



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.



**Sunstore-projektet 1977—1980**

**Solvärmesystem med låg temperatur  
och säsongslagring för uppvärmning  
av lokaler**

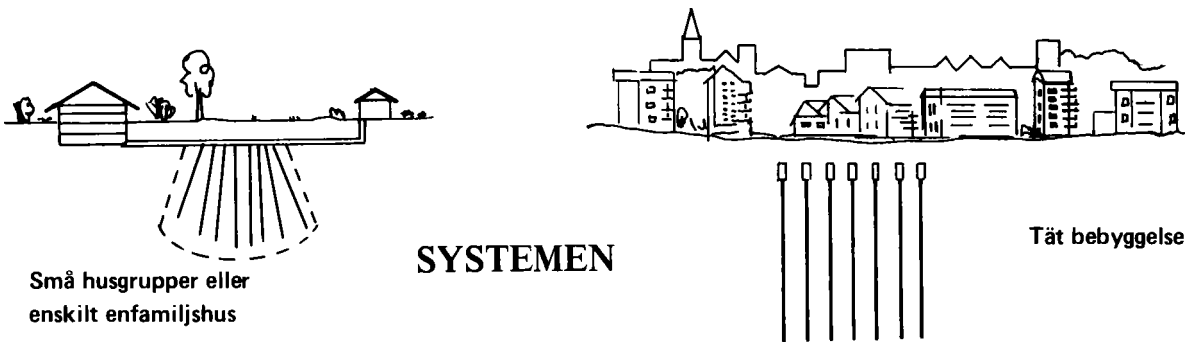
**Ove Platell**

**Hans Wikström**

SUNSTORE-PROJEKTET 1977 – 1980

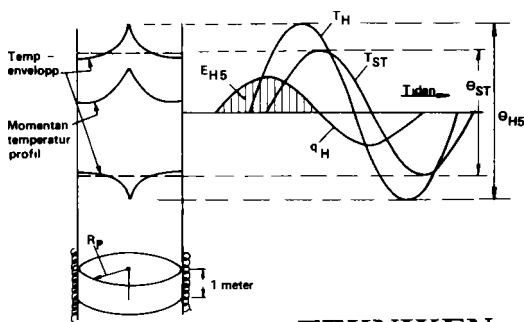
Solvärmesystem med låg temperatur och säsongslagring för uppvärmning av lokaler

Ove Platell  
Hans Wikström

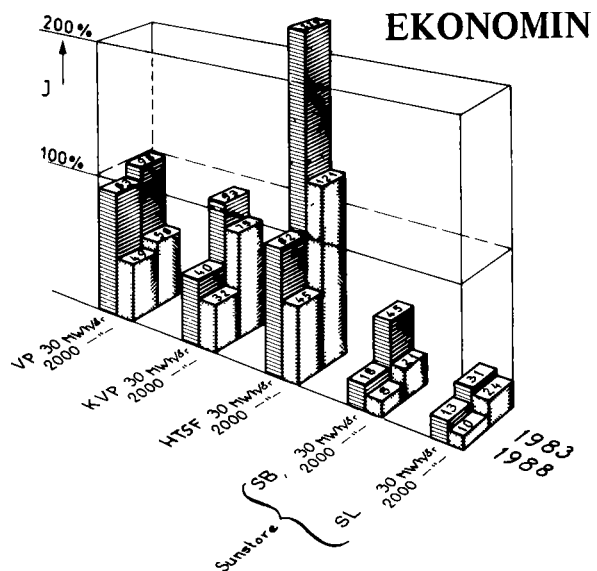
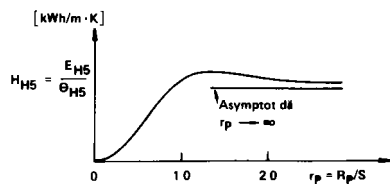


Små husgrupper eller  
enskilt enfamiljshus

Tät bebyggelse



**TEKNIKEN**



Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 780067-5 från Statens råd för byggnadsforskning till Sunstore KB samt anslag 78-50 64 från Styrelsen för teknisk utveckling.

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

R100:1981

ISBN 91-540-3545-7  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1981 116269

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	<u>Sid</u>
FÖRORD	1
SAMMANFATTNING	2
0 FÖRKORTNINGAR, DEFINITIONER OCH BE- TECKNINGAR	5
1 BAKGRUND	16
1.1 Teknisk idé	16
1.2 Upphovsman - patent	16
1.3 Bolagsbildning - ägoförhållanden	16
1.4 Finansiering	17
1.5 Arbetsformer	17
1.6 Resurser	17
1.7 Referensgrupper	19
1.8 Delrapportering	19
2 SUNSTORE I DEN TOTALA SVENSKA ENERGI- FÖRSÖRJNINGEN	20
2.1 Förutsättningar för Sveriges energiförsörjning i allmänhet	20
2.1.1 Sveriges nuvarande energianvändning	20
2.1.2 Förbrukarkategorier	20
2.1.3 Omvandlingsprocesser för olika energiformer	21
2.1.4 Lagringsförmåga hos olika energiformer	22
2.1.5 Utrymmesbehov för produktion av primärenergi	23
2.1.6 Eliminering av Sverige oljeberoende	26
2.2 Framtida lokaluppvärmningssystem	29
2.2.1 Krav på lokaluppvärmningssystem	29
2.2.2 Bestående lösningar på lokaluppvärmningssystem	31
3 SUNSTOREMETODEN	34
3.1 Den ursprungliga Sunstoreprincipen	34
3.1.1 Funktion	34
3.1.2 Lågtemperatursolfångare (LTSF)	35
3.1.3 Lågtemperaturmarklager (LTML)	36
3.1.4 Lågtemperaturvärmeavgivare (LTVA)	39
3.1.5 Tappvarmvatten	41

	<u>Sid</u>	
3.2	Grundläggande prestanda hos Sunstore-komponenter	41
3.2.1	Solfångarprestanda	41
3.2.2	Marklagerprestanda	43
3.2.3	Värmeavgivarpredanda	45
3.2.4	Användning av Sunstorekomponenter i andra energisystem	46
3.3	Införandepotential för Sunstore	50
3.3.1	Produktutveckling	50
3.3.2	Nybebyggelse	50
3.3.3	Befintlig bebyggelse	51
3.3.4	Strategi för idriftstagning	53
3.3.5	Planering och projektering	54
4	FoU-VERKSAMHET	55
4.1	System	55
4.1.1	Analys	55
4.1.2	Systemutveckling	56
4.2	Solfångare	63
4.2.1	Analys	63
4.2.2	Kravspecifikation	75
4.2.3	Tillgängliga solfångare	75
4.2.4	Experiment	78
4.3	Marklager	79
4.3.1	Analys	79
4.3.2	Marklager i lera, projekt Vinterviken	85
4.3.3	Oinfodrade hål i berg	101
4.3.4	Infodrade hål i berg	105
4.4	Värmeavgivare	109
4.4.1	Analys	109
4.4.2	Marknadsanalys	109
4.4.3	Experiment	109
5	EXPERIMENTOBJEKT	110
5.1	Inledning	110
5.2	Målsättning	110
5.3	Kravspecifikation	110
5.4	Byggnaden	113
5.5	Systemuppbyggnad	113
5.6	Dimensionering - energibalans	114

	<u>Sid</u>
5.7 Undercentral	116
5.7.1 Dimensionering - konstruktion	116
5.7.2 Anläggning	117
5.8 Solfångare - HTSF	117
5.8.1 Dimensionering - konstruktion	117
5.8.2 Anläggning	121
5.8.3 Funktionsprov - modifieringar	121
5.9 Solfångare - LTSF	125
5.9.1 Dimensionering - konstruktion	125
5.9.2 Anläggning	127
5.9.3 Funktionsprov	127
5.10 Marklager	127
5.10.1 Dimensionering - konstruktion	127
5.10.2 Anläggning	132
5.10.3 Funktionsprov - modifieringar	137
5.11 Kylhål	137
5.12 Värmeavgivare	137
5.12.1 Dimensionering - konstruktion	138
5.12.2 Anläggning	140
5.12.3 Funktionsprov - modifieringar	140
5.13 Ventilationssystem	140
5.13.1 Dimensionering - konstruktion	142
5.13.2 Anläggning	142
5.14 Drift och mätning av marklagret	143
5.14.1 Beräkningar och simuleringar	147
5.14.2 Geologisk undersökning	148
5.14.3 Mätgivare och instrument	152
5.14.4 Installation av mätgivare	153
5.14.5 Mätningar, överensstämmelse med beräkningar	160
6 METODER FÖR EKONOMISK VÄRDERING AV ENERGISYSTEM	170
6.1 Ekonomiskt synsätt	170
6.2 Nuvärdesmetoden	171
6.3 Annuitetsmetoden	173
6.4 Besparingskostnadsmetoden	173
6.5 Förväntad prisutveckling	177
6.6 Vald metod - kostnadstal relaterat till oljeeldat energisystem	179
6.7 Investeringskostnad för de konventionella delarna i olika system	180
7 SYSTEM BASERADE PÅ SUNSTORETEKNIKEN	184
7.1 Teknisk uppbyggnad	184
7.2 Framräkning av kostnadsjämförelsetal	187

	<u>Sid</u>	
7.3	Kommentarer till de olika systemen	192
7.3.1	Kylsystem	192
7.3.2	Värmesystem	192
8	SUNSTORE I KOSTNADSJÄMFÖRELSE MED ANDRA LOKALUPPVÄRMNINGSSYSTEM	197
8.1	Förutsättningar för olika lokaluppvärmnings- system	197
8.2	Framräkning av kostnadsjämförelsetal	201
8.3	Kommentarer till de olika systemen	205
8.3.1	Betydelsen av nettooljeprisökningen ( $r_A = 0$ resp 10 %)	205
8.3.2	Betydelsen av idrifttagningsår ('83 resp '88)	206
8.3.3	Betydelsen av systemstorlek	206
8.3.4	Sammanfattande kommentarer till jämförelse mellan Sunstore och övriga system	206
9	RESULTAT OCH ERFARENHETER	217
9.1	FoU-verksamhet	217
9.2	Experimentobjekt 1	218
9.3	Framtidspotential	219
10	REKOMMENDATIONER FÖR FORTSATT VERKSAMHET	220
	REFERENSER	221
	BILAGOR:	
A.	Läckageflödet för ett sfäriskt marklager	
B.	Härledning av funktionen $G_E$	



## FÖRORD

Först och främst vill jag rikta ett tack till ledning och medarbetare på BFR och STU, som möjliggjort genomförandet intill nu av projekt Sunstore.

Dessutom vill jag framföra ett tack till Studsvik Energiteknik AB och Innovation Thomas Nilsson AB som genom sina medarbetare lagt ner betydande arbete såväl i projektet som vid tillkomsten av denna rapport.

Projektets referensgrupp, tillsatt av BFR/STU, har betytt mycket genom gruppens kunniga personer, som beredvilligt lämnat råd och synpunkter. Gruppens ordförande överingenjör Jan Holmberg har tålamodigt tagit del av projektets många detaljproblem och med stort kunnande och generositet stöttat mig under hela projekttiden.

Avsikten med denna rapport är dels att ge en ingående beskrivning av Sunstoremetoden, dess tekniska och ekonomiska potential och vad den kan innebära i den totala svenska energiförsörjningen, dels att i samlad form redovisa huvuddragen av de resultat som hitintills uppnåtts i projektet.

Rapporten har utarbetats i nära samarbete med de företag, organisationer och personer, som varit engagerade i de redovisade resultaten från FoU och experimentbyggnation och till vilka jag vill framföra mitt tack för ett mycket gott arbete.

I samarbete med fackmän har även ett omfattande arbete nedlagts på att redovisa projektets ekonomiska potential.

Utan medförfattarens, civilingenjör Hans Wikström, stora arbetsinsats hade denna rapport ej kommit till stånd.

De slutsatser i rapporten, som grundar sig på bedömningar, står undertecknad ensam för.

Sigtuna maj 1981

Ove B. Platell  
Upphovsman

## SAMMANFATTNING

Målet för pågående FoU-arbete och experimentbyggande inom projektet Sunstore har från början av 1973 varit och är alltjämt att utveckla ett solenergisystem för uppvärmning av byggnader. Hela årsbehovet skall tillgodoses utan fördyrande kompletteringssystem till en total energikostnad jämförbar med eller lägre än alla kända uppvärmningssystem.

Genom denna rapportens redovisade FoU- och experimentbyggnadsresultat har ett stort steg tagits mot denna målsättning.

Sunstore-metoden representerar ett nytänkande. Genom konsekvent genomförd lågtemperatur från solinfångning via lagring, värmeåtergivning och systemuppbyggnad får man väsentliga kostnadsbesparingar på såväl material som utförande. Solinfångning, lagring och systemuppbyggnad är till stor del utvecklade delenheter, som tillsammans med värmepump möjliggör introduktion på marknaden så fort en större demonstrationsanläggning tagits i drift. Efter att FoU-arbetet med lågtemperaturvärmeavgivare genomförts kan det kompletta Sunstore-systemet introduceras.

Detta kan förväntas ske omkring år 1985.

Utdrag från rapporten:

### Solinfångning

- Genomförda funktionsprov visar god överensstämmelse med vad som tidigare teoretiskt antagits. Tekniskt okomplicerade lågtemperatursolfångare är således ytterst effektiva och har marknadens lägsta tillverkningspris. Detta är grunden för rapportens redovisade låga kostnader för solinfångning.
- Genom Sunstore-konceptets presentation 1976 har intresset för lågtemperatursolfångare starkt ökat. Flera företag har igångsatt omfattande utvecklingsarbete.

### Marklager

- Den för ett djupmarklager betydelsefulla s k effekt-sväljningsförmågan har genom experimentbyggnation i fullskala verifierats för såväl lera som berg.
- Även ett Sunstore-lagers långsamma makroskopiska förlopp har kontinuerligt uppmätts under ca 3 års drift och uppvisar god korrelation med den ursprungliga matematiska modellen.

### Värmeavgivning

- Lågtemperaturvärmeavgivning (under 27°C) har funktionsmässigt verifierats i fullskala trots att färdiga produkter ännu ej hunnit utvecklas.
- Genomförda utredningar visar, att Sunstores lågtemperaturvärmeavgivare (max 27°C) - efter produktutveckling- kan ersätta konventionella högtemperaturredatorer (60-80°C) i såväl befintlig som ny bebyggelse.

### Systemuppbyggnad

- Värdefulla resultat har uppnåtts beträffande det viktiga arbetet att dimensionera och att rätt optimera ett komplett Sunstore-system.
- Systemutvecklingsarbetet har lagt fast, att cirkulationsmediet odiskutabelt skall vara vatten. Höggradig parallellkoppling skall tillämpas för cirkulationsvattnet i alla komponenterna. Detta för att tryckfallet och därmed pumpeffekten skall bli låg trots det stora flödet.

### Ekonomi

- Figur 8.3 - 8.4 och 8.9 redovisar kostnadsjämförelse mellan nu kända lokaluppvärmningssystem. Denna faktaredovisning, omfattande 8 olika system, belyser Sunstores-metodens absoluta ekonomiska särställning. Det system som kommer närmast efter Sunstore blir som synes flera gånger dyrare.
- Baserat på erfarenheter från genomfört FoU-arbete och experimentbyggande redovisar rapporten en anläggningskostnad av ca 10 kr per m<sup>3</sup> för ett Sunstore-lager. Med hänsyn till energiinnehåll per m<sup>3</sup> och °C blir jämförande kostnad för;
  - ståltank ovan jord 15 gånger större än Sunstore
  - betongtank ovan jord 25 gånger större än Sunstore
  - bergrum 7 gånger större än Sunstore

### Framtidspotential

- För uppvärmning av ca 100 lägenheter med Sunstore-teknik blir energikostnaden om några år ca hälften av vad det skulle bli med ett oljeeldat system.  
Genom nu planerad produktutveckling beräknas kostnaderna år 1988 bli endast en tredjedel. Vid kostnadsjämförelse (figur 8.3) har realprisökningen av oljan i båda beräkningsexemplen satts lika med realkalkylräntan (d v s "nettooljeprisökningen"  $r_{\Delta} = 0 \%$ ).
- Vid en större oljeprisökning blir kostnadsjämförelsen betydligt gynnsammare för Sunstore (se känslighetsanalys figur 8.5).
- Även vissa delar av Sunstore-systemet har stor användning för skilda energiändamål. Exempelvis är Sunstores lagringsteknik med borrhål i berg den snabbaste, enklaste och mest ekonomiska metoden för lagring av olika slag av spillvärme.
- Pågående och planerade utvecklingsarbeten inom Sunstore förväntas visa, att detta patentskyddade svenska solenergisystem på sikt kan ge vårt land väsentliga energibidrag inom området lokaluppvärmning och därtill en omfattande ny exportvara.

## 0 FÖRKORTNINGAR, DEFINITIONER OCH BETECKNINGAR

Förkortningar

HTSF	= Högtemperatursolfångare eller helt system baserat på högtemperatursolfångare, -marklager och -värmeavgivare
KVP	= kemisk värmepump
LTSF	= lågtemperatursolfångare
LTML	= lågtemperaturmarklager
LTVA	= lågtemperaturvärmeavgivare
ML	= marklager
SF	= solfångare
SB	= Sunstore med ML i berg
SH	= Svalhållningsfunktion
SL	= Sunstore med ML i lera
VA	= värmeavgivare

Teknisk-fysikaliska storheter

$A_H$	= $V_{ST}/L_{ST}$ = genomsnittlig "participeringsarea"	[m <sup>2</sup> ]
$A_{HD}$	= $Q_{US}/E_{HD}$ = total värmeavgivaryta	[m <sup>2</sup> ]
$A_{SC}$	= $Q_{SC}/E_{SC}$ = total solfångaryta	[m <sup>2</sup> ]
$a$	= $\lambda/(c \cdot \rho)$ = markens temperaturledningsförmåga	[m <sup>2</sup> /s]
$c$	= markens värmekapacitet	[J/kg·K]
$D_H$	= håldiameter	[m]
$d_k$	= $1.00 \cdot \sqrt{A_H} = 1.77 \cdot R_p$ = håldelning vid kvadratisk hålgitter	[m]
$d_T$	= $1.08 \cdot \sqrt{A_H} = 1.91 \cdot R_p$ = håldelning vid triangulärt hålgitter	[m]
$E_H$	= $\int q_H \cdot dt / 3.6 \cdot 10^6$ = från hålet inlagrad energimängd per hålmeter (se figur 0.4 och 0.5)	[kWh/m]
$E_{HD}$	= värmeavgivarnas ytbelastning	[kWh/m <sup>2</sup> /år]
$E_{SC}$	= total energi infångad av solfångarna per år och m <sup>2</sup>	[kWh/m <sup>2</sup> /år]
$f_{INV}$	= $Q_{INV}/Q_{US}$	-
$f_{LE}$	= $Q_{LE}/Q_{US}$	-
$f_{SC}$	= $Q_{SC}/Q_{US} = 1 + f_{LE}$	-

$f_{ST}$	$= Q_{ST}/Q_{US}$	-
$H_C$	$= E_H/\theta_C =$ inlagrad energimängd per hålmeter och $\theta_C$ (se figur 0.4 och 0.5)	[kWh/m·K]
$H_H$	$= E_H/\theta_H =$ inlagrad energimängd per hålmeter och $\theta_H$ (se figur 0.4 och 0.5)	[kWh/m·K]
$I_0$	= Solinstrålningsintensitet	[W/m <sup>2</sup> ]
$I_1$	$= \alpha \cdot \tau_{SC} \cdot I_0 =$ värmeeffekt absorberad i absorbatorytan	[W/m <sup>2</sup> ]
$I_F$	= värmeförlust från absorbatorytan	[W/m <sup>2</sup> ]
$I_N$	= värmeeffekt levererad till cirkulationsvattnet	[W/m <sup>2</sup> ]
$K_C$	$= q_H/\theta_C =$ effekt per hålmeter och $\theta_C$ (se figur 0.4 och 0.5)	[W/m·K]
$K_H$	$= q_H/\theta_H =$ effekt per hålmeter och $\theta_H$ (se figur 0.4 och 0.5)	[W/m·K]
$K_{SCU}$	$= I_F/T_A - T_{UTE} =$ yttre K-värdet för solfångaren	[W/m <sup>2</sup> K]
$K_{SCI}$	$= I_N/T_A - T_C =$ inre K-värdet för solfångaren	[W/m <sup>2</sup> K]
$K_{ST}$	= effekt per hålmeter som ger $\theta_C = 1$ K	[W/m·K]
$L_A$	$= L_{ST}/A_{SC} =$ ledningsbanelängd per m <sup>2</sup> solfångare	[1/m]
$L_{ST}$	= total ledningsbanelängd	[m]
$P_{LE}$	= Marklagrets läckageeffekt	[kW]
$P_{SC}$	= Solfångarens effekt (veckomedelvärde)	[kW]
$P_{US}$	= Till huset levererad värmeeffekt	[kW]
$Q_{INV}$	$= \theta_M \cdot Q_{US}/\theta_{ST} =$ Investeringsladdning	[kWh]
$Q_{LE}$	$= \int P_{LE} \cdot dt =$ Marklagrets läckage under ett år	[kWh]
$Q_{SC}$	$= \int P_{SC} \cdot dt = Q_{US} + Q_{LE} =$ Av solfångaren insamlad energi under ett år	[kWh]
$Q_{ST}$	= Den under ett halvår lagrade energin (se Figur 0.1)	[kWh]

$Q_{UP}$	= Den delen av $Q_{US}$ som tas från lagret	[kWh]
$Q_{US}$	= $\int P_{US} \cdot dt$ = Till huset levererad energi på ett år	[kWh]
$q_H$	= $\pi \cdot D_H \cdot \theta \cdot \alpha_w =$ momentan effekt per hålmeter (se Figur 0.4 och 0.5)	[W/m]
$R_A$	= radien för A-zonen i ML	[m]
$R_B$	= radien för B-zonen i ML	[m]
$R_C$	= radien för C-zonen i ML	[m]
$R_H$	= $D_H/2 =$ hålradie	[m]
$R_P$	= $\sqrt{A_H/\pi} =$ participeringsradie (= radie för cirkel som har yta = $A_H$ )	[m]
$R_{ST}$	= ett sfäriskt marklagers radie	[m]
$r_H$	= $R_H =$ specifik hålradie	-
$r_P$	= $R_P/S =$ specifik participeringsradie	-
$S$	= $\sqrt{a/w} =$ inträngningsdjup för periodisk störning	[m]
$T_A$	= Temperaturen på solfångarens absorptoryta	[°C]
$T_{AR}$	= Luftens årsmedeltemperatur	[°C]
$T_C$	= Medelvärdet mellan $T_{CIN}$ och $T_{CUT}$	[°C]
$T_{CIN}$	= vattnets inloppstemperatur till solfångaren	[°C]
$T_{CMAX}$	= Högsta $T_C$	[°C]
$T_{CMIN}$	= Minsta $T_C$	[°C]
$T_{CSIGN}$	= Signifikant $T_C$ för sommarens solinfångning (se Figur 0.1)	[°C]
$T_{CUT}$	= vattnets utloppstemperatur från solfångaren	[°C]
$T_{GR}$	= Markens årsmedeltemperatur	[°C]
$T_H$	= momentan hålväggtemperatur	[°C]
$T_{HD}$	= Medelvärdet för cirkulationsvattnet i LTVA	[°C]
$T_{HDMAX}$	= Högsta $T_{HD}$	[°C]
$T_{HDMIN}$	= Minsta $T_{HD}$	[°C]

$T_M$	= Marklagrets årsmedeltemperatur	[°C]
$T_{MAX}$	= Marklagrets högsta bulktemperatur	[°C]
$T_{MIN}$	= Marklagrets minsta bulktemperatur	[°C]
$T_N$	= Den "naturliga" temperaturen vid zon C	[°C]
$T_S$	= Skyddszonen C's medeltemperatur	[°C]
$T_{ST}$	= Marklagrets momentana bulktemperatur	[°C]
$T_{UTE}$	= Uteluftens momentana temperatur	[°C]
$t$	= löpande tid från start	[s]
$V_{ST}$	= $Q_{ST}/c \cdot \rho \cdot \theta_{ST}$ = Marklagrets volym	[m <sup>3</sup> ]
$Z$	= Markdjup under betongplatta i experimentobjekt 1	[m]
$\bar{A}$	= $t/\tau_A$ = löpande tid uttryckt i antal perioder	-
$\alpha_{SC}$	= absorptionskoefficienten för absorberatorytan	-
$\alpha_W$	= värmeövergångstal mellan cirkulationsvattnet och hålvägg	[W/m <sup>2</sup> ·K]
$\beta$	= solfångarens lutningsvinkel mot horisontalplanet	[°]
$\varepsilon$	= värme/kylfaktor för ev värmepump resp kylaggregat	-
$\eta$	= $I_N/I_0$ = verkningsgraden för solfångaren	-
$\eta_0$	= verkningsgraden för solfångaren vid $\beta = 0$	-
$\theta_C$	= $T_C - T_{ST} = \theta_W + \theta_H$ (se Figur 0.4 och 0.5)	[K]
$\theta_{C_{MAX}}$	= Högsta $\theta_C$	[K]
$\theta_{C_{SC}}$	= $T_{CUT} - T_{CIN}$	[K]
$\theta_H$	= $T_H - T_{ST}$ (se Figur 0.4 och 0.5)	[K]
$\theta_{HD}$	= $T_{HD}$ 's övertemp över rumstemperatur	[K]
$\theta_M$	= $T_M - T_{GR}$	[K]
$\theta_{MIN}$	= $T_{MIN} - T_{GR}$	[K]
$\theta_{ST}$	= $T_{MIN} - T_{MIN}$ = Marklagrets temperatursving under året	[K]
$\theta_W$	= $T_C - T_H$	



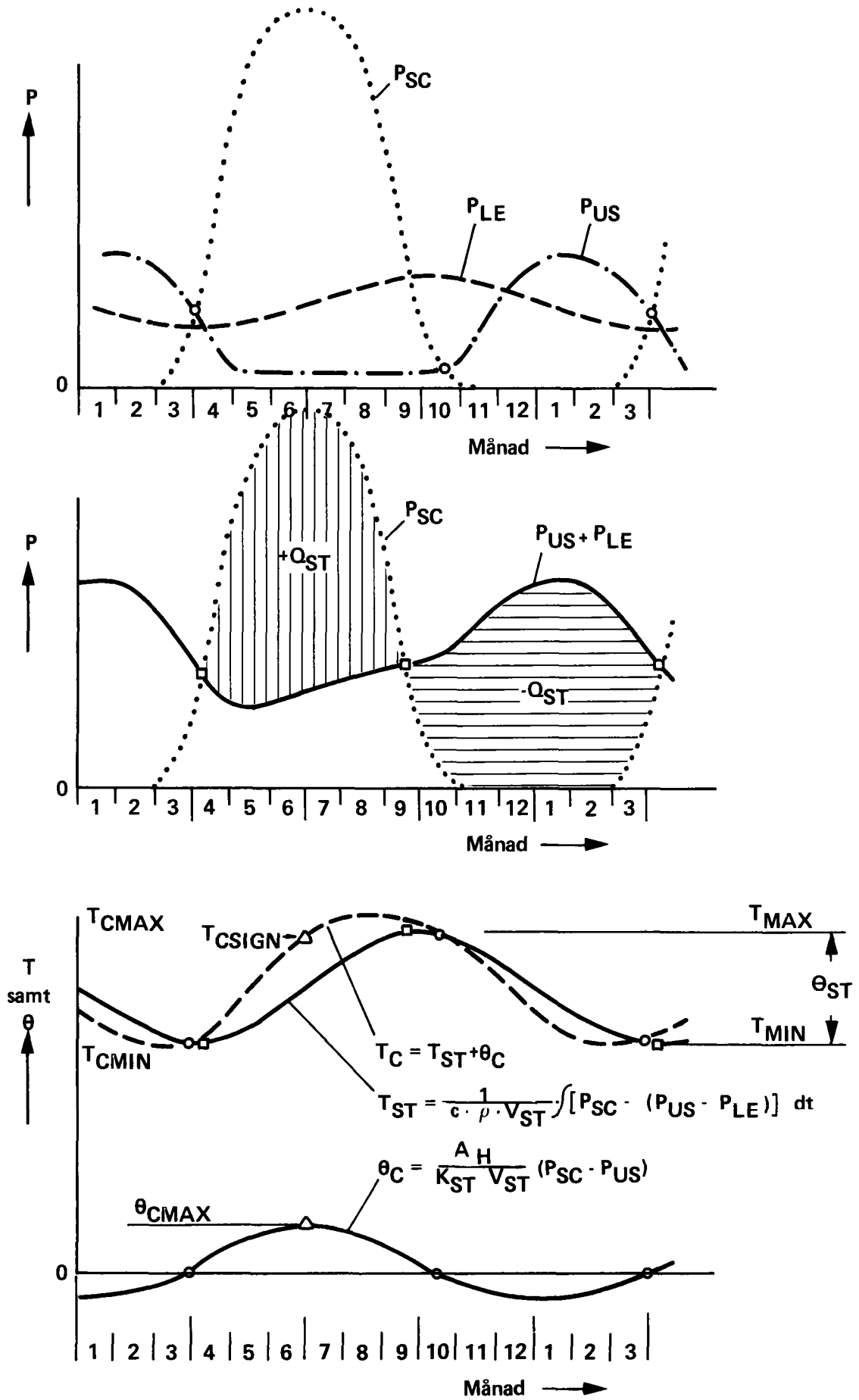
$\vartheta$	$= T_C - T_{UTE}/I_0 =$ Specifik övertemperatur för solfångaren	$[K \cdot m^2/W]$
$\vartheta_0$	$= \vartheta$ vid $\eta = 0 \%$	-
$\vartheta_{100}$	$= \vartheta$ vid $\eta = 100 \%$	-
$\lambda$	$=$ markens värmeledningsförmåga	$[W/m \cdot K]$
$\rho$	$=$ markens densitet	$[kg/m^3]$
$\tau_{SC}$	$=$ transmissionskoefficient för solfångarglas	-
$\tau_A$	$=$ periodtiden för periodisk störning	$[s]$
$\phi_C$	$=$ fasvinkel mellan $q_H$ och $T_C$ vid periodisk exitering enligt Figur 0.5	$[^\circ]$
$\phi_H$	$=$ fasvinkel mellan $q_H$ och $T_H$ vid periodisk exitering enligt Figur 0.5	$[^\circ]$
$\omega$	$= 2 \cdot \pi / \tau_A =$ vinkelfrekvensen för periodisk störning	$[1/s]$

#### Ekonomiska storheter

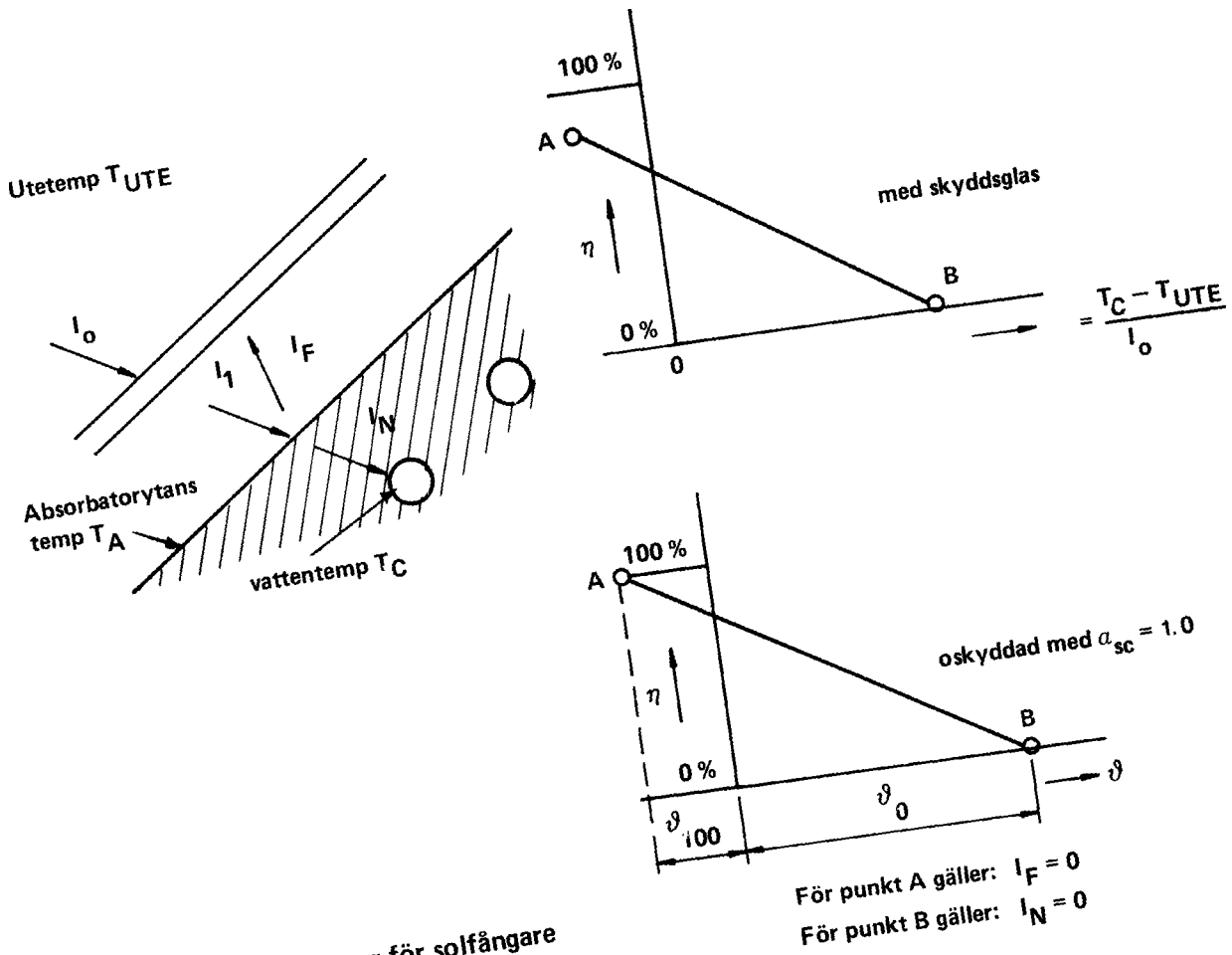
$B_E$	$=$ årlig kostnad för köpt energi i dagens penningvärde	$[kr/\text{år}]$
$B_I$	$=$ kostnad för en enskild investering i ett energisystem	$[kr]$
$B_N$	$=$ totala kostnader för ett energisystem under $n_T$ år	$[kr]$
$B_U$	$=$ årlig underhållskostnad i dagens penningvärde	$[kr/\text{år}]$
$C_H$	$=$ totalkostnaden för en hålmeter inkl infordring	$[kr/m]$
$C_{HD}$	$=$ extra särkostnad för LTVA-funktion utöver konventionella radiatorer	$[kr/m^2]$
$C_{HP}$	$=$ investeringskostnad för värmepump per kW max levererad värmeeffekt	$[kr/kW]$
$C_{SC}$	$=$ särkostnaden för solfångarfunktionen	$[kr/m^2]$
$C_{ST}$	$= C_H/A_H =$ totalkostnad för marklager per $m^3$	$[kr/m^2]$
$F$	$= \left(1 + \frac{r_E}{100}\right) / \left(1 + \frac{r_K}{100}\right)$	-
$G_D$	$=$ uppräkningsfaktorn för energipriset fram till driftstart	-
$G_E$	$=$ nusumefaktorn för köpt energi	-

$G_N$	= nuvärdesfaktorn	-
$G_{NS}$	= nusumme-faktorn	-
$G_O$	= nusumme-faktorn för köpt olja	-
$J$	= $100 \cdot p_N / p_{NO}$ = kostnadsjämförelsetal	[%]
$k_E$	= $100 \cdot B_E / Q_{US}$ = specifik kostnad för köpt energi	[öre/kWh/år]
$k_I$	= $100 \cdot B_I / Q_{US}$ = specifik investeringskostnad för enskild komponent	[öre/kWh/år]
$k_N$	= $100 \cdot B_N / Q_{US}$ = totala specifika kostnader för ett system	[öre/kWh/år]
$k_U$	= $100 \cdot B_U / Q_{US}$ = specifik kostnad för årligt underhåll	[öre/kWh/år]
$n_D$	= tid från nu till driftstart	[år]
$n_L$	= livslängd för en enskild investering	[år]
$n_T$	= tidsperspektiv för en investeringskalkyl	[år]
$p_A$	= totalt energipris för ett system; annuitetsbetraktat	[öre/kWh]
$p_B$	= totalt energipris för ett system; besparingskostnadsbetraktat	[öre/kWh]
$p_E$	= köpt energis del av energipriser; nuvärdesbetraktat	[öre/kWh]
$p_I$	= investeringsdel av energipriset; nuvärdesbetraktat	[öre/kWh]
$p_N$	= totalt energipris för ett system; nuvärdesbetraktat	[öre/kWh]
$p_{NO}$	= totalt energipris för ett oljeeldat system; nuvärdesbetraktat	[öre/kWh]
$p_U$	= underhållsdel av energipriset; nuvärdesbetraktat	[öre/kWh]
$r_E$	= $r_{EV} - r_{INF}$ = årlig realenergiprisökning	[%]
$r_{EV}$	= verklig årlig energiprisökning	[%]
$r_{INF}$	= årlig inflation	[%]

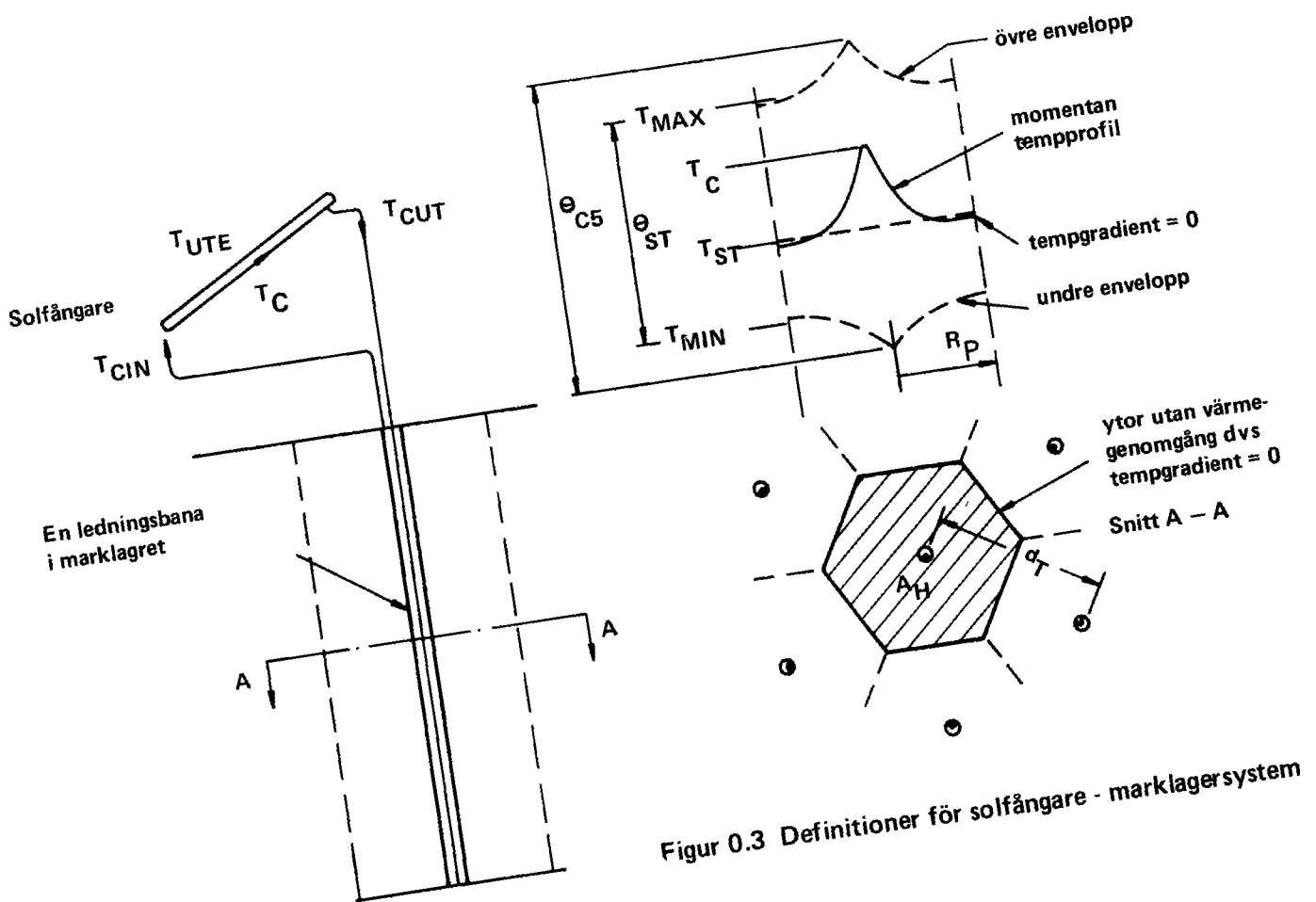
$r_K$	$= r_{KV} - r_{INF} =$ realkalkylränta	[%]
$r_{KV}$	$=$ verklig kalkylränta	[%]
$r_O$	$=$ årlig realenergiprisökning för olja	[%]
$r_{\Delta}$	$= r_O - r_K =$ årlig nettooljeprisökning	[%]



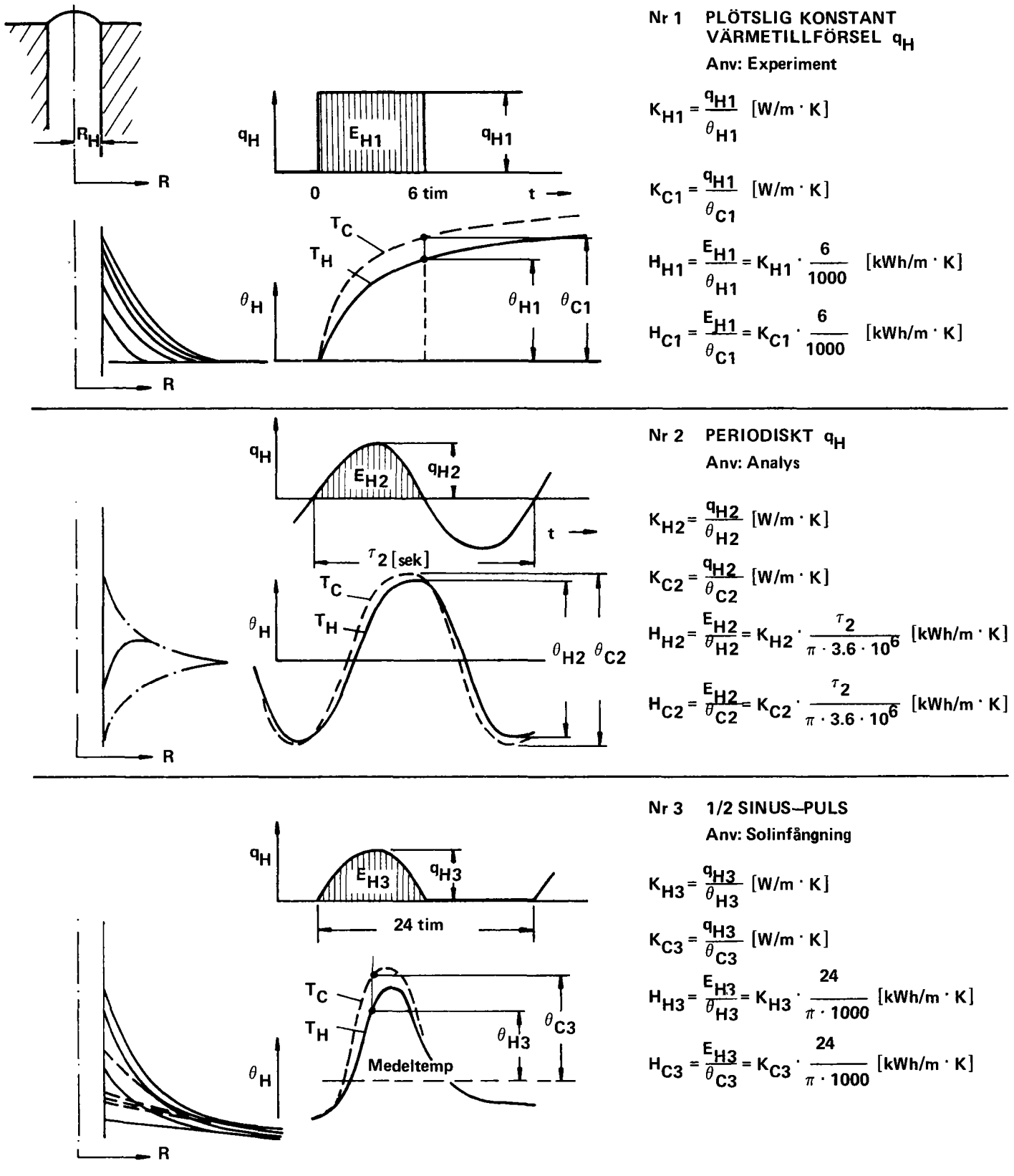
Figur 0.1 Definition av effekter, värmemängden  $Q_{ST}$  och  $T_{C\text{SIGN}}$



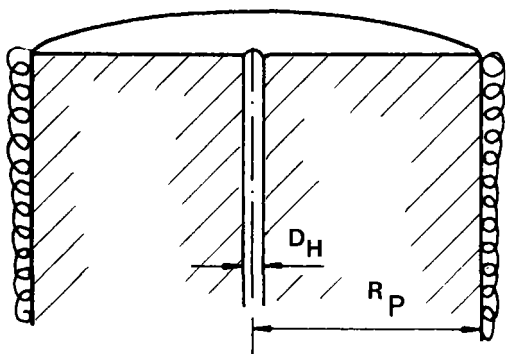
Figur 0.2 Definitioner för solfångare



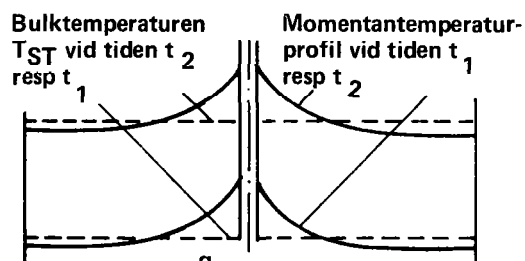
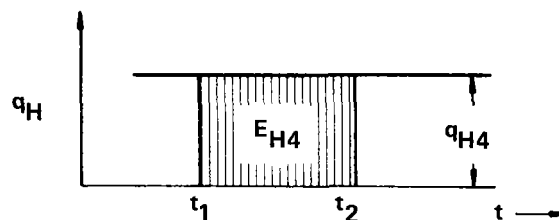
Figur 0.3 Definitioner för solfångare - marklagerssystem



Figur 0.4 Tre alternativa definitioner av EFFEKT- OCH ENERGISVÄLJNINGSFÖRMÅGAN  $K_H$ ,  $K_C$  resp  $H_H$ ,  $H_C$  vid oändlig omgivning kring hålen (högfrekventa förlopp med verkningar endast i hålets närmaste omgivning) D.V.S MARKLAGRETS HÅLEGENSKAPER

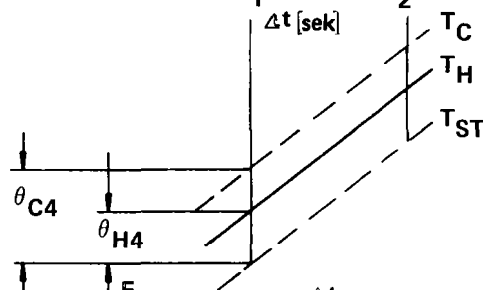


Nr 4 KONSTANT  $q_H$   
Anv: Analys



$$K_{H4} = \frac{q_{H4}}{\theta_{H4}} \quad [\text{W/m} \cdot \text{K}];$$

$$K_{C4} = \frac{q_{H4}}{\theta_{C4}} \quad [\text{W/m} \cdot \text{K}];$$

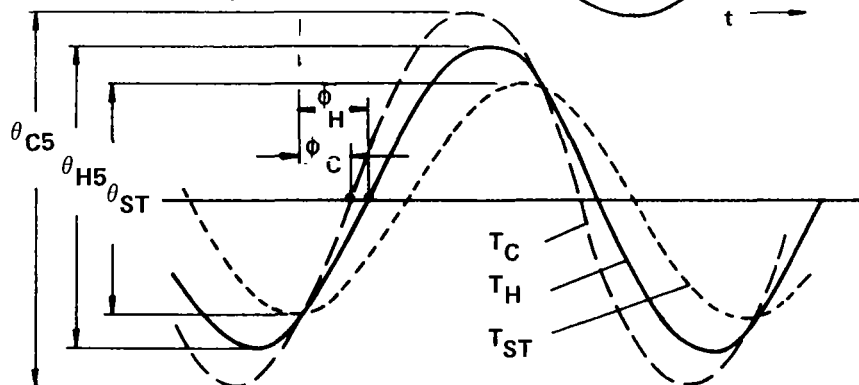
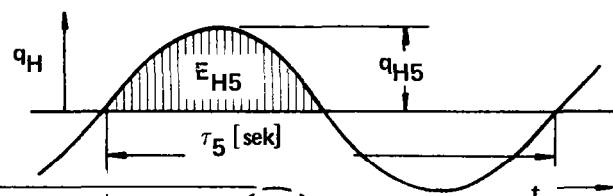
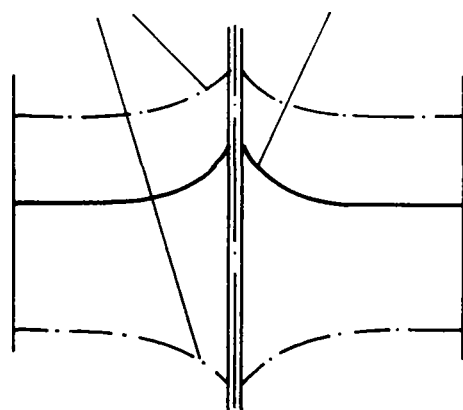


$$H_{H4} = \frac{E_{H4}}{\theta_{H4}} = K_{H4} \cdot \frac{\Delta t}{3.6 \cdot 10^6} \quad [\text{kWh/m} \cdot \text{K}]$$

$$H_{C4} = \frac{E_{H4}}{\theta_{C4}} = K_{C4} \cdot \frac{\Delta t}{3.6 \cdot 10^6} \quad [\text{kWh/m} \cdot \text{K}]$$

Nr 5 PERIODISKT  $q_H$   
Anv: Analys

Temperatur-  
envelopper



$$K_{H5} = \frac{q_{H5}}{\theta_{H5}} \quad [\text{W/m} \cdot \text{K}];$$

$$K_{C5} = \frac{q_{H5}}{\theta_{C5}} \quad [\text{W/m} \cdot \text{K}];$$

$$H_{H5} = \frac{E_{H5}}{\theta_{H5}} = K_{H5} \cdot \frac{\tau_5}{\pi \cdot 3.6 \cdot 10^6} \quad [\text{kWh/m} \cdot \text{K}]$$

$$H_{C5} = \frac{E_{H5}}{\theta_{C5}} = K_{C5} \cdot \frac{\tau_5}{\pi \cdot 3.6 \cdot 10^6} \quad [\text{kWh/m} \cdot \text{K}]$$

Figur 0.5 Två alternativa definitioner av EFFEKT - OCH ENERGISVÄLJNINGSS FÖRMÅGAN  $K_H$ ,  $K_C$  resp  $H_H$ ,  $H_C$  vid ändlig omgivning kring hålen med perfekt isolering på radien  $R_P$  (lågfrekventa förlopp där verkningarna kring hålen ömsesidigt påverkar varandra) D.V.S. MARKLAGRETS BULKEGENSKAPER.

## 1. BAKGRUND

### 1.1 Teknisk idé

Den avgörande faktorn i samband med solenergiuppvärmning av byggnader ligger i möjligheten att kunna lagra energin från sommar till vinter. Genom att lagra energin som sensibelt värme vid låg temperatur - max 35°C - kan lagringen ske genom uppvärmning av befintlig mark under eller vid byggnaden. Läckaget från en sådan värmd markkropp är ej större än att det till rimlig kostnad kan kompenseras med ökad solfångaryta.

Marken kan till låg kostnad göras termiskt åtkomlig genom anläggandet av ett antal hål i vilka vatten - värmebäraren cirkulerar. På grund av den låga temperaturen kan solfångarna göras mycket enkla. Värmen i marken kan nyttiggöras utan temperaturhöjning med hjälp av stora värmeavgivande ytor - lämpligen "varma tak" i byggnaden.

### 1.2 Upphovsman - patent

Idéerna bakom Sunstoremetoden utvecklades av Ove Platell i början av 60-talet. Ett komplett systemkoncept fanns färdigt hösten 1976.

Några av idéerna i Sunstoremetoden finns skyddade i tre beviljade patent. Det första patentet gäller energilagringssättet, det andra värmeavgivningen i byggnaden och det tredje solenergiinfångningen. Patenten är sökta i alla betydande industriländer i världen.

Det första patentet skyddar metoden att medelst anlagda hål i en orörd markkropp åstadkomma värmeutbyte med denna. Temperaturmässigt innebär patentet att Sunstoremetodens lågtemperaturteknik skyddas, men även andra markvärmelager innefattas, i vissa fall med en lagertemperaturer på upp till 70°C. Svenskt patent nr 7710748-0.

Det andra patentet skyddar en speciell utformning av de värmeavgivande ytelementen. Värmen distribueras internt i ytelementen från rörkanaler till ytan med hjälp av en svag luftström. Svenskt patent nr 7613694-4.

Det tredje patentet skyddar några metoder att med hjälp av öppna eller täckta vattenytor (sjöar, dammar) insamla energi till ett markvärmelager. Svenskt patent nr 7803251-3.

### 1.3 Bolagsbildning - ägoförhållanden

Sommaren 1977 bildades Sunroc Energy KB (sedermera SUNSTORE KB) för vidareutveckling av projektet. Delägare i bolaget var Ove Platell genom Utvecklings AB Platonik (15 %), Innovation Thomas Nilsson AB (15 %), Euroc (35 %) samt Kema Nord (sedermera KemaNobel) (35 %).



Verksamheten drevs i denna form fram till sommaren 1980, då Studsvik Energiteknik AB övertog Eurocs och KemaNobels andelar. I denna form har verksamheten drivits sedan dess.

#### 1.4 Finansiering

Ett utvecklingsprogram utarbetades hösten 1977. Medel till verksamheten har i flera etapper sökts hos och beviljats av BFR och STU, se (34). Av Tabell 1.1 framgår hur finansieringen har fördelats per den 1980-07-02:

Tabell 1.1

<u>Finansiär</u>	<u>Belopp (kr)</u>
BFR	3 608 000:-
STU	550 000:-
<u>Euroc/KemaNobel</u>	<u>4 210 000:-</u>
Summa	8 368 000:-

#### 1.5 Arbetsformer

Arbetet har varit strukturerat i FoU och demonstration/experiment i en fullskaleanläggning.

FoU-verksamheten har omfattat kunskapsuppbyggnad innebärande systemanalys, kartläggning av Sunstoremetodens tekniska och ekonomiska potential samt studier av olika tillämpningsområden. Vidare har arbete nedlagts på att lösa kritiska problemområden, specifika för Sunstoremetoden.

FoU-verksamheten har varit uppdelad i delprojekt: System (LTST), Solfångare (LTSF), Marklager (LTML) och Värmeavgivare (LTVA). Varje delprojekt har haft en delprojektledare.

Demonstration/experiment har inneburit installation av ett Sunstore energisystem i prototyputförande i en enfamiljsvilla i Sigtuna.

#### 1.6 Resurser

Verksamheten har bedrivits på konsultbas. Det innebär att lämpliga resurser/personer har engagerats i projektet på längre eller kortare tid, samt att dessa har kommit från statliga institutioner, privat industri samt "internt" från Sunstores moderbolag. Sunstore KB har ej haft egen anställd personal, med undantag för VD:n under ett kort skede. Några konsulter har varit engagerade i sådan utsträckning att det har inneburit heltidsengagemang i projektet.

Nedan följer en uppställning av engagerade personer och företag med angivande av insatsområde i projektet. Beträffande referensgruppen, se Kapitel 1.7.

	PERSON	INSATSOMRÅDE
<u>Institutioner</u>		
Matematisk Fysik LTH	Johan Cleasson Göran Hellström	Analys värmetransport marklager
Inst för geologi, CTH	K Gösta Eriksson Thomas Rihm	Analys och mätning marklager
Termisk Energitek- nologi, KTH	Olof Söderberg Kjell Henriksson	Analys värmeavgivare
<u>Konsulter</u>		
Solartex HB	Hans Wikström	System, Mätning experimenthus
Industrimekanik AB	Reidar Lindström	Matematisk simulering marklager & solfångare
Arlanda VVS- konstruktion	Rolf Nilsson	Konstruktion energi- anläggning experiment- hus
Nitro Consult AB	Conny Sjöberg Martin Forhaug	Marklager
Euroc Development AB	Ivar Pettersson Per Olof Mattsson	Solfångare LTVA
<u>Entreprenörer</u>		
Stabilator AB	Leif Adding Bo Sjöberg	Anläggning av mark- lager i experiment- hus
Arlanda Rör AB	Sven-Olof Jansson	Anläggning av VVS- systemet i experimenthus
<u>Ägarresurser</u>		
Utvecklings AB Platonik	Ove Platell	FoU-chef Sunstore
Innovation Thomas Nilsson AB	Thomas Nilsson	Koordinering
Euroc	Folke Lilliehöök Uno Uudelepp	Projektledare VD Sunroc
KemaNobel	Leif Carlsson	Byggledare
Studsvik Energi- teknik AB	Lars Åke Nöjd	Projektledare Sunstore

### 1.7 Referensgrupper

Som ett allmänt rådgivande organ för hela verksamheten bildades under hösten 1978 i samråd med BFR en referensgrupp med följande sammansättning:

Prof Bo Adamsson, Byggnadskonstruktionslära, LTH  
 Prof K Gösta Eriksson, Geologi, CTH  
 Övering Jan Holmberg, Hugo Theorells Ingenjörbyrå AB (ordf)  
 Ing Ove Platell, upphovsman  
 Avd dir Stefan Sandesten, Byggnadsstyrelsen  
 Civ ing Björn Svedemar, STU (senare ersatt av Leif Andersson, STU)  
 Prof Olof Söderberg, Termisk energiteknologi, KTH  
 VD resp projektledare för SUNSTORE KB

Referensgruppen har haft 7 protokollförda möten sedan projektstart.

I rådgivande syfte har för varje delprojekt tillsatts ett projektråd. Detta har fungerat huvudsakligen i delprojektens planerings- och inledningsskede. Projektrådsverksamheten upphörde under 1979. Förutom projektledare och experter från SUNSTOREs delägare har följande personer engagerats:

Övering Jan Holmberg, Hugo Theorells Ingenjörbyrå AB (LTST)  
 Tekn dr Mats Persson, ENERGO Energi- och VVS-konsulter AB (LTST)  
 Prof K Gösta Eriksson, Geologi, CTH (LTML)  
 Prof Bo Adamsson, Byggnadskonstruktionslära LTH (LTVA)  
 Prof Olof Söderberg, Teknisk Energiteknologi, KTH (LTVA)

### 1.8 Delrapportering

Två delrapporter har tidigare utarbetats. Den första behandlar tiden 1977-07-01 till 1978-12-13 och den andra tiden 1979-01-01 till 1979-11-30.

Båda rapporternas innehåll har redigerats om och ingår i denna slutrapport, som omfattar tiden 1977-07-01 till 1981-01-31.

## 2. SUNSTORE I DEN TOTALA SVENSKA ENERGIFÖRSÖRJNINGEN

### 2.1 Förutsättningarna för Sveriges energiförsörjning i allmänhet

---

Det är av utomordentligt stort intresse att minska Sveriges energiimport. Vidare är det angeläget att skapa energisystem med liten sårbarhet och goda miljöegenskaper. Ur långsiktig samhällsrelig synpunkt är det dessutom angeläget att skapa bestående lösningar på vår energiförsörjning. För att kunna angripa denna problematik måste man ingående analysera Sveriges nuvarande energisituation. Nedan skall behandlas förutsättningarna för en omstrukturering av Sveriges energiförsörjning, sådan att ovannämnda mycket angelägna önskemål kan tillfredsställas.

#### 2.1.1 Sveriges nuvarande energianvändning

Under 1978 var Sveriges energianvändning ca 400 TWh varav ca 80 TWh var el. Fördelningen av denna användning på de tre samhällssektorerna industri, samfärdsel och bostäder med handel och service framgår av Figur 2.1.

Fördelningen av den totala energianvändningen på olika energislag framgår av Figur 2.2. Figuren visar att vi i Sverige till en helt dominerande del är beroende av den importerade oljan. Det borde alltså vara ytterst angeläget att så fort som möjligt försöka få fram energisystem som kan ersätta de som nu är beroende av olja.

#### 2.1.2 Förbrukarkategorier

Inför framtagandet av oljeersättande energisystem är det viktigt att klarlägga vilka krav på energislag som förbrukaren ställer. Det är därvid naturligt att dela upp förbrukarna i fyra kategorier. Av Figur 2.3 framgår Sveriges energiförsörjning utgående från olika förbrukarkategoriernas krav på energikvalitet.

Förbrukarkategori 1 utgör de användare som apparatmässigt inte kan tillgodose sitt energibehov på annat sätt än med el. Det är en relativt liten del (ca 60 TWh) av Sveriges energiförbrukning som är att hänföra till denna kategori. Elenergi är nödvändig för belysning, drift av elmotorer, hushållsmaskiner, elutrustning, vissa processer inom industri, etc. Denna kategori utgörs praktiskt taget uteslutande av stationära användare.

Förbrukarkategori 2 utgörs av mobil tillämpning, där energin i lagrad form måste medföras. Idag används ett drivsystem som förutsätter en energitillförsel i form av flytande bränsle. Med ett flytande bränsle förstås kemiskt bunden energi som är i flytande form vid atmosfärstryck och normala utetemperaturer. Ett flytande bränsles förvaring

kräver således ej trycktåligt kärl eller apparatisering för att hålla speciella temperaturer på bränslet. Ett flytande bränsle behöver inte nödvändigtvis vara en petroleumprodukt utan kan även vara ett syntetiskt framtaget bränsle såsom metanol o d.

De flytande bränslena intar en särställning genom sin höga energitäthet, att de enkelt kan hanteras, lagras, regleras, etc - allt egenskaper som gör dem till absolut nödvändiga för de värmemotorer som driver våra transporter på land, till sjöss och i luften. Undantag utgör dock spårbundna transporter, som ju kan förses med el från fast installation.

Förbrukarkategori 3 utgörs av användare som kräver värme vid hög temperatur från ca 1 400°C ner till ca 45°C. Användare i denna kategori är exempelvis processvärme inom industrin för smältning, kemiska processer, ångproduktion, värmebehandling, kokning och torkning. Idag tillgodoses denna energi med olja, el, ved och kol i enlighet med Figur 2.3.

Förbrukarkategori 4 utgörs av användare som kan tillgodose sitt energibehov i form av värme som i princip ej behöver ha högre temperatur än 45°C. Det gäller energibehov för varmvatten och för uppvärmning av byggnader. Med speciell värmeavgivningsteknik (Sunstores lågtemperaturteknik) kan dessa energibehov tillgodoses med värme som inte överstiger 45°C. Det framgår av Figur 2.3 att en mycket stor del av Sveriges energiförbrukning är av denna kategori. Idag tillgodoses detta behov med el och olja, dvs med resurser som är nödvändiga för kategori 1 och 2, men som för kategori 4 är i hög grad överkvalificerade.

### 2.1.3 Omvandlingsprocesser för olika energiformer

För att från en given ursprunglig energiform åstadkomma den energiform som de olika förbrukarkategorierna kräver, kan ett stort antal energiomvandlingsprocesser tänkas. Några av dessa framgår i Tabell 2.1 där omvandlingsverkningsgraden anges.

Primär energiform / Förbrukarkategori	Vattenkraft	Flytande bränsle	Fast bränsle	Kärnkraft	Solenergi
1 (EL)	100	30 via värmemotor	30 via värmemotor	30 via värmemotor	10 via solcell
2 (Flytande bränsle)	-	100	60	-	(20)
3 (Högtempvärme)	100	100	100	30 (via el)	30
4 (Lågtempvärme)	100 (250 m.VP)	100 (140 m. motordriv. VP)	100 (140 m. motordriv. VP)	100 (Secure) (90 med El via VP)	60

#### 2.1.4 Lagringsförmåga hos olika energiformer

En energiform är värdefullare desto bättre den är lagringsbar och desto lättare det går att göra stora effektuttag från denna lagringsform. Detta gäller både i mobila applikationer och i sådana sammanhang där energin produceras vid annan tid än då den konsumeras. Möjligheterna att utnyttja de inhemska energiformerna beror helt på lagringsförmågan hos dessa energiformer.

Kemiskt bunden energi i form av flytande eller fast bränsle är obegränsat lagringsbar. Med andra ord är de ypperliga i lagringsavseende. Som förut nämnts gäller detta särskilt de flytande bränslena som med sin höga energitäthet och goda reglerbarhet är absolut nödvändiga för mobil användning.

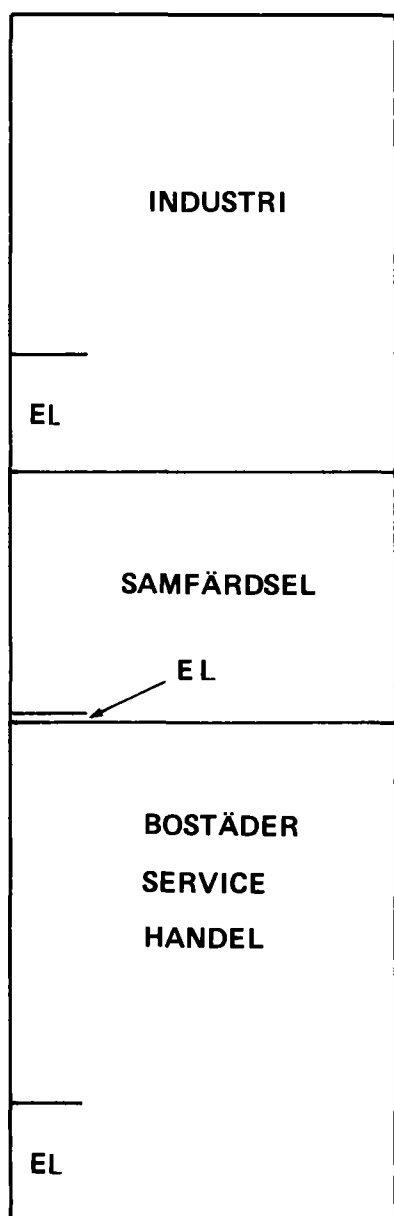
El kan praktiskt taget inte alls lagras utan måste konsumeras i exakt samma takt som den produceras. "Lagring" av el kan med dagens teknik bara ske med hjälp av en viss del av vattenkraften där lagringen utgörs av vattenmagasinet.

Lagra lågtemperaturvärme har hitintills varit svårt och framförallt mycket oekonomiskt. Sunstoremetoden med dess marklager anvisar en ekonomisk lösning på detta problem.

