



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.



Bergvärmeanläggning med 80 kW värmeeffekt

Uppföljning av system med 7 borrhål och sluten köldbärarkrets

Johan Tollin
Tomas Åbyhammar

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION
Accnr
Plac <i>ser</i>

V/2

R72:1986

BERGVÄRMEANLÄGGNING MED 80 KW VÄRMEEFFEKT

Uppföljning av system med 7 borrhål
och sluten köldbärarkrets

Johan Tollin
Tomas Åbyhammar

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830908-7
från Statens råd för byggnadsforskning till Allmänna
Ingenjörbyrå AB, Solna.

REFERAT

På en fastighet med en normal oljeförbrukning av 70 m³ per år installerades våren 1983 en bergvärmeanläggning på nominellt 80 kW värme. Fastigheten, som består av 2 st flerbostadshus, är belägen inom Täby kommun. Bergvärmekollektorn består av 7 st borrhål \varnothing 150 mm till 150 m djup.

Rapporten behandlar förutsättningar och erfarenheter vid dimensionering och installation av bergvärmekollektorn. Rapporten berör både utformningen av borrhålen samt själva köldbärarsystemet. Frånsett vissa avbrott har under en 3-årsperiod kontinuerliga mätningar gjorts på anläggningen. Resultaten från dessa mätningar redovisas.

Sammanfattningsvis har anläggningen, trots betydande reglerproblem, motsvarat den förväntade oljeersättningen på 55 m³ olja årligen.

De teoretiskt beräknade borrhålstemperaturerna överensstämmer vidare med de uppmätta värdena.

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

R72:1986

ISBN 91-540-4606-8
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sammanfattning	4
1. Bakgrund	5
2. Värmebehov och Värmeproduktion	6
3. Dimensionering av bergvärme- kollektorn	8
3.1 Geologiska förhållanden	8
3.2 Beräkning av erforderligt borrhålsdjup	8
3.3 Dimensionering av borrhål	9
3.4 Dimensionering av köldbärarsystem	11
4. Erfarenheter under byggnadstiden	14
5. Värmesystemet	16
5.1 Allmänt	16
6. Utvärdering	18
6.1 Driftresultat	18
6.2 Jämförelse med teoretiska beräkningar	20

Bilagor:

Datorberäkningar för borrhålsdimensionering	Bil 1
Temperatur på det samlade köldbärarflödet från värmepump till kollektor	Bil 2

SAMMANFATTNING

På en fastighet med 2 st flerbostadshus och med normal oljeförbrukning på 70 m^3 per år installerades våren 1983 en bergvärmeanläggning på nominellt 80 kW värme.

Bergvärmekollektorn består av 7 st borrhål $\varnothing 150 \text{ mm}$ till 150 m djup. Borrhålen är utplacerade så att påverkan mellan borrhålen skall bli så liten som möjligt och därmed bergvolymen inom den 3000 m^2 stora fastigheten utnyttjas så effektivt som möjligt. Köldbäraren består av vatten, som är frysskyddat med industrisprit till -10°C , köldbäraren cirkuleras i borrhålen i ett sk treslangsystem. Kollektorn är dimensionerad att arbeta under fryspunkten i borrhålen vid hård belastning. Ingen återladdning av energi till bergmassan är nödvändig för de prestanda som kollektorn är projekterad för.

Inkopplingen och därmed driften av värmepumpen har inte fungerat tillfredsställande under perioden, varför värmepumpen anläggningen inte utnyttjats maximalt. Markvärmeuttaget har uppskattats till 160 MWh första driftåret och 136 MWh det andra driftåret. Oljeersättningen har beräknats till 48 m^3 respektive ca 38 m^3 per uppvärmningssäsong med värmefaktorer på ca 2,1. Med en justering av anläggningen bör den emellertid ge oljeersättning på ca $55 \text{ m}^3/\text{år}$.

1. BAKGRUND

På fastigheten Berguven nr 3 inom Täby kommun uppfördes 1953 2 st flerbostadshus, se situationsplan fig 1-1. Dessa har tidigare uppvärmts av oljepannor från en gemensam värmecentral belägen i den norra byggnaden.

Pertinex AB erhöll hösten 1982 i uppdrag av fastighetsägaren att uppföra en bergvärmeanläggning på fastigheten. AIB erhöll i november samma år i uppdrag av Pertinex att föreslå en layout och projektering för bergvärmekollektorn.

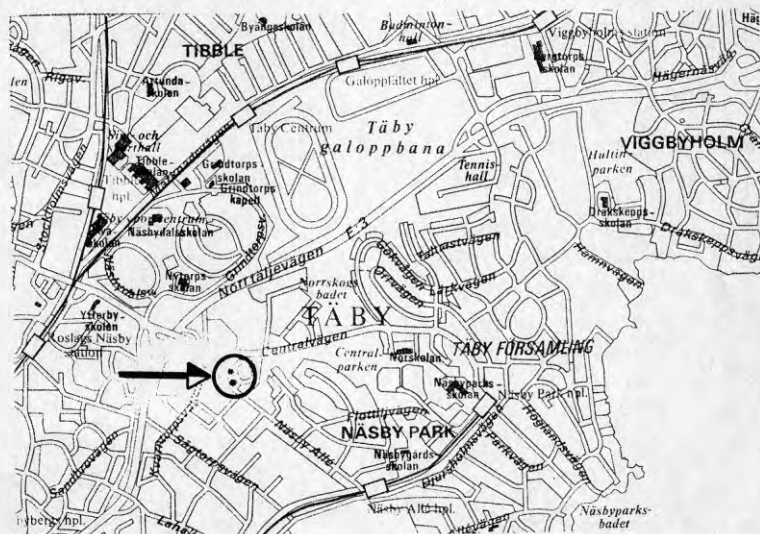


Fig 1-1 Situationsplan

2. VÄRMEBEHOV OCH VÄRMEPRODUKTION

De två flerbostadshusen förbrukade tidigare ca 70 m³ eldningsolja per år. Oljeanläggningen har behållits för reserv- och topplast. Bergvärmeanläggningen är utformad så att huvuddelen av energiproduktionen kan ske med en värmeeffekt som understiger fastighetens maximala behov. En förutsättning vid projekteringen av bergvärmekollektorn var att 9 st värmepumpenheter Octopus OM 500 skulle användas.

Pannverkningsgraden har bedömts vara 70 %. Värmesystemets årsenergibehov vid ett energiinnehåll i oljan av 10 MWh/m³ är då: $70 \cdot 0,7 \cdot 10 = 490$ MWh. Om anläggningens ekvivalenta drifttid vid fullast är 2 200 h/år, kan den maximala effekten beräknas till $490 \cdot 1000 / 2200 = 220$ kW.

I tabell 2-1 ges karaktäristiska data för anläggningen.

Oljeförbrukning	m ³ /år	70
Värmeeffektbehov	kW	220
Värmemängdsbehov	MWh	490
<u>Värmepump</u>		
Oljeersättning	m ³ /år	60 ³⁾
Effektandel	VP %	37
Värmemängd ¹⁾ från VP	MWh/år	420
Kylning av berget ²⁾	MWh/år	200
Antal hål	st	7
Borrhålslängd	m 7 * 145	1015
<u>Dimensionerande data</u>		
Värmeeffekt max	kW	81
Effeckt	kW	37
Kyleffekt	kW	44
Kyleffekt	W/m borrhål	43
Kyleffekt medel	kW	23
Kyleffekt medel	W/m borrhål	22
Drifttid	h/år	5000
Elförbrukning	MWh/år	200 (ca 170 + 30)
Nettovärmefaktor		2,1

1) Pannverkningsgrad 70 %

2) Värmefaktor 2,2 och 25 MWh från köldbärarpumpar

3) Beräkningarna har genomförts för en hög energi-produktion. Troligen kan endast ca 55 m³ sparas under ett normalår om oljepannan stängs av när den inte behövs.

Tabell 2-1 Karaktäristiska data för bergvärmeanläggningen vid Berguven

Som framgår av tabell 2-1 skall värmepumpenheterna, 9 st OM 500, producera ca 81 kW värme när berget belastas med ett större värmeuttag. Effekttäckningsgraden är således: $81 / 220 = 0,37$. Andelen av det totala energibehovet som då kan produceras erhålls ur fig 2-1 till 0,78. Detta motsvarar $490 * 0,78 = 380$ MWh/år eller ca $54 \text{ m}^3 \text{ Eo/år}$.

Beräkningarna i kapitel 3 har genomförts för ett något större värmeuttag, vilket alltså avser en uppvärmningssäsong med lägre utetemperatur än normalåret.

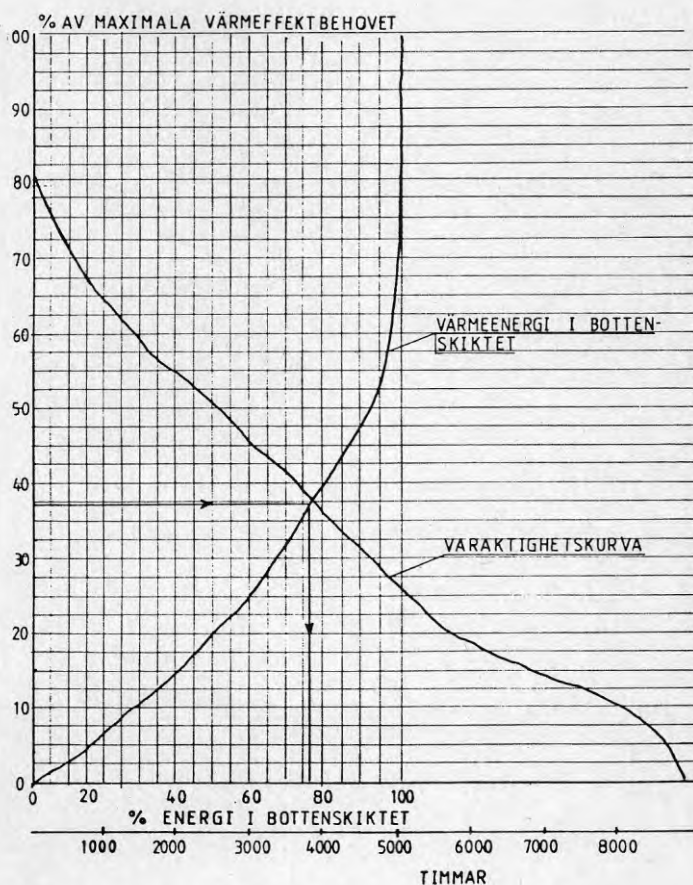


Fig 2-1 Samband mellan effekt- och energitäckning.

3. DIMENSIONERING AV BERGVÄRMEKOLLEKTORN

3.1 Geologiska förhållanden

Den geologiska kartan för området indikerar att berget utgörs av granit. Värmeledningsförmågan ligger således troligen mellan 3 och 4 W/m K. Se även kapitel 4.

Erfarenheterna från andra brunnar i området visar att sannolikheten för att erhålla en tillräcklig tillrinning för ett grundvattenvärmesystem är små.

3.2 Beräkning av erforderligt borrhålsdjup

Förutsättningarna vid arbetets start var att inga bergvärmearläggningar av denna storleksordning projekterats eller anlagts. Erfarenheter från tidigare bergvärmeprojekt, som främst AIB och Vattenfall genomfört, utnyttjades. Ett speciellt problem vid större anläggningar är en långsam termisk interferens (störning) mellan näraliggande borrhål. För att beräkna denna utnyttjades beräkningsmodeller för bergvärmedimensionering från Institutionen för Matematisk Fysik vid Lunds Tekniska Högskola (LTH).

Åtta olika alternativ studerades närmare. För alternativen beräknades månadsmedeltemperaturer vid hålets vägg efter 5, 10, 25 och i ett fall 100 år. Belastningen simulerades med realistiska månadsmedelvärden. Återladdning från solkollektorer och spillvärme från kylaggregat i en livsmedelsbutik i ett av bostadshusen beaktades i några alternativ.

Principerna vid de olika alternativen var:

1. Uttag av hela behovet ur 10 hål
2. Uttag med laddning från 10 kW spillvärme, 10 hål.
3. Som 2 men dessutom med laddning från 150 m² solarrollmatta.
4. Samma uttag som vid 1 med 9 hål.
5. Samma uttag som 4, dock med laddning från 125 m² solarrollmatta. Kostnaden för mattan har beräknats motsvara 2 hål, varför uttaget beräknats för 7 hål. Investeringen i 4 och 5 är således lika.
6. Uttag av en något mindre värmemängd ur 6 hål, ingen laddning.

