



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



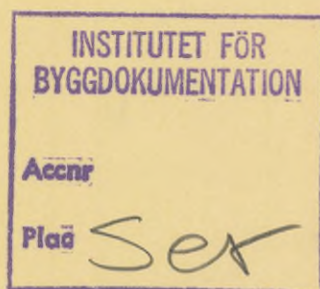
**Rapport**

**R183:1984**

# **Bergvärme för småhus**

## **Dimensionering**

**Johan Tollin**



*R*  
*9/12*

**Byggeforskningsrådet**

R183:1984

BERGVÄRME FÖR SMÅHUS - DIMENSIONERING

Johan Tollin

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
830790-8 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Allmänna Ingenjörbyrån AB, Solna

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R183:1984

ISBN 91-540-4298-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck Stockholm 1984

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	<u>Sid</u>
Förord	5
Sammanfattning	6
1. Syfte	8
2. Bakgrund	9
2.1 Introduktion	9
2.2 Litteratur om bergvärme	9
3. Behandlade system	10
3.1 Prestanda	10
3.2 Förutsättningar och utformning	12
3.3 Dimensionerande lägsta temperatur	14
3.3.1 Borrhålstemperatur	14
3.3.2 Köldbärartemperatur vid baslastdrift	14
3.3.3 Köldbärartemperatur vid heltäckande drift	14
4. Resultat	15
4.1 Erforderligt antal brunnar	15
4.2 Erforderligt aktivt borrhålsdjup	15
4.3 Långsiktig temperaturutveckling	17
4.4 Influenstradie	18
4.5 Betydelse av strömmande grundvatten	22
4.6 Temperaturvariation i borrhålet vid köldperioder	25
5. Generell dimensionering av kollektorstorlek	27
5.1 Förutsättningar	27
5.2 Borrhålsdjup	27
5.2.1 Korrektion med avseende på markttemperatur	29
5.2.2 Korrektion med avseende på lägsta godtagbara köldbärartemperatur	29
5.3 Dimensionering av stora bergvärmekollektorer	30
6. Referenser	31



## FÖRORD

AIB - Allmänna Ingenjörbyrå AB har i samarbete med Institutionen för Matematisk Fysik, Lunds Tekniska Högskola, genomfört en typdimensionering av bergvärmesystem för uppvärmning av enskilda småhus.

I projektet har medverkat

civ ing Johan Tollin, AIB, projektledare  
civ ing Per Eskilson, LTH  
civ ing Catharina Olin, AIB

Studien har genomförts under tiden september 1983 till januari 1984.

Solna i maj 1984

AIB - ALLMÄNNA INGENJÖRSBYRÅN AB  
Energiteknik

Johan Tollin



## SAMMANFATTNING

Berg kan användas som värmekälla för värmepumpar för uppvärmningsändamål. Genom att kyla ett eller flera bergborrade hål (med samma dimensioner och djup som vanliga bergborrade brunnar för vattenuttag normalt har) transporteras värme till värmepumpens kollektor i borrhålet. Värmetransporten sker i normal kristallin berggrund helt övervägande genom termisk ledning. Kollektorn förutsätts i denna rapport vara ett slutet slangsystem, i vilket en köldbärare (antifrysätska) cirkuleras.

Rapporten redovisar ett antal data för fyra olika storlekar på bergvärmeanläggningar; 4, 6, 10 och 15 kW kyleffekt. Dessa storlekar motsvarar ca 7, 10, 17 respektive 25 kW värmeeffekt, dvs anläggningar för småhus och villor. Den dimensionerande kyleffekten definieras i denna rapport som den kyleffekt värmepumpen har vid lägsta månadsmedeltemperatur under året på köldbäraren, dvs medeltemperaturen i februari.

För de tänkta typanläggningarna, belägna i Stockholmstrakten, redovisas bl a erforderligt borrhålsdjup (meter vattenfyllt hål), omgivningspåverkan, inbördes termisk influens mellan brunnar i flerhålsystem, långsiktig temperaturutveckling m m.

Rapporten har begränsats till att behandla vertikala borrhål med slutna kollektorsystem utan återladdning.

Den köldbärartemperatur som dessa typanläggningar redovisas vid, är inte någon rekommendation utan skall ses som den minsta kollektorstorlek som idag är realistisk med de värmepumpar och köldbärare som f n finns kommersiellt tillgängliga. Det slutliga valet av kollektorstorlek (och därmed arbetstemperatur på köldbäraren) blir en avvägning mellan investeringskostnad och kostnad för drift och underhåll.

Det bör observeras att olika värmepumpar har olika förutsättningar att arbeta effektivt vid låga köldbärartemperaturer. Det är därför inte lämpligt att generellt rekommendera någon lägsta dimensionerande köldbärartemperatur.

För att med hjälp av de redovisade resultaten för typanläggningarna dimensionera kollektorer med önskad prestanda återfinns i rapporten ett separat avsnitt med en enkel metod att justera kollektorstorleken efter rådande förutsättningar och önskemål. Som utgångspunkt krävs kännedom om den aktuella bergartens värmeledningsförmåga, ostörd medeltemperatur i borrhålet, lägsta tillåtna köldbärartemperatur för systemet samt värmepumpens utnyttjningsgrad under året.

De redovisade kollektorerna består av ett till tre borrhål, beroende på storleken på markvärmeuttaget.



och avståndet mellan borrhålen. Beroende på hur nära hålen förläggs vid flerhålsystem krävs olika borrhålsdjup för att kollektorerna ur ett flerårigt perspektiv skall ha jämförbara prestanda.

Det datorprogram som utnyttjats vid beräkningarna har utvecklats vid Institutionen för Matematisk Fysik vid Lunds Tekniska Högskola. Beräkningarna är i görligaste mån kontrollerade mot de resultat som framkommit vid mätningar som genomförs eller har genomförts på bergvärmeanläggningar, bl a med medel från Byggeforskningsrådet.

## 1. SYFTE

Rapporten avser att ge dimensioneringsunderlag och redovisa långsiktiga effekter för ett antal utföranden av småskaliga bergvärmesystem i storlekarna 7 till 25 kW levererad värmeeffekt.

Resultaten är tänkta att kunna utgöra underlag för installatörer samt att användas vid utvärdering av offerter och alternativ, låneansökningar m m.

