoppas ner tillsammans med kollektorslangarna. Påfyllningen sker då från botten och uppåt samtidigt som påfyllningsslangen lyfts upp.

Är borrhålet vattentomt redan från början och därefter fylls på kan man förvänta frysproblem. Detta beror på att ett vattentomt hål antagligen är tätt och saknar sprickor och håligheter. När vattnet fryser och isen expanderar har detta vatten alltså ingenstans att ta vägen, vilket gör att det blir ett övertryck i borrhålet och kollektorslangarna trycks ihop.

Om frysningen sker från toppen av borrhålet och nedåt kan det vid låg vattennivå rinna till vatten i borrhålet ovanför det redan frysta området. Den nytilkomna vattennivån börjar återigen att frysa från toppen och nedåt, vilket innebär att ofryst vatten kommer att bli instängt mellan de två områdena som redan frusit till is. När det instängda vattnet fryser till is sist uppkommer ett övertryck i detta område.

3.5.3 Stort grundvattenflöde

Grundvattenflödet spelar stor roll för bergvärmens funktion eftersom detta tillför värme till borrhålet. Om grundvattenflödet är ojämnt, det vill säga att flödet är större på vissa nivåer längs borrhålet eller foderröret, kommer temperaturen just utanför borrhålet att variera. På grund av detta kan isproppar bildas i foderröret. Detta sker knappast i berget eftersom större grundvattenflöde indikerar mer uppspräckt berg.

3.5.4 Långt till berg

Långa avstånd till berg kräver långa foderrör genom jordtäcket. Då värmeledningsförmågan i marken är mycket lägre än i själva berget tillförs det inte någon nämnvärd värme i foderröret och temperaturen blir därför lägre.

I de problemborrhål som studerats har majoriteten haft långa foderrör, vilket verkar vara den enda likheten dem emellan förutom borrhålsdiametern. I många fall uppkommer också frysproblemen i foderröret. Detta beror dels på att det är kallast i foderröret men också på att ett riktigt monterat och svetsat foderrör är vattentätt. Om det bildas isproppar i foderröret, till

exempel tjäle uppifrån och en ispropp längre ned, måste kollektorslangen tryckas samman när fortsatt frysning sker. Därför är det naturligt att frysproblem lättare uppstår i långa foderrör.

Normalt används foderrör av stålrör. Dessa har en betydligt större hållfasthet än kollektorslangarna, varför kollektorslangarna trycks ihop vid övertryck. Används istället plastfoderrör (PVC) kan detta istället spricka och gå sönder av istrycket vid frysning.³⁷

3.5.5 Extremt täta borrhål

Det är ovanligt med vattentäta berg, men detta kan förekomma i åtminstone delar av borrhålet. Om detta förekommer kan kollektorslangarna även klämmas ihop i borrhålet.

En alternativ förklaring till detta är att isbildning utanför hålet har tätat berget. Det är tänkbart att det kan bildas "permafrost" utanför borrhålet, det vill säga en zon längs hålet som inte tinas upp under sommaren. Detta kan täta eventuella sprickor så att berget i praktiken blir helt tätt. Permafrost sker med mest sannolikhet vid stora jorddjup och kan uppkomma längs jordröret, vilket gör att delar av foderröret lättare fryser när nästa uttagsperiod startar.

3.5.6 Lågt flöde i köldbärarkretsen

Om det blir luft i köldbärarkretsen eller smutssilen blir igensatt minskar flödet genom kollektorslangen, vilket märks genom en lägre temperatur och en större temperaturskillnad på ingående och utgående kollektorflöde. Den ökade temperaturdifferensen ökar risken för frysning.

3.5.7 Klämskador

Brunnen ska placeras så att eventuella installationer ovan jord skyddas från oavsiktliga skador, såsom tunga fordon. Blir det klämskador på kollektorslangen mellan borrhål och hus kan flödet i kollektorn hämmas, med samma konsekvenser som i 3.5.6. Förutom att skydda slangarna måste borrhålslocket konstrueras så att inte kollektorslangarna lyfts upp vid eventuell isbildning.

3.5.8 Värmeledningsförmåga

Temperaturen kan variera längs borrhålet beroende på varierande värmetillförsel. En orsak är att berggrunden har varierande värmeledningsförmåga. Om två bergarter med lågt värmevärde omger ett tredje med högre värmevärde så kyls vattnet vid kollektorn mer vid de två med lägre värmeledning mot vad det gör vid den bergarten med bättre värmeledningsförmåga. Dessa kallare områden omgärdar det varmare, vilket orsakar övertryck i det instängda ("varma") vattnet om det inte kan dräneras ut i berget.

3.5.9 Temperatur

Frysrisken ökar förstås med lägre kollektortemperatur, men höga frystryck kan inte uppstå om inte frysningen sker ojämnt och stänger in vatten i ett vattentätt område längs borrhålet. Köldbärarvätskan i kollektorn håller någon grad kallare än själva borrhålet, så det kan därför tillåtas vara några minusgrader i vätskan utan problem.

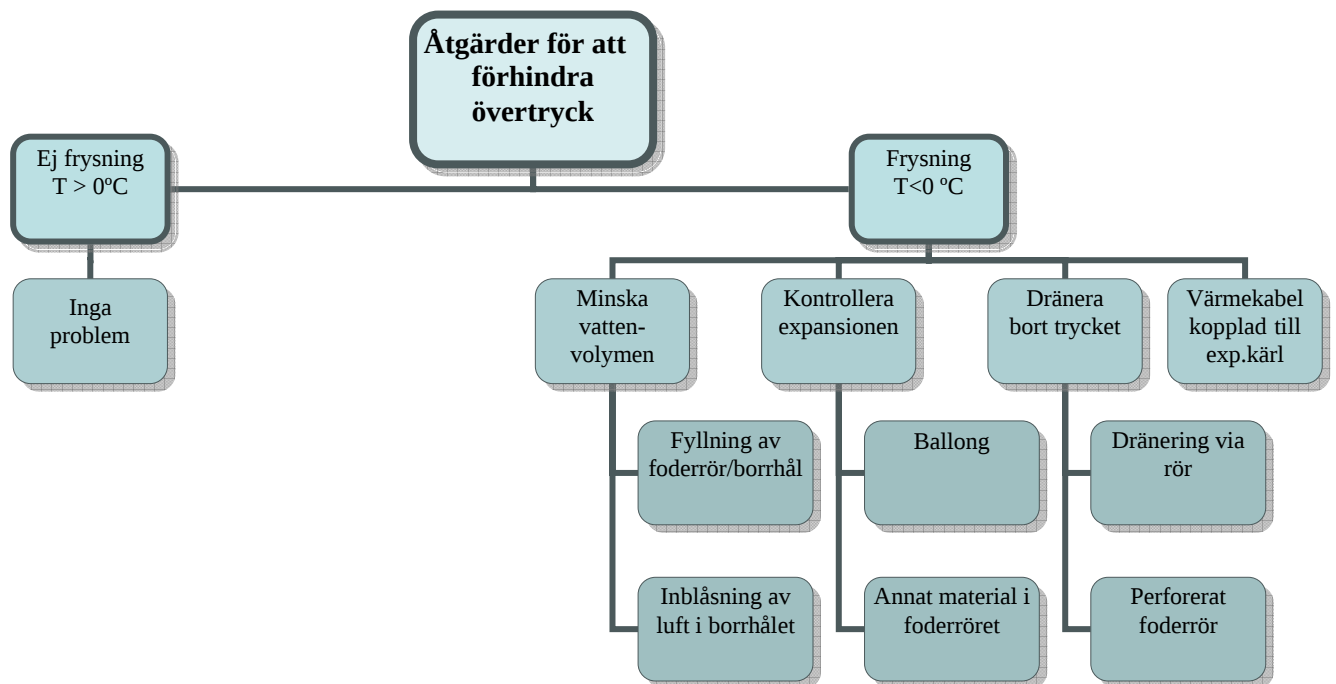
3.5.10 Grannar

Står borrhålen närmare varandra än 15 till 20 meter finns det risk för att de tar energi från varandra. Detta betyder att temperaturen blir lite lägre än för ett ostört borrhål. Är det inte möjligt att lägga borrhålen minst 15 till 20 meter ifrån varandra går det att snedställa hålen från varandra för att de inte ska inverka på varandras värmeupptagningsområden.

3.6 Åtgärder för att motverka frysproblem

Det enklaste sättet att förhindra frysproblem är att inte tillåta en så låg temperatur i kollektorn så att is kan bildas i borrhålet. Eftersom det inte blir lika kallt i borrhålet som i slangen kan köldbärarens temperatur tillåtas att vara någon grad lägre än runt noll grader.³⁶

Frysning kan även tillåtas ske i borrhålet om frystrycket kan kontrolleras, reduceras eller dräneras. Här visas fyra olika sätt, vilka är att minska vattenvolymen i borrhålet genom fyllning av foderrör/borrhål eller inblåsning av luft i foderröret, kontrollera expansionen via en ballong mellan kollektorslangarna eller annat material i foderröret, dränera bort trycket genom att dränera via rör eller använda perforerat foderrör och till sist att ha en värmekabel kopplat till ett expansionskärl. Figur 3.3 är en översikt på dessa åtgärder, där frysningstemperaturen avses vara i borrhålet (som är varmare) och inte i kollektorn.