7. Som 6 men med 7 hål.

8. Som 6 men med 8 hål.

Alt nr	Uttag-laddn MWh/år	Ant hål 145 m djup	Lägsta temp °C			
			1 år	5 år	25 år	100 år
1	249	10	1,4	-0,2	-3,1	-5,2
2	249 - 84	10	2,9	1,8	-0,1	
3	249 - 204	10	3,5	3,0	2,1	
4	249	9	0,6	-0,9	-3,6	
5	249 - 120	7	-0,7	-1,6	-3,3	
6	234	6		-2,5	-5,0	
7*	234	7		-1,1	-3,6	
8	234	8		-0,0	-2,4	

* valt alternativ

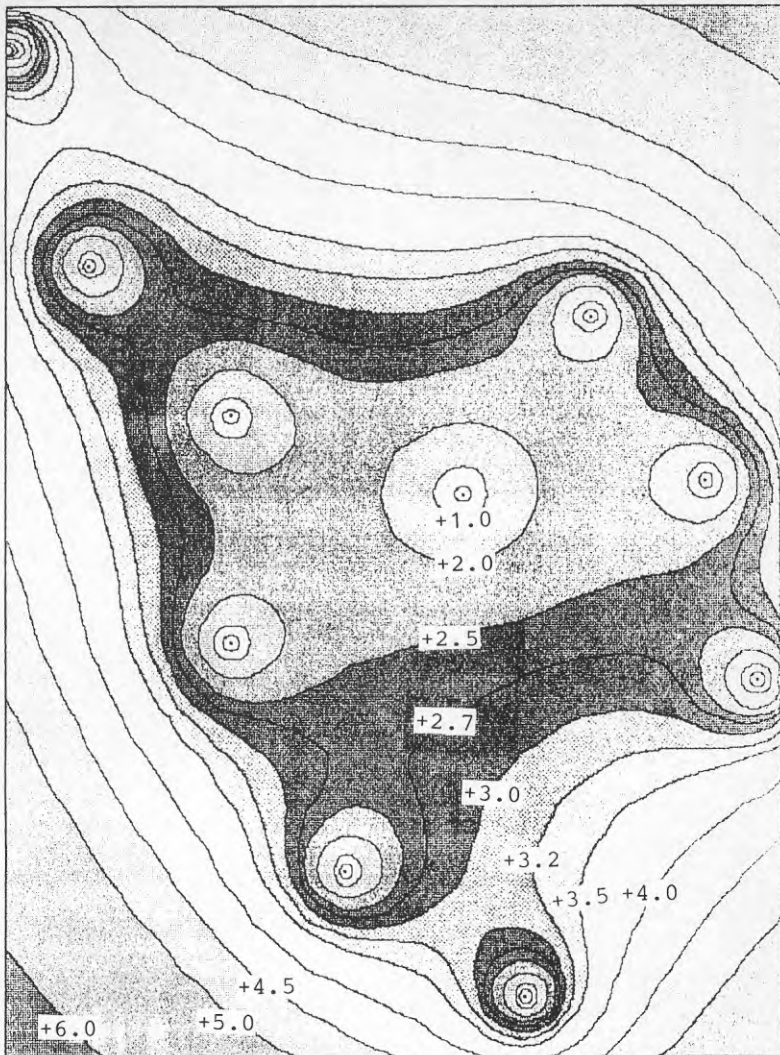
Resultaten av alternativen 1 - 5 redovisas mer detaljerat i bilaga 1. En god bild av interferensen mellan hålen efter 25 år ges av isotermfiguren (skala 1:4000) i figur 3-1. Det hade visats i andra rapporter från LTH att avstånd understigande 25 - 30 m ger en mindre interferens vid 2 - 3 hål. Av bilaga 5 framgår att orsaken till den begränsade interferensen vid 2 - 3 hål orsakas av att endast en del av omgivningen påverkas. Det centrala hålet i fig 3-1 visar kraftig interferens trots "hyggliga" avstånd till omgivande hål.

Hypotesen vid beräkningsfallen 1 - 5 var att isbildning i borrhålen skulle undvikas. I övriga fall undersöktes system där frysning tilläts. Genom användning av 3 slangar i brunnen ökas värmeytan så att köldbärartemperaturen inte skall understiga -5°C . Beräkningarna visar att detta är möjligt med 6 borrhål men att inga marginaler finns för normala variationer i värmeledningsförmågan. Vid värmeledningsförmåga mellan 3 och 3,5 bör 7 borrhål användas. Om 8 hål väljs ges visst ytterligare utrymme för låga värmeledningstal.

Mot bakgrund av det ovanstående valdes 7 hål och 3-slangsystem avsett för frysning. Den valda borrhålen framgår av figur 3-2.

3.3 Dimensionering av borrhål

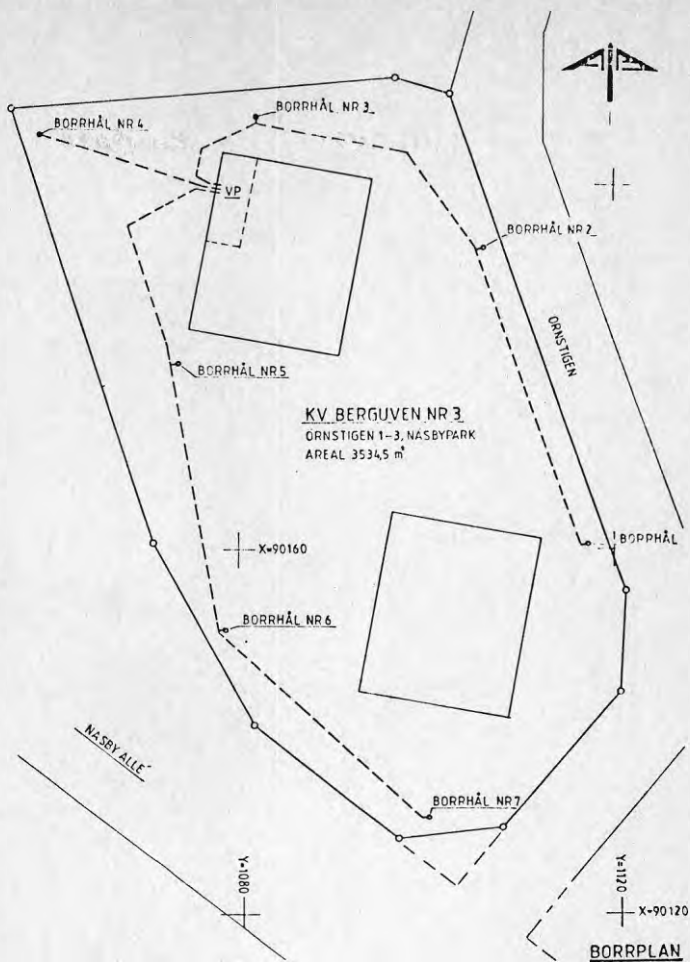
Ovan har nämnts att 3-slangsystem valdes för värmeupptagningen och att frysning kunde tillåtas. De 3 slangarna ger en ökad värmeöverföringsyta jämfört med 2 slangar och medelavståndet mellan slang och berg minskar. Dessutom utgör slangarna med sitt ofrusna innehåll expansionselement i det frusna borrhålet.



Figur 3-1 Beräknad bergtemperatur på 70 m djup år 25 för beräkningsalternativ 1

Slangdiametern 40/35,4 (PN 6) valdes och med strömriktningen så vald att köldbäraren strömmar ned i en slang och upp i två. Fördelen med detta är att strömningshastigheten är så hög att luft beräknades föras med runt för att avskiljas i värmepumpcentralen.

Att borra i berget med en extra stor diameter lönar sig normalt inte. Stora diameterar kan också förväntas ge större påkänningar på slangar till följd av frysning och upptining, eftersom vattenvolymen ökar. En minsta diameter av 110 mm specificerades därför för borrhålen.



Figur 3-2 Slutgiltig utformning av borrhölan

Den specifika borkostnaden ökar vid djup över 100 - 120 m. Eftersom varje hål har betydande fasta kostnader för jordgenomgång, borrhöpp, anslutning av köldbärarledningar med avluftning och avstängning m m, blir det optimala borrhöppet över 100 m. Det beslöts att djupet skulle vara 150 m.

3.4 Dimensionering av köldbärarsystem

De främsta förutsättningarna vid dimensioneringen har varit valet av slangdimension i brunnarna samt egenskaperna hos värmepumparnas förångare. Brunnarna är förenade med ett stamledningsnät. Det specifika tryckfallet i stamledningarna är lågt i förhållande till tryckfallet i brunnarna. Instrykning krävs ej

men hänsyn härtill. Däremot kan föroreningar eller dåligt montage leda till oförutsett tryckfall, varför varje brunn försetts med separat instrypningsventil med tryckuttag för flödesmätning.

Båda ledningarna vid varje brunn har försetts med luftavskiljare och automatisk avluftare (denna används endast vid idrifttagningen). Ledningarna projekterades med fall från hus eller brunn så att avluftningen underlättades. För att möjliggöra service försågs varje brunn med separata avstängningsventiler mot stamnätet och kopplingar så att slangpaketet kan lossas.

Utomhus har brunnarna förenats så att de är sammankopplade 3 + 3 + 1; se figur 3-2. Inomhus förenas dessa tre kretsar till en. Detta flöde passerar ett hydroforkärl, vilket tjänstgör som expansionskärl samt luft- och smutsavskiljare. Därefter delas flödet i 3 parallella kretsar genom pumpar och förångare. Varje krets betjänar ett värmepump-"kabinett" omfattande 3 värmepumpar OM 500. Värmepumparna och cirkulationspumparna styrs i 3 steg. Vid drift av något kabinett tas värme ur samtliga brunnar.

Flödet genom kretsarna har beräknats för 3,2 m³/h vid varje brunn och 2,5 m³/h genom varje förångare. Temperaturdifferensen mellan fram- och återledning blir då ca 20C.

Som köldbärare övervägdes vattenlösningar av etylenglykol, propylenglykol, Escasol* och etanol. Det bästa mediet ur strömningsteknisk synpunkt är etylenglykol. Denna glykol är emellertid giftig. Det ansågs lämpligt att undvika etylenglykol i ett så stort system som detta. Escasol var dyrt men uppgavs ha bra egenskaper, vilka dock ej kunde bekräftas. (Senare prov visade att produkten ej var lämplig för detta ändamål.) Propylenglykol har låg giftighet men dess höga viskositet utgör en allvalig nackdel. Etanol valdes, eftersom den har låg giftighet, är billig och har något bättre värmetekniska egenskaper än propylenglykol.

Staghetera med etanol är följande:

- Dåligt smörjande egenskaper. Detta kan mildras genom tillsats av propylenglykol.
- Risk för korrosion. Denna elimineras genom val av plast, koppar och mässing som konstruktionsmaterial. Pumparnas gjutjärnshus m fl detaljer kan fortfarande angripas.

* produktamn, ej specificerat innehåll

- Tätningmaterial kan attackeras kemiskt av etanolen. Kontroll med leverantörer har skett för de specificerade komponenterna.
- Brand- och explosionsrisker samt säkerhetsåtgärder härför undviks om koncentrationen av etanol och högsta temperaturen båda kan hållas låga vilket är fallet här.
- Diffusion av etanol ut ur systemet är av liten omfattning vid de här aktuella låga temperaturerna.

Tryckfallet i systemet har beräknats till ca 300 kPa för 10 % etanol vid -50C. Erfarenheter av köldbärarsystem visar att pumparna ofta underdimensioneras. För att ge marginaler har en pump med en uppfodringshöjd vid rent vatten av 450 kPa valts. En konsekvens av detta kan bli att strömningshastigheten vid förångarens tub blir så hög att koppar eroderar. Detta gäller särskilt när endast ett eller två "kabinett" är i drift. Sommartid kan det därför vara nödvändigt att strypa flödet.

4. ERFARENHETER UNDER BYGGNADSTIDEN

Berget utgjordes av röd granit i områdets södra del, överlagrad av grå gnejs. Detta gav ej anledning att ändra bedömningen av bergets värmeledningsförmåga.

Temperaturen i berget har före idrifttagningen uppmätts 1983-04-24 till:

<u>djup m</u>	<u>temperatur °C</u>
10	9,0
20	9,6
30	9,5
40	9,3
50	9,1
70	9,1
90	9,1

Anmärkningsvärt är att den geotermiska gradienten, vilken bör ge en temperaturhöjning av ca 1°C/100 m inte kunde iakttas. Medelvärdet av de uppmätta temperaturerna ligger mer än 1° över de 8,2° som använts vid beräkningarna redovisade i avsnitt 3.3 i kapitel 3.

Vattennivån varierade mellan 2 och 4 m, vilket var gynnsammare än beräknat. Vattentillgången var god i ett hål och liten i de övriga. Bedömningen att vattenuttag ensamt inte skulle kunna utgöra värmekälla kvarstod.

Hålen borrades med diametern 115 mm. Nedförsel av slangarna beredde stora problem. Det gick att få ned dessa ca 100 m men inte lägre. I något hål var det t o m svårt att ned ett lod. Borrentreprenören rymde upp hålen för att minska friktionen mellan berget och slangarna. Vid upprymning kan inte närmast större dimension väljas av borrh tekniska skäl. Här valde entreprenören diametern 150 mm. Därefter gick nedföringen av slangarna problemfritt.

Orsakerna till svårigheterna att få ned slangarna kan vara:

- Lösa bergbitar längs hålen.
- För liten tyngd i köldbärarspetsen.
- För stor friktion mot det smala hålet på grund av att slangarna strävar att återta sin slingform.
- Kvarvarande luft i slangarna motverkar spetsens tyngd.

Det förtjänar påpekas att tyngden i slangpaketets spets måste övervinna all friktion och lyftkraft, eftersom slangarna utgör ett effektivt friktionslås om man försöker trycka ned dem i hålet.

Entreprenören (TGB) önskade använda sin egen köldbärarspets, utförd av rostfritt stål, i stället för den föreskrivna av svetsad PEH. Detaljen ingjöts i betong med ett plåtrör som form. Anslutningarna mellan syrafast stål och slang utgjordes av att slangen trädde på röret och en 200 mm lång krympmuff lades över förbandet. Eftersom betongen är viktig som dragavlastning, issprängningsskydd och korrosionsskydd (vid kloridhaltigt vatten), godtogs denna köldbärarspets om ingjutningen gjordes i frostbeständig betong.