### 2.1.5 Utrymmesbehov för produktion av primärenergi

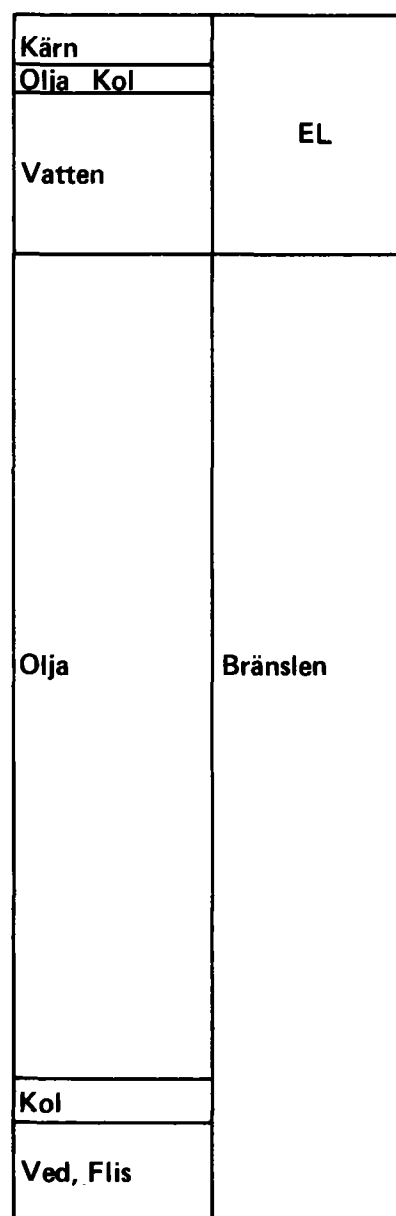
De olika inhemska och förnyelsebara energiresurserna har mycket olika krav på yta för produktion av en viss mängd energi. I Tabell 2.2 är den ungefärliga energimängden per m<sup>2</sup> och år angiven för några produktionsprocesser.

Tabell 2.2			
Utvinningsbara antal kWh per ianspråktagen m <sup>2</sup> och år för olika produktionsprocesser			
Produktionsprocess	kWh per ianspråktagen m <sup>2</sup> och år	Producerad energiform	Slag av ianspråktagen yta
a) Lågtemperatursolfångare	400	25 - 35°C-värme	Tak och fasadytor
b) Högtemperatursolfångare	300	70 - 90°C-värme	Solfångarytor
c) Tänkt process för framställning av flytande kolvätebränsle ur luftens CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O och solenergi (direkt eller via väteproduktion)	200	Flytande bränsle	Solfångaryta
d) Solceller	100	El	Solcellsyta
e) Biomassa energiskog	10	Fast bränsle	Åker och skogsmark
f) Syntetiskt flytande bränsle ur biomassa	5	Flytande bränsle	Åker och skogsmark
g) Vindkraft	Låg	El	Havs och kustmark
h) Vågkraft	Låg	El	Havsstränder



**FIG 2.1**  
Sveriges energianvändning år 1978  
fördelade på olika samhällssektorer

Import



**FIG. 2.2**  
Sveriges energianvändning år 1978  
fördelade efter ursprungligt energislåg



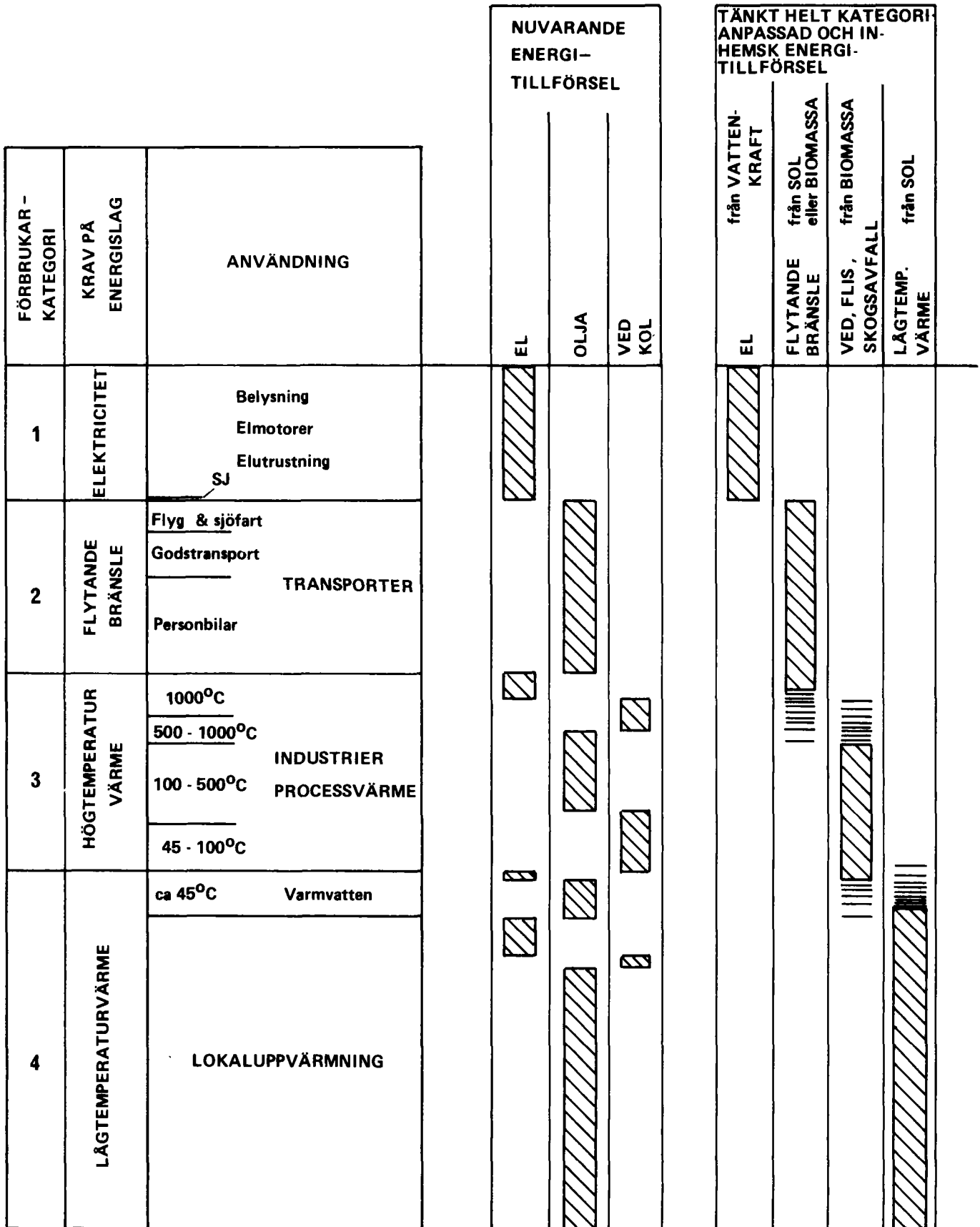


FIG. 2.3 Struktur hos Sveriges energiförsörjning utgående från olika förbrukarkategoriernas krav på energikvalitet.

### 2.1.6 Eliminering av Sveriges oljeberoende

Mycket stora svårigheter är att vänta när det gäller tillförseln av den importerade oljan. En global knapphet kommer troligen att uppstå de närmaste årtiondena samtidigt som den politiska instabiliteten i de viktigaste oljeproducerande länderna kan resultera i plötsliga försörjningssvårigheter eller drastiska prishöjningar.

Det är därför naturligt och nödvändigt att i första hand ta fram nya energiförsörjningssystem som tar sikte på att eliminera oljeberoendet. Att eliminera oljeanvändningen kommer med all sannolikhet att bli nödvändigt även av andra skäl än de ovan nämnda, exempelvis att förbränningen ger utsläpp till atmosfären av koldioxid som inte går in i ett kretslopp och därför drastiskt kan ändra jordens klimat ("koldioxiddöden").

Det kommer således att bli nödvändigt med en omfattande omstrukturering av våra energiförsörjningssystem och dessutom måste med största sannolikhet denna omstrukturering genomföras på mycket kort tid (möjligen av storleksordningen 10 år). Denna förändring innebär ett mycket genomgripande och kostsamt företag, både för den enskilde och för nationen.

Mycket talar för att detta blir en uppgift med en omfattning som tidigare inte haft sitt motstycke i Sverige. Likaså är det mycket som talar för att Sveriges ekonomi skulle klara av en sådan omstrukturering bara en gång.

Detta faktum gör att det är mycket väsentligt att nya energisystem tar sikte på en långsiktig och bestående lösning på energiproblemet.

För Sveriges del måste bestående lösningar av energiproblemet vara baserade på en inhemsk och förnyelsebar resurs. För en bestående lösning bör man dessutom kräva att den producerar en energiform som har lagringsmöjlighet (se kapitel 2.1.4) och ställer små krav på ytbehov för produktionsprocessen (se kapitel 2.1.5 och tabell 2.2). Vidare bör de i energiprocesserna eventuellt deltagande substanserna ingå i ett kretslopp så att inte förskjutningar uppstår på lång sikt i fråga om vissa substansers koncentration (exempelvis ökning av luftens koldioxidhalt).

Den enda primära energikälla som direkt uppfyller det senare kravet är solen och dess sekundärenergi i form av vatten-, vind- och vågkraft samt biomassa. Även kärnkraften borde dock kunna motsvara kraven på en bestående lösning om problem såsom brytning av våra inhemska urantillgångar och avfallsdeponering får sin lösning. Då emellertid alla tre linjerna i kärnkraftsomröstningen 1980 förutsatte en avveckling av kärnkraften omkring

år 2000 har här antagits att kärnkraften ej utgör någon bestående lösning.

Ett allt för vidlyftigt utnyttjande av kärnkraften och fossila bränslen kan dessutom på lång sikt möjligen förändra klimatet då ju de - till skillnad från solenergi-utnyttjande system - innebär en ökning av energimängden i begränsade ekologiska system som sedan mycket lång tid tillbaka har etablerat en värmebalans ("heat pollution").

All användning av solenergi däremot utgör ju ingenting annat än ett tillfälligt lån från naturen eller att man slussar en del av naturens energiflöde som en nytthet genom sina egna system.

Förutsatt att tekniskt och ekonomiskt rimliga lösningar kan komma fram kan ett scenario över Sveriges olje-oberoende och kategorianpassade energiförsörjning tänkas bli enligt högra delen av figur 2.3.

I scenariet framställs nödvändig el av i första hand vattenkraft. År 1978 var förbrukningen hos kategori 1 (d v s de förbrukare som nödvändigtvis måste ha el) ca 60 TWh samtidigt som leveransen av el från vattenkraften var 67 TWh. Dvs för kategori 1 är vi redan självförsörjande och oljeberoende.

Eliminering av oljeberoendet för transporter - kategori 2 - kan endast göras genom att metoder utvecklas för inhemsk framställning av flytande bränsle ur förnybara energikällor. Genom omvandling av biomassa kan redan idag både metanol och etanol framställas.

Emellertid torde den mest intressanta (för närvarande hypotetiska), bestående lösningen för produktion av flytande bränsle vara framställning av metanol eller annan alkohol direkt ur luftens koldioxid med hjälp av vatten och solenergi. Vid förbränning bildas ju då endast koldioxid och vatten som på nytt kan gå in i ett evigt kretslopp sett både ur energi och substanssynpunkt.

För kategori 3 bör oljeberoendet i första hand elimineras med inhemska fasta bränslen i form av biomassa. I andra hand kan inhemskt framställt flytande bränsle användas som ju dock egentligen bör prioriteras för kategori 2.

För kategori 2 och 3 förefaller de tekniska och framför allt de ekonomiska möjligheterna att motsvara scenariet i figur 2.3 tyvärr vara långt borta. Att däremot använda nuvarande kärnkraftsproducerade elöverskott till framställning av lagringsbara energiformer (flytande bränslen) skulle kunna vara en god början till den teknik som förutsätts i figur 2.3 för kategori 2 och 3. Detta skulle innebära att kärnkraften utnyttjades maximalt. Om parallellt en intensiv satsning görs på utveckling av processen för framställning av flytande bränsle från solen skulle dessa

processer kunna lagom ta över då de kärnkraftsdrivna processerna eventuellt avvecklas.

För kategori 4 (d v s lokaluppvärmning) är redan idag den bestående lösningen tekniskt möjlig och ekonomiskt lönsam som vi skall se i kommande kapitel.

## 2.2 Framtida lokaluppvärmningssystem

### 2.2.1 Krav på ett lokaluppvärmningssystem

Energi till uppvärmning av lokaler berör det mest grundläggande behovet för samhällets funktion. Utan uppvärmda bostäder, arbetsplatser, lokaler för service och handel finns givetvis inga förutsättningar för mänsklig odling i vårt land. Då dessutom den energimängd det här är frågan om (förbrukarkategori 4) är ca 40 % av landets totala energiförbrukning (se Kapitel 2.1) bör alldeles speciell omsorg läggas ner på kravsättning av de bestående system som skall ersätta nuvarande praktiskt taget helt oljeförsörjda lokaluppvärmningssystem.

Förutom hänsyntagande till synpunkterna i Kapitel 2.1 såsom bl a lagringsförmåga och utrymmesbehov bör det bestående systemet för lokaluppvärmning uppfylla följande tekniskt-fysikaliska och samhällseliga krav:

- Krav 1      Använda sig av inhemska primärresurser
- Krav 2      Använda sig av förnyelsebara primärresurser
- Krav 3      Ha låg sårbarhet genom att hela energisystemet geografiskt inte har för stor utsträckning
- Krav 4      Ha låg sårbarhet genom att energisystemet inte är beroende av andra system för sin energiförsörjning
- Krav 5      Innebära rätt prioritering av energikvalitet
- Krav 6      Inga miljöproblem

Krav 1 och 2 är självklara, men krav 3 behöver kanske ett förtydligande. I ett land som Sverige med möjlighet till stränga vintrar och numera ett byggnadsbestånd som till stor del består av lätta konstruktioner med liten värmeackumulerande funktion bör man ställa mycket höga krav på låg sårbarhet för den samhällsviktiga värmeförsörjningen. Om i ett uppvärmningssystem ingår ett omfattande oskyddat distributionssystem kommer ju systemet att lätt kunna slås ut vid varje avsiktligt eller oavsiktligt avbrott på distributionssystemet. Kan inte detta avbrott vid sträng vinterkyla åtgärdas inom ett dygn kan det t o m i fredstid bli ytterst ödesdigert för berörda förbrukare och ett hårt slag mot samhällsfunktionerna. Jämför Skåne vintern 79/80, eltillförseln i Härnösand 1973 och brott på gasledning till Norilsk i Sovjetunionen 1979.

Exempel på system som inte uppfyller krav 3 är praktiskt taget alla elsystem, i synnerhet vattenkraften, och i de flesta fall användning av biomassa eftersom produktionen av biomassa och användningen för det mesta är lång ifrån varandra och kräver omfattande distributionssystem som ger sårbarhet.

Krav 4 bildar tillsammans med krav 3 villkoret för det autonoma energisystemet som givetvis är det yttersta målet. Exempel på system som inte uppfyller krav 4 är spillvärmeanläggningar där ju en mycket besvärande beroendeställning kan uppstå. Det innebär exempelvis ett beroende av att en industri som levererat spillvärme alltid fungerar och kommer att bestå den planerade livstiden.

System som behöver en marginell (ca 1 %) service-energi för sin funktion anses uppfylla krav 4. Exempel på sådan energi är energi till eldrivna cirkulationspumpar etc. På sikt bör även denna service-energi genereras inom systemet för att göra det helt energiautonomt.

Vind- och vågenergin uppfyller inte krav 3 p g a att båda dessa alltid genereras på ett stokastiskt sätt i tiden och som inte sammanfaller med behovet. Detta innebär att den levererade elenergin måste buffras (lagras) på något sätt om den skall ha någon betydelse för lokaluppvärmningsbehovet. Eftersom det inte finns någon tekniskt rimlig lagringsmetod för elenergi kan vind- och vågenergi endast ha någon mening då den kan inkopplas på ett eldistributions-system där det någonstans finns reglerbar elgenerering. Sådan elgenerering finns egentligen bara i en viss del av vattenkraften där man vid elleverans från vind- och vågkraftverk spar vatten i vattenmagasinen.

Den stokastiskt genererade elenergin från vind- och vågkraft skulle emellertid kunna lagras i form av värme i ett Sunstorelager varvid möjligen dessa system skulle kunna motsvara kraven på ett bestående lokaluppvärmningssystem. Därvid kan man dock inte uppfylla kravet på rätt prioritering av energikvalitet och det kan förmodligen ifrågasättas om dessa system kan uppfylla kraven på osårbarhet och miljö (krav 3 och 6).

Av Tabell 2.4 framgår olika energisystems möjligheter att uppfylla ovanstående sex krav.

Tabell 2.4						
Olika energisystems möjligheter att uppfylla kraven för ett <u>bestående</u> lokaluppvärmningssystem.						
Energisystem	Uppfyller krav nr					
	1	2	3	4	5	6
Eldning av olja				x		
Eldning av kol				x		
Eldning av gas				x		
Eldning av torv	x			x		
Eldning av biomassa	x	x	x?	x	x?	x?
Vattenkraft el	x	x		x		x
Kärnkraft	x?		x?	x		x?
Eldriven värmepump	x	x		x		x
Motordriven värmepump	x?	x?	x?	x		x?
Vindkraft-producerad el	x	x		x		x?
Vågkraft-producerad el	x	x		x		x
Spillvärme	x	x	x?			x?
Solfångare termisk lagring	x	x	x	x	x	x

### 2.2.2 Bestående lösningar på lokaluppvärmningsproblemet

Systemet som inte uppfyller samtliga 6 krav för ett bestående lokaluppvärmningssystem är definitionsmässigt ett provisorium. Provisorier borde endast accepteras om de kräver små investeringar och verkligen betraktas som provisorier för att akut klara energiförsörjningen i väntan på en bestående lösning. Exempel på sådana provisorier kan vara ombyggnad av oljeeldad panna till ved, torv eller flis.

Andra provisorier är besparings- och verkningsgradshöjande åtgärder som i och för sig kan tyckas lovvärda, men som kan innebära att man bygger sig fast i system som sedan står hindrande i vägen för en bestående lösning. Framförallt borde inte stora investeringar få göras i provisorier så att resurserna för utveckling av bestående energisystem blir beskurna.

Som berördes i kapitlet om energikvaliteter är det väsentligt att energi av högre kvalitet används för det behov där kvaliteten är nödvändig. Således bör det vara en strävan att el och flytande bränsle reserveras för kategori 1 resp 2. Av detta skäl är det exempelvis ej önskvärt ersätta oljeberoende system med system som visserligen reducerar oljeberoendet men introducerar ett el-behov. Sådana system är bland annat alla typer av system som innehåller värmepump eller ofullständiga solenergisystem som måste kompletteras med elvärme.

Oljeberoendet är idag så dominerande i praktiskt taget varje godtyckligt utvalt avsnitt av det svenska samhället att även om man bara skulle ersätta en liten del av detta med el skulle det innebära en mycket stor ökning av elenergibehovet. Även om ersättningen sker med hjälp av värmepump och tillämpningen är sådan att värmepumpen går med hög värmefaktor skulle elproduktionen behöva mångdubblas. Något som gör en sådan utveckling helt utesluten är den effektmässiga aspekten. Varje nivå och led i det under många årtionden uppbyggda eldistributionssystemet är redan nu så ansträngt och ofta nära gränsen för sin kapacitet att allvarliga överbelastningar och strömavbrott allt oftare uppstår speciellt vintertid vid kall väderlek.

Det måste därför vara en strävan att istället reducera elanvändningen för uppvärmning eftersom den innebär så höga effekttoppar under en kort tid på året då den verkliga produktionskostnaden för varje extra kWh är extremt hög och distributionssystemet ligger nära sin maximala effektkapacitet.

Sammanfattningsvis kan sägas att nya system som visserligen eliminerar oljeberoendet men introducerar ett elberoende inte uppfyller kraven för ett bestående uppvärmningssystem. Detta är speciellt uttalat om den ökade elförbrukningen tillkommer på vintern. Lokaluppvärmningssystem som introducerar ökad elanvändning vintertid kommer heller inte att vara tänkbara som provisorier annat än i mycket få isolerade undantagsfall där det ökade eleffektkravet verkligen kan tillgodoses. Under sådana omständigheter kan det å andra sidan i vissa fall vara synnerligen motiverat med värmepump eller t o m direkt elvärme.

Värmemotordriven värmepump utnyttjar primärt bränsle av något slag - ett bränsle som har potential att tillgodose förbrukarkategori 3 och eventuellt 2 till 100 % eller generera el med 30 % verkningsgrad (se Tabell 2.1). En värmemotordriven värmepump utgör även en mycket vidlyftig apparatisering.

Av Tabell 2.4 framgår att det endast är biomassa och solenergisystem som har förutsättningar att tillfredsställa kraven 1 - 6. För att biomassa skall utgöra en bestående lösning krävs emellertid att energikällan ligger nära användningen och att hantering- och miljöproblem har fått en tillfredsställande lösning ur såväl teknisk som ekonomisk synpunkt. Dessa villkor förefaller inte att vara uppfyllda för mer än i en relativt liten marginell sektor av samhället. Exempelvis för personer på landsbygden som har tillgång till skog intill förbrukningsstället och som ej räknar med kostnaden för egen arbetsinsats då det gäller hanteringen. Att använda biomassa till kategori 4-användningen strider även mot krav 5. Med sitt fiberinnehåll och sin redan förädlade substans utgör biomassa



en värdefull råvara till en mängd viktig produktion (exempelvis flytande bränsle), som i första hand biomassa bör prioriteras för och ej eldas upp för det lågkvalitativa lokaluppvärmningsbehovet.

Ett energisystem som använder enbart solenergi (som produceras vid användningen) förefaller således vara det enda system som ur teknisk-fysikalisk- och samhällssynpunkt skulle kunna bli bestående uppvärmningssystem.

Att märka är att en viktig förutsättning för ett bestående solenergisystem är - och detta måste understrykas med skärpa - att det täcker hela årets uppvärmningsbehov med enbart solenergi.

Realistiska lösningar som har teknisk-fysikaliska förutsättningar att uppfylla detta krav på 100 % täckning med solenergi är i princip av tre typer:

- I Den kemiska värmepumpen (OBS! ej den eldrivna eller förbränningsmotordrivna värmepumpen som ju båda behöver högvärdig energi)
- II Högtemperatursolfångare med värmemagasin
- III Sunstoresystemet

För samtliga tre system tillåts att viss marginell serviceenergi för drift av pumpar etc (< 1 %) får vara annat än sol. Målet skall emellertid vara att även denna energi skall vara täckt med solenergi.

De ovan nämnda tre systemen kommer i kapitel 8 att jämföras med varandra ur ekonomisk synpunkt.

### 3. SUNSTOREMETODEN

#### 3.1 Den ursprungliga Sunstoreprincipen

##### 3.1.1 Funktion

I en energianläggning uppbyggd enligt Sunstoreprincipen infångas solenergi med termiska solfångare under sommaren och lagras genom uppvärmning av befintlig mark under eller vid byggnaden. Under uppvärmningssäsongen tas värme från marken och avges i huset med hjälp av stora radiator- ytor exempelvis varma tak och golv. Värmen distribueras med vatten i ett gemensamt hydrauliskt system för sol- fångare, marklager och värmeavgivare.

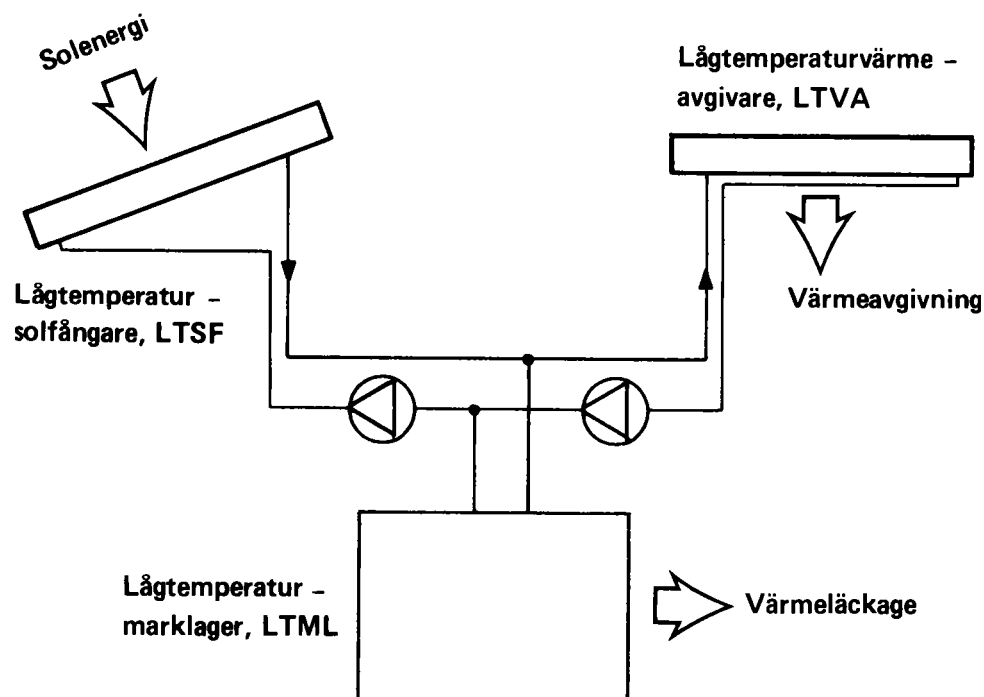


FIG. 3.1 Sunstore Systemets funktionsschema

Karakteristiskt för systemlösningen och gemensamt för de tre grundenheterna är att man arbetar med låg temperatur (LT-filosofin) strax över normal rumtemperatur. Vattentemperaturen varierar under året mellan ca 20 och ca 35°C.

Den låga temperaturen medför:

- Hög effektivitet hos solfångarna
- Måttligt läckage från marklagret
- Behov av stora värmeavgivande radiatorer i huset
- Möjlighet att använda enkla, ej temperaturtåliga material i samtliga komponenter.

### 3.1.2 Lågtemperatursolfångare (LTSF)

Solfångarna arbetar med en maximal temperatur på 35°C på cirkulationsvattnet. De kan därför vara av plan, oskyddad typ och ändå ha hög effektivitet. Effektiviteten påverkas mycket lite av ytans utseende, varför solfångarna kan ges ett tilltalande utseende i harmoni med husets arkitektur. Solfångarna skall konstruktivt utformas så att de integreras med övriga takfunktioner såsom miljötålighet, bärighet o s v. Se Figur 3.2.

Temperaturskillnaden mellan cirkulationsvattnet och solfångarytan skall vara så låg som möjligt, för att yttemperaturen ej skall bli hög. Hög yttemperatur medför försämrad solfångareffektivitet. Den termiska kontakten mellan ytan och vattnet skall således vara mycket god.

En kraftig temperaturuppgång hos vattnet när det passerar solfångaren är också förödande för effektiviteten. Därför skall solfångarna genomströmmas av ett högt vattenflöde, som dessutom måste vara jämnt fördelat över ytan.

De låga temperaturerna tillåter användning av material med måttlig temperaturtålighet.

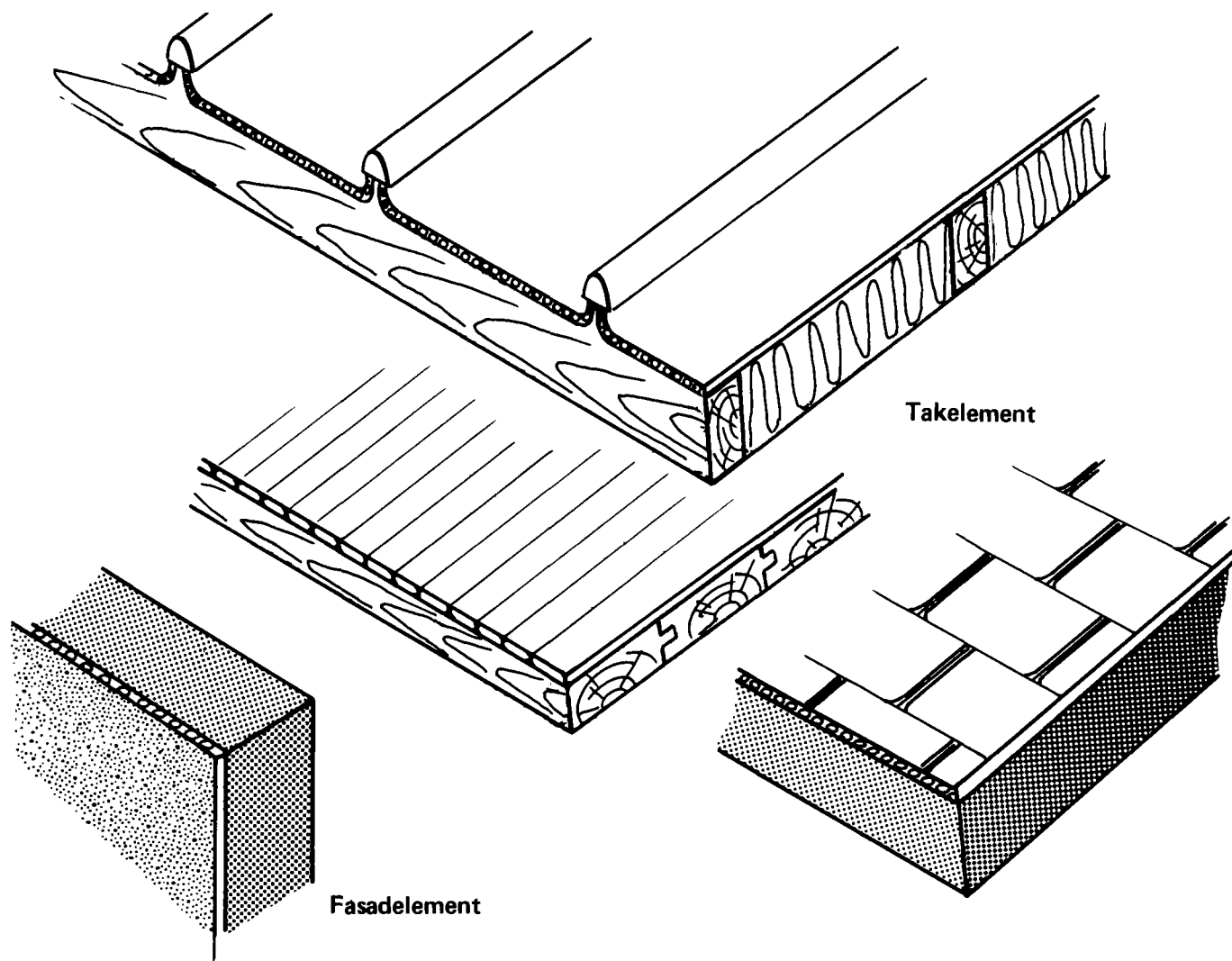


FIG. 3.2 Exempel på tak och fasadelement med integrerad solfångarfunktion

Solfångarna skulle därmed kunna vara tillverkade av plastmaterial såsom många poolsofångare är idag.

### 3.1.3 Lågtemperaturmarklager (LTML)

Värmemagasinet utgörs av den orörda marken under eller i närheten av byggnaden. Marken förses med ett antal ledningsbanor som är i termisk kontakt med markmaterialet. Marken kan utgöras av berg, lera, sand eller annat material som ej har nämnvärd omsättning av grundvatten. Flera byggnader kan ha gemensamt marklager om detta är tekniskt och ekonomiskt fördelaktigt, se Figur 3.3.

Den termiska kontakten med marken kan i berg exempelvis åstadkommas genom borrhning av ett antal vertikala hål, i vilka nedförs rör som gjuts fast i kontakt med hålväggen. I varje rör placeras ett koaxiellt innerrör, i vilket cirkulationsvattnet strömmar ned för att sedan bestryka ytterröret då det strömmar uppåt i ett slutet cirkulationssystem, se Figur 3.4. Andra geometriska arrangemang är tänkbara för att erhålla ledningsbanorna, samtidigt som god termisk kontakt skapas mellan cirkulationsvattnet och omgivande mark.

I figur 3.5 visas två sådana alternativ. I det ena utförandet har hålet försetts med ett rörformat foder som är försett med en diametral mellanvägg. I det andra utförandet har hålet försetts med ett U-rör. I dessa och andra alternativ är den termiska överledningen av värme mellan det upp- respektive nedåtgående vattnet utan någon signifikant betydelse. I lera kan ledningsbanorna åstadkommas genom nedstickning (pålning) i materialet.

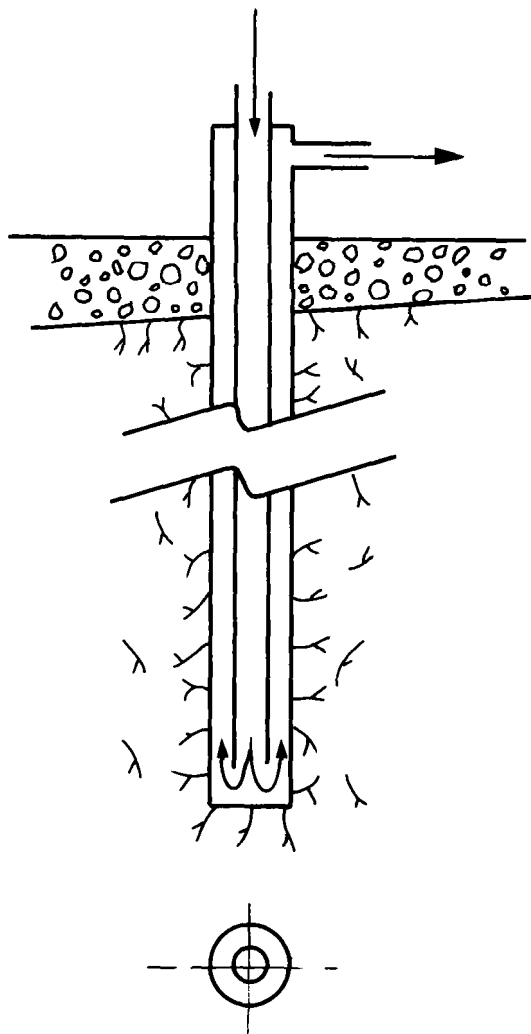
Vid stora marklager i berg är det fördelaktigt att borra hålen från sprängda tunnlar enligt figur 3.3. I detta alternativ lämnas markytan helt orörd.

Markens naturliga temperatur varierar med årstidsväxlingarna ned till ett djup av ca 10 meter. Där nedanför råder platsens årsmedeltemperatur, som i mellansverige är ca 7°C.

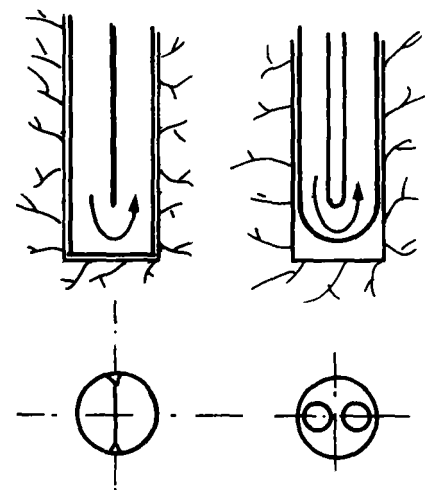
När marken används som ett värmemagasin i ett Sunstoresystem varierar magasinets temperatur ungefärligen mellan 25° och 35°C under året. För att komma upp i detta temperaturområde krävs en initialladdning, "energiinvestering", som höjer temperaturen från 7°C till ca 30°C. Även den omkringliggande markens temperatur kommer att stiga p g a att värme läcker ut till omgivningen. Detta läckage kommer att avtaga och efter några år bli stabiliserat. Man erhåller en temperaturprofil i marken som åskådliggörs enligt Figur 3.6.



Figur 3.3 Sunstore i olika tillämpningar



Figur 3.4 Exempel på hålinfodring



Figur 3.5 Alternativ på hålinfodring

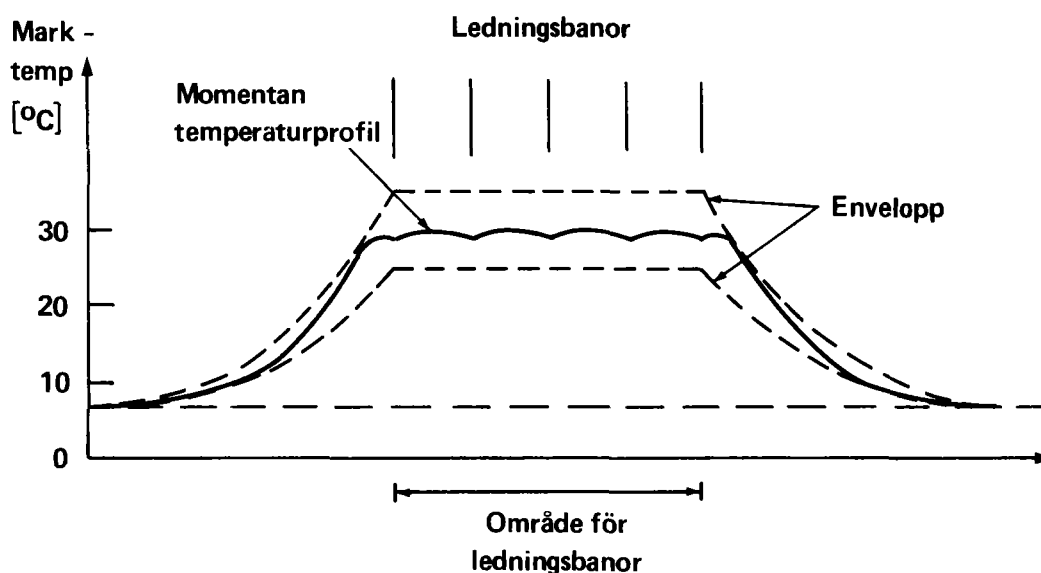


FIG. 3.6 Temperaturprofil genom marklager

Lagringsvolymen skall vara så stor att marken skall kunna lagra den energimängd som under vinterhalvåret åtgår för husuppvärmningen samt dessutom den energimängd som läcker ut till omgivningen under samma tid. Ju större lagret är, desto större blir dess volym i förhållande till begränsningsytan. Detta innebär att läckaget i förhållande till lagringskapaciteten blir mindre då lagret görs större. Det innebär också att det finns en minsta volym där säsongslagring är fysikaliskt möjlig. Denna minsta storlek motsvarar ungefärligen en enfamiljvilla. Suvnstoretekniken kan således tillämpas på praktiskt taget alla systemstorlekar även om det är väldigt nära möjligheternas gräns i den lilla skalan om lagret är förlagt i berg.

Det kan också påpekas att det ej går att lagra energi i ett fåtal hål eller speciellt ett hål. Ett sådant arrangemang kan endast användas som konstanttemperaturkälla/sänka.

Antal hål, håldimension, håldjup och hålmönster bestäms av den energimängd man önskar lagra, vilket markmaterial som är aktuellt, önskad effektupptagningsförmåga och acceptabel pumpeffekt.

#### 3.1.4 Lågtemperaturvärmeavgivare (LTVA)

Vid högsta belastning (vid en utetemperatur av  $-20^{\circ}\text{C}$ ) skall värmeavgivningsanordningen i byggnaden fungera med en vattentemperatur på ca  $25^{\circ}\text{C}$ . Det innebär att stora värmeavgivande ytor måste användas. Om alla rumsytor som

har transmissionsförluster är täckta med radiatorer kan man teoretiskt klara sig med rumsvarmt vatten. I praktiken skall man i ett Sunstoreutförande förse insidan av alla yttertak med integrerade radiatorer, som genomströmmas av vatten. Likaså skall källargolv försees med likartade värmeavgivande rörslingor.

Då det är möjligt att hålla ett hus varmt vintertid med bara några graders övertemperatur på cirkulationsvattnet i en LTVA är det också möjligt att hålla ett hus svalt sommartid med några graders undertemperatur på cirkulationsvattnet. Sådan temperatur finns alltid tillgänglig under ca 5 meters djup i marken. Det enda som behövs är ett borrhål på något avstånd från värmelagret för att tillsammans med LTVA åstadkomma en svalhållningsfunktion motsvarande aircondition.

Ventilationsluften skall endast värmas till rumstemperatur i värmväxlare som får sin energi ur ca 25-gradigt vatten från marklagret.

Den termiska kontakten i LTVA-panelerna mellan de värmeavgivande ytorna och cirkulationsvattnet skall vara mycket god, så att ej onödigt hög vattentemperatur krävs för en tillräcklig värmeavgivning.

De måttliga temperaturerna tillåter användning av exempelvis plast vid tillverkning av radiatorer. Uppbyggnaden kan vara likartad solfångarnas. Dock är yteffekten på en solfångare betydligt högre än på en takradiator, vilket kan påverka detaljdimensionerna. Några utförandeformer visas i Figur 3.7 nedan.

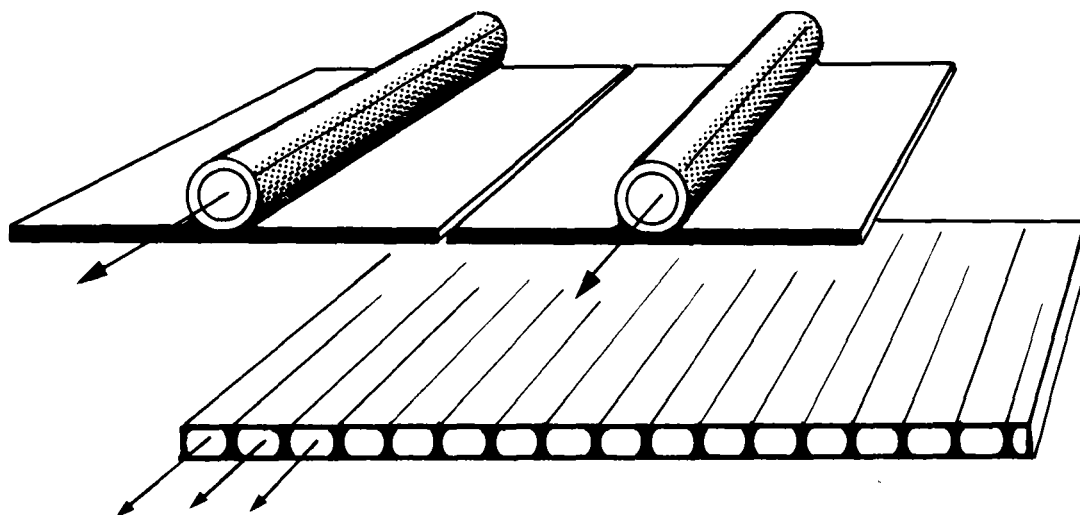


FIG. 3.7 Några utförandeformer av lågtemperaturvärmeavgivare (LTVA)



Om luft används som värmebärare, kan denna ej värmas till mer än någon grad under marklagertemperaturen. Värmen måste då omsättas i luften med endast några få graders temperaturändring, vilket medför att orimligt stora luftflöden måste användas. Värmebatterierna måste då vara utomordentligt effektiva och därmed dyrbara. Dessa skäl utesluter luftburen värme i Sunstoressystemet. Dock utnyttjas den nödvändiga ventilationsluften i en patent-sökt LTVA-konstruktion för fördelning av värmen internt i panelen.

### 3.1.5 Tappvarmvatten

Den egentliga Sunstorefilosofin som ju är avsedd för uppvärmning kan inte direkt ge tappvarmvatten med en temperatur av åtminstone 45°C. Dock kan det kalla vattnet alltid värmas med hjälp av marklagret till ca 25° - 30°C. Den återstående höjningen till 45°C kan ske med glasade solfångare eller annan tillskottsenergi. I stora marklager, gemensamt för ett stort antal hushåll, kan en varmare zon placeras i centrum av detta. Därmed skulle all energi till tappvarmvattnet kunna infångas med solfångare och lagras i marklagret.

## 3.2 Grundläggande prestanda hos Sunstorekomponenter

### 3.2.1 Solfångarprestanda

Beräknad årsinfångning av energi för fyra olika typer av solfångare återges i Figur 3.8. Beroende på vilken klimatmodell man använder sig av och vilken yt- och värmetransmissionsprestanda som man utgår ifrån får man något olika nivå på diagrammet i Figur 3.8. I princip är emellertid värdena illustrerade i Figur 3.8 representativa.

Storheten  $E_{SC}$  (som är den totalt infångade värmeenergin per  $m^2$  och år) är beroende av solfångarkonstruktion och temperaturnivå för systemet eller snarare temperaturnivå på cirkulationsvattnet. Figur 3.8 åskådliggör hur denna temperaturnivå påverkar  $E_{SC}$  för de fyra grundläggande solfångartyperna. Det är mycket markant hur alla solfångartyper får bättre prestanda vid låg temperaturnivå. I synnerhet är det anmärkningsvärt hur den helt oskyddade svarta ytan (d v s solfångare av Sunstoretyp) får en prestanda som till och med är bättre än någon av de andra när temperaturnivån ligger under 25°C. I Sunstoressystemet drar man nytta av dessa fakta. Genom att låta systemet ligga vid storleksordningen 25 - 30°C ges möjlighet att få  $E_{SC} = 400 \rightarrow 500 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$  - paradoxalt nog med hjälp av vilken yta som helst (som inte är blank). Jämför system som ligger vid 60 - 70 - 80°C som bara kan nå  $E_{SC}$  av storleksordningen 100 - 400  $\text{kWh/m}^2 \text{ år}$  och ändå då förutsatt en avancerad solfångare som har högt pris per  $m^2$ .

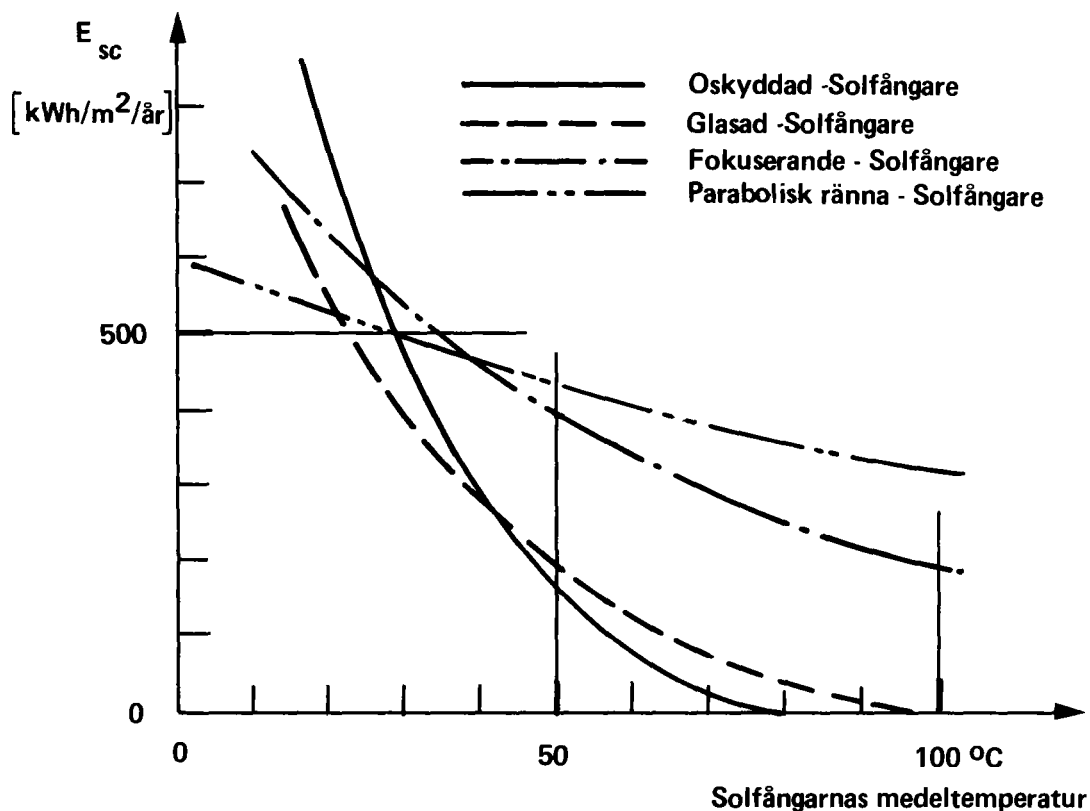


FIG. 3.8 Årlig infångad energi för fyra solfångartyper horisontellt monterade (17, 18 och 42)

En typisk Sunstore-solfångare arbetar alltså med låg temperatur och är ej skyddad med glasning. Möjligen kan en viss vinst ernås genom att solfångarna placeras vindskyddade, men annars skall de helt enkelt enbart utgöra oskyddade svarta ytor. För solljuset är praktiskt taget alla ytor svarta som inte är metalliskt blanka. Detta innebär att vanlig fasad- och taktäckningsmaterial kommer att kunna fungera som solfångare om de förses med vatten-cirkulationssystem och tillåts arbeta vid låg temperatur. Hög energiinsamlingsförmåga per  $m^2$  kombinerat med låg särkostnad per  $m^2$  för solfångarfunktionen resulterar i mycket låga kostnader per kWh för energiinfångningen.

I speciella tillämpningar (se vidare om detta i Kapitel 7) där energiinsamlingen sker vid mycket låg temperatur kan en vattenyta användas som solfångare. En grund spegeldamm kan anläggas för mycket lågt  $m^2$ -pris och dess förmåga att samla energi blir mycket hög. Om temperaturen på vattnet inte är högre än ca  $10^\circ\text{C}$  fås enligt Figur 3.8 ca  $1\ 000\ \text{kWh}/m^2\ \text{år}$ , vilket i och för sig är mycket högt. Emellertid tillkommer den energi som kan kondenseras ut ur luftens fuktighet. Sommartid är luftens daggpunkt praktiskt taget alltid (dag och natt) över  $10^\circ\text{C}$  vilket innebär att kondensation av luftfuktighet kommer att kunna ge stora bidrag.

Avslutningsvis kan tilläggas att de enkla Sunstore-solfångarna i princip samlar in årsenergin enbart under den varma årstiden. Detta innebär att vatten utan anti-freeze kan användas som cirkulationsmedium vilket kan tappas ner på hösten och fyllas upp på våren. Den del av året då minusgrader råder eller frostrisk föreligger skulle den enkla lågtemperatursolfångaren ändå inte ge något energibidrag.

### 3.2.2 ----- Marklagerprestanda

Om ett marklager förenklas till att bestå av en sfärisk volym i en oändlig rymd är det relativa läckaget (se Bilaga A beträffande härledning av ekvationen)

$$f_{LE} = \frac{Q_{LE}}{Q_{US}} \approx \frac{3\theta_m}{Q_{ST}} \left[ 2 \cdot \pi \left( \frac{S}{R_{ST}} \right)^2 + \left( \frac{S}{R_{ST}} \right) \cdot \sqrt{\frac{2}{\ddot{A}}} \right] \text{-----} (3.1)$$

där

$\ddot{A}$  = tiden i antal år

Övriga beteckningar se FÖRKORTNINGAR, DEFINITIONER OCH BETECKNINGAR.

Av Ekvation (3.1) framgår att läckaget består av två delar, en tidsberoende och en med tiden avtagande. Hur det relativa läckaget förlöper i tiden visas i Figur 3.9 för två typiska lager i berg, med radien 12 m respektive 50 m.

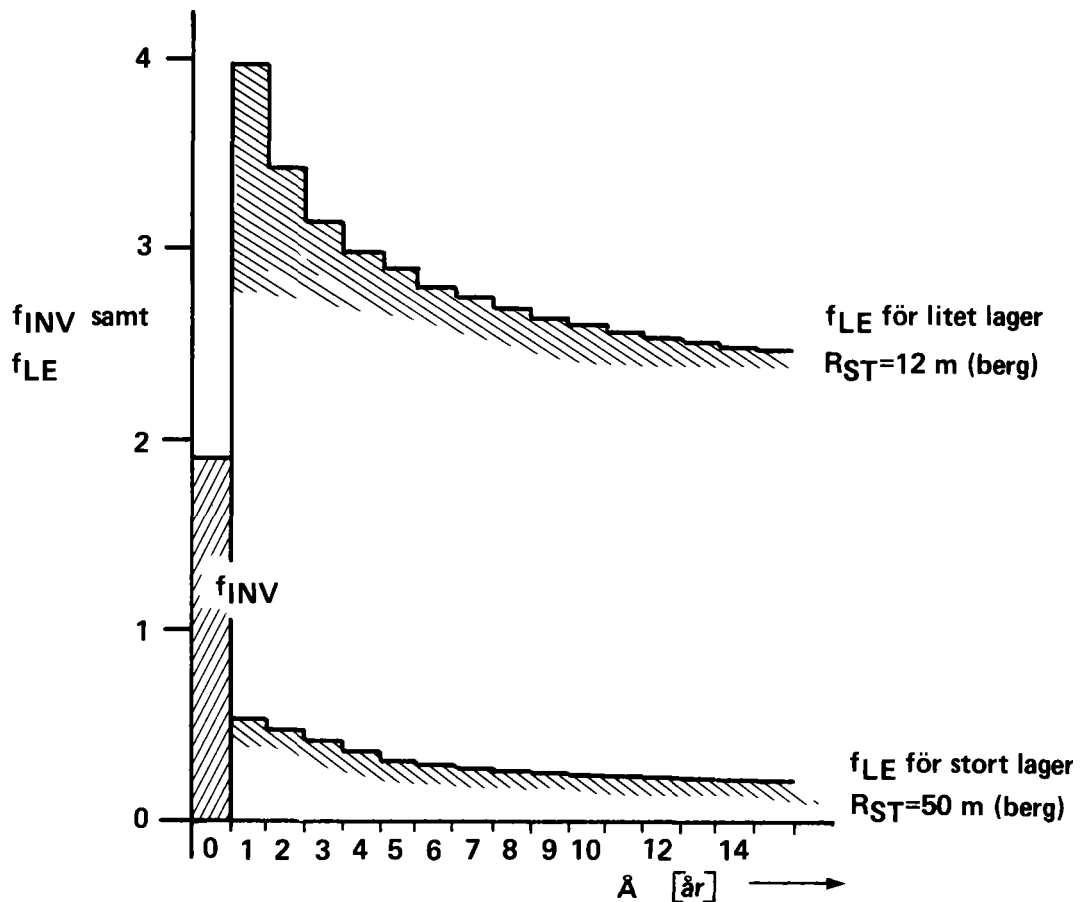
Av denna figur framgår hur ödesdigert stort läckaget blir i förhållande till den levererade energin när lagret är litet.

Vi skall emellertid se i Kapitel 8 att ett system möjligen kan bli intressant både tekniskt och ekonomiskt även med höga värden på  $f_{LE}$ .

Villkoret för att den tidsberoende delen av  $f_{LE} < 2$  är att:

$$R_{ST} > \sqrt{\frac{\theta_M \cdot 3 \cdot \lambda \cdot \tau_A}{\theta_{ST} \cdot 2 \cdot c \cdot \rho}} \quad [m] \quad (3.2)$$

D v s radien för det minsta lager som uppfyller  $f_{LE} < 2$  beror på markegenskaperna  $\lambda$ ,  $c$  och  $\rho$  och temperaturdifferenserna  $\theta_M$  och  $\theta_{ST}$ , förutom lagringsperiodens längd  $\tau_A$ . För säsongslagring av värme är minsta  $R_{ST}$  ca 5 och 12 m för lera respektive berg.



**FIG. 3.9** Investeringsladdning och årligt värmeläckage (normerat till levererad energi  $Q_{US}$ ) för ett litet och ett stort marklager

Det relativa läckaget sjunker mycket snabbt vid ökad radie  $R_{ST}$  enligt Ekvation (3.1). Vid ett lager med  $R_{ST} = 50$  m (se Figur 3.9) är läckaget av marginell betydelse även om det är anlagt i berg.

Investeringsladdningen  $Q_{INV}$  normerad till den levererade energi  $Q_{US}$  är illustrerad i Figur 3.9 vid år 0. Faktorn  $f_{INV} = Q_{INV}/Q_{US}$  är alltid oberoende av marktyp. Att  $Q_{INV}$  är flera gånger så stort som  $Q_{US}$  är inte speciellt allvarligt då åtminstone första delen av uppladdningen går mycket fort p g a den låga temperaturen som solfångarna då arbetar med och därmed gör dessa extremt effektiva (se Kapitel 3.2.1).

För att kunna bedöma nödvändig storlek på solfångare och marklager, behöver faktorerna  $f_{SC}$  och  $f_{ST}$  bestämmas. I (20) är dessa faktorer beräknade för olika storlekar på systemen och där hänsyn tagits till den ömsesidiga påverkan under året mellan lagertemperatur, läckage, uttag och laddning. Ett utdrag ur denna referens ges i Figur 3.10 och 3.11.

Mycket markant är att behovet av solfångaryta ökar starkt ( $f_{SC}$  stor) då systemet är litet och då  $\theta_{MIN}$  är stort.

Då alla de dimensionerande faktorerna  $f_{SC}$ ,  $f_{ST}$ ,  $f_{LE}$  och  $f_{INV}$  beror av  $\theta_M$ , som i sin tur är beroende av markens medeltemperatur  $T_{GR}$ , är det av betydelse att känna till hur denna temperatur varierar i vårt land. I Figur 3.12 och 3.13 är illustrerat  $T_{GR}$  respektive  $T_{AR}$ , d v s markens respektive luftens årsmedeltemperatur.

Som synes är markens årsmedeltemperatur,  $T_{GR}$ , ej, som man i första hand skulle vara benägen att tro, lika med luftens medeltemperatur, utan något högre. Denna skillnad som i vårt land synes variera mellan 1°C och 3°C, beror dels på markbeteckningens med årstiderna växlande värmeisolerings och dels på solstrålningens olika inverkan under skilda tider av året. Sålunda bildar snötäcket under vintern en ofta mycket god värmeisolerings som under sommaren saknas och som särskilt i norra Sverige medför en avsevärd höjning av marktemperaturen i förhållande till luftens medeltemperatur. Vegetationstäckningen som under sommaren är mer värmeisolerande än under vintern, verkar i motsatt riktning. Och särskilt solstrålningens inverkan neutraliseras ofta helt eller delvis av vegetationen.

För att kunna bedöma Sunstoreteknikens potential (som värme-, kyl- och kombinationssystem av dem) på andra ställen än i Sverige anges i Figur 3.14  $T_{AR}$  för hela jorden.

### 3.2.3 Värmeavgivarpredanda

Som redan framhållits i Kapitel 3.1 är det viktigt för hela systemets funktion att kravet på cirkulationsvattnets temperatur kan bli så låg som möjligt. Den nödvändiga övertemperaturen som vattnet behöver ha i förhållande till önskad lokaltemperatur är beroende på två faktorer:

1. Graden av täckning med LTVA på ytor som har transmissionsförlusten
2. Transmissionskoefficient mellan vatten och LTVA-yta.

Idealet är att täckningsgraden i punkt 1 är 100 %, då behövs ingen övertemperatur alls. Hur kombinationen av punkt 1 och 2 utfaller i verkligheten för olika tillämpningar är f n svårt att överblicka. Emellertid kan med LTVA konstruktioner som finns på marknaden idag och lämplig installation en prestanda åstadkommas som ger krav på övertemperatur av ca 5°C vid högsta värmebelastning.

Vid användning av LTVA som svalhållare torde motsvarande undertemperatur vid max kylbelastning sommartid vara ca 1°C. I detta faktum ligger det meningsfulla med LTVA som svalhållare att cirkulationsvattnets temperatur med betryggande marginal ligger över lokal-luftens daggpunkt.

Svalhållningsfunktionen hos en LTVA erhålls således gratis och utan att några risker föreligger för kondensskador.

#### 3.2.4 Användning av Sunstorekomponenter i andra energisystem

-----

Fullt produktutvecklade solfångare enligt Sunstoretekniken kommer att kunna användas för alla tillämpningar där man eftersträvar insamling av värme (eller kyla). Således kan värmepumpsystem tänkas utnyttja denna typ av solfångare.

Metoden att lagra värme eller kyla i orörd mark genom att arrangera ledningsbanor för ett cirkulationsmedium, kan komma till användning på en rad olika sätt förutom i Sunstore-tillämningen. Några av dessa tillämningar är:

- buffring av hög temperatur spillvärme
- åstadkomma värme sänka/källa för exempelvis en kemisk värmepump.

Vid alla lokaluppvärmningstillämpningar är det fördelaktigt att införa LTVA i stället för konventionella radiatorer. Exempelvis kan fördelar med ett sådant arrangemang vara:

- lägre temperatur för värmelagringen medför lägre värmeförlust
- ett värmelager kan utnyttjas längre ned i temperatur
- värmepumpar kan arbeta med en gynnsammare temperaturskillnad
- en renare interiör erhålls
- inomhusklimatet upplevs som avsevärt mycket bättre.

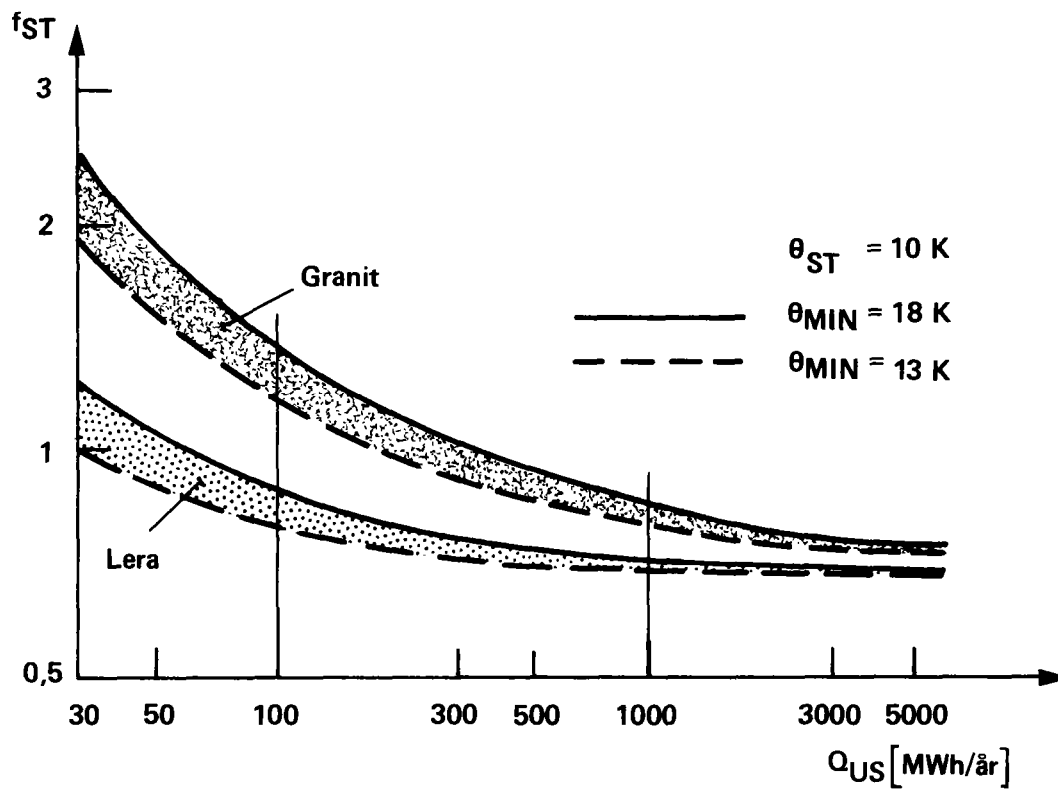
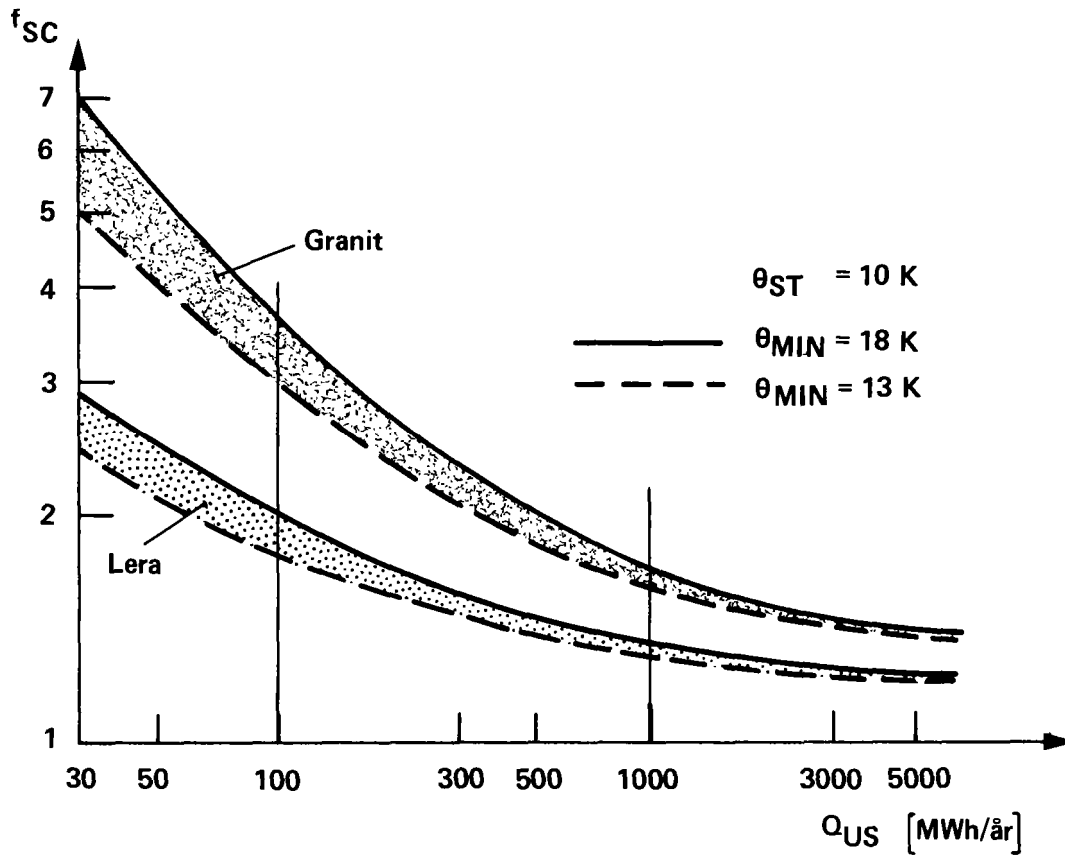


FIG. 3.10 Kvoterna  $f_{SC}$  och  $f_{ST}$  som funktion av systemets storlek ( $Q_{US}$ ) med marklagret förlagt i dels berg dels lera. Diagrammet gäller för den värmeläckagesituationen som råder andra året.