För ett antal vanliga utformningar av bergvärmeanläggningar beskrivs

- anläggningens prestanda
- inverkan på omgivande mark och berg efter 5, 10, 25 och 50 års drift
- bergvärmekollektorns interferens med intilliggande anläggningar
- utformningens begränsningar och fördelar jämfört med näraliggande alternativa systemutformningar.

Rapporten har begränsats till att behandla slutna kollektorsystem med vertikala borrhål utan återladdning. Vid beräkningarna har endast värmeuttag genom värmeledning i berg och jord behandlats, vilket är en godtagbar approximation vid behandling av slutna kollektorsystem.

## 2. BAKGRUND

### 2.1 Introduktion

Bergvärme innebär att en eller flera djupa bergborrade brunnar utgör värmekälla för en värmepump-anläggning. Brunnen utgör en värmeväxlare där värmen leds från berget till brunnen genom att temperaturen sänks i brunnen. Det vanligaste kollektorsystemet idag utgörs av att en köldbärare (antifrysvätska) cirkuleras i ett slutet slangsystem i borrhålet. Ofta används något oegentligt även benämningen brine på antifrysvätskan. Brine betyder på engelska "saltlösning", vilket endast är en kategori av de antifrysvätskor som är användbara i detta sammanhang.

Två andra vanligt förekommande system är den "öppna recirkulationsbrunnen" och "kombinationsbrunnen". Med öppen recirkulationsbrunn menas att grundvattnet utgör det värmeöverförande mediet. Vattnet cirkuleras i detta fall med en sänkpump via värmepumpens förångare tillbaka till brunnen. Kombinationsbrunnen är en kombination av grundvattenvärme- och bergvärmeutnyttjande genom att en större eller mindre del av det grundvatten som avkyls av värmepumpen ej recirkuleras utan leds bort. Detta kräver att brunnen har en tillräcklig vattenförande kapacitet, se /AIB 83/.

I denna rapport behandlas enbart slutna kollektorsystem. I vissa delar är emellertid resultaten tillämpliga på de övriga bergvärmesystemen.

### 2.2 Litteratur om bergvärme

Det finns ännu relativt litet skrivet om bergvärme. För den som vill veta mer rekommenderas nedanstående skrifter:

Eriksson /AIB 84/ har sammanställt en kortfattad informationsskrift om bergvärmertilämpningar för villa och småhusbebyggelse som är en lämplig introduktionskrift för de som vill veta mera allmänt om bergvärme och grundvattenvärme.

I /AIB 83/ redogörs för prestanda och drifterfarenheter från installerade anläggningar och i /AIB 80/ presenteras en förstudie av bergvärmertilämpningar med såväl teoretisk som praktisk inriktning.

/Claesson m fl 84/ redovisar de teoretiska sambanden mycket utförligt och ger många exempel på tillämpningar, dimensioneringskriterier och korta och långsiktiga effekter och prestanda.

### 3. BEHANDLADE SYSTEM

#### 3.1 Prestanda

I rapporten behandlas fyra anläggningsstorlekar mellan 7 och 25 kW levererad värmeeffekt, tabell 3-1. Alla effekter gäller vid en köldbärartemperatur på  $-4^{\circ}\text{C}$  och kondenseringstemperatur motsvarande maximal framledningstemperatur, ca  $50^{\circ}\text{C}$ .

Storlek	Kyleffekt (kW)	Värmeeffekt (kW)
1	4	6,8
2	6	10
3	10	17
4	15	25

Tabell 3-1 Kyleffekt och ungefärlig värmeeffekt för de fyra anläggningsstorlekar som behandlas i rapporten

Varje storlek redovisas för två olika driftstrategier. Det ena fallet, här kallat heltäckande drift, innebär att bergvärmeanläggningen levererar hela fastighetens värmebehov. Värmepumpens drifttid (ekvivalent fulllastdrift) har då satts till 2 500 timmar per år, fördelade enligt figur 3-1.

I den andra driftstrategien utnyttjas anläggningen som basvärmekälla. Den installerade effekten har här ansatts till ca 50 % av fastighetens totala effektbehov, vilket innebär att ca 15 % av det totala energibehovet tillförs via tillsatsvärme. Huvuddelen av energibehovet, ca 85 %, täcks av bergvärmeanläggningen. I figur 3-1 framgår hur värmeuttaget fördelas över året. Den ekvivalenta fullastdrifttiden har beräknats till knappt 4 800 timmar per år för anläggningen.

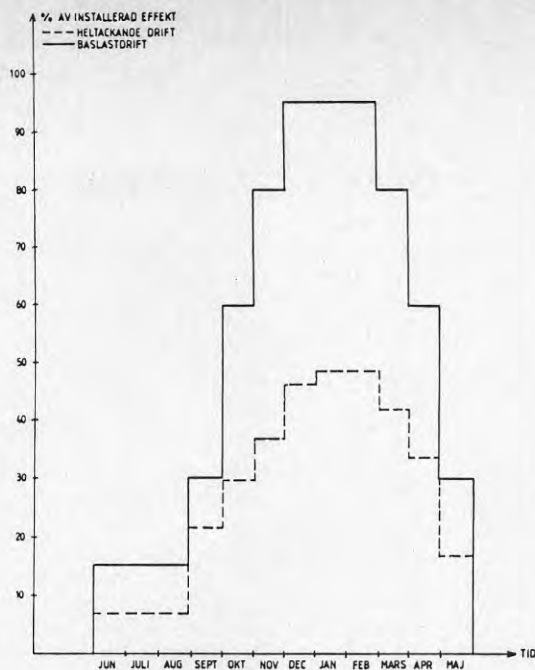


Fig 3-1 Antagen belastning (i procent av installerad kyleffekt) av bergvärmekollektorn under året för heltäckande drift (totalt 2500 h/år gångtid) resp baslastdrift (4800 h/år gångtid)

I tabell 3-2 har grundförutsättningarna sammanställts.