Jorden i gravarna för de horisontella köldbärarledningarna var mycket stenrik. Eftersom kylslangarna kan komma att ge ökad tjälbildning, kan stenarna påverka slangarna vid tjälskjutning. Återfyllning med sand runt slangarna har beslutats trots att detta genom försämrad värmeöverföring motverkar den avsedda jordvärmeeffekten.

Vid korsning mellan VA- och köldbärarledningar skall köldbäraren isoleras, vilket beslöts under arbetets gång.

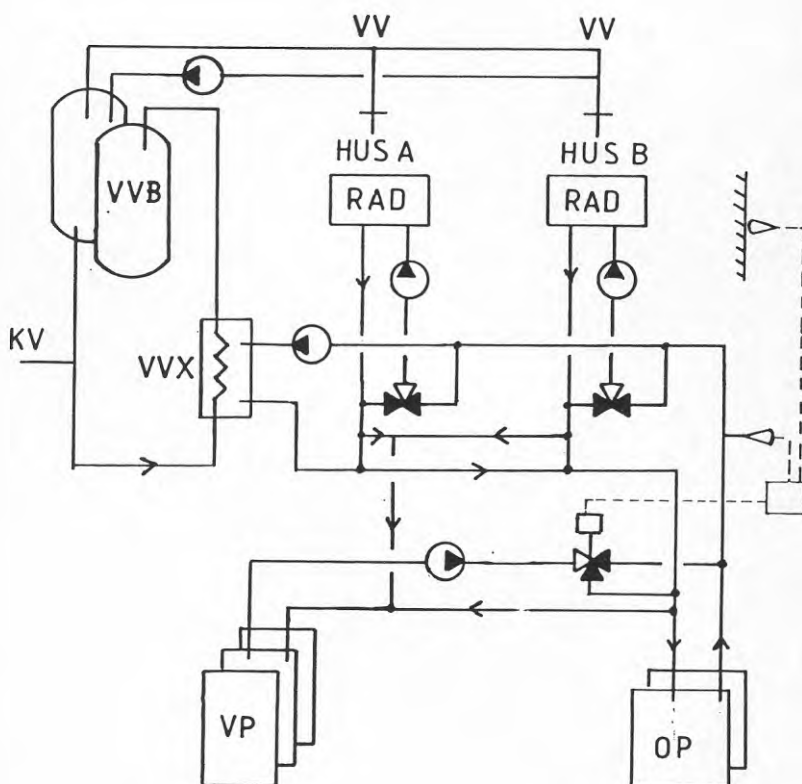
Entreprenören utförde avgreningar från köldbärarstamledningar med kopplingar. Svetsade förbindningar hade föreskrivits, eftersom tillsyn och service av förbindningen endast kan ske med svårighet.

Entreprenaden omfattade alla berg- och markarbeten, inklusive ledningar, armatur, fyllning och provtryckning. Alla erfarenheter från projektet visar att detta var en riktig omfattning. En uppdelning av borrhings- och slangarbeten hade fått katastrofala konsekvenser i projekt Berguven, på grund av svårigheter att få ned slangarna.

5. VÄRMESYSTEMET

5.1 Allmänt

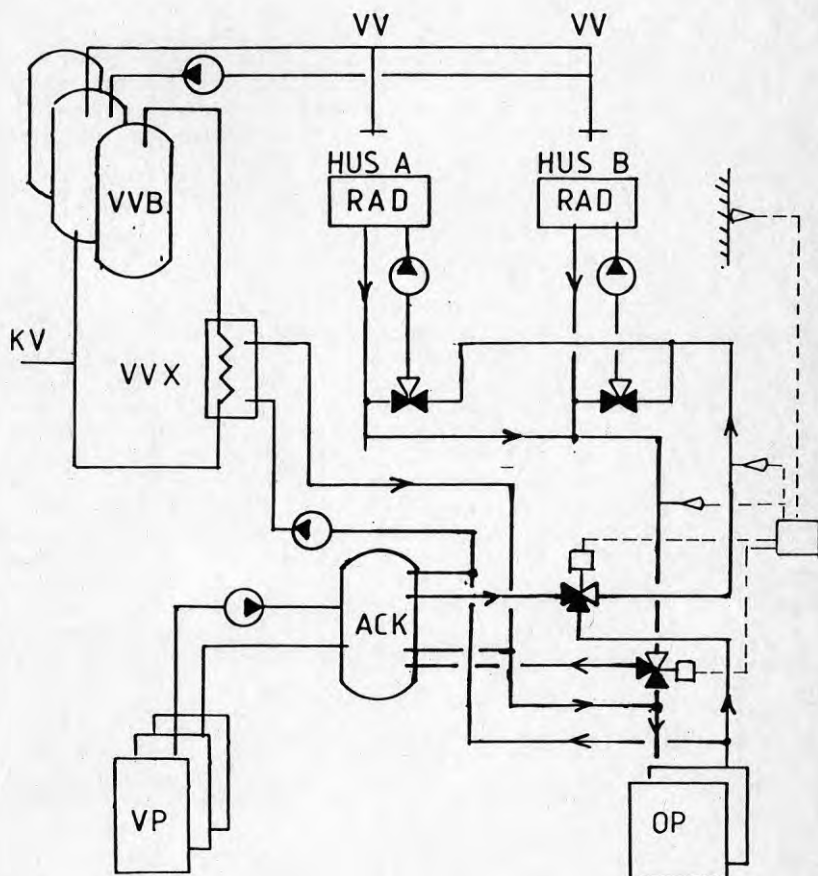
Inkopplingen av de 3 kabinetter till fastighetens värmesystem projekterades av entreprenörens VVS-konsult. Värmepumpens ursprungliga inkoppling redovisas i figur 5-1. Under uppvärmningssäsongen 83/84 var värmepumparnas samkörning med oljepannorna inte tillfredsställande och sommaren 1984 ändrades inkopplingen enligt förslag från värmepumpleverantören, varvid bl a en ackumulator installerades, se figur 5-2. Som framgår av driftresultaten har värmepumparna efter ombyggnaden utnyttjats sämre än föregående säsong, förmodligen beroende på att styrningen ej trimmats.



Figur 5-1 Inkoppling av värmepump före ombyggnad

Inkopplingen gjordes med ambitionen att alltid kunna värma varmvatten till minimum ca 48°C med värmepumparna, vilket komplicerade anläggningen. En enkel inkoppling direkt på radiatorvattnets returledning, kombinerat med förvärmning av varmvatten till samma temperatur som varmvattnet, skulle ha givit betydligt enklare styrning och även betydligt högre värmefaktor på anläggningen. I stället hade en varmvattenberedare (elektrisk) för slutuppvärmning av varmvattnet tillkommit.

Anläggningen har efter knappt 2 års drift ännu ej besiktigats och godkänts. En snabbare besiktning skulle naturligtvis vara i såväl beställarens som entreprenörens intresse, då resultatet förhoppningsvis blir en snabbare injusterad och väl fungerande anläggning samtidigt som garantitiden för anläggningen börjar löpa.



Figur 5-2 Inkoppling av värmepump efter ombyggnad

6. UTVÄRDERING

6.1 Driftresultat

Det första årets drift resulterade i en ekvivalent fullastdrifttid på 3300 h (vecka 324 till 424). Trots att anläggningen var urkopplad mellan v 409 och v 424 och trots att samkörningen mellan värmepumpar och oljepannor inte var helt tillfredsställande var oljeförbrukningen endast ca 17 m^3 , vilket trots reglerproblem motsvarar den förväntade oljeersättningen på 55 m^3 på 1 m^3 olja när.

I tabell 6-1 framgår att värmepumpsanläggningen har fungerat enligt beräkning fram till vecka 351, då värmepumparna utnyttjades till 96 %. Därefter varierade utnyttjningsgraden huvudsakligen mellan 80 och 90 % under januari och februari 1984. Regleringen av värmepumparnas samkörning med oljepannorna var emellertid tidvis mycket dålig, t ex var gångtiden på värmepumparna endast ca 35 % veckorna 404 och 405. I bilaga 2 återges som illustration av detta temperaturer på köldbäraren från värmepumparna till kollektor. Temperaturen har mätts med en termistor som placerats på utsidan av röret (under isoleringen).

Efter ombyggnaden försommaren 1984 fungerade anläggningen bra fram till oljepannorna kopplades in, varefter värmepumparnas utnyttjningsgrad varit utomordentligt begränsad, se tabell 6-1.

Uppvärmningssäsongen 83/84 kännetecknades av en mild vinter. En graddagskorrigerad av den årliga oljeförbrukningen för den aktuella perioden visar på ca 65 m^3 oljeförbrukning. Oljeersättningen kan år 1 (v 324 - v 424) uppskattas till ca $65 - 17 = 48 \text{ m}^3$ (jämfört med normal oljeförbrukning). Elförbrukningen var under samma period 162 MWh, inklusive köldbärarpumpar. (En viss osäkerhet råder angående elmätarens startvärde. Här har antagits att elförbrukningen varit densamma för varje drifttidstimme och aggregat v 324 - 341 som för v 341 - 352.) Med en antagen pannverkningsgrad på 70 % innebär 162 MWh elförbrukning en värmefaktor på $(48 \cdot 10 \cdot 0,7) / 162 = 2,07$. Om den egentliga pannverkningsgraden är 65 % innebär det en värmefaktor på $48 \cdot 10 \cdot 0,6 / 162 = 1,78$.

Kyluttaget kan på samma sätt kalkyleras till ca 175 MWh (beräknat utgående från pannverkningsgrad på 70 %), varav markvärmebidraget beräknas till ca 160 MWh och ca 15 MWh från köldbärarpumparna.

Den andra säsongen är i skrivande stund inte till ända. Under perioden v 424 - 513 har värmepumparnas totala elförbrukning uppgått till 102 MWh. Samtidigt har oljepannorna förbrukat $35,7 \text{ m}^3$. Med en kalkylerad värmefaktor på 2 innebär detta att totalt $(2 \cdot 102 + 35,7 \cdot 0,7) = 450 \text{ MWh}$ värme har levererats till fas-

tigheten, vilket uppskattas till 92 % av normalårets energiförbrukning. Normalt borde de resterande 11 veckornas energiförbrukning kräva ytterligare 65 MWh värme. Den årliga oljeersättningen beräknas ändå bli ca 38 m³. Elförbrukningen beräknas under perioden bli ca 130 MWh. En beräknad värmefaktor blir då $38 \cdot 10^0,7 / 130 = 2,05$.

Vecka	Drifftid		Elförbrukning totalt MWh	Temp köldbärare ut från VP OC*	Oljeförbrukning ack. m ³
	%	h totalt 9 aggregat			
<u>83</u>	324	0	0		
	41	28	6900	38,7	4,2)
	42	55,8	7747	43,6	4,2)
	43	64,1	8716	49,3	5,0)
	44	62,5	9661	54,7	3,6)
	45	65,5	10644	60,4	3,0)
	46	87,5	11967	67,7	2,0)
	47	85,4	13258	74,9	2,9)
	48	55,6	14098	79,5	2,6)
	49	71,8	15184	85,4	1,3) ca 17
	50	59,5	16084	90,4	1,3)
	51	96,1	17537	98,4	1,0)
	52	90,2	18900	105,9	1,1)
)
<u>84</u>	402	84,6	21458	120,0	1,3)
	03	80,5	22674	126,7	2,0)
	05	34,7	23724	132,5	2,3)
	07	92,4	26518	145,9	4,8)
	09	83	29035	157,3	2,9)
	24	3	29730	162,0	-
	42	29,8	37779	203,3	4,1 4,59
	45	62,6	40486	216,6	2,5 4,71
<u>85</u>	504	16,3	44265	239,6	5,8 18,37
	07	19,4	45060	245,3	5,0 24,00
	13	22,0	47061	258,5	5,3 33,30
	15	24,2	47900	264,0	6,1 35,77

* avläst på termometer vid besökstillfället

Tabell 6-1 Drifftid, elförbrukning för värmepumpar + köldbärarpumpar samt oljeförbrukning

Om värmepumpanläggningen hade utnyttjats som avsett under perioden v 445 - v 513 och haft en bättre utnyttjingsgrad, 80 - 90 % i stället för som nu ca 20 %, torde den nödvändiga stödoljetillsatsen kunnat begränsas avsevärt.

6.2 Jämförelse med teoretiska beräkningar

Det begränsade utnyttjandet av värmepumpanläggningen medför att det av flera skäl blir svårt att göra en teoretisk jämförelse med utfallet. Dels har ju anläggningen varierat kyluttaget kraftigt från vecka till vecka, dels har kyluttaget varit så pass litet att temperatursänkningen mellan köldbärare och ursprunglig bergtemperatur under långa perioder varit så liten att det innebär stora svårigheter att sammankoppla en aktuell differens med aktuell driftsituation.

Den enda intressanta temperatursänkningen på köldbäraren erhöles första vintern och nedan redovisas en mycket enkel teoretisk jämförelse av anläggningens drift fram till v 403.

Belastningen var under denna tids sista två månader relativt konstant, se tabell 6-1. Här förenklas simuleringen till att beskriva hela förloppet från start till v 403 som en tre månaders konstant belastning på borrhålen.