Figur 3.3: Översikt på åtgärder vid frysning av borrhål med hopklämda kollektorslangar som följd.

Här följer några exempel på vad som kan göras för att förebygga frysning i borrhål, men framförallt är det exempel på vad som kan göras för att åtgärda problem som redan uppkommit. En del av dessa ska inte användas i nya borrhål, utan endast i de anläggningar där det varit problem och det inte finns någon annan lösning.

I borrhålet finns det två kollektorslangar som är hopsvetsade i botten så att de bildar ett U-format slutet rör. Den varmare köldbärarvätskan som går ut från borrhålet, till värmepumpen, symboliseras i bilderna av röd färg och den blå färgen visar returvätskan som har en kallare temperatur. Foderröret visas med svart färg. Principskisserna har inga exakta mått

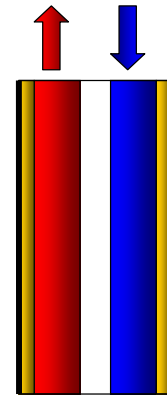
3.6.1 Fyllning av foderrör/borrhål

Genom att fylla foderröret med något som tar upp vattnets plats kan inte frystryck uppstå. Det är möjligt att isolera utrymmet med till exempel isoleringsskum, enligt figur 3.4. Även om en mindre del vatten finns kvar i skummet kommer expansionen att reduceras kraftigt.

Denna typ av fyllnad kommer att nästan helt hindra värmeupptagningen genom foderröret, vilket betyder att man för längre foderrör måste kompensera med extra bergborrning.

En annan åtgärd för att minska vattenvolymen vore att fylla foderröret eller hela borrhålet med cement. Detta ger ungefär samma värmeledningsförmåga som is (som leder bättre än vatten) och skulle därmed öka borrhålets kapacitet.

Förutom cement kan borrhålet fyllas med sand, på samma sätt här för att minska på den vattenmängd som riskerar att frysa borrhålet. Vid fyllning av material bör påfyllningen inledas från botten och upp, enligt kapitel 3.5.2.

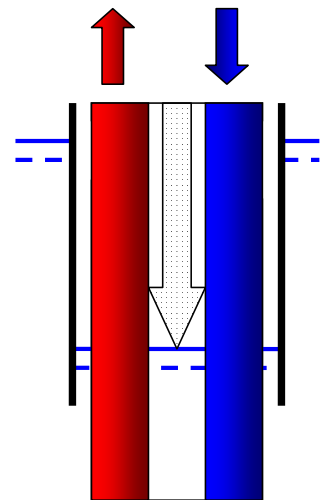


Figur 3.4: De två kollektorslangarna är omgivna av ett isolerat foderrör, där isoleringen är gul och foderröret svart.

3.6.2 Fyllning av luft i foderrör

Genom att sätta ett lufttätt lock med en genomgående ventil kan man trycka in luft i foderröret. Detta innebär att grundvattenytan i foderröret sjunker till önskad nivå, lämpligen en bit ovanför foderrörets nedre kant, enligt figur 3.5. Det tryck som krävs kan enkelt förstås som det antal meter vattenpelare som trycks ned (10 meter vattenpelare = 1 bar).

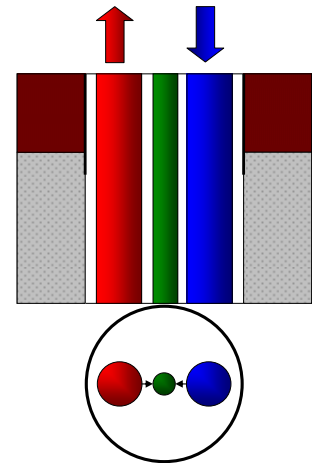
Frysning kan inte ske där kollektorslangarna är omgivna av luft, vilket gör att den lägre vattennivån i foderröret minimerar risken för att det ska ske en frysning i just foderröret. Detta innebär också att det aktiva borrhålsdjupet minskar i samma utsträckning, vilket gör att det måste kompenseras för detta genom att borra djupare. Det är dock inte så stor del av värmen som kommer via foderröret eftersom själva foderröret isolerar lite samt att berget har en mycket bättre värmeledningsförmåga än marken ovanför berg. Normalt motsvaras 10 meter aktivt jorddjup av 3 till 5 meter aktivt bergborrhål.



Figur 3.5: Inblåsning av luft i foderröret för sänkning av vattennivån

3.6.3 "Ballong"

Det är även möjligt att montera en luftfylld mjuk slang ("ballong") i borrhålet mellan kollektorslangarna, enligt figur 3.6. Denna eftergivliga ballong kläms ihop lättare än kollektorslangarna och tar därmed upp det tryck som bildas vid isbildningen. När denna ballong sätts ner minskas även vattenmängden i borrhålet som gör att en mindre del kan frysa. Som ballong kan en slang på cirka 40 millimeter i diameter som är mjukare än kollektorslangen användas. Men det kan även fungera med en luftfylld slang som tätats för att inte få in vatten i röret. Ballongen kan monteras i befintliga problemhål och ännu enklare i samband med nedsättning av gamla eller nya kollektorslangar. En viktig sak att tänka på är att det blir en relativt stor lyftkraft som måste hållas tillbaka för att ballongen ska hållas på plats. Denna kraft kan antingen tas upp av foderrörets lock eller genom en vikt i ballongens nedre ända.

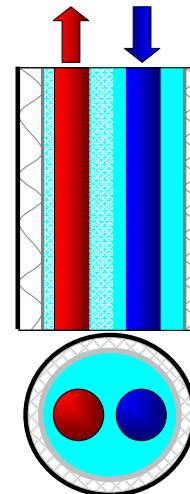


Figur 3.6: En "ballong" mellan kollektorslangarna som tar upp trycket vid frysning.

3.6.4 Annat material i foderröret

Genom att tillverka foderröret i ett annat material med mer elastiska egenskaper än normalfallet kan foderröret tryckas ut istället för att kollektorslangen trycks ihop när det fryser, enligt figur 3.7. Eftersom frysningen drabbar kollektorslangen som leder den kalla vätskan ut ur huset mest, kommer det vara där som expansionen blir som störst.

Det vanliga "riktiga" foderröret sitter utanför det andra foderröret med luft emellan och är sammansvetsat för att inte vatten ska kunna läcka in mellan väggarna. I och med att det är luft emellan dessa båda blir det lättare att trycka ut den töjbara väggen vid expansion. Materialet borde vara så pass elastiskt att det kan klara en uttjörning och sedan dra sig tillbaka igen när isen smält. Detta kan ske genom fjädring som ger med sig av isen men går tillbaka till sitt ursprung när isen smälter och trycket försvinner. En nackdel kan vara att hitta ett lämpligt material med dessa egenskaper som inte är alltför dyrt.



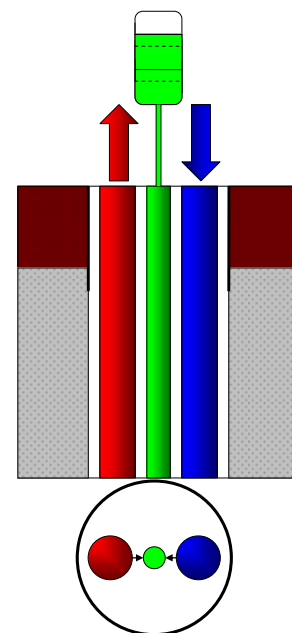
Figur 3.7: Foderröret har ett mer elastiskt material som töjs ut vid expansion, som oftast bara blir på den kalla sidan. På den varma sidan blir det issörja innan den fryser till is.

3.6.5 Dränering via rör

Trycket från isen i borrhålet kan även dräneras bort genom att ha ett kondomliknande material fyllt med silikonolja. När ett övertryck uppkommer på grund av frysning pressas silikonoljan vidare till ett expansionskärl, enligt figur 3.8.

Silikonoljan har en låg densitet och när vattnet fryser tar vätskan upp trycket genom reglering av expansionskärlet. Genom att ha ett genomskinligt expansionskärlet och en färgad vätska kan man se när detta inträffar, vilket kan vara till fördel om frysningen ska studeras på närmare håll.

Denna princip kan på sätt och viss studeras i många fungerande bergvärmesystem genom att observera köldbärarvätskans nivå i det expansionskärlet som finns i systemet. Det är vanligt att nivån höjs under vintern vilket betyder att slangarna delvis krympt. Detta beror mest troligt på att slangerna utsatts för isens tryck.



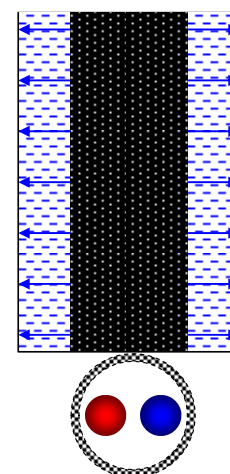
Figur 3.8: Frysningen tas om hand genom att silikonoljan (den gröna färgen) regleras via ett expansionskärlet.