Storlek	Kyl-effekt (kW)	Värme-effekt (kW)	Kylt värmenämgd		Levererad värmenämgd	
			heltäck* (MWh/år)	baslast** (MWh/år)	heltäck* (MWh/år)	baslast** (MWh/år)
1	4	6,8	10	19	17	33
2	6	10	15	29	25	48
3	10	17	25	48	42,5	82
4	15	25	37,5	72	62,5	120

\* 100 % av effektbehovet vid dimensionerande utetemperatur levereras av bergvärmeanläggningen

\*\* ca 50 % av effektbehovet vid dimensionerande utetemperatur levereras av bergvärmeanläggningen

Tabell 3-2 Grundförutsättningarna för dimensionering av anläggningarnas kollektorsystem

De olika driftfallen - heltäckande respektive baslast - motsvarar i Stockholmstrakten en oljeförbrukning enligt tabell 3-3.

Typ	Värmeeffekt (kW)	Oljeersättning		Erforderlig tillsats- energi	
		(m <sup>3</sup> Eo)		(m <sup>3</sup> Eo)	
		heltäck.	baslast	heltäck.	baslast
1	6,8	2,4	4,8	0	0,7
2	10	3,6	7,2	0	1,1
3	17	5,4	10,8	0	1,6
4	25	9	18	0	2,7

Tabell 3-3 Beräknad oljeersättning vid heltäckande respektive baslastdrift av bergvärmeanläggning

Av tabell 3-3 framgår t ex att för ett hus med 6,8 kW effektbehov levererar en värmepump av typ 1 hela energibehovet, motsvarande 2,4 m<sup>3</sup> olja. Om husets effektbehov vore det dubbla och samma värmepump installerades (typ 1) skulle värmepumpen leverera energi motsvarande ca 4,8 m<sup>3</sup> olja. Den erforderliga tillsatsenergin blev ca 0,7 m<sup>3</sup> olja.

Dessa angivna siffror är relativt tänjbara. Faktorer som värmetrögheten i huset, hur stor temperaturvariation som accepteras vid köldperioder, verkningsgrad på oljepannan (här antagen till 70 %) samt inte minst hur väl styrningen av tillsatsvärmern är justerad, kan påverka de angivna siffrorna med uppskattningsvis 20 - 30 %.

### 3.2 Förutsättningar och utformning

Bergvärmeanläggningarna är utformade enligt kylslangprincipen, dvs värmekollektorn utgörs av en sluten krets i vilken köldbäraren cirkuleras i borrhålen. Ett till tre lodräta borrhål är aktuella för de olika anläggningsstorlekarna som behandlas här. Figur 3-2 visar principutformningen.

I de genomräknade exemplen har följande gällt:

#### Berg och borrhål

Bergets värmeledningsförmåga	2,5; 3,0; 3,5 W/m,K
Bergets värmekapacitet	2,16 x 10 <sup>6</sup> J/m <sup>3</sup> ,K
Grundvattennivå under markytan	5 m
Borrhålsdiameter	0,110 m

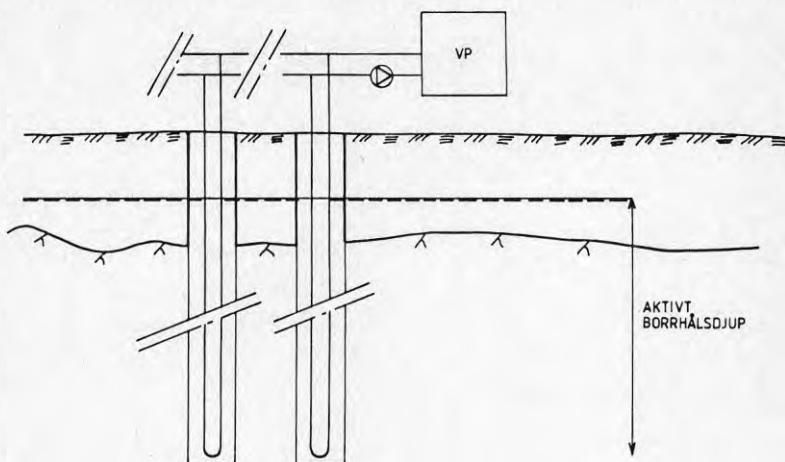


Fig 3.2 Principutformning av bergvärmeanläggning

Ingen hänsyn tas till (de som regel små positiva) effekterna av fria grundvattenrörelser i berget (se avsnitt 4.5).

#### Kollektorsystem

Slutet slangsystem

Slang; material PEM NT6  
dimension  $\varnothing 40$  mm

Frysnedsettande medel propylenglykol, 30 vikt-%

Antagen temperaturskillnad mellan köldbärarens medeltemperatur och borrhålets medeltemperatur  $2^{\circ}\text{C}$

Beräkningarna ger som resultat erforderligt aktivt borrhålsdjup (meter vattenfyllt borrhål) samt inbördes avstånd mellan brunnarna för att de önskade temperaturkraven skall uppfyllas, se avsnitt 3.3. Notera att beräkningarna gäller för lodrätt borrhåls hål.



### 3.3 Dimensionerande lägsta temperatur

#### 3.3.1 Borrhålstemperatur

Den lägsta godtagbara temperaturen i borrhålet (vid borrhålsväggen) är beroende av många faktorer. I dessa beräkningar har följande temperaturnivåer bedömts som rimliga:

- \* temperaturen vid borrhålsväggen (räknat som månadsmedelvärde) skall den kallaste månaden 25 år efter idrifttagning som lägst vara  $10^{\circ}$  under den ursprungliga ostörda temperaturen i berget;
- \* temperaturdifferensen mellan borrhålsvägg och cirkulerande köldbärarvätska är 2 till  $4^{\circ}$ .

Det innebär att de dimensionerade anläggningarna uppfyller två grundläggande kriterier, dels ett temperaturkrav (motsvarar i mellansverige lägst ca  $-5^{\circ}$  medeltemperatur på köldbäraren), dels ett uthållighetskrav, i detta fall en lägsta acceptabel tidsperiod på 25 år.

Uthållighetskravet är mest väsentligt att studera vid flerhållssystem och vid tät förläggning av bergvärmeanläggningar. Vid enskilt belägna anläggningar med endast ett borrhål är emellertid uthålligheten i praktiken oändlig, dvs den ytterligare temperaturförändringen i borrhålet efter 25 års drift är mycket liten.

#### 3.3.2 Köldbärartemperatur vid baslastdrift

Vid baslastdrift arbetar anläggningen i det närmaste kontinuerligt under de kallaste månaderna, se figur 3-1. Det innebär att köldbärarens aktuella temperatur är liktydig med köldbärarens månadsmedeltemperatur, dvs ca  $-5^{\circ}\text{C}$ , som här valts enligt avsnitt 3.3.1.