Som förutsättning för beräkningarna gäller följande:

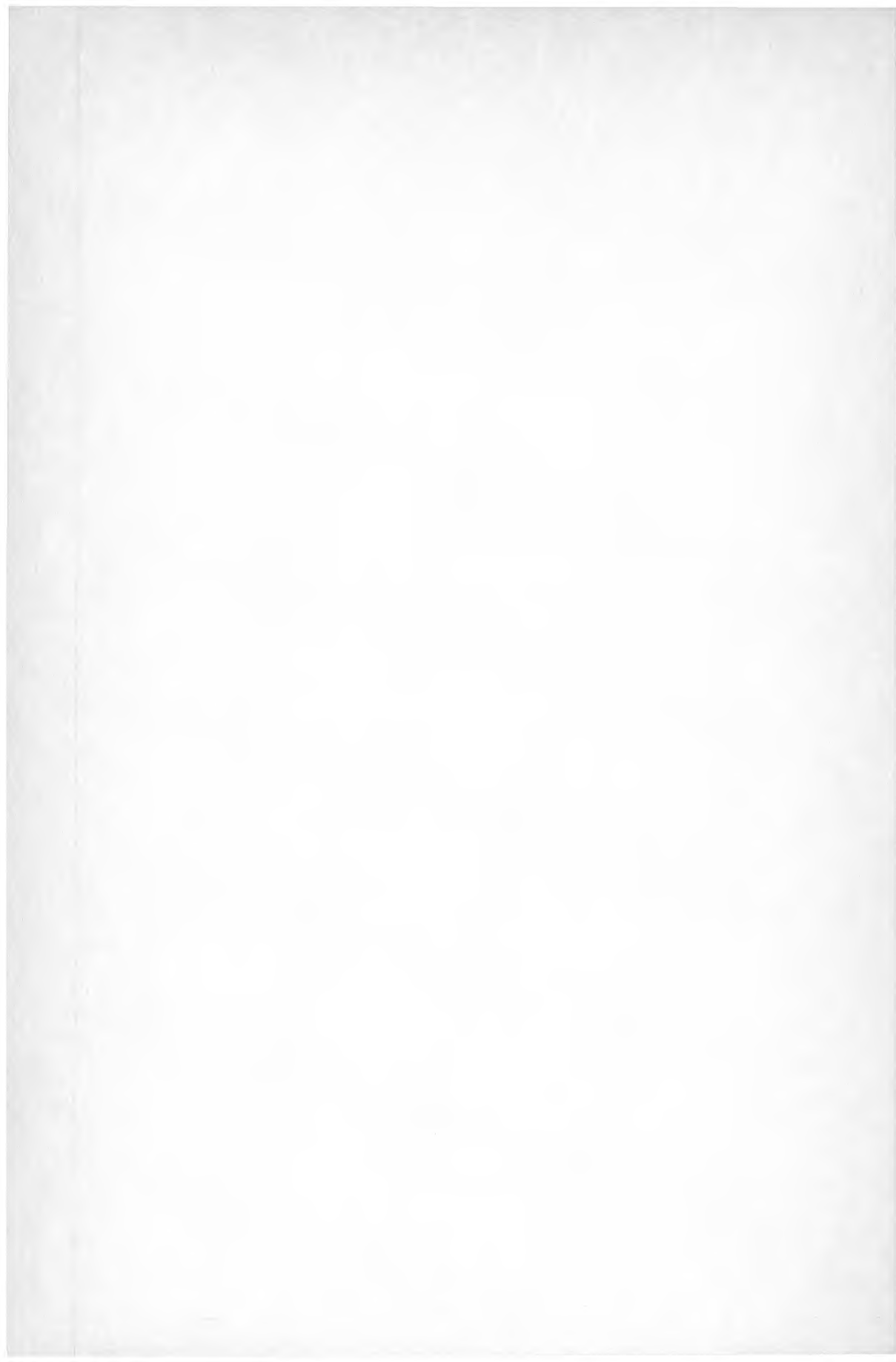
värmeledningstal i berg	3,5 W/m, °C
värmekapacitet i berg	2,16*10 ⁶ J/m ³ , °C
diameter borrhål	150 mm

Den beräknade temperatursänkningen blir då följande:

Temperatursänkning °C			Beräknat kyluttag W/m borrhål
i berg	i vatten	i slang	
4	?	0,16	20
5	0,5-1	0,19	25
6	?	0,24	31
7	?	0,27	36

Köldbärartemperaturen under dec - jan varierade mellan ca 2 och 3 plusgrader, se figur i bilaga 2. Den totala temperaturskillnaden mellan berg och köldbärare kan då uppskattas till 6 - 7°. Under antagandet att temperaturfallet i borrhålet (mellan slang och bergvägg) är ca 0,5 - 1° återstår ca 5 - 6° som drivkraft för värmeledningen genom berget. Detta motsvarar enligt beräkningarna ovan 25 - 30 W/m i effektuttag.

En kontroll mot det förväntade markvärmeuttaget ger; elförbrukning 66,3 MWh, total kalendertid 1.680 h, 8,5 % av elförbrukning till köldbärarpumpar, antagen värmefaktor 2,1, motsvarande en markvärmemängd på 66 MWh eller 38 W/m borrhål. Med en värmefaktor på 1,8 (motsvarande en pannverkningsgrad på 65 %, se avsnitt 6.1) ger analoga beräkningar ett effektuttag på 28 W/m. För närvarande är det inte möjligt att göra noggrannare beräkningar.



DATORBERÄKNINGAR FÖR BORRHÅLSDIMENSIONERING

Per Eskilson, LTH

Projekt Örnstigen

Influens mellan tio bergborrade brunnar

November 1982

Lundagruppen för markvärme

Per Eskilson

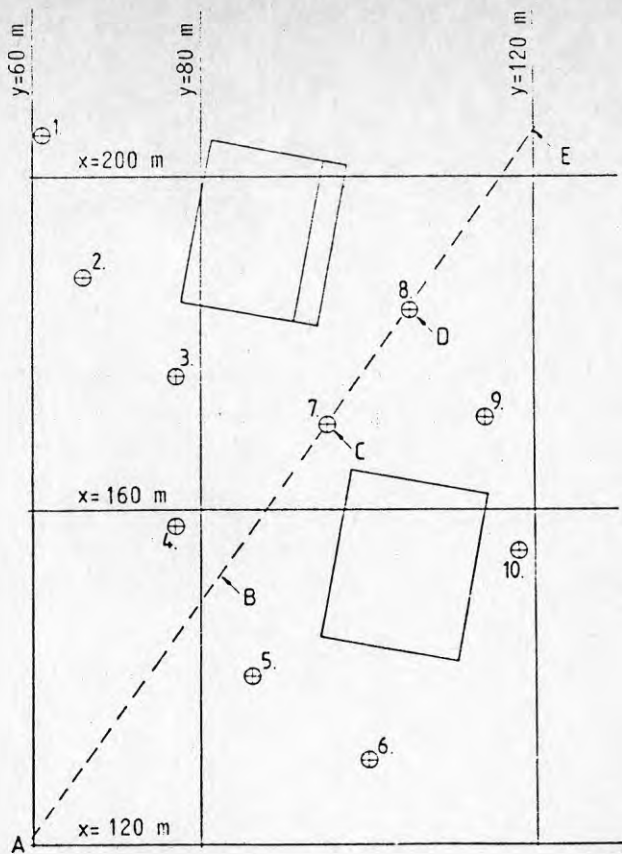
Ett antal vertikala brunnar i berg skall användas som värmekälla för en värmepump. Denna anläggning skall värma två hyreshus i Stockholm. Projektet utföres under vintern 1982-83 av Allmänna Ingenjörbyrå AB.

Värmeuttaget sker från tio stycken djupa borrhål i marken. Dessa är placerade oregelbundet enligt figur 1. Berget består av granit med värmeledningsförmågan 3.5 W/mK. Alla brunnar har ett totaldjup på 150 m varav de översta fem är värmeisolerade mot omgivande mark.

Med hjälp av en datormodell har brunnstemperaturen vid olika värmeuttag beräknats. Modellen har utvecklats vid Institutionen för Matematisk Fysik i Lund. Se referens I.

Tre olika driftsfall har studerats. I det första fallet har vi rent värmeuttag medan vi för de övriga två fallen dessutom har en viss återladdning av värme under sommaren. De tre alternativen motsvarar ett nettoårsuttag av 249, 165 resp. 45 MWh. Värmeuttaget är cykliskt med perioden ett år. Effektuttaget är månadsvis konstant.

Från givet effektuttag beräknas en gemensam brunnstemperatur för alla brunnar. Brunnstemperaturen varierar i tiden för att det totala effektuttaget från samtliga brunnar skall kunna hållas månadsvis konstant.



Brunnskoordinater:	x (m)	y (m)
Borrhål nr: 1	205	60
2	188	66
3	176	77
4	158	77
5	140	86
6	130	100
7	170	95
8	184	105
9	171	114
10	155	118

Figur 1. Borrhälsplan för Projekt Örnstigen.

Data för simulering

Antalet borrhål = 10

D_i = djup för isolering kring brunnen = 5 m

D = aktiv brunnslängd = 145 m

\emptyset = diameter för brunn = 0.11 m

Granit: $\lambda = 3.5$ W/mK

$C = 2.16$ MJ/m³K

Enligt referens I s. 13 och 14 kan marktemperaturen sättas till en konstant medeltemperatur för berget. Denna motsvarar ostörd bergstemperatur på halva brunnsdjupet.

Begynnelsestemperatur i berget är 8.25 °C.

Temperaturen vid markytan är 8.25 °C.

Tre uttagsalternativ studeras. Ett utan och två med återladdning av värme.

Effektuttag (kW) ur tio borrhål.

Månad	alternativ 1	alternativ 2	alternativ 3
1	40	30	29
2	36	26	19
3	34	25	12
4	32	22	4.1
5	26	16	-11*
6	10	0	-27*
7	7	-2.7*	-30*
8	10	0	21
9	23	14	0
10	34	25	18
11	45	36	34
12	45	36	34
	249 MWh/år	165 MWh/år	45 MWh/år

* Här sker återladdning av värme.

Resultat

De tio brunnarna, som influerar varandra, jämföres med tio ostörda brunnar, dvs. med en enskild brunn med en tiondel av effektuttaget. Brunnstemperaturen beräknas för både ostörda och influerande brunnar. Tabell 1 anger dessa brunnstemperaturer. Högsta temperatur erhålles för alla cykler under månad 7 medan lägsta brunnstemperatur fås under månad 12. Resultaten ges för år 1, 5 och 25.

Anm. Brunnstemperatur anger temperaturen vid bergväggen. Har man plastslangar måste man ta hänsyn till övergångsmotståndet mellan fluid och berg.

tid [år]	Laddningsalternativ	1		2		3	
		ostörd	infl.	ostörd	infl.	ostörd	infl.
1	Högsta temp.	6.66	6.63	8.17	8.15	12.20	12.19
	Lägsta temp.	1.46	1.37	2.94	2.88	3.50	3.49
5	Högsta temp.	5.80	4.86	7.39	6.97	11.91	11.62
	Lägsta temp.	0.80	-0.22	2.50	1.82	3.29	2.99
25	Högsta temp.	5.24	1.91	7.22	4.98	11.73	10.72
	Lägsta temp.	0.27	-3.08	2.14	-0.10	3.12	2.12

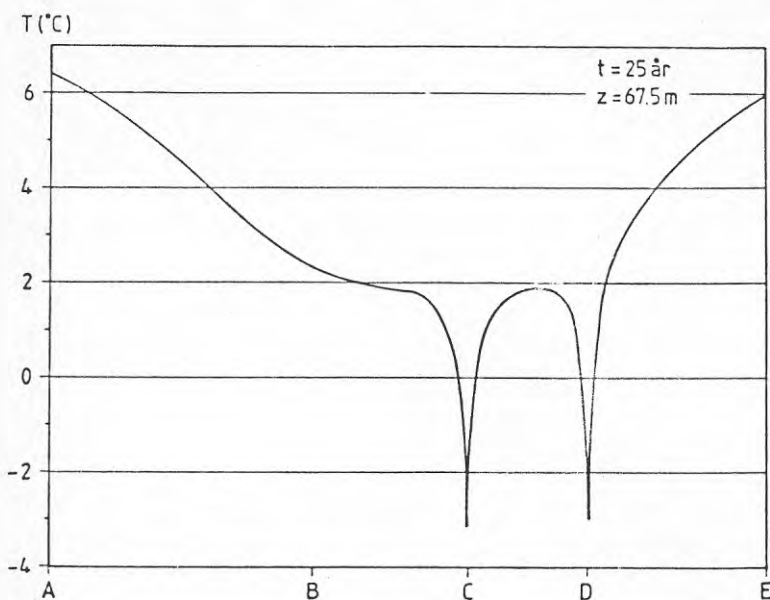
Tabell 1. Brunnstemperatur för ostörda resp. influerande brunnar.

En jämförelse av effektiviteten hos de olika brunnarna har gjorts. Resultatet presenteras i tabell 2. Här anges några brunnars årsuttag relativt det totala årsuttaget för alla tio brunnarna. För det ostörda fallet är denna siffra 10% hela tiden. Alla tre laddningsalternativen gav nästan samma resultat. ($\pm 0.1\%$).

Brunn nr	1	2	7
5 år	10.9%	10.1%	9.1%
25 år	12.5%	10.2%	8.0%

Tabell 2. Årsuttag av energi hos brunn 1, 2 och 7 (fig. 1), relativt totala årsuttaget för alla tio brunnarna.

Figur 2 visar en temperaturprofil på djupet 67.5 meter efter 25 år. Profilen ligger enligt linjen A-E i figur 1. I punkten B påverkas temperaturen tydligt av borrhål fyra och fem.



Figur 2. Temperaturprofil på djupet $z = 67.5$ m vid tiden $t = 25$ år. Snittet taget enl. A-E figur 1.