3.6.6 Perforering av foderröret

Genom att perforera foderröret med millimetersmå hål skulle vattnet rinna ut när det blir tryck från isbildningens expansion, enligt figur 3.9. Därigenom kan inget övertryck uppkomma och kollektorslangen blir inte hoptryckt. Det totala flöde som kan rinna ut är lika stort som det vatten som expanderar. Eftersom vatten expanderar med runt 10 procent när det fryser, mindre än en liter per meter borrhål (se bilaga D), är detta den vattenvolym som måste dräneras genom perforeringen. Detta sker under relativt lång tid.

Anledning till att det används foderrör är bland annat för att undvika att ytvattnet rinner ner till grundvattnet och förorenar detta. Är det vatten i hela foderröret blir det samma tryck på båda sidor och ytvattnet rinner inte in. När det sedan blir ett större tryck i själva foderröret rinner vattnet ut tills det blir jämvikt i trycket igen.

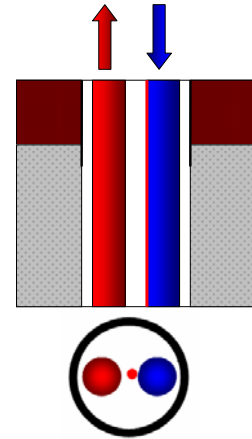
Innan foderröret kan perforeras måste det ses efter vilka regler som gäller. Om det visar sig vara tillåtet kan det perforerade foderröret användas vid alla nya borrhål där man anser att det finns risk för övertryck. I gamla problemborrhål kan denna lösning vara svårare att genomföra, men det torde vara möjligt att föra ned med någon slags mindre utrustning (borr, stans etcetera) så att man kan göra små hål i ett redan monterat foderrör.



Figur 3.9: Perforerat foderrör som vattnet kan strila ut genom när frysning sker.

3.6.7 Värmekabel i hålet

Genom att montera en värmekabel i borrhålet kan övertyck förhindras, se figur 3.10. För att undvika att värmen måste vara påslagen hela tiden bör den kopplas till köldbärarens expansionskär. När frysning sker ökar volymen i expansionskärlet och värmeslingan slås på, det vill säga isen börjar smälta. När expansionskärlets volym går tillbaka har trycket reducerats och värmekabeln kan slås av. Är frysningen lokaliserad så man vet vilket djup det sker på är det ännu lättare att värma upp på bara just det stället. Det går inte åt särskilt mycket energi för värmningen och värmekabeln behöver bara användas när problemet uppkommer. Detta system finns i ganska många vanliga vattenledningar som fryser varje eller vissa vintrar och värmekabeln startas vid behov. Nackdelen med denna lösning är att det känns fel att tillföra värme till berget när det är därifrån den ska tas. En värmekabel i hålet ses därför som en nödlösning. Tekniken är enkel och tillförlitlig. Räknar med att testa denna lösning i något enstaka borrhål.

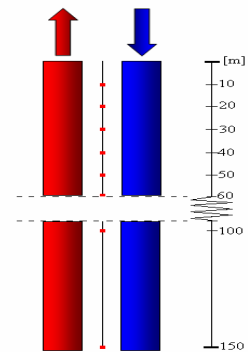


Figur 3.10: Värmeslinga i foderröret på den kalla delen av kollektorn.

3.6.8 Temperaturgivare i hålet

För att bättre förstå frysproblemet kan temperaturgivare placeras längs med kollektorslangen i borrhålet för att registrera hur temperaturen varierar under drift, enligt figur 3.11. Blir det frysproblem är det lättare att avgöra vart det sker och under vilken period det pågår för att lättare komma fram till åtgärder mot problemet. Detta kommer även att användas på problemborrhål för att undersöka varför, hur och när problemet uppstår.

I ett av de aktuella fallen, Sorsele, har åtta stycken termoelement monterats för att undersöka hur det fryser i borrhålet för att kunna hitta en lämplig lösning mot problemet.



Figur 3.11: Temperaturgivare placerade mellan kollektorslangarna i borrhålet.

3.7 Expansionskärl

Vid värmepumpen sitter ett expansionskärl som är till för att ta upp volymökningen i köldbärarslingan för att inte volymförändringarna ska spränga sönder kollektorslangarna och andra känsliga delar i systemet.³⁸ När expansionskärlet sätts på plats ges det ett övertryck på omkring 1 bar och en luftkudde i den övre delen, vilket gör att kärlet inte är helt fyllt med vätska.

På företaget Thermia AB finns det omkring 25 stycken kända fall där kunder har drabbats av problem med att köldbärarvätska spottats ut genom expansionskärlets säkerhetsventil. När trycket sedan går tillbaka har expansionskärlet i en del av dessa fall sugits ihop för att bli helt platt. Orsaken till att vätska trycks upp och ”spottas” ut via säkerhetsventilen kan bero på att vätskan expanderar vid förhöjd temperatur och/eller att kollektorslangen krymper lite vid kyla. En troligare orsak är att borrhålet fryser under drift och deformerar kollektorslangen så att trycket upp till expansionskärlet ökar och vätskan rinner ut. När värmepumpen står still eller det blir varmare ute så att borrhålet tinar strävar kollektorslangen att gå tillbaka till sin ursprungliga form. Eftersom vätskan i expansionskärlet rann ut när systemet var fruset skapas det ett vakuum som suger ihop kärlet.

De flesta expansionskärlet är gjorda i plast med en volym på 4 till 5 liter.³⁷ Genom att ha ett större expansionskärl som rymmer mer vätska eller använda ett slutet kärl som tål mer tryck skulle problemet med vätska som rinner ut från expansionskärlet minskas. Problemet på det slutna systemet är dock att det inte finns någon säkerhetsventil. Det lättaste och säkraste sättet vore dock att sätta dit en vakuumventil på expansionskärlet så att det finns möjlighet för återexpansion.

4. DISKUSSION OCH SLUTSATSER

När vatten fryser till is expanderar dess volym med ungefär tio procent. Vid normalfall sker frysningen i borrhålet uppifrån och ned, vilket inte medför några problem då det vatten som expanderas kan ta sig ut genom sprickor och håligheter i berget. Skulle det däremot frysa från två håll och vatten bli instängt emellan kan det orsaka problem, i synnerhet om det är i foderröret eller om berget är helt tätt. I dessa fall har den expanderade isen ingenstans att ta vägen och det material som tål minst, det vill säga kollektorslangarna, blir hoptryckta. Anledningen till att det fryser senare på ett ställe i berggrunden kan bero på att grundvattenströmningen passerar borrhålet och värmer upp kollektorslangarna just där, för det varmaste stället fryser sist. Det kan även vara varierande värmeledningstal i berget, där en något högre värmeledningstal omges av två lägre.

I foderröret fryser det vanligen uppifrån och ned, men det kan även av olika anledningar frysa längre ner i foderröret. När dessa går emot varandra stängs vattnet in emellan dem i foderröret.

Arbetet med att kartlägga problemanläggningar i Sverige har varit besvärligt, det har framförallt allt varit svårt att lokalisera dem. Åtta problemanläggningar har undersökts, men i dagsläget har det kommit fram ytterligare några stycken.

Anläggningarna visade sig ha två gemensamma faktorer, stort jorddjup, förutom i ett fall (Piteå), samt borrhålsdiameter på 140 millimeter (förutom 145 millimeter i Dorotea). Långa foderrör kan vara en starkt bidragande orsak till att det fryser genom att marken har mycket sämre värmeledningsförmåga än berggrunden, vilket medför en kallare temperatur. Dessutom finns det ingenstans för vattnet att ta vägen när det fryser i foderröret då det är helt tätt. I berget kan det finnas sprickor och håligheter som vattnet kan ta vägen via när det blir expansion på grund av vatten som fryser till is. Vid större diameter på borrhålet får det också plats mer vatten som har möjlighet att frysa.

Det enklaste sättet för att förhindra frysning är att hålla så hög temperatur i borrhålet att det inte kan frysa. Detta är dock ingen lösning för norra Norrland eftersom detta skulle kräva väldigt djupa borrhål.

En mer rimlig åtgärd vore att minska vattenvolymen i foderröret så att det blir mindre mängd vatten som kan frysa. De olika lösningar som föreslås reducerar värmeledningsförmågan något och det kan behövas ett djupare borrhål.

En annan metod är att kontrollera expansionen i borrhålet så att trycket kan tas upp av något annat än kollektorslangarna. Detta kräver att det material som ska ta upp trycket tål mindre än kollektorerna och att de kan ta upp så mycket som vattnet i borrhålet klarar av att expandera.

Det finns även möjlighet att dränera bort trycket genom att låta en annan vätska ta upp trycket och tryckas ut när det blir isexpansion. Vid denna åtgärd finns vattnet kvar runt kollektorslangarna i samma mängd hela tiden och trycks bara bort när trycket ökar, vilket därmed inte orsakar någon sänkning av värmeledningsförmågan.

Slutligen kan man koppla en värmekabel till ett expansionskärl som startar när det fryser i kollektorslangen och vätskan trycks upp till expansionskärllet. Värmeslingan är bara igång tills isen smält. Denna teknik kan vara en bra lösning i existerande problemanläggningar.