#### 3.3.3 Köldbärartemperatur vid heltäckande drift

Vid heltäckande drift har anläggningen dimensionerats så att köldbärartemperaturen som månadsmedelvärde inte går under ca  $-5^{\circ}$  (se avsnitt 3.3.1). Det innebär att vid längre perioder med utetemperaturer under månadsmedeltemperaturen kommer köldbäraren att nå temperaturer under  $-5^{\circ}$ . Hur långt under  $-5^{\circ}$  beror på hur lång tidsperioden med lägre utetemperatur blir. I avsnitt 4.6 redovisas hur stora dessa avvikelser kan bli. Det är därför väsentligt att värmepump och värmebärarpump kan arbeta tillfredsställande vid dessa låga köldbärartemperaturer. I annat fall krävs en större bergvärmekollektor. I avsnitt 5 ges en grov men enkel metod för att korrigera kollektorstorleken efter önskad temperaturförändring.

## 4. RESULTAT

## 4.1 Erforderligt antal brunnar

Det maximala djupet på ett borrhål är i praktiken begränsat till mellan 150 och 220 m, beroende bl a på borrhållagret, kompressor och hur mycket vatten som påträffas vid borrhållingen. I beräkningarna har maxdjupet satts till ca 200 m, därefter har kollektorn delats upp på flera borrhål.

Typ	Värmeeffekt (kW)	Heltäckande drift $\lambda^*$ berg (W/m,K)			Baslastdrift $\lambda^*$ berg (W/m,K)		
		2,5	3,0	3,5	2,5	3,0	3,5
1	6,8	1	1	1	1	1	1
2	10	1	1	1	1	1	1
3	17	1	1	1	2	2	2
4	25	2	2	2	3	3	3

\* värmeledningstal berg

Tabell 4-1 Erforderligt antal brunnar vid heltäckande drift respektive baslastdrift. Maxdjup 200 m.

## 4.2 Erforderligt aktivt borrhålsdjup (borrhålsdjup under grundvattenytan)

Beräknat erforderligt aktivt borrhålsdjup, dvs djup under grundvattenytan eller meter vattenpelare i hålet, redovisas nedan. Resultaten är uppdelade mellan fallen heltäckande drift och baslastdrift.

Heltäckande drift

Typ	Värme- effekt (kW)	Avstånd mellan brunnar (m)	Erforderligt aktivt djup (m)		
			$\lambda^*$ berg (W/m,K)		
			2,5	3,0	3,5
1	6,8	-	66	53	46
2	10	-	99	82	71
3	17	-	169	142	122
4	25	5	2x153	2x129	2x110
		10	2x143	2x120	2x103
		20	2x135	2x113	2x97
		40	2x129	2x108	2x93

\* värmeledningstal i berg

Tabell 4.2 Erforderligt aktivt borrhålsdjup vid heltäckande drift (100 % av dimensionerande effektbehov)

Baslastdrift

Typ	Värme- effekt (kW)	Avstånd mellan brunnar (m)	Erforderligt aktivt djup (m)		
			$\lambda^*$ berg (W/m,K)		
			2,5	3,0	3,5
1	6,8	-	131	110	95
2	10	-	200	168	145
3	17	5	2x202	2x170	2x147
		10	2x189	2x159	2x137
		20	2x179	2x150	2x130
		40	2x170	2x144	2x124
4	25	<u>i linje</u>			
		5	3x230	3x194	3x168
		10	3x206	3x173	3x150
		20	3x186	3x157	3x136
4	25	<u>i triangel</u>			
		5	3x240	3x203	3x176
		10	3x213	3x179	3x155
		20	3x192	3x162	3x140
4	25	40	3x175	3x148	3x128

\* värmeledningstal i berg

Tabell 4.3 Erforderligt aktivt borrhålsdjup vid baslastdrift (50 % av dimensionerande effektbehov)

#### 4.3 Långsiktig temperaturutveckling

Temperaturnivån i borrhålet, räknat vid borrhålsväggen, sjunker långsamt med tiden. Skillnaden mellan "ytterligheterna" vid det dimensionerande kriteriet, att nå en 10 grader lägre temperatur den kallaste månaden det 25:e driftåret, återges i figur 4-1.

I figuren redovisas temperaturförloppet för ett enstaka hål, ett tvåhåls- och ett trehålssystem. Som synes faller temperaturen mycket långsamt. Efter 50 års drift har temperaturen sjunkit mindre än 1 grad jämfört med år 25. Notera att för 3-brunnsfallet ändras erforderligt brunnsdjup beroende på avstånd mellan brunnarna. Vid 5 m avstånd krävs i detta fall 34 % djupare borrhål än vid 40 m avstånd mellan de tre brunnarna. Värmeledningstalet i berg har ansatts till 3 W/m,K i beräkningarna.

I stort följer alla beräknade fall samma temperaturförlopp och det finns därför inte anledning att redovisa samtliga fall.