Sammanfattning

Tio influerande brunnar skall användas för värmeuttag. Problemet simuleras med en datormodell som beräknar det tredimensionella termiska förloppet i marken. Tre olika driftsalternativ har använts. Resultatet ges för år 1, 5 och 25. Tidsåtgången för en datorberäkning av 25 årscykler är 3 min. CPU-tid på en UNIVAC 1100/80.

En jämförelse göres med tio ostörda brunnar. Temperatursänkning i brunnarna relativt ostörd mark ges i tabell 3.

Laddnings- alt. tid år	1		2		3	
	ostörd	infl.	ostörd	infl.	ostörd	infl.
1	6.8	6.9	5.3	5.4	4.8	4.8
5	7.5	8.5	5.8	6.4	5.0	5.3
25	8.0	11.3	6.1	8.4	5.1	6.1

Tabell 3. Största temperatursänkning under år 1, 5 och 25 i förhållande till ostörd mark.

Vid givet effektuttag kräves för influerande brunnar en lägre brunnstemperatur än då vi har ostörda brunnar.

Enligt laddningsalternativ 1, kräver de influerande brunnarna 41% större temperatursänkning än de ostörda brunnarna. Motsvarande siffror för laddningsalternativ två och tre är 38% resp. 20%.

Referens I. P. Eskilson, Värmeuttag ur bergborrade brunnar. Influens mellan brunnar.

Tillägg nr. 1

Ytterligare två laddningsalternativ har studerats. För dessa fall skiljer sig laddningen, antalet brunnar och brunnarnas placering från tidigare tre fall. Laddningsalternativ fyra har nio brunnar och nettoårsuttag 249 MWh. Alternativ fem har sju brunnar och nettoårsuttaget 152.6 MWh. För övrigt gäller samma förutsättningar som tidigare. Dessa två alternativ är mycket intressanta eftersom investeringsbeloppet för de två systemen är lika. I sjubrunnsfallet har vi återladdning från 125 m² solfångarmatta. Denna matta kostar lika mycket som de två insparade borrhälen i fallet då vi har nio brunnar.

Brunnskoordinater

Borrhål nr	Alt. 4		Alt. 5	
	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)
1	205	60	205	60
2	188	66	182	67
3	176	77	170	83
4	158	77	145	83
5	140	86	130	100
6	130	100	184	105
7	184	105	164	116
8	171	114	-	-
9	155	118	-	-

Anm. I alternativ fyra är brunnskonfigurationen identisk med de tre tidigare fallen, förutom att borrhål sju har avlägsnats.

Laddningen sker som tidigare, dvs. ett cykliskt värmeuttag med perioden ett år.

Effektuttag (kW) ur nio resp. sju borrhål

Månad	Alt. 4	Alt. 5
1	38	37
2	37	32
3	36	26
4	34	18
5	26	-4.1*
6	10	-12*
7	7	-15*
8	10	-7*
9	23	12
10	34	29
11	41	40
12	41	44
	249 MWh/år	152.6 MWh/år

Tabell 4 anger beräknad brunnstemperatur för båda laddningsalternativen år 1, 5 och 25. Medeltemperaturen i marken är som tidigare 8.25°C.

tid(år)	Laddnings- alternativ	4 infl.	5 infl.
1	Högsta temp.	6.44°C	10.68°C
	Lägsta temp.	0.66	-0.71
5	Högsta temp.	4.71	9.59
	Lägsta temp.	-0.86	-1.64
25	Högsta temp.	1.86	7.88
	Lägsta temp.	-3.63	-3.29

Tabell 4. Beräknad brunnstemperatur för sju resp. nio influerande brunnar.

* Här sker återladdning av värme.

Tillägg nr. 2

Laddningsalternativ ett har simulerats i 100 år. Då tidsskalan för temperaturförloppet i marken är mycket stor, kommer brunnstemperaturen att ytterligare sjunka efter det tjugofemte året. Detta visas i tabell 6.

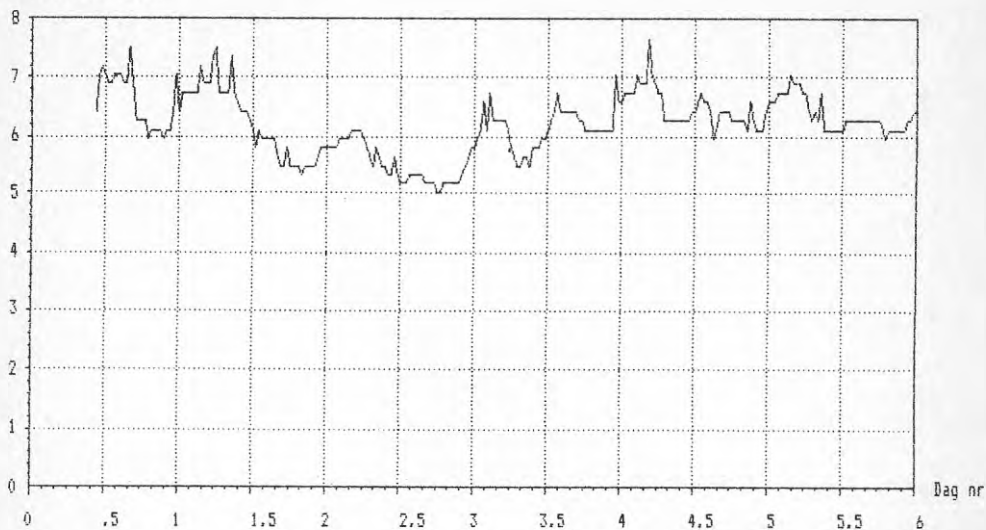
tid(år)	laddnings- alternativ	1
25	Högsta temp. Lägsta temp.	1.91 ⁰ C -3.08
100	Högsta temp. Lägsta temp.	-0.14 -5.15

Tabell 6. Beräknad brunnstemperatur efter 25 och 100 år.

MR1-U-1277 (Heldragen)
Berguven.
Temp. köldbärare retur från värmepump.

Datum dag 0: 83.10.07

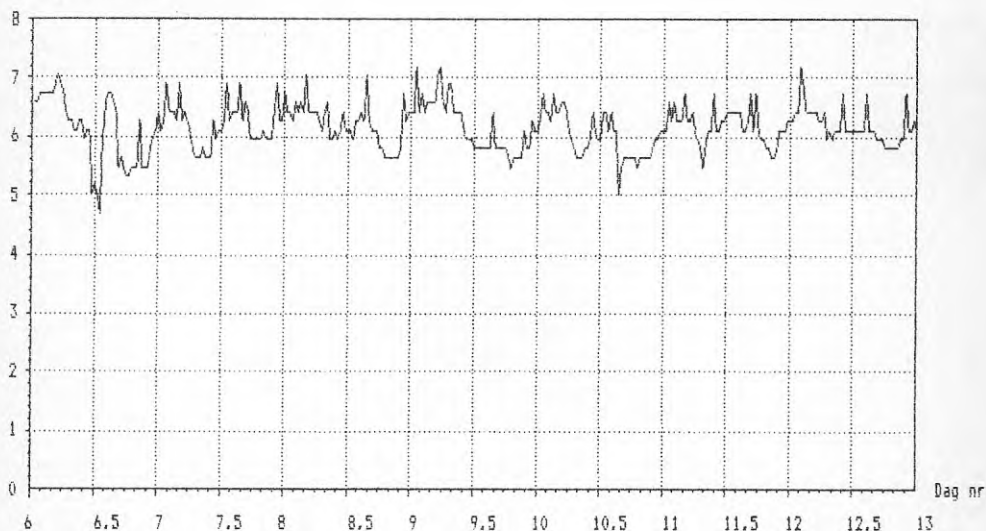
Temperatur (Gr.C)



MR1-U-1277 (Heldragen)
Berguven.
Temp. köldbärare retur från värmepump.

Datum dag 0: 83.10.07

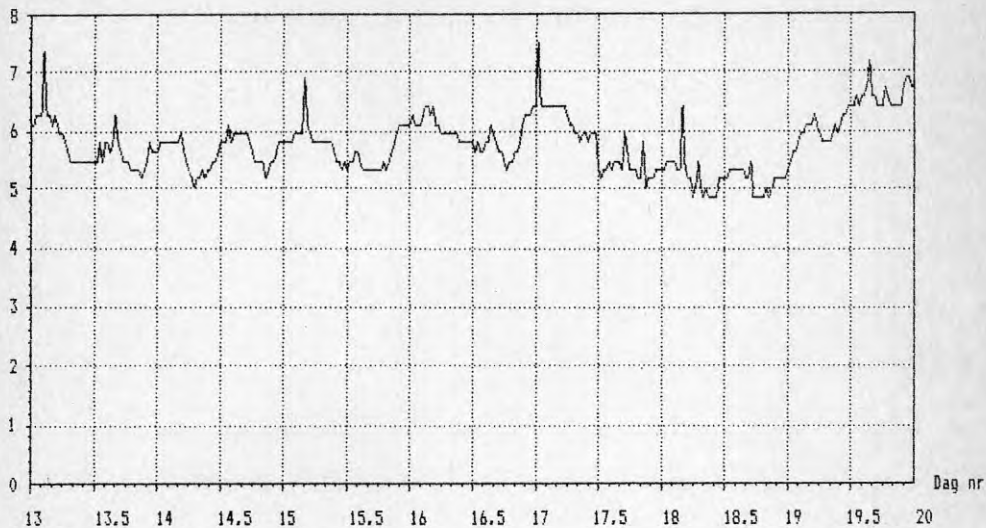
Temperatur (Gr.C)



MR1-U-1277 (Heldragen)
Berguven.
Temp. köldbärare retur från värmepump.

Datum dag 0: 83.10.07

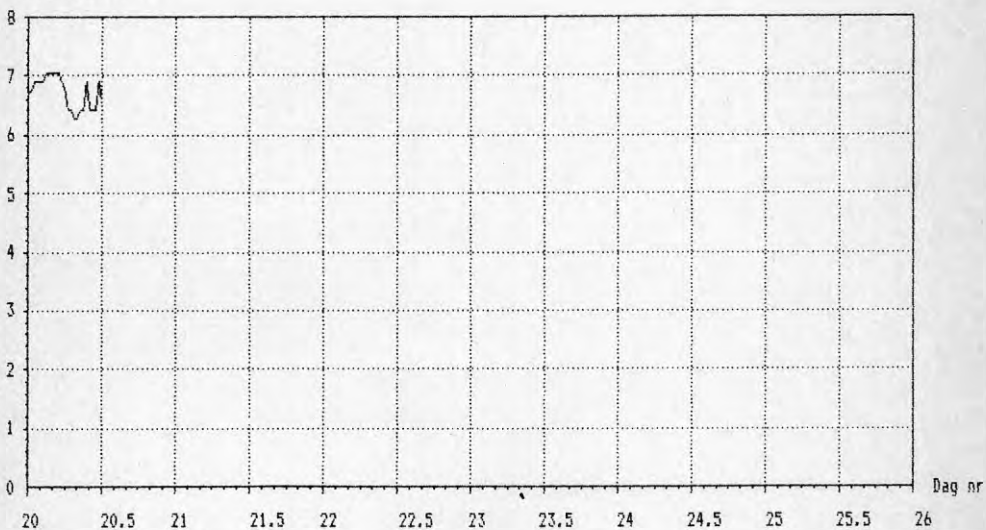
Temperatur (Gr.C)



MR1-U-1277 (Heldragen)
Berguven.
Temp. köldbärare retur från värmepump.

Datum dag 0: 83.10.07

Temperatur (Gr.C)



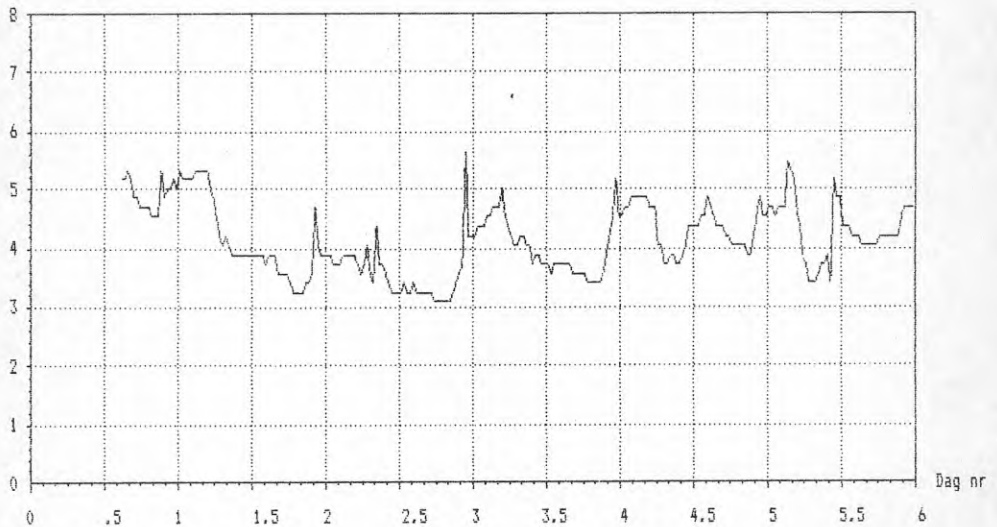
MR1-U-1277 (Heldragen)

Berguven

Temp. köldbärare retur från värmepump.