En annan sak som uppmärksammas i samband med arbetet är att vätska spottas ur från expansionskärlet vid frysning, vilket verkar bero på att vätskan trycks upp när kollektorslangarna kläms ihop. När det sedan blir vår och marken tinar upp går kollektorslangarna tillbaka och det bildas ett undertryck som suger ihop kärlet. Detta beror förmodligen på partiell frysning. Detta skulle kunna förhindras med någon av tidigare nämnda lösningar, men detta skulle också kunna klaras med en vakuumventil så att kärlet kan klara en återexpansion.

4.1 Fortsatt arbete

I samband med att detta examensarbete tog sin början ansöktes det om bidrag från Energimyndigheten för att få fortsätta studierna som ett doktorandarbete. Detta arbete är tänkt att behandla:

- Kartläggning av bergvärmesystem där frysproblem uppkommer
- Analys för att hitta olika förklaringar till hur, var och varför frystryck uppstår
- Utveckling och test av metod för att åtgärda borrhål med problem
- Utveckling och test av metod för att undvika att problemet uppstår i framtida anläggningar

I Sorsele finns en anläggning där frysproblem uppkommit under flera år. Efter en mängd olika åtgärder borrades under 2004 ett nytt hål. I detta nya borrhål monterades temperaturgivare under hösten för att mäta temperaturen på olika djup. Temperaturmätningarna bör pågå under några år för att se hur problemet uppkommer. Dessa mätningar kommer att ligga till grund för fortsatta studier. Det har även borrats ett särskilt borrhål vid LTU där frysproblem kommer att studeras.

Källförteckning

1. Nordell, B., handledare, Professor vid Luleå tekniska universitet
2. Silveira, S., *Building sustainable energy systems*, AB Svensk Byggtjänst and Swedish National Energy Administration, Halmstad, 2001
3. Svenska värmepumpföreningen (SVEP), *Fakta om bergvärme*, http://www.svepinfo.se/pdf/Produktblad_bergvärme.pdf, 2004-09-07
4. Clern, L., *Geotermisk energi*, <http://www.mimersbrunn.se/arbeten/1430.asp> (2002-08-11), 2004-09-09
5. Tollin, J., et al., *Utvinning av värme ur bergbörade brunnar*, R148:1983
6. Svenska värmepumpföreningen (SVEP), *Är energibrunnarna i din kommun säkra?*, <http://www.svepinfo.se/dbcontent.php?action=a&id=15&PHPSESSID=40567a407abc8bb44ab41f5f080692fc>, 2004-09-21
7. Pemtec, *Information och fakta*, <http://www.pemtec.se/FAQ.htm#berg> (uppdaterad senast 2004-01-22), 2004-09-09
8. Gehlin, S., *Thermal respons test*, <http://epubl.luth.se/1402-1544/2002/39/LTU-DT-0239-SE.pdf>, Luleå 2002, 2004-12-10
9. Vetlanda kommun, *Värmepumpsanläggningar*, <http://www.vetlanda.se/sw343.asp>, uppdaterad 2004-09-17, 2004-09-21
10. Elong, J., et al., *Bergvärme*, Fysiska institutionen, SU, Stockholm, 1997
11. Geotec, *Frågor och svar om energiborrning och värmepumpar*, <http://www.geotec.se/energib/vpfos.htm>, 2004-09-20
12. Geotec, *Geotec:s typgodkända energibrunn*, september 2001, <http://www.geotec.se/info.htm>, 2004-11-06
13. Kristianstads kommun, *Tänker du installera en värmepump?*, http://www.kristianstad.se/templates_custom/Page____4357.aspx, 2004-09-09
14. Svenska värmepumpföreningen (SVEP), *Etanol som köldbärarvätska*, <http://www.svepinfo.se/dbcontent.php?action=a&id=23>, 2004-09-21
15. Energirådgivningen, *Värmepumpar*, www.ronneby.se/energiradgivning/varmep.asp, 2004-09-08
16. Kull, P-O., Majbäck, B-M., *Bergvärme med återladdning*, rapp 1985:076E, Luleå
17. Thermera, *Thermera köldbärarvätska*, <http://www.thermera.com/swedish/brochureS.htm#Thermera>, 2004-12-08
18. Pemtec, *Energikollektorer*, <http://www.pemtec.se/prod01.htm>, 2004-09-01
19. Ny Teknik, *Boom för värmepumpar när oljepriset rusar i höjden*, http://www.nyteknik.se/pub/ipsart.asp?art_id=37399, 2004-11-10
20. Veen, K., *Värmepumpstekniken ett framtidshopp*, Thermias årsredovisning 2003
21. Lögdborg, A., *Värmepumpar minskar koldioxidutsläpp*, annonsblad "energi&miljö", Thermia
22. Energi Halland, *Värmepump*, www.energihalland.se/.../hus/varmepump.html, 2004-09-08
23. Thermia, *Installationsanvisning & manual TeDaP3.50*, Utgåva 1
24. Carrier, *Hur fungerar en värmepump?*, <http://www.carrierab.se/heatpump-description.asp>, 2004-10-22
25. Aftonbladet, *Så fungerar värmepumpen*, <http://www.aftonbladet.se/bostad/0010/22/pumpstor.jpg>, 2004-09-08
26. Länsstyrelsen i Jönköping län, *Så här fungerar en värmepump*, <http://www.f.lst.se/varverksamhet/miljonatur/miljohalsoskydd/miljoskydd/varmepumpar/saharfungerarenvarmepump.4.778255f988e3dba97fff307.html>, 2004-11-30
27. Christensson, T., Regionsansvarig på Thermia för södra Sverige, Gotland och Öland.

28. Johansson, M., laborationschef på Thermia, marie.johansson@thermia.com, Kontakt på Thermia
29. Nordström, F., *Geovärme/geokyla*,
<http://www.nenet.nu/rapporter/energinoframtiden/07geovarmekyla.pdf>, 2004-09-16
30. Lilla energiskolan, *Att spara energi*,
<http://www.octopusenergi.se/lillaenergiskolan2.htm>, 2004-09-01
31. Svenska värmepumpföreningen (SVEP), *Borrhålet och dess funktion*,
<http://www.svepinfo.se/dbcontent.php?action=a&id=8>, 2004-09-21
32. Sundberg, J., *Termiska egenskaper i jord och berg*, Statens geotekniska institut, Information 12, Linköping, 1991
33. Wikipedia, *Värmeledningsförmåga*,
<http://sv.wikipedia.org/wiki/V%E4rmeledningsf%C6rm%E5ga>, 2004-09-22
34. Löfbom, E., *Värmeutvigning*, <http://school.chem.umu.se/Experiment/145>, 2005-01-17.
35. Björck, L-E, et al, *Nya formelsamlingen - tabeller och formler*, Natur och Kultur, Borås, 1995.
36. Svedberg, S., Avanti System, Skene, telefonkontakt, 0320 – 31020, 2004-12-01
37. Nelson, A., Geotec, telefonkontakt och mail, 0413-24460, hösten 2004
38. Din byggare, *Expansionskärl*,
<http://www.dinbyggare.com/artiklar/artikel.asp?docid=161>, 2004-11-29

Bilaga A: Sammanställning av aktuella borrhål

Tabell A.1: En sammanställning av de aktuella borrhålen samt ett genomsnitt för underlätta jämförelser mellan de olika anläggningarna.

	Alingsås	Dorotea	Linköping	Norsjö	Nyköping	Piteå	Sorsele	Svenljunga	Genomsnitt
Djup [m]	170	155	170	190	142	157	175	90	156
Foderrör [m]	Okänt	20	25	42	20-30	9	35	17	24,7
gvy [m]	Okänt	5-10	Fylls m H ₂ O & sand	0,8	Fylldes till 7	5-6	3	4-5	3,4-5
Ålder	01/02	2001	Aug. 1996	01/02	Dec. 2002	1998	1998	98/99	99/00
Avst. hus	Okänt	7	2	10	5	4	6	3	5,29
D_{borrhål} [mm]	Okänt	145	140	140	140	140	140	Okänt	140,8
När problem	1-2 år 2003	I början 2001	E. 3 år 1999	Första vintern 01/02	E. någon v. 2002	ca 2 år ~2000	I början 1998	I början 98/99	00/01
Värme-pump	12 kW	7 kW	12 kW Först 97 %, sen sämre	9,6 kW	9,6 kW Eg. dim. 95 %, blev 85 %	9 kW 95 % av dim.	9kW	6 kW	9,3 kW
Husets energi-behov	Okänt	3-3,5 m ³ olja (eg. 4,5 m ³)	VP 97%	16 kW	Okänt	26 000kWh (eg. 40 000)	Okänt	23 000 kWh	-
Hur mycket har frusit	Sista 20 m i hålet samt hoptryckt U-rör	2-2-3 m	Någon meter, ca 30 m ner	Från 17m och ner till 42 m	ca 1m	1 m längst ner samt demolerat U-rör	Hela vattendelen	Fryst ovan och under foderrör	-
U-rör	Okänt	Enkla	Enkla	Enkla	Enkla	Enkla	Enkla	Okänt	Enkla
Varför problem	Vattnet rinner ej bort när det blir tryck av frysning	Fel oljeförbr. => liten pump. Dålig mark (myr)	Extra tillbygge samt låg vattennivå	Mycket foderrör och dålig genomströmning i slang.	Överuttag pga. inkopplad verkstad &/el. lite vatten i början	Ingen teori	Ingen teori	Högt tryck-fall över värmekällan => dåligt flöde i slang	-
Åtgärd	Fördjupning av borrhål	Borrades ett till hål på 90 m aktivt	Fyllt upp m vatten sen sand. Installerat extra brinepump	Borrades nytt hål 2004 samt jordslinga på 150-200 meter	Fyllde hålet m vatten, ingen kontroll	Borrade ett till borrhål på 157 meter	Nytt borrhål på 176 m (dubbla U-rör)+ 150m av gamla borrhålet. T.-givare isatta i nya hålet.	Fördjupade borrhålet till 165 m	Fyller borrhålet eller borrar nytt