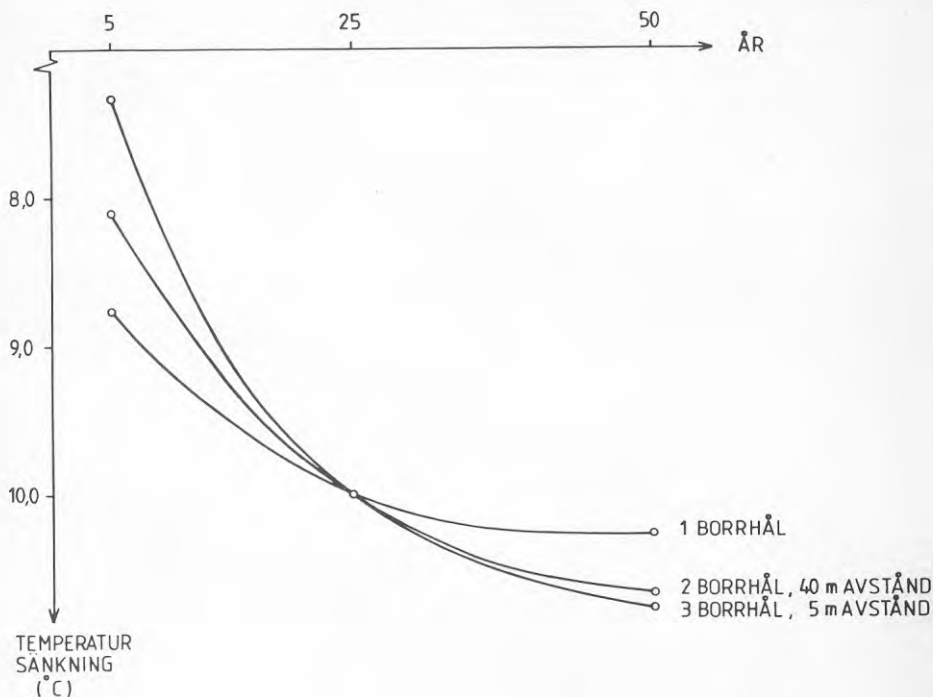


Fig 4-1 Temperatursänkning i borrhålet (räknat vid borrhålsväggen), redovisad som medeltemperatur i februari månad år 5, 25 och 50 efter start. Principiell utveckling av ytterlighetsfallen, 1 resp 3 brunnar samt ett mellanfall (2 brunnar på 40 m avstånd) vid värmeledningstalet  $3 \text{ W/m,K}$  i berget.

#### 4.4 Influensradie

En bergvärmeanläggning medför att temperaturen i den omgivande bergmassan sänks. Hastigheten på temperaturfronten kan beskrivas på flera sätt. I figur 4-2 återges temperaturen radiellt i bergmassan på olika avstånd från ett enskilt borrhål.

Beräkningarna avser en anläggning enligt typ 3, heltäckande drift, (dvs  $10 \text{ kW}$  kyleffekt, ett värmeuttag från bergmassan på  $25 \text{ MWh}$  per år och värmeledningstal i berg på  $3 \text{ W/m,K}$ ). Med godtyckligt vald definition på influensradien kan man beskriva temperaturfrontens

förflyttning med tiden. Här definieras influensradien som den radie där berget har en undertemperatur, jämfört med ostört berg motsvarande 5 % av dimensionerande lägsta temperatursänkning. Det betyder i dessa beräkningar en temperatur  $0,5^{\circ}$  lägre än den ostörda naturliga temperaturen. Ur figur 4-2 kan man utläsa att influensradien år 5 är 16 m, år 10 är 22 m, år 25 34 m och år 50 44 m.

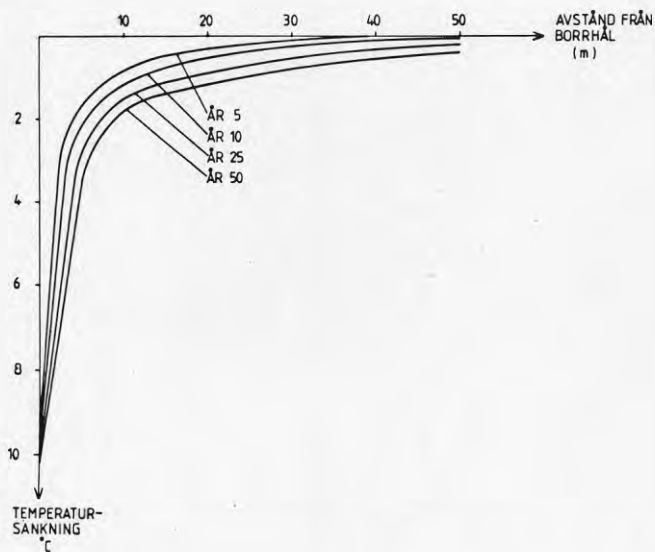


Fig 4-2 Temperaturprofil i berget vid 70 m djup för typanläggning 3, heltäckande drift (10 kW kyleffekt, totalt borrhålsdjup 147 m)

På samma sätt anges här i tabellform influensradierna för de fyra anläggningsstorlekarna.

<u>Heltäckande drift</u>			
Typ	Värmeeffekt (kW)	Tid (år)	Influensradie* (m)
1	6,8	5	13
		10	20
		25	24
		50	27
2	10	5	14
		10	21
		25	28
		50	35
3	17	5	16
		10	22
		25	34
		50	44
4**	25	5	17
		10	25
		25	43
		50	49

<u>Baslastdrift</u>			
Typ	Värmeeffekt (kW)	Tid (år)	Influensradie* (m)
1	6,8	5	17
		10	23
		25	33
		50	41
2	10	5	17
		10	23
		25	34
		50	44
3**	17 (a=5 m)***	5	22
		10	30
		25	45
		50	59
4** triangel (a=5 m)***	25	5	25
		10	33
		25	52
		50	67
4** linje (a=5 m)***	25	5	26
		10	35
		25	53
		50	68

\* Se definition i text

\*\* Avståndet är angivet räknat från "yttersta" borrhålet i flerhålssystem

\*\*\* Avstånd mellan borrhålen

Tabell 4-4 Influensradie år 5, 10, 25 och 50 efter start. Avser ett värmeledningstal på 3 W/m,K och vid ett djup på 70 m (40 m för typ 1).



Influensradien är av intresse när flera bergvärmeanläggningar läggs inom ett begränsat område. Om endast två anläggningar placeras med ett avstånd mellan varandra lika med här angiven influensradie för år 25 kommer anläggningarna endast till en liten del påverka varandra. Som exempel på detta visas i tabell 4-5 den procentuella försämringen om två brunnar placeras på ett avstånd motsvarande influensradien år 25.

Med procentuell försämring av prestanda menas att antingen måste borrhålet kylas ytterligare angivet antal procent (från ursprunglig temperatur) eller, vid konstanta temperaturförhållanden i borrhålet, att markvärmeuttaget minskas med motsvarande antal procent.

Typ	Värmeeffekt (kW)	Aktivt borrhålsdjup (m)	Avstånd mellan brunnar (m)	Försämring av prestanda %		
				År 5	År 25	År 50
1	6,8	53	24	2,0	4,2	4,7
2	10	82	28	1,6	4,5	5,4
3	17	142	34	1,0	4,2	5,7

Tabell 4-5 Termisk påverkan av två närliggande brunnar med ett avstånd motsvarande influensradien år 25. Beräkningarna avser heltäckande drift, värmeledningstal 3 W/m,K.