Datum dag 0: 83.10.27

Temperatur(Gr.C)



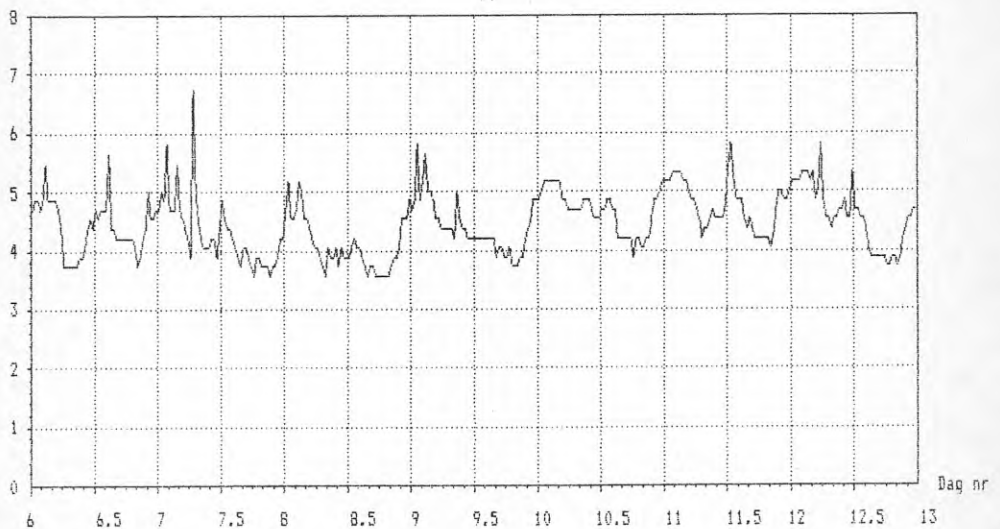
MR1-U-1277 (Heldragen)

Berguven

Temp. köldbärare retur från värmepump.

Datum dag 0: 83.10.27

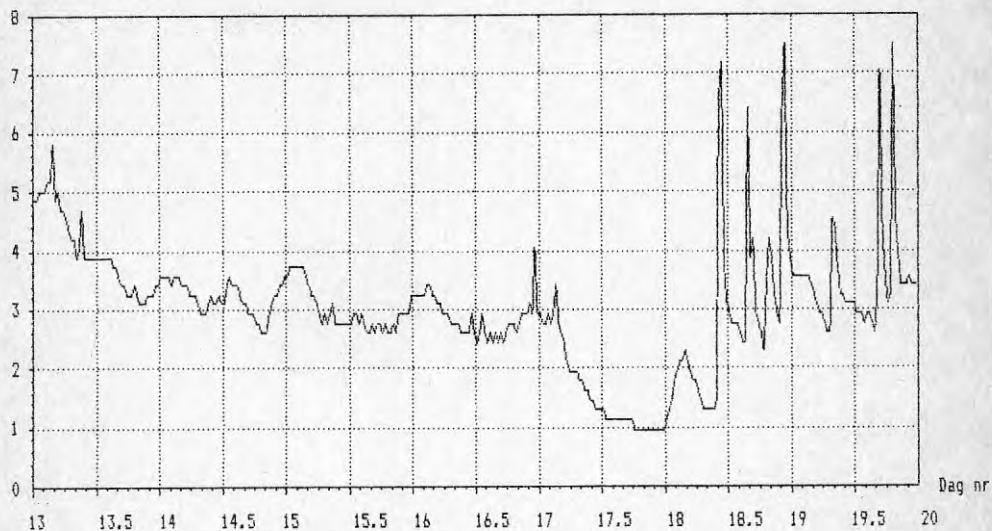
Temperatur(Gr.C)



MR1-U-1277 (Heldragen)
Berguven
Temp. köldbärare retur från värmepump.

Datum dag 0: 83.10.27

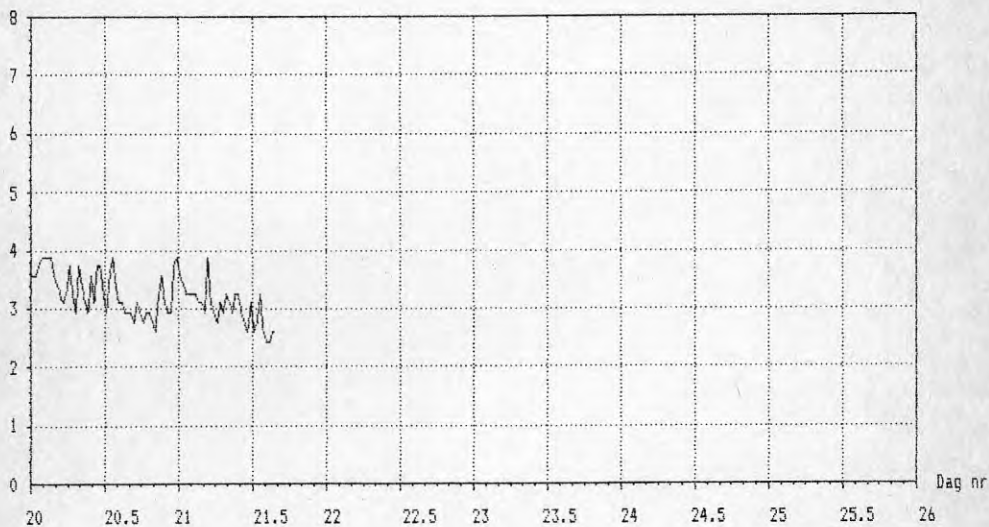
Temperatur (Gr.C)



MR1-U-1277 (Heldragen)
Berguven
Temp. köldbärare retur från värmepump.

Datum dag 0: 83.10.27

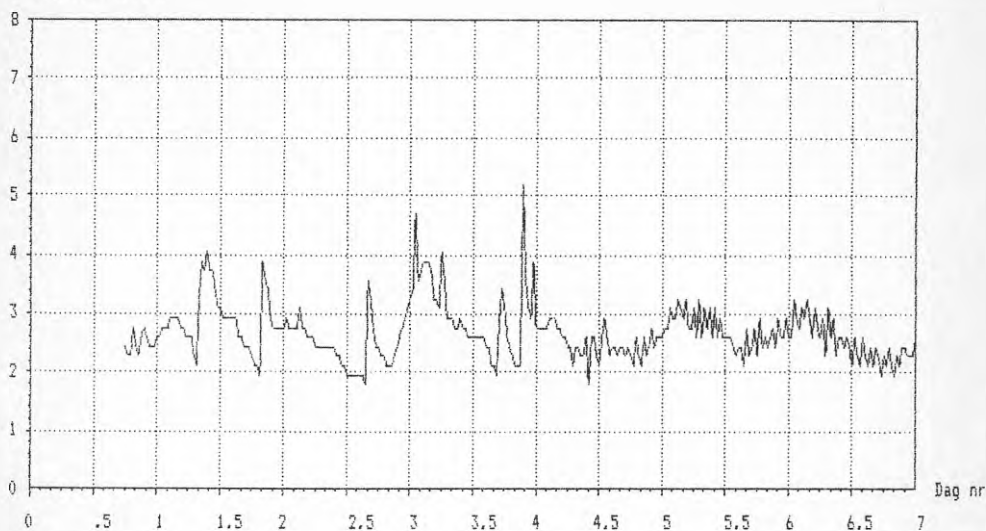
Temperatur (Gr.C)



MR1-U-1277 (Heldragen)
Kv. Bävern.
Temperatur, köldbärare retur från värmepump.

Datum dag 0: 83.11.17

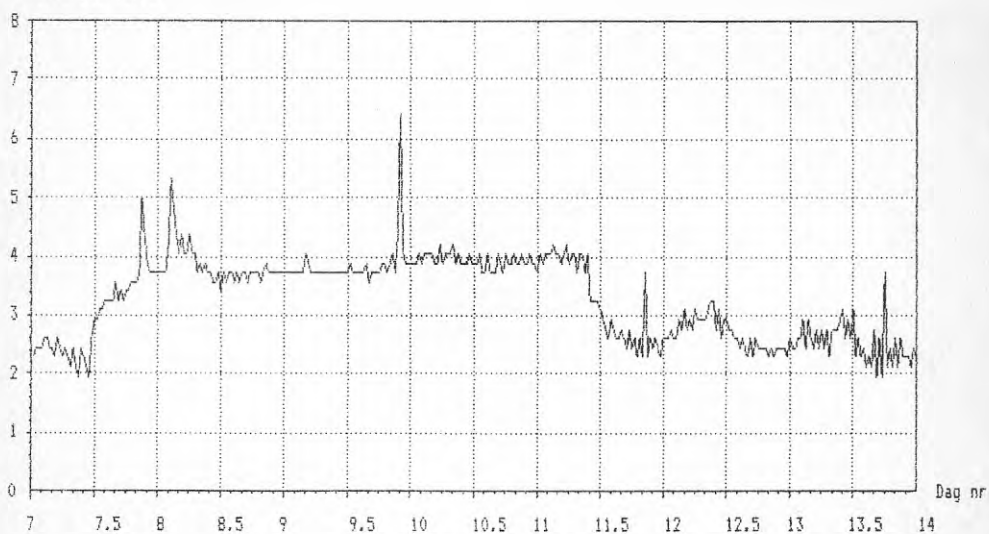
Temperatur (Gr.C)



MR1-U-1277 (Heldragen)
Kv. Bävern.
Temperatur, köldbärare retur från värmepump.

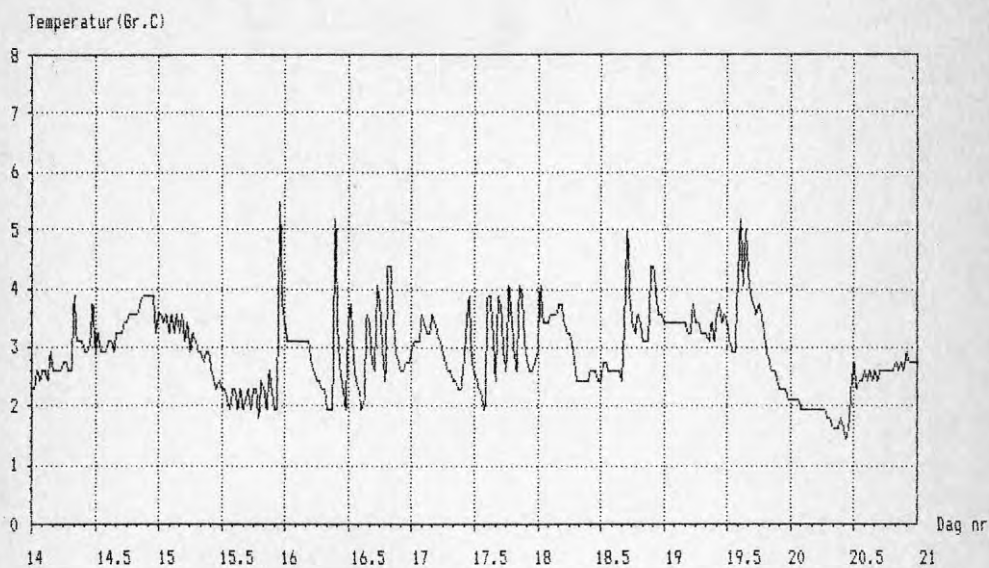
Datum dag 0: 83.11.17

Temperatur (Gr.C)



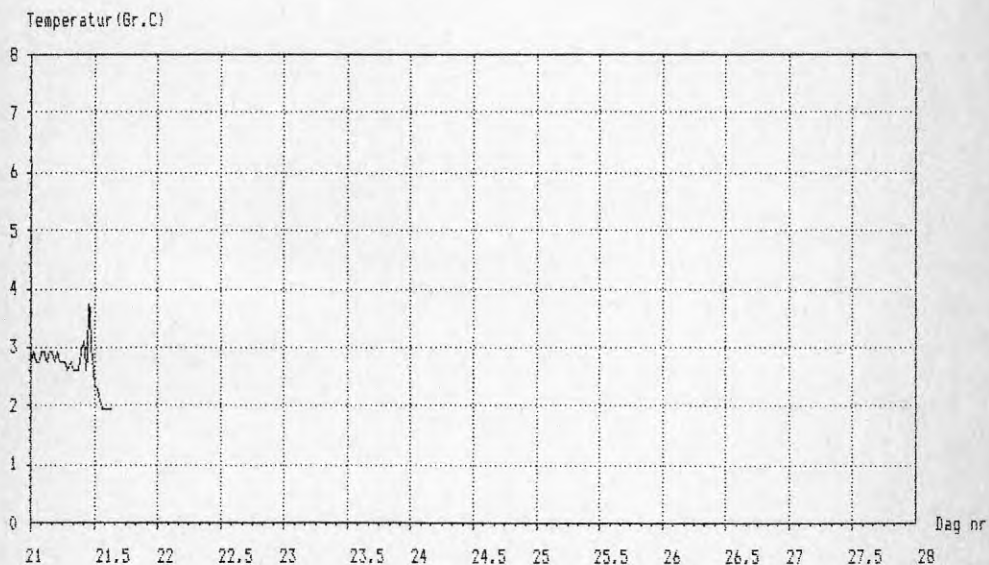
MR1-U-1277 (Heldragen)
Kv. Bävern.
Temperatur, köldbärare retur från värmepump.

Datum dag 0: 83.11.17



MR1-U-1277 (Heldragen)
Kv. Bävern.
Temperatur, köldbärare retur från värmepump.