Bilaga B1: Borrhål utanför Vårgårda, Alingsås

Typ av berggrund: Normal granit

Borrhålsdjup: 170 m

Grundvattenläge (och strömning): 0

Används borrhålet till kylning under sommaren eller återförs med värme via sol- eller spillvärme under sommaren för bättre värmeeffekt under vintern?: Nej

Installation av borrhålet: 2001/2002

Tid som det varit problem med frysning: Sedan 2003

Längd på kollektorslangen som frusit: Nedersta biten

Effekt på värmepumpen: 12 kW

Problem: Borrhålet var torrt i början och fylldes därför med vatten innan installation av bergvärme. Detta vatten frös successivt uppifrån och ned i hålet. Kollektorslangen trycktes ihop de sista 20 metrarna nere i hålet och U-röret blev helt förstört.

Tänkbar orsak till problemet: Det verkar inte finnas några sprickzoner i berget så att vattnet kan rinna bort när det blir tryck och frysning. Bedömningen av sprickfritt berg utgörs av att berget inte innehöll något vatten när borringen började.

Åtgärder: Fördjupning av borrhål

Kontaktman: Henrik Johnsson, Alingsås (Thermia Väst), henrik.johnsson@thermia.se

Bilaga B2: Borrhål i Dorotea

Borrhålsdjup: 155 m

Borrhålsdiameter: 145 mm

Jordtäckets tjocklek: ~18 m

Längd på foderrör: ~20 m

Avstånd till huset: ~7 m

Grundvattenläge: Grundvattenytan ligger 5-10 m under marken.

Husets energibehov: Ägaren har uppgett en årlig oljeförbrukning på 3-3,5 m³ olja, men i själva verket tros det ha gått åt 4,5 m³ olja/år.

Installation av borrhålet: I början av 2001

Tid som det varit problem med frysning: Det har varit problem ända sen installationen.

Längd på kollektorslangen som frusit: Kollektorn har frusit på två ställen, vid vattenytan (ovanför berg) och längre ner i berget. Hoptryckningen var på ungefär 2-3 meter på båda ställena.

Effekt på värmepumpen: 7 kW

Dubbla eller enkla U-rör: Enkla.

Problem: Förutom frysning på två ställen i hålet har slangen satt sig mellan borrhålet och huset. Det har även kommit in luft mellan slangarna som inte kunnat ta sig ut.

Möjlig orsak till problemet: För det första har oljeförbrukningen sagts vara för låg då det antagligen gått åt mycket mer olja. Detta har resulterat i att pumpen är för liten med sina 7 kW då det borde egentligen vara en pump på 9 kW. Marken är även av värsta tänkbara sort då det varit en myr där innan som sedan gjorts om till bostadsområde. Marken gungar och slangen sätter sig.

Åtgärder: Det borrades ett nytt hål i vintras (2003) med ett aktivt hål på 90 meter, så det blir sammanlagt 136+90=226 meter aktivt hål.

Övrigt: Även om det borrades ett nytt hål så är värmepumpen för liten på sina 7 kW. Grannarna har liknande hus med samma storlek på pumpen, med skillnaden att de har bättre isolerat hus. Mycket av värmen släpps ut genom bland annat garaget.

Kontaktman: Conny Jacobsson, Dorotea Värme & Sanitet, 0942-515 95

Bilaga B3: Borrhål i Askeby, Linköping

Typ av berggrund: Lamda 3

Borrhålsdjup: 170 m

Borrhålsdiameter: 140 mm

Jordtäckets tjocklek: 20 m

Längd på foderrör: 25 m

Avstånd till huset: 2 m

Grundvattenläge: Torrt borrhål som fylldes på med vatten via slang, efteråt kontrollerades inte nivån. Förra sommaren (2003) började hålet sandfyllas då det vid kontroll visade sig att vattennivån var låg, cirka 25 meter ner vid tillfället. Sanden försvinner då den sjunker ihop och flera påfyllningar har gjorts. Senaste gjordes denna sommar (2004). Vecka 42 (2004) kontrollerades hålet och det gick att fylla i cirka 1000 liter vatten. Sandfyllning fortsätter.

Husets energibehov: Värmepumpen täckte nästan hela behovet i början, cirka 97 procent. Senare med större delta blev det sämre täckning.

Temperatur: Inkommande brine (köldbärarvätska) mellan +6 grader och ned till -3 grader.

Temperaturer på köldbärarvätskan innan problem startar och vid problem: Vid problem var det -2 grader in och -9 grader (som lägst) ut.

Avstånd till närmaste borrhål om man har fler än ett eller om grannen har liknande:

När borrhålet gjordes var det 100 meter till närmaste granne med bergvärme, numera finns det en bergvärmeanläggning 50 meter bort.

Används borrhålet till kylning under sommaren eller återförs med värme via sol- eller spillvärme under sommaren för bättre värmeeffekt under vintern?: Nej.

Installation av borrhålet: Augusti 1996 (gäller även värmepumpen).

Tid som det varit problem med frysning: 3 år (2001) gissningsvis, men nivån har pendlat hela tiden samt att det varit störningar hela tiden.

Längd på kollektorslangen som frusit: Om den frusit kan det vara en punkt om några meter på nivån cirka 30 meter ner. Nivån i expansionskärlet pendlar så att upp till 5 liter trycks ur kärlet, en variation från 0-7 liter som mest.

Utomhustemperatur när frysproblemen startar: Oberoende, men det inträffade mest i slutet av värmesäsongen och mer när det blev större energiuttag. Inga problem över noll grader i utomhustemperatur, men under noll grader ökar svängningarna så att vätska trycks ut ur säkerhetsventilen. Kompression av kollektorn så att delta ökar från 4-10 graders differens sker markant vid omkring -5 graders utomhustemperatur och vid kallare temperatur består

denna stora differens och värmepumpen tappar effekt, samt riskerar att lösa ut på lågtryckspressostat.

En sak som ägaren tycker är konstigt är att när det blir varmare, kanske mellan 0-5 minusgrader, så sjunker deltat direkt mycket snabbt och brinenivån sjunker direkt snabbt ner 4-5 liter. Detta beror förmodligen på att kollektorn som varit lite hoptryckt tinat upp och får plats med mer vätska igen, som tas från expansionskärlet.

Hur stor del av det maximala behovet som täcks med värmepumpen: Först täcktes 97 procent, senare gick det ner till cirka 90 procent.

Effekt på värmepumpen: 12 kW

Dubbla eller enkla U-rör: Enkla.

Minsta/högsta effekt som fås ut vid frysning: Effekten sjunker något vid frysning.

Problem: Känt förträngning och konstaterat mycket högt delta på 9 grader, 0 grader in och -9 grader ut.

Tänkbar orsak till problemet: År 2000 ökade energiuttaget på grund av ett mindre isolerat tillbygge på 20 m². Även så kan vattennivån i borrhålet vara problemet.

Åtgärder: Borrhålet fylldes upp med vatten och vid kontroll visade det sig att vattnet sjunkit. Som åtgärd sandfylldes hålet samt att det fyllts på med 1000 liter vatten. Det har också installerats en extra brinepump och expansionskärlet på värmepumpen har bytts ut till ett tryckexpansionskärlet.

Övrigt: Det har kontrollerats om det finns någon kompression av slangarna, men det har inte med säkerhet kunnat säkerhetsställas. Detta gjordes genom att slangen lodades ner till 100 meter med lod på cirka 25 millimeter. Den kunde haka lite på 20 till 25 meter.

2004-12-17: Grävda brunnar i området håller vatten och är inte mer än 7-8 meter djupa. Ny bergvärmeborrning sker nu hos granne 100 meter bort med 7 meter till berg. Det är enligt uppgift i övrigt en sandås här. Det finns även två Thermia bergvärmeanläggningar i samma område kanske 100 till 200 meter bort som startade 1997 och gått klanderfritt.

Tillägg 2004-11-10: Värmepump i drift intermittent efter behovet. Det var 3-6 plusgrader ute idag. Uppskattningsvis går värmepumpen 30 procent arbetstid nu.