Ett annat sätt att illustrera den inbördes termiska influensen är att se hur mycket en enskild anläggning, omgiven av 8 identiska anläggningar, påverkas jämfört med om den varit helt ostörd. I figur 4-3 återges som exempel den procentuella försämringen i den mest drabbade brunnen (den centralt placerade i en 3 x 3 brunns matris) vid ett årligt värmeuttag ur berget av 24 MWh/brunn (brunnsdjup 162 m, värmeledningstal 3 W/m,K). Av figuren framgår tydligt hur den inbördes influensen ger resultat först efter flera år om avståndet mellan brunnarna är större än ca 20 m. För att i ett 50-årsperspektiv inte få en försämring större än 5 % i den centralt belägna brunnen krävs ett avstånd på ca 90 m mellan brunnarna.

Med dessa exempel visas att det är nödvändigt att beakta tidsaspekten när ett flertal anläggningar placeras tätt. Figurerna kan t ex ge en uppfattning om den tid det kommer att ta innan det är nödvändigt att återladda värme i brunnarna om de läggs så tätt att "livslängden" blir kortare än vad som är acceptabelt. Vad som kan anses acceptabel tid är en avvägning mellan faktorer som planerad användningstid, avskrivningstid, investeringskostnad, teknikstatus på återladdningstekniken, alternativ uppvärmningsform m m. Det är emellertid angeläget att den som installerar en anläggning vid köpet skall kunna få en uppfattning

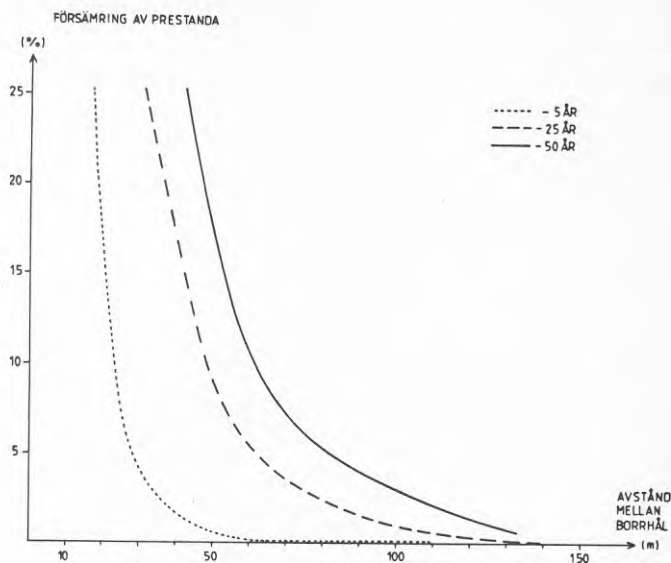


Fig 4-3 Inverkan av tätt belägna bergvärmekollektorer år 5, 25 och 50 efter start. Procentuell försämring av det centralt belägna borrhålet i en 3x3 matris beroende på avståndet mellan borrhålen. Exemplet gäller 9 borrhål, 162 m djupa och med vardera 24 MWh/år markvärmeuttag och visar försämring jämfört med ett enskilt (ostört) borrhål.

om den tidsperiod som borrhålet kommer att fungera bra utan återladdningssystem eller likvärdig lösning.

Som framgår av ovanstående är det endast vid relativt tät förläggning som tidshorisonten är kortare än 50 år.

#### 4.5 Betydelse av strömmande grundvatten

Den värme som grundvattenströmmen kan tillföra en bergvärmebrunn, som är borrarad i kristallint, homogent berg, är oftast försumbar. Värmetillskottet understiger i vanliga svenska bergarter i de flesta fall 5 % av värmetransporten genom ledning. Detta tillskott bör därför ej medräknas vid dimensionering av energibrunnar med kylslang.

På följande sidor förklaras i korthet de faktorer som påverkar grundvattenströmningen samt dessas effekt på energitillskottet. För enkel beräkning av tillskottet har nomogram upprättats, vilket snabbt ger besked om

värmetillskottet. Nomogrammet gäller i princip endast för finsprickigt eller poröst berg. När ett fåtal sprickor står för hela vattenföringen är inte beräkningarna giltiga.

Sveriges berggrund består till största delen av kristallina bergarter, främst gnejs och granit. Dessa bergarter är i sig själva nästan helt täta, varför grundvattnet till största delen strömmar i spricksystemen i berget. Ofta förekommer krosszoner vilka har jämförelsevis hög vattengenomsläpplighet, vilket innebär att vattenströmningen koncentreras till dessa.

Sedimentära bergarter, som sandsten, är ofta porösa, och vatten kan passera både genom bergmassan och spricksystemen.

Grundvattenflödet genom berget beror av grundvattentytans lutning och av bergets vattengenomsläpplighet eller hydrauliska konduktivitet,  $K$ .

De flesta bergvärmebrunnar borrar i kristallint berg, vilka har  $K$ -värden från  $10^{-5}$  till  $10^{-10}$  m/s. Värdena varierar beroende på djup och förekomst av krosszoner. Sedimentära berglager har högre vattengenomsläpplighet och  $K$ -värdena varierar där mellan  $10^{-2}$  och  $10^{-7}$  m/s, se tabell 4-6.

Grundvattentytans lutning är vanligen omkring  $1/100$  -  $1/1000$ . I extrema fall kan lutningen vara större.

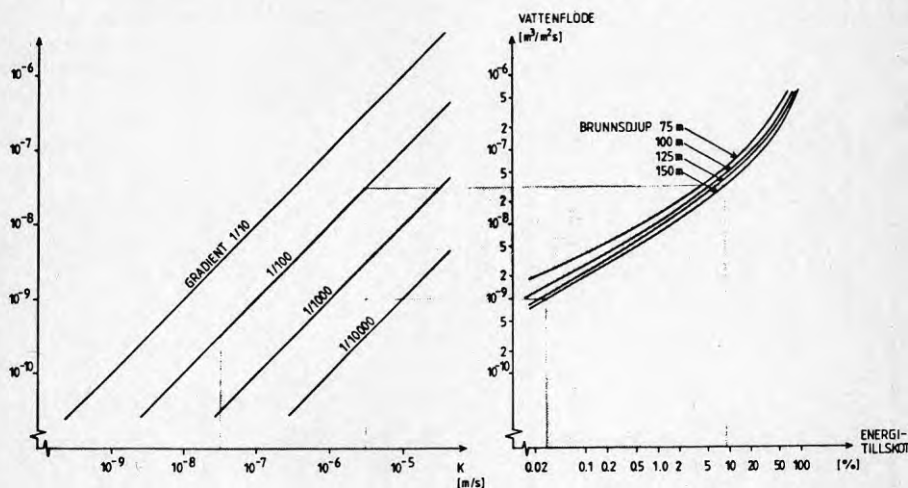
Om sjöar eller vattendrag finns i närheten kan grundvattentytans lutning grovt uppskattas genom att man dividerar sjöarnas nivåskillnad med avståndet mellan dem. I många fall överensstämmer lutningen med marklutningen.