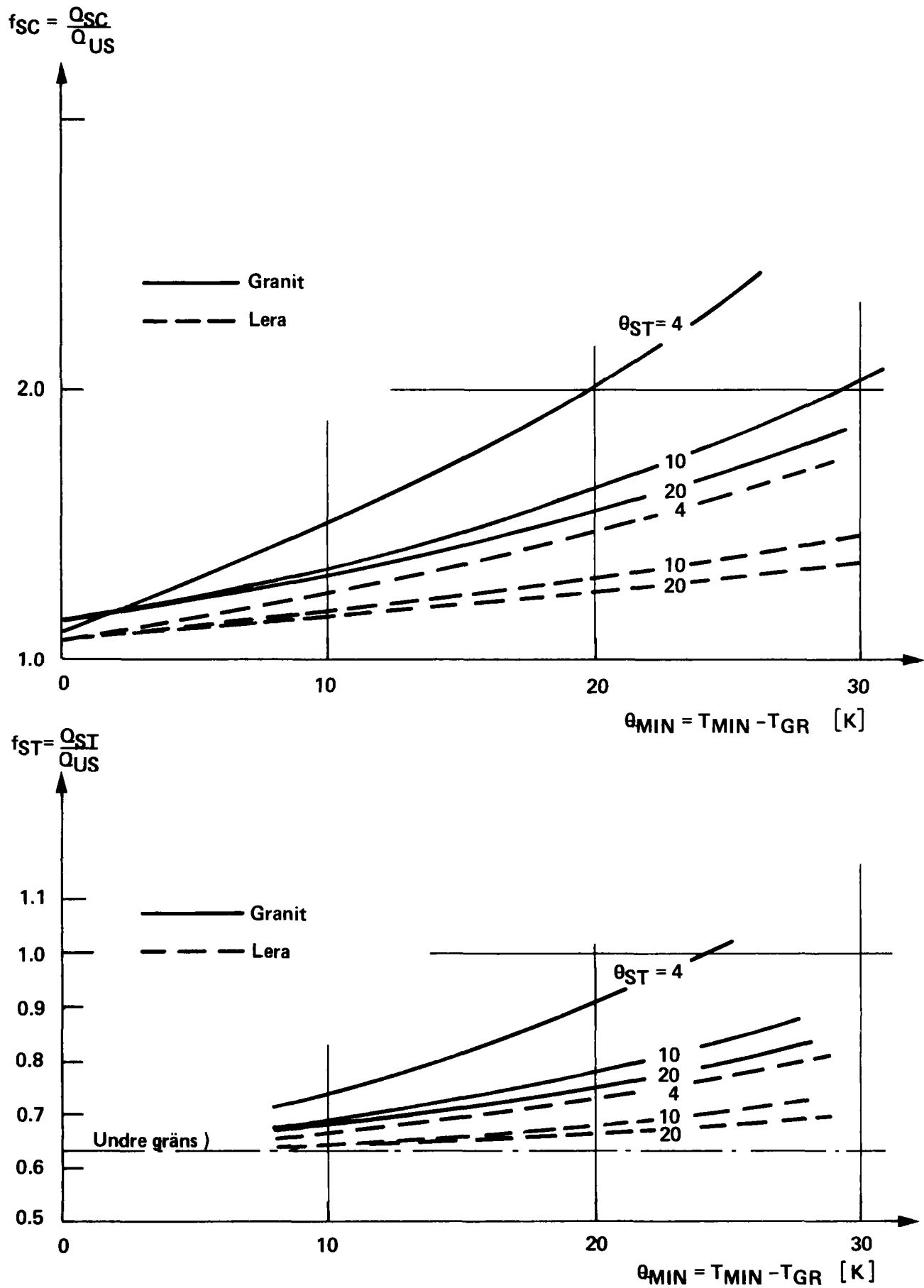


FIG. 3.11 Kvoterna  $f_{SC}$  och  $f_{ST}$  som funktion av  $\theta_{MIN}$  med marklagret i dels berg dels lera samt  $\theta_{ST}$  som parameter. Diagrammet gäller för  $Q_{US} = 2000 \text{ MWh/år}$  och den värmeläckagesituation som råder andra året.



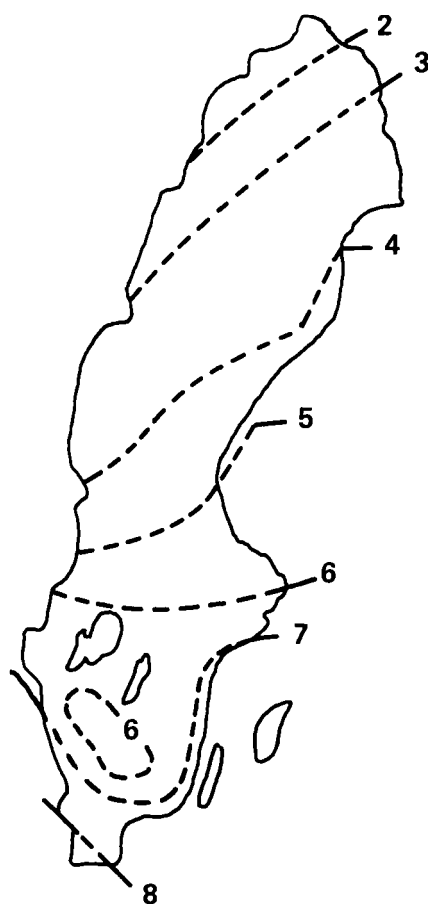


FIG. 3.12 Markens årsmedeltemperatur  $T_{GR}$  i Sverige.

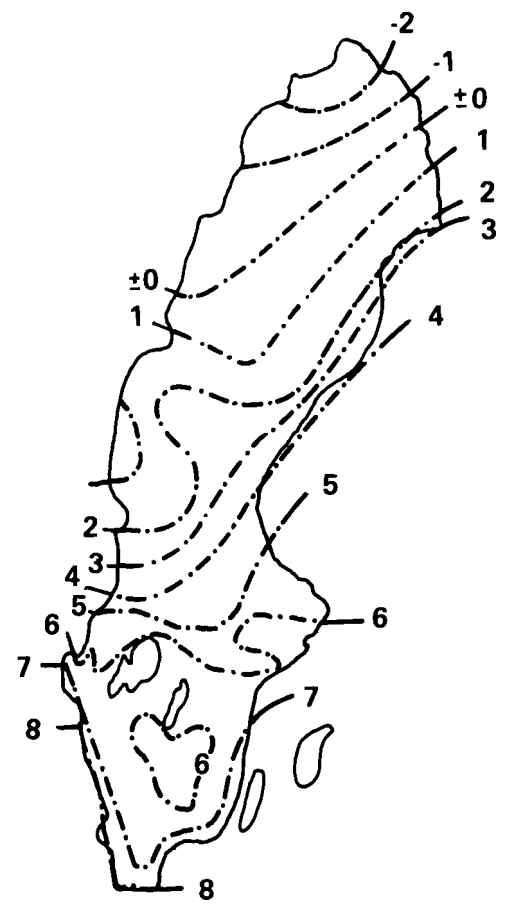


FIG. 3.13 Luftens årsmedeltemperatur  $T_{AR}$  i Sverige.

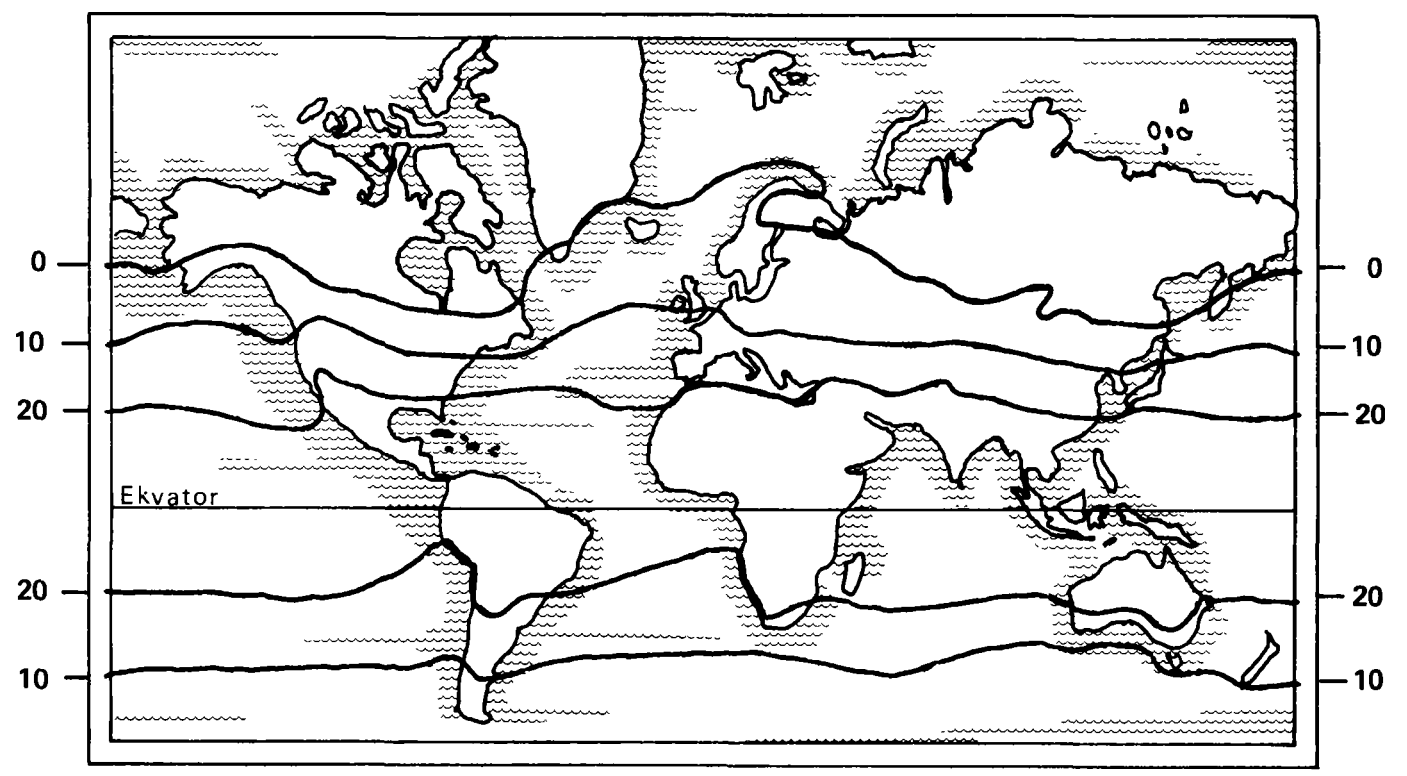


FIG. 3.14 Luftens årsmedeltemperatur  $T_{AR}$  för hela jorden.

### 3.3 Införandepotential för Sunstore

#### 3.3.1 Produktutveckling

Av analysen i Kapitel 7 och 8 framgår att Sunstore-systemet för lokaluppvärmning kan få en utomordenligt god ekonomi. Även om det inte är nödvändigt att förutsätta att ett omfattande produktutvecklingsarbete har föregått för att ekonomin skall bli acceptabel, så är det givetvis önskvärt att ett sådant kommer igång snarast möjligt.

FoU-arbete och produktutveckling skulle då närmast inrikta sig på sådan teknik och sådana produkter som idag är dåligt, eller inte alls, representerade på marknaden. Exempel på dylikt är:

- Framtagning av rationella metoder för multipelborrning i berg
- Framtagning av rationella metoder för infodring av borrhål
- Framtagning av rationella metoder för nedföring av rör i lösa jordarter (exempelvis lera)
- Framtagning av byggelement för invändig garnering som har LTVA-funktionen totalintegrerad i sig
- Framtagning av yttertak- och fasadelement som har LTSF-funktionen totalintegrerad i sig.

#### 3.3.2 Nybebyggelse

Två olika tidpunkter kan i princip urskiljas för introduktionen av Sunstore-system där olika förutsättningar råder:

- Introduktion om något år - säg 1983 - då en viss men inte avgörande produktutveckling har hunnit ske.
- Introduktion omkring 1988 - då förhoppningsvis en avsevärd produktutveckling (enligt ovan) har skett.

Denna uppdelning på introduktion 1983, med kostnader i stort sett som råder idag, och 1988 med sannolika prisreduktioner p g a utvecklingsarbete, har använts i Kapitel 8.

Det visar sig vid denna analys (Figur 8.3 och 8.4) att Sunstoresystem kommer att vara ekonomiskt motiverade oavsett systemstorlek, idriftstagningsår (1983 eller senare) och oljeprisutveckling.

Beträffande möjligheterna att placera Sunstorelager förutsätts inget annat än tillgång på något så när homogen mark. För systemstorlekar över 10 lägenheter är berg att föredra men absolut inget villkor. Likadant gäller för system under 10 lägenheter att lera är att föredraga men inte heller det är något villkor.

Denna höga grad av anpassningsförmåga till rådande betingelser vid ett aktuellt byggprojekt gör naturligtvis Sunstoremetoden till en mycket allmängiltig metod. I synnerhet är det för Sveriges del en mycket tilltalande egenskap att mellanstora och stora projekt prefererar berg, vilket ju helt dominerar den svenska geologin, se (30).

Sunstoreprincipen är också tillämplig, med samma goda ekonomi, på de flesta ställen på jorden. Dessutom representerar Sunstore den långsiktiga, bestående lösning som man borde ha som målsättning för lokaluppvärmningsproblemet.

Den ekonomiska analysen gäller för nybebyggelse där det är adekvat att räkna med särkostnader för solfångar- och LTVA-funktionerna.

### 3.3.3 ----- Befintlig bebyggelse

För befintlig bebyggelse som redan har ett uppvärmningssystem blir ekonomin, vid införande av Sunstore, helt annorlunda än när det gäller ny bebyggelse. Det är då inte korrekt att räkna med särkostnader utan hela kostnaden för komponenterna bör användas. Det visar sig emellertid att marginalen är så stor för Sunstoresystem att kostnaderna för Sunstorekomponenter kan vara betydligt större innan totalekonomin blir sämre än för det näst bästa systemet. Följande högre priser är i så fall möjliga i förhållande till de priser som är förutsatta i Tabell 8.1.

- Solfångarna får kosta 470 kr/m<sup>2</sup> i stället för 150 kr/m<sup>2</sup> eller
- Hålmetern för marklagret inklusive infodring får kosta 350 kr/m i stället för 100 kr/m eller
- Extra kostnader för LTVA får vara 430 kr/m<sup>2</sup> i stället för 40 kr/m<sup>2</sup>.

Det är praktiskt taget redan idag möjligt att skaffa ovanstående produkter till de priser som använts i analysen i Tabell 8.1, trots att produkterna inte alls är avsedda för Sunstoreändamål. Exempelvis kostar en färdiginfodrad hålmeter för berg idag < 140 kr (se Kapitel 5.10.2), särkostnaden för LTVA i form av Frengertak (som ej är optimerade för detta ändamål) kan fås för 200 kr/m<sup>2</sup>. Till detta kan läggas att nere på kontinenten (speciellt

Tyskland och Schweiz) är takvärme något som har funnits i åtskilliga årtionden och lever där parallellt med konventionella radiatorer. Detta torde tyda på att kostnaden redan idag är ungefär likvärdig för LTVA och konventionella radiatorer.

Att införa Sunstore i befintlig bebyggelse är i första hand en fråga om de tekniska och ekonomiska möjligheterna att installera LTVA. I andra hand och för stora system (typ fjärrvärme) är det en fråga om de tekniska och ekonomiska möjligheterna att installera grövre stammar inom fastigheten och grövre rör i kulvertarna.

De tekniska aspekterna av dessa installationer torde inte behöva stöta på större svårigheter än när man i efterhand införde centralvärme på 20-, 30- och 40-talet. I stället har man idag ett befintligt bostadsbestånd med en rationellare planlösning, enhetligare och släta ytor i interiörerna. Vidare är håltagning ju redan gjord eller i många fall finns tomrör inlagda. För mycket gamla fastigheter med dåliga K-värden och stora fönsterytor kommer den termiska ytbelastningen för LTVA att bli stor i jämförelse med det nominella Sunstore. Detta innebär att cirkulationsvattnet måste ha några grader högre temperatur som i sin tur förskjuter dimensionering för hela systemet, dock inte värre än att ekonomin fortfarande är god.

Rören i stammar och kulvertar för Sunstore i befintliga fjärrvärmesystem, blir visserligen grövre, men i gengäld blir isoleringen mycket ringa p g a de låga temperaturerna.

Möjligheten att i befintlig bebyggelse placera in marklager till Sunstoreanläggningar torde inte vara speciellt svårt annat än i täta stadskärnor. I dessa fall då det är fråga om större Sunstore-lager kan de borras från sprängda tunnlar varvid inget behov av markyta alls förefinns (se figur 3.3).

Svårigheter kommer att uppstå vid försök till inplacering av solfångare i befintlig tätbebyggelse (stadskärnor) även om Sunstore's solfångare är lättast att få smälta in i tak- och fasadytor. Under sådana förhållanden torde resultatet från referens (30) gälla, att solfångare och marklager kan placearas utanför tätbebyggelse och mata ett fjärrvärmesystem, som i det fallet skall vara anpassat för Sunstore's temperaturnivåer.

Beträffande den ekonomiska aspekten av ovanstående installationer i befintlig bebyggelse har redan framhållits att marginalen är god och ger mer än väl utrymme för kostnader i samband med en sådan omläggning. Det bör också erinras om att det behövs en mycket måttlig produktutveckling för att kostnader för LTVA inte längre är mycket större än de 40 kr/m<sup>2</sup> som redan är räknat med i Tabell 8.1.

Det bör även påpekas att vid byte av uppvärmningssystem i befintlig bebyggelse, kommer extra kostnader att tillkomma till de i Tabell 8.1 (som gäller nybebyggelse) för alla alternativa system (inte bara Sunstore). Således kommer exempelvis vid utbyte av oljeeldning mot värmepump sannolikt nyinstallation behöva ske för elmatningen och i många fall en utökning av radiatorytorna. Byte av direktverkande el till vilket alternativ som helst innebär alltid installation av åtminstone vattenburen värmegivning, som då lika gärna kan vara av LTVA-typ.

### 3.3.4 Strategi för idriftstagning

Efter uppbyggnad av ett Sunstoresystem vidtager alltid ett uppladdningsskede (investeringsladdning) som bringar upp lagret till driftstemperatur. Som framgår av Kapitel 3.2.2 är denna investeringsladdning kanske både en och två gånger så stor som den årligt levererade energin. Kan solfångare - de permanenta eller tillfälliga - inkopplas på lagret så fort det är färdigbyggt är det möjligt att förvånansvärt lätt nå driftstillstånd för lagret bara på en sommarsäsong. Är lagret litet, vilket innebär att de relativa förlusterna är stora ( $f_{LE}$  och  $f_{SC}$  är stora), kommer första årets förlust att helt dominera över investeringsladdningen (se Figur 3.9). I detta fall är det förmodligen orationellt att dimensionera de permanenta solfångarna för att klara både investeringsladdning och första årets förlust. Därför är en lösning med tillfälliga solfångare att rekommendera under sådana omständigheter.

Tillfälliga solfångare kan få utformning som byggplank, annonsplank etc och kan bli aktuella för såväl stora som små byggprojekt. Denna typ av solfångare kan tänkas hyras ut eller ställas till disposition av ansvarig Sunstore-entreprenör som ingående i entreprenad i de fall systemet skall levereras laddat till driftstemperatur.

Under vissa omständigheter - exempelvis vid bristfällig planering - kan det bli nödvändigt att tillgripa ädelenergi i form av el eller olja för energiinvesteringen. Detta skall på lång sikt inte vara nödvändigt med lämplig planering.

Den ekonomiska konsekvensen av att lagret måste investeringsladdas blir ingen alls om laddningen kan utföras med de permanenta solfångarna. I de fall tillfälliga solfångare måste användas torde hyran för dessa bli en helt marginell kostnad som inte påverkar den ekonomiska analysen i Kapitel 7 och 8. Även för de undantagsfall där ädelenergi tillgrips första året kan ej Sunstore-teknikens ekonomi drastiskt försämrats.

### 3.3.5 Planering och projektering

Som framhölls i föregående kapitel är det väsentligt att byggandet av en Sunstore-anläggning planeras omsorgsfullt för att investeringsladdningen skall möjliggöras på det mest rationella sättet. För stora byggprojekt med byggtider på flera år är det ett mindre problem att planera in en sommarsäsong för laddning. Värre kan det bli då det gäller en enfamiljsvilla som skall byggas på sommaren och tas i bruk efterföljande höst. I det senare fallet bör marklagret anläggas på våren i samband med grundläggningsarbetena och kombineras med tillfälliga solfångare under sommaren.

Vid planering i större sammanhang (stadsplanering) och projektering av stora byggprojekt kommer det att bli ytterst väsentligt att hänsyn tas till att plats finns för solfångare och marklager samt att lokalerna som skall hållas varma blir försedda med LTVA, antingen det är fråga om nybyggnation eller modifiering av befintlig bebyggelse.

Kravet på att införa LTVA är sprunget ur den ekonomiska analysen i Kapitel 7 och 8. Där visas att helt avgörande för alla lokaluppvärmningssystem ekonomi är att värme kan avges vid låg temperatur. Detta gäller för alla system och inte bara för Sunstore även om det för Sunstore är mer viktigt än för andra.

Det bör också åter igen påpekas att redan idag utgör kostnaden för LTVA-införandet en relativt ringa del av kostnaden för ett energisystem och på lite sikt kommer LTVA inte behöva innebära någon extra kostnad alls gentemot konventionella radiatorer.

De nya, välisolerade lågenergibostäderna (och andra lokaler) som sedan några år växer fram i det svenska samhället är ur värmeenergisympunkt föredömliga, men de medför problem vid bortföring av värme. Den ofrivilliga tillförsel av värme som sker genom belysning, maskiner, människor (och djur, exempelvis inom lantbruket) och solinstrålning genom fönster kommer att tillsammans med en god isolering att resultera i stora värmeöverskott. Detta innebär otrivsamt höga temperaturer eller mycket höga krav på ventilation och kylning. Skall denna kylning genomföras med konventionell energikonsumerande teknik kan energivinsten som gjorts med den goda isoleringen bli tvivelaktig.

Med LTVA införd kan ovan skisserade kylbehov tillfredsställas (se Kapitel 3.1.4 och 3.2.3 om svalhållning) utan något aktivt kylaggregat med energikonsumtion. Därför bör vid all byggprojektering stor hänsyn tas till att LTVA skall kunna införas.

## 4. FoU-VERKSAMHET

### 4.1 System

Inom delprojektet "System" har sedan projektstart bedrivits verksamhet med syfte att övergripande analysera Sunstore-systems tekniska och ekonomiska potential. På lång sikt skall inom delprojekt "System" dimensionering och projekteringsmetoder tas fram för rutinmässig projektering av Sunstore-system för olika tillämpningar.

#### 4.1.1 Analys

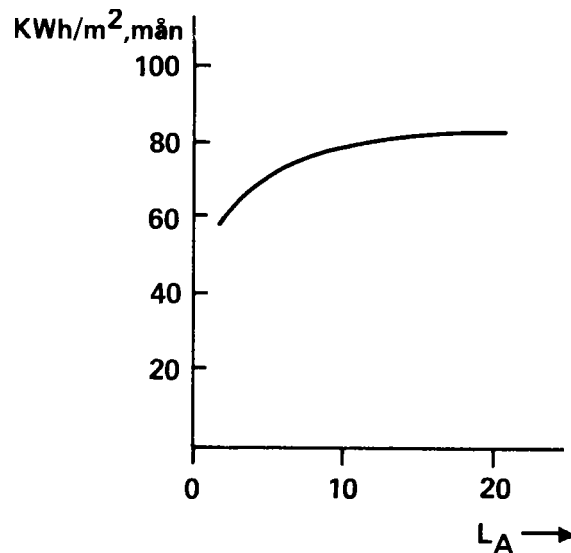
I föreliggande rapportering utgör Kapitel 2 och 3 samt 6 - 8 egentligen en del av det analysarbete som har gjorts inom system-FoU. Till grund för detta har legat:

1. Det know-how som byggs upp från tidigt 50-tal beträffande dynamisk värmeledning i fasta kroppar.
2. De analytiskt bestämda samband som tagits fram av Johan Claesson et al vid CTH, Lund.
3. De med matematiska modeller bestämda samband som tagits fram av Reidar Lindström, Industri-mekanik AB, Stockholm.

Punkt 1 ovan innebar att Sunstoretanken kunde börja formas i början av 60-talet. Punkt 2 ovan startade i samband med projektstarten 1977 (då Sunstore-bolaget bildades) och har inneburit att Sunstore-projektet har fått många värdefulla matematiska verktyg som har skapat möjlighet till snabb översiktlig analys av marklageregenskaper och deras inverkan på de totala systemegenskaperna (1 - 11). Punkt 3 ovan som också startade i samband med projektstart 1977 har inneburit den egentliga systemanalysen.

På ett tidigt stadium studerades det intressanta subsystem som en  $m^2$  solfångare med korresponderande antal meter hål i ett marklager utgör. I (17) redogörs för hur det ömsesidiga samspelet mellan solfångare och sväljförmågan i marklagret påverkar den totalt insamlade energimängden per  $m^2$  solfångare och månad. Vid mycket hålmeter per  $m^2$  solfångare ( $L_A$ -faktorn) blir solfångaren lättare "av" med insamlad energi utan att temperaturen i hålen ökar så mycket under en solig dag. Härigenom arbetar solfångaren med lägre temperatur och blir därmed effektivare. Den begränsade undersökning som har gjorts i (17) gav emellertid att inflytandet från  $L_A$ -faktorn var relativt litet. Ett exempel på detta visas i Figur 4.1.

En simuleringsmodell för det ömsesidiga samspelet (se Figur 4.2) under året mellan lagertemperatur, läckage, uttag, laddning etc har byggts upp. Med hjälp av denna modell har den övergripande prestandan för ett Sunstore-system kunnat börja kartläggas. Ett första resultat rapporterades i (21) och senare efter viss modifiering av modellen i (22). Utdrag och bearbetning av denna referens har redan gjorts i Kapitel 3.2.2 och Figur 3.10 och 3.11.



Figur 4.1 Solinfångningens beroende av  $L_A$ - faktorn

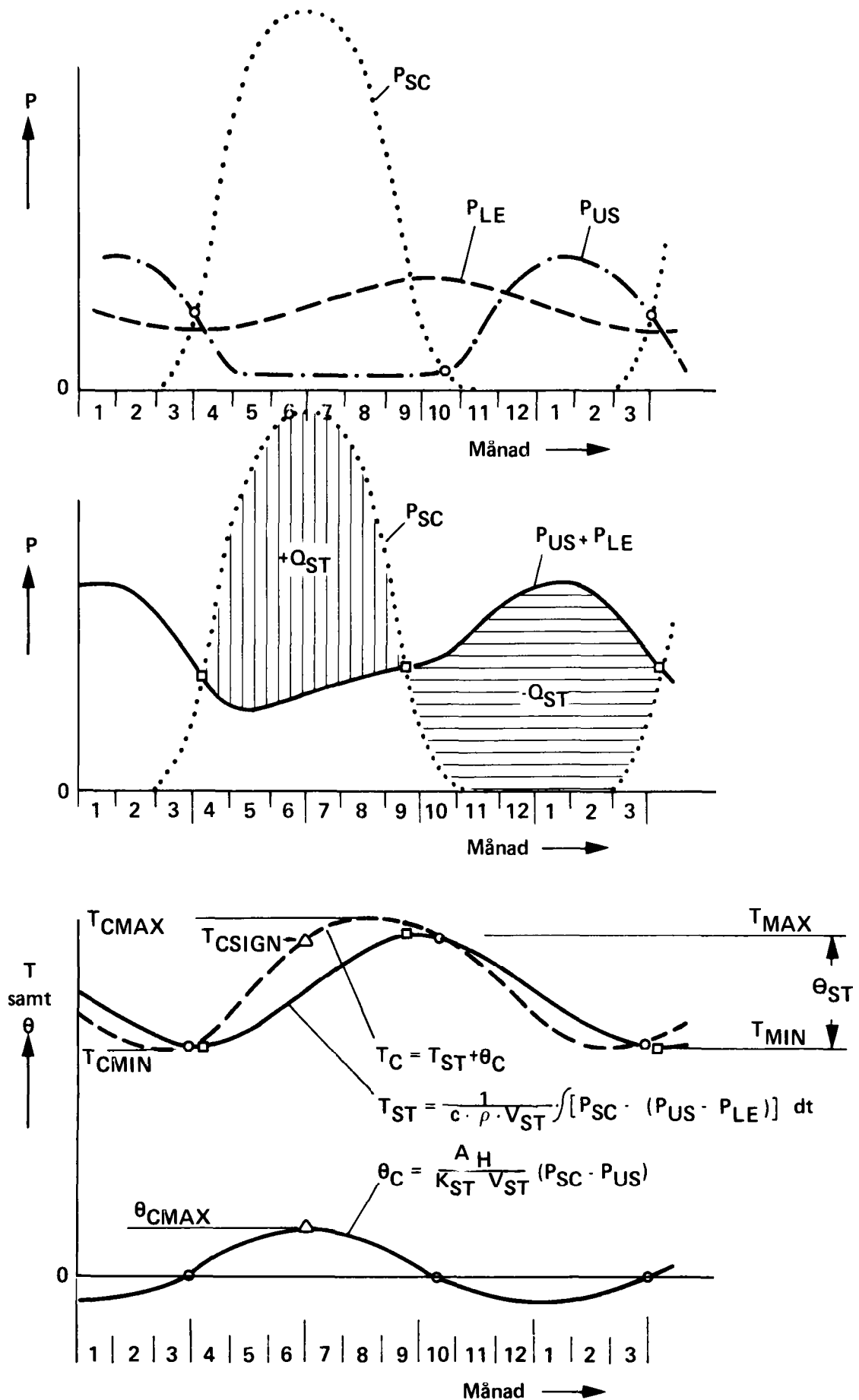
#### 4.1.2 ----- Systemutveckling

Under denna rubrik har studier utförts som syftar till att få fram ändamålsenliga system. Några av dessa studier är:

- Cirkulationssystemets utformning
- Zonindelning av lagret
- Riskanalys för olika driftsstörningar
- Eventuell användning av VP
- Reglertekniska problem.

Cirkulationssystemet för ett Sunstoresystem karaktäriseras av att värme överförs mellan två enheter med en mycket liten temperaturdifferens mellan fram- och returvattnet.





Figur 4.2

Ömsesidiga påverkan under året för olika variabler i ett Sunstore-system

Detta krav har sin upprinnelse i att Sunstoresystem (åtminstone det ursprungliga) är instängda i ett litet temperaturområde vars under gräns sätts av den temperatur som LTVA kan avge värme vid och vars övre gräns sätts av den temperatur vid vilken helt oskyddade solfångare är relativt effektiva. Som förut har framkommit arbetar Sunstores ursprungliga system i temperaturintervallet ca 22 - ca 35°C, vilket är ett mycket snävt område där hela systemet alltid måste ligga.

Av detta följer att alla värmeöverföringar måste ske med mycket små temperaturdifferenser och detta i sin tur innebär stora flöden för det värmetransporterande mediet. Stora flöden innebär emellertid stora pumpeffekter om inte speciella åtgärder vidtages. Några av dessa åtgärder är höggradig parallellkoppling i samtliga komponenter, större rördiameter i stamledningar än nuvarande VVS-praxis och att använda vatten som värmetransporterande medium. Beträffande problematik i samband med parallellkoppling se Kapitel 5.8.1, 5.8.3, 5.9.1 och 5.10.1.

Att vatten används i stället för exempelvis luft beror på att vatten har ca 4 000 ggr högre värmekapacitet än luft. Då man för en given borrkostnad får en given genomströmningsarea innebär användningen av luft en 4 000 ggr högre hastighet. Är flödet turbulent blir tryckfallet:

$$\frac{4\ 000^2}{800} = 20\ 000\ \text{ggr större}$$

emedan det är proportionellt mot hastighetens kvadrat dividerat med 800 som är de antal gånger vatten är tyngre än luft. Pumpeffekten som är tryckfall gånger flöde blir således:

$$20\ 000 \times 4\ 000 = 0.8 \times 10^8\ \text{ggr större}$$

om luft används i stället för vatten. Detta är ett förhållande som naturligtvis utesluter varje tanke på exempelvis luftkylda solfångare eller luftburen värme till värmeavgivarna.

För att få en jämn fördelning av cirkulationsvattnet på alla parallella vägar är det mycket väsentligt att systemet lätt går att urlufta och att denna urluftning sker automatiskt vid drift. Det är nämligen praktiskt taget omöjligt att undvika att luft läcker eller diffunderar in i systemet.

För system där cirkulationsvattnet i solfångarna regelbundet tappas ner och sedan fylls igen är kravet på automatisk urluftning speciellt viktigt. Det är dessutom synnerligen viktigt att hela solfångarkretsen är totalt dräneringsbar för att undvika sönderfrysning i sådana system där solfångarna ej har antifreezblandat cirkulationsvatten.

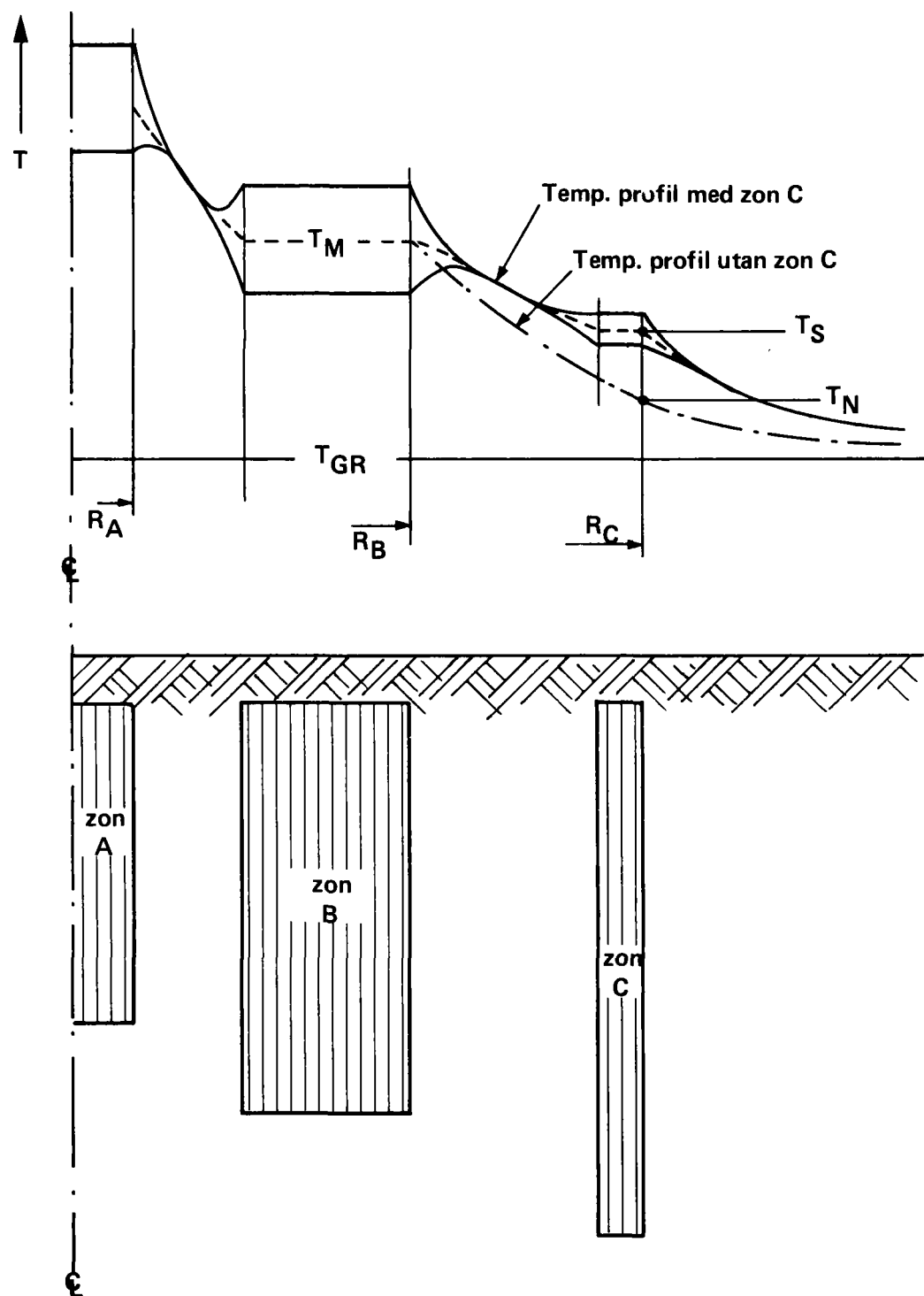
I det renodlade Sunstorekonceptet är solfångarna endast i bruk mitt i sommaren. De kan därför tappas ner på hösten och fyllas på våren då ingen frostrisk finns. Detta betyder att alla komponenterna i ett system kan ha ett gemensamt hydrauliskt system, utan några värmeväxlare. Ett sådant arrangemang är fördelaktigt då det inte medför några extra temperaturdifferenser som exempelvis skulle bli följden då värmeväxlare används.

Zonindelning av lagret kan ske av två anledningar. Dels beroende på en önskan om att kunna upprätthålla en högre temperatur i mitten för varmvattenproduktionen, dels för att med hjälp av "billig" lågtemperaturrenergi skapa en läckagereducerande yttre zon. Karaktären på ett zonindelad lager framgår av Figur 4.3.

En inre zon (zon A) för varmvattenproduktion har använts för projektet vid Stora Skuggan, (31). Även i experimentobjekt 1 i Sigtuna görs det försök med en inre varmare zon (se Kapitel 5).

Det bör emellertid påpekas att ett "lager i lagret" inte är meningsfullt om inte hela anläggningen är så stor att det minsta (inre) lagret uppfyller kravet på minimidimension enligt Ekvation 3.2. Ingen av ovan nämnda anläggningar är så stora att varmzonen i mitten uppfyller detta krav för årslagring. Däremot är de användbara som dygn- eller i viss mån vecko- och månadsbuffertar för varmvattenproduktionen.

En yttre zon (zon C) är möjlig att anlägga i syfte att minska läckaget från den närmast innanför liggande zonen B. Detta sker dock med uppoffrande av en avsevärd mängd av lågtemperaturrenergi.



Figur 4.3 Temperaturprofil resp. sektion för zon indelat marklager

Om man har riklig tillgång på energi vid en temperatur som visserligen ligger under B-zonens medeltemperatur  $T_M$ , men avsevärt högre än  $T_{GR}$  är det meningsfullt att tillfoga en yttre zon C. Genom att förse zon C med den "billiga" energin höjs temperaturen på radien  $R_C$  från den normala  $T_N$  till  $T_S$  (se Figur 4.3). Härigenom minskar B-zonens temperaturgradient och därmed läckaget, åtminstone i horisontellt led. Läckaget uppåt och nedåt påverkas dock inte med en på detta sätt anlagd skyddande C-zon.

Med tillgång till sjövattnen som sommartid kan hålla ca  $20^\circ\text{C}$  är det möjligt att avsevärt reducera läckaget med hjälp av en C-zon (se Sunstorepatent i (53)). Även luftbatteri eller extra solfångare kan utgöra värmekälla för en C-zon. Sjövattnenytan är emellertid den värmekälla som har den ojämförligt största kapaciteten och stor kapacitet är en viktig förutsättning för att skyddszonstanken skall fungera. Det är likaså viktigt att C-zonen inte ligger för nära B-zonen då nämligen temperaturen  $T_N$  i så fall är hög och farligt nära  $T_S$ . Helt generellt får man bättre läckagereducering om man förlägger C-zonen långt ut från B-zonen, men i gengäld blir energibehovet till C-zonen mycket stort.

Risicanalys för olika driftsstörningar utgör ett viktigt moment i systemutvecklingen. Störningen av typen elavbrott, förlust av cirkulationsvattnen (p g a läckage), igensättning etc får ej förorsaka allvarliga skador i form av exempelvis sönderfrysning eller kokning. Därför måste Sunstoreanläggningar vara försedda med säkerhetsanordningar och noggrant genomarbetad flödesuppkoppling (för cirkulationsvattnet). Vederbörlig hänsyn är tagen till detta som framgår av (31) och Kapitel 5. Förhållanden som uppstår vid långvarig drift - korrosion, avlagringar och åldring av material - är under kontinuerlig bevakning i experimentobjekt 1. Syrediffusion genom plaströr vid höga temperaturer är ett känt fenomen, likaså följderna av detta i form av korrosion. Utfallet av detta fenomen vid de låga temperaturer som Sunstore arbetar vid är föremål för speciellt intresse i experimentobjekt 1. Hitintills har inga negativa erfarenheter gjorts i detta avseende.

Eventuell användning av VP i ett Sunstoresystem har mycket ingående analyserats. Redogörelse för detta har gjorts i Kapitel 7 och 8.

Reglertekniska problem för ett Sunstoresystem består huvudsakligen av hur kriterier skall byggas upp som på ett rationellt sätt kan stoppa och framför allt starta cirkulationspumpen till solfångaren. Ett helt övergripande villkor för styrning av solfångarens cirkulationspump är naturligtvis att temperaturen på vattnet fram till solfångaren  $T_{CIN}$  (d v s från marklagret) är lägre än temperaturen från solfångaren  $T_{CUT}$  (d v s till marklagret). Temperaturdifferensen  $T_{CUT} - T_{CIN}$  som betecknas  $\theta_{CSC}$  är

positiv då energi levereras från solfångaren till marklagret. Som förut nämnts är  $\theta_{CSC}$  för Sunstore nominellt en mycket liten temperaturskillnad - av storleksordningen 2 - 3 K. Detta ställer mycket höga krav på upplösning och nollstabilitet för givare och instrument som mäter  $\theta_{CSC}$ .

När solfångaren är i funktion och levererar energi en solig dag blir villkoret enkelt för stopp av cirkulationspumpen. Då  $\theta_{CSC}$  successivt sjunker under eftermiddagen och slutligen blir noll så skall pumpen stoppa vid nollgenomgång. Om vädret är sådant att solinstrålningen är starkt varierande under dagen (som vid fläckvis molnighet) kan villkoret för stopp av pumpen inte göras så enkelt som ovan skisserades. Speciell reglerfunktion med minne och tröskel och/eller glapp måste tillämpas.

Kriteriet för start av cirkulationspumpen är än mer komplicerat eftersom ingen signifikant temperatur finns tillgänglig för vare sig solfångare eller marklagret innan pumpen har startat. Flera förslag till lösning av detta problem har undersökts. Ett sätt är att på något enkelt villkor starta en liten pilotpump för vardera solfångarkretsen och marklagerkretsen varvid en något sånär signifikant temperatur kan erhållas för solfångare och marklager. Detta sätt tillämpas i experimentobjekt 1. En ytterligare metod skulle kunna vara att när man har lärt sig mer om karaktären hos Sunstores komponenter simulera och prediktera de signifikanta temperaturerna i en mikrodator.

Troligen måste dock alla starter av cirkulationspumpen göras "på prov", d v s om inte positivt  $\theta_{CSC}$  erhålles inom en viss tid måste pumpen stoppa.

## 4.2 Solfångare

Verksamheten har omfattat analys, kravsättning, marknadsundersökning, viss provtillverkning samt provning och utvärdering.

### 4.2.1 Analys

Verksamheten har omfattat analys av väder, inverkan av solfångares momentana verkningsgrad beroende av konstruktionsparametrar samt energiinfångningens beroende av väder, orientering och vattentemperatur.

Analys av solfångarna sammankopplade med andra huvudkomponenter i energisystemet har behandlats i Kapitel 4.1. I Kapitel 5.8 kommer att analyseras värmebärarmediets flödesfördelning vid parallellkopplade solfångare.

Numeriska beräkningsmodeller har tagits fram för att utröna olika parametrars inverkan på ovannämnda egenskaper. Genom matematisk simulering har i tiden långt utsträckta fysikaliska förlopp kunnat rationellt studeras.

Såsom underlag för vädersimulering har data om 1971 års väder för Stockholm behandlats och överförts på band. Vidare har de geometriska och fysikaliska sambanden för beräkning av solinstrålning mot ytor med olika lutning tagits fram.

För att närmare klargöra väderförutsättningarna för solenergiinfångning har vädret därefter analyserats. Instrålad energi som funktion av lufttemperaturen vid några lutningsvinklar hos ytan har tagits fram, Figur 4.4. Man finner här att den huvudsakliga instrålningen sker i temperaturintervallet 12 - 24°C. Varaktigheten för olika temperaturer visas i Figur 4.5 samt varaktigheten för solstrålning på horisontell yta i Figur 4.6. Dessa två figurer ger en viss uppfattning om en lågtemperatursolfångares möjliga energiinfångning och vid vilken omgivningstemperatur denna infångning kan ske.

För att ytterligare klarlägga väderleksförutsättningarna har varaktigheten för solinstrålningen vid olika temperaturintervall gjorts. Exempel på detta visas i Figur 4.7. Den visar att goda möjligheter finns att infånga solenergi vid en utetemperatur av 15 - 20°C. Temperaturkvaliteten på den infångade energin är sedan beroende av solfångarens känslighet för omgivningens temperatur och vinden. Det är därvid intressant att veta hur många timmar solinstrålningen överstiger ett visst värde i olika temperaturintervall. Ett sådant samband visas i Figur 4.8.

För att klarlägga förutsättningarna för inverkan av olika lutning av solfångarna beräknades instrålad energi mot en yta med olika lutningsvinklar. Resultatet åskådliggörs i Figur 4.9. Man finner att effekten av optimal lutning hos solfångarna är betydande. Instrålningen mot en  $40^\circ$  lutande yta är  $\sim 1.4$  gånger högre än mot en horisontell.

I (15) har de fysikaliska mekanismerna för solinfångningen klargjorts. Solfångarens effektivitet (momentankarakteristik) åskådliggörs i Figur 4.10. Denna karakteristik går enkelt att bestämma för en oskyddad solfångare genom att dra en rät linje genom de två skelettpunkterna A respektive B.

Av Figur 4.10 framgår att punkt A bestäms enbart av det "inre K-värdet",  $K_{SCI}$ , som ges av värmeledningsförmågan mellan absorbatorytan och cirkulationsvattnet. Punkten B däremot bestäms enbart av solfångarens "yttre K-värde",  $K_{SCU}$ , som i sin tur utgör absorbatorytans värmeöverföringsförmåga utåt till omgivningen (med temperaturen  $T_{UTE}$ ).

Punkten A's  $\vartheta$ -värde benämns  $\vartheta_{100}$  och är alltid negativt. För en absorbatorkonstruktion med god termisk kontakt mellan absorbatoryta och cirkulationsvattnet (som exempelvis en "genomblödd" plåt) är  $\vartheta_{100}$  av storleksordningen  $-0.005$ . Detta ger  $\eta_0$ -värden omkring 0.9.

I Figur 4.10 visas en tabell för  $\vartheta_0$  som är punkten B's  $\vartheta$ -värde. Av figuren framgår att  $\vartheta_0$  för en oskyddad solfångare endast är beroende av vindhastigheten vid solfångarytan. Denna vindhastighet i mikroklimatet vid solfångaren är i allmänhet mycket mindre än de officiella vindhastigheterna för en ort. Hur stor vindhastigheten vid solfångaren är i praktiken och hur den är korrelerad med lufttemperatur och solinstrålning kommer säkert att bli en mycket viktig framtida FoU-uppgift. Olika sätt att makroskopiskt (genom exempelvis arkitektur, växtlighet etc) "skydda" solfångarna kan kanske visa sig vara meningsfulla.

Värdet  $\vartheta_0$  är lätt att bestämma i praktiken genom att mäta den övertemperatur som en svart provyta utan cirkulationsvatten antar vid en given solinstrålning. Ett sådant  $\vartheta_0$ -värde borde i framtiden registreras kontinuerligt på experimentobjekten. Stickprov som hitintills företagits på experimentobjekt 1 tyder på att  $\vartheta_0$  ligger i området 0.06 - 0.10 vilket teoretiskt skulle motsvara en vind av ca 1 à 2 m/s. Sådan vindhastighet har också uppmätts vid solfångaren under t o m ganska blåsiga dagar (då den officiella vinden säkert var 2 à 3 ggr så mycket).

En sammanställning av olika solfångarkonstruktioners karakteristik visas i Figur 4.11. Det signifikanta arbetsområdet för en Sunstore-solfångare är markerat på  $\vartheta$ -axeln.



Man finner att en oskyddad solfångare i detta område är likvärdig med en skyddad. För en typisk oskyddad solfångare av Sunstoretyp är  $\eta_o \sim 0.9$  och  $\vartheta_o = 0.06$  [ $m^2 \cdot K/W$ ], motsvarande en medelvind av 3 m/s.

Inverkan av solfångarens momentankarakteristik har närmare studerats (17). Figur 4.12 visar inverkan av  $\vartheta_o$  vid  $\eta_o = 0.72$  för en horisontell solfångare. Man finner att för  $\vartheta_o = 0.06$  och en vattentemperatur på  $30^\circ C$  fås en årsenergiinfångning av  $250 \text{ kWh/m}^2$  år. För en solfångare med  $\eta_o = 1.00$ , Figur 4.13, fås för  $\vartheta_o = 0.06$  en årsenergiinfångning på  $350 \text{ kWh/m}^2$  år vid  $30^\circ C$ .

Nästa steg har varit att studera inverkan av solfångarens lutning mot horisontalplanet (dock vänd mot söder). Årsinfångningen som funktion av lutningen för solfångare med olika momentankarakteristik och för olika vattentemperaturer har därför beräknats. Figur 4.14 visar påverkan för en solfångare med  $\eta_o = 0.72$  och  $\vartheta_o = 0.06$ . Man finner att vid en vattentemperatur på  $30^\circ C$  förbättras årsinfångningen från  $250 \text{ kWh/m}^2$  år till  $400 \text{ kWh/m}^2$  år om solfångaren reses från horisontellt läge till  $40^\circ$  lutning. Vid  $\eta_o = 1.00$  med i övrigt samma förutsättningar fås en förbättring från  $350 \text{ kWh/m}^2$  år till  $560 \text{ kWh/m}^2$  år, se Figur 4.15.  $\eta_o = 1.00$  betyder att  $\vartheta_{100} = 0$  och motsvarar en solfångare med termisk "korts lutning" mellan absorbytan och det värmebärande mediet - vattnet. En sådan solfångare skulle kunna vara uppbyggd med en absorbyta av tunn metallplåt, som på sin undersida är helt "genomblödd" av vatten.  $\eta_o = 1.00$  motsvarar också bra nära av en öppen vattenyta, d v s en grund sjö eller damm.

Den genomsnittliga energiinfångningen per dygn för varje månad har även beräknats för olika lutningsvinklar på solfångaren. Figur 4.16 visar en sådan beräkning för en solfångare med  $\eta_o = 0.72$  och  $\vartheta_o = 0.12$ , d v s en solfångare som är skyddad (glasad). Man finner att den huvudsakliga energiinfångningen sker på sommaren. Inte ens en vertikal solfångare kan insamla nämnvärda energimängder under vår och höst.

Tabell 4.1 visar förbättringen i instrålning respektive infångning vid  $30^\circ C$  för några solfångare, då dessa lutas  $40^\circ$  i förhållande till horisontell montering. Man finner att ju enklare solfångaren är, d v s med sämre momentankarakteristik, ju känsligare är den för lutningen. Man

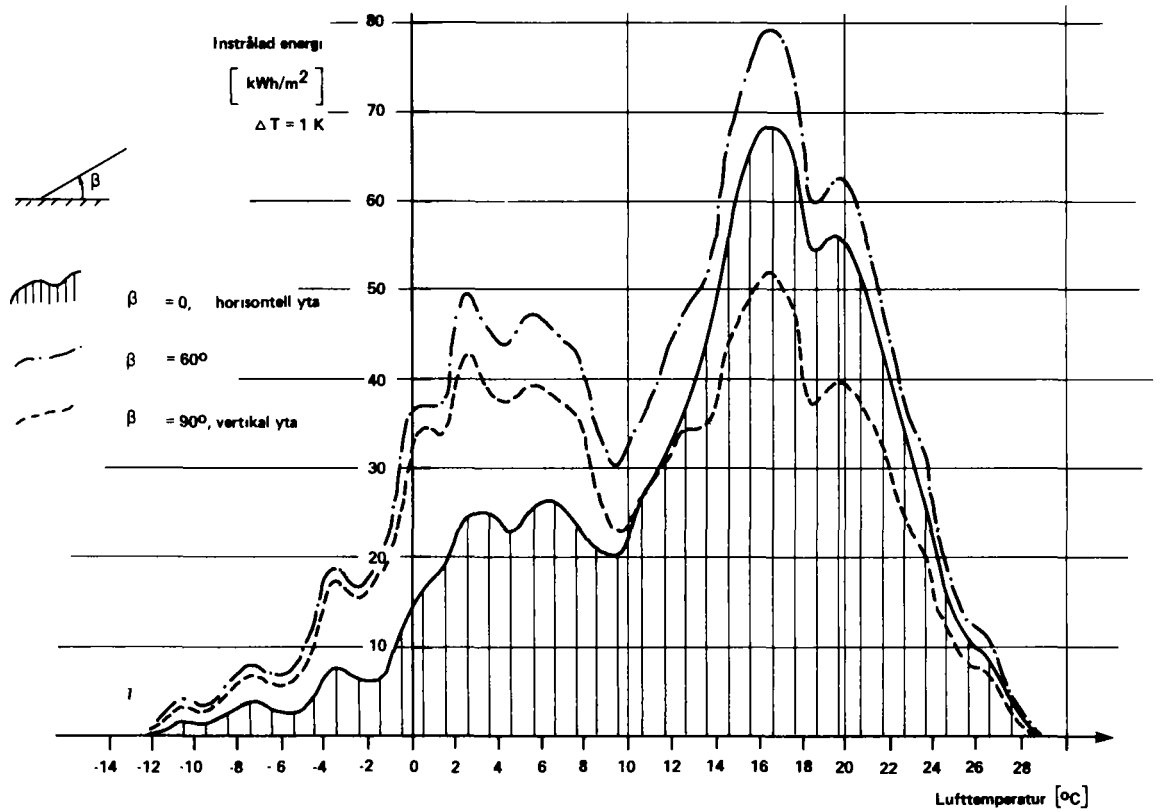


Fig. 4.4 Instrålad energi som funktion av lufttemperaturen vid några olika lutningsvinklar  $\beta$  hos ytan. 1971 års väder. Summering över 1-gradsintervall.

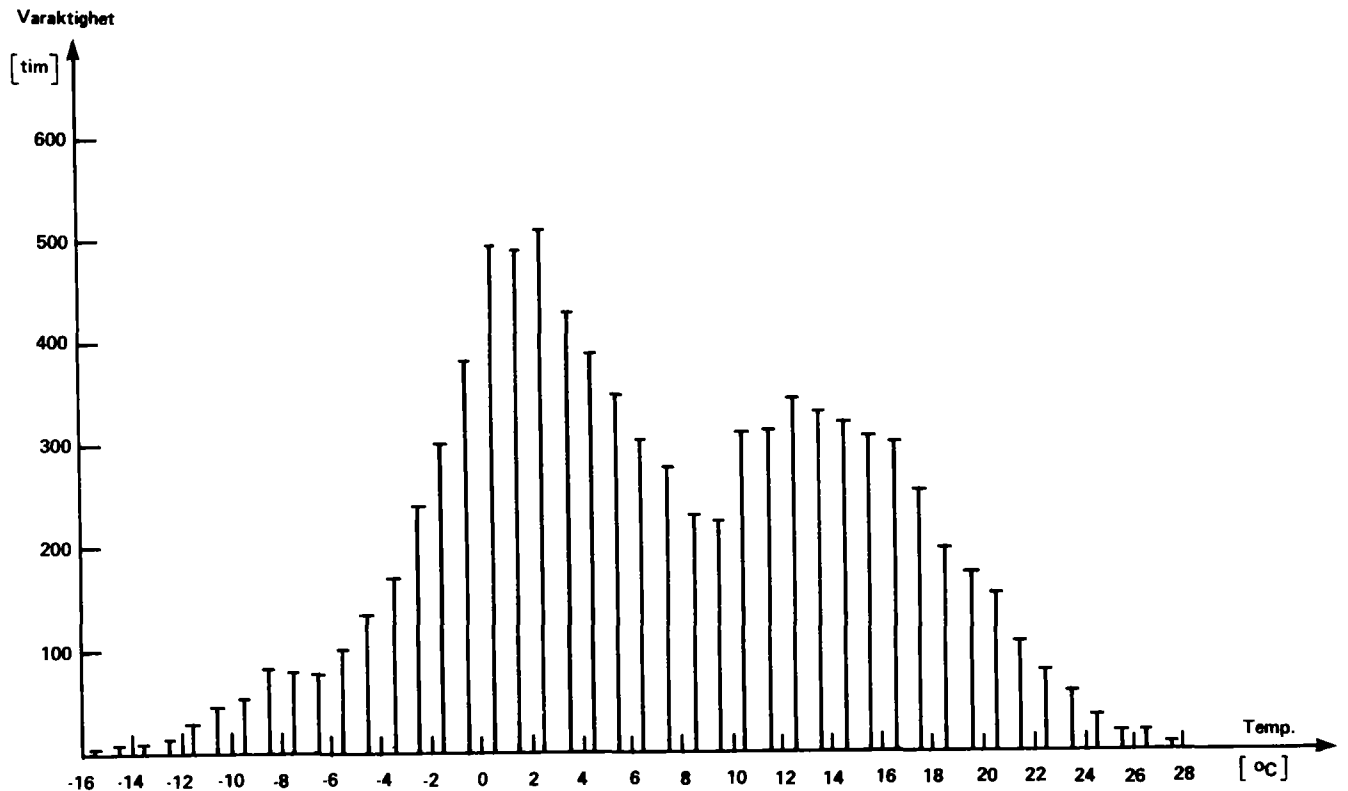


Fig. 4.5 Varaktighet för olika temperaturer år 1971. Summering gjord över 1-gradsintervall.

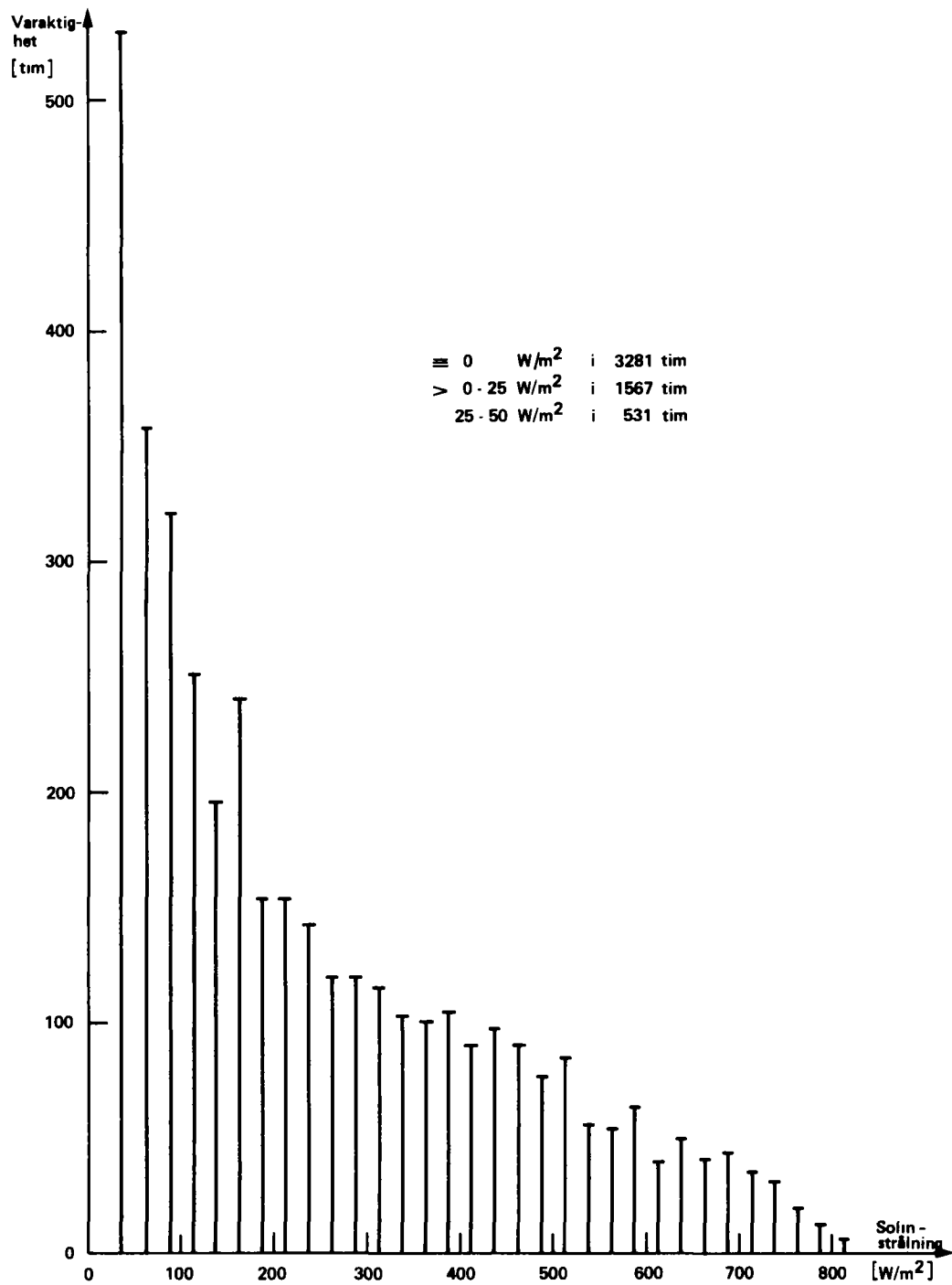
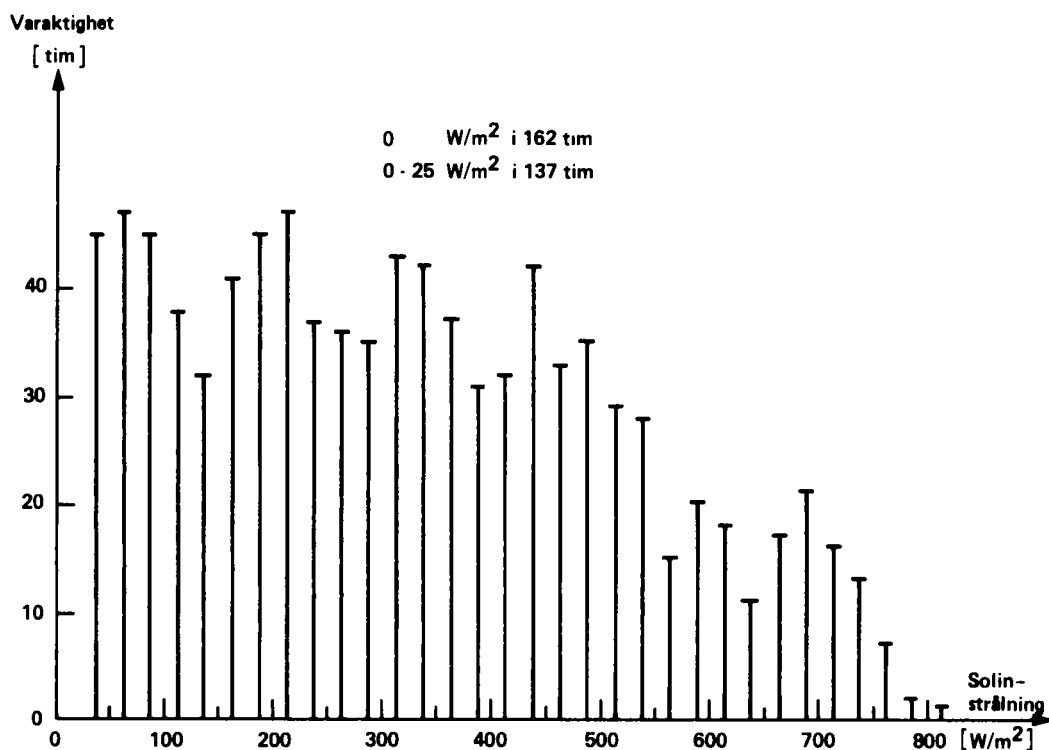


Fig. 4.6 Varaktighet för solinstrålning på en horisontell yta. Summering gjord i intervall om 25 W/m<sup>2</sup> oberoende av temperaturen.