Vid stoppad värmepump: brinetemperatur in-ut cirka noll grader.

Vid drift under 15 minuter var brinetemperaturen stabil på -1 grad in och -4,5 grader ut under de senaste 10 minuterna av denna driftfas.

Brinevätska finns i ett expansionskärlet av plast med säkerhetsventil på toppen. Det var nu en nivå på cirka 70 procent i detta som från början rymmer 4,1 liter. Vätskan hade det senaste dygnet tryckts ut genom säkerhetsventilen, cirka 8 deciliter. Nu var kärlet som är av hårdplast med relativt kraftigt gods hopsuget av kraftigt undertryck. Det var dock inte undertryck just vid detta tillfälle.

Borrhålet fyllt med sand senast för några veckor sedan och även uppfyllt med vatten enligt ovan (1000 liter).

Med en borrhålsdiameter på cirka 140 millimeter blir det ungefär 66 meter i borrhålet som fyllts på med vatten.

Ägaren nämner att det var cirka 60 meter ner till vattennivå när borrhålet gjordes.

Kontaktman: Sune Davidsson, Örebrokontoret, region 6, 019-236

Bilaga B4: Borrhål i Norsjö

Borrhålsdjup: 190 m

Borrhålsdiameter: 140 mm

Jordtäckets tjocklek: ~40 m

Längd på foderrör: ~42 m

Avstånd till huset: ~10 m

Grundvattenläge och strömning: Grundvattenytan går 0,8 meter under marken och vattenflödet är bra.

Husets effektbehov: 16 kW

Temperaturer på köldbärarvätskan innan problem startar och vid problem: Temperaturen har inte så stor betydelse, det som spelar roll är hur lång tid pumpen har varit i drift.

Avstånd till närmaste borrhål om man har fler än ett eller om grannen har liknande: Närmaste granne med bergvärme bor cirka 50 till 60 meter från detta borrhål med ett borrhål på 180 meters djup utan problem.

Används borrhålet till kylning under sommaren eller återförs med värme via sol- eller spillvärme under sommaren för bättre värmeeffekt under vintern?: Nej.

Installation av borrhålet: 2001 eller 2002.

Tid som det varit problem med frysning: Problemet kom redan första vintern.

Längd på kollektorslangen som frusit: Frysning har skett på avståndet 17-42 meter ner i marken, mestadels är det den varma kollektorslangen som tryckts ihop.

Effekt på värmepumpen: 9,6 kW

Dubbla eller enkla U-rör: Enkla.

Problem: Kollektorslangen har blivit hoptryckt mellan 17 till 42 meter ner i borrhålet, det vill säga en total längd på 25 meter.

Tänkbar orsak till problemet: Då det är så pass mycket foderrör som inte bidrar med någon värme så borde dessa kanske kompletteras, till exempel med en jordslinga. Frysningen kan bero på dålig genomströmning i slangen och dålig tillförsel av energi till berget.

Åtgärder: Det borrades ett nytt hål denna sommar (2004) och det lades ut en jordslinga under marken på 150 till 200 meter. Återstår att se resultatet till vintern 2004.

Övrigt: Innan borrning av hålet gjordes var det is i hålet cirka 8-9 meter ner.

Det är inte temperaturen som är det avgörande när det fryser, utan tiden som pumpen varit i drift.

Kontaktmän: Lage och Stefan Andersson, LA:s rör, 0918-106 06.

Bilaga B5: Borrhål i Stigtomta, strax utanför Nyköping

Typ av berggrund: Lamda 3

Borrhålsdjup: 142 m

Borrhålsdiameter: 140 mm

Jordtäckets tjocklek: Cirka 20 m

Längd på foderrör: ~22-30 m

Grundvattenläge: Torrt borrhål från början som fylldes på med vatten, efteråt kontrollerades aldrig om vattennivån höll sig kvar eller sjönk. Nivån vid påfyllning stannade på ungefär 7 meter enligt borrararen.

Marktemperatur: Har varit lägst -3 grader in och varit projekterat för -5 grader som lägst.

Husets energibehov: Behovet är okänt då det eldades med ved och därutöver användes el. Efter installationen värmdes även en verkstad via kulvert.

Temperaturer på köldbärarvätskan innan problem startar och vid problem: 2003 var det +2 grader in och -7 grader ut.

Avstånd till närmaste borrhål om man har fler än ett eller om grannen har liknande: Det är mer än en kilometer till närmsta hus med bergvärme.

Används borrhålet till kylning under sommaren eller återförs med värme via sol- eller spillvärme under sommaren för bättre värmeeffekt under vintern?: Nej.

Installation av borrhålet: December 2002.

Tid som det varit problem med frysning: Några veckor efter installation märktes det att deltat ökade och blev onormalt högt. Andra vintern blev variationen av expansion av brine ännu större, 3-5 liter.

Längd på kollektorslangen som frusit: Ungefär 1 meter.

Lufttemperatur när frysproblemen startar: -10 grader.

Dimensionering på värmepumpen: Meningen var att värmepumpen skulle vara dimensionerad till 95 procent av det totala energibehovet, men med för stort uttag av energi totalt med den energislukande verkstaden påkopplad blev det nog inte mer än cirka 85 procent.

Effekt på värmepumpen: 9,6 kW, där värmepumpen täcker 80 procent av det maximala behovet.

Dubbla eller enkla U-rör: Enkla.

Tänkbar orsak till problemet: Frysningen i borrhålet kan ha att göra med överuttag då ägarna av borrhålet kopplat in en verkstad med rätt hög förbrukning. Även punktkompression av is mot kollektorn.

Åtgärder: Borrhålet fylldes med vatten då det var torrt vid installation, efteråt kontrollerades aldrig vattennivån. Ingen vet med säkerhet om nivån i borrhålet stod tillräckligt högt under första vintern när anläggningen startades vid jul och då det var mycket kallt direkt den första månaden efter installationen.

Övrigt: Kollektorn har dragits upp där man kunde se att den varit helt komprimerad 5-6 meter ner i borrhålet på nära en meter.

Före jul 2002 erhöles ett för högt delta och tillsatsen gick mer än projekterat. 2003 blev deltat ännu högre, +2 grader in och -7 grader ut, vilket ger ett delta på 9 grader. Anläggningen var dimensionerad för delta på 5 grader.

Återförsäljaren har installerat flera anläggningar på denna ort, men dessa är ett par kilometer utanför. Inga av de andra anläggningarna har haft problem.

Sune med flera anser nu att problemen har orsakats av bland annat mycket större energiuttag än anläggningen var projekterad för och/eller att vattennivån i borrhålet blev låg i början. När kollektorn drogs upp i juni 2004 var vattennivån ok, cirka 4 meter ner.

Kontaktman: Sune Davidsson, Örebrokontoret, region 6, 019-236 480

Bilaga B6: Borrhål i Piteå

Borrhålsdjup: 157 m

Borrhålsdiameter: 140 mm

Jordtäckets tjocklek: 4 m

Längd på foderrör: 9 m

Avstånd till huset: 4 m

Grundvattenläge: 5-6 m

Avstånd till närmaste borrhål om man har fler än ett eller om grannen har liknande: Ungefär 30-40 meter bort finns det borrhål utan problem.

Husets energibehov: 26 000 kWh efter att bergvärmesystemet hade satts in. Innan installation var det på 30 000 kWh och de hade räknat med att behovet skulle bli runt 40 000 kWh efter installation då det skulle byggas till ett garage.

Temperaturer på köldbärarvätskan innan problem startar och vid problem: -3 grader in och -9 grader ut, vilket ger delta på 6 grader.

Används borrhålet till kylning under sommaren eller återförs med värme via sol- eller spillvärme under sommaren för bättre värmeeffekt under vintern?: Nej, men planerar för att göra det senare.

Installation av borrhålet: 1998

Tid som det varit problem med frysning: Problemet märktes efter några år då ägaren köpt mätutrustning som visade att anläggningen inte gick som den borde. Det visade sig att ägaren hade rätt, och fick hjälp efter det att han övertalat installatören om detta.

Längd på kollektorslangen som frusit: Sista metern i borrhålet som också var vridet samt att U-röret deformerats.

Hur stor del av det maximala behovet som täcks med värmepumpen: Dimensionerad för 95 procent av totala energibehovet.

Effekt på värmepumpen: 9 kW

Dubbla eller enkla U-rör: Enkla.

Problem: Hela kollektorslangen var felfri 156 meter. Den sista metern var skadad och vriden och i U-röret har svetsningen mellan krök och slang deformerats och materialet har skadats.

Åtgärder: Det borrades ett nytt borrhål på 157 meter cirka 20 meter från första borrhålet. Har blivit stor skillnad på delta och effekt om man jämför med före det nya borrhålet. Återstår att se till vintern 2004 om den klarar sig.

Övrigt: Först trodde installatörerna att det var fel på spriten som skiktades, så den byttes ut till färdigblandad vätska. Detta gjordes till våren 2004 och systemet fungerade mycket bra därefter. Men så fort det blev lite kallare ute, -5 grader, så blev delat märkbart sämre.