För mer exakt bestämning av grundvattentytans lutning kan vattentytan i näraliggande brunnar avvägas.

Berg- arts- typ	Porositet		K, hydraulisk konduk- tivet (m/s)					
	Primär (genom porer)	Sekundär (genom sprickor o d sällan >10%)	10 <sup>0</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-10</sup>
<u>Sedimentära</u>								
Kalksten, dolomit	1-50	Karstsprickor, skiktfogar	_____					
Grov-medel- kornig sand- sten	<20	Sprickor	_____					
Finkornig sandsten	<10	Sprickor	_____					
Lerskiffer, mosten	-	Sprickor	_____					
<u>Vulkaniska</u>								
Basalt	-	Sprickor	_____					
Porfyr o d	-	Sprickor	_____					
<u>Kristallina</u>								
Granit, gnejs m fl	-	Sprickor och vittring (av- tagande med tilltagande djup)	_____					

Tabell 4-6 Vattengenomsläpplighet (hydraulisk konduk-  
tivet, K) för olika bergartstyper  
/Knutsson 78/

För en brunn i homogent finsprickigt eller poröst berg kan värmestillskottet utläsas i fig 4-4. Bergets värmeledningsförmåga har satts till 3,0 W/m,K och brunnsdiameterna till 110 mm. Diagrammen är uppgjorda efter /Claesson m fl 83/.



Figur 4-4 Energitillskott till en bergborrad brunn på grund av strömmande grundvatten. Gäller finsprickigt eller poröst berg.

#### 4.6 Temperaturvariation i borrhålet vid köldperioder

Värmeuttaget ur borrhålen har vid heltäckande drift dimensionerats att ge värmepumpen en ingående köldbärartemperatur på ca  $-4^{\circ}$  och en utgående temperatur på ca  $-6^{\circ}C$  i medeltal under den kalendermånad där köldbäraren får sin lägsta temperatur, dvs februari. Medeltemperaturen ute är då exempelvis i Stockholm ca  $-3^{\circ}C$ . Vid en köldperiod kommer belastningen på markvärmekollektorn att öka och därmed kommer även temperaturen på köldbäraren att sjunka. Vid en utetemperatur på  $-10^{\circ}C$  sjunker temperaturen på köldbäraren efter 6 timmar ca  $1,5^{\circ}$ , efter 12 timmar ca  $2^{\circ}$  och efter 24 timmar ca  $2,5^{\circ}$  under köldbärarens medeltemperatur räknat som månadsmedelvärde. På samma sätt ger en köldperiod på  $-18^{\circ}C$  ute en motsvarande temperatursänkning på 6 timmar ca  $3^{\circ}$ , på 12 timmar ca  $3,7^{\circ}$  och på 24 timmar ca  $4,5^{\circ}$ . Dessa temperaturer är teoretiskt beräknade och värmebehovet är beroende av systemets totala värmetröghet.

Som framgår av ovanstående krävs det att värmepumpen måste kunna arbeta tillfredsställande även vid köld-

temperaturer strax under den dimensionerande temperaturen på köldbärarvätskan. I annat fall krävs att husets värmetröghet är så stor att effekterna av köldperioden blir ringa samt att man accepterar att vid åtminstone något tillfälle under bergvärmeanläggningens livstid uppvärmningssystemet inte kommer att räcka till att ge hela effektbehovet. Systemet måste då kompletteras med en annan uppvärmningskälla under dessa tillfällen eller också får man nöja sig med en något lägre temperatur i några rum.

Om detta inte är lämpligt krävs en större dimensionerad markvärmekollektor, se avsnitt 5.



## 5. GENERELL DIMENSIONERING AV KOLLEKTORSTORLEK

### 5.1 Förutsättningar

De redovisade anläggningarna har dimensionerats enligt följande.

Marktemperaturen i området ger en medeltemperatur i borrhålet på 8°C (utan värmeuttag). Dimensionerande utetemperatur är -18°C. Detta motsvarar geografiskt Stockholmstrakten.

Borrhålet kyls till som lägst 10°C under ursprunglig temperatur, dvs från 8°C till -2°C i tidigare genomgångna exempel, varvid köldbäraren erhåller en medeltemperatur på ca -4°C.

### 5.2 Borrhålsdjup

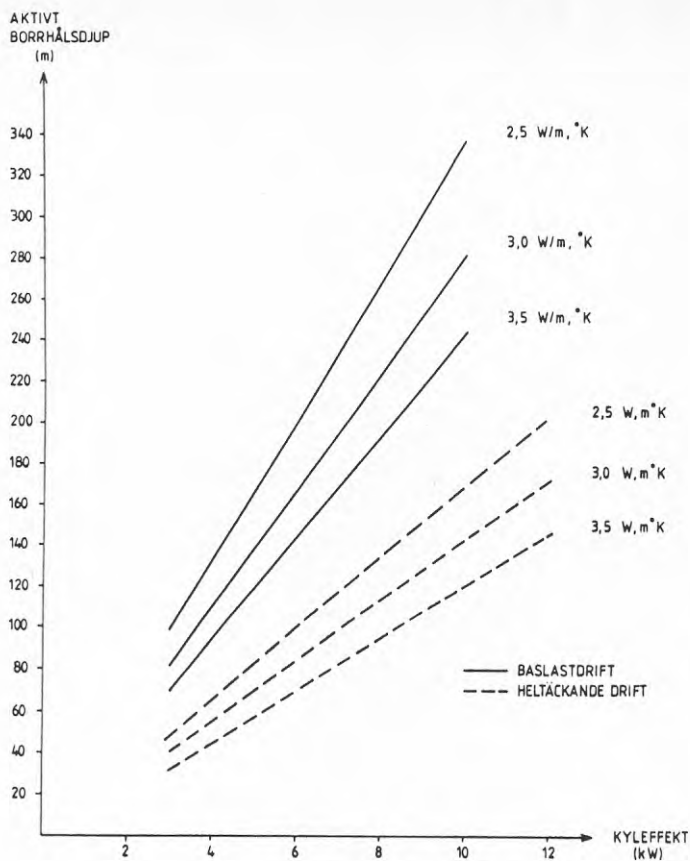
Med de förutsättningar som angivits tidigare i rapporten kan följande enkla dimensioneringssammanställningar vara användbara.