Figur 4.7 Varaktighet för solinstrålning på en horisontell yta. Summering gjord i intervall om 25 W/m<sup>2</sup>. Temperaturintervall 15 - 20<sup>o</sup>

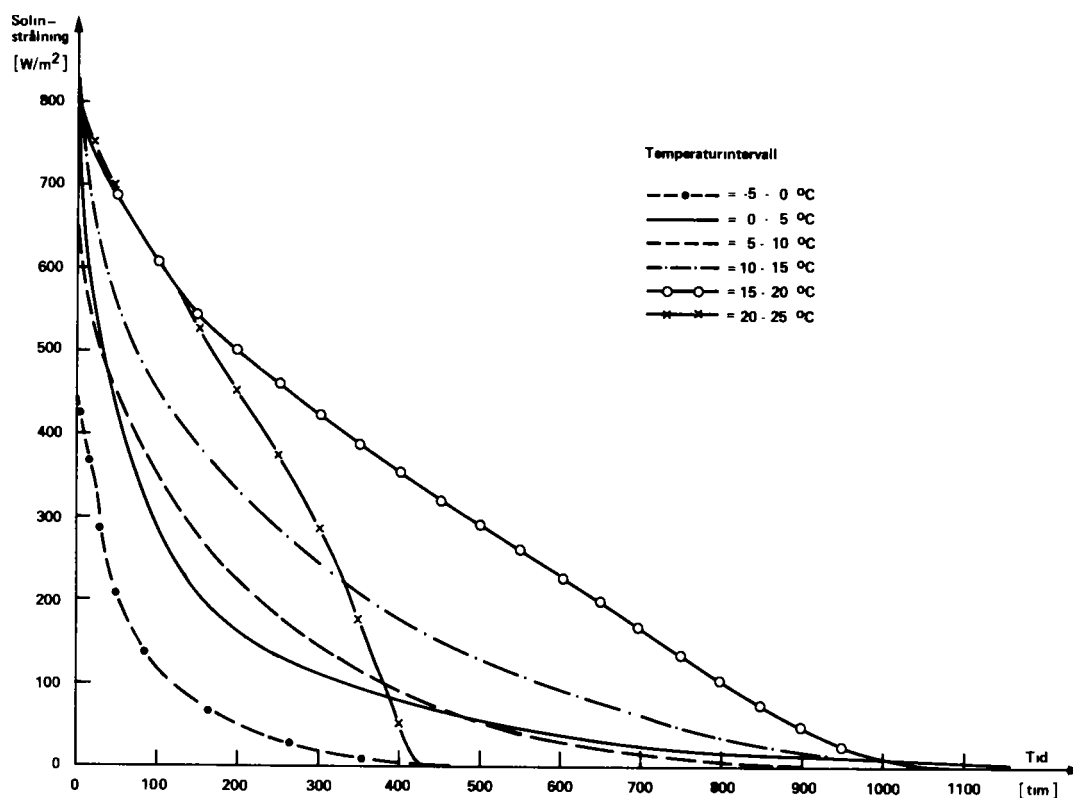
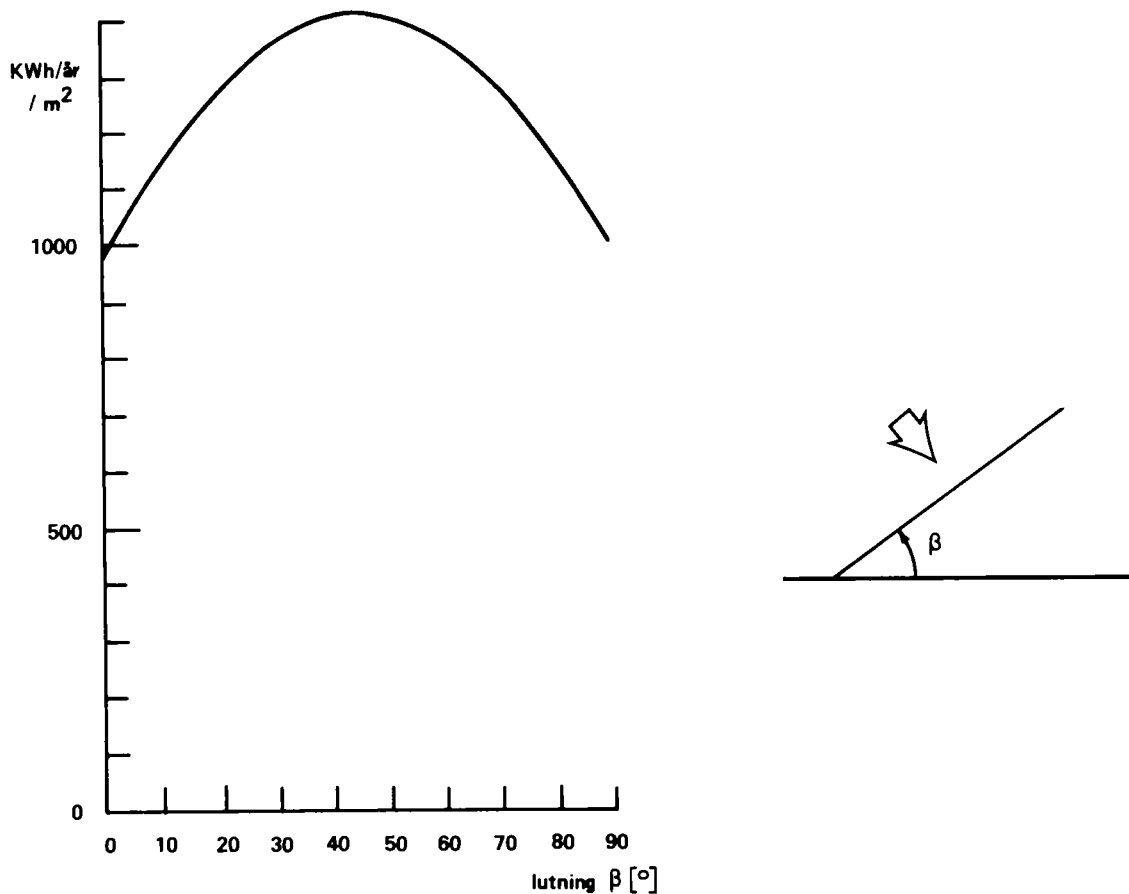
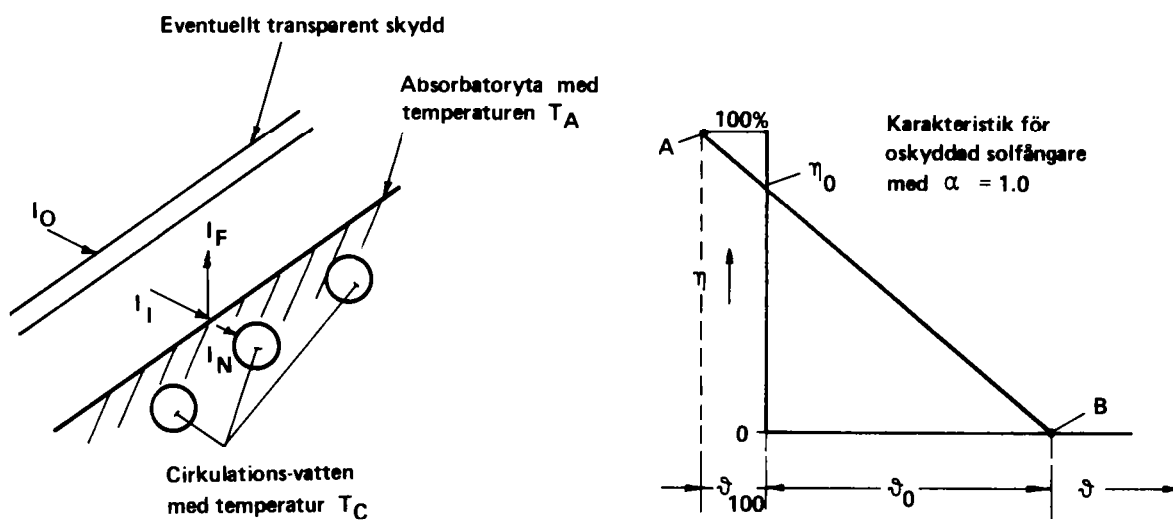


Fig. 4.8 Varaktighet för solinstrålning på en horisontell yta. Kurvorna anger hur många timmar solinstrålningen överstiger ett visst värde i resp. temperaturintervall.



Figur 4.9 Instrålad energi mot ytor med olika lutning.



För en oskyddad solfångare:

I punkt A gäller:  $I_F = 0$  dvs  $\delta_{100} = \frac{1}{K_{sc1}}$

I punkt B gäller:  $I_N = 0$  dvs  $\delta_0 = \frac{1}{K_{scu}}$

Men då  $K_{scu} = 5,7 + 3,8 \cdot V$  där:  $V$  är vind vid solfångarytan [m/s]

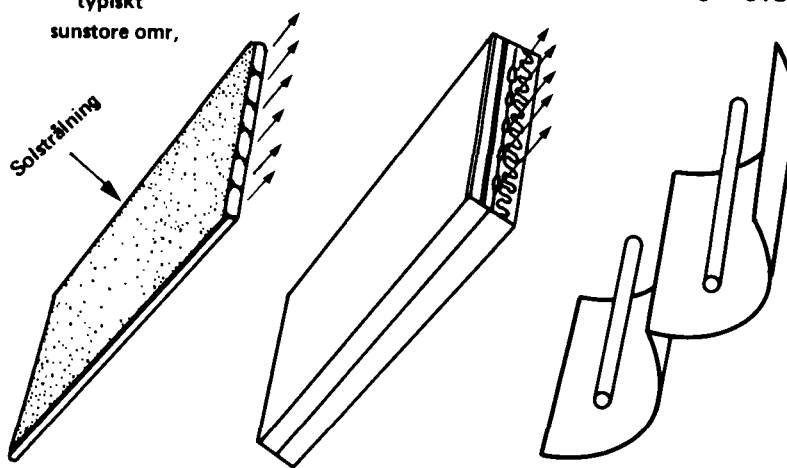
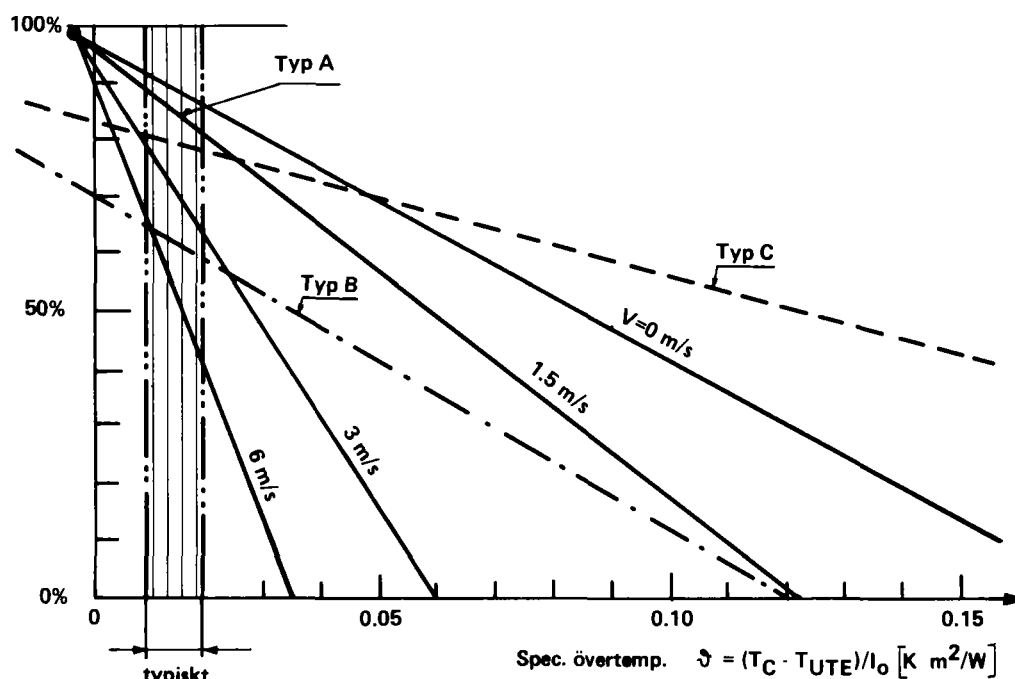
fås:

$V =$	0	1,0	2,0	3,0
$\delta_0 =$	0,175	0,105	0,075	0,058

Figur 4.10 Solfångarkarakteristik

## Solfångareffektivitet

$$\eta = I_N / I_0$$

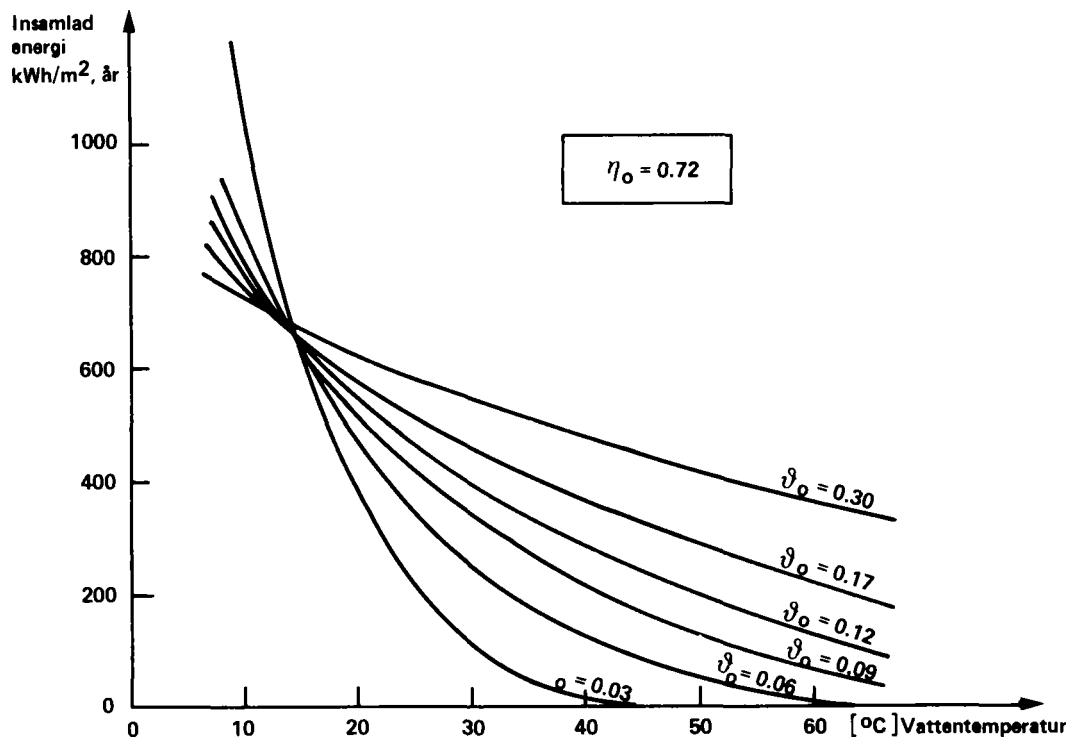


Oskyddad (Typ A)

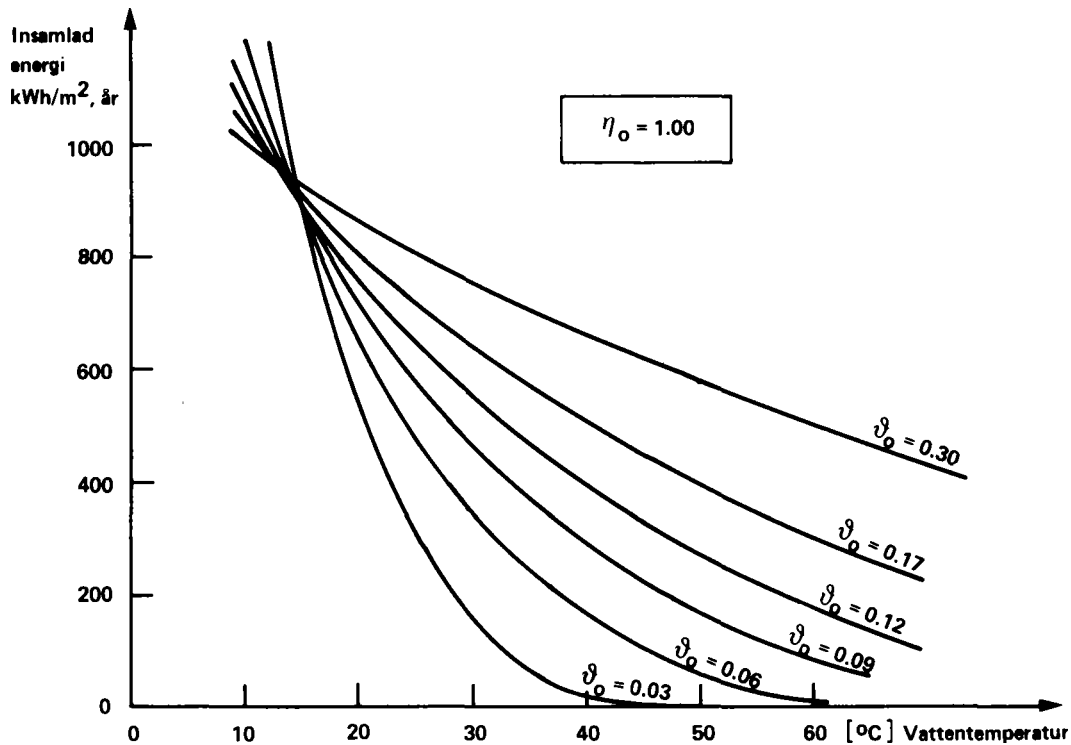
Skyddad (Typ B)

Fokuserande (Typ C)

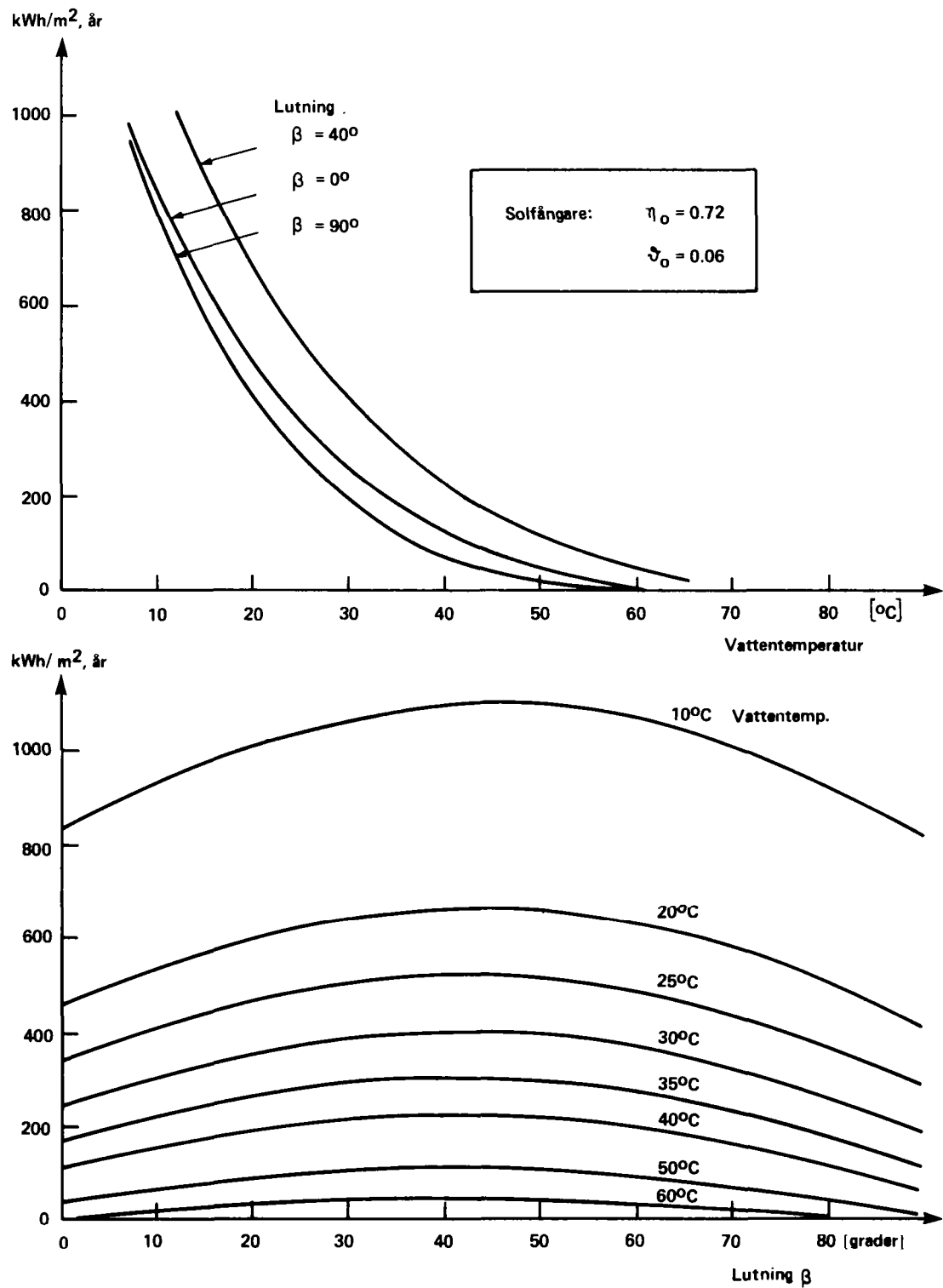
Figur 4.II Olika solfångares effektivitet s f a specifik övertemperatur.



Figur 4.12 Insamlad energi som funktion av vattentemperatur vid olika effektivitetskurvor för solfångare.

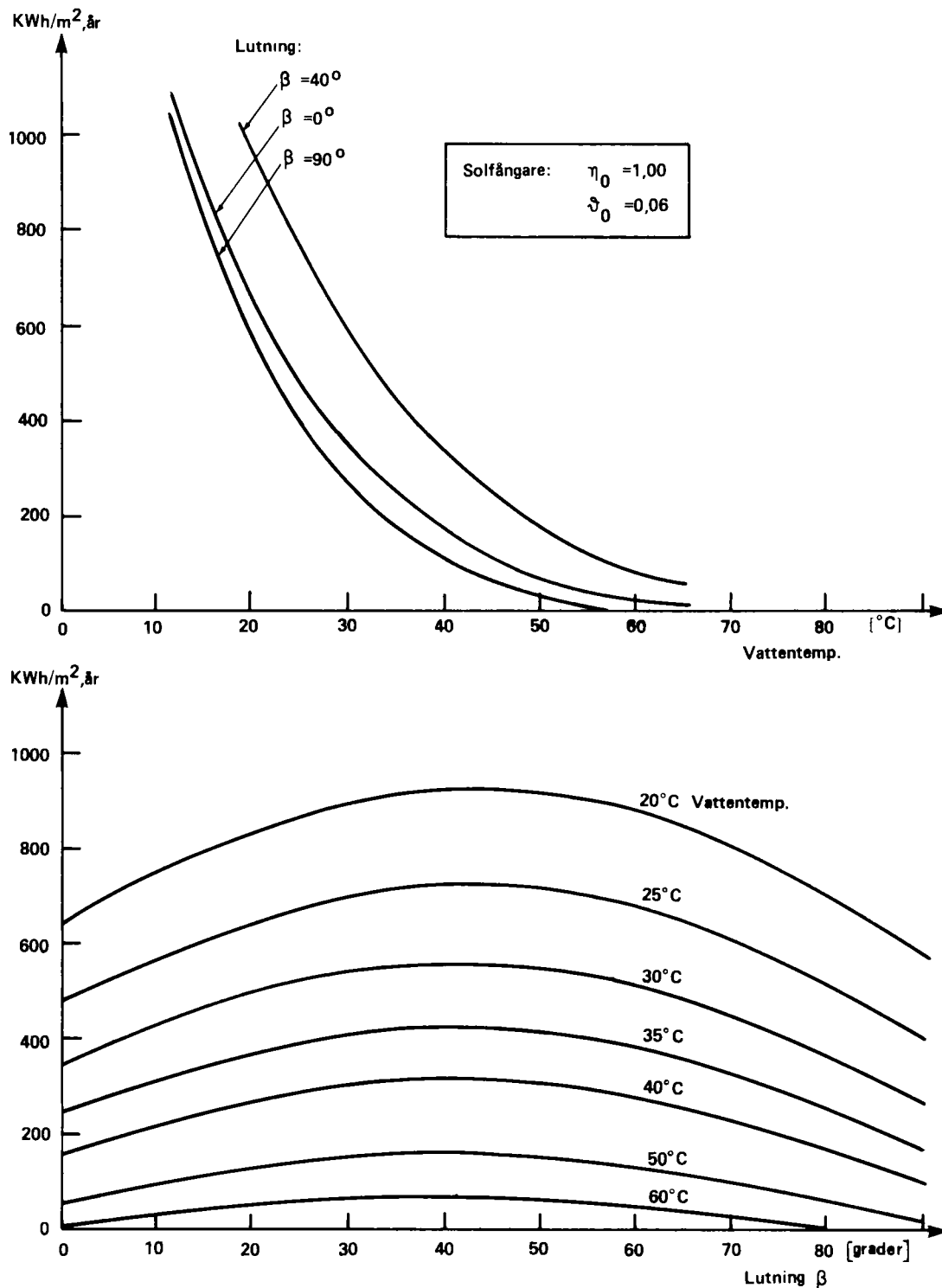


Figur 4.13 Insamlad energi som funktion av vattentemperatur vid olika effektivitetskurvor för solfångare.

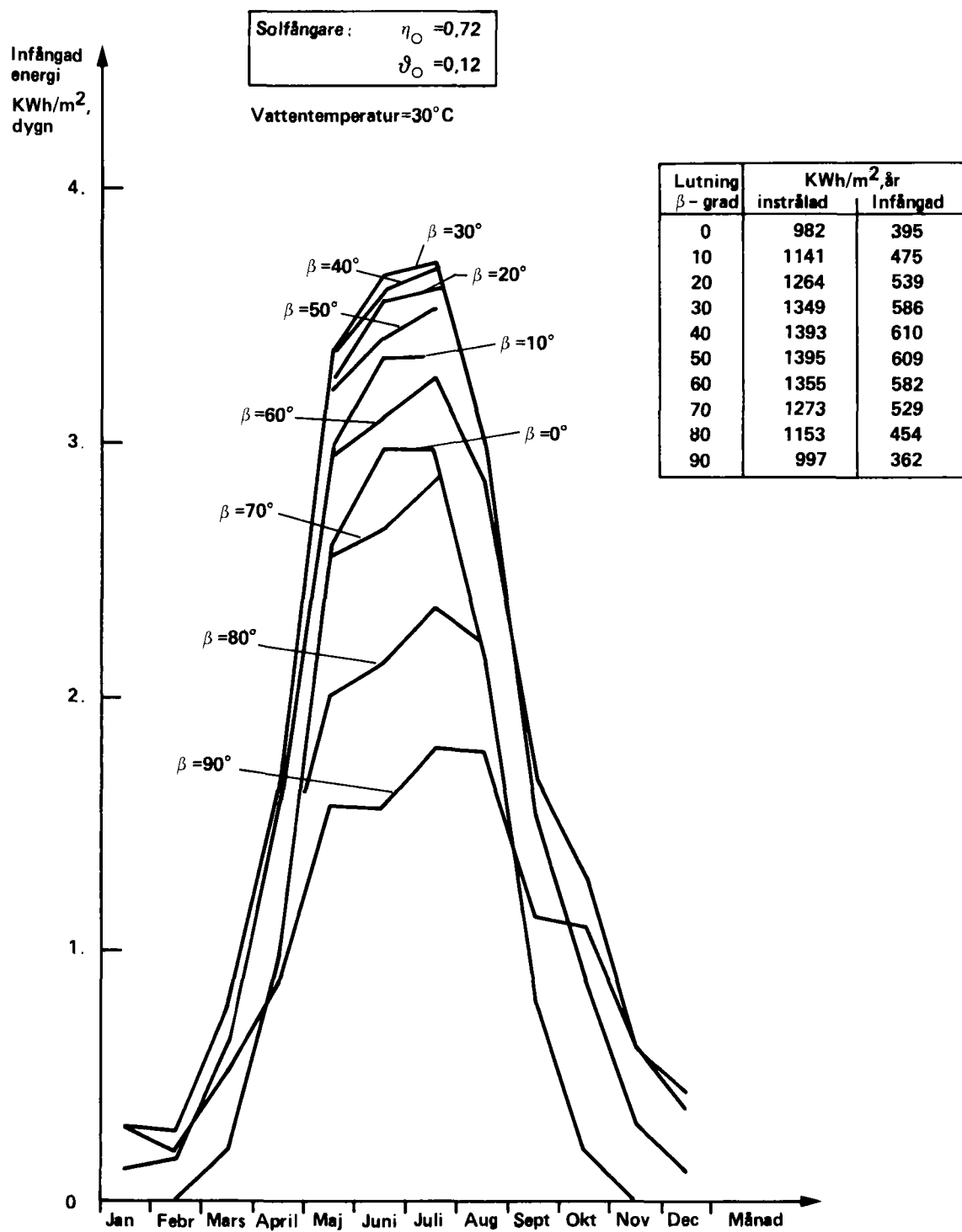


Figur 4.14 Insamlad energi vid olika lutning på solfångare och vid olika vattentemperaturer.





Figur 4.15 Insamlad energi vid olika lutning på solfångare och vid olika vattentemperatur.



Figur 4.16 Infångad energi vid olika lutningsvinklar på solfångaren.

kan också avgöra de olika solfångarnas inbördes relationer. Av en solfångare av den oskyddade typen (typ 3) krävs något större yta än av den skyddade typen (typ 1) för samma energiinfångning.

Tabell 4.1

Solenergifångning vid olika lutning för olika solfångare vid 30°C

TYP NR	Solfångare		Energi [kWh/m <sup>2</sup> år]		FÖRBÄTTRING
	$\eta_o$	$\delta_o$	$\beta = 0^\circ$	$\beta = 40^\circ$	
	INSTRÅLNING		982	1 393	1.43
1	0.72	0.12	395	610	1.54
2	0.72	0.06	250	400	1.59
3	1.00	0.06	350	560	1.60
4	0.72	0.03	150	280	1.87

#### 4.2.2 Kravspecifikation

Kravsättning av solfångarna har gjorts med utgångspunkt från analysen samt genom erfarenheter som vunnits vid provtillverkning och provning. Erfarenheterna från experimentanläggningen i Sigtuna har varit särskilt betydelsefulla, kapitel 5.8 och 5.9.

Kravspecifikationen är preliminär, eftersom optimeringsmetoder för dimensionering av ett helt energisystem ej har utvecklats under perioden. För att kunna kravsätta en ekonomiskt och prestandamässigt optimerad solfångarkonstruktion, krävs en betydligt större insats än vad som inrymts i denna verksamhet. Kravspecifikationen återfinns i Tabell 4.2.

#### 4.2.3 Tillgängliga solfångare

Ett stort utbud av solfångare finns som passar in på Sunstore-metodens lågtemperaturteknik. De är av den oskyddade typen och är i första hand avsedda för värmning av simbassänger.

De flesta solfångarna är dock nyutvecklade och ej tillräckligt utprovade. De är därmed behäftade med olika brister såsom:

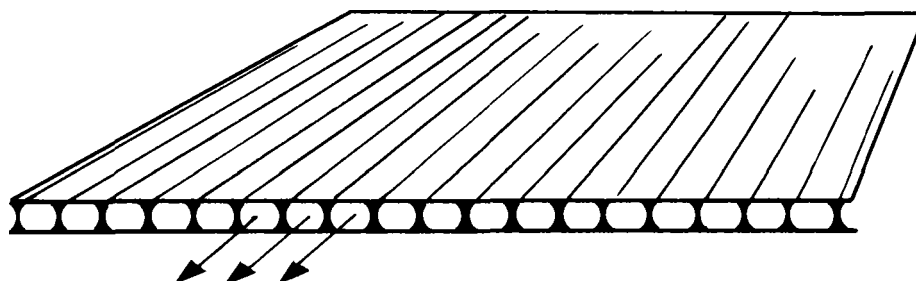
- dålig mekanisk stabilitet
- korrosionskänsliga
- högt strömningsmotstånd
- ojämn flödesfördelning
- outvecklad monteringsmetod
- dålig tålighet mot förekommande övertemperaturer.

Detta medför dåliga prestanda, som med tiden blir ännu sämre. Fabrikanternas uppgifter om termiska och hydrauliska prestanda är ofta bristfälliga och tvetydiga.

Priset på dessa solfångarpaneler bestäms idag av efterfrågan och marknadsföringsstrategier. Den verkliga framställningskostnaden, baserat på kostnaden för material, maskininvestering och arbete, synes för vissa konstruktioner kunna bli betydligt lägre än vad som gäller idag vid inköp.

Flera konstruktioner är utvecklingsbara för en anpassning till Sunstores kravspecifikation. Bland dessa konstruktioner kan nämnas Fafco- och Robinson-panelerna, se Figur 4.17. Dessa tillverkas idag i längder på upp till 3 meter med påsvetsade anslutningsrör. Vid montering av panelerna krävs ett bärande underlag som tål förekommande laster. Den hydrauliska hopkopplingen sker med gummislang och slangklämmor.

Panelerna bör kunna vidareutvecklas och integreras med övriga takfunktioner såsom bärighet, isolering och utseende, se Figur 3.2.

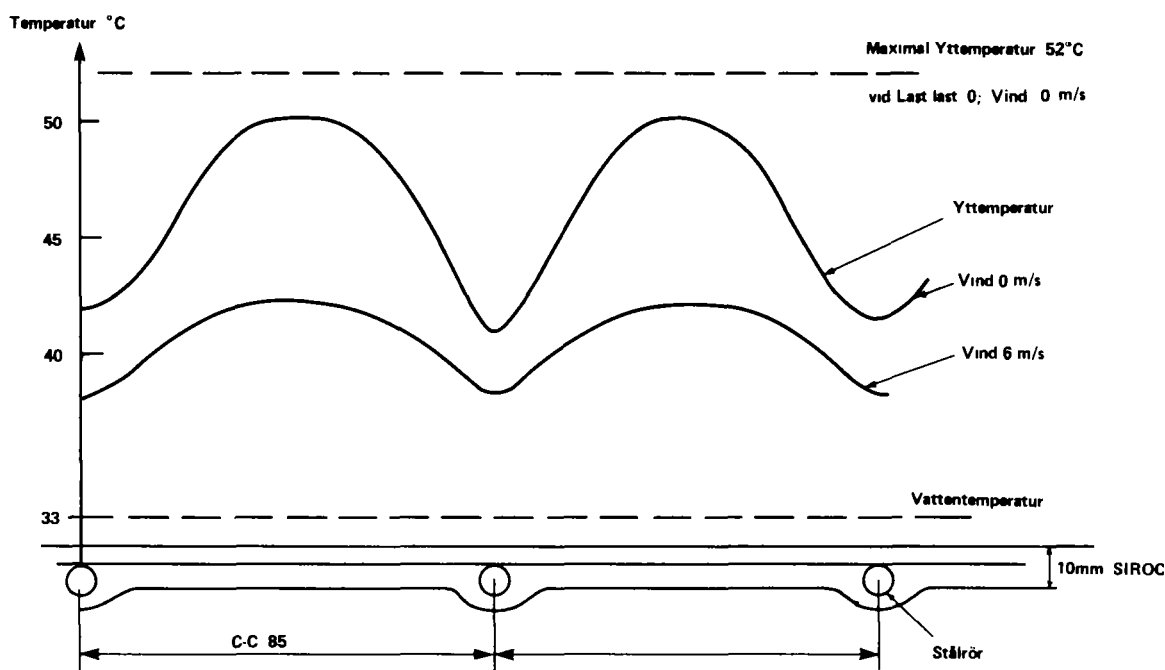


Figur 4.17 Fafco-panel

Tabell 4.2

## Kravspecifikation solfångare

Värmegenomgångskoefficient (vatten → ytteryta)	> 100 W/m <sup>2</sup> , K
Värmegenomgångskoefficient (vatten → underyta)	< 0.2 W/m <sup>2</sup> , K
Absorptionskoefficient för solljus	> 0.95
Max tryckfall vid absorberat 700 W/m <sup>2</sup> och $T_{in} - T_{ut} = 4$ K	0.01 MPa
Högsta olikformighet i flödesfördelning mellan olika absorbatorytor	10 %
Max tillåtet hydrauliskt övertryck	0.2 MPa
Max tillåtet hydrauliskt undertryck	0.1 MPa (vacuum)
Max tillåten temperatur	80°C
Min tillåten temperatur	-40°C
Ytbelastning	Enligt byggnorm för tak
Punktbelastning	Enligt byggnorm för tak
-	Dränering
	Solfångarna skall i sitt monterade skick antingen vara fullständigt dränerande (skall kunna avtappas på vatten) eller också tåla frysning. Eventuellt kan glykol accepteras som frysskydd. Solfångarna skall effektivt kunna avluftas.
-	Korrosion, åldring
	Rörsystemet skall tåla förekommande cirkulationsvatten. Panelytan skall tåla förekommande UV-strålning, sur nederbörd m m.
-	Integration
	Solfångarpanelerna skall vara integrerade med övriga taktäckningsfunktioner såsom väderskydd, isolering, hållfasthet, utseende m m.
-	Montering
	Solfångarpanelerna skall kunna monteras på takstolar med c/c-avstånd = 120 cm, samt enkelt kunna hydrauliskt sammankopplas.
-	Skador
	Vid skador på panelerna skall dessa enkelt kunna lagas, utbytas eller eventuellt förbikopplas.



Figur 4.18 Prov med SIROC-solfångare.

#### 4.2.4 Experiment

Verksamheten har inneburit viss provtillverkning, tillverkning av provrigg samt provning och utvärdering. Verksamheten var förlagd till Euroc Development, Arlov. Målet har varit att skaffa sig en överblick av praktiska problem som man kan möta vid utveckling av solfångare. Verksamheten har inte haft någon större omfattning.

Solfångarpaneler har tillverkats av glasfiberarmerad betong (SIROC) med ingjutna rör för bortledning av värmen med vatten. Panelerna har utsatts för strålning från kraftiga glödlampor (ljus + värmestrålning) samt varierande vind (vid rumstemperatur). Mätning av yttemperaturen vid nollast och vid en vattentemperatur av 33°C har gjorts (forcerat vattenflöde). Resultatet visas i Figur 4.18. Man ser att flänsverkan är dålig och måste förbättras i den aktuella konstruktionen. Solfångaren är utvecklingsbar när det gäller integration med isolering, montering osv.

Begränsade försök i lab gjordes under 1978 för att undersöka inverkan av vind och skydd (glasning). Undersökningarna har varit kvalitativa, d v s endast jämförande vid likartade provbetingelser.

### 4.3 Marklager

Verksamheten har omfattat analys av intern och extern värmeströmning för olika marklagerkonfigurationer. Vidare har analyserats värmeströmningen kring enskilda hål samt inverkan av vattenförande sprickor. Olika infodringsmetoder har studerats, både för bergbörande hål och för installation i lera. Infodrings- och värminingsförsök har utförts i lera och berg. Försöken i berg redovisas i Kapitel 5.

#### 4.3.1 Analys

Ett marklagers egenskaper har analyserats ur termisk och geohydrologisk synpunkt. Den termiska analysen har i sin tur varit uppdelad i två områden beroende på metodik vid analysen. Det ena sättet har utgjorts av analytiska (strikt matematiska) lösningar av starkt förenklade problemställningar och det andra har bestått av numeriska lösningar med hjälp av matematiska datormodeller (simuleringar).

En av de viktigaste prestanda för ett marklager är dess effektsväljningsförmåga. Denna egenskap uttrycker ett håls förmåga att ta emot effekt per hålmeter för en given temperaturreaktion hos hålvägg eller cirkulationsvattnet. Då både karaktären på effektexiteringen och temperaturreaktionen kan definieras på ett flertal olika sätt har i projektet definierats de fem olika prestanda som ses i figur 0.4 och 0.5. Definition nr 1 används vid experiment, då det är lättast att apparatmässigt utföra ett experiment med denna exitering. De övriga definitionerna kommer till användning vid analys och dimensionering.

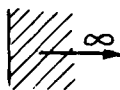
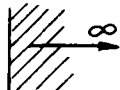
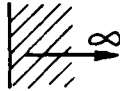
#### Analytiska lösningar av de termiska problemen

De analytiska metoderna har utgjort mycket värdefulla verktyg för att övergripande kunna studera både mikro- och makroskopiska problem för värmeledningsförlopp i ett marklager. I synnerhet var detta av stort värde under projektets första år.

I tabell 4.3 illustreras en förteckning över hur referenserna täcker in de olika renodlade frågeställningarna. Det är att märka att var och en av de tre symmetrifallen (plan, cylindrisk och sfärisk) är uppdelad i två olika massfördelningsfall. Ett med massa ut till oändligheten (fall 1, 3 och 5) och ett andra med massa ut till en perfekt isolering (fall 2, 4 och 6).

Fall 1 och 2 är användbara för studier av värmeläckage från lagrets begränsningsytor (speciellt vid stora lager). Studier av marklagrets sväljförmåga kan göras med

Tabell 4.3 Förteckning över referenser som behandlar dynamiska värmeledningsproblem med analytiska metoder.

Fall nr	Massfördelning	Exitering 1 Plötslig ändring av ytttemp	Exitering 2 Plötslig värmefill- förel	Exitering 3 Periodisk värmefill- förel
1		(46) p 252	(46) p 256	(45) p 64 (46) p 292
2		(46) p 258		(46) p 299
3	$\zeta$ 	(1) (45) p 334	(1) (5) (8) (45) p 338	(1) (3)
4			(4) (9) (10)	
5		(2)		(2)
6				



med hjälp av fall 3. Problematik för ett "inre hål" i ett marklager är analogt med fall 4. Slutligen är fall 5 och 6 användbara då man vill skaffa sig en helhetsbild av värmeläckaget från lagret.

För alla fall i tabell 4.3 finns det tre olika exiteringar nämligen:

1. Plötslig ändring av yttemperaturen då hela massan förut haft konstant temperatur
2. Plötslig värmeförsel vid ytan (hålväggen) då hela massan förut haft konstant temperatur.
3. Periodisk till och bortförsl av värmeeffekt till ytan, utan någon nettoöverföring.

Det för ett marklager centrala problemet med hur mycket värme  $E_H$  man kan lagra under en halperiod genom att periodiskt till och bortföra värme vid ett hål utgör kombinationen - fall 4 och exitering 3.

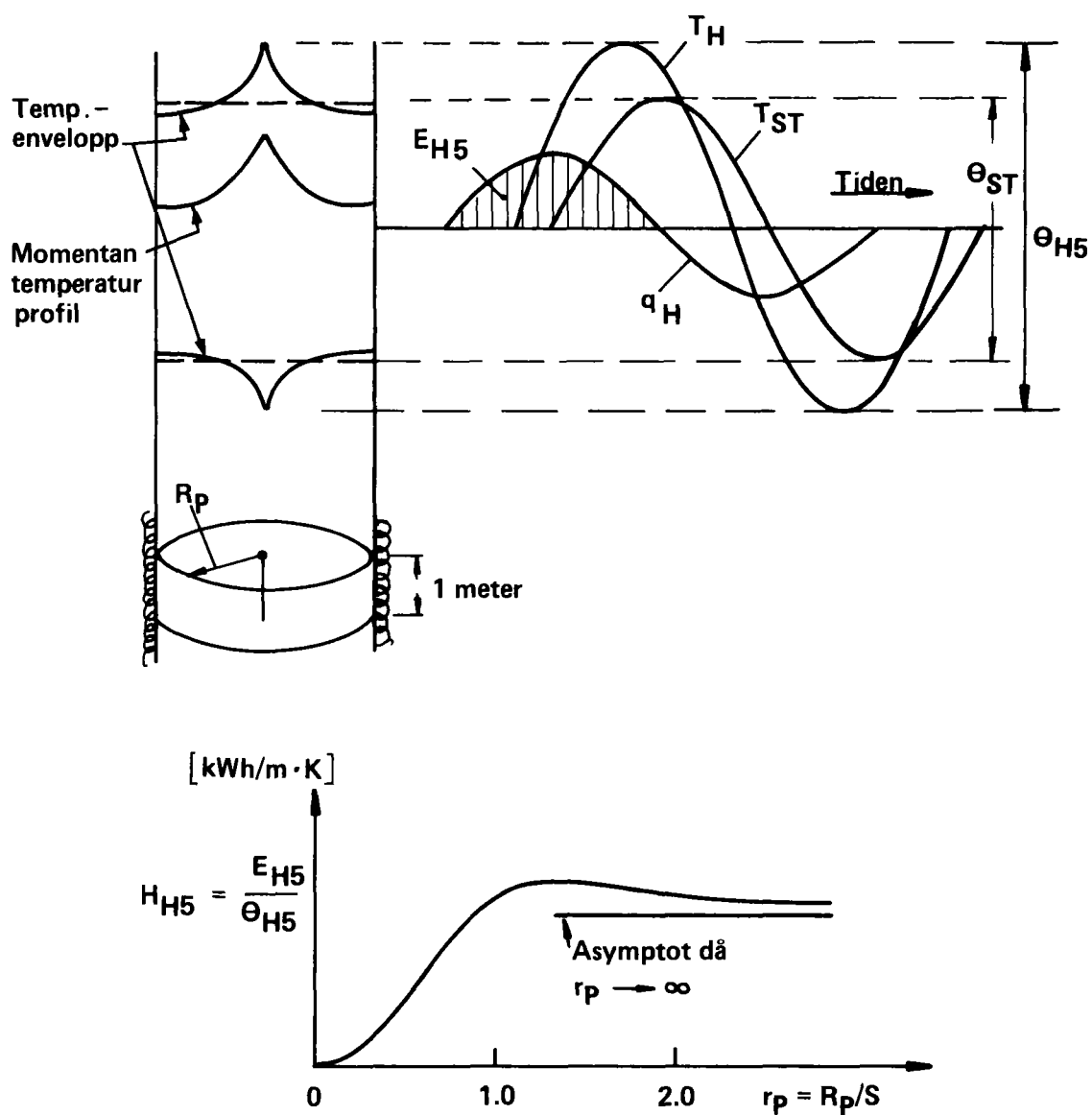
I tabell 4.3 finns ingen referens för denna kombination därför har man inom Sunstore lagt ner stor möda på att få fram ett närmevärde på den exakta lösningen av detta problem. Under dessa försök började man tidigt ana att kvoten  $E_{H5}/\theta_{H5} = H_{H5}$  dvs den energimängd som går att lagra per hålmeter under en halvperiod och per grad temperatursving för cirkulationsvattnet, uppvisar ett optimum för någon viss specifik participeringsradie ( $r_p$ ).

Efter diskussioner med Johan Claesson, Matematisk fysik LTH, har man där lyckats med att ta fram den exakta analytiska lösningen vilken kommer att publiceras av LTH senare i år. Denna lösning bekräftar helt det paradoxala att det finns en optimal håldelning (som motsvaras av ett viss  $r_p$ ) vid vilken större mängd värme kan lagras än om hålet omgavs av en oändligt rymd av massa, se figur 4.19.

#### Numeriska lösningar av de termiska problemen

För numerisk lösning av marklagerproblem har skapats två olika matematiska modeller. Båda är cirkelsymmetriska och har använts för studier av läckagebilden hos marklagret som helhet samt av effektsväljningsförmågan hos de enskilda hålen i sådana sammanhang då inte de analytiska metoderna har varit tillräckliga. För marklagrets del har numeriska metoder bl a använts vid:

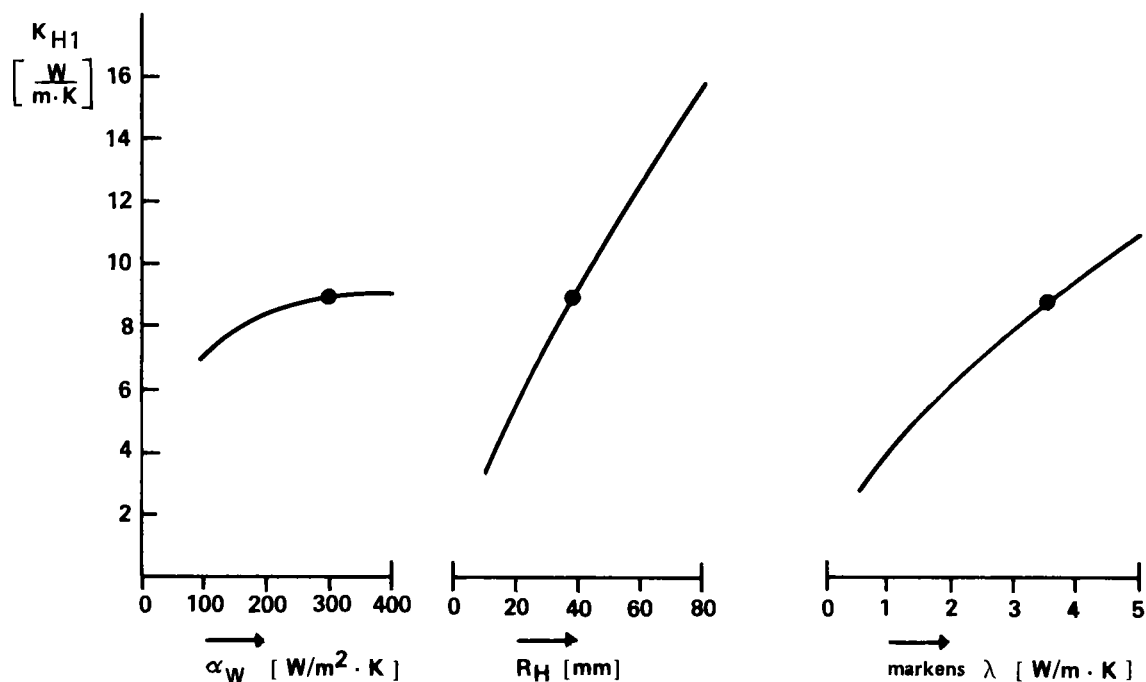
- Studie av håltemperaturförlopp vid påtryckning av 12-timmars halv-sinus-puls (16). Se Figur 0.4
- Laddningsförlopp för marklager (19). Se kapitel 5
- Studier av transportfördröjningsfenomen vid laddning av ett hål (20). Se kapitel 5.



Figur 4.19 Värmeförlopp förknippad med marklagrets inre hål (periodisk exitering med perfekt isolering på radien  $R_p$ , se definition nr 5 i figur 0.5)

- Studier av laddningstrategier för ett lager (23)  
Se kapitel 5.
- Känslighetsanalys av effektsväljningsförmågan (26)
- Uppvärmningsförlopp för marklagret för experiment-  
objekt 1 (29). Se kapitel 5.

Som framgår av ovanstående listning har de flesta av dessa analyser redan kommenterats på annan plats i denna rapport. Känslighetsanalysen i referens 26 är dock sammanfattad i figur 4.20. Här är att märka att effektsväljningsförmågan



Figur 4. 20 Känslighetsanalys av effektsväljningsförmågan hos ett hål i berg med de nominella värdena;

värmeövergångstalet  $\alpha_H = 300 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ,

hålradien  $R_H = 36 \text{ mm}$  och markens värmeledningsförmåga

$\lambda = 3.5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  (berg).

är definierad enligt definition nr 1 (se figur 0.4) för att lättare vara direkt jämförbar med experiment. Känslighetsanalysen av effektsväljningsförmågan  $K_{H1}$  har givit:

- Värmeövergångstalet  $\alpha_w$  har praktiskt taget ingen betydelse
- $K_{H1}$  är i det närmaste proportionell mot hålradien  $R_H$
- $K_{H1}$  är även i det närmaste proportionell mot märkens värmeledningstal  $\lambda$ .

#### Geohydrologisk analys

Jordvärmegruppen vid CTH har på Sunstores uppdrag studerat problematik kring grundvattenflöde i värmeackumulator i berg. Arbetet har omfattat litteraturstudier, överslagsberäkningar av vattenflöden i sprickor samt uppbyggnad av en datormodell. Med hjälp av denna har studerats temperaturutvecklingen i berget i sprickornas närmaste omgivning. Verksamheten finns redovisad i två rapporter (38, 39).

Litteraturstudier har bland annat omfattat olika metoder för beräkning av vattenflöde i berg. Det har gällt metoder för den enskilda sprickan såväl som metoder för ett större bergavsnitt. Dessa metoder har oftast varit grundade på ekvationerna för spaltströmning och inneburit att sprickorna approximerats med spalter med parallella, glatta ytor. Även metoder som tar hänsyn till sprickornas råhet och kontinuitet har studerats. Litteraturstudierna har även innefattat olika metoder för att bestämma bergets hydrauliska egenskaper i fält. Bland dessa metoder kan nämnas Slug och Bailer-test, provpumpning samt olika typer av manschettförsök. De metoder som finns idag ger osäkra värden. Utvecklingen av nya metoder som t ex borrhålsloggning och mätning med radar går emellertid sanbbt, varför området fortlöpande bevakas.

Formlerna som framtagits för beräkning av vattenflödet i ett bergavsnitt bygger emellertid på vissa förenklade antagande. Formlerna bör därför användas med försiktighet och det är viktigt att bedöma hur dessa antagande påverkar flödet. Vi bedömer att de flesta antagandena innebär att man i verkligheten får mindre flöden än de teoretiskt beräknade.

Vidare framföres i rapporterna farhågor om att den värme som föres ned i berget orsakar spänningar som i sin tur påverkar sprickbredd och flöde, samt att detta förhållande bör undersökas närmare.

Sådana undersökningar har utförts i Stripa Gruva med permeabilitetsprovning av uppvärmd granit. Resultaten från Stripa visar att för uppvärmt berg, temperatur ca +30°C, erhöles en markant minskning av permeabiliteten till ca hälften ( $0.2 \times 10^{-10}$  m/s). Samtidigt hade den kinematiska viskositeten minskat till ungefär halva värdet, vilket skulle innebära att totalt minskar permeabiliteten ca 4 gånger genom att berget uppvärms från ca +10°C till +36°C än om vattentemperaturen konstant skulle vara +10°C.

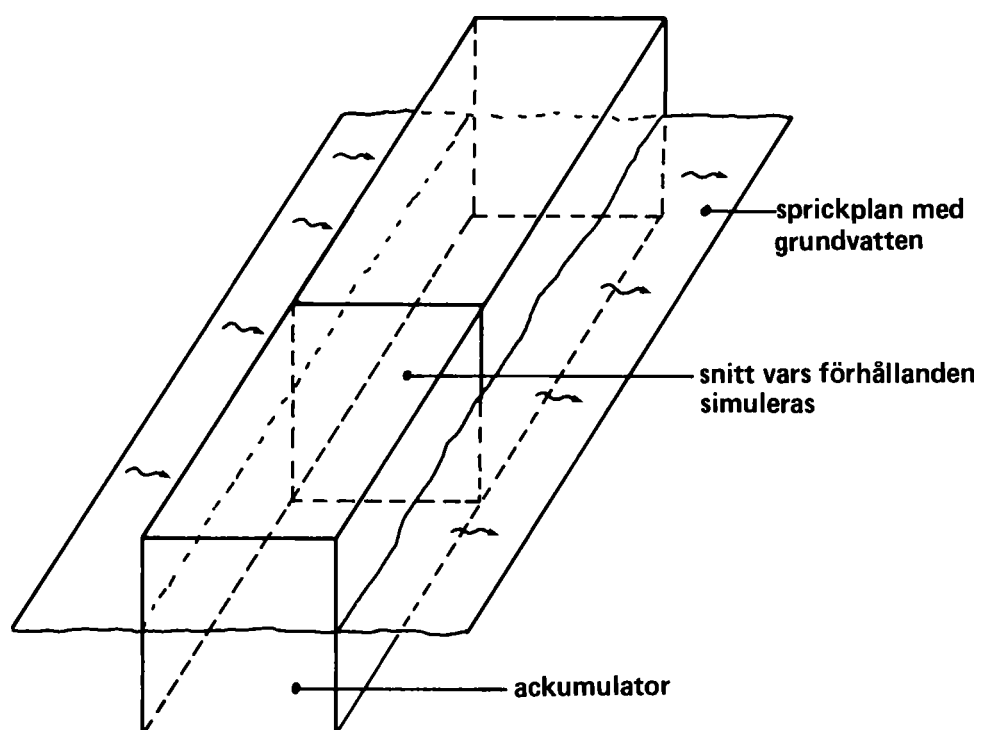
Datorsimulering av inverkan av en vattenförande spricka i ett marklager har utfört. För att inte beräkningsmodellen skulle bli ohanterligt stor byggdes en tvådimensionell modell upp enligt figur 4.21. De förhållanden som kan simuleras med denna är de som råder i ett snitt genom ett marklager där värmetransporten sker i endast ett plan, t ex ett snitt i mitten av ett långsträckt marklager.

Vid beräkningarna har marklagret värmts kontinuerligt med 1900 W per "längdmeter" av marklagret samt över en yta som anges i figur 5.22. Detta motsvarar den värmning som utförts i marklagret i Sigtuna. Genom marklagret löper en horisontell vattenförande spricka på 12.5 m djup med en grundvattengradient på 1 %. Sprickan har en vidd av 0.5 mm alternativt 0.8 mm, varvid vattenflödet blir  $1.5 \cdot 10^{-4}$  m/s respektive  $4.0 \cdot 10^{-4}$  m/s.

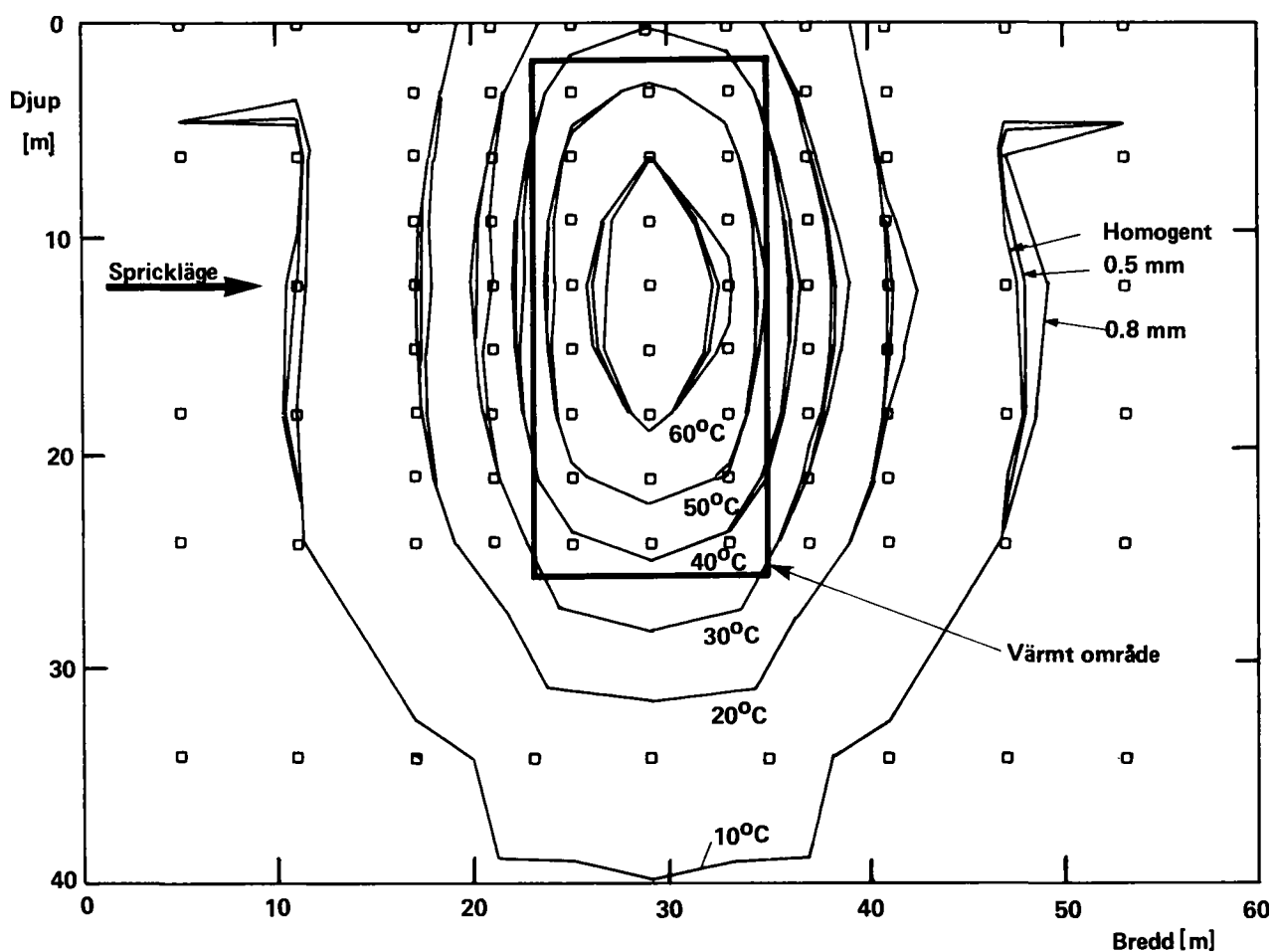
Beräkningarna visar att marklagret efter 1 år har "flyttat sig" 0.4 m intill sprickan vid 0.5 mm sprickvidd och 1.2 m vid 0.8 mm spricka. Man finner också att värmetransporten p g a vattenflödet sker betydligt långsammare än vattnets förflyttning. Den 0.5 mm vida sprickan ger en ökning av energiförlusten med 0.17 W/m och den 0.8 mm vida sprickan en ökning med 3.05 W/m. Dessa ökningsar utgör 0.014% respektive 0.25% av förlusterna på grund av ledning (läckage). Figur 5.22 visar isotermer i marklagret efter 1 års drift, dels utan vattenförande spricka, dels med olika sprickvidd enligt ovan.

#### 4.3.2 \_\_\_\_\_ Marklager i lera, projekt "Vinterviken"

Praktiska prov har utförts som inneburit installation av enskilda ledningsbanor i lera samt värmningsförsök med dessa. Resultaten från värmningsförsöken har jämförts med datorberäkning av den s k effektsväljningsförmågan.



Figur 4.21 Beräkningsmodell för undersökning av inverkan av vattenförande spricka i marklager.



Figur 4.22 Isothermer i marklager efter 1 års värmning. Påverkan av vattenförande spricka.

### Installation av ledningsbanor

Hösten 1978 utfördes installationsproven, se (12 och 13), vilka genomfördes på Nitro Consults industriområde Vinterviken i Stockholm. Försöken inleddes med undersökning av lerlagrets mäktighet på provområdet, vilket utfördes med enkel trycksondering. Sonderingen visade att lermäktigheten varierade från 7 meter till 8.5 meter.

Ledningsbanornas längd bestämdes därför till  $L = 7$  meter, för att ingen termisk kontakt skulle uppstå mellan ledningsbanornas spetsar (rörbotten) och underliggande moränlager. Vidare togs en orörd lerpelare upp i provområdet. Leran analyserades i laboratorium. Provområdets lera har en förhållandevis låg kohesion och saknar vattenförande skikt. Torkskorpans mäktighet uppgår till ca 2 meter. Överytan består av makadam och stenfyllning. För att avlägsna större stenar i överytan förschaktades varje ledningsbana till ca 1 meter djup. Schaktningen utfördes med en mindre traktorgravare.

De 14 ledningsbanorna har satts med en delning på ca 2 m. Olika utrustningar, material och metoder har provats vid sättningen av de 14 ledningsbanorna. Rör nr 1 - 6 har satts med en enkel hejarborrustrustning av Borros fabrikat, se Figur 4.23.

Rör nr 7 - 14 har satts med en 12 meter lång mast, Alimak ADS, av Linden-Alimak's tillverkning, se Figur 4.24. Ett yttre foderrör respektive en inre stång har provats vid neddrivningen i de båda olika fallen.

Två huvudtyper av plaströr till ledningsbanor har provats.

1. Korrugerad PVC  $\phi$  46/40 mm, godstjocklek 1 mm, levererad i en 100 meter lång rulle. Kapad på platsen i 7.5 m långa längder, varav 0.5 m sticker upp ovan marknivån, se Figur 4.25.
2. Slät PEH  $\phi$  50/46 mm, godstjocklek 2 mm, levererad i 5 m långa längder, skarvade på platsen.

Koaxialröret i båda fallen består av släta PVC-rör  $\phi$  28.2/25 (elrör) levererade i 3 meter långa längder, skarvade på platsen. Koaxialröret, som är slitsat i botten, står på bottenpluggen. Två olika typer av centreringskammar på koaxialröret har provats.

1. av rörleverantören Lubonyl pålimmade kammar
2. Panuit Sta-Straps, billiga buntband till elbranschen c/c 30 cm. Låshuvudet utgör distans-element. Monterade på platsen.

Förutom de ovan nämnda PVC- respektive PEH-rören har 1 st foderrör, Tiltex  $\phi$  76/68 kvarlämnats i marken till 7 meter djup. Avsikten är att mäta effektsväljningsförmågan i lera från en grövre dimension på ledningsbanan.

Slutligen har ett U-rör monterats i samma syfte som det sist nämnda röret. Material i U-röret är 2" galvaniserade vattenledningsrör.

Det omfattande manuella arbetet med hejarborren begränsar denna utrustning till att sätta maximalt ca 100 meter ledningsbana per dag. Med den använda utrustningen har man nått 80 meter djup utanför Uppsala. Däremot är det fullt realistiskt att sätta 500 meter ledningsbana per dag med den andra provande utrustningen, Alimak dräneringsmaskin ADS. Den 12 meter långa standardmasten var endast modifierad genom att det hellånga rombiska stickröret var utbytt mot ett stålrör  $\phi$  63/52 mm. Stålröret fungerar som foderrör till ledningsbanan. Neddrivningshastigheten för röret var vid proven mindre än 1 minut per sjueterslängd.

Det är viktigt att ledningsbanan vattenfylls innan foderröret dras upp. Risken är annars stor att de hydrostatiska trycket i marken och friktionen mot foderrörsväggen resulterar i att ledningsbanan (med sin ringa egenvekt) följer med upp vid uppdragningen av foderröret. Med en längre mast och en kraftigare lastbärare finns idag en övre gräns på 24 meters ledningsbana/hål.

Koaxialröret bör vara monterat i ytterröret, så att hela ledningsbanan blir komplett vid nedföringen. Genom att lera smiter åt kring det tunnväggiga ytterröret, är risken stor att ytterröret får en form som avviker från den cirkulära. Svårigheter uppstår då vid monteringen av koaxialröret.

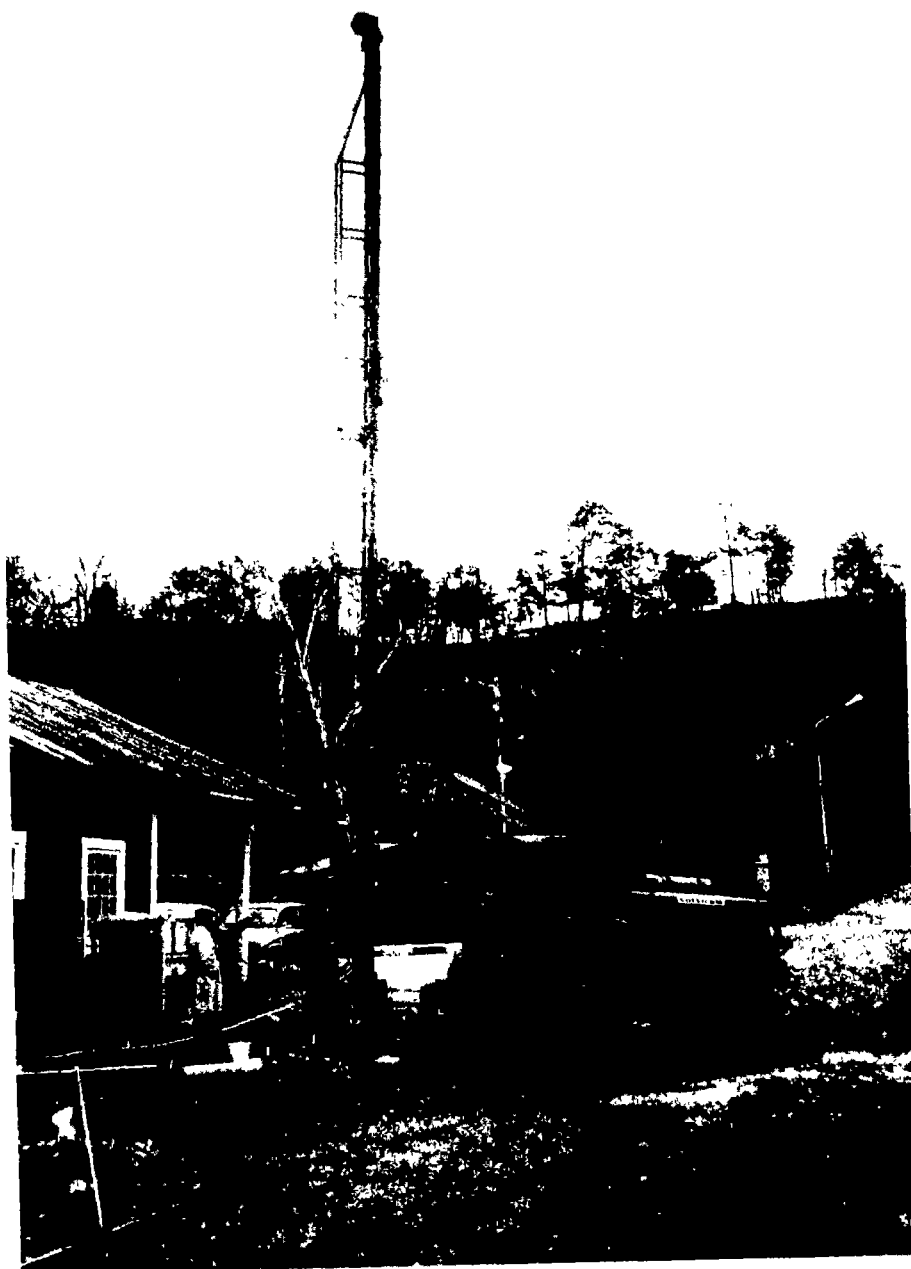
Några rör har i provningssyfte satts med en inre stång i stället för ett yttre foderrör. Försöken avbröts emellertid då två hål misslyckades, dels p g a att bottenpluggen trycktes ut och dels p g a att skarven på PEH-slangen drogs isär när friktionen mot lera på ytterrörets mantelyta ökade med djupet.

Försöken visar att kostnadsprognos avseende tryckningen av ledningsbanor i lera överensstämmer med fältförsöken i Vinterviken. Alimak dräneringsmaskin ADS med foderrör visade sig vara den klart bästa och snabbaste metoden vid försöken. Eventuellt kan denna metod integreras med en samtidig dränering av markkroppen och byggnadens undergrund. Förväntade långsiktiga marksättningar (flera år) kan då erhållas på kort tid (några månader) innan grundarbetet startar. Lera hinner konsolidera.