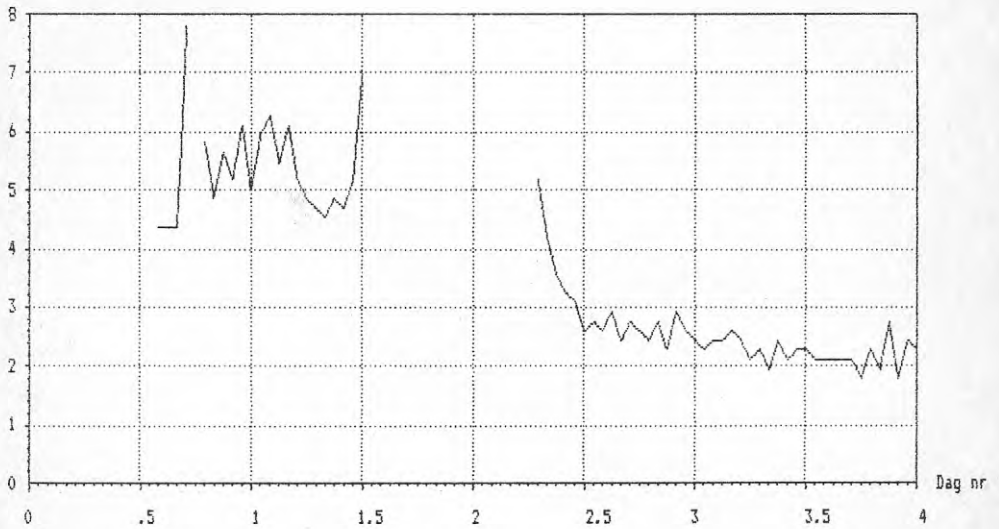
Datum dag 0: 83.11.17



MR1-U-1277 (Heldragen)
Berguven.
Temperatur, köldbärare retur från värmepump.

Datum dag 0: 83.12.11

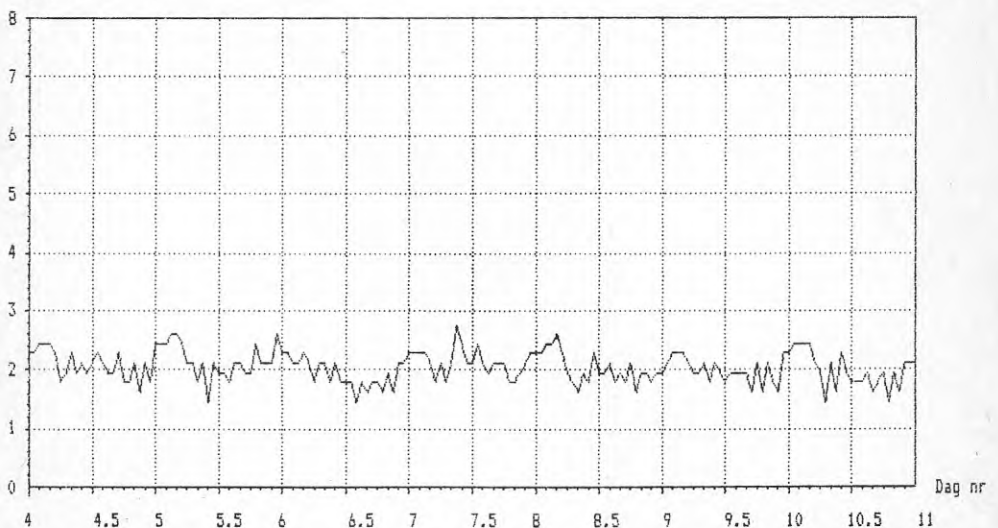
Temperatur (Gr.C)



MR1-U-1277 (Heldragen)
Berguven.
Temperatur, köldbärare retur från värmepump.

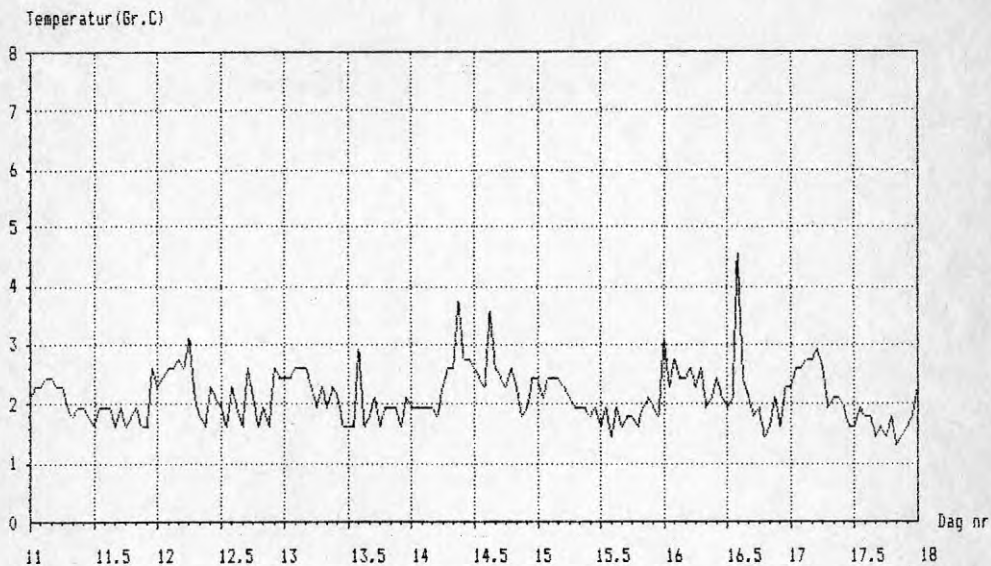
Datum dag 0: 83.12.11

Temperatur (Gr.C)



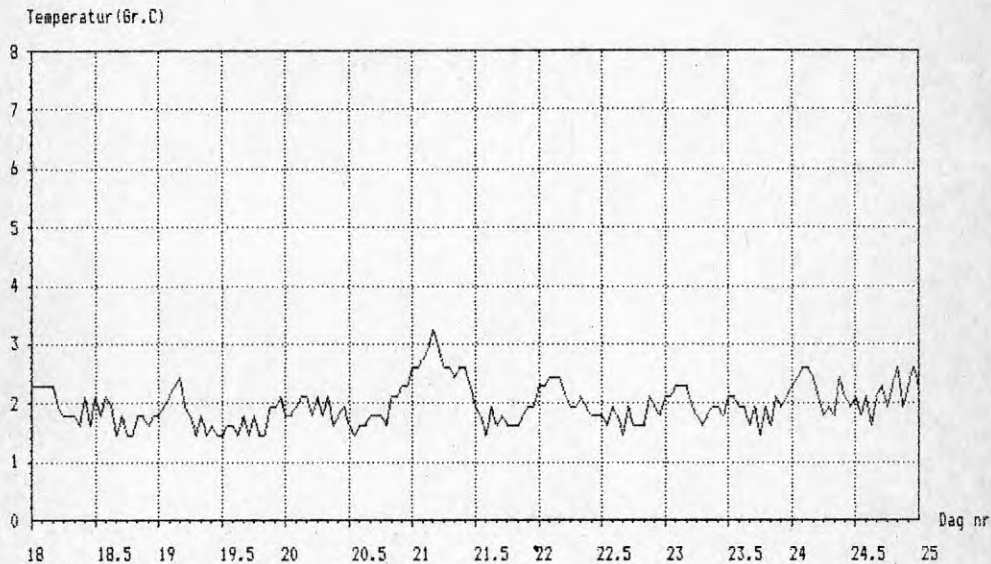
MR1-U-1277 (Heldragen)
Berguven.
Temperatur, köldbärare retur från värmepump.

Datum dag 0: 83.12.11



MR1-U-1277 (Heldragen)
Berguven.
Temperatur, köldbärare retur från värmepump.

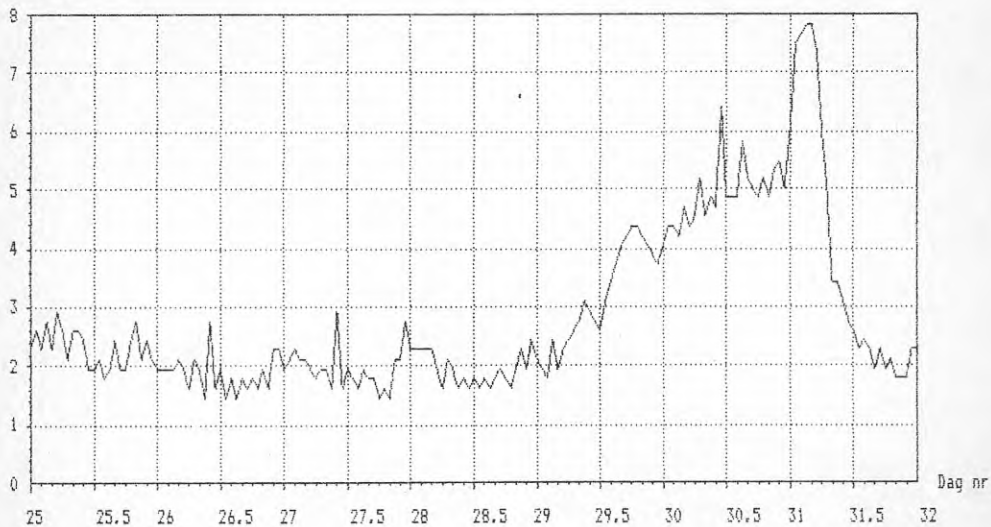
Datum dag 0: 83.12.11



MR1-U-1277 (Heldragen)
Berguven.
Temperatur, köldbärare retur från värmepump.

Datum dag 0: 83.12.11

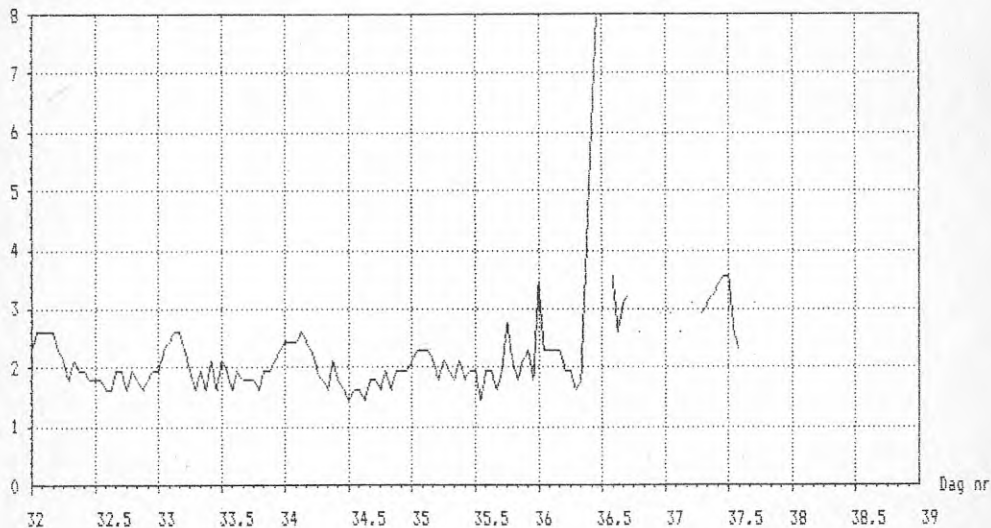
Temperatur (Gr.C)



MR1-U-1277 (Heldragen)
Berguven.
Temperatur, köldbärare retur från värmepump.

Datum dag 0: 83.12.11

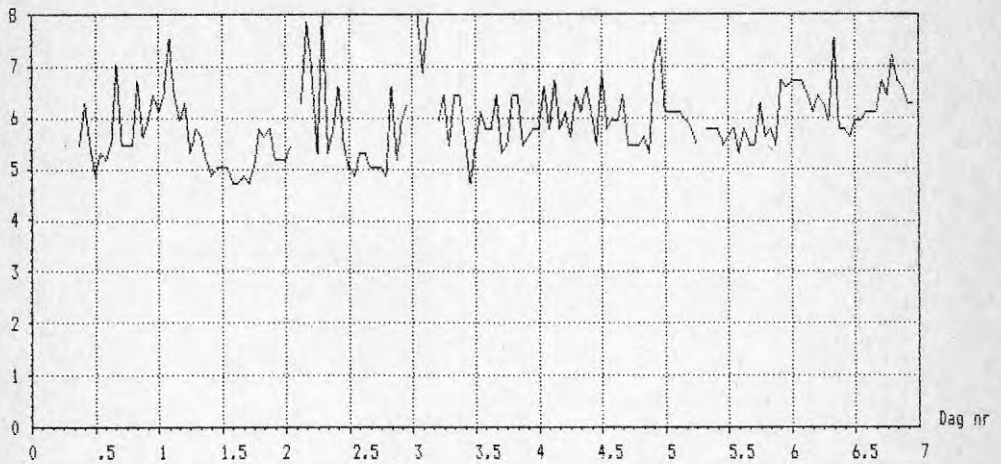
Temperatur (Gr.C)



MR1-U-1277 (Heldragen)
BERGUVEN

Datum dag 0: 84.01.20

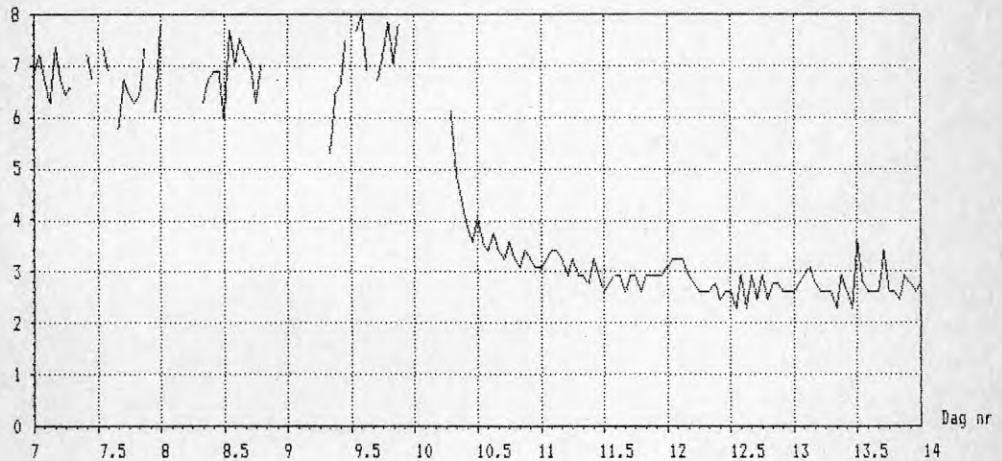
Temperatur (Gr.C)