I figur 5-1 redovisas erforderligt aktivt borrhålsdjup för ett enstaka borrhål som funktion av effektbehovet och värmeledningstal på berget. Notera skillnaden mellan s k heltäckande drift, dvs att värmepumpen dimensioneras för ca 2500 timmars drift per år och baslastdrift där värmepumpen arbetar ca 4800 timmar per år (motsvarar ca 50 % av fastighetens effektbehov).

Den låga arbetstemperaturen på köldbäraren, ca -4°C, har valts därför att den kan sägas vara en lägsta gräns där dagens bättre värmepumparna kan arbeta med relativt bra prestanda. I följande avsnitt redovisas hur kollektorn skall dimensioneras om en annan lägsta arbetstemperatur är önskvärd.

För att korrigera det här redovisade erforderliga djupet efter andra marktemperaturer (t ex ca 9-10°C i Sydsverige eller ca 6°C vid Siljanstrakten) redovisas även en enkel metod att uppskatta relevant borrhålsdjup med utgångspunkt från annan marktemperatur.





Figur 5-1 Erforderligt aktivt borrhålsdjup vid olika värmeledningstal på berget. Gäller l-hålssystem. Denna dimensionering förutsätter bl a ca +8°C i utgångstemperatur i borrhålet. Se texten för övriga förutsättningar.

### 5.2.1 Korrektion med avseende på marktemperatur

För att erhålla ungefär samma temperaturer i köldbärare och prestanda på värmepumpen som i de genomräknade exemplen korrigeras kollektorstorleken enligt tabell 5-1.

Ostörd medeltemperatur i borrhål (°C)	Ändring av kollektorstorlek (%)
12	-29
11	-23
10	-17
9	-10
8	0
7	+10
6	+20
5	+30
4	+40

Tabell 5-1 Erforderlig korrektion av kollektorstorlek med anledning av annan ostörd borrhålstemperatur än 8°C.

### 5.2.2 Korrektion med avseende på lägsta godtagbara köldbärartemperatur

Om en annan dimensionerande medeltemperatur än -2°C i borrhålet (vid väggen), dvs ca -4°C på köldbäraren är önskvärd korrigeras kollektorn enligt tabell 5-2.

Dimensionerande temperatur i borrhål (°C)	Temperatur i köldbärare (°C)	Ändring av kollektorstorlek (%)
+3	1	+50
+2	0	+40
+1	-1	+30
0	-2	+20
-1	-3	+10
-2	-4	0
-3	-5	-10
-4	-6	-17
-5	-7	-23
-6	-8	-29

Tabell 5-2 Erforderlig korrektion av kollektorstorlek på grund av annan önskad temperatur på köldbäraren än -4°C.

Genom att använda ett s k treslangsystem i borrhål i stället för tvåslangsystem förbättras värmeupptagningen i kollektorn på så sätt att något mindre temperaturskillnad mellan borrhålsvägg och köldbärare erhålles. Hur stor förbättringen blir har ännu inte visats.

Följande exempel avser att belysa hur tabellerna kan utnyttjas. Med en önskad lägsta arbetstemperatur på köldbäraren på  $-2^{\circ}\text{C}$  ger detta enligt tabell 5-2 en ökning av borrhålsdjupet med 20 %. Om vi antar att typdimensioneringen ger ett borrhålsdjup av 100 m innebär detta att ett borrhål med 120 m djup är lämpligt.

Ligger dessutom anläggningen i ett område som ger en ostörd borrhålstemperatur på  $9,5^{\circ}$  ger detta enligt tabell 5-1 en minskning på kollektorn med ca 13 %, dvs ett borrhålsdjup på 104 m istället för 120 m.

Dessa korrektioner är inte helt exakta men kan mycket väl användas. Felet är oftast avsevärt mindre än t ex felet vid bedömning av effekt och energibehov för fastigheten och värmeledningstal på berget.

### 5.3 Dimensionering av stora bergvärmekollektorer

För dimensionering av stora bergvärmekollektorer rekommenderas att varje anläggning beräknas utifrån aktuella förutsättningar. Det är nu relativt enkelt att beräkna resultatet av olika borrhålskonfigurationer; lodräta hål såväl som snedställda. Även kombinationer av bergvärme och andra värmekällor kan behandlas, vilket är särskilt intressant vid tät förläggning av borrhålen.

## 6. REFERENSER

- AIB 80            Andersson S, Eriksson A, Åbyhammar T;  
Utvinning av värme ur bergborrade brun-  
nar. Förstudie, BFR R142:1980
- AIB 83            Tollin J, Andersson S, Eriksson A;  
Utvinning av värme ur bergborrade brun-  
nar. Fältnätningar och erfarenheter,  
Byggeforskningsrådet, rapport BFR  
R148:1983
- AIB 84            Eriksson A;  
Energibrunnar för villa och småhusbebyg-  
gelse. Kortfattad informationsskrift.  
Kommande rapport BFR 1984
- Claesson 84      Claesson J, Eftring B, Eskilson P,  
Hellström G;  
Markvärme - en handbok om termiska ana-  
lyser, Lunds Tekniska Högskola, Inst för  
Matematisk Fysik, Lund 1984
- Knutsson 78      Knutsson G, Moberg C O;  
Vatten i jord och berg, Ingenjörslä-  
laget, Stockholm 1978



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830790-8  
från Statens råd för byggnadsforskning till Allmänna  
Ingenjörbyrån AB, Solna.**

**R183: 1984**

**ISBN 91-540-4298-4**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6704183**

**Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm**

**Cirkapris: 25 kr exkl moms**