Figur 4.23 Hejarborrtrrustning, Borro



Figur 4.24 Alimak ADS dräneringsmaskin



**Figur 4.25** Plastslang korrugerad PVC med olika ändpluggar

### Täthetsprovning

För att bestämma tätheten på de installerade rörbanorna utfördes provtryckning med 500 kPa öt (5 m Vp). Därvid erhöles läckage för hål nr 7 och hål nr 11 med vattenförlusterna 2.3 l/dygn respektive 1.0 l/dygn. Övriga hål utvisade inga eller små läckage, varför dessa anses som täta.

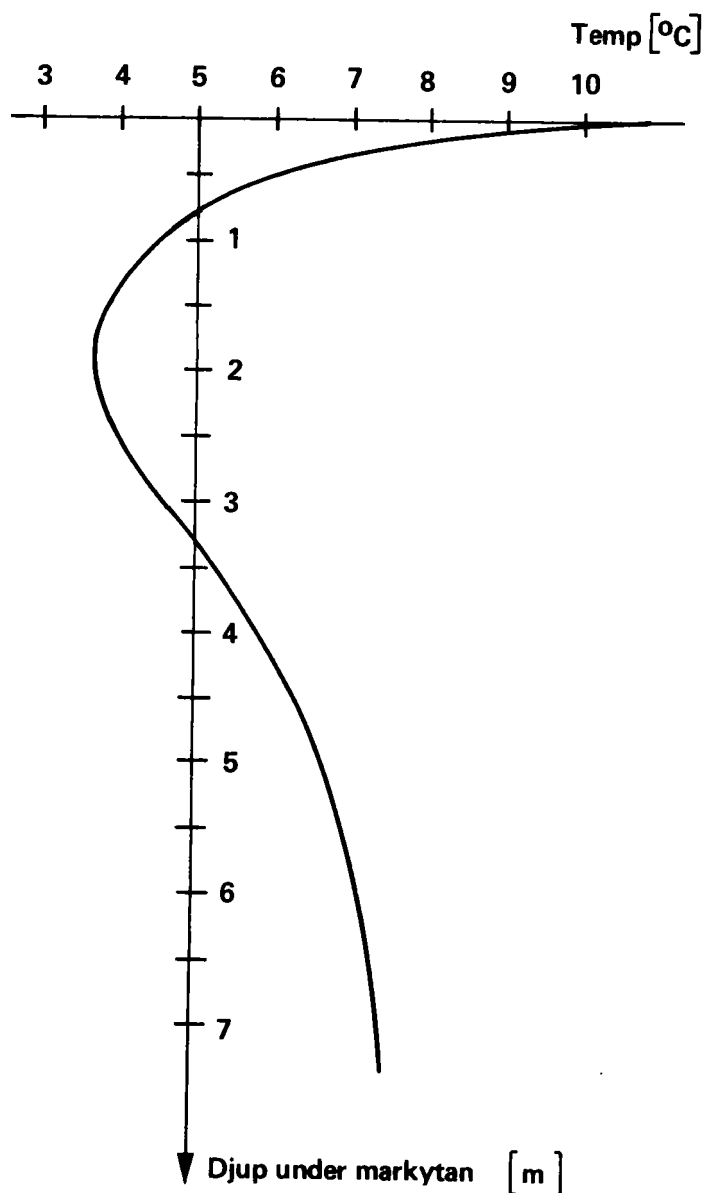
Hål nr 7 respektive 11 var båda av typen korrugerade PVC-rör. På grund av de stora läckagen slopades dessa hål för mätningarna. PVC-rören kan ha hål föranledda av tillverkningsprocessen. Dessa rör är avsedda som dräneringsrör och några tätningskrav finns ej från tillverkaren.

Bland tänkbara felkällor vid provtryckningen kan nämnas:

- termisk utvidgning av slangen
- temperaturändring av vatten, som ändrar volymen
- läckage i ändpluggen
- sprickor i röret.

### Mätning av markens temperaturprofil

För att bestämma temperaturprofilen i leran utfördes lodning med en Pt-100 givare den 1979-05-10. Lodningen utfördes i ett hål som är beläget i mitten av de 14 provhålen. Utetemperatur vid lodningen = +8°C. Resultat se Figur 4.26. Man ser att vinterkylan återfinns som ett tydligt minimum på 2 meters djup under markytan. Temperaturprofilen varierar med årstiden.



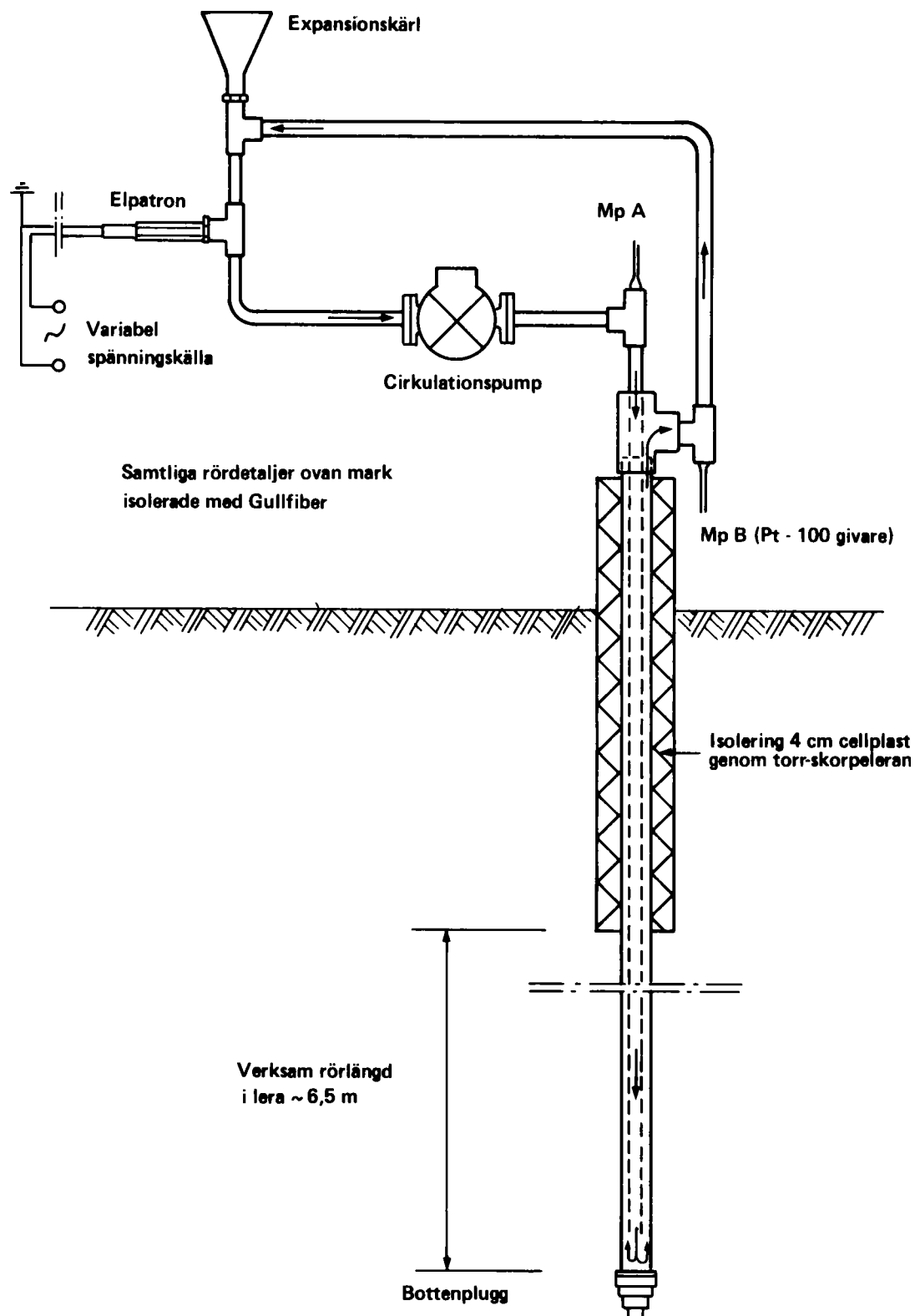
Figur 4.26 Temperaturprofil

#### Värmeledningsmätning

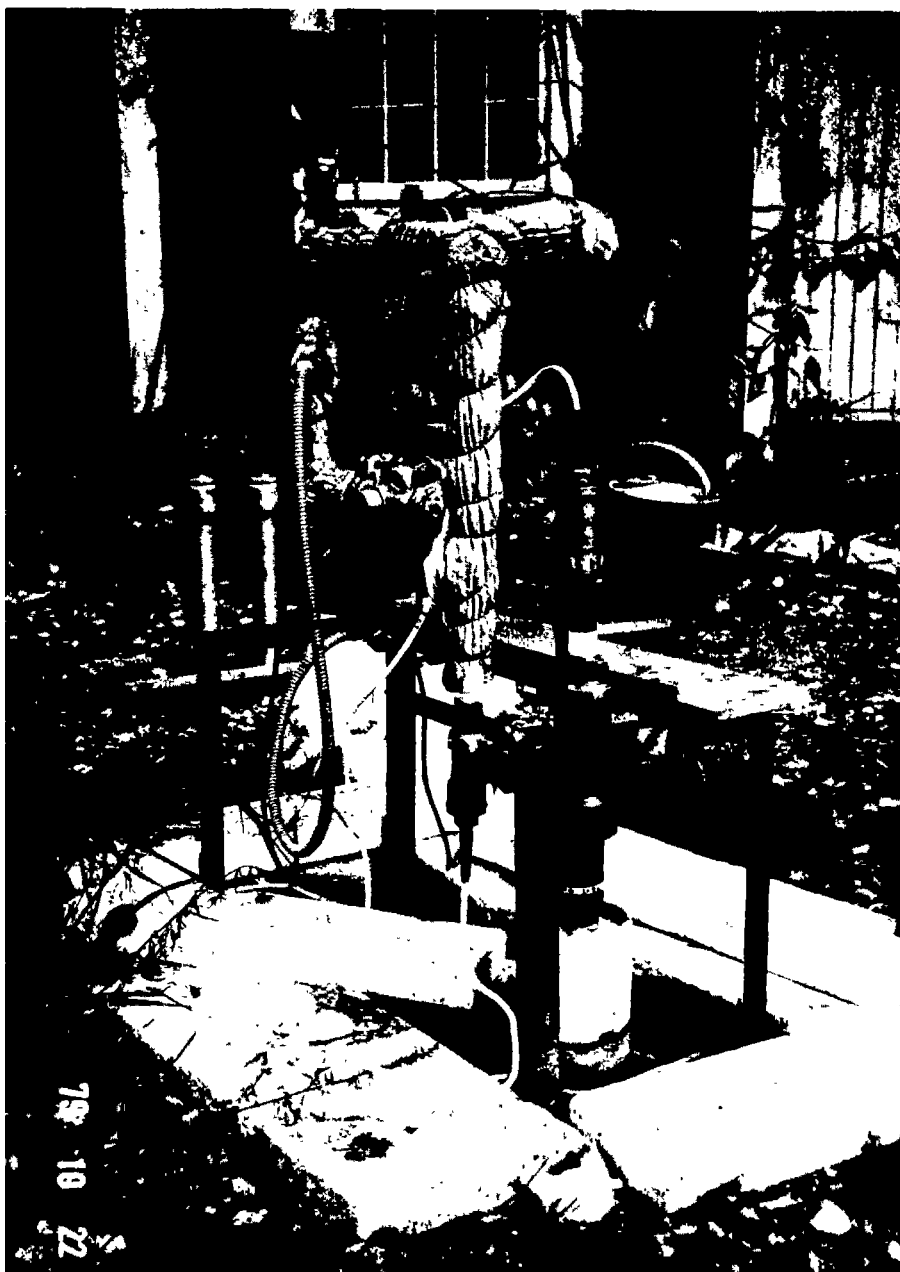
För att erhålla verkliga indata på leran för simuleringsberäkningarna av effektsväljningsförmågan har Inst för geologi, CTH utfört värmeledningsmätningar inom försöksområdet, se (39).

K-Konsult har i samband med nedföringen av ledningsbanorna utfört en geoteknisk undersökning, se (12).

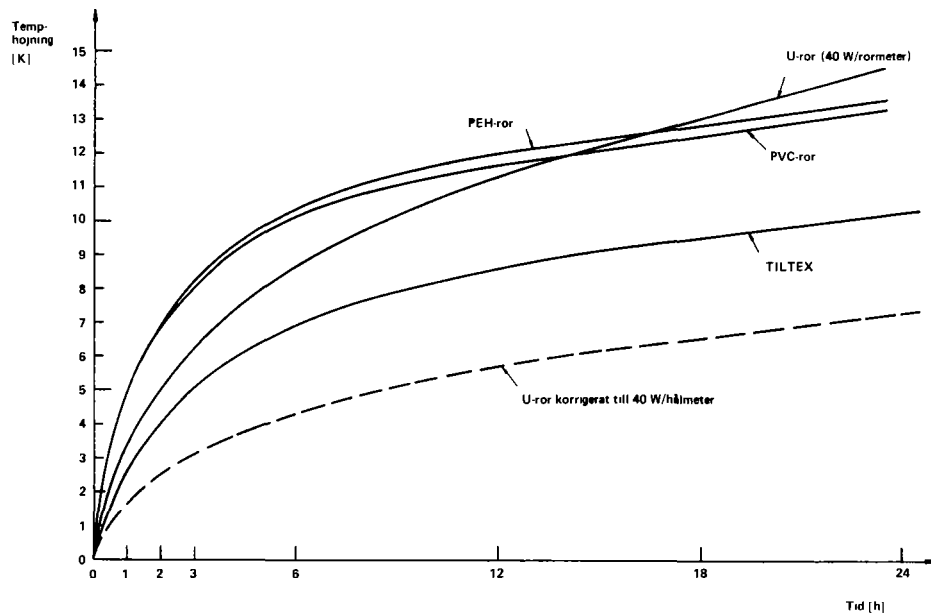
De parametrar som bestämts och de värden som använts vid simuleringsberäkningarna är följande:



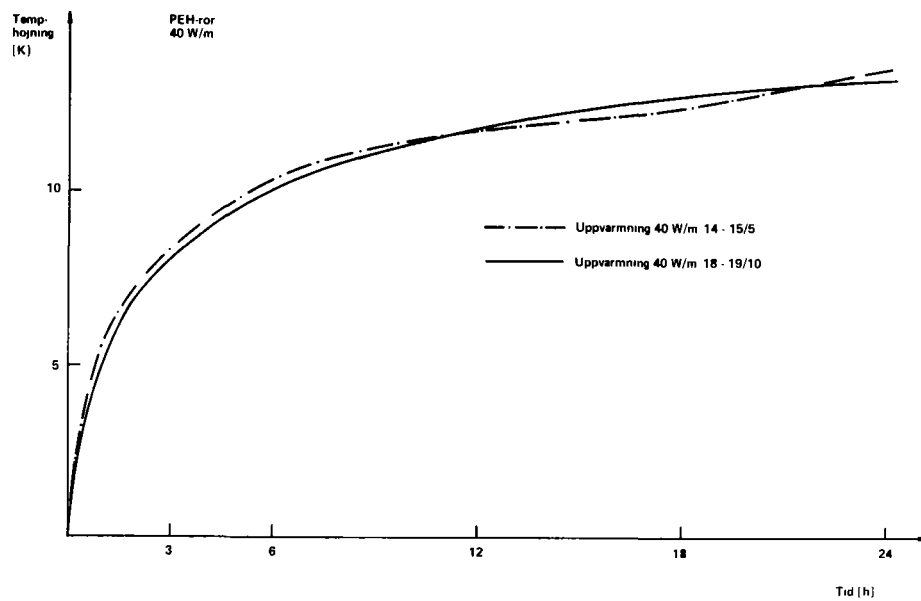
Figur 4.27 Kopplingsschema cirkulationsrigg



Figur 4.28 Cirkulationsrigg



Figur 4.29 Värmning av ledningsbanor



Figur 4.30 Skillnad i effektsväljning efter långtidsvärmning



Värmekonduktivitet	= 1.09 W/m·K
Värmekapacitivitet	= 2 208 J/kg·K
Densitet	= 1 613 kg/m <sup>3</sup>

#### Utrustning för värmning

Ledningsbanorna försågs med en cirkulationsrigg enligt Figur 4.27 och 4.28. Med hjälp av denna kunde vatten cirkuleras i hålen samtidigt som det värmdes med en elpatron och temperaturen mättes. Eleffekten kunde varieras kontinuerligt och vattentemperaturen mätas och registreras med en noggrannhet av 0.03 K.

#### Temperaturutjämning

Vid temperaturloggning av ett hål framgick att temperaturen i marken var olika vid olika djup. För att värmeupptagningen vid värmningen skall bli likformig utefter hela hålet måste temperaturen längs hålet och en bit utanför hålet vara lika. Därför cirkulerades vattnet i hål och VVS-rigg i 1 - 3 dygn innan värmningen startades. Därvid distribuerades värme från varmare till kallare områden utefter hålen, och en utjämning skedde.

#### Värmning

För att utröna hålens effektsväljningsförmåga värmdes hålen med 40 W/rörmeter och registrerades temperaturuppgången hos cirkulationsvattnet som funktion av tiden, se (13). All tillförd värme ansågs komma marken tillgodo utefter den oisolerade delen av hålet. Vid beräkning av tillförd effekt till värmepatronen togs hänsyn till värmeförlust i elledningar samt till tillförd effekt från cirkulationspumpens pumparbete.

Värmningen pågick i 1 - 3 dygn. Som kvalitetstal noterades temperaturuppgången efter 6 timmars värmning.

Det framgick att temperaturuppgången hos vattnet ibland ej var monoton. Detta visade sig beror på påverkan från utetemperaturen. Värmeisoleringen var sålunda ej perfekt, utan värme läckte från cirkulationsriggen till omgivningen.

Resultat återges i Figur 4.29. Temperaturuppgången för varje rörtyp utgör medelvärde av försök med flera identiska hålinstallationer. U-röret värmdes med 40 W/rörmeter, dvs med 80 W/hålmeter. Därför har även inritats en kurva som anger temperaturuppgången om U-röret matats med 40 W/hålmeter.

### Långtidsvärmning

För att utröna om en värmning av ett hål under lång tid skulle påverka hålets effektsväljningsförmåga företogs en sådan av ett av hålen. Detta tillfördes en effekt av 24 W/m under en tid av 4 månader. Cirkulationsvattnets temperatur var då 30°C. Därefter fick hålet svalna under ständig vattencirkulation i 2 veckor. Temperaturen registrerades. Därefter vidtogs en ny värmning av hålet med 40 W/m under temperaturregistrering. Det visade sig att temperaturuppgången nästan helt sammanfaller med tidigare mätningar, se Figur 4.30. Avvikelsen kan förklaras av påverkan från markens ytemperatur. Hålets effektsväljningsförmåga har således ej påverkats av långtidsvärmningen.

### Datasimulering

Effektsväljningsförmågan har simulerats med ett framtaget beräkningsprogram (28). Beräkningsmodellen är cirkelsymmetrisk med värmeströmning i två dimensioner vinkelrätt mot hålets utsträckning.

Beräkningsmetoden tar hänsyn till omgivande mark (värmeledningsförmåga, värmekapacitet, densitet) och till hålinstallation (geometri, materialdata, värmeöverföringsdata vatten - rörvägg). Resultatet visas i Figur 4.31.

Vid jämförelse av verkliga mätningar och simulerade, finner man följande.

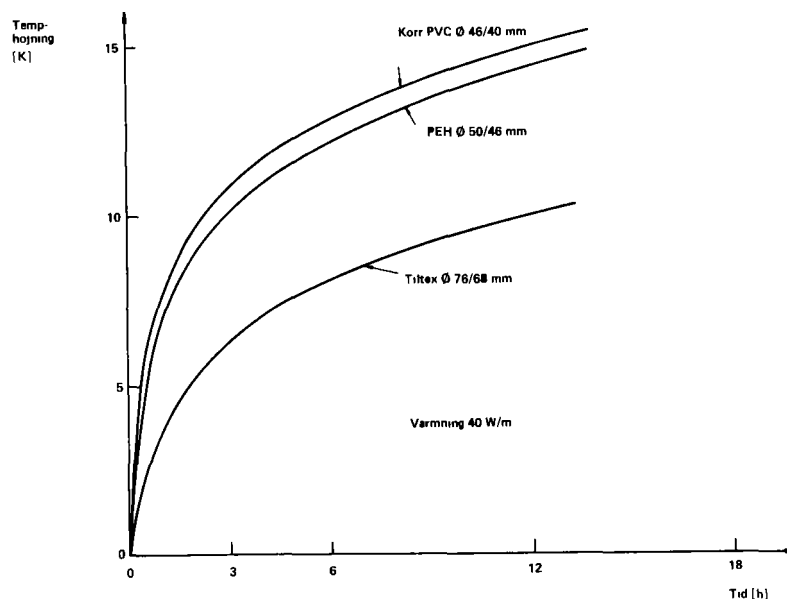
Temperaturuppgången hos de verkliga mätningarna är lägre än de beräknade. Effektsväljningsförmågan är till synes bättre i verkligheten än vad som fås vid beräkning.

Följande felkällor vid mätningarna måste emellertid beaktas:

- Värmeförlust p g a läckage från riggen
- Vid rundpumpning före värmningen (1 - 3 dygn) har vattnet tillförts effekt från pumpen, ca 1 - 2 Watt/m. Vattentemperaturen är ca 10°C då värmningen startar. Den borde vara lägre om den skulle anta markens medeltemperatur. Registrering av temperaturen vid cirkulation utan värmning visar att vattentemperaturen stiger ca 2K/dygn. Därmed bygger man upp en temperaturprofil i marken som sedan stör fortsatta försök. 2K/dygn motsvarar 5 W/m hål.
- Mätningarna efter 6 timmar blir osäkra, p g a att markens ojämna temperatur utanför hålets närmaste omgivning då påverkar mätvärdena.

Vid ojämn temperaturfördelning i marken tenderar vattnet vid mätstället att anta temperaturen hos översta marklagret.

Dessa felkällor, som är systematiska, förklarar avvikelsen mellan mätta och beräknade kurvor.



Figur 4.31 Beräknad temperaturuppgång vid värmning av olika ledningsbanor

För att kunna jämföra effektsväljningsförmågan för de olika ledningsbanorna har Tabell 4.4 framtagits. Temperaturuppgången efter 6 timmars uppvärmning ( $\theta_{C1}$ ) har ansetts som signifikant för en solfångare en sömndag. I tabellen redovisas både uppmätt och simulerat värde på  $\theta_{C1}$  för de fyra olika ledningsbanorna. För ledningsbanorna av PVC och PEH har medelvärdet för varje grupp tagits fram.

De normerade värdena ( $K_{C1}$ ) har även beräknats och redovisats i tabellen. U-röret har matats med 40 W/rörmeter, vilket innebär 80 W per hålmeter.

Några simuleringsberäkningar för ledningsbanorna av U-röret har ej genomförts.

Tabell 4.4					
De olika ledningsbanornas effektsväljningsförmåga					
Ledningsbana		Uppmätt värde		Simulerat värde	
		$\theta_{C1}$	$K_{C1}$	$\theta_{C1}$	$K_{C1}$
material	dim mm	K	W/m·K	K	W/m·K
PEH	φ50/46	10 ± 0.8	4.0	12.4	3.2
PVC	φ46/40 <sup>1</sup>	10 ± 0.7	4.0	12.9	3.1
TILTEX	φ76/80	6.9	5.8	8.2	4.9
U-RÖR	φ54/51	8.7	9.2	-	-

<sup>1</sup> Korrugering = 2 mm, godstjocklek t = 1 mm

Av tabellen framgår att:

- Ingen mätbar skillnad mellan PEH och PVC.
- Tiltex är bättre än PEH och PVC p g a bättre värmeledning i rörmaterialen och större diameter. Dessa två förhållanden förklarar en temperaturskillnad på 1.5K. Temperaturskillnaden mellan Tiltex och PEH/PVC är dock vid 6 tim uppmätt till 3K.
- Temperaturuppgången hos U-röret sammanfaller i stort med Tiltex-röret de första 2 - 3 timmarna. Ur effektsväljningssynpunkt är ett U-rör satt till 6.5 m djup likvärdigt med två separata

PEH/PVC-rör satta till samma djup. Kostnaderna för nedföring, hydrauliskt arrangemang och material kan således vara avgörande för vilken metod som används.

### Sammanfattning

Projekt "Vinterviken" har omfattat praktiskt utförda försök med nedföring av ledningsbanor i lera och med uppmätning av dessa ledningsbanors effektsväljningsförmåga. Försöken visar att vid nedföring av ledningsbanor i lera är Alimak dräneringsmaskin ADS med foderrör den säkraste och klart snabbaste metoden. Det är fullt möjligt att nedföra ca 500 m ledningsbanor per dag efter etablering. Lämpligaste material till ledningsbanor är de släta PEH-rör som sättes i hela längder och med koaxialröret (den inre ledningsbanan) monterad vid nedförandet. Innan foderröret drages upp skall ledningsbanan fyllas med vatten.

Vid uppmätning av de olika ledningsbanornas effektsväljningsförmåga framgår det att det inte finns någon mätbar skillnad mellan PEH-röret ( $\phi$  46 mm) och PVC-röret ( $\phi$  40 mm). Den uppmätta effektsväljningsförmågan 4.0 W/m·K är något bättre än förväntat. Tiltextröret ( $\phi$  68 mm stålrör) hade en uppmätt effektsväljningsförmåga av 5.8 W/m·K vilket är ca 50 % bättre än PEH-röret. Tiltextröret har emellertid ca 50 % större area och dessutom även väsentligt bättre värmeledning i rörmaterialet varför man kunde förvänta sig större skillnad på effektsväljningsförmågan. För ett U-rör är effektsväljningsförmågan ca dubbelt så bra som PEH/PVC-rören. Detta beror givetvis på att i ett U-rör deltar två rör i värmeutbytet med marken.

Vid långtidssuppvärmning av en ledningsbana under ca fyra månader hade hålets effektsväljningsförmåga ej förändrats och ej heller kunde några andra förändringar iakttagas runt borrhålet.

Försöken i Vinterviken har visat att det går bra att nedföra ledningsbanor i lera till en rimlig kostnad och att de ur effektsväljningssynpunkt väl uppfyller ställda krav.

### 4.3.3 Oinfodrade hål i berg

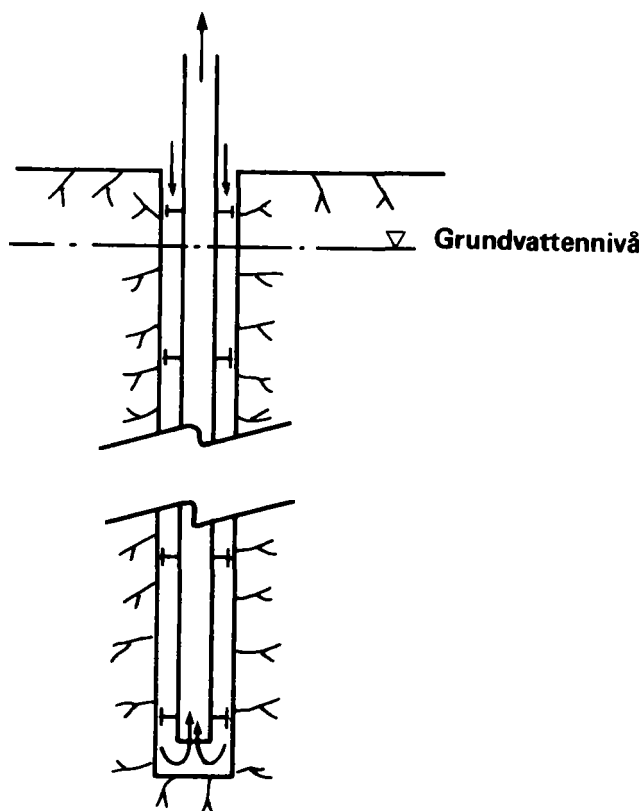
I syfte att göra anläggandet av marklager i berg så enkelt som möjligt har översiktligt studerats möjligheterna att använda grundvattenfyllda oinfodrade borrhål som ledningsbanor, utan att förse hålen med ett tätande foder. Man skulle således använda det befintliga grundvattnet som värmeöverförande cirkulationsmedium.

Följande förutsättningar antages gälla vid ett sådant utförande:

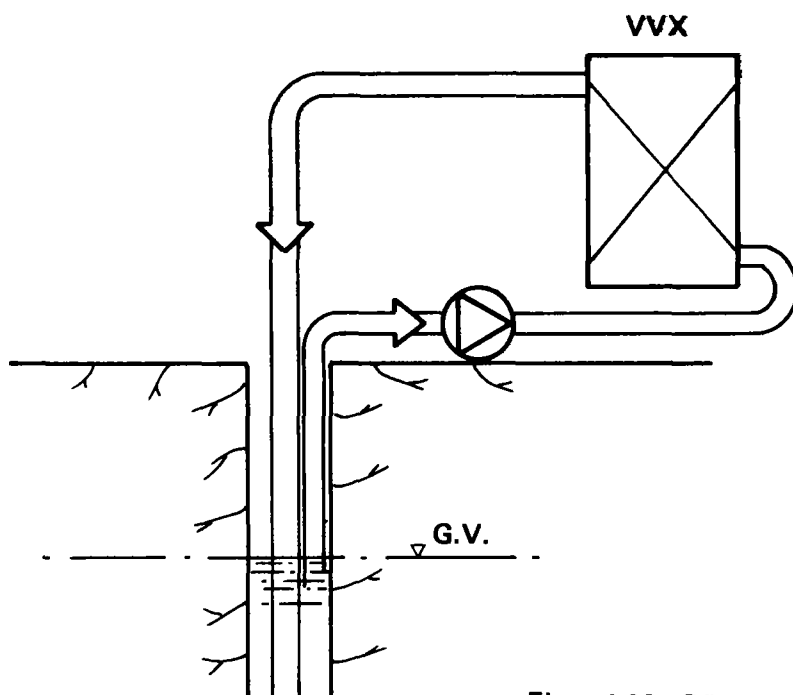
- Grundvattenytans nivå varierar obetydligt med årstiderna och med varierande nederbörd
- Grundvattenytan ligger på lämpligaste djup
- Grundvattnet står i förbindelse med atmosfären, d v s atmosfärstryck råder vid grundvattenytan och vattnets påverkan av luftens syre.

De uppenbara fördelarna med arrangemanget skulle vara två:

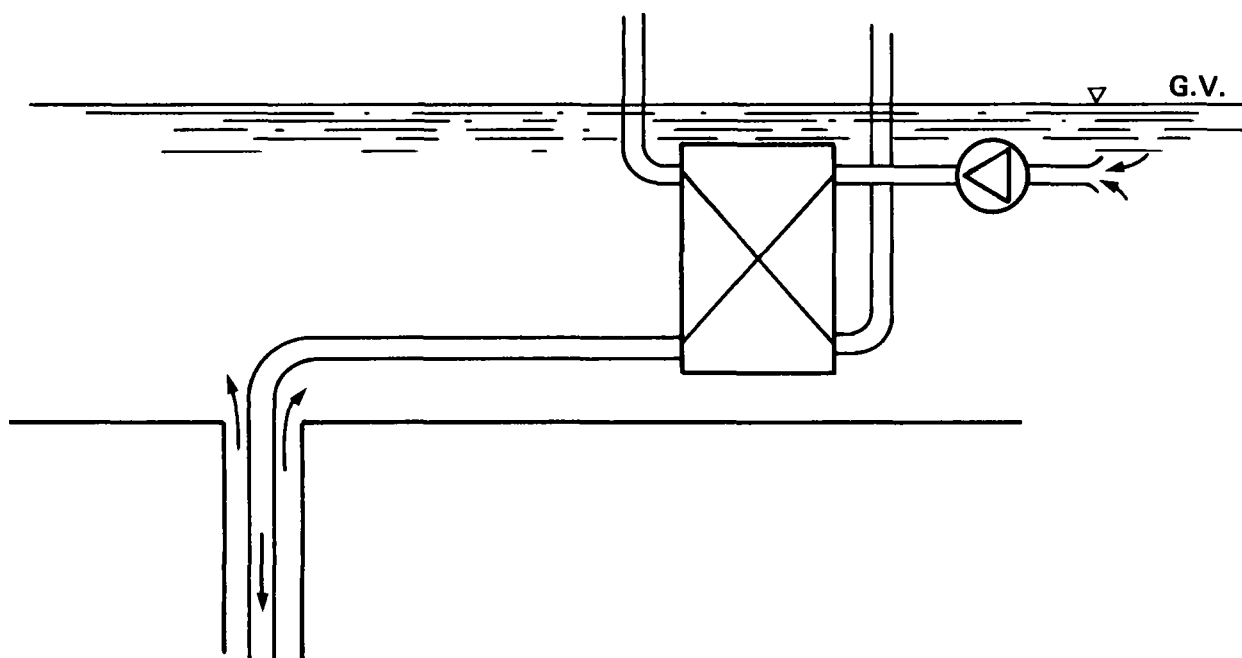
- Installation i hålen kan göras mycket enkel. Endast ett centralt placerat rör ned till hålets botten behövs för cirkulation av vattnet, Figur 4.32. Detta rör kan vara tillverkat av plast och försett med någon form av centreringsanordning.
- Värmedistributionsmediet - grundvattnet - är i direkt termisk kontakt med bergytan i hålet. Värmeöverföringen blir mycket effektiv.



Figur 4.32 Oinfodrat hål i berg



Figur 4.33 Rörsystem ovanför grundvattenyta



Figur 4.34 Rörsystem under grundvattenyta

I det följande skall behandlas de problem och de åtgärder som måste vidtagas för att metoden med grundvatten som värmetransportmedium skall kunna användas.

I grundvattnet finns lösta mineraler och andra ämnen som kommer från berggrunden. Då vattnets temperatur ändras, vilket sker i komponenter där energiomsättningen sker, tenderar dessa ämnen att falla ut och bilda beläggningar i rörsystemet. Emedan grundvattnet är i kontakt med atmosfärens syre, blir vattnet aggressivt ur korrosionssynpunkt.

Speciella åtgärder måste vidtagas för att eliminera dessa två nackdelar. Det är olämpligt att låta grundvattnet cirkulera i hela energianläggningen. Lämpligt är att låta marklagret utgöra en sluten hydraulisk krets med en värmeväxlare mellan denna krets och övriga energisystemet. Denna värmeväxlare måste vara mycket effektiv för att temperaturförlusten skall bli tillräckligt liten. I marklagerkretsen med grundvattnet skall rördelar, värmeväxlare och övriga komponenter vara av korrosionssäkert material - plast, rörgods eller rostfritt. Beläggningar kommer förmodligen att uppstå i företrädesvis värmeväxlaren. Dess beläggningar måste regelbundet avlägsnas med någon lämplig metod.

Atmosfärstryck råder vid grundvattenytan. Detta innebär att speciella hydrauliska åtgärder måste vidtagas för cirkulationen av grundvattnet genom värmeväxlaren.

Figur 4.33 visar ett arrangemang där rörsystemet befinner sig ovanför grundvattennivån. Pumpen kan ej placeras för högt p g a begränsad sughöjd. Den nödvändiga tryckuppsättningen över pumpen föranleds till största delen av flödesmotståndet i berghålet och centrumföret. Värmeväxlaren eller någon del av rörsystemet får ej placeras så högt att undertryck uppkommer i någon del av systemet, med risk för luftinläckning, problem med ångblåsor eller felfunktion hos värmeväxlaren. På pumpens sug sida råder emellertid alltid undertryck, så länge denna är placerad högre än grundvattenytan. Speciell uppmärksamhet måste också ägnas åt störningar hos grundvattenrörelserna i marken p g a att övertryck råder i hålen.

Ett radikalt arrangemang för att undvika de flesta av ovannämnda nackdelar är att placera hela grundvattenkretsens rörsystem, inklusive fördelningsrör, pump och värmeväxlare, under grundvattennivån, se Figur 4.34. För att kunna göra detta måste man åstadkomma ett utrymme för detta som i drift är vattenfyllt. Installationsarbetet skall således göras under ständig länspumpning. Åtkomligheten är sedan dålig under drift.

Nackdelarna med användning av grundvattnet som transportmedium kan sammanfattas enligt nedan:



- Nödvändigt med separat cirkulationssystem för marklagret
- Värmeväxlare krävs mellan grundvattenkretsen och övriga energisystemet, innebärande ökat pumparbete, temperaturförlust och hög kostnad
- Risk för beläggningar i rörsystemet
- Nödvändigt med korrosionssäkra material
- Energiförlust och fuktproblem genom diffusion
- Nödvändigt att placera hela marklagerkretsen under grundvattennivån
- Eventuell risk för störning av grundvattenflödet i berget.

Inom projektet är uppfattningen att metoden möjligen kan bli ekonomiskt attraktiv. Då kostnaden för infodring av hålen är en relativt liten del av marklagerkostnaden måste därför kostnaderna vara mycket små för de speciella arrangemang som blir nödvändiga med oinfodrade hål.

Emellertid är det med dagens kunskap omöjligt att avgöra om metoden är konkurrenskraftig i förhållande till infodrade hål. Därför bör metoden bli föremål för fortsatta studier.

Ett annorlunda sätt att använda sig av oinfodrade borrhål är att nedföra ett U-rör i grundvattnet. En sådan lösning är ur systemsynpunkt likvärdig med infodrat borrhål (se nästa kapitel). Grundvattnet blir då skilt från cirkulationsvattnet, vilket därmed kan vara trycksatt. Borrhålsarean utnyttjas dock dåligt som genomströmningsarea för cirkulationsvattnet och likaså får man sämre värmeöverföringsegenskaper till marken.

#### 4.3.4 Infodrade hål i berg

De borrhålen i ett lager anlagt i berg, måste i de flesta fall förses med ett foder, som avskiljer cirkulationsvattnet från bergytan och eventuellt grundvatten. Vattencirkulationen i hålen innebär att två kanaler skall finnas, en för strömning nedåt och en för strömning uppåt. Det är önskvärt att dessa funktioner kombineras med fodermaterialiet.

Infodringsmaterialiet kan vara metall, plast eller gummi. De olika materialen ger olika utformningar och installationsmetoder (se kapitel 3.1.3).

En kravspecifikation har utarbetats att användas som utgångspunkt vid undersökning av olika hålinstallationsmetoder.

#### Kravspecifikation för infodring i bergborrade hål

1. Fodret skall kunna monteras i upp till 100 m djupa hål i berg. Hålen skall kunna luta max 30° vinkel mot vertikalen.
2. God termisk kontakt skall föreligga mellan hålvägg och foder.
3. Hålets diameter är max 110 mm och min 60 mm, till vilka mått fodret skall kunna tillverkas. Måttvariationer i varje enskilt hål är max 10 %.
4. Fodret skall inrymma två kanaler för cirkulationsvattnet; nedströmning till hålets botten och uppströmning till markytan.
5. Värmeövergångskoefficienten mellan vattnet och bergytan skall vara  $>100 \text{ W/K, m}^2$ . (26)
6. Det är oväsentligt om det uppåtgående eller nedåtgående vattnet har värmeutbyte med bergväggen, eller om båda vattenströmmarna har termisk kontakt med hålväggen.
7. Det är relativt oväsentligt om de båda vattenströmmarna har termisk kontakt med varandra.
8. Fodret skall tåla temperaturer från 0°C till 40°C kontakt med vatten under lång tid (>20 år) utan att dess egenskaper försämras.
9. Fodret skall utan att punkteras, sprängas eller kollapsa tåla belastning av krossad sten etc från utsidan samt vattentryck inifrån och utifrån på max 10 bar (1 MPa).
10. Fodret skall tåla förekommande sättningar i övre jordlager och berggrund utan att brytas, spricka eller kollapsa.
11. Fodret skall kunna bytas ut vid eventuell skada eller igensättning.
12. Fodret bör ifråga om tillverkning, transport, lagring och montering vara lätthanterligt i vårt klimat (eventuellt med undantag av sträng vinterkyla).

### Plastmaterial

Professor Bengt Rånby, Institutionen för Polymerteknologi har studerat kravspecifikationen och utarbetat förslag på materialval och utformning av foder gjorda i plast, se (40).

Användning av armerade härdplaster utesluts med hänsyn till hög styvhet, komplicerad fabrikation och högt pris. Istället föreslås termoplaster, eventuellt armerade sådana.

Bland termoplaster föreslås polyeten (PE), särskilt av MDPE-kvalitet, med en densitet = 0.94 - 0.95. Bland fördelarna kan särskilt nämnas: lätt bearbetbarhet till rör av olika slag (släta, med långsgående lister, korrugerade etc), ingen sprödhet ens i vinterkyla, utmärkt åldringsbeständighet i mörker, beständighet under lång tid mot vatten, oljor, bensin, fett, beständighet mot solljus med tillsats av 1 - 2 % kimrök, lågt pris per vikt och volym (den billigaste av alla plaster).

Polyeten kan extruderas i ett stycke som ett sammansatt rör bestående av ett ytterrör med ett centrerat innerrör. Ytterröret försluts i botten med en påsvetsad platta efter utfräsning av innerröret till lämpligt djup.

Ytter- och innerröret kan också extruderas separat, samtidigt som centreringsskenor formas. Därvid kan t ex ytterröret göras korrugerat, om det är lämpligt ur t ex monterings synpunkt.

Professor Rånby uppmärksammar de korrosionsproblem man har haft då plastkomponenter och metallkomponenter ingår i samma rörsystem. Då vattentemperaturen är 50 - 80°C har korrosionsangrepp inträffat på metalledarna. Fenomenet har tolkats så att plaströr respektive gummislangar är tillräckligt permeabla för syre från luften för att ge en syrekonzentration i vattenströmmen, som vid den använda temperaturen ger långsamma oxidativa angrepp på metallerna.

Även s k plastminnesmaterial kan tänkas komma till användning. Vid montering kan dessa material vara "komprimerade" för att senare genom värmning bringas att expandera och få god kontakt med hålväggen.

### Gummimaterial

En alternativ metod till fastgjutning av ett stelt rörliknande foder i de bergborrade hålen är att förse denna med ett elastiskt foder, "gummistrumpa", som genom inre övertryck garanterar god kontakt med berget.

Ett viktigt krav är att infodringen ej i större grad försämrar värmeöverföringen från vätskan i ledningsbanorna ut till omgivande berg. Förutom att godstjockleken bör vara så liten som möjligt och att materialet har ett högt  $\lambda$ -värde, så måste också en god kontakt uppnås med borrhålsväggen så att inga luftfickor eller liknande uppstår. Ett annat problem uppstår om det finns större kaviteter i borrhålsväggen p g a att stenar från krosszoner, slag eller dylikt ramlat ut ur sina ursprungliga lägen. Gummimaterialet måste hålla för sådana påfrestningar. Eventuellt kan materialet armeras med någon lämplig fiber för att förbättra styrkan.

Ett flertal gummikvaliteter har studerats. Ett lämpligt material är EPDM-gummi (etenpropengummi) som har god väderbeständighet, åldringsbeständighet och elasticitet.

Genom samarbete med Trelleborg AB har lämpliga dimensioner framtagits och provats av deras material EPDM-8019. Gummislangar med  $\varnothing=114$  mm ytterdiameter har fritt upphängda provtryckts under lång tid. Därvid erhöles en längdutvidgning av 0.9% vid 20 kPa övertryck (0.2 kp/cm<sup>2</sup>, öt) och 6.1% vid 30 kPa övertryck (0.3 kp/cm<sup>2</sup> öt). Dessa värden visar att mycket små tryck förmår pressa ut gummistrumpan mot borrhålsväggen. Gummistrumpan kan därför tillverkas med något mindre ytterdiameter än bergborrhållets diameter, för att sedan med trycket från vätskan i ledningsbanorna kunna pressas ut mot borrhålsväggen och erhålla god anliggning.

För att undersöka gummistrumpans styrka mot eventuella kaviteter i berghålet har tryckprov utförts med slangen placerad i ett stålrör med innerdiameter.  $\varnothing = 120$  mm och med urborrade hål på 15 mm, 25 mm och 35 mm i rörgodset.

Slangen har utsatts för ett övertryck av 50 kPa under 7 månader. Utbuktningen har uppmätts till 1 mm, 3 mm och 4.5 mm vid respektive hål med intakt slang. Därefter har trycket ökats succesivt. Vid 400 kPa (40 kp/cm<sup>2</sup> öt) sprängdes slangen vid det största hålet.

Mycket talar således för att infodring av bergborrade hål med elastiskt foder är en lämplig metod att arbeta vidare på.

Därför planeras infodringsförsök och värmningsförsök med gummistrumpor i ett antal redan anlagda hål vid Stora Skuggan i Stockholm. Ett antal infodringsstrumpor av EPDM-gummi i varierande längder på 15-105 m har levererats av Trelleborg AB.

Vi hoppas att dessa prov snarast kan utföras.

#### 4.4 Värmeavgivare

Verksamheten har omfattat ett relativt begränsad analysavsnitt samt viss experimentverksamhet. Vidare har en marknadsundersökning företagits för att klarlägga om någon produkt som finns på marknaden idag kan tänkas uppfylla Sunstores kravspecifikation.

##### 4.4.1 ----- Analys

Inför byggandet av LTVA-komponenterna i experimentobjekt 1 1973 gjordes vissa dimensioneringsberäkningar. Dessa var av överslagsmässig karaktär. Efter projektstart 1977 gjordes mera ingående analys av LTVA's värmeprestanda.

Vid institutionen Termisk energiteknologi, KTH har gjorts en analys av LTVA-utförandet i experimentobjekt 1 samt ett optimeringsprogram för att optimera värmeprestanda med given materialåtgång (14). Denna undersökning bekräftade att det är möjligt att tekniskt uppfylla Sunstores kravspecifikation för LTVA.

##### 4.4.2 ----- Marknadsanalys

Det finns flera produkter på marknaden som kan tänkas infogas i ett Sunstore-system. Främst är Frenger-taket användbart, speciellt i det utförande som har liten delning mellan rören. Tekniska prestandan är tillräcklig, men priset är ej förenligt med Sunstore's krav.

Andra produkter som eventuellt är användbara i ett Sunstore-system skulle kunna vara flera golvvärmesystem (varav Wirsbo-golvvärme är ett)

##### 4.4.3 ----- Experiment

I experimentobjekt 1 har viss prestandamätning utförts som bekräftade att den där uppbyggda LTVA:n har tillräcklig värmeprestanda. (se kapitel 5.11). Vid Euroc Development, Arlöv företogs 1978 en viss experimentverksamhet på LTVA-prototyper som hade tillverkats där. Denna experimentverksamhet var relativt begränsad men konfirmerade i stort sett att det var möjligt att använda sig av lågtemperaturtekniken.

## 5. EXPERIMENTOBJEKT

### 5.1 Inledning

I planeringsskedet av Sunstoreprojektet sommaren 1977 beslöts att en komplett energianläggning baserad på Sunstoremetoden skulle anläggas, experimentobjekt 1.

Experimentobjekt 1 består av en större enfamiljsvilla belägen i Sigtuna som under projekttiden har försetts med en komplett Sunstore energianläggning i prototyputförande. Konstruktions- och anläggningsverksamheten har givit utomordentligt värdefull insikt i de tekniska problemen - väntade och oväntade - som införandet av en ny teknik innebär. Driftserfarenheterna har hittills begränsats till funktionskontroll av de olika huvudkomponenterna, eftersom anläggningen blir helt färdigställd först under sommaren 1981. Framst har betydelsefulla driftserfarenheter erhållits beträffande marklagret, som har värmts med elenergi under drygt 2 år.

### 5.2 Målsättning

Huvudsyftet med experimentobjekt 1 är att visa att Sunstoremetoden fungerar. Det innebär att man kan lösa de konstruktions- och anläggningstekniska frågorna samt att uppmätt energiomsättning verifierar de teoretiska förutsägelseerna.

Ett annat syfte med experimentobjektet är att man genom konstruktions- och anläggningsverksamheten samt genom driften skaffar sig erfarenheter till nytta för den FoU-verksamhet som bedrivs i projektet.

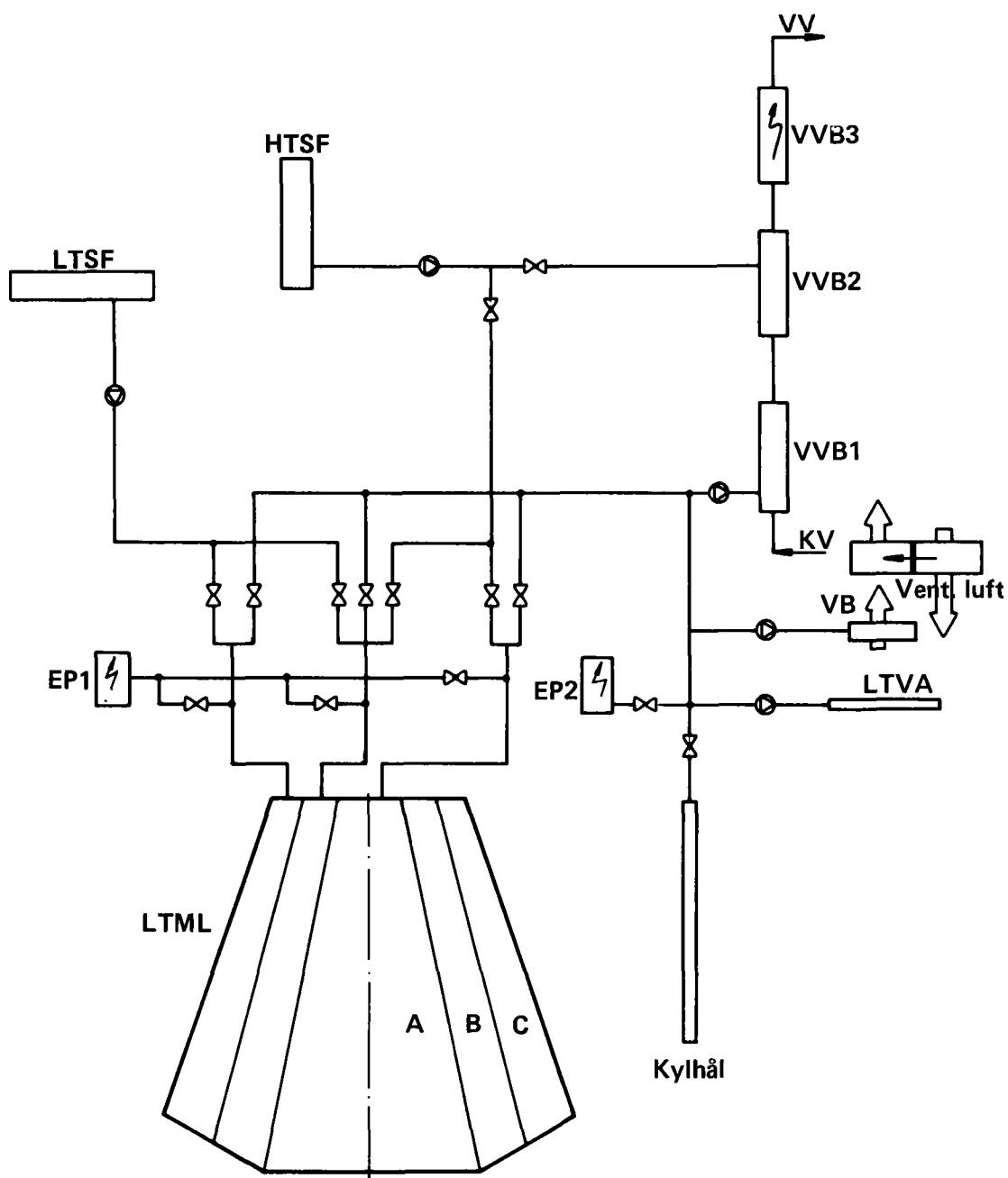
Vidare skall driften kunna anpassas efter det FoU-behov och de FoU-resultat som kan uppkomma. Av den anledningen skall energianläggningen vara mycket flexibelt utförd beträffande komponenter och system.

Man skall också undersöka om byggnaden kan svalhållas på sommaren med hjälp av värmeavgivningskomponenterna och ett "kylhål" som borrar i marken. Dessutom skall man undersöka i vilken utsträckning byggnaden kan förses med solvärt tappvarmvatten.

### 5.3 Kravspecifikation

Inför konstruerandet av anläggningen uppställdes en kravspecifikation som säkerställde målsättningen med anläggningen samt i möjligaste mån gav en driftsäker anläggning:

- Anläggningen skall innehålla samtliga huvudkomponenter i ett Sunstoresystem: solfångare, marklager och värmeavgivare enligt lågtemperaturtekniken.
- Komponenterna skall om möjligt dimensioneras så att uppvärmningssystemet kan arbeta med enbart solenergi.
- Samtliga komponenter skall om möjligt ingå i samma hydrauliska system.
- Marklagret skall hydrauliskt och termiskt indelas i tre koncentriska temperaturzoner, med den varmaste zonen i mitten. Den yttre zonen skall kunna tjäna som ett läckageskydd för de inre.
- Solfångarna skall utgöras av minst två grundtyper - skyddade (glasade) respektive oskyddade.
- Energin från vardera solfångargrupperna skall kunna föras till en eller flera valfria zoner i marklagret utan besvärande tryckfall och temperaturuppgång för solfångarna.
- Möjligheten att värma tappvarmvatten med energi från solfångare och marklager skall finnas.
- Möjligheten att svalhålla byggnaden med hjälp av ett "kylhål" skall finnas.
- Marklagret och byggnaden skall var och en för sig kunna värmas med elenergi (elvärmning av cirkulationsvattnet).
- Temperaturen på framvattnet till värmeavgivningskomponenterna skall kunna regleras.
- Varje rum i byggnaden skall individuellt kunna temperaturreglas.
- Järndelar i kontakt med vattnet skall så långt det är möjligt undvikas. I första hand skall plast användas, i andra hand rödgods och rostfritt.
- De skyddade (glasade) solfångarna skall kunna användas under vinterhalvåret (frysrisk) medan de oskyddade solfångarna skall vara avställda under vintern (urtappade på vatten).
- Stor omsorg skall läggas vid att åstadkomma jämn flödesfördelning i solfångare och marklager.



Figur 5.1 Systemschema



- Rörsystemet skall byggas så att ombyggnader lätt kan göras.
- Rörsystemet skall dimensioneras så att tryckfallet och därmed pumpeffekterna blir små.

#### 5.4 Byggnaden

Huset som skall värmas av Sunstoreanläggningen utgörs av huvudbyggnaden på fastigheten Rodvi 7 i Sigtuna kommun. Byggandet av huset påbörjades 1973, och är ännu ej helt avslutat. Det används som bostad och kontor, och särskilda utrymmen finns reserverade för energianläggningen.

Byggnaden som från början är planerad för solenergiuppvärmning är belägen på en bergshöjd med huvudplanet 30.1 m ö h. Byggnadsytan är 320 m<sup>2</sup>, uppvärmd yta 470 m<sup>2</sup>. Huset är välisolerat med  $K_{\text{tak}} = 0.22$ ,  $K_{\text{vägg}} = 0.30$  och  $K_{\text{golv}} = 0.30$ . Fönstren är av 3-glas isolertyp. Uppvärmningseffekt vid LUT (lägsta utetemperatur, -20°C) är beräknad till 16.5 kW. Det innefattar då värmeåtgång p g a transmission, maximal ventilation med värmeåtervinning samt varmvattenproduktion. Husets totala energibehov har beräknats till 35 000 kWh. Hänsyn har då tagits till transmission, ventilation, varmvattenbehov, ofrivillig värmeförlust från solinstrålning, hushållsel och personvärme.

När projektet startade bedömdes berget vid huset vara mycket lämpligt för anläggande av ett marklager. En geologisk bedömning av platsen tydde på att berget borde vara relativt sprickfritt, utan krosszoner samt utan störande grundvattenomsättning. Vid anläggandet av marklagret visade sig emellertid berget vara rikt på sprickor.

Stora ytor på byggnaden har vid planeringen i slutet på 60-talet reserverats för solfångare. Huset har en vertikal yta åt söder på 42 m<sup>2</sup> samt en horisontell takyta på >150 m<sup>2</sup>. Skuggning p g a topografi och vegetation är obetydlig.

#### 5.5 Systemuppbyggnad

Systemuppkopplingen visas i Figur 5.1. Anläggningen är försedd med två olika solfångargrupper. HTSF anger vertikala, södervända glasade solfångare och LTSF anger horisontella, oskyddade solfångare. Marklagret LTML är uppdelat i tre koncentriska termiska zoner, A, B och C. HTSF kan värma zon A och/eller zon B, medan LTSF kan värma zon B och/eller zon C. Zonerna kan värmas av en elpatron EP1; var och en för sig eller tillsammans. Målsättningen med ett zonindelad marklager är att möjliggöra högre temperatur i mitten (zon A) än i randen (zon C). På så sätt kan en

del av varmvattenproduktionen lagras i zon A samtidigt som zon C utgör randen för hela lagret och ligger på en temperaturnivå som möter kraven i Sunstores grundpatent.

Huset värms med prototyp tillverkade lågtemperaturvärmeavgivande ytor (LTVA) vilka var installerade redan 1973. Ventilationsluften värms med ett värmebatteri VB. Energin till LTVA och VB kan valfritt tas från zon A, B eller C. Energin kan alternativt genereras av elpatronen EP2.

Tappvarmvattnet värms i tre steg i tre seriekopplade förrådsberedare. VVB1 får energi från marklagret, VVB2 får energi direkt från HSTF och VVB3 från el.

## 5.6 Dimensionering - energibalans

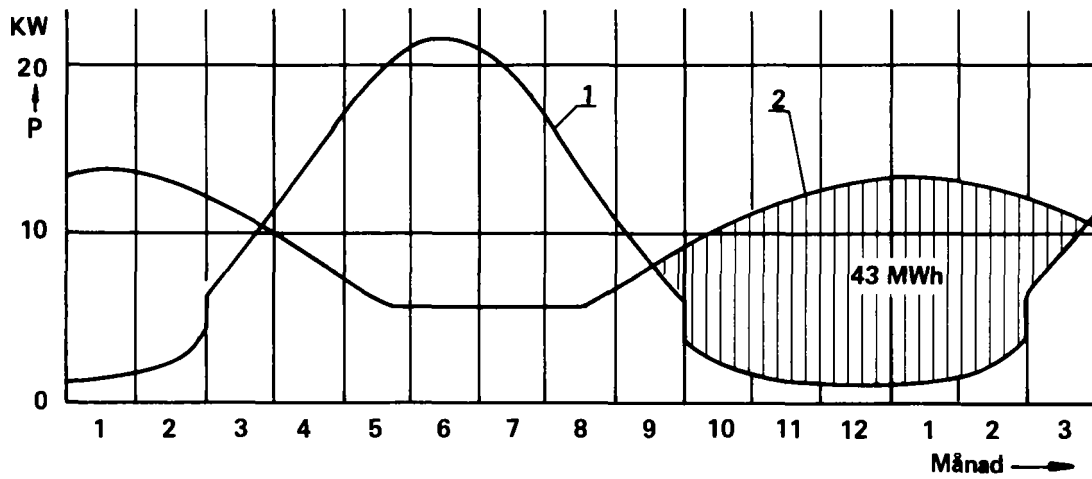
Dimensionering av anläggningen - som skedde hösten 1977 - skedde med hjälp av förenklade fysikaliska modeller som vid den tiden kunde angripas med analytiska metoder. Dimensionering av huvudkomponenterna och framtagning av energibalans för huset har skett i flera iterationsvarv. Samspelet och den ömsesidiga påverkan mellan solfångareffektivitet, effektsväljningsförmåga hos marklagret, marklagrets interna värmeströmning samt temperaturkrav från värmeavgivningsenheterna är komplicerat. När anläggningen dimensionerades rådde en viss osäkerhet beträffande dessa egenskaper.

Figur 5.2 visar uppfattningen vid dimensioneringstillfället beträffande energiflöden från solfångarna 1 och energiförbrukningen 2. Kurva 2 är summan av energin till huset och läckaget från marklagret.

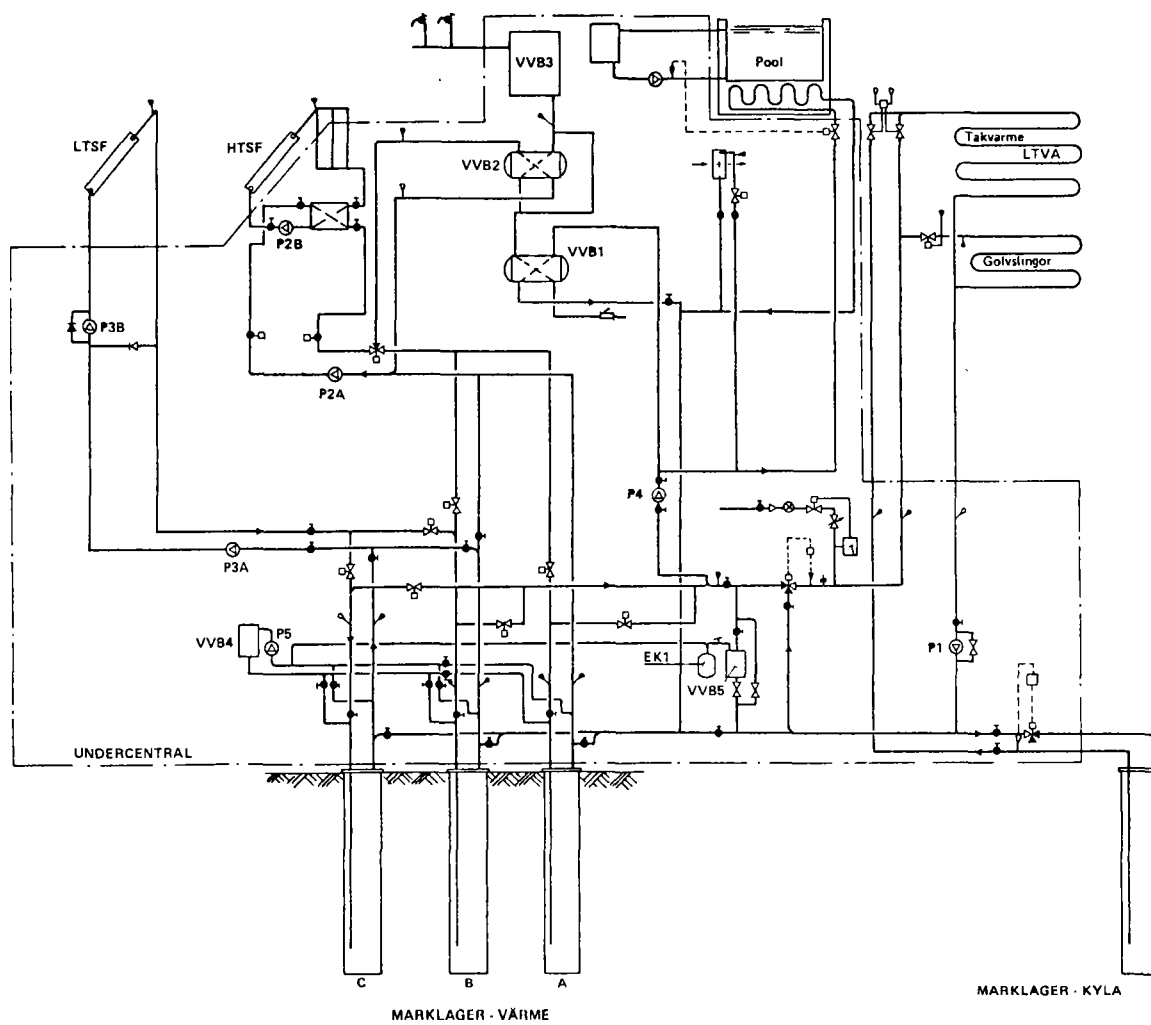
Årsförbrukningen till huset antogs vara 35 MWh. Det momentana läckaget från lagret antogs vara konstant - och ha det värde som erhålls beräkningsmässigt andra året efter att marken plötsligt hade höjts till driftstemperatur. Detta förenklade betraktelsesätt (endimensionell dynamisk teori) gav ett läckage av ungefär 5.7 kW, vilket på ett år blir 50 MWh.

Totalt infångad solenergi skulle då behöva vara  $35 + 50 = 85$  MWh. En total solfångaryta på ca  $170 \text{ m}^2$  och en då antagen solinfångning av  $600 \text{ kWh/m}^2/\text{år}$  skulle ge en årlig solenergitillskott av ca 100 MWh och en god marginal till de behövliga 85 MWh.

Vid jämförelse av kurva 1 och 2 fick man en uppfattning om hur mycket energi från solfångarna som dels skulle användas direkt och dels hur mycket som måste lagras i marken. Det streckade området angav hur mycket energi som måste lagras. Man fann att det var ungefär 43 MWh/år.



Figur 5.2 Energiflöden i experimentobjekt 1.



Figur 5.3 RÖRSYSTEM

Med en tillgänglig volym av ca 10 000 m<sup>3</sup> beräknades det årliga temperatursvinget bli ca 7 K. Redan under 1977 kunde man emellertid beräkningsmässigt konstatera att ovannämnda marginal inte var så stor. Som framgår av Kapitel 4.3.1 är en liten anläggning med lager i berg mycket nära gränsen för det tekniskt möjliga.

## 5.7 Undercentral

Undercentralen är belägen i ett rum i byggnadens källarplan. Här sammanbinds rörledningarna från solfångare, marklager, kylhål, värmeavgivare och ventilationssystem.

Undercentralen rymmer energianläggningens samtliga ventiler, pumpar, värmeväxlare, dränerings- och expansionskärl samt ventilationsanläggningens fläktar, värmeväxlare och värmebatterier.

I rummet skall även rymmas all reglerutrustningen såsom ställmotorer, mätgivare (med vissa undantag), styrdator och anpassningsenheter. Även delar av anläggningens mätutrustning ryms här.

I undercentralen är energianläggningens systemlösning förverkligad. Uppbyggnaden framgår av Figur 5.3, där området inom streckprickad linje anger den del av rörsystemet som återfinns i undercentralen. En detaljerad beskrivning av energianläggningens uppbyggnad finns redovisad i (33).

### 5.7.1 Dimensionering - konstruktion

Vid dimensionering av rördelar och komponenter gäller som princip att stora flöden skall användas, för att man skall kunna arbeta med små temperaturdifferenser. Detta innebär att rördiametrarna blir stora för att ej stora tryckfall och därmed höga pumpeffekter skall krävas. Temperaturen i systemet är lägre än vad som gäller i konventionella VVS-system. På marknaden finns ej idag komponenter som är anpassade för höga flöden och samtidigt låga temperaturer. Ventiler, rörledningar och pumpar blir därför kraftigt överdimensionerade beträffande tryckhållfasthet, eftersom befintliga komponenter måste användas.

Dimensionering av samtliga komponenter i undercentralen bestäms av grundenheternas (solfångare, marklager, värmeavgivare) prestanda samt av de vattenflöden, den temperaturdifferens och det tryckfall (pumpeffekt) som accepteras.

Ett antal typiska driftspunkter har angivits och utgjort underlag för dimensioneringen. Ett exempel på en sådan driftspunkt är HTSF sammankopplad med LTML zon A:

Överförd solvärmeeffekt = 18 kW och temperaturdifferens hos vattnet = 4 K. Tillåten teoretisk pumpeffekt har satts till 25 W, motsvarande en cirkulationspump med en märkeffekt av 60 W.

Detta ger ett vattenflöde på 3 900 l/h samt ett tryckfall på 23.2 kPa (2.32 mVp). Med de förekommande rörlängderna blir den nödvändiga rördimensionen  $\phi = 85$  mm.