När det blir klämskada på slangen så blir det hela tiden allt sämre värden. Slangen har ett "inbyggt minne" som gör att det är lättare för den att klappa ihop ju längre tid som går med frysning. Kollektorslangen tål inget tryck utifrån, bara inifrån. Detta gör det lättare att få den hoptryckt (Nelson, A).

Anders Nelson, Geotec anser att borrhålet borde vara 300 meter djupt för att klara det behov som krävs för att gå med nollgradigt som kallast på kollektorn in.

Kontaktman: Rickard Larsson, Piteå Rörservice, 0911-370 40, samt ägaren av borrhålet.

Bilaga B7: Borrhål i Sorsele

Borrhålsdjup: 185 m

Borrhålsdiameter: 160 mm

Jordtäckets tjocklek: 33 m

Längd på foderrör: 35 m

Avstånd till huset: 6 m

Grundvattenläge: 3 meter under markytan.

Installation av borrhålet: 1998.

Tid som det varit problem med frysning: Sedan start.

Hur stor del av kollektorn har frusit?: Kollektorn har frusit hela vattendelen och ned till cirka 40 meter i borrhålet.

Effekt på värmepumpen?: 9 kW

Dubbla eller enkla U-rör: Enkla.

Problem: Har problem med hopklämda slangar och har byggt om sitt system flertal gånger och därmed fått nya problem. Den gamla kollektorslangen skulle bytas ut mot en ny hösten 2004. När kollektorslangen skulle tas upp ur borrhålet gick den ena delen av U-röret av i kröken i botten på borrhålet och den andra delen gick av cirka 2 meter under markytan.

Kollektorn har fryst hela vattendelen och cirka 40 meter ner. Slangen fastnade ordentligt nere i borrhålet.

Åtgärder: Ett nytt borrhål på 176 meter har borrats 15-20 meter från huset med dubbla U-rör. I det nya borrhålet har det satts ner temperaturgivare på åtta olika djup som ska visa hur temperaturen ändras och var problemet startar, ifall det uppstår nya problem. Det nya borrhålet har precis tagits i användning (slutet av 2004) och det kommer antagligen att dröja något år innan resultaten kan ses.

I det gamla borrhålet sattes det ner nya kollektorslangar på 150 meter, som ska användas som komplement till det nya borrhålet.

Kontaktman: Ägaren av borrhålet

Bilaga B8: Borrhål i Länghem, Svenljunga

Typ av berggrund: Lamda 3

Borrhålsdjup: 90 m

Jordtäckets tjocklek: 15 m

Längd på foderrör: 17 m

Avstånd till huset: 3 m

Grundvattenläge och strömning: Grundvattennivån ligger på 4-5 meter ner i marken. Strömningen är variabel, stundom artesiskt.

Lufttemperatur vid frysning: Runt -10 grader (julhelgen).

Husets energibehov: Cirka 23 000 kWh

Temperaturer på köldbärarvätskan innan problem startar och vid problem: Temperaturen var -2 grader som kallast på den kalla sidan och vid problem med frysning var deltat 5 grader. I vanliga fall höll sig temperaturen runt 0-1 grader på innetemperatur med ett delta på 3 grader. Deltat ökade efter det att slangen komprimerats.

Används borrhålet till kylning under sommaren eller återförs med värme via sol- eller spillvärme under sommaren för bättre värmeeffekt under vintern?: Nej.

Installation av borrhålet: 1998/1999.

Tid som det varit problem med frysning: Problemen började vid start.

Längd på kollektorslangen som frusit: Cirka 15 meter nedanför borrhålets toppen.

Effekt på värmepumpen: 6 kW

Problem: Det har varit minusgrader i toppen på hålet som gör att det fryser vid markytan, samt att det fryser nedanför foderröret. Då det är flöde runt foderröret fryser det inte där. Det blir ett tryck nerifrån foderröret och ett från toppen av hålet så att kollektorslangen i foderröret trycks ihop från båda håll.

Åtgärder: Åtgärdade problemet med att fördjupa hålet till 165 meter.

Övrigt: Frysningen har skett i foderröret, inget vattenflöde just där. Enligt entreprenörerna hade det varit mycket vatten ovan berg.

Kontaktman: Henrik Johnsson, Alingsås (Thermia Väst), henrik.johnsson@thermia.se

Bilaga C: Beräkning av frysning med olika dimensioner

Tabell C.1: Beräkningar som gjorts för hur mycket vatten som kan frysa beroende på U-rör och diameter på borrhål respektive kollektorslangar. Siffrorna i fet stil är de som tas upp i själva rapporten.

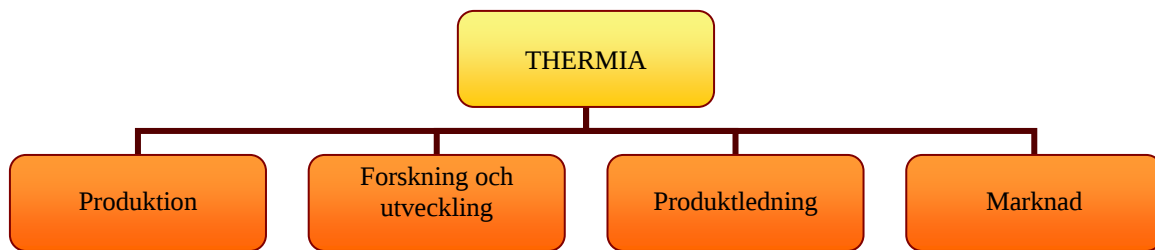
	D _{borr-hål} [mm]	A _{hål} [mm ²]	D _y [mm]	A _y [mm ²]	A _{H₂O} (A _{hål} ·A _y) [mm ²]	V _{H₂O} [l/m]	V _{exp.} (10%·A _{H₂O})	D _i [mm]	A _{Di} [mm ²]	A _{köldbärar-vätska} [mm ²]	V _{köldbärar-vätska} [mm ²]	Ihop-tryckt del	Ihop-tryckt del [%]
ETT	115	10386,9	32	1608,5	8778,4	8,78	0,88	26,2	1078,3	530,2	0,53	1,656	100
	115	10386,9	40	2513,3	7873,6	7,87	0,79	32,6	1669,4	843,9	0,84	0,933	93
	115	10386,9	50	3927,0	6459,9	6,46	0,65	40,8	2614,8	1312,2	1,31	0,492	49
	140	15393,8	32	1608,5	13785,3	13,79	1,38	26,2	1078,3	530,2	0,53	2,600	100
	140	15393,8	40	2513,3	12880,5	12,88	1,29	32,6	1669,4	843,9	0,84	1,526	100
	140	15393,8	50	3927,0	11466,8	11,47	1,15	40,8	2614,8	1312,2	1,31	0,874	87
	140	15393,8	63	6234,5	9159,3	9,16	0,92	51,4	4150,0	2084,5	2,08	0,439	44
	145	16513,0	32	1608,5	14904,5	14,90	1,49	26,2	1078,3	530,2	0,53	2,811	100
	145	16513,0	40	2513,3	13999,7	14,00	1,40	32,6	1669,4	843,9	0,84	1,659	100
	145	16513,0	50	3927,0	12586,0	12,59	1,26	40,8	2614,8	1312,2	1,31	0,959	96
	145	16513,0	63	6234,5	10278,5	10,28	1,03	51,4	4150,0	2084,5	2,08	0,493	49
	165	21382,5	32	1608,5	19774,0	19,77	1,98	26,2	1078,3	530,2	0,53	3,729	100
	165	21382,5	40	2513,3	18869,2	18,87	1,89	32,6	1669,4	843,9	0,84	2,236	100
	165	21382,5	50	3927,0	17455,5	17,46	1,75	40,8	2614,8	1312,2	1,31	1,330	100
	165	21382,5	63	6234,5	15148,0	15,15	1,51	51,4	4150,0	2084,5	2,08	0,727	73
	195	29864,8	32	1608,5	28256,3	28,26	2,83	26,2	1078,3	530,2	0,53	5,329	100
	195	29864,8	40	2513,3	27351,5	27,35	2,74	32,6	1669,4	843,9	0,84	3,241	100
	195	29864,8	50	3927,0	25937,8	25,94	2,59	40,8	2614,8	1312,2	1,31	1,977	100
	195	29864,8	63	6234,5	23630,3	23,63	2,36	51,4	4150,0	2084,5	2,08	1,134	100
TVÅ	115	10386,9	32	3217,0	7169,9	7,17	0,72	26,2	2156,5	1060,5	1,06	0,676	68
	115	10386,9	40	5026,5	5360,3	5,36	0,54	32,6	3338,8	1687,8	1,69	0,318	32
	140	15393,8	32	3217,0	12176,8	12,18	1,22	26,2	2156,5	1060,5	1,06	1,148	100
	140	15393,8	40	5026,5	10367,3	10,37	1,04	32,6	3338,8	1687,8	1,69	0,614	61
	140	15393,8	50	7854,0	7539,8	7,54	0,75	40,8	5229,6	2624,4	2,62	0,287	29
	145	16513,0	32	3217,0	13296,0	13,30	1,33	26,2	2156,5	1060,5	1,06	1,254	100
	145	16513,0	40	5026,5	11486,4	11,49	1,15	32,6	3338,8	1687,8	1,69	0,681	68
	145	16513,0	50	7854,0	8659,0	8,66	0,87	40,8	5229,6	2624,4	2,62	0,330	33
	165	21382,5	32	3217,0	18165,5	18,17	1,82	26,2	2156,5	1060,5	1,06	1,713	100
	165	21382,5	40	5026,5	16355,9	16,36	1,64	32,6	3338,8	1687,8	1,69	0,969	97
	165	21382,5	50	7854,0	13528,5	13,53	1,35	40,8	5229,6	2624,4	2,62	0,515	52
	165	21382,5	63	12469,0	8913,5	8,91	0,89	51,4	8300,0	4169,0	4,17	0,214	21
	195	29864,8	32	3217,0	26647,8	26,65	2,66	26,2	2156,5	1060,5	1,06	2,513	100
	195	29864,8	40	5026,5	24838,2	24,84	2,48	32,6	3338,8	1687,8	1,69	1,472	100
	195	29864,8	50	7854,0	22010,8	22,01	2,20	40,8	5229,6	2624,4	2,62	0,839	84
	195	29864,8	63	12469,0	17395,8	17,40	1,74	51,4	8300,0	4169,0	4,17	0,417	42
TRE	115	10386,9	32	4825,5	5561,4	5,56	0,56	26,2	3234,8	1590,7	1,59	0,350	35
	140	15393,8	32	4825,5	10568,3	10,57	1,06	26,2	3234,8	1590,7	1,59	0,664	66
	140	15393,8	40	7539,8	7854,0	7,85	0,79	32,6	5008,1	2531,7	2,53	0,310	31
	145	16513,0	32	4825,5	11687,5	11,69	1,17	26,2	3234,8	1590,7	1,59	0,735	73
	145	16513,0	40	7539,8	8973,2	8,97	0,90	32,6	5008,1	2531,7	2,53	0,354	35
	165	21382,5	32	4825,5	16557,0	16,56	1,66	26,2	3234,8	1590,7	1,59	1,041	100
	165	21382,5	40	7539,8	13842,6	13,84	1,38	32,6	5008,1	2531,7	2,53	0,547	55
	165	21382,5	50	11781,0	9601,5	9,60	0,96	40,8	7844,4	3936,5	3,94	0,244	24
	195	29864,8	32	4825,5	25039,3	25,04	2,50	26,2	3234,8	1590,7	1,59	1,574	100
	195	29864,8	40	7539,8	22324,9	22,32	2,23	32,6	5008,1	2531,7	2,53	0,882	88
	195	29864,8	50	11781,0	18083,8	18,08	1,81	40,8	7844,4	3936,5	3,94	0,459	46
	195	29864,8	63	18703,5	11161,3	11,16	1,12	51,4	12449,9	6253,5	6,25	0,178	18