MR1-U-1277 (Heldragen)
BERGUVEN

Datum dag 0: 84.01.20

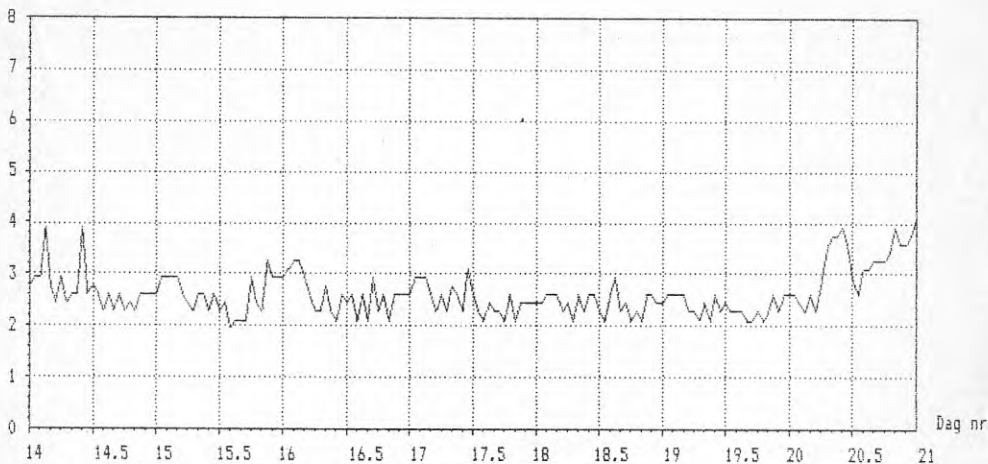
Temperatur (Gr.C)



MR1-U-1277 (Heldragen)
BERGUVEN

Datum dag 0: 84.01.20

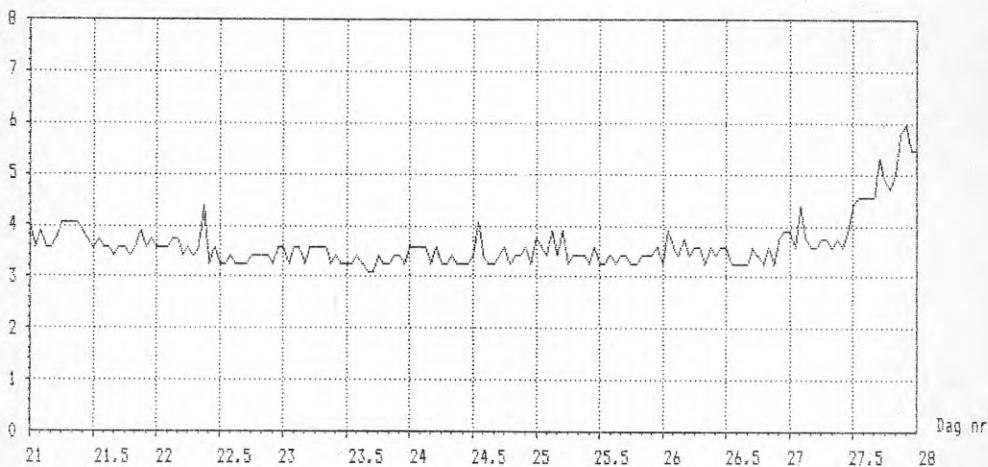
Temperatur (Gr.D)



MR1-U-1277 (Heldragen)
BERGUVEN

Datum dag 0: 84.01.20

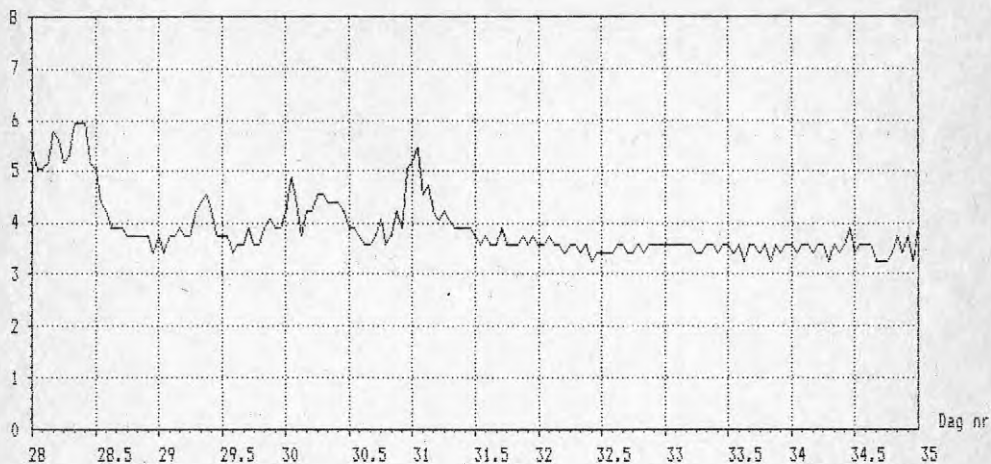
Temperatur (Gr.D)



MR1-U-1277 (Heldragen)
BERGUVEN

Datum dag 0: 84.01.20

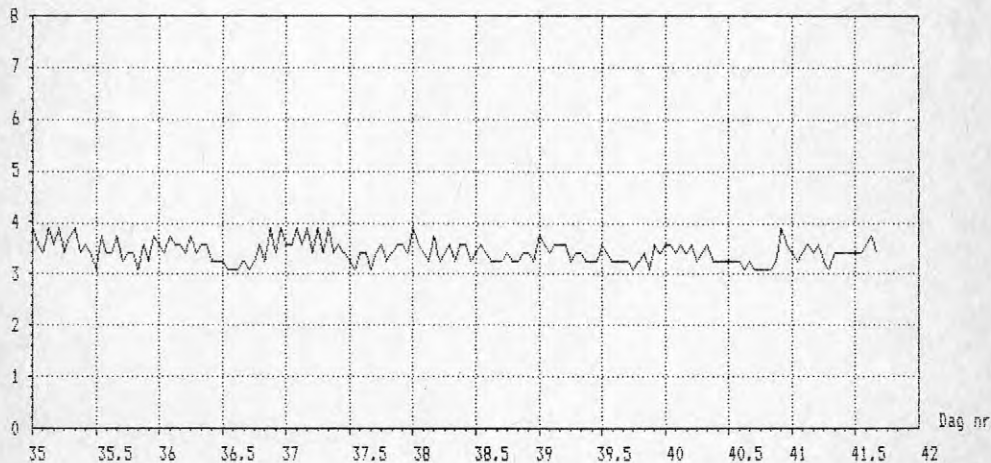
Temperatur (Gr.C)



MR1-U-1277 (Heldragen)
BERGUVEN

Datum dag 0: 84.01.20

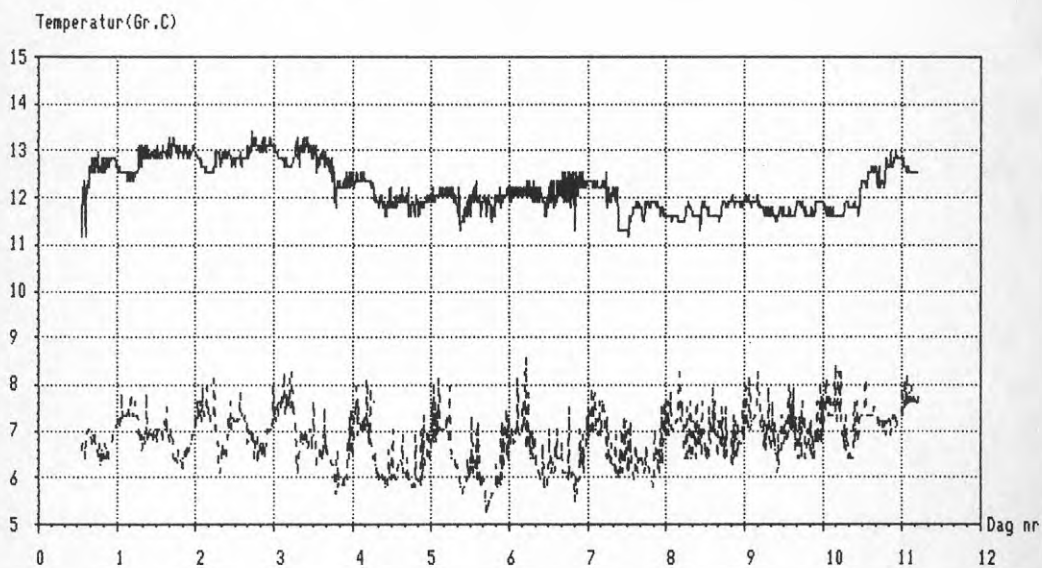
Temperatur (Gr.C)



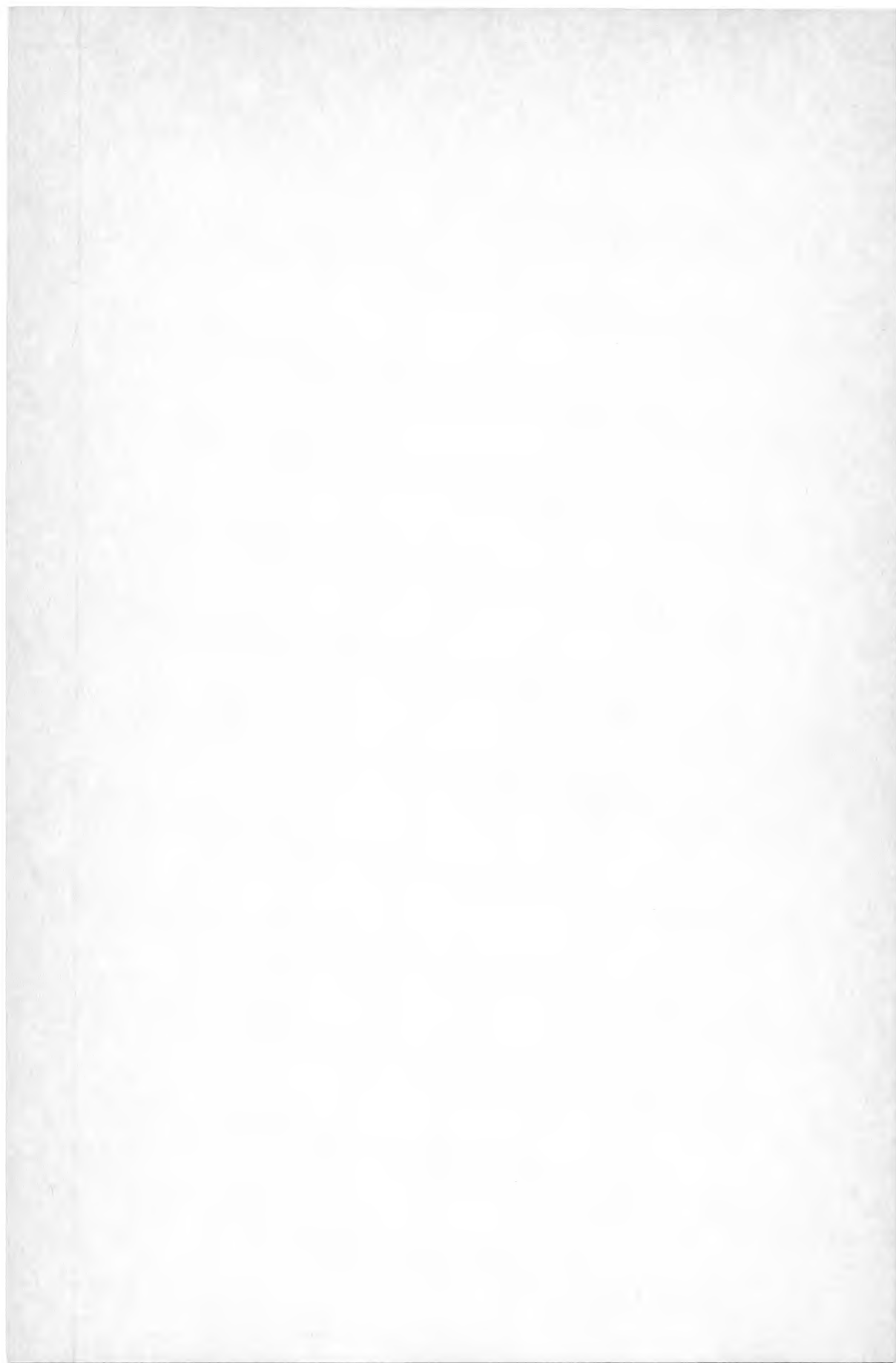
MA1-B-585 (Helldragen)
BERGUVEN
EXP-KÄRL

MA1-B-586 (Streckad)
BERGUVEN
KÖLDBÄRAR-RETUR

Datum dag 0: 85.03.25







**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830908-7
från Statens råd för byggnadsforskning till Allmänna
Ingenjörbyrå AB, Solna.**

R72: 1986

ISBN 91-540-4606-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6706072

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

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

Cirka pris: 30 kr exkl moms