Vid konstruerandet av rörsystemet har stor vikt lagts vid att åstadkomma en lättöverskådlig och lätt modifierbar anläggning. Den har därför fått stor utbredning och motsvarar på intet sätt en färdigutvecklad undercentral såsom den kan utföras efter några års utvecklingsarbete. Samtliga rör och ventiler är utförda i rödgods. Avsteg från korrosionståligheten har gjorts vid val av pumpar, som är utförda i gjutjärn. Expansionskärlen är av slutentyp och placerade i källarplanet.

Figur 5.3 visar rörsystemet i sitt nuvarande skick. Ursprungligen konstruerades det utan värmväxlare vid HTSF, utan automatisk vattenpåfyllning och utan slutna expansionskärl. De genomförda ändringarna behandlas i Kapitel 5.8 och 5.10.

#### 5.7.2 Anläggning

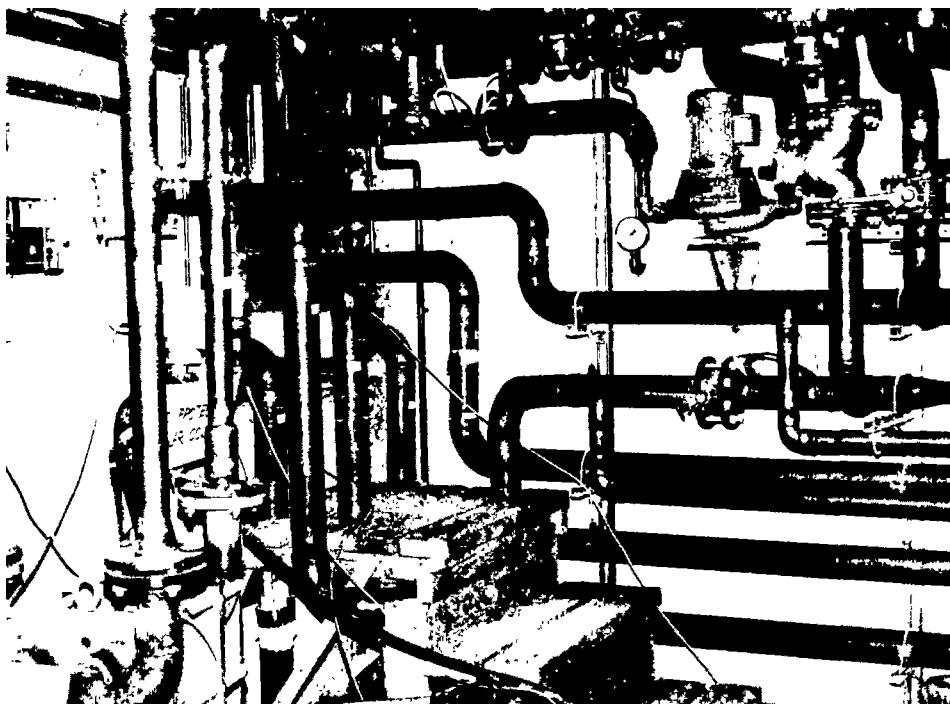
Undercentralen byggdes våren 1979. Innan dess användes ett provisoriskt cirkulationssystem för värmning av marklagret med el. Kvarstående arbeten är isolering av samtliga rör samt montering av givare för reglering och mätning av anläggningen. En del av rörsystemet visas i Figur 5.4, 5.5 och 5.6.

### 5.8 Solfångare - HTSF

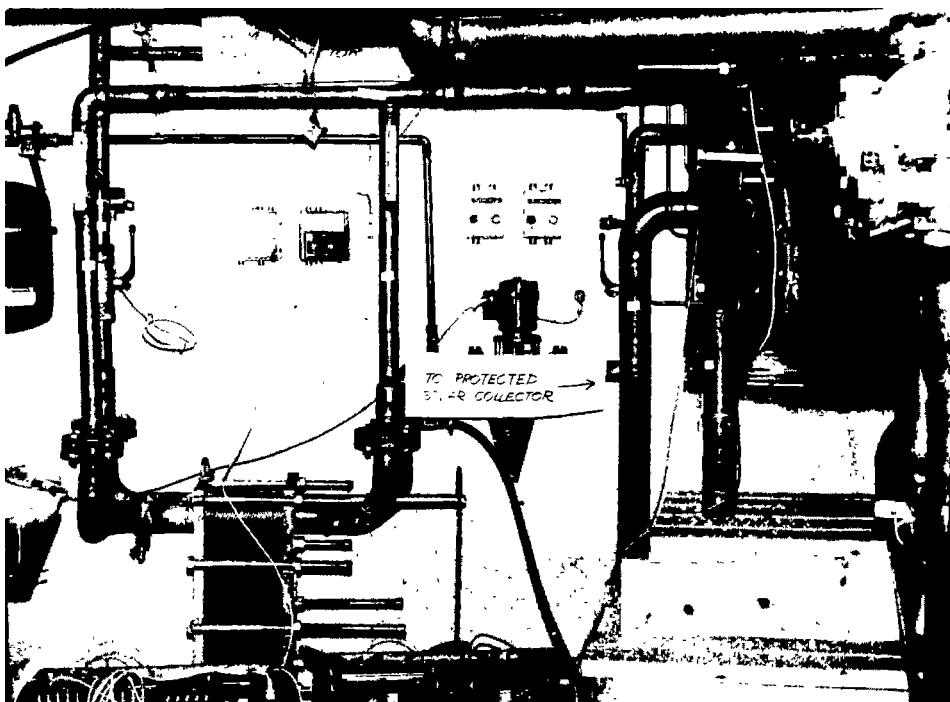
Byggnadens södervägg är försedd med vertikala glasade solfångare av fabrikat TeknoTerm. De är avsedda för att upprätthålla en varmare zon i mitten av marklagret - zon A - och att åstadkomma en temperatur som är tillräcklig för produktion av tappvarmvatten.

#### 5.8.1 Dimensionering - konstruktion

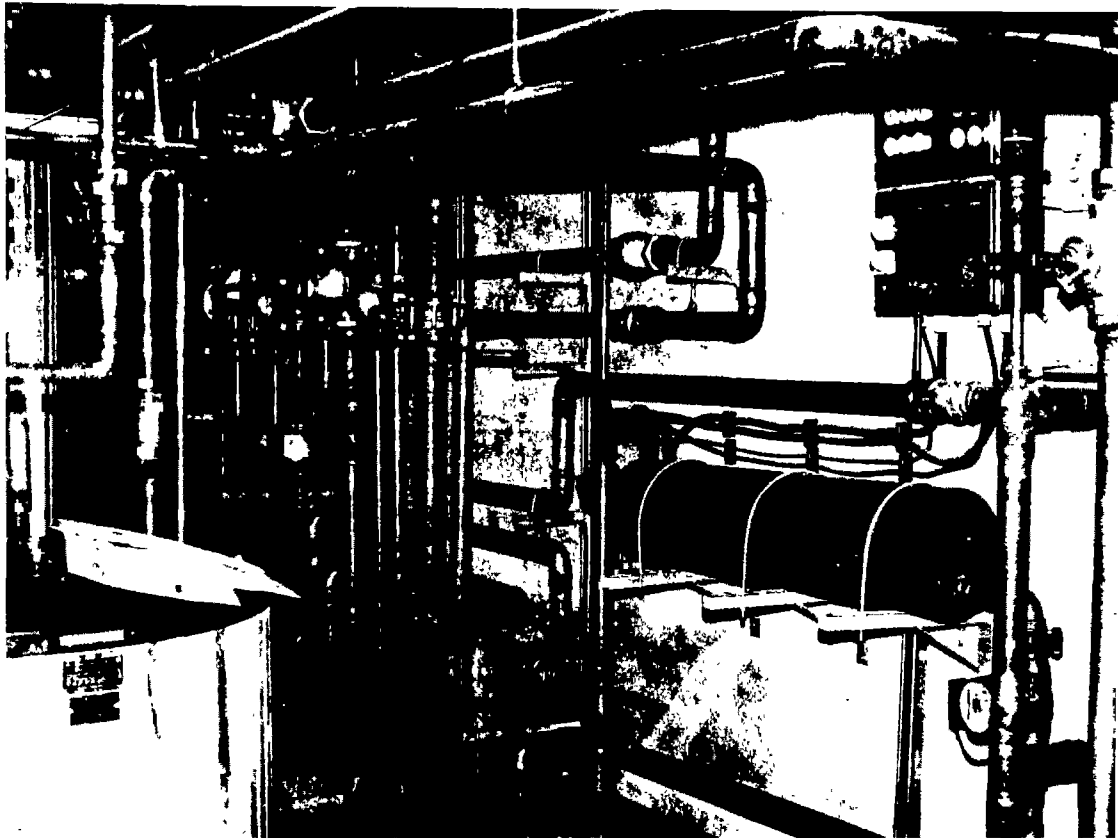
Solfångarytan är 36 m<sup>2</sup>. Vid en absorberad solinstrålning på 500 W/m<sup>2</sup> fås en totaleffekt på 18 kW. Med en temperaturuppgång på vattnet på 4 K fås ett vattenflöde på 3 900 l/h.



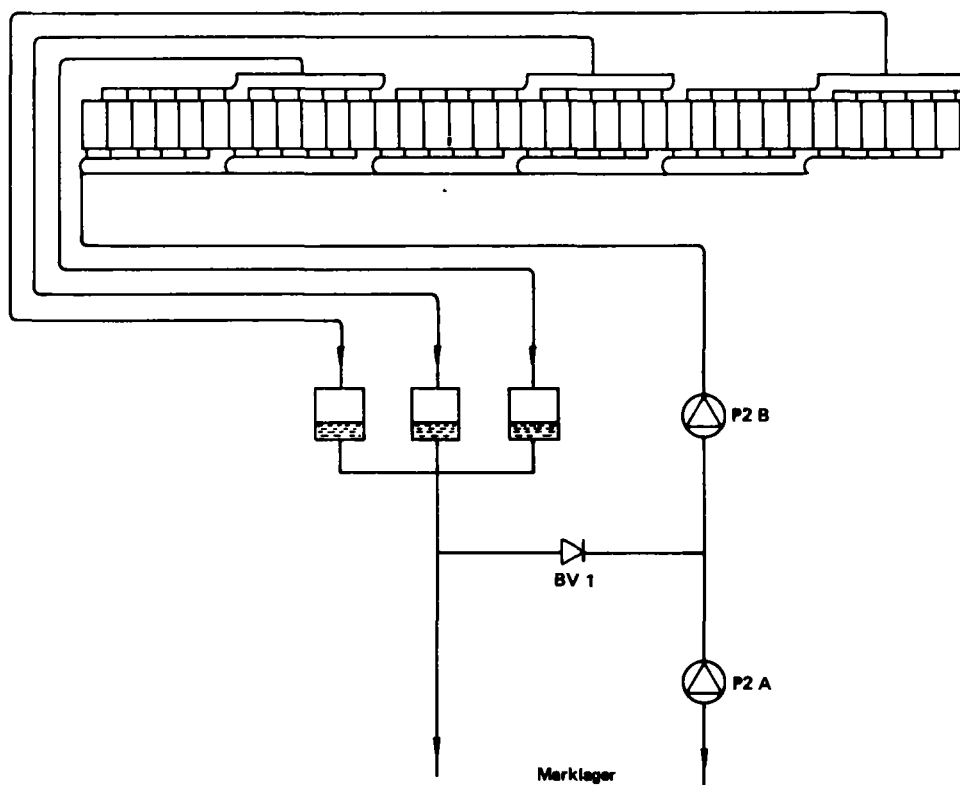
Figur 5.4 Del av undercentralen



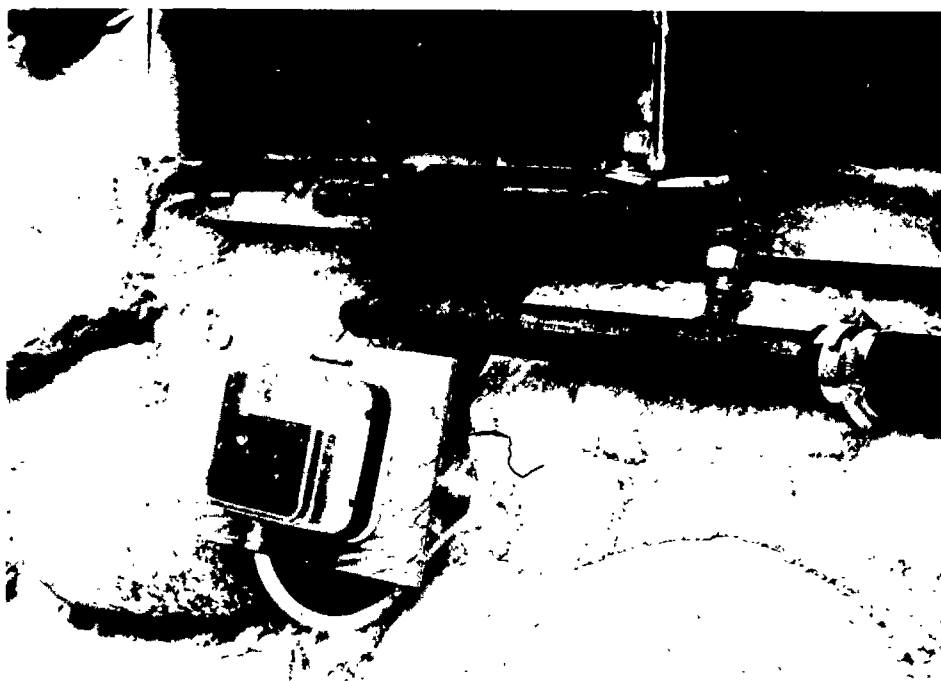
Figur 5.5 Del av undercentralen



Figur 5.6 Del av undercentralen



Figur 5.7 HTSF - Tekno Term typ Sun Unit. Rörssystem.



Figur 5.8 Temperaturkännare



Figur 6.9 HTSF - vägg



Solfångarna är av TeknoTerms serietillverkade typ SunUnit, men tillverkade av rostfritt stål. Montering har skett enligt fabrikanternas anvisningar. Det innebär bl a att de automatiskt töms på vatten till speciella dränerings-tankar då de ej är i drift. Solpanelerna är placerade vertikalt stående bredvid varandra, monterade på ett regelverk, som står på en 18 m lång gjuten sockel längs med husets södervägg.

Solpanelerna är sammankopplade i grupper om sex, ursprungligen med de tillhörande samlingsrören. Grupperna är sedan sammankopplade två och två till tre dräneringskärl, se Figur 5.7. Stor omsorg har nedlagts på att åstadkomma jämn flödesfördelning mellan grupperna. Fabrikanten rekommenderar att man använder maxflödesventiler (Ex TA STAT-ventil) i varje rörgren. Dessa ventiler förorsakar emellertid ett icke önskvärt tryckfall. Dörför har rör-systemet konstruerats så att rörlängd, antal rörkrökar och rördimension är lika för alla grupperna.

Rörssystemet konstrueras ursprungligen utan värmväxlare mellan solfångarkretsen och övriga energianläggningen. Fabrikantens standard dräneringskärl användes, som samtidigt tjänstgjorde som expansionskärl för hela anläggningen.

En tryckuppsättningspump, P 2B, som fyller solfångarna med vatten, startas när solinstrålningen är tillräckligt intensiv. När tryckuppsättningspumpen går cirkulerar vattnet mellan solfångarna och dräneringskärlen samt genom backventilen BV 1. Pumpen P 2B startas när vattnet i solfångarna har nått önskad temperatur. Därvid förs energi från solfångarna till marklagret eller annan förbrukare.

Tryckuppsättningspumpen styrs via en kontaktor och ett reglerskåp (TA - 315) av en temperaturgivare som indikerar solstrålningen. Givaren känner temperaturen hos en svart plåtyta, som är monterad i en väderskyddad, genomskinlig plastlåda vid solpanelerna, se Figur 5.8.

### 5.8.2 Anläggning

Solfångarna monterades våren 1979, se Figur 1979. Monteringsarbetet försvårades av att det angivna breddmättet på panelerna ej överensstämde med verkligheten. Rörarbetet genomfördes utan problem. Isolering av rören senarelades och har ännu ej utförts.

### 5.8.3 Funktionsprov - modifieringar

Omfattande funktionsprov med solfångarna utfördes under sommaren 1979. Flera allvarliga negativa erfarenheter erhöles.

Upprepade prov med igångkörning av anläggningen genomfördes. Det visade sig att fyllningen av solfångarna med vatten vid start av tryckuppsättningspumpen ej fungerade tillfredsställande. En av de tre parallella rörsystemen blev ej urluftar och en tredjedel av solfångarna hade ingen cirkulation. I augusti 1979 sattes därför dränerings-systemet ur funktion genom att hela systemet avsiktligt fylldes med vatten. Ett konstruktionsarbete påbörjades med avsikt att införa en värmeväxlare mellan solfångarna och marklagret. Därmed skulle solfångarkretsen kunna fyllas med glykolblandat vatten för undvikande av frysning.

Under våren 1980 byggdes solfångarkretsen om. Dräneringskärnen togs bort och en plattvärmväxlare monterades in. Eftersom dräneringskärnen även hade tjänstgjort som expansionskärl, blev det nödvändigt att montera in ett sådant i anläggningen.

När anläggningen kördes under sommaren 1979 med helt vattenfyllt rörssystem uppstod problem med urluften. Speciella luftfällor fick byggas in, där vattenhastigheten minskades kraftigt så att luftbubblorna kunde separeras, se Figur 5.10.



Figur 5.10 Urluftning för HTSF.

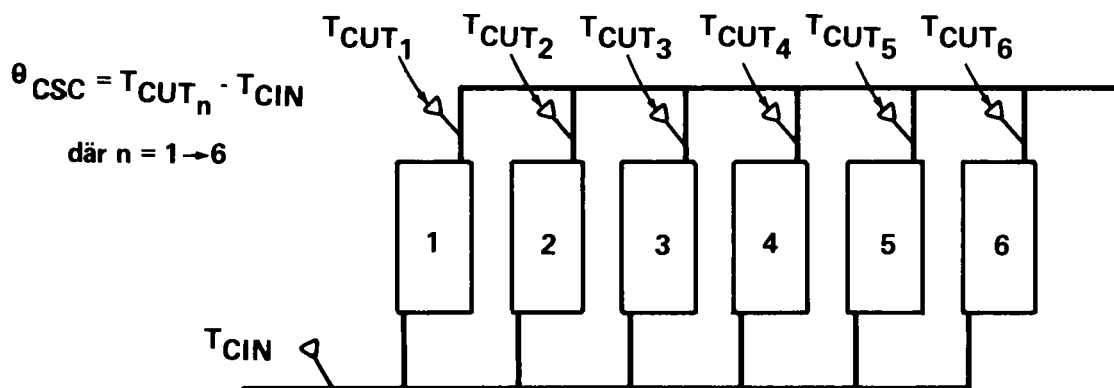
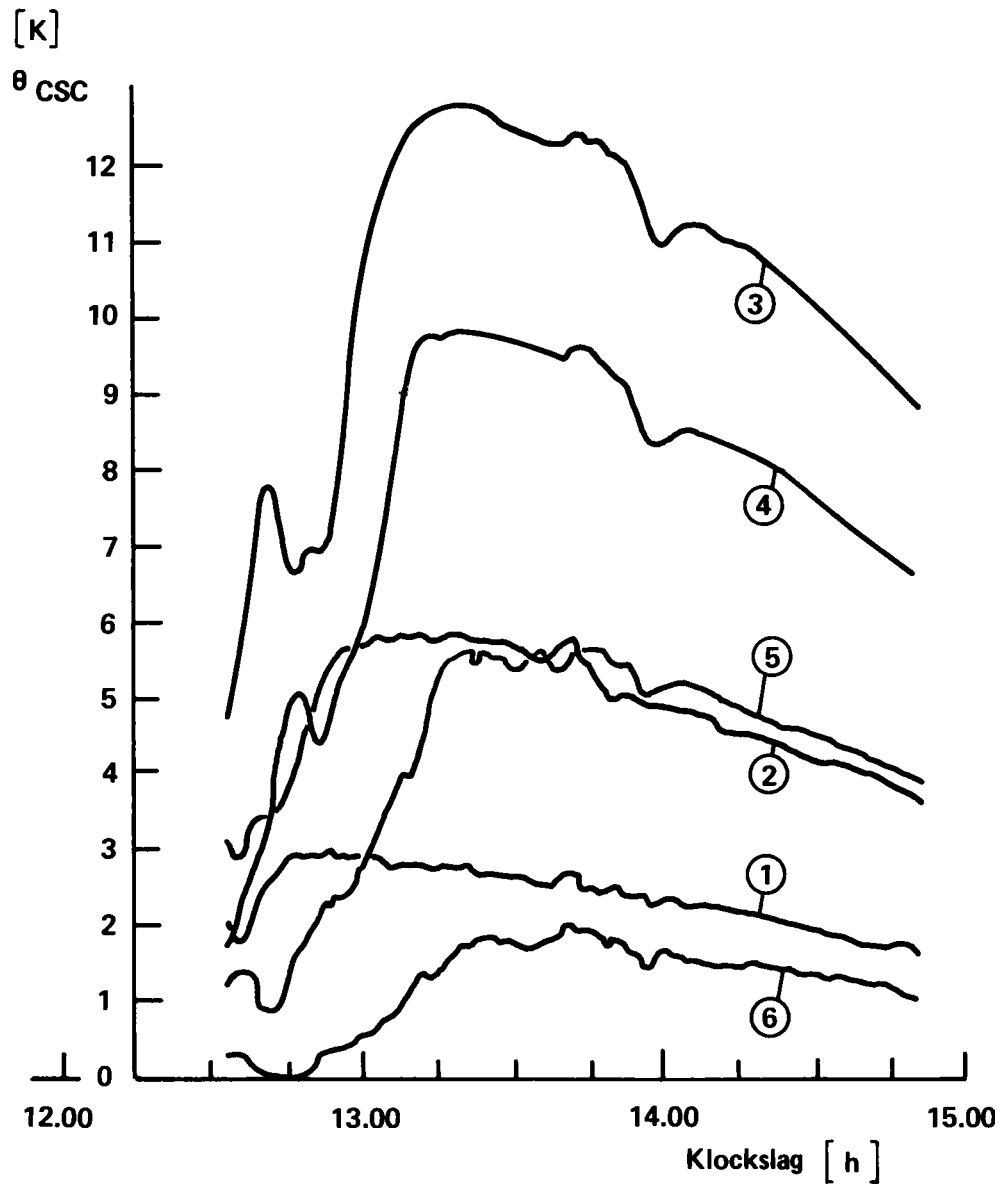


Fig 5.11 Temperaturskillnad mellan in- och utgående vatten för sex parallell-kopplade solfångare (Teknoterm Sun Unit).

Mätning av energiinfångningen från solfångarna gjordes under sommaren 1979. In- och utloppstemperaturen på vattnet mättes med en registrerande utrustning. Därvid konstaterades att energiinfångningen var avsevärt lägre än väntat.

Vid studium av solfångarnas originalinstallerade samlingsrör, som sammanband solpanelerna i grupper om sex stycken, väcktes misstanken att dessa var för klena så att en ojämn flödesfördelning rådde i varje grupp. Detta skulle kunna förklara den dåliga effektiviteten.

För att bekräfta misstanken gjordes ett enkelt analytiskt överslag av flödesfördelningen. Detta indikerade att flödet i mittsolfångarna borde vara ca 1/10 av flödet genom de yttre panelerna. Därefter gjordes dels en ingående databeräkning av flödesfördelningen (25), dels en mätning av utloppstemperaturerna från varje enskild panel i en grupp om sex stycken, Figur 5.11.

Beräkningarna visade att flödesfördelningen, p g a de klena samlingsrören, var mycket ojämn. Flödet i de yttre panelerna var 11.5 gånger större jämfört med de mittr panelerna. Detta resulterar i att temperaturen i de mittr solfångarna blir betydligt högre, medförande en kraftig sänkning av effektiviteten på dessa. Mätningen av utloppstemperaturen i solfångarna bekräftar helt dessa beräkningar.

Problemet med den ojämna flödesfördelningen kan elimineras genom ökning av arean hos samlingsrören i kombination med införandet av strypbrickor i tilloppet (eller



Figur 5.12 Samlingsrör HTSF med gummislang

frånloppet) på varje solfångarpanel. En omkonstruktion av söderväggens solfångare efter dessa riktlinjer har företagits. Ombyggnadsarbetet genomfördes våren 1980.

Under cirkulationsproven sommaren 1979 uppstod upprepade läckage i röranslutningarna till solpanelerna. Dessa läckage var mycket besvärliga att åtgärda, eftersom panelernas glasning ej gick att montera bort under reparationsarbetet. Flera glas havererade under arbetet med hårdlödning av röranslutningarna.

Det konstaterades att läckagen uppkom av de termiska spänningar som rådde mellan samlingsrören och de fast monterade solfångarna. För att åtgärda detta kapades en bit av samlingsrören bort mellan varje solfångare och ersattes med en bit gummislang, se Figur 5.12.

Avsikten är att solfångarna med sitt rörsystem skall färdigställas helt under våren 1981. Därefter kan effektiv solenergiinsamling åstadkommas under sommaren.

## 5.9 Solfångare - LTSF

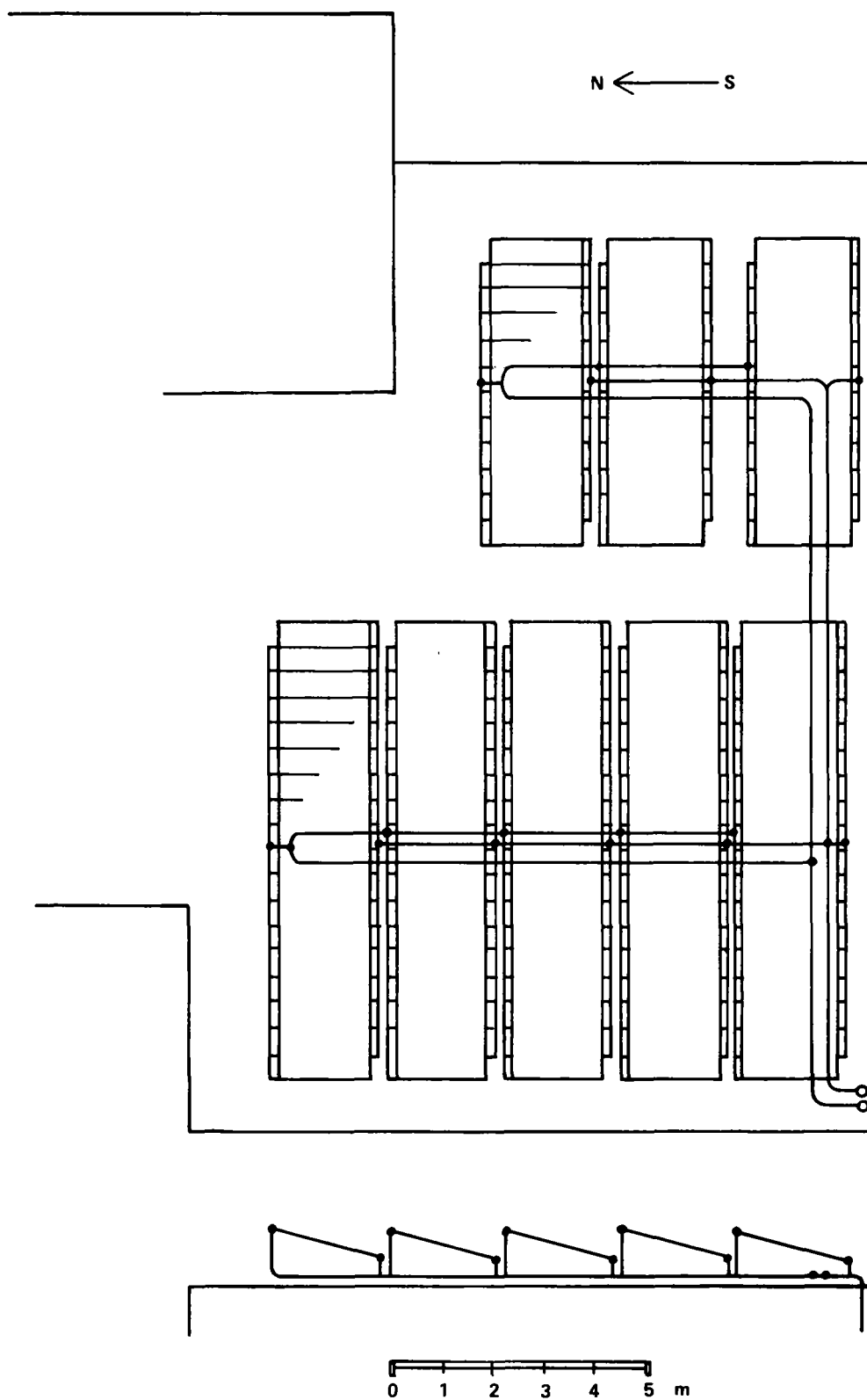
Byggnadens horisontella tak är försett med oskyddade solfångare av fabrikat TeknoTerm. Energin från dessa solfångare skall föras till marklagrets B- och C-zon.

### 5.9.1 Dimensionering - konstruktion

Solfångarytan är 126 m<sup>2</sup>. Vid en absorberad solinstrålning på 500 W/m<sup>2</sup> fås en totaleffekt på 63 kW. Med en temperaturuppgång på vattnet på 4 K fås ett vattenflöde på 13 600 l/h.

Solfångarna är av TeknoTerms serietillverkade typ SunUnit, men tillverkade i rostfritt stål och utan glasning. Solfångarna är monterade lutande 15° och vända mot söder, se Figur 5.13. De är placerade i parallella stråk, dock utan att de skymmer varandra för mycket. Montering har gjorts på en stålramskonstruktion, som är infästad i byggnadens tak. Solfångarna är således ej på något sätt integrerade med byggnadens tak, vilket de däremot skall vara vid en färdigutvecklad produkt.

Samlingsrören är dragna såsom framgår av Figur 5.13. För att säkerställa en jämn flödesfördelning mellan solpanelerna har grova samlingsrör använts samt varje panelanslutning försetts med en strypbricka. Tryckfallet över denna strypbricka dominerar över tryckfallet i samlingsröret.



Figur 5.13 Solfångare LTSF med samlingsrör.

Solfångarna är ej skyddade mot frysning. Under vinterhalvåret är dessa urtappade på vatten. Stor omsorg är nedlagt på att få solfångarna fullständigt dränerade för att förebygga frysskador.

När solinstrålningen är tillräckligt intensiv, startas pumpen P3B ( se figur 5.3) som cirkulerar vattnet i solfångarna genom backventilen BV1. När cirkulationsvattnet är tillräckligt varmt startar pump P3A och energi förs från solfångarna till marklagret.

### 5.9.2 Anläggning

Stålkonstruktionen som bär upp solfångarna tillverkades och monterades under hösten 1979. Därefter monterades solfångarna och rörsystemet under våren 1980. I samband med dessa arbeten försågs taket med ett skyddsstaket samt gångtrallar, se Figur 5.14. Arbeten med isolering av rörsystemet skall genomföras våren 1981.

### 5.9.3 Funktionsprov

Anläggningen vattenfylldes, urluftades och provtrycktes utan anmärkning. Vid cirkulationsprov med mätning av solenergi till marklagret indikerades en jämn flödesfördelning mellan solpanelerna. Stickprov av momentanprestandan har visat att  $\xi_0$  (nollastpunkten) för dessa solfångare är ca 0.08 en normal dag med svag vind. Solfångarna skall tas i produktiv drift våren 1981.

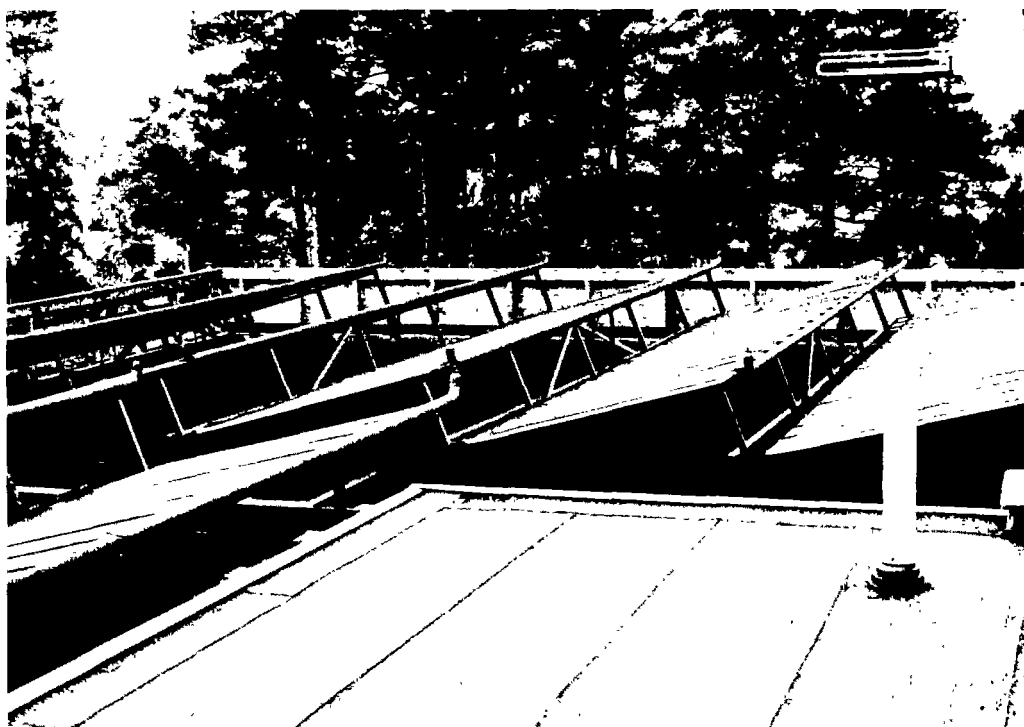
## 5.10 Marklager

Intill byggnaden har ett marklager i berg anlagts, se Figur 5.15. Det har varit i drift sedan augusti 1978 genom att det har värmts med elenergi sedan dess. Temperaturmätning i marklagret har utförts regelbundet. Resultatet redovisas i Kapitel 5.14. En geohydrologisk undersökning av marken i och omkring lagret har utförts och redovisas även den i Kapitel 5.14.

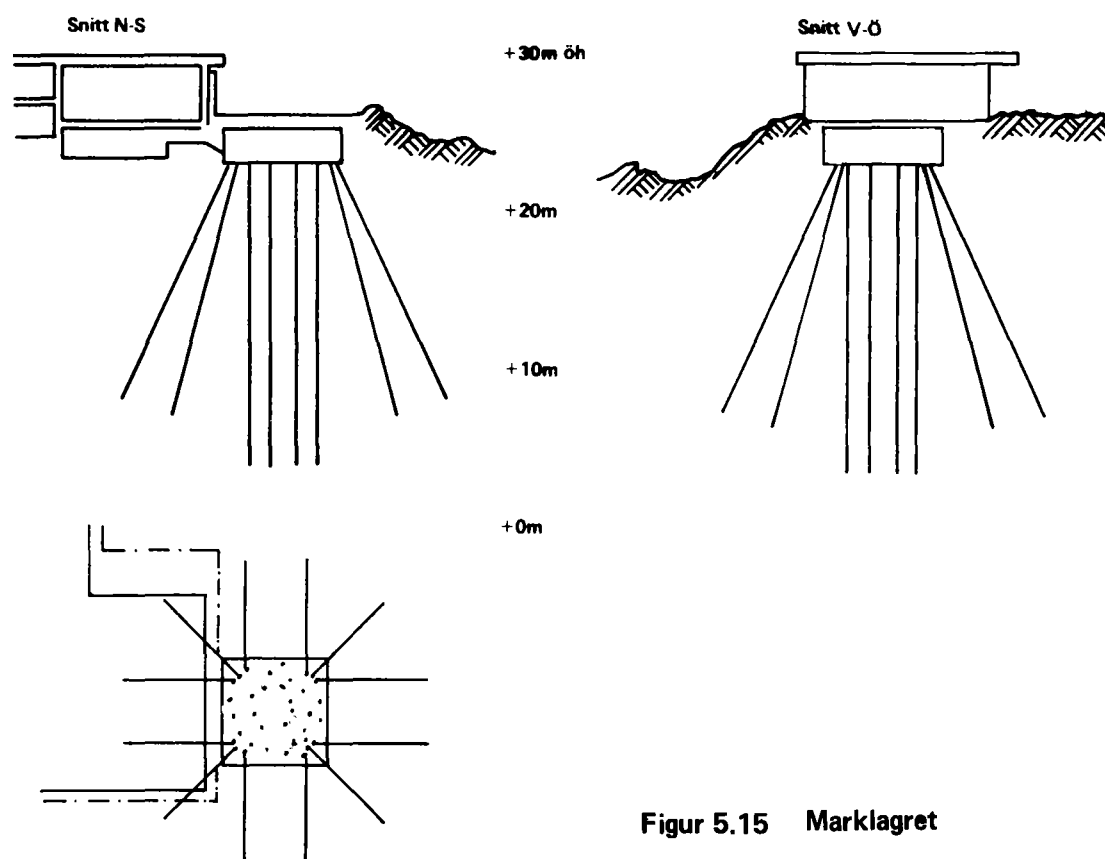
### 5.10.1 Dimensionering - konstruktion

Marklagret är rotationssymmetriskt och indelat i tre koncentriska termiska zoner, se Figur 5.16. Zonerna är hydrauliskt åtskilda och har separata samlingsrör samt separata rör till undercentralen, se Figur 5.17.

Tryckfallet i ledningsbanorna är högre än i samlingsrören varför en jämn flödesfördelning mellan de parallella ledningsbanorna är säkerställd. Seriekopplade ledningsbanor kan ej användas p g a att det totala tryckfallet då blir för stort.



Figur 5.14 Solfångare på byggnadens tak LTSF



Figur 5.15 Marklagret



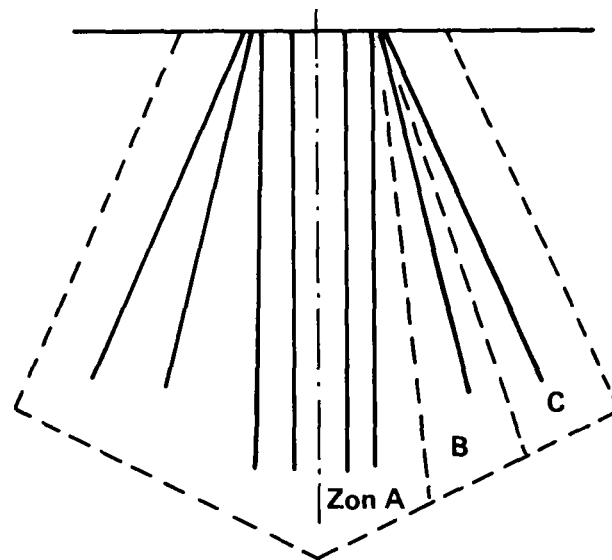


Fig 5.16 Marklagrets temperaturzoner

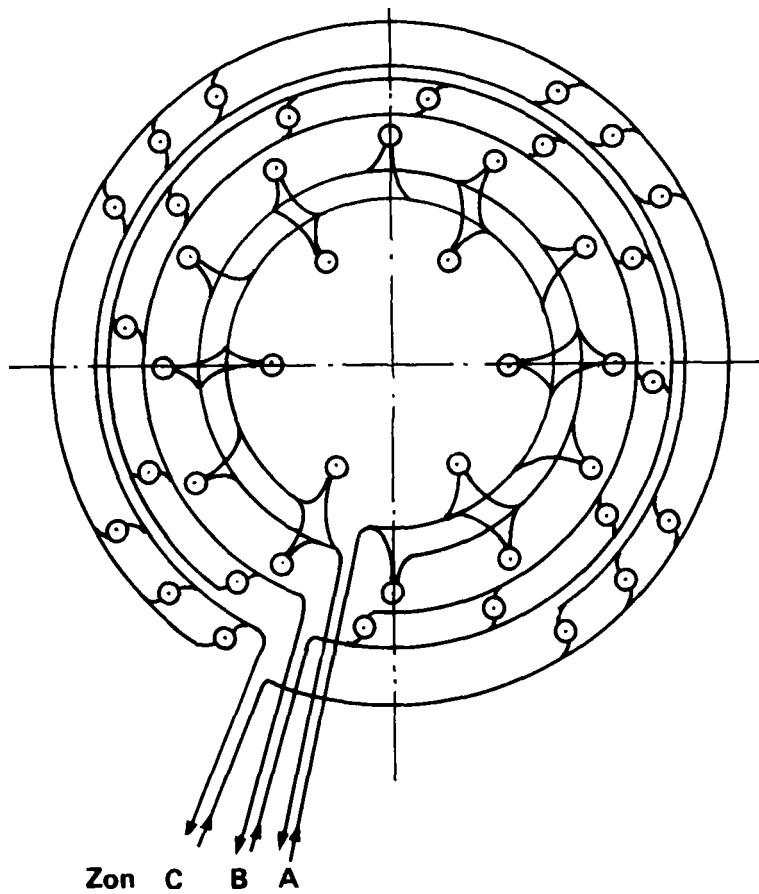
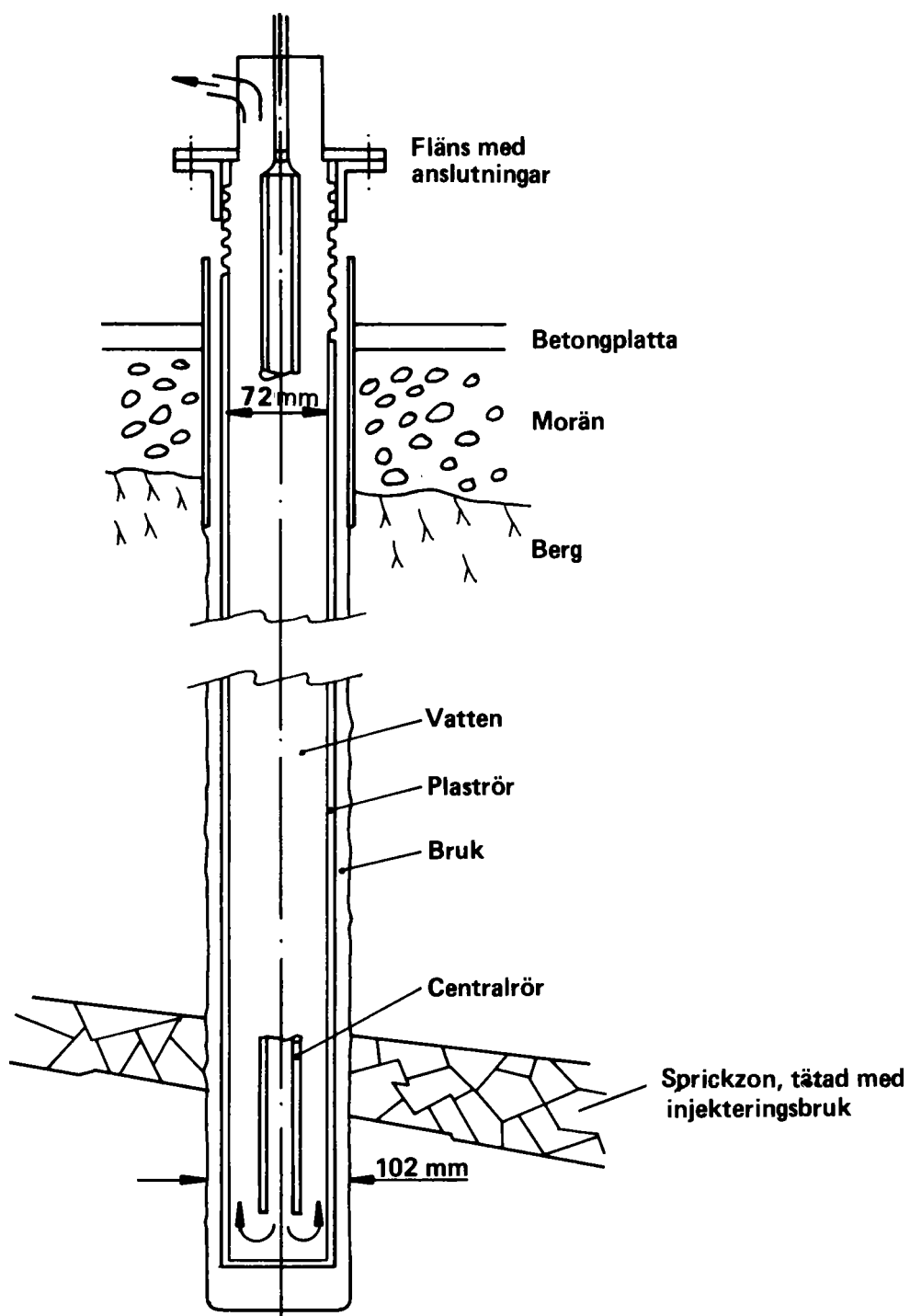
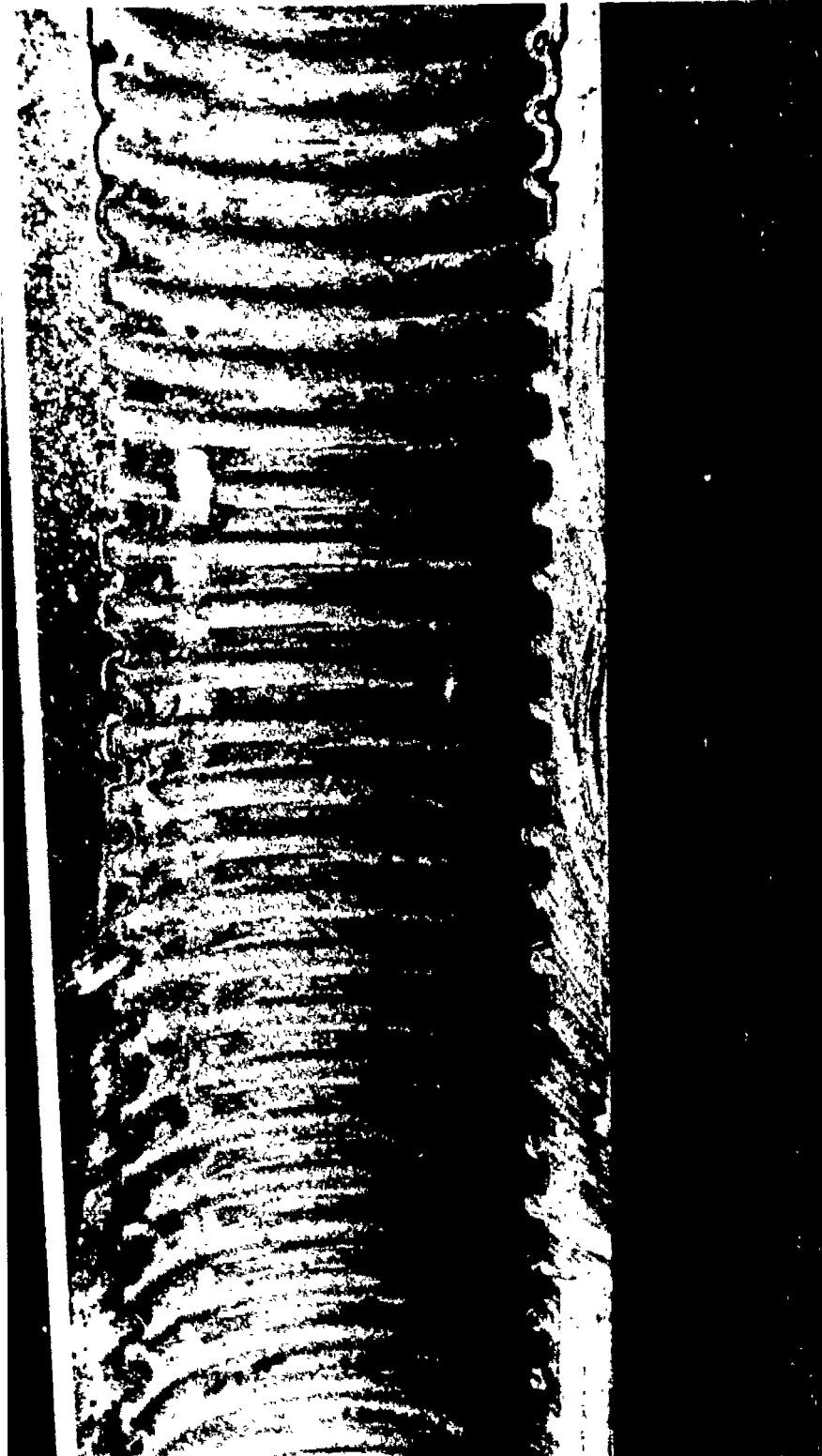


Fig 5.17 Marklagrets rörsystem



Figur 5.18 Installation av ledningsbana.



Figur 5.19 Plaströr och injektering för ledningsbana. Provutförande

Den innersta zonen, zon A, är cylindrisk och upptar en termisk volym av 900 m<sup>3</sup>. Den har 18 st 23 m djupa hål med en sammanlagd längd av 414 m.

Den mellersta zonen, zon B, ligger utanför zon A. Den har en volym av 3 300 m<sup>3</sup> och är försedd med 12 st 20 m djupa hål, som lutar 13° mot vertikallinjen.

Den yttre zonen, zon C, ligger utanför zon B. Volymen är 5 700 m<sup>3</sup>, antal hål 12 st med en längd av vardera 20 m. Lutningen på hålen är 20° respektive 21° mot vertikallinjen.

Effektswäljningsförmågan har beräknats genom datorsimulering (26). Antal hålmeter är tilltaget med god marginal så att tillräckligt god effektswäljningsförmåga är säkerställd. Särskilt för zon A, som skall laddas till hög temperatur, måste effektswäljningsförmågan vara god. Stiger vattentemperaturen mycket vid påtryckt effekt minskar solfångarnas effektivitet.

Hålen för ledningsbanorna är borrade med en diameter på 102 mm, Figur 5.18. Den stora diametern valdes av installationskäl. För att få hålen helt täta har de infodrats med ett korrugerat plaströr, som har gjutits fast i hålen med injekteringsbruk. Röret har en inre diameter på 72 mm, se Figur 5.19. I detta rör har placerats ett klenare rör med en ytterdiameter av 32 mm. Då vatten omsätts i hålet tillförs detta i det inre röret och leds ned till botten av hålet. Vattnet tas sedan upp i det yttre röret varvid vattnet bestryker den yttre rörväggen och värmeutbyte med marken sker.

#### 5.10.2 Anläggning

Under perioden oktober 1977 - mars 1978 har Stabilator AB utfört schaktnings-, borrhings- och injekteringsarbeten för marklagret. Det finns redovisat i (41).

Arbetet påbörjades med bortschaktning av ett moränlager på 3 m på en yta av 10 x 10 m. Från denna yta borrades de 42 hålen till ledningsbanorna, se Figur 5.20. De översta 3 metrarna borrades med foderrör som lämnades kvar för att förhindra igenrasning av hålen från ett kvarvarande moräntäcke på 0 - 2 m.

Under borrhningen noterades förekomsten av krosszoner och andra störningar. Det visade sig att den valda bergplinten innehöll ett flertal kraftiga krosszoner och störningar på varierande djup.

Mätning av vatteninläckning utfördes i varje borrhål allteftersom de blev uppborrade. Det visade sig att tillrinningen var god i de flesta hålen. Trots att risken

för grundvattenomsättning var liten p g a markkroppens läge, beslöts att krosszonerna skulle tätas med injektering. Därigenom förhindrade man också att lösa stenar skulle ramla ut och försvåra infodringen. Totalt injekterades 13 ton injekteringsbruk.

Det borrades även ett antal mäthål, vilket redovisas i Kapitel 5.14.

Efter borrningen vidtog infodringen med PVC-rören. Dessa är korrugerade med en godstjocklek på 1 mm, en yttre diameter på 80 mm och en inre diameter på 72 mm. Röret är skarvat med limfog samt krympslang. I botten är det tätat med en fastlimmad plastplugg. Upptill avslutas röret med en pålimmad plastfläns.

Vid fastgjutningen nedfördes PVC-röret tillsammans med en injekteringsslang mellan röret och hålväggen, se Figur 5.21. Röret vattenfylldes och förankrades upptill så att det ej skulle flyta upp vid injekteringen. Därefter pumpades tunt injekteringsbruk ned i slangen och fyllde utrymmet mellan bergvägg och rör.

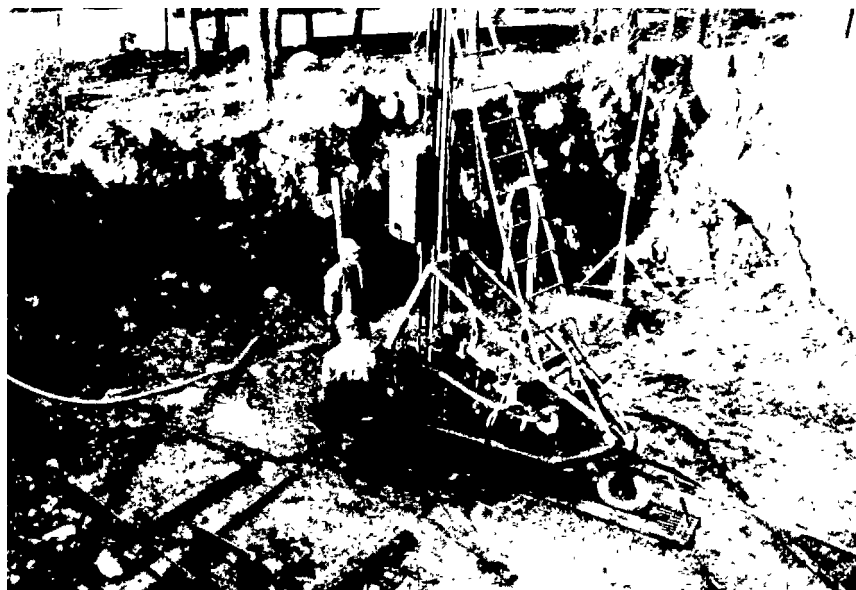
P g a det sprickiga berget samt att tekniken med fastgjutning av rör i hål var oprövad och ny, blev kostnaderna för dessa arbeten höga. Totalt borrades 840 m, med i genomsnitt 47 m/dag (ett borrhaggat). Borrningen kostade 76 kr/m, sprickinjektering och omborrning 86 kr/m samt infodring med plaströr inklusive fastgjutning 63 kr/m. Sammanlagda kostnader blir då 225 kr/m vilket inkluderar maskinkostnad, material och arbetskostnad.

Vid en noggrann förundersökning av tilltänkt mark för anläggandet av ett marklager, bör man kunna finna mark som är fri från krosszoner och grundvattenomsättning. Därvid bortfaller kostnaden för sprickinjektering och omborrning. Med dagens teknik bör således ett marklager kunna anläggas med en kostnad av 140 kr/m ledningsbana.

Efter att borrhings- och infodringsarbetena var avslutade, gjöts en betongplatta på 8 x 8 m som fundament för en överbyggnad som senare skulle byggas. Därefter vidtog rörarbetena ovan mark. Anslutningskåpor tillverkades av koppar, se Figur 5.22. I dessa kåpor anslöts ett centrumrör som monterades i PVC-röret. Centrumröret är av fabrikat Wirsbo-Pex och centrerades med speciella distanskammar.

Samlingsrören placerades på en stålställning ca 50 cm ovanför markplattan, se Figur 5.23. Ledningsbanorna anslöts via kåpan och en avstängningsventil, så att varje ledningsbana kunde avstängas individuellt. Samlingsrören isolerades med rörskålar av mineralull.

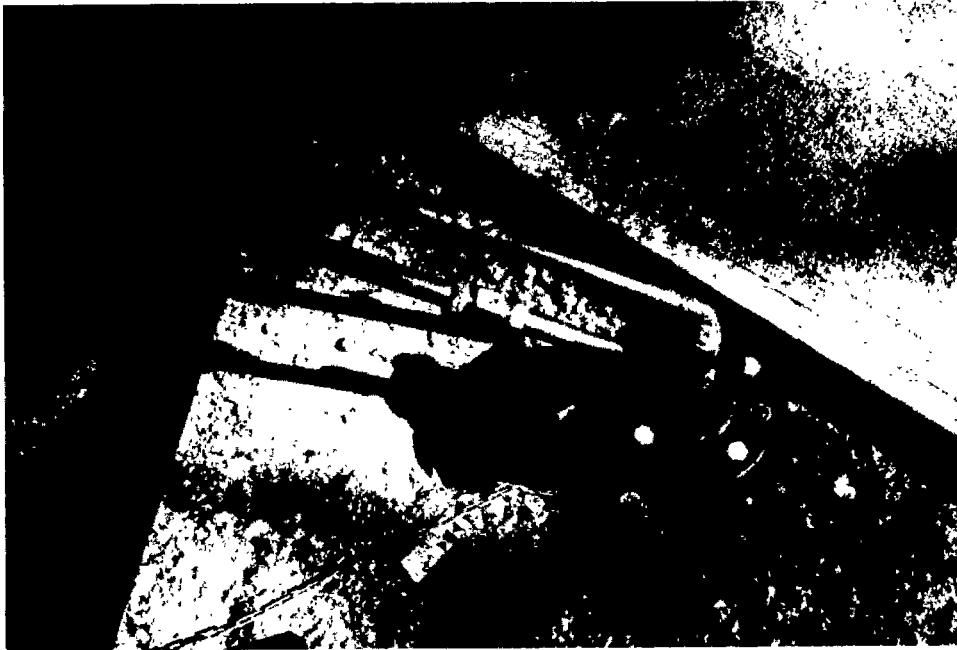
Överbyggnaden byggdes av Leca murblock och prefabricerade betongbjälklag. Efter fuktisolering täcktes överbyggnaden med jord till ursprunglig nivå. Markplattan isolerades på ovansidan med 40 cm lösleca.



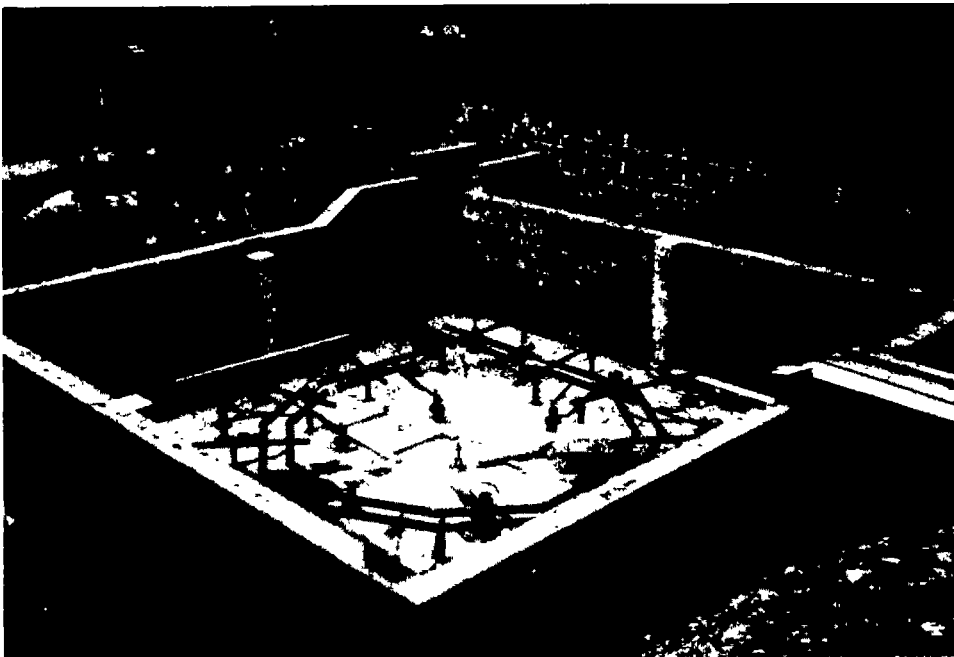
Figur 5.20 Borrning av hål för ledningsbanor.



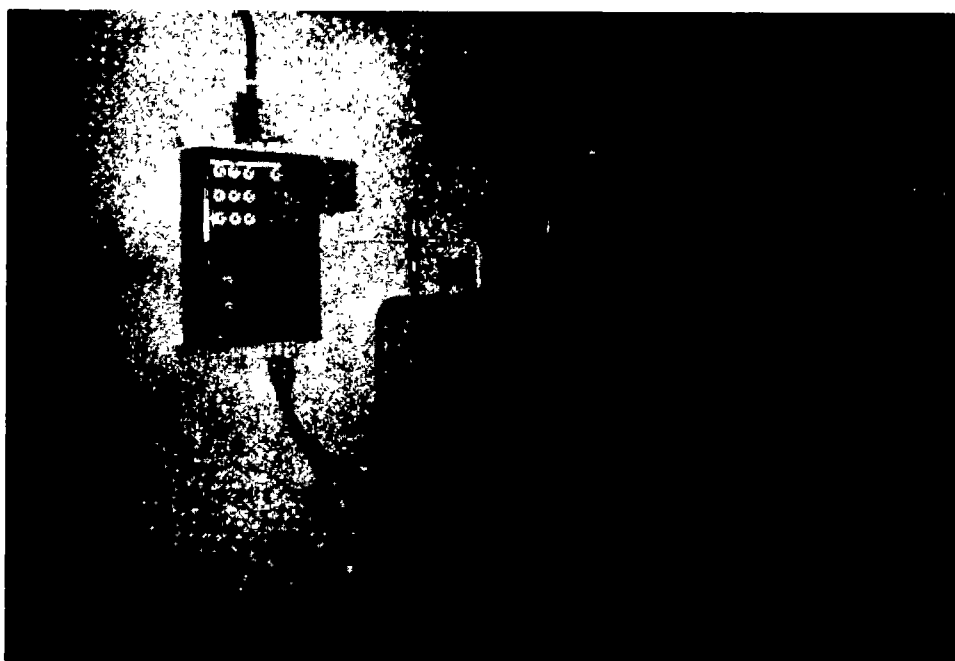
Figur 5.21 Fastinjektering av plaströr.



Figur 5.22 Samlingsrör och anslutningskåpa



Figur 5.23 Marklager med samlingsrör för A - zonen



**Figur 5.24** Cirkulationsanordning med elvärmare för marklagrets A-zon.  
(tidigt utförande)



### 5.10.3 Funktionsprov - modifieringar

Efter att rörsystemet färdigställdes provtrycktes anläggningen utan anmärkning. I augusti 1978 påbörjades värmning av A-zonen med en elpatron på 15 kW. Värmningen har pågått sedan dess med några månaders avbrott p g a ombyggnadsarbeten.

A-zonen arbetade ursprungligen med ett öppet expansionskäril i maskinrummet, se Figur 5.24. Genom ett nivåör vid expansionskärlet kunde eventuellt vattenläckage avläsas. Läckaget var till en början nästan obefintligt men en viss ökning kunde konstateras under de följande månaderna.

När undercentralen färdigställdes sattes hela vatten-systemet under övertryck på 150 kPa (1.5 bar). Detta för att även de högt belägna solfångarna skulle garanteras ett övertryck. Då noterades ett kraftigt läckage, upp till 12 liter vatten per timme, som kunde spåras till marklagret. Vid noggrann inspektion av anslutningskåporna på ledningsbanorna upptäcktes att nästan samtliga plastflänsar uppvisade sprickor.

Löslecan på markplattan bortforslades och samtliga ledningsbanor provtrycktes individuellt. Läckaget noterades vid olika tryck, och därmed kunde indikeras vid vilket djup läckaget förelåg. Med undantag av två ledningsbanor var läckaget vid markytan, d v s vid anslutningsflänsen.

För att kunna komma åt anslutningsflänsarna måste samlingsrören höjas. Detta gjordes och samtliga anslutningsflänsar demonterades och reparerades. Efter ett omfattande rörarbete kunde marklagret åter börja värmas med el efter ca 2 månaders uppehåll hösten 1979.

Även efter reparationsarbetet kunde ett visst minimalt läckage konstateras. Rörsystemet kompletterades därför med en anordning för automatisk vattenpåfyllning. Vattenförbrukningen (läckaget) indikeras kontinuerligt med en vattenmätare.

### 5.11 Kylhål

En ledningsbana för svalhållning (kylning) av byggnaden har anlagts. Den är dimensionerad och anlagd på samma sätt som marklagrets ledningsbanor. Hålet är 33 m djupt och placerat ca 35 m från marklagrets centrum, se Figur 5.38 (hål nr 53).

### 5.12 Värmeavgivare

Värmeavgivarna är av två slag, takradiatorer och golv-slingor. Takradiatorerna har byggts på plats och är av prototypkaraktär. De täcker samtliga takytor som samtidigt är yttertak. Golv-slingorna är ingjutna i samtliga golv som ligger på mark.

### 5.12.1 Dimensionering - konstruktion

Takradiatorerna består av plaströr (Wirsbo PEX) som är flänsade med två aluminiumplåtar, se Figur 5.25. Plaströren sitter monterade i taket mellan parvisa reglar, som spikats i takstolarnas underkant med 300 mm delning. Reglarna utgör underlag för aluminiumflänsen.

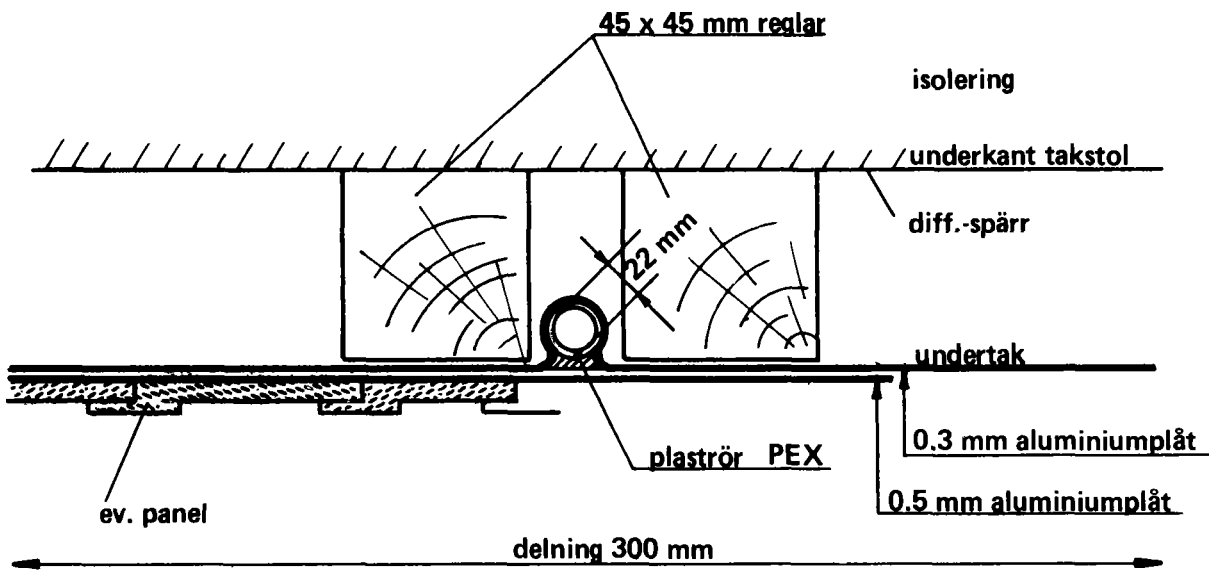
Plaströret ryms i en kanal i den övre aluminiumplåten. För att erhålla god termisk kontakt mellan plaströret och plåtarna samt mellan plåtarna har använts en speciell kontaktmassa med god värmeledningsförmåga.