Bilaga D: Företaget Thermia AB

AB Thermia-verken grundades 1923 i Arvika och producerade gjutjärnsprodukter såsom spisar, radiatorer, kaminer etcetera i början. Primärenergien utgjordes av fasta bränslen såsom ved. Hemmamarknaden är Sverige och Finland och nuförtiden är produkterna värmepumpar, pelletsvärmare, pannor och varmvattenberedare.

I Finland sker forskning, utveckling och produktion av pannor och pelletsvärmare, medan motsvarande funktioner av värmepumpar och varmvattenberedare sker i Sverige.

Dagens organisation är uppdelad enligt figur D1:



Figur D1: Organisationen inom Thermia

Omsättning

Thermiakoncernen omsatte 484 miljoner kronor förra året och hade en personal på 345 stycken. Produkterna säljs via cirka 200 återförsäljare i Sverige, i Finland säljs värmepumparna via återförsäljare och övriga produkter via grossister och på den övriga marknaden säljs produkterna genom lokala distributörer och återförsäljare. Förutom hemmamarknaden i Sverige och Finland distribueras Thermias produkter i 17 andra länder: Danmark, Estland, Holland, Irland, Kroatien, Litauen, Norge, Polen, Ryssland, Schweiz, Slovakien, Tjeckien, Turkiet, Tyskland, Ungern och Österrike.



Logotyp

Logotypen som Thermia använder sig av ser ut som figur D2 visar och har anor från tidigt 1900-tal. Symbolen står för en förening av stålets styrka (den blå manliga symbolen) och koppars renhet (den röda kvinnliga).

Figur D2: Thermias logotyp från tidigt 1900-tal.

Affärsidé

Affärsidén för Thermia råder:

- ”Att inom uppvärmningsområdet utveckla, producera och marknadsföra ett brett produktprogram. Produkterna ska installeras av välutbildade och ansvarskännande installatörer.
- Uppvärmningssystemen skall fylla höga krav på energieffektivitet och hemmamarknad skall vara Norden.
- Med en rationell serietillverkning som bas skall exportländer utanför Norden bearbetas med marknadsanpassade delar av produktsortimentet.”

Fem nyckelbegrepp

Thermia har fem nyckelbegrepp som utgångspunkter, dessa måste följas så att kunden får det bästa möjliga mottagandet och hjälp när så behövs:

1. Oslagbar service
2. Pålitlighet
3. Tydlighet
4. Förmåga att utveckla och förnya
5. God lönsamhet i alla led

Av dessa är grundregeln tydlighet med raka seriösa budskap. Thermia själva vill att omvärlden ska uppfatta dem med:

- Bästa totalekonomi
- Bekvämlighet
- Trygghet

Thermia Online

Thermia har kommit fram till en komplettering av värmepumpssystemet, Thermia Online, som gör att ägaren kan övervaka och styra sin anläggning från vilken dator som helst som är uppkopplad mot nätet. På detta sätt kan inomhustemperaturen sänkas när ägaren åkt bort och på så sätt spara pengar. Innan ägaren kommer tillbaka kan hon/han öka temperaturen igen och komma hem till ett uppvärmt hus. För installatören blir det också lättare då det snabbt och enkelt går att kontrollera driftsförhållandena utan att åka ut till anläggningen. Systemet innehåller även en larmfunktion som vidarebefordrar larm från värmepumpen via SMS och e-mail.

Historik

- 1889 började Arvikabon Per Andersson tillverka vedeldade kokspisar.
- 1923 grundar Per Andersson AB Thermia-verken.
- 20- och 30-talet kännetecknas av att företaget producerade olika gjutjärnsprodukter såsom spisar, radiatorer, kaminer samt olika spistillbehör, stekpannor, våffeljärn mm. Primärenergien utgjordes av fasta bränslen såsom ved.
- Under 30- och 40-talet var det krigsår och innebar mycket tillverkning för försvaret i form av kaminer, pannor, spisar och minor. Svets tekniken började komma in i företaget på allvar.
- På 50-talet gjorde oljan sitt intåg på världsmarknaden och Thermia profilerade sig snabbt som en av Sveriges ledande pannstillverkare. Förutom Norden blev Tyskland, Holland och Belgien betydande marknader. Gjuteridelen avvecklades.
- 50- och 60-talet är en tid då beredarsortiment utvecklas och blir ledande. 60-talet innebar avveckling av oljepannetillverkningen och istället inriktning mot beredare och pannor med el som primärenergi.
- Under 70-talet övergick Thermia från familjeföretag till att tillhöra en börsnoterad koncern, Corona och sedermera AGA. Produkterna blev nya elpannor, effekregulatorer, vattenaggregat samt värmepumpsystem. Kyltekniken kom in i företaget.
- 1977 inleds satsning på återförsäljare och första året rekryteras 14 stycken. Även så startar Thermias skolan som samtliga återförsäljare måste genomgå för att få företräda Thermias produkter.
- På 80-talet kom Thermia in i Pharoskoncernen, en vidareutveckling av systemlösningar där värmepumpen står i fokus och där solenergi lagrad i mark, sjö, grundvatten, berg och luft samt spillvärme i olika former utnyttjas.
- År 1980 utvecklas revolutionerande värmeväxlarkoncept. Värmeöverföringen ökar rejält samtidigt som mängden köldmedium minskar pga. miljöskäl från 8 till 1,7 kilo.
- 1984 installerar Thermia en reglerdator för att ge helautomatisk styrning av värmepumpar, varmvatten och tillsatsvärme.
- Under 1993 presenteras den första värmepumpen där alla enheter (värme, varmvatten, elpatron och datorstyrning) är samlade i en 60x60 centimeters modul.
- År 1994 börjar Thermia med scrollkompressorer som ger ökad verkningsgrad, bättre tillförlitlighet och lägre ljud.
- År 2000 lanseras möjligheten att kunna fjärrövervaka värmepumpen. Grunden är lagd för den tjänst som idag heter Thermia Online som bevakar och styr värmepumpen via Internet.
- 2002 presenterar Thermia den första scrollkompressorn som är anpassad för värmepumpar (och inte kyl- och frysanläggningar som innan). Innovationen bidrar till en kraftigt förbättrad årsverkningsgrad.
- Under 2004 presenteras TWS, en unik teknik som ger den första varmvattenberedaren anpassad för värmepumpar med resultatet: marknadens bästa varmvattenproduktion.