Varje rum har en plaströrsslinga, se Figur 5.26, som matas med vatten från två termostatstyrda ventiler av fabrikat Danfoss, typ RAV. Via den ena ventilen matas slingan med varmt framvatten från marklagret (för värmning) och via den andra ventilen matas slingan med svalt vatten från kylhålet (för svalhållning). I stora rum används två eller tre parallella slingor. Avluftningsrör leder till en högpunkt, där en automatisk avluftningsventil är monterad.

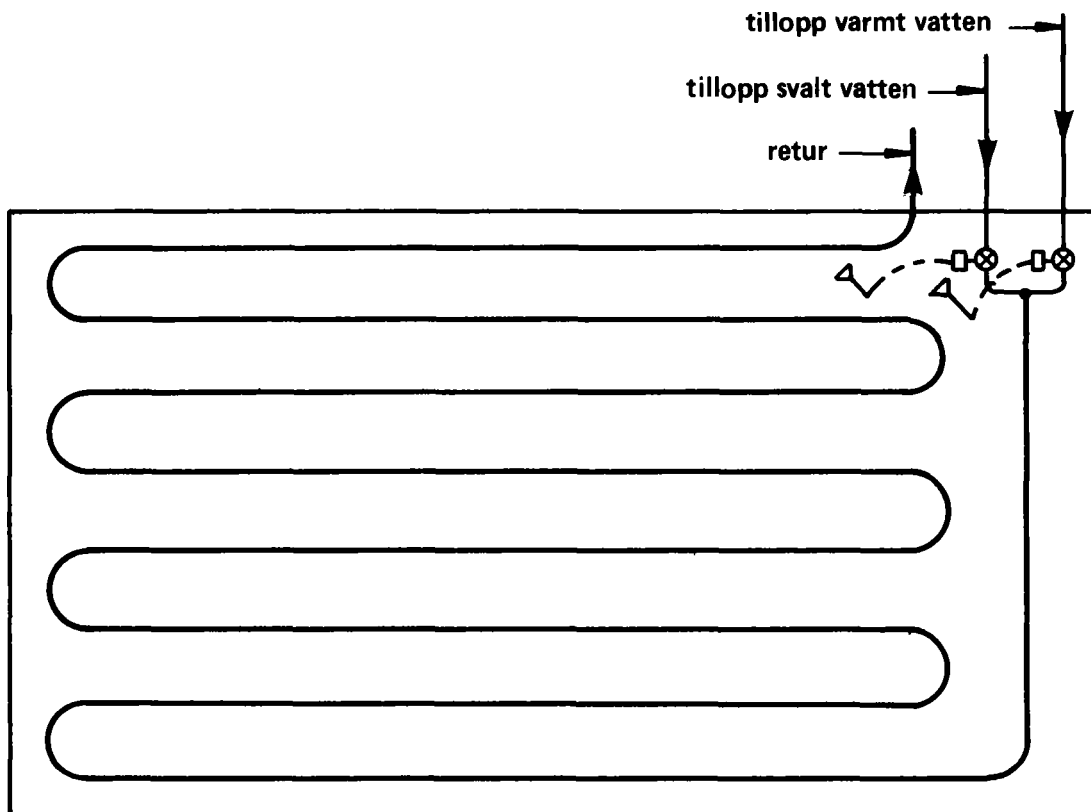
Den synliga takpanelen kan utgöras av den undre aluminiumplåten med lämplig ytbehandling, t ex målad i matt färg. Val av kulör är ej beroende av ytans värmeavgivningsegenskaper, det viktiga är att ytan ej är en blank metallyta, eftersom strålningsegenskaperna då blir mycket dåliga. Den undre plåten behöver ej vara tjockare än 0.5 mm (aluminium) för att fullgod flänsverkan skall ernås. För att taket av estetiska skäl skall bli tillräckligt plant i detta prototyputförande bör emellertid plåten vara tjockare. Taket kan också täckas med en tunn (10 - 15 mm tjock) träpanel, utan att värmeavgivningsegenskaperna försämras för mycket. Det är emellertid viktigt att god kontakt föreligger mellan plåtytan och panelen, lämpligen med hjälp av kontaktmassa eller lim.

Vid LUT skall panelerna avge  $\sim 30 \text{ W/m}^2$ , varav hälften nedåt såsom strålning. Värmeavgivningen är ca 5 W per K som panelytans temperatur överstiger rummets genomsnittliga yttemperatur (golv, fönster, väggar). Om rummets temperatur i denna mening sätts till  $20^\circ\text{C}$ , krävs således en yttemperatur på panelerna på  $23^\circ\text{C}$ . Med en träpanel-tjocklek på 10 mm,  $\lambda = 0.1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  samt ett temperaturfall på 2 K mellan cirkulationsvattnet och flänsytan fås att vattentemperaturen skall vara  $26.5^\circ\text{C}$ .

Vid gjutning av källargolven lades PEX-rör i dessa med 300 mm delning. Rören kan tillföras vatten endast från marklagret via en termostatstyrd ventil. Värmetillförseln till golven är hög de första driftsåren, då den underliggande markkroppen skall värmas från ursprungliga  $6.5^\circ\text{C}$ . Efter några år avtar värmebehovet när värmefflödet i marken har närmast sig stationärt tillstånd.



Figur 5.25 Uppbyggnad av takradiator - LTVA.



Figur 5.26 Rörssystem i rum för LTVA.

### 5.12.2 Anläggning

Värmeavgivningssystemet byggdes i anslutning till byggentreprenaden 1973. På grund av panelernas prototypkaraktär krävdes en stor manuell insats för arbetet. Värmeavgivningspanelerna är ej helt färdigställda. Den undre flänsplåten och eventuell träpanel skall monteras under 1981.

### 5.12.3 Funktionsprov - modifieringar

Vid påfyllning av vatten för provtryckning och cirkulationsprov uppstod problem med avluftning. PEX-rören i taken är ej helt raka med definierad lutning. Därför ansamlades luftbubblor på ett otal ställen vid normalt vattenflöde. Dessa bubblor kunde förflyttas vid forcerat vattenflöde men ej avskiljas med de installerade avluftningsrören. Bidragande orsak till avluftningsproblemet var också visst läckage i marklagret som innebar att luft sögs in i systemet. Ytterligare en orsak till luft i systemet kan också vara diffusion genom PEX-rören. Ett klart behov av automatisk avluftning konstaterades.

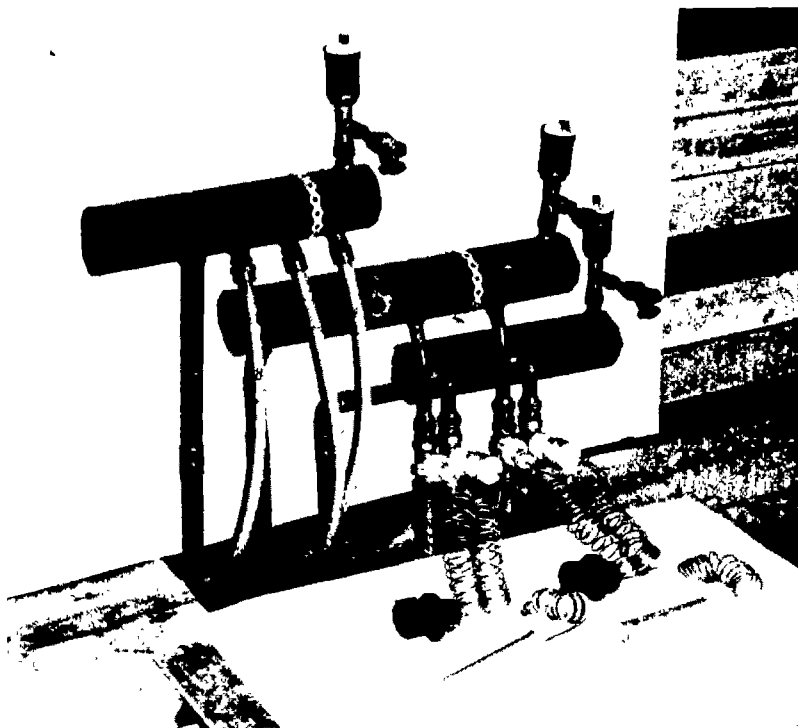
För att klara sådan avluftning byggdes därför speciella luftfällor vid varje takslinga, bestående av ett ca 500 mm långt horisontellt rör, med en diameter på 50 - 80 mm, genom vilket vattnet passerade, se Figur 5.27. Under vattnets uppehållstid i röret hann därvid alla luftbubblor lägga sig överst i röret och avskiljas.

Vintern 1978 - 79 utfördes kvalitativa värmningsförsök på ett enskilt rum i byggnaden. Takslingorna tillfördes eluppvärmt vatten och temperaturen på detta mättes. Värmepanelerna bestod av PEX-röret samt den övre aluminiumplåten utan kontaktmassa. Plåtarna var målade med matt färg. Trots den ofullständiga konstruktionen var effektiviteten mycket god. Vid en utetemperatur av  $-14^{\circ}\text{C}$  erhålls en rumstemperatur av  $20^{\circ}\text{C}$  med ca  $25^{\circ}\text{C}$  på cirkulationsvattnet.

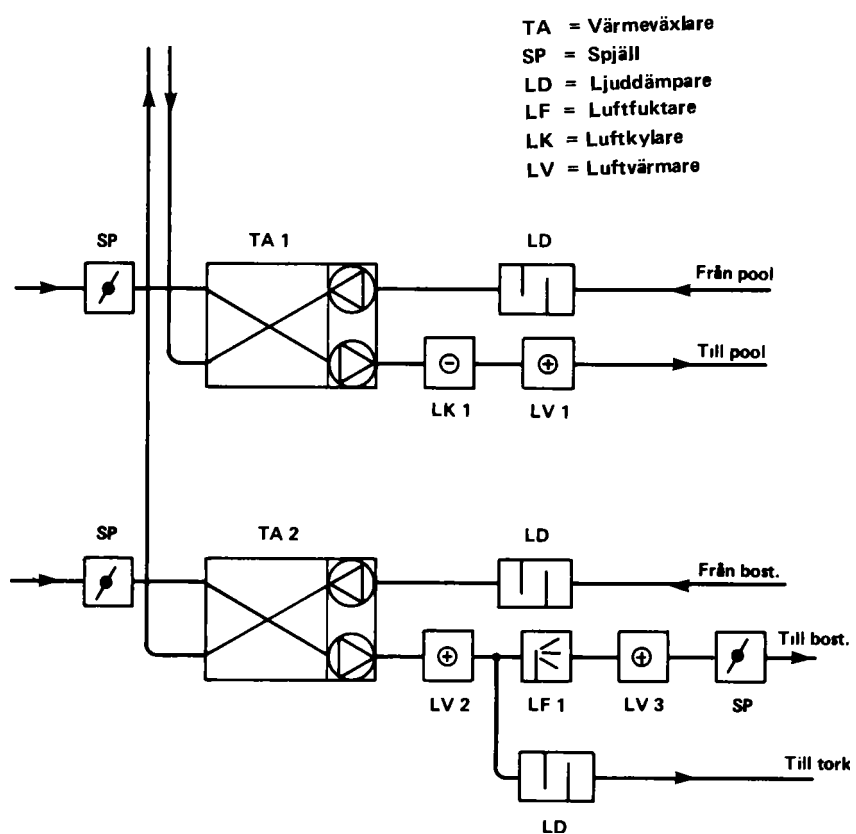
Huset har värmts med värmeavgivningssystemet vintern 1979 - 80 och 1980 - 81. Vattnet har värmts med en elpatron. Trots att den undre flänsplåten har saknats har vattentemperaturen aldrig behövt överstiga  $30^{\circ}\text{C}$ .

### 5.13 Ventilationssystem

Byggnaden är ventilerad med ett mekaniskt till- och frånluftssystem med värmeåtervinning. Luften värms med energi från marklagret. Den slutliga färdigställningen sker sommaren 1981.



Figur 5.27 Avluftningsdon för LTVA.



Figur 5.28 Ventilationssystem

### 5.13.1 Dimensionering - konstruktion

Tre olika luftkvaliteter skall tillföras byggnaden. Luften skall tillföras till respektive poolrum, bostadsutrymmen och torkutrymmen. Ett flödesschema visas i Figur 5.28.

Den inkommande poolrumsluften värms först i ett värmeåtervinningsaggregat, TA1, med utgående luft. Denna värmeåtervinning äger rum främst vintertid. Därefter avfuktas den inkommande luften i ett kylbatteri, LK 1, som får sitt kallvatten från kylhålet. Denna avfuktning är behövlig endast sommartid. Luften värms sedan med ett värmabatteri, LV 1, innan den blåses in i poolrummet. Genom speciella distributionsåtgärder i poolrummet har luftomsättningen kunnat sättas till endast 150 m<sup>3</sup>/h.

Den inkommande luften till bostads- och torkutrymmen värms först i ett värmeåtervinningsaggregat, TA 2, med utgående luft. Denna värmeåtervinning är i funktion vintertid. Luften värms sedan i ett värmebatteri, LV 2, varefter en del av luften leds till torkutrymmena. Övrig luft passerar en dyskammare, LF 1, som matas med brunnsvatten med en temperatur av 12°C. Därvid erhålls 12-gradig luft med Rh = 100 %, d v s med en daggpunkt på 12°C. Efter denna behandling värms luften till önskad temperatur med värmabatteriet LV 3.

Luftomsättningen till bostaden är 280 m<sup>3</sup>/h. Däri ingår även torkluften, som är en mindre andel.

### 5.13.2 Anläggning

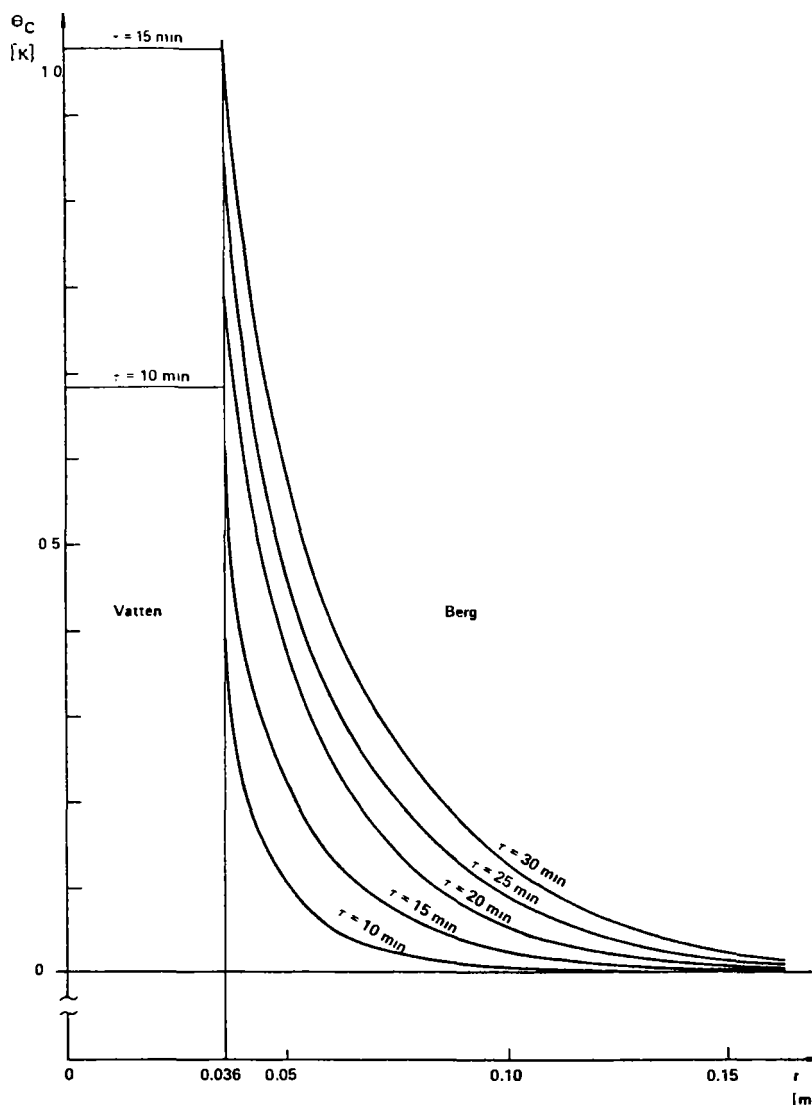
Samtliga luftkanaler i byggnaden anlades när huset uppfördes 1973. Under 1981 skall luftbehandlingscentralen färdigställas. Ventilationssystemet beräknas sättas i drift under hösten 1981.

### 5.14 Drift och mätning av marklagret

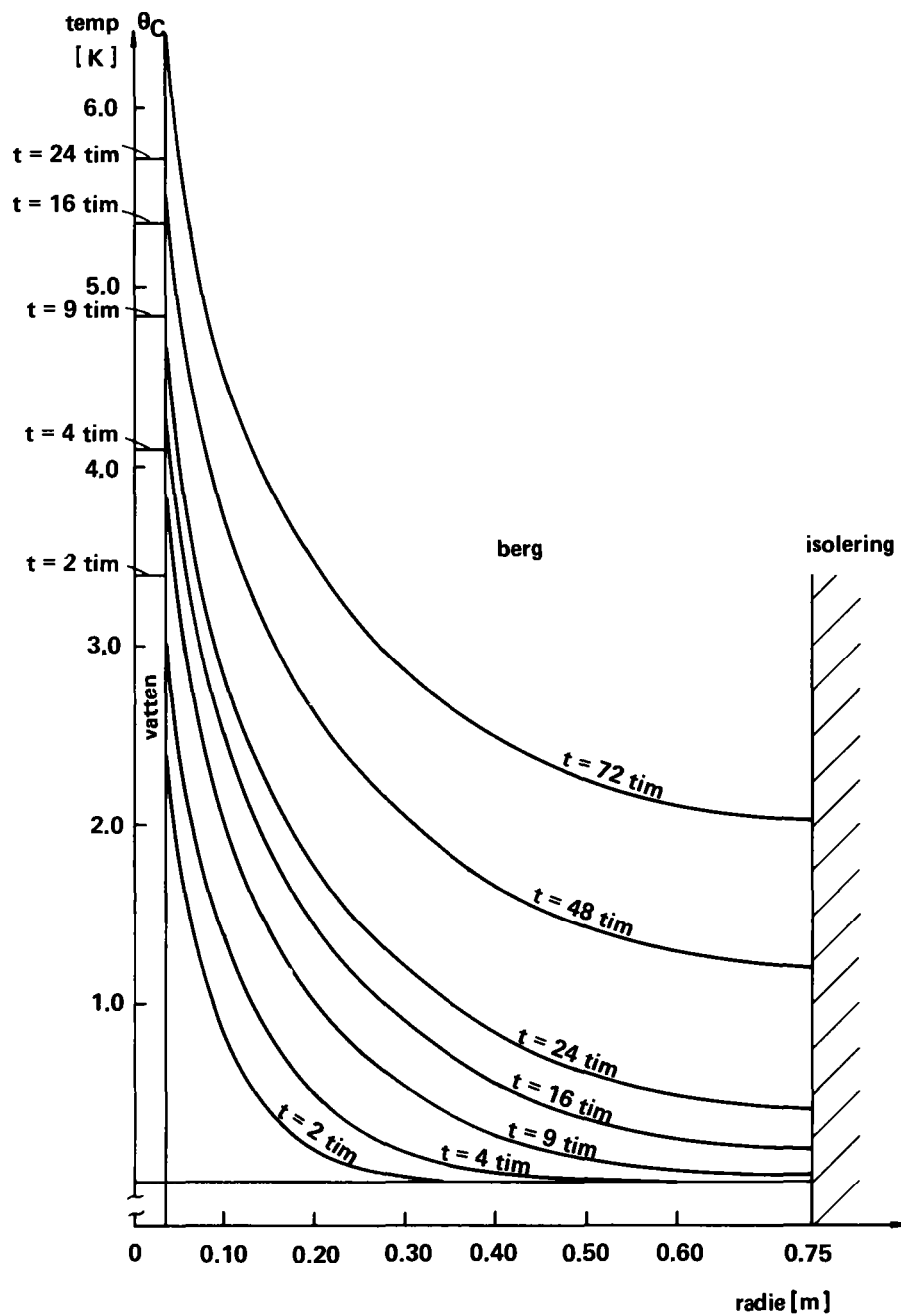
Marklagret har anlagts för att möjliggöra en kontroll av att Sunstore-metodens sätt att lagra värme i mark fungerar. Det innebär att effektsväljningsförmågan och värmeläcketaget skall mätas och jämföras med beräkningar, när lagret värms. Mätresultaten skall också användas för att förbättra de beräknings- och dimensioneringsmetoder som tagits fram i utvecklingsarbetet.

Innan ett anlagt marklager kan anses vara i driftstillstånd måste investeringsladdningen ha skett. Detta är en tidsbunden process som svårligen kan forceras. Av den anledningen startades värmning av marklagret så tidigt som möjligt, vilket innebar augusti 1978. Sedan dess har lagret värmts med en elpatron på 15 kW med kortare avbrott på sammanlagt 7 månader.

Under hela uppvärmningsskedet har temperaturmätningar skett regelbundet av marken och cirkulationsvattnet. Likaså har markegenskaper mätts såsom grundvattennivå, grundvattenomsättning, markens densitet, specifikt värme o s v. Mätningarna har huvudsakligen skett manuellt med upprättande av mätprotokoll, (37).

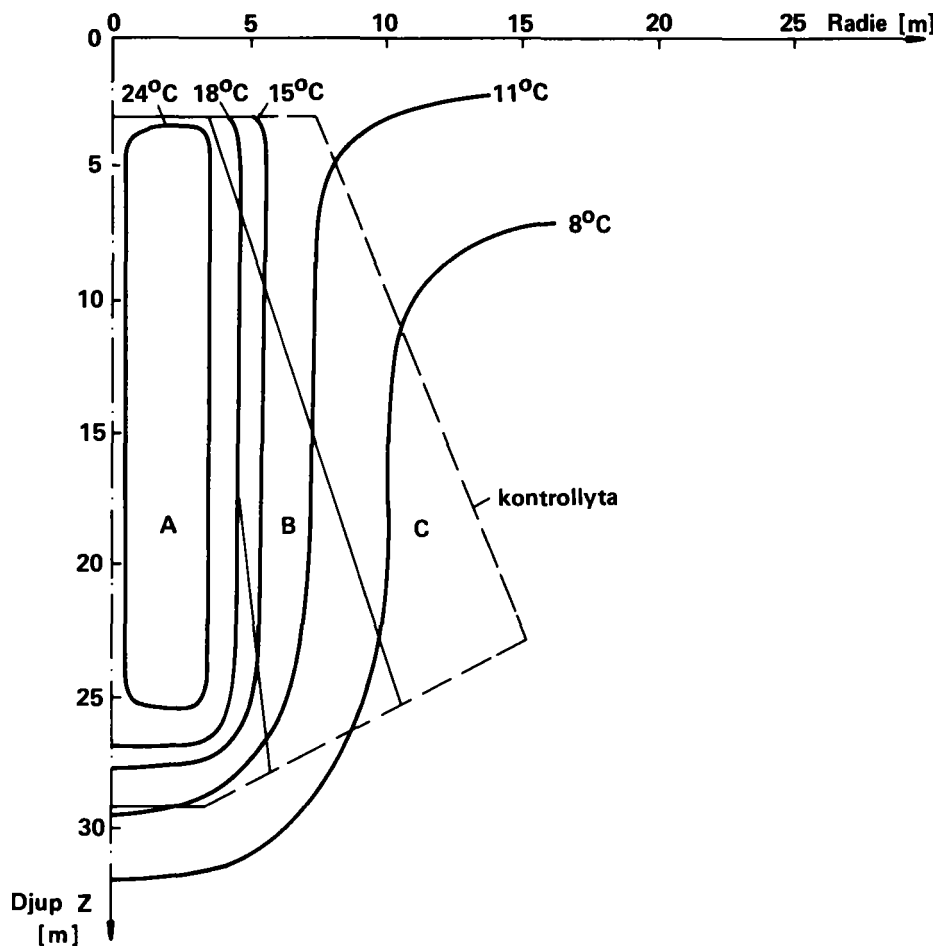


Figur 5.29 Simulerat värmningsförlopp kring ledningsbana

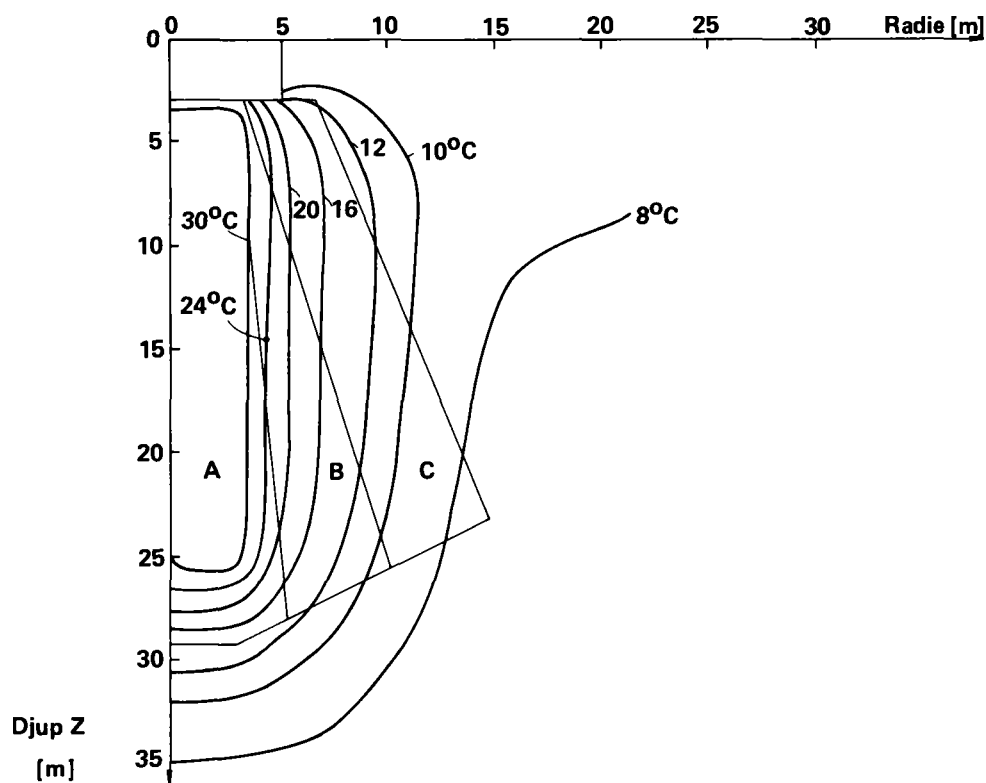


Figur 5.30 Simulerat värmningsförlopp kring ledningsbana.

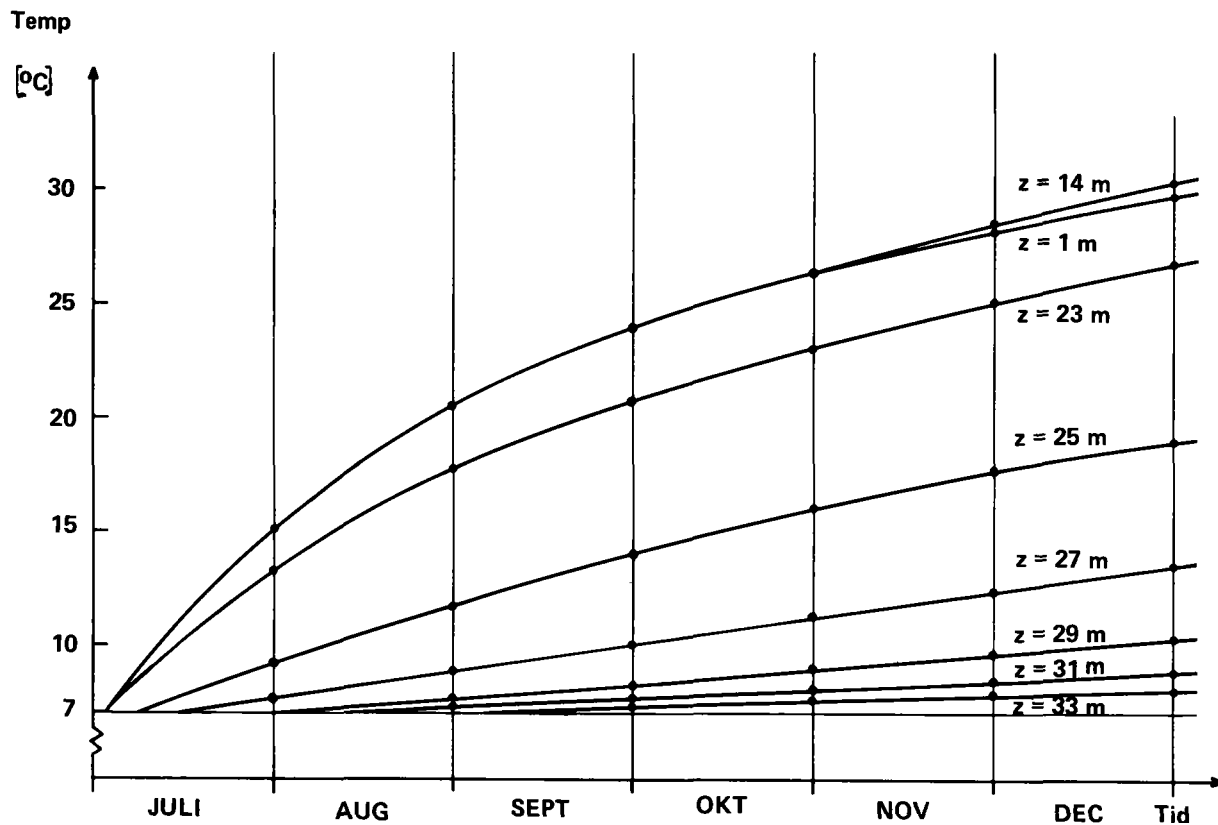




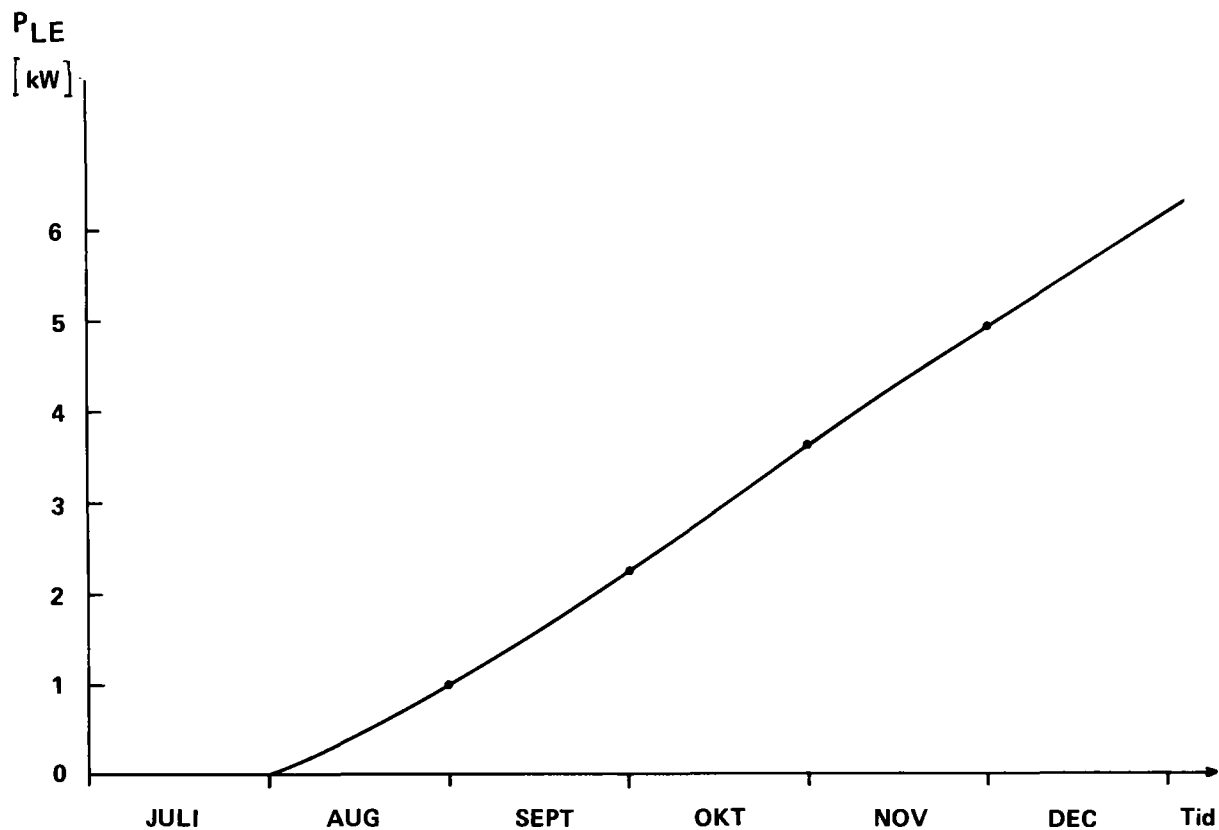
Figur 5.31 Isothermer i marklagret efter 3 månaders  
värmning av zon A med 15 kW.



Figur 5.32 Isothermer i marklagret efter 6 månaders värmning  
av zon A med 15 kW.



Figur 5.33 Temperaturuppgång i marklagrets centrum vid olika djup vid värmning med 15 kW i A-zonen.



Figur 5.34 Läckage genom kontrollyta enl. figur 5.31 vid värmning med 15 kW i zon A.

Mätresultaten har sedan jämförts med beräkningar, som genomförts genom simulering i dator. Genom att anpassa beräkningsprogrammen så att en god korrelation råder mellan mätta och beräknade värden, kan beräkningar genomföras för andra tillämpningar.

Parallellt med genomförda mätningar har projekterats ett helautomatiskt mätsystem som styrs av en minidator. Med ett sådant system skulle erhållas mer omfattande och detaljerad mätning, som sedan kan utvärderas med hjälp av dator. Mätsystemet finns beskrivet i en ansökan om finansiering av anläggningen, (43). Beslut om hur fortsatta mätningar kommer att äga rum fattas under våren 1981.

#### 5.14.1 Beräkningar och simuleringar

Beräkningsmodeller har tagits fram för simulering av värmeströmning kring en enskild ledningsbana (effekt-sväljningsförmågan) och för simulering av värmeströmningen i hela lagret (läckageproblematiken). Uppbyggnaden av modellerna finns redovisad under Kapitel 4.3.1.

För att utröna marklagrets känslighet för påtryckt laddnings-effekt (effekt-sväljningsförmågan), har simulerats temperatur-uppgången kring en enskild ledningsbana, (15). Ledningsbanans uppbyggnad, geometri och dimensioner framgår av Figur 5.18. Dessa värden har använts i beräkningsmodellen, tillsammans med aktuella materialdata. Vid en påtryckt effekt av 15 kW på zon A fås en temperaturuppgång som framgår av Figur 5.29 och 5.30.

Man finner att vid tiden 24 timmar efter start har vattentemperaturen stigit 5.8K vid den aktuella effekten, som är 36 W/m.

Mätningar av detta förlopp redovisas nedan.

Resultatet av den långsiktiga värmningen av marklagret har simulerats, se (19, 23, 29). Beräkningarna har gjorts med en 2-dimensionell cirkelsymmetrisk modell av marklagret i experimentanläggningen. Modellen tar hänsyn till årstidsvariationerna av lufttemperaturen (temperaturen på markytan), liksom placering av ledningsbanorna för de tre zonerna.

I första hand har simulerats det värmningsförlopp som har ägt rum i experimentanläggningen, men även andra laddningsstrategier har studerats. Det innebär att energi från elpatronen har alternativt förts till zon A, B och C.

Figur 5.31 visar isotermer i marklagret efter 3 månaders värmning av zon A med 15 kW. Figur 5.32 visar isotermerna efter 6 månaders värmning av zon A. Figur 5.33 visar temperaturen efter en lodrät linje genom centrum av lagret på olika djup under de första 6 månadernas värmning. Dessa punkter är åtkomliga för mätning, se nedan.

Även värmeflödet genom en godtycklig kontrolllyta kan beräknas. I Figur 5.34 visas värmeflödet genom den i Figur 5.31 markerade kontrolllytan, som utgör marklagrets yttre begränsning. Detta läckageflöde ökar kraftigt under de första åren för att därefter avta allteftersom marken utanför lagret blir uppvärmd.

Figur 5.35 visar isotermer i marken den 1980-07-31 efter att zon A har värmts hela tiden sedan 1978-08-04.

För att direkt kunna kontrollera beräkningen med mätningar har även plottats temperaturen i centrum av lagret s f a tiden när laddningen har skett efter de verkliga förhållandena. Resultatet visas i Figur 5.36. Av figuren framgår att även andra driftsfall har studerats, innebärande att laddningen inte enbart sker i zon A.

#### 5.14.2 Geologisk undersökning

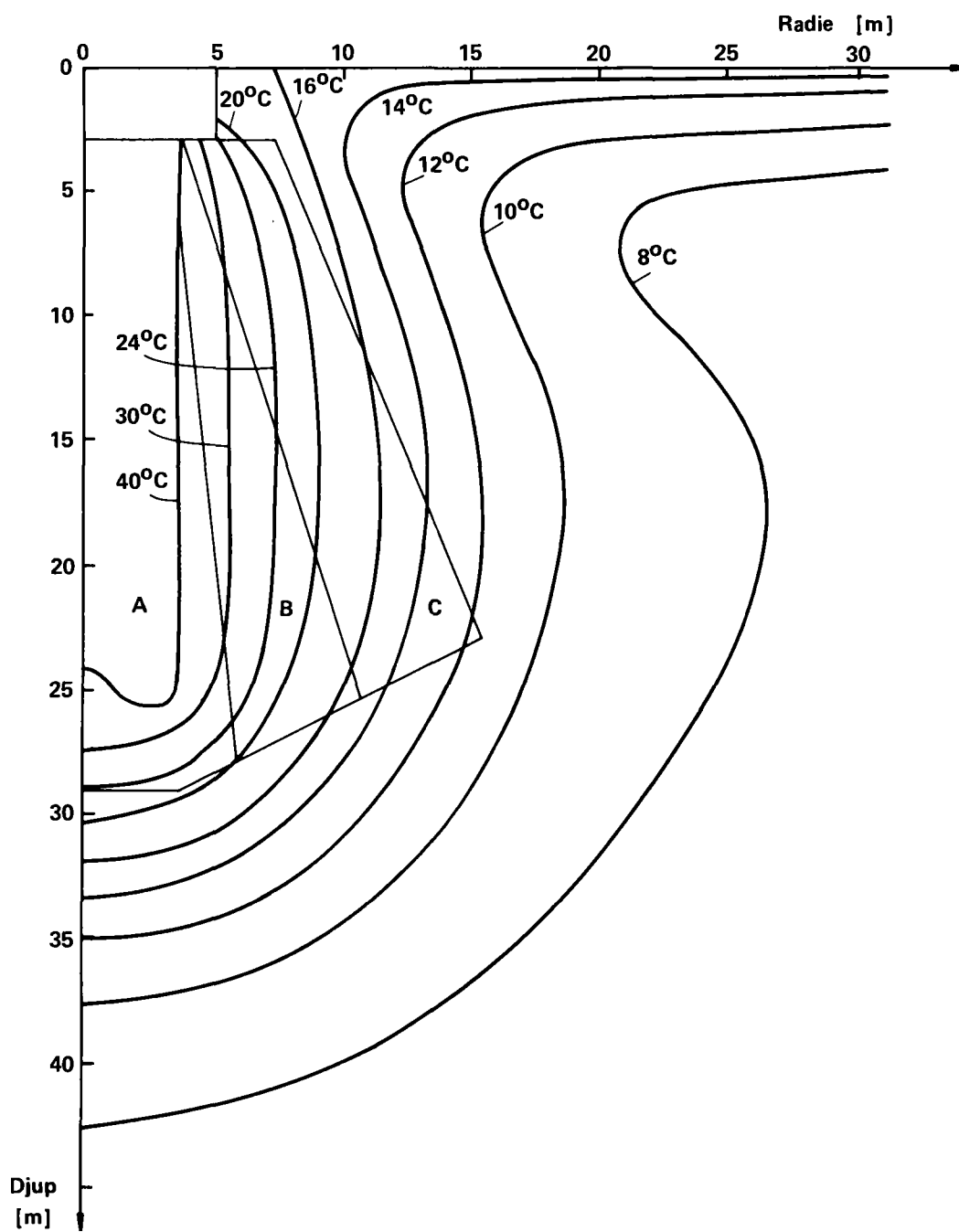
Undersökningarna har utförts av Thomas Rihm och Urban Fäldt vid Institutionen för geologi, CTH. Arbetet finns redovisat i (39) och inleddes i de fem observationshål som borrades under 1979, (hål nr 48, 49, 50, 51 och 52 i Figur 5.38), varav ett ca 90 m (nr 48) och övriga ca 30 m djupa. Sedemera har till dessa hål tillkommit det 100 m djupa hål nr 55. Syftet med dessa har varit att komplettera befintliga hål för mätning av temperaturfältets utbredning i berggrunden men också att kunna utföra mätningar av berggrundens hydrauliska parametrar och grundvattnets strömning. Tre av hålen (nr 48, 49 och 50) har senare infodrats med ett plaströr för att kunna användas för temperaturmätningar även ovanför grundvattennivån.

Följande mätningar har utförts:

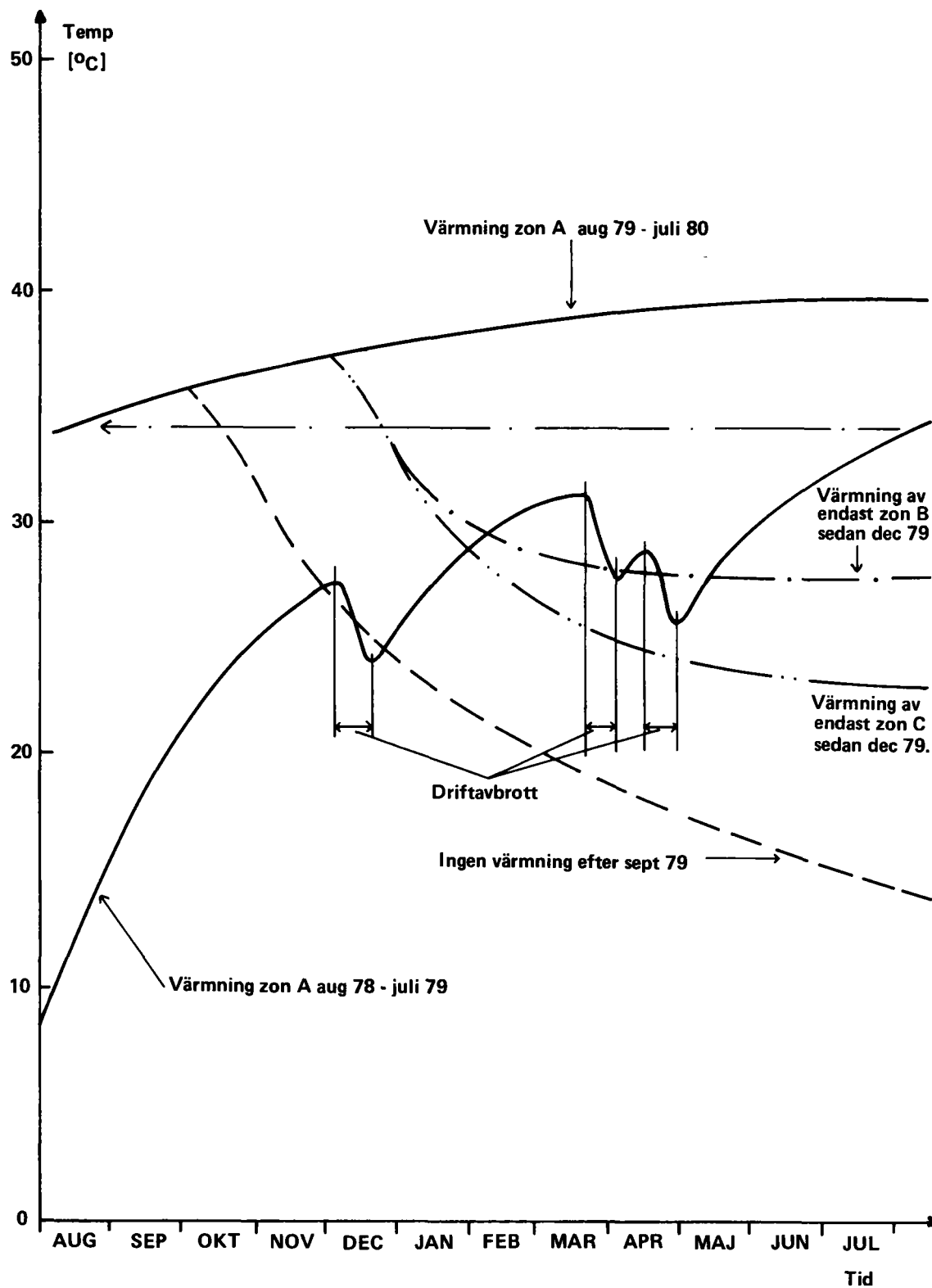
1. Borrsjunkning samt noteringar från borrhningen
2. Inmätning av grundvattenytan
3. Slug-test
4. Temperaturmätning
5. Elektrisk loggning
6. Mätning av borrhålsvätskans resistivitet.

Från borrsjunktionsnoteringarna kan utläsas att det djupa borrhålet på nivån under den injekterade plinten för marklagret hade en hel del slag och sprickor samt att en del av dessa var kraftigt vattenförande.

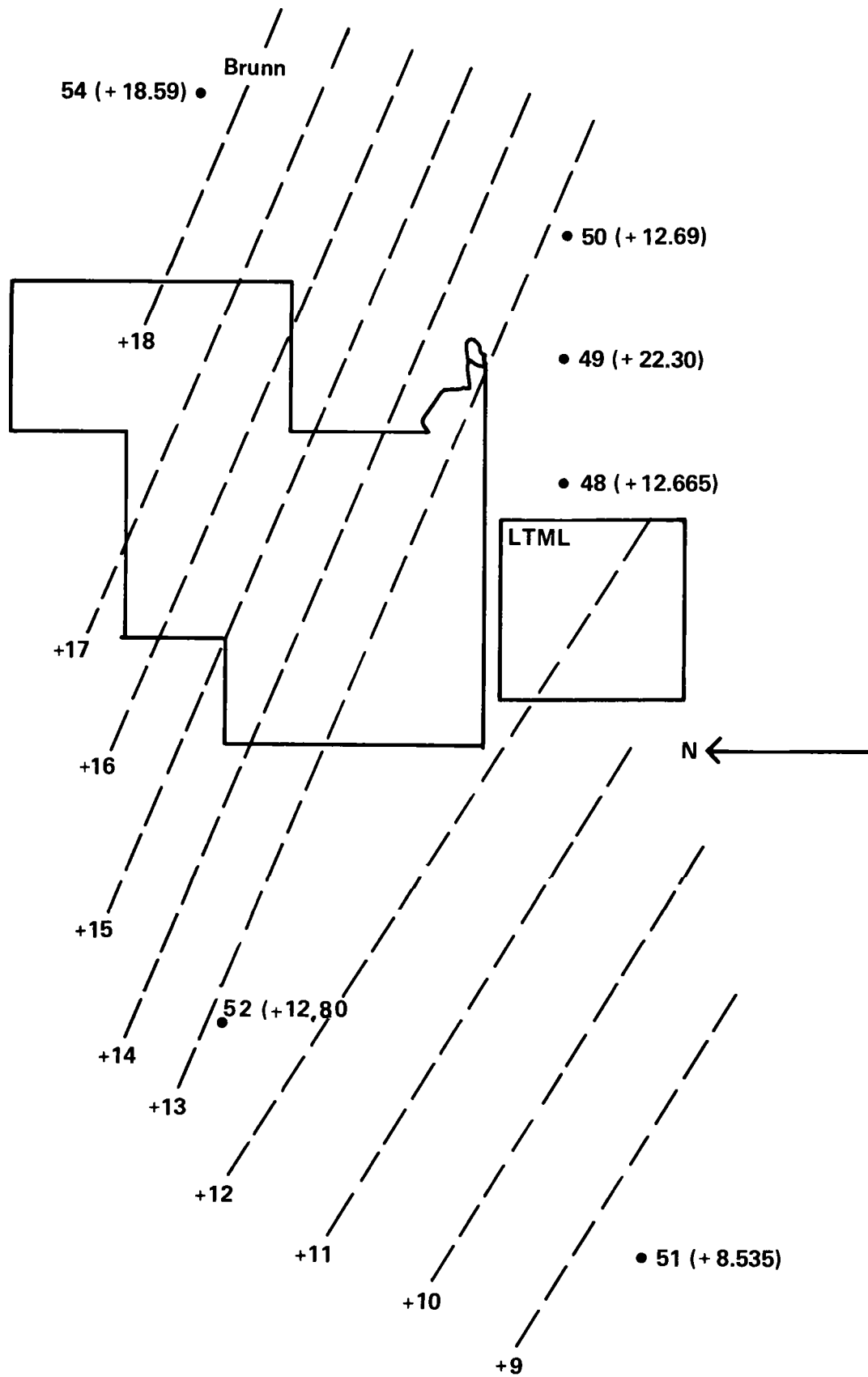
De övriga borrhålen synes ha borrats i ett relativt sprickfattigt berg.



Figur 5.35 Isothermer i marklagret efter 24 månaders värmning av zon A med 15 kW.



Figur 5.36 Beräknad temperaturuppgång i marklagrets centrum på 12.5 m djup.



Figur 5.37 Grundvattennivåer den 1979-09-05.

Från inmätning av grundvattennivån kan noteras att denna lutade mot sydväst och hade en grundvattengradient inom området på 0.18 - 0.35. Denna gradient är mycket hög och tyder på att berggrunden är tämligen tät. Vid mätstillfallet hade det dock regnat kraftigt varför det är möjligt att gradienten normalt är lägre. Grundvattennivån framgår av Figur 5.37.

Av slug-testmätningarnas stignings- och sjunkningsförlopp har permeabiliteterna, överslagsmässigt beräknats och de varierar mellan  $1 \cdot 10^{-7}$  och  $5 \cdot 10^{-7}$ . Dessa värden är relativt låga och innebär att berget är ganska tätt. Ett värde på  $1 \cdot 10^{-7}$  är ett krav som används vid tätning av bergtunnlar under bebyggelse för att förhindra grundvattensänkning.

Dessa beräknade värden, speciellt för det djupa hålet 48 ( $1 \cdot 10^{-7}$ ) stämmer ej med de noteringar som förts vid borrhningarna vilka visar på stora vattenläckage under ca 35 m djup. Förklaringen till detta som lämnats i (39), att sprickorna i berget eventuellt kan ha satts igen av borrhkax, är osannolik, då borrhningarna i det djupa hålet utförts med vattenspolning under högt tryck.

Temperaturmätningarna i det djupa hålet 48, utförda av CTH visar att den naturliga temperaturgradienten under 50-metersnivån är ca 12 K/km. Se vidare om Sunstores egna fortlöpande mätningar på detta tema i kapitel 5.14.5.

Berggrundens resistivitet har mätts upp med elektrisk loggning. Potentialskillnaden som mäts upp över två potentialelektroder, påverkas av det vatten som förekommer i sprickor och sprickzoner i berggrunden. Mätningarna visar att berggrunden generellt sett har en låg resistivitet, vilket innebär att vatten finns och att bergets sprickfrekvens förmodligen är hög. Mätningarna indikerar också förekomsten av sprickor och sprickzoner särskilt i det djupa hålet 48.

Dessa mätningar överensstämmer ganska väl med iakttagelserna gjorda under borrhningsarbetet.

### 5.14.3 Mätgivare och instrument

Mätningar av temperatur har genomgående skett med motståndsgivare av H 100-typ enligt DIN 43760 men med tolerans 1/3 av DIN-toleransen. Givarna är kapslade på olika sätt beroende på användningsområde. De flesta givarna är ingjutna i metallkapslar som tål vatten och förekommande övertryck i flera år utan att givarelementet skadas.

Givarna är försedda med kablar av olika längd. Några av kablarna har längdmarkering för varje meter.



Kalibrering av givarna har skett i vattenbad där givarnas medelvärde har använts som temperaturreferens. Kalibreringen innebär således att givarnas inbördes korrektioner har fastställts. Temperaturreferensen avviker högst 0.1°C från verkligt värde.

Tre olika temperaturinstrument av fabrikat Systemteknik AB, Lidingö, har använts. Samtliga instrument har upplösningen 0.01°C och noggrannheten över 1 år vid +5°C är 0.033°C i intervallet 0 - 120°C. De flesta givarna är fyrtrådkopplade för att undanröja överföringsfel.

Ett instrument har typbeteckningen S 1062 och är försedd med en manuell 30-kanalers omkopplare. Det drivs med 220 volt och har främst använts för fast installerade temperaturgivare.

Ett instrument har typbeteckningen S 1320 och har två ingångar med möjlighet till mätning av temperaturdifferensen mellan två givare. Det är batteridrivet och har använts för fältmässiga mätningar.

Ett instrument har typbeteckningen S 1380. Det är specialbyggt för automatisk datainsamling på en HP 9875 A kassetstation. Instrumentet är mikrodatorbaserat och innehåller understöd för individuell korrigerings av nollpunkt för 30 kanaler. Kanalerna kan automatiskt scannas efter ett förutbestämt program. Kalendertid upprätthålls med en intern klocka. Kassetbanden med lagrade data kan utvärderas i en bordsdator HP 9845 B som finns tillgänglig.

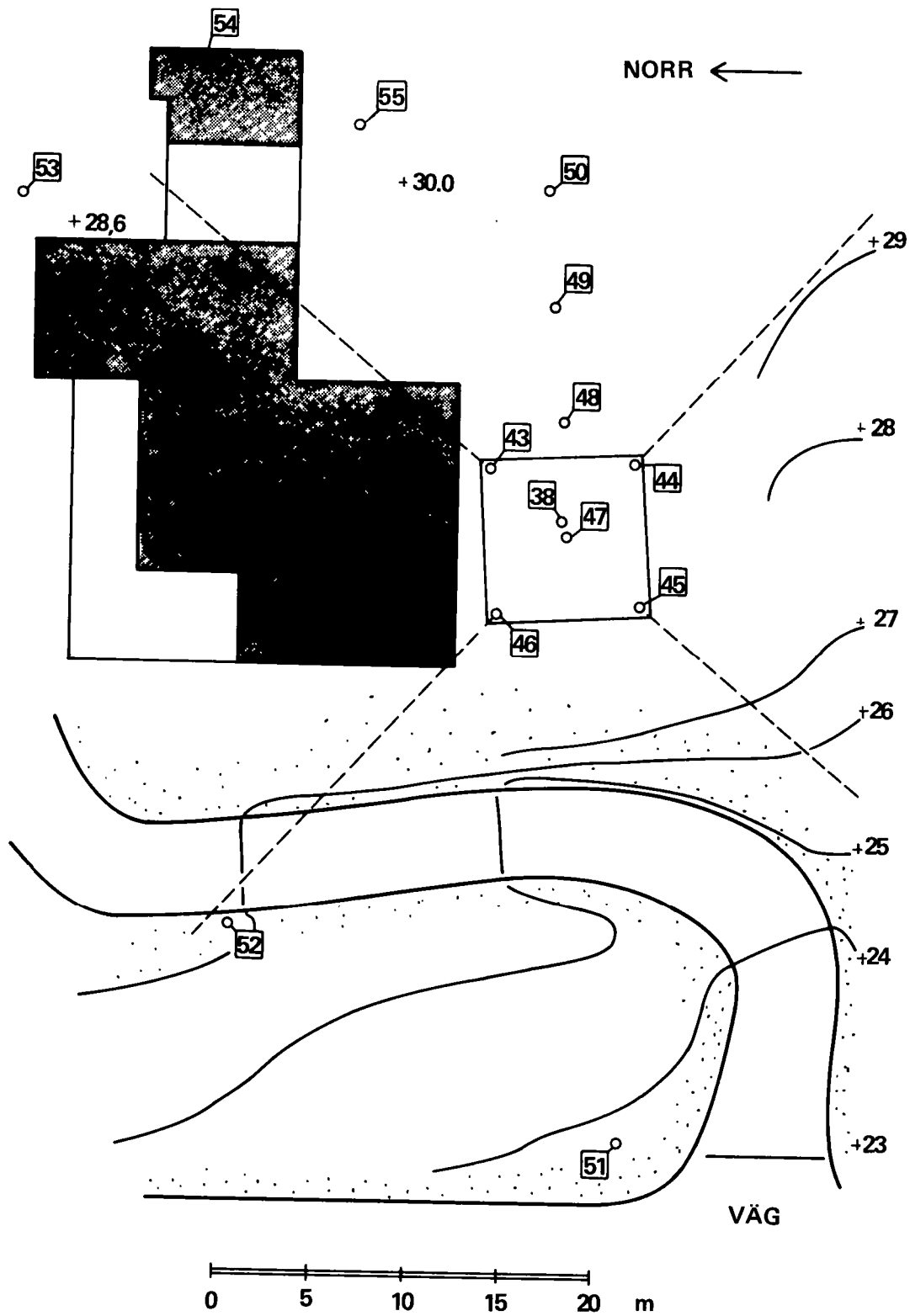
För kvalitativa mätningar av temperatur och vindhastighet används ett instrument av fabrikat Wallac och en IR-mätare av fabrikat Micron.

För kvalitativa mätningar av vattenflöden i rörsystemet mäts differensen mellan totaltryck och dynamiskt tryck med hjälp av fast monterade sonder av fabrikat Annubar och differensstryckmätare av fabrikat Eagle Eye.

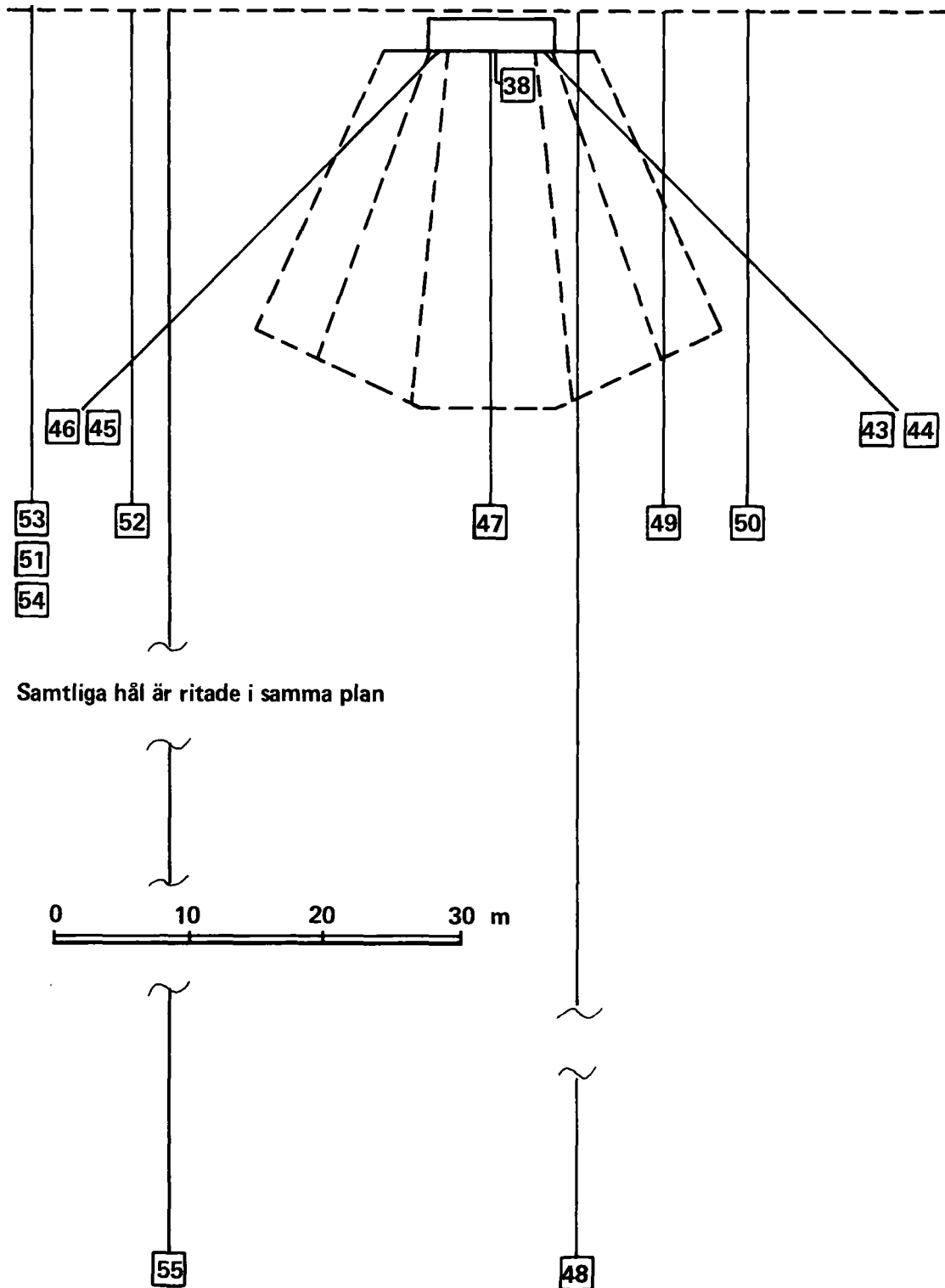
#### 5.14.4 Installation av mätgivare

För mätning av temperaturen har ett antal mäthål borrats, se Figur 5.38 och Figur 5.39. Hålen har olika dimension, olika längd samt olika lutning. Vissa hål är tätade mot bergväggen, andra är helt öppna och vattenfyllda upp till grundvattennivån.

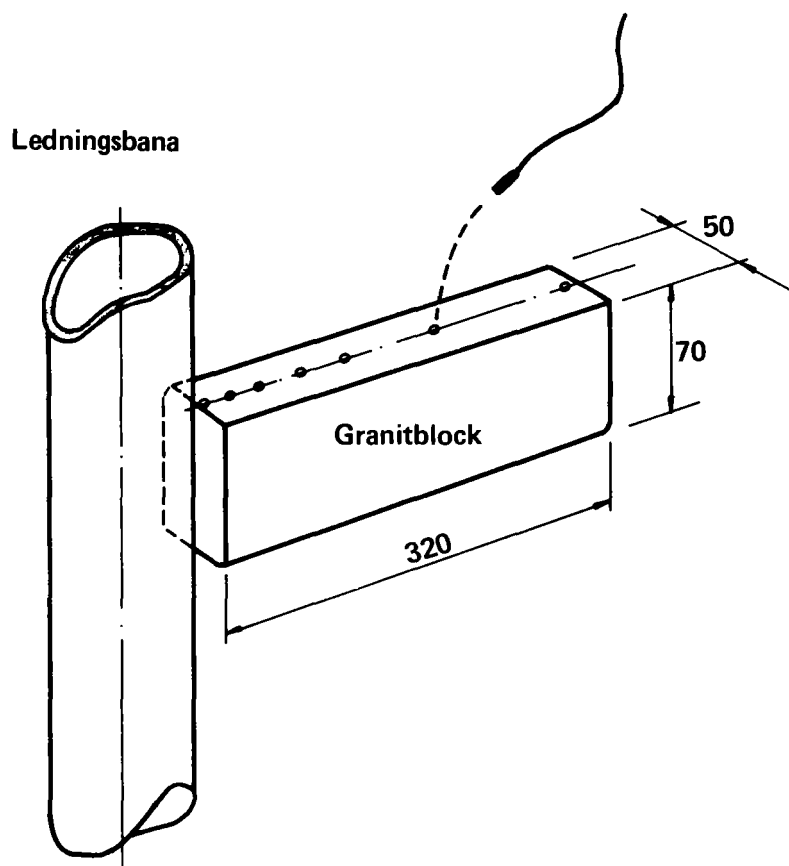
Hål nr 38 är anlagt för mätning av temperaturen omedelbart intill en ledningsbana, för att utröna mekanismen för effektsväljningen. Intill ledningsbanan har borrats ett antal hål så nära varandra att en slits erhållits, se Figur 5.22. I denna slits har placerats ett granitblock med fast inmonterade temperaturgivare enligt Figur 5.40, 5.41 och 5.42.



Figur 5.38 Mäthål



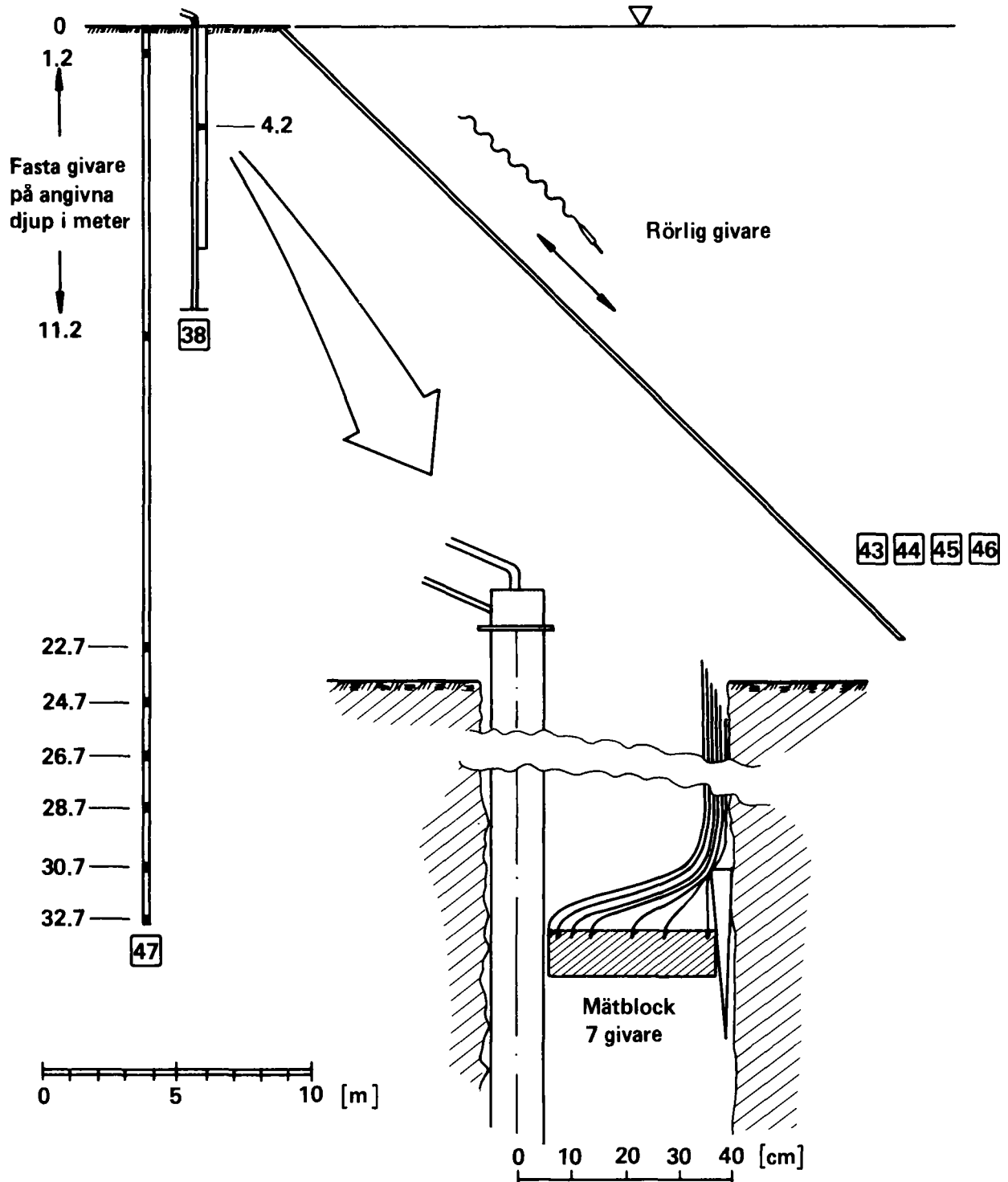
Figur 5.39 Mäthål



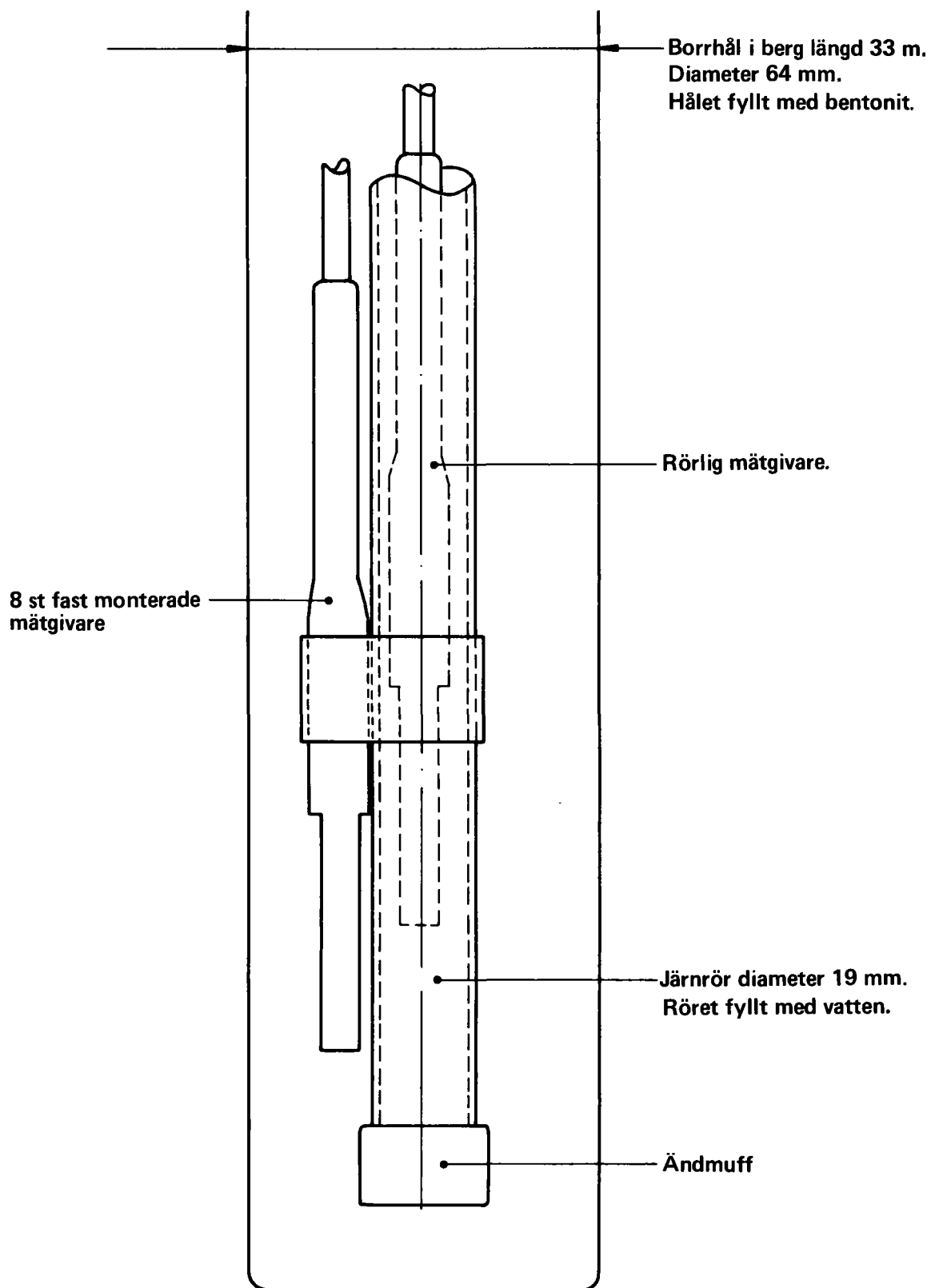
Figur 5.40 Installation av mätblock vid ledningsbana 38.



Figur 5.41 Mätblock.



Figur 5.42 Montering av fasta temperaturgivare



Figur 5.43 Installation av temperaturgivare i hål 47.

Granitblocket har samma termiska egenskaper som omgivande mark, och vid energitillförsel uppför sig blocket temperaturmässigt lika som marken.

Givarna i blocket är placerade tätare, närmare ledningsbanan, eftersom temperaturgradienten avtar längre bort från ledningsbanan. Givare nr 1 är placerad mot ledningsbanan, d v s intill det korrugerade plaströret enligt Figur 5.18. Samtliga givare är fast inkopplade till instrument S 1062.

Granitblocket ingöts i ett tidigt skede med givare som endast är 2-trådskopplade, vilket har inneburit att dessa ej är stabila. Omkalibrering innebärande en nivellering av värdena har därför företagits vid några tillfällen när temperaturgradienten i granitblocket har varit noll. Som temperaturreferens har då använts en flyttbar givare, som har förts ned i en vattenfylld plastslang vilken för detta ändamål har monterats i slitsen.

Till en början fylldes slitsen med bentonit för att förhindra vattenrörelser, som skulle störa temperaturförloppen. Bentoniten tenderade emellertid att sjunka undan, förmodligen p g a vattenomsättning i moräntäcket mellan bergytan och markplattan. Därför fylldes slitsen slutligen istället med injekteringsbruk.

Hål nr 47 utgör centrum av marklagret. Det är borrarat till 33 m, vilket innebär att det sträcker sig 10 m under ledningsbanorna. Hålet, som är borrarat med en diameter på 64 mm, är försett med ett 3/4" järnrör, "grönt rör", med en inre diameter av ca 16 mm, se Figur 5.43. Järnröret är proppat i nedre änden och vattenfyllt. På detta järnrör är fastnajsade 8 st mätgivare. Efter att givarna har monterats, har hålet fyllts med bentonit för att effektiv termisk kontakt skall föreligga mellan berg, givare och järnrör, även ovanför grundvattennivån. I järnröret kan nedföras en rörlig givare till önskat djup. De fasta givarna är kopplade till instrument S 1062.

Hål 43, 44, 45 och 46 är borrhade i 45° vinkel ut från marklagrets centrum. De är försedda med vattenfyllda järnrör och i övrigt bentonitfyllda. Temperaturmätningen genomförs med en rörlig givare. Hålen är 33 m djupa och sträcker sig genom utkanten av marklagret där temperaturgradienten är stor.

Hål nr 48, 49 och 50 är borrhade till ett djup av 91 m, 31 m respektive 33 m. Diametern är 102 mm. I hålen är ingjutet ett vattenfyllt polyetenrör med en inre diameter på 60 mm. Temperaturmätning genomförs med en rörlig givare.

Hål nr 51, 52 och 55 är borrhade till ett djup av 33 m, 34 m respektive 100 m. De är helt oinfodrade och har

använts främst för undersökning av grundvattennivå och grundvattenflöden. Temperaturmätningar i dessa hål kan endast utföras under grundvattennivån, som ligger 10 - 15 m under markytan.

För mätning av flöden i rörsystemet har monterats 4 st mätsonder. Placeringen framgår av Figur 5.3.

#### 5.14.5 Mätningar, överensstämmelse med beräkningar

Under hela värmningsförloppet sedan augusti 1978 har mätningar gjorts regelbundet av markens temperatur. Mätresultaten har noterats i loggbok (35) och plottats i diagram.

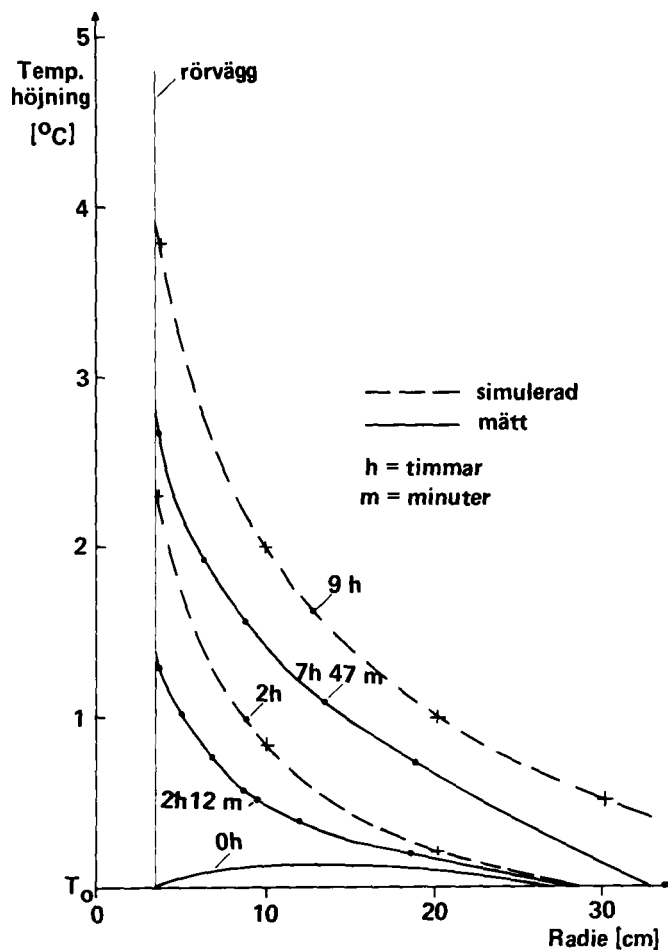
Värmningsförsök har utförts för att utreda ledningsbanornas effektsväljningsförmåga. Mätblocket i hål 38 har då använts för att studera värmeutbredningen kring ett enskilt hål.

Försöken har inletts med cirkulation av vattnet några dygn utan värmning för att eventuella temperaturgradienter i marken skall försvinna. Därefter har elpatronen kopplats in och vatten och marktemperaturen studerats. Ett resultat av ett sådant värmningsförlopp visas i figur 5.44. I figuren har också inlagts resultat från simulering av samma förlopp. Man ser av de uppmätta värdena att försöket ej är helt renodlat. Temperaturprofilen vid startillfället visar ojämnheter och antyder att ett värmefflöde finns i marken kring ledningsbanan. Försöket visar emellertid att temperaturen i marken ej stiger så kraftigt som simuleringen visar. Det innebär att effektsväljningsförmågan är bättre i verkligheten än vad beräkningarna visar.

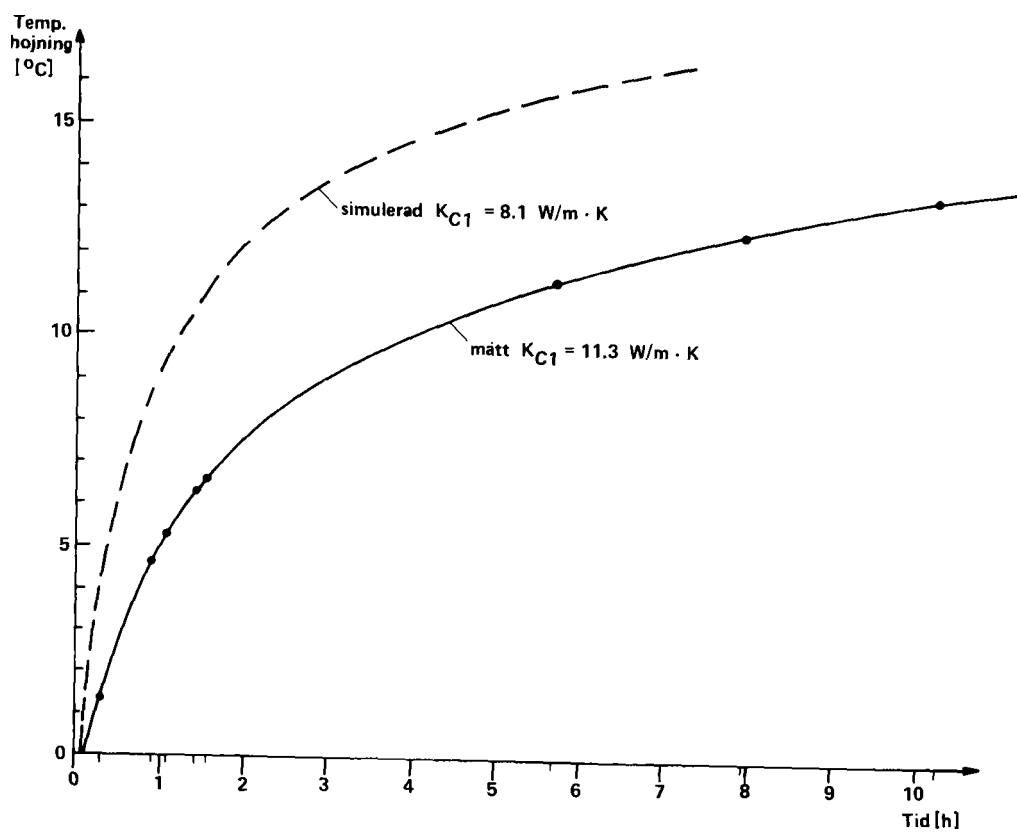
Figur 5.45 visar temperaturuppgången hos cirkulationsvattnet vid ett värmningsförsök med betydligt högre belastning på ledningsbanorna (130 w/m). Detta åstadkoms genom att alla ledningsbanor utom fem stängdes innan värmningen påbörjades. I figuren har även inlagt simulerade resultat med likvärdig värmning. Man finner att effektsväljningsförmågan  $K_{Cl}$  är 11,3 w/m K medan beräkningarna visar ett sämre värde,  $K_{Cl}=8.1$  w/m K. Skillnaden kan till stor del förklaras av värmeförluster i det oisolerade rörsystemet i undercentralen och samlingsrören. Det verkligt uppmätta värdena på effektsväljningsförmågan är dock något bättre än vad som förutsagts teoretiskt.

Det fast monterade temperaturgivarna i hål nr 47 (centrumhålet) har avlästs regelbundet och noterats i loggbok (35). Temperaturen i de olika mätpunkterna har sedan plottats i diagram, se figur 5.46 och 5.47. I dessa diagram har även inlagts simulerade värden för några av mätpunkterna. Man finner att i centrum av lagret (givare nr 10) har temperaturen stigit mer än vad beräkningarna

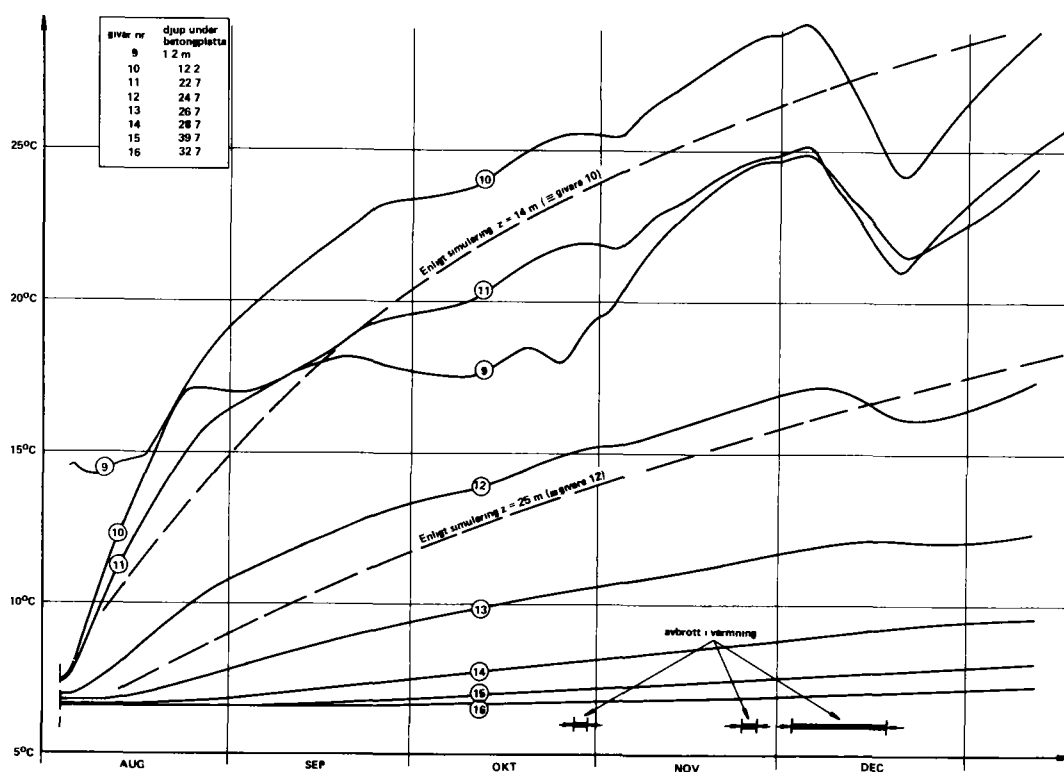




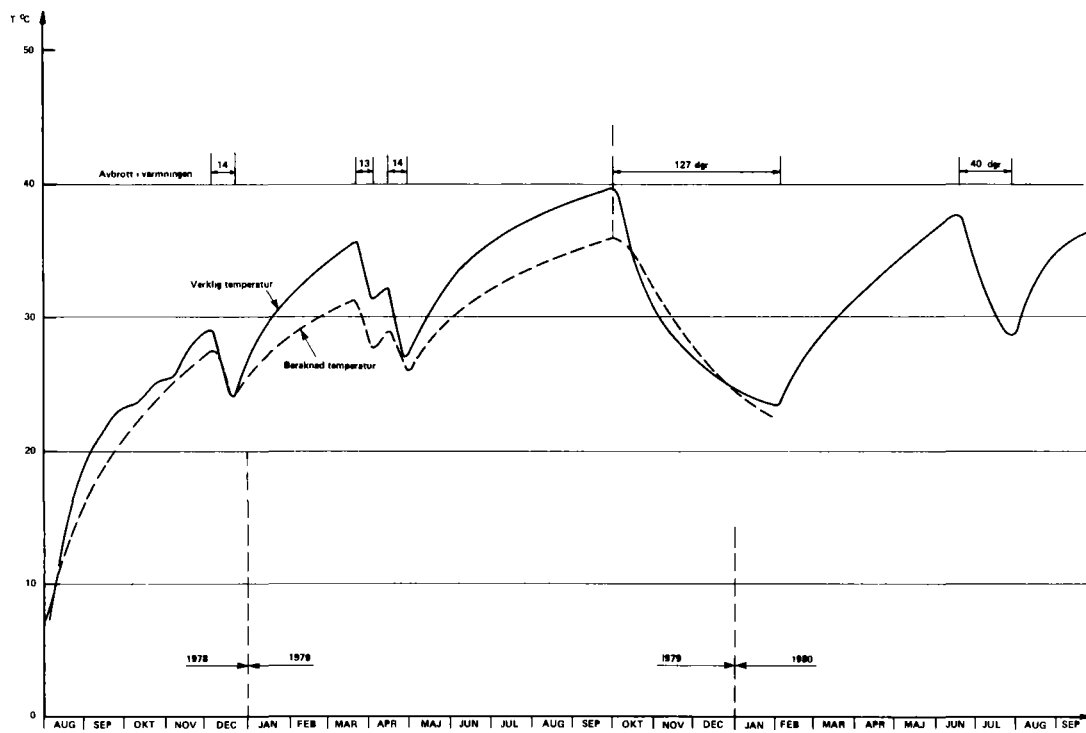
Figur 5.44 Temperaturförlopp i mätblock i hål 38 vid värmning



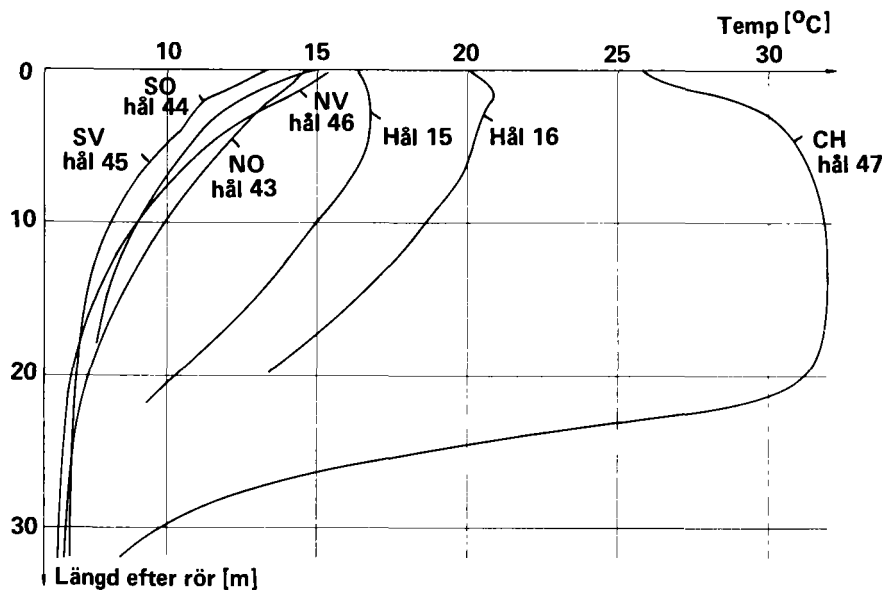
Figur 5.45 Temperaturförlopp hos cirkulationsvattnet vid värmning



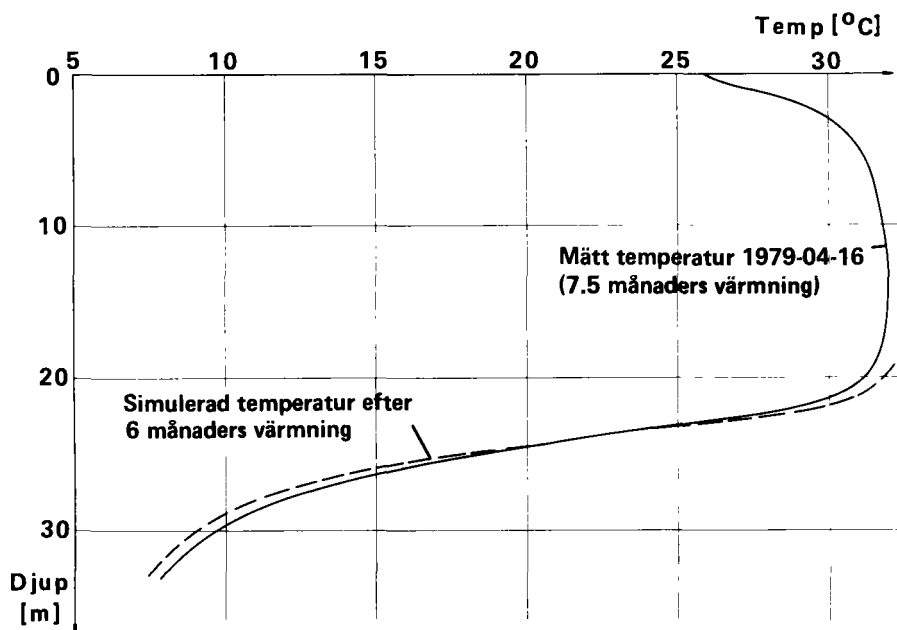
Figur 5.46 Temperaturförlopp i centrum av marklagret på olika djup.



Figur 5.47 Temperatur i centrum av marklagret på 12.5 m djup.



Figur 5.48 Temperaturprofil i marklagret den 1979-04-16.



Figur 5.49 Simulerad och mätt temperaturprofil i hål nr 47 efter 6 mån. resp. 7.5 mån. värmning.

visar. Detta tyder på att värmeflödet från marklagret är lägre i verkligheten än vad beräkningarna ger. Av figuren framgår också att temperaturen i botten av marklagret ligger högre än vad beräkningarna ger, vilket också styrker ovanstående påstående. Bland felkällorna skall särskilt nämnas att rörsystemet har varit helt oisolerat och att samlingsrören ovanför marklagret under senare delen av 1978 har varit helt exponerad för solljus och nattkyla. Dessutom kan det använda värdet för markens värmeledningsförmåga  $\lambda=3.5 \text{ w/m}^\circ\text{K}$  ha varit för högt i beräkningsmodellen.

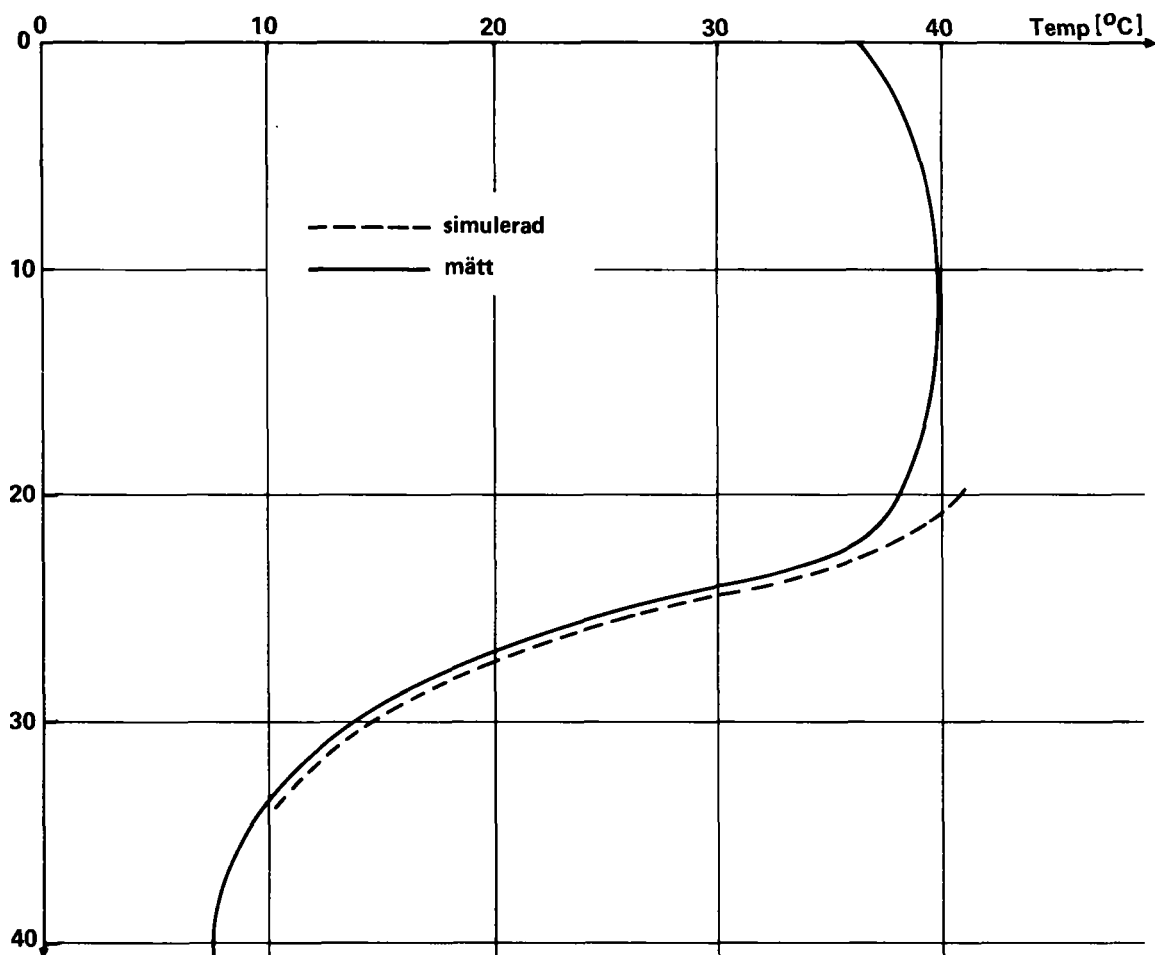
Loggning av temperaturen i övriga mäthål har utförts regelbundet, ca 1 ggr per månad. Loggningsarbetet är mycket tidsödande, eftersom temperaturgivaren måste uppehålla sig några minuter på varje nivå innan den har antagit omgivningens temperatur. Temperaturerna har antecknats samt plottats. Exempel på mätresultat visas i figur 5.48 som visar en loggning som gjorts 1979-04-16, dvs ca 8.5 månader efter start av värmningen. Under denna tid har det varit avbrott i värmningen i sammanlagt 1 månad.

I figur 5.49 har inritats temperaturprofilen i hål 47 efter  $8.5 - 1 = 7.5$  månaders värmning. I diagrammet har inlagts en temperaturprofil framtagen ur figur 5.32, dvs efter simulerad kontinuerlig värmning i 6 månader. Den verkliga värmningen har omedelbart före mätningen föregåtts av 14 dagars avbrott, vilket fört med sig att temperaturen i lagrets centrum har sjunkit (se figur 5.47) under det att värmen fortsatt att utbreda sig nedåt under lagrets verksamma volym. Detta förklarar varför de simulerade temperaturerna är lägre än de mätta på stora djup ( $z > 24 \text{ m}$ ) och att temperaturerna är högre än de mätta inne i lagret.

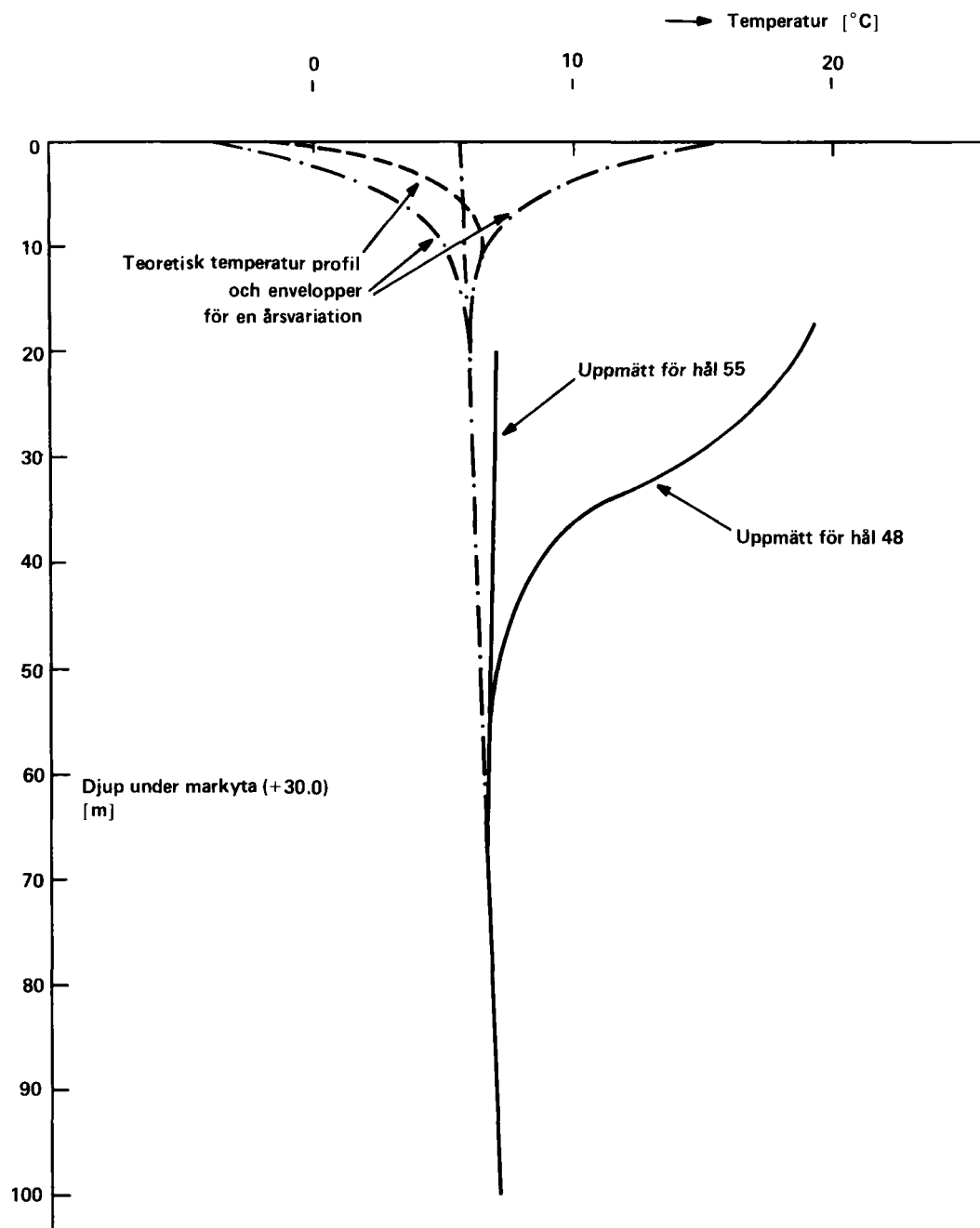
I figur 5.50 visas temperaturprofilen i hål 47 den 1981-04-20, dvs efter 27 månaders verklig värmning (under tiden 1978-08-04 till 1981-04-20 med 7 månaders sammanlagt avbrott). I figuren har även inlagts simulerad temperatur, tagen ur figur 5.35. Man finner att överensstämmelsen är mycket god, isynnerhet under lagrets aktiva volym, där inverkan av värmningsavbrotten är utglättade.

Hål 48 och 55 är helt vertikala och har ett djup av ca 100 m. Dessa har varit speciellt värdefulla för studier av de utpräglat makroskopiska förloppen. Av Figur 5.38 och 5.39 framgår dessa håls lägen. Hål 48 skär igenom marklagrets B- och C-zon, medan hål 55 ligger helt utanför lagret (ca 25 m från centrum).

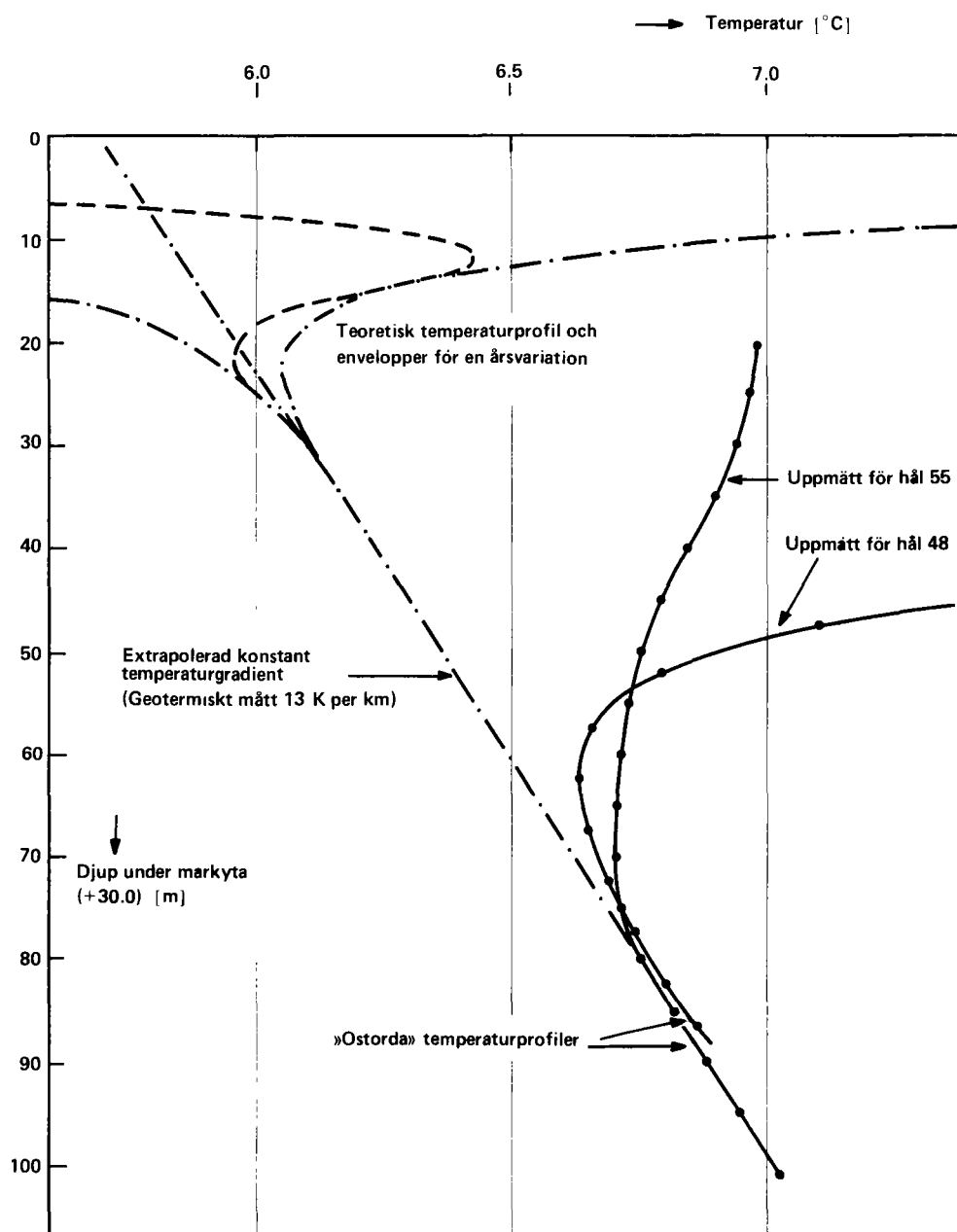
Som tidigare nämnts är hål 55 vattenfyllt endast upp till grundvattennivå (detta var fallet även för hål 48 fram till sommaren 1980). Detta medför att temperaturgivarna ej får termisk kontakt med omgivande mark, för djup ovanför ca 20 m och förklarar varför mätt temperaturprofil endast finns för större djup.



Figur 5.50 Simulerad och mätt temperaturprofil i hål nr 42 efter 24 resp. 27 månaders värmning.



Figur 5.51 Temperaturprofil i hål 48 och 55 den 1980-01-14



Figur 5.52 Temperaturprofil (förstorad 20 ggr jämfört med figur 5.51) för hål 48 och 55 den 1980-04 -01-14



De båda Figurerna 5.51 och 5.52 visar samma temperaturmätningar men med den skillnaden att Figur 5.52 återger temperaturprofilen kring  $6.5^{\circ}\text{C}$  i 20 ggr större temperaturskala. I denna Figur framstår tydligt innebörden av den höga noggrannhet och upplösning som genomgående funnits på temperaturmätningarna. Figuren ger bl a besked om det sk "geotermiska måttet", d v s den konstanta temperaturhöjning som sker med tilltagande djup in mot jordens varmare inre.

På land, långt bort från vulkanisk verksamhet, är normala värden för det geotermiska måttet 10 till 50 K/km och från ett flertal mätningar liknande de som visas i Figur 5.52 har det bestämts till 13 K/km för marken vid experimentobjekt 1. Med  $\lambda$  för berg satt till 3.5 blir således värmeflödet från jordens inre =  $0.05 \text{ W/m}^2$ , vilket naturligtvis är ett värde som helt saknar betydelse för Sunstores energibalans. Dock är temperaturmätningarna i de två djupa hålen 48 och 55 av stort intresse. Dessa hål borrades långt efter lagret hade börjat laddas, därför finns ingen helt ostörd temperaturprofil. Profilen i Figur 5.51 och 5.52 visar att 1980 fannas den konstanta gradienten (som ger det geotermiska måttet) kvar endast för djup större än ca 75 m, där den dock är fullt identifierbar.

Ovanför detta djup skulle temperaturprofilen ligga mellan de envelopper som visas i Figur 5.51 och 5.52 förutsatt att klimatet inte har förändrat sig de senaste åren och att årsvariationen av temperaturen vid jordytan är den enda förekommande störningen.

De båda Figurerna visar att marklagret har modifierat de förväntade temperaturprofilerna. Frågan om dessa modifieringar förklaras helt av marklagrets värmeläckage eller om det är klimatologiska inflytanden är ännu ej besvarad.

För att besvara denna fråga (plus ett flertal andra) är det emellertid nödvändigt att ha den höga noggrannhet, upplösning och stabilitet som hittintills alla mätningar är utförda med.

## 6. METODER FÖR EKONOMISK VÄRDERING AV ENERGISYSTEM

### 6.1 Ekonomiskt synsätt

Investeringar för ett energisystem beskrivs ekonomiskt med de utbetalningar de leder till under olika år. De faktorer som då ingår är utbetalning vid anskaffningen (grundinvesteringen), utbetalningar per år för underhåll, utbetalningar per år för inköpt energi (olja, el etc), ekonomisk livslängd och restvärde. Dessa faktorer kan åskådliggöras längs en tidsaxel enligt Figur 6.1.

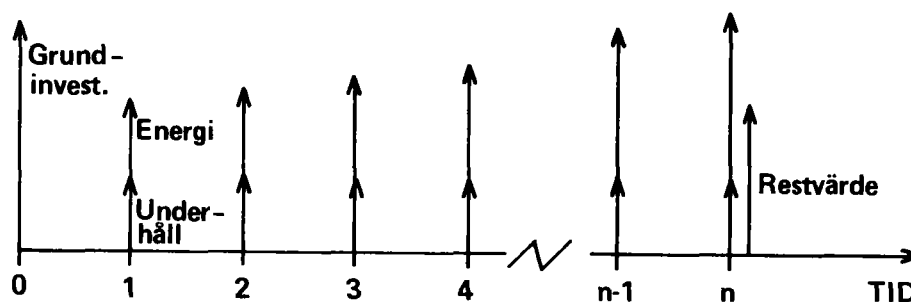


FIG. 6.1

För att kunna jämföra olika energisystem med varandra måste utbetalningarna för energisystemen kunna jämföras med varandra. Detta löses lämpligen med hjälp av diskontering till en kalkylränta, d v s alla betalningar omräknas med hjälp av kalkylränta till samma tidpunkt.

Värdet på kalkylräntan uttrycker hur starkt man föredrar att få göra en utbetalning idag jämfört med samma utbetalning om ett år. Kalkylräntan förutsätts i fortsättningen vara lika med råneräntan.

Utbetalningar för underhåll förutsätts vara kontant (i fast penningvärde) för samtliga studerade energisystem.

Energien som levereras till anläggningen är exempelvis den olja som en oljeeldningsanläggning förbrukar eller den elenergi som en värmepump förbrukar. Priset och prisutvecklingen på denna energi är ytterligt betydelsefullt då olika system skall jämföras med varandra. Att förutsäga prisutvecklingen är svårt. Ju längre livslängd ett energisystem har, ju osäkrare blir bedömningen av denna prisutveckling.

Därför kan det vara lämpligt att studera anläggningen i ett begränsat tidsperspektiv, som är kortare än livslängden. När denna tid har gått har anläggningen ett restvärde, som man måste ta hänsyn till när anläggningen utvärderas.

I den följande analysen förutsätts att alla komponenter i energianläggningarna har en livslängd som är minst lika lång som det betraktade tidsperspektivet.

## 6.2 Nuvärdesmetoden

Vid nuvärdesmetoden omräknas alla förväntade utbetalningar till investeringstidpunkten (46). Man får

$$B_N = \sum B_I \left( 1 - G_N \left( 1 - \frac{n_T}{n_L} \right) \right) + G_{NS} \cdot B_U + G_E \cdot G_D \cdot B_E \quad (6.1)$$

där	$B_N$	= nuvärdebelopp	[kr]
	$B_I$	= investeringsbelopp	[kr]
	$G_I$	= nuvärdesfaktorn	-
	$G_N$	= realkalkylränta = $r_{KV} - r_{INF}$	[%]
	$r_K$	= verklig kalkylränta	[%]
	$r_{KV}$	= inflationen	[%]
	$r_{INF}$	= tidsperspektivet	[år]
	$n_T$	= livslängden för investeringen	[år]
	$G_L$	= nusumme faktorn	-
	$B_{NS}$	= årligt underhållsbelopp i dagens penningvärde	[kr]
	$B_U$		
	$G_E$	= nusumme faktorn för köpt energi =	

$$= \frac{1 - \left( \frac{1 + \frac{r_E}{100}}{1 + \frac{r_K}{100}} \right)^{n_T}}{1 - \left( \frac{1 + \frac{r_E}{100}}{1 + \frac{r_K}{100}} \right)} \quad (\text{se Bilaga B})$$

$r_E$	= realprisökning på energi =	
	= $r_{EV} - r_{INF}$	[%]
$r_{EV}$	= verklig energiprisökning	[%]
$G_D^{EV}$	= uppräkningsfaktor för energipriset fram till driftsstart =	
	$\frac{1 + \frac{r_E}{100}}{1 + \frac{r_K}{100}}$	-
$n_D$	= antal år från nu till driftstart	-
$B_E$	= årligt belopp för energi i dagens penningvärde	[kr]

Om nuvärdet normeras till den totala energimängd som anläggningen levererar under tidsperspektivet fås:

$$\frac{B_N}{n_T \cdot Q_{US}} = \frac{1}{n_T \cdot Q_{US}} \sum B_I \left( 1 - G_N \left( 1 - \frac{n_T}{n_L} \right) \right) + \frac{G_{NS} B_U}{n_T \cdot Q_{US}} + \frac{G_E \cdot G_D B_E}{n_T \cdot Q_{US}} \quad (6.2a)$$

eller

$$\frac{k_N}{n_T} = \sum \frac{k_I}{n_T} \left( 1 - G_N \left( 1 - \frac{n_T}{n_L} \right) \right) + \frac{G_{NS} \cdot k_U}{n_T} + \frac{G_E \cdot G_D \cdot k_E}{n_T} \quad (6.2b)$$

där  $k_N = \frac{B_N \cdot 100}{Q_{US}}$  = specifika kostnader [öre/kWh/år]

$k_I = \frac{B_I \cdot 100}{Q_{US}}$  = specifika investeringskostnader [öre/kWh/år]

$k_U = \frac{B_U \cdot 100}{Q_{US}}$  = specifika årliga underhållskostnader (i dagens penningvärde) [öre/kWh]

$k_E = \frac{B_E \cdot 100}{Q_{US}}$  = specifika årliga energikostnaden (för köpt energi - i dagens penningvärde) [öre/kWh]

$Q_{US}$  = årlig levererad energimängd

Vidare sätts

$$\left. \begin{aligned} p_N &= \frac{k_N}{n_T} && \text{[öre/kWh]} \\ p_I &= \sum \frac{k_I}{n_T} \left( 1 - G_N \left( 1 - \frac{n_T}{n_L} \right) \right) && \text{[öre/kWh]} \\ p_U &= \frac{G_{NS}}{n_T} \cdot k_U && \text{[öre/kWh]} \\ p_E &= \frac{G_E}{n_T} G_D \cdot k_E && \text{[öre/kWh]} \end{aligned} \right\} \text{"energi-} \\ \text{priser"} \\ \text{nuvärdes-} \\ \text{betraktat}$$

d v s det gäller att

$$p_N = p_I + p_U + p_E \quad (6.2 \text{ c})$$

$p_N$  kan således tolkas som ett pris på den energi som anläggningen levererar, baserat på nuvärdesbegreppet.

### 6.3 Annuitetsmetoden

Vid annuitetsmetoden omräknas alla betalningar till årligt lika stora belopp, s k annuiter. Normeras dessa annuiter till den årligen levererade energimängden fås

$$p_A = \frac{k_N}{G_{NS}} = \frac{1}{G_{NS}} \sum k_I \left( 1 - G_N \left( 1 - \frac{n_T}{n_L} \right) \right) + k_U + \frac{G_E}{G_{NS}} \cdot G_D \cdot k_E \quad (6.3)$$

$p_A$  kan således, liksom  $p_N$  ovan, tolkas som ett pris på den energi som anläggningen levererar; i detta fall baserat på annuitetsbegreppet.

### 6.4 Besparingskostnadsmetoden

De energisystem som här studeras är alternativ till oljebaserade energisystem. Det är härvid särskilt intressant att jämföra dessa system med oljebaserade energisystem. Det är då lämpligt att normera Ekvation (6.2 b) så att den tredje termen - energitermen - blir dagens oljepris om värdena för ett oljebaserat system sätts in i uttrycket. Då fås

$$p_B = \frac{k_N}{G_O \cdot G_D} = \frac{1}{G_O \cdot G_D} \sum k_I \left( 1 - G_N \left( 1 - \frac{n_T}{n_L} \right) \right) + \frac{G_{NS}}{G_O \cdot G_D} \cdot k_U + \frac{G_E}{G_O} \cdot k_E \quad (6.4)$$

där

$G_O$  = nusumme faktorn för köpt olja =

$$\frac{1 - \left( \frac{r_O}{1 + \frac{r_O}{100}} \right)^{n_T}}{1 - \left( \frac{r_K}{1 + \frac{r_K}{100}} \right)} \approx$$

$$\approx \frac{1 + \frac{r_{\Delta}}{100} - 1}{\frac{r_{\Delta}}{100}} \quad (\text{se Bilaga A}) \quad (6.5)$$

$r_0$  = realprisökningen för eldningsolja [%]

$r_{\Delta} = r_0 - r_K$  = "nettooljeprisökning" [%]

Om exempelvis ett solenergisystem delvis ersätter oljeförbrukningen till ett oljebaserat energisystem, d v s användningen av solenergisystemet innebär en besparing av olja utan att investerings- och driftskostnader för oljesystemet påverkas, kan  $p_B$  för solenergisystemet tolkas som det lägsta tillåtna priset på eldningsolja för vilket solenergisystemet är en lönsam investering.  $p_B$  är då identiskt med ett i prop 1977/78:76 angivna begreppet besparingskostnad.

Däremot kan  $p_B$  ej tolkas som en ekvivalent energikostnad för olja, om ett alternativt energisystem helt ersätter ett oljeeldat system. Då måste man nämligen också ta hänsyn till investerings- och underhållskostnader för det oljeeldade systemet. Tillämpningen av begreppet besparingskostnad, såsom det behandlas i ovannämnda proposition, skall således användas med största försiktighet.

De tre beräkningsmetoderna finns sammanställda i Tabell 6.1.

Uttrycket (6.4) kan användas för en analys av ränte- och livslängdsinverkan på ett energisystems lönsamhet. Om man betraktas ett solenergisystem, d v s  $k_E = 0$ , och antar att driftskostnaden är försumbar, d v s  $k_U = 0$  samt sätter  $n_T = n_L$  och  $G_D = 1$  fås

$$p_B = \frac{1}{G_0} \sum k_I \quad (6.6)$$

Om solenergisystemet eliminerar ett oljebehov, utan hänsyn taget till eventuell minskning i investerings- och driftskostnad för oljesystemet, är (6.6) ett uttryck för det oljepris, över vilket solenergisystemet är lönsamt. Faktorn  $1/G_0$  anger hur stor andel av investeringen man skall ta för att få detta oljepris.

Faktorn  $1/G_0$  är beroende av tre variabler,  $r_K$ ,  $r_0$  och  $n_L$ . Genom förenkling enligt (6.5) fås

$$\frac{1}{G_0} \approx \frac{\frac{r_\Delta}{100}}{\left(1 + \frac{r_\Delta}{100}\right)^{n_L} - 1} \quad (6.7)$$

under förutsättning att  $r_K < 10\%$  och  $r_0 < 10\%$ .

Sambandet (6.7) finns uppritat i Figur 6.2. Diagrammet kan användas för en överslagsmässig undersökning av vad ett investeringsdominerande oljeersättande energisystem har för lönsamhet.

Tabell 6.1

De tre beräkningsmetoderna för utvärdering av ett energisystems ekonomi

Metod	Summa	Investering	Underhåll	Energi	ekv nr
Nuvärdesmetoden	$B_N$	$\sum B_I \left[ 1 - G_N \left( 1 - \frac{n_T}{n_L} \right) \right]$	$G_{NS} \cdot B_U$	$G_E \cdot G_D \cdot B_E$	6.1
	$\frac{k_N}{n_T}$	$\sum \frac{k_I}{n_T} \left[ 1 - G_N \left( 1 - \frac{n_T}{n_L} \right) \right]$	$\frac{G_{NS}}{n_T} \cdot k_u$	$\frac{G_E}{n_T} \cdot G_D \cdot k_E$	6.2b
	eller $p_N$	$p_I$	$p_U$	$p_E$	6.2c
Annuitetsmetoden	$p_A = \frac{k_N}{G_{NS}}$	$\frac{1}{G_{NS}} \sum k_I \left[ 1 - G_N \left( 1 - \frac{n_T}{n_L} \right) \right]$	$k_U$	$\frac{G_E}{G_{NS}} \cdot G_D \cdot k_E$	6.3
Besparingskostnadsmetoden	$p_B = \frac{k_N}{G_0 \cdot G_D}$	$\frac{1}{G_0 \cdot G_D} \sum k_I \left[ 1 - G_N \left( 1 - \frac{n_T}{n_L} \right) \right]$	$\frac{G_{NS}}{G_0 \cdot G_D} \cdot k_U$	$\frac{G_E}{G_0} \cdot k_E$	6.4

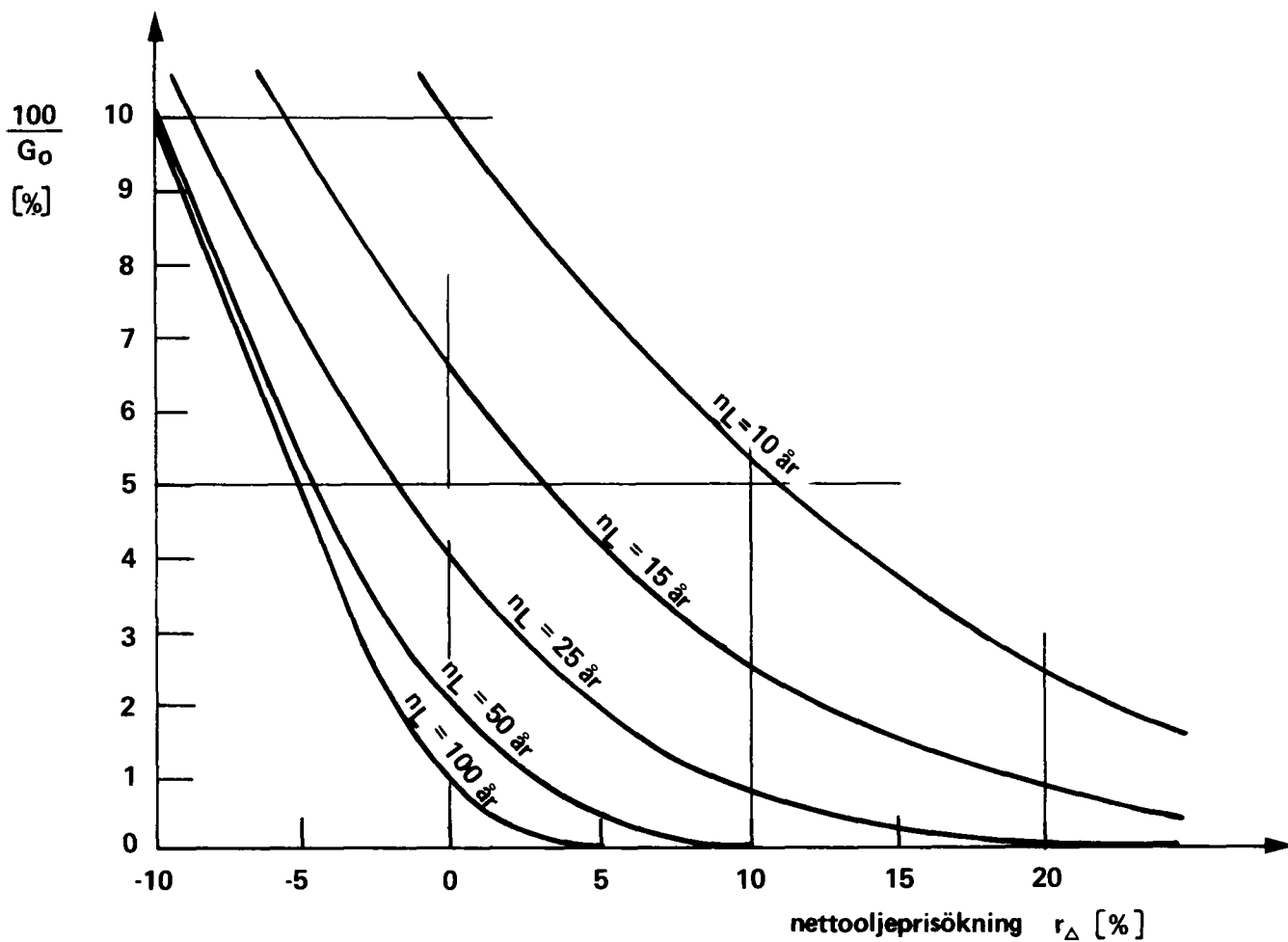


FIG. 6.2 Samband mellan  $\frac{100}{G_0}$  [%],  $r_{\Delta}$  [%] och  $n_L$  [år]



Om exempelvis livslängden för ett oljeeliminerande energisystem är 15 år, realkalkylräntan sätts till 4 % och realprisökningen för olja sätts till 9 % samt oljepriset till 0.20 kr/kWh får man en högsta tillåten investeringskostnad som är

$$(\sum k_I)_{\max} = \frac{0.20}{0.04} = 5 \text{ kr/kWh/år.}$$

Man kan således tillåta en hög investeringskostnad även för måttliga förutsättningar.

Den genomsnittliga realprisökningen för olja under de senaste åtta åren har varit ca 20 %. Med en realkalkylränta på 4 % skulle man ha kunnat tillåta extremt höga investeringskostnader på oljeeliminerande energisystem. För en livslängd på 25 år får man

$$(\sum k_I)_{\max} = \frac{0.20}{0.0025} = 80 \text{ kr/kWh/år}$$

Som ovan påpekats duger besparingskostnadsmetoden endast för överslagsmässig beräkning av lönsamheten för oljeeliminerande energisystem. I Kapitel 6.6 redogörs för en mer invändningsfri metod att beräkna lönsamheten, vilken sedan kommer att användas i den fortsatta ekonomiska analysen i Kapitel 7 och 8.

### 6.5 Förväntad prisutveckling

Som visats ovan är utvecklingen av realpriset för olja ytterligt betydelsefull när olika energisystem skall jämföras ekonomiskt. Likaså är val av kalkylränta viktig.

Av Figur 6.3 framgår inflationen under åren 1972 - 80, liksom utvecklingen av räntan för industriobligationslån och prisutvecklingen på eldningsolja 1. Prisutvecklingen på eldningsolja 4 och 5 har varit i stort sett densamma som Eo 1.

Av diagrammet framgår att prisutvecklingen på eldningsolja har varit mycket oregelbunden. Orsakerna är främst politiska, medan den genomsnittliga tendensen dock även har berott på tillgång och efterfrågan. Den genomsnittliga realprisökningen under de åtta senaste åren har varit ca 20 %, medan den under de två senaste åren har varit mer än 30 %.

Att förutsäga prisutvecklingen under de kommande åren är ytterligare svårt. Klart är dock att på sikt kommer en knapphet att uppstå, som är prisdrivande. Uttalanden från OPEC under 1980 innebär att oljepriset ej kommer att stiga mer än 10 % över inflationen under de närmaste åren. Någon knapphet på olja finns för närvarande ej, möjligen är produktionsresurserna begränsade. Den statliga beskattningen av olja kommer emellertid sannolikt att öka. Dessutom kommer en särskild beredskapsavgift att införas.

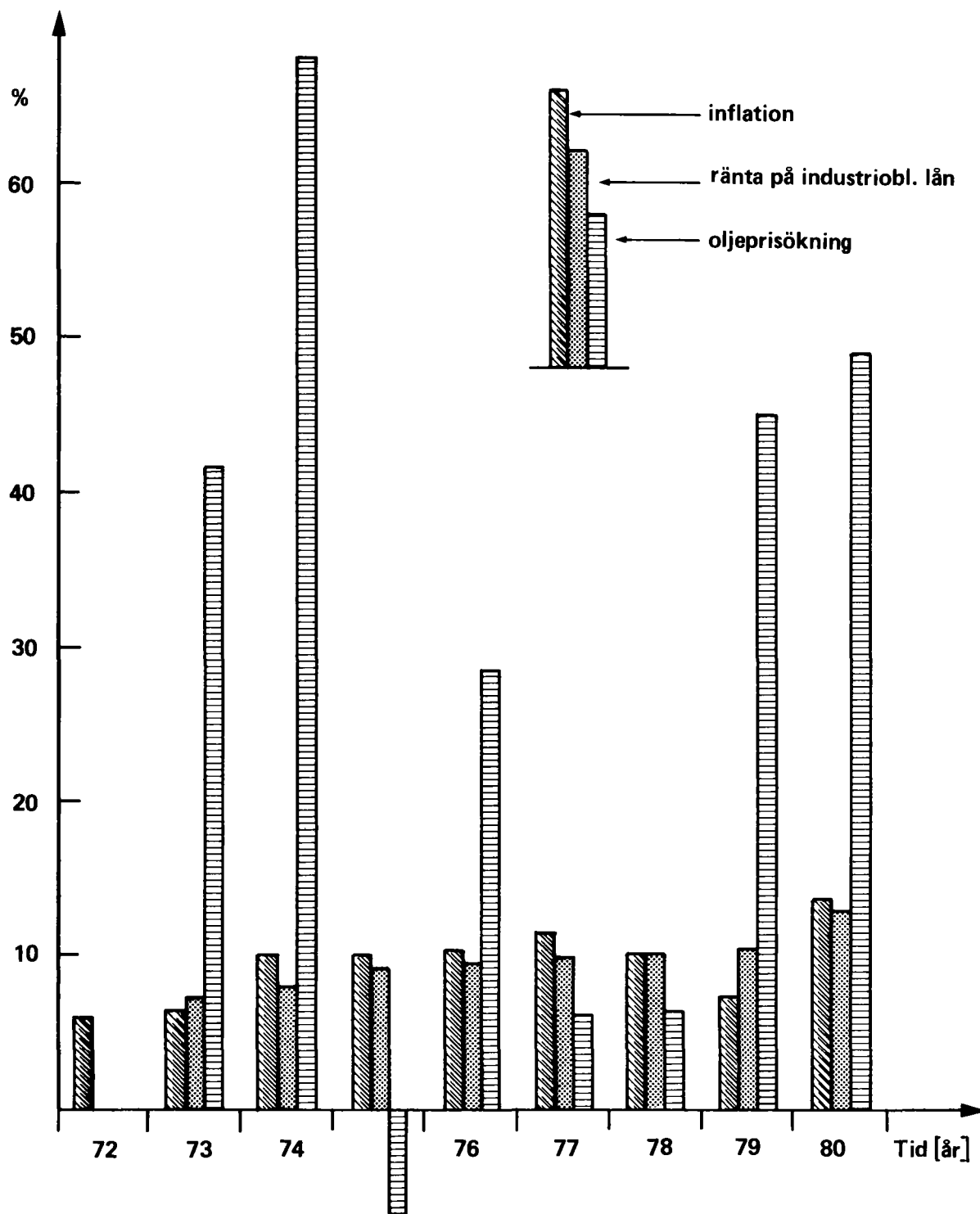


FIG. 6.3 Inflation, ränta på industriobligationslån och oljeprisökning

Osäkerheten i bedömningen av energiprisutvecklingen föranleder att samtliga energisystem betraktas under ett begränsat tidsperspektiv, som har satts till 15 år. Det är därvid också praktiskt att antaga att ingen komponent, för vilka investeringar krävs, har en livslängd som är mindre än 15 år.

Av ovan anförda skäl har två alternativa oljeprisökningar använts i kostnadskalkylerna i Kapitel 5 och 6. Realprisökningen på olja har under det betraktade tidsperspektivet satts till 4 % respektive 14 %. Realkalkylräntan har satts till 4 %, d v s nettooljeprisökningen blir 0 respektive 10 %. Prisutvecklingen på elenergi har satts lika med oljan. Det motiveras med att införande av energisystem som använder sig av mycket el för att ersätta oljan, innebär att elnätet både effektmässigt och energimässigt måste byggas ut. De rörliga kostnaderna för el producerad under effekttoppar (vid stark vinterkyla) blir också mycket höga.

#### 6.6 Vald metod - kostnadstal relaterat till oljeeldat energisystem

---

Vid beräkning av kostnaden för ett energisystem har nuvärdesmetoden använts enligt Ekvation (6.2 b). Det innebär att i Kapitel 7 och 8 har investeringskostnaderna angivits i  $p_I$ , underhållet i  $p_U$  samt köpt energi i  $p_E$ . Därefter har  $p_N$  beräknats, där således

$$p_N = p_I + p_U + p_E \quad (6.2 c)$$

De energisystem som här studeras avses vara alternativ till i första hand oljeeldade system. Därför är det lämpligt att relatera alla energisystem till oljesystem. Detta har gjorts genom att nuvärdet  $p_N$  för ett studerat system har angivits i procent av nuvärdet för ett oljesystem,  $p_{NO}$ . D v s kvoten

$$100 \cdot \frac{p_N}{p_{NO}} = J \quad (6.8)$$

har beräknats och benämns kostnadsjämförelsetal [%]

Man finner också att

$$J = 100 \frac{p_N}{p_{NO}} = 100 \frac{p_A}{p_{AO}} = 100 \frac{p_B}{p_{BO}}$$

d v s oberoende av de tidigare behandlade värderingsmetoderna är relationstalet mellan ett alternativt energisystem och ett oljesystem detsamma.

Värdet på  $p_{NO}$  som skall användas i uttrycket för  $J$  bestäms av Ekvation (6.2 c) med alla värden för ett oljeeldat system insatta. Man kommer att få åtta olika  $p_{NO}$ -värden beroende på kombinationerna av:

- systemstorlekarna 30 respektive 2 000 MWh/år
- driftsstart 1983 respektive 1988
- årlig oljeprisökning 4 respektive 14 % (d v s  $r_{\Delta} = 0$  respektive 10 %).

Genomgående används 15 år som tidsperspektiv för analysen. Förutsättningarna och de åtta  $p_{NO}$ -värdena framgår av Tabell 6.2. Se även om förutsättningar och definitioner av avgränsningar i nästa kapitel.

Tabell 6.2		Bestämning av $p_{NO}$ (Jämförpriset för oljeeldat energisystem)				
$Q_{US}$	Årligen levererad energimängd	[MWh]	30		2 000	
$k_{EO}$	Dagens oljepris	[öre/kWh]	20			
$r_K$	Antagen realkalkylränta	[%]	4			
$k_{I1}$	Investering Panncentral	[öre/kWh/år]	50		15	
$n_{L1}$	Livslängd "	[%]	/ 15		/ 15	
$k_{I2}$	Investering Skorsten etc	[öre/kWh/år]	33		10	
$n_{L2}$	Livslängd "	[år]	/ 45		/ 45	
$k_{I3}$	Investering Rör, rad etc	[öre/kWh/år]	50		50	
$n_{L3}$	Livslängd "	[år]	/ 45		/ 45	
$k_U$	Underhåll (sotn service)	[öre/kWh/år]	1.7		0.8	
	Årtal för driftsstart		'83	'88	'83	'88
$p_{NO}$	Energipris för oljeeldat system					
	vid $r_o = 4\%$ ( $r_{\Delta} = 0\%$ )	[öre/kWh]	29.7	34.5	25.7	30.5
	vid $r_o = 14\%$ ( $r_{\Delta} = 10\%$ )	[öre/kWh]	63.0	113.6	59.0	109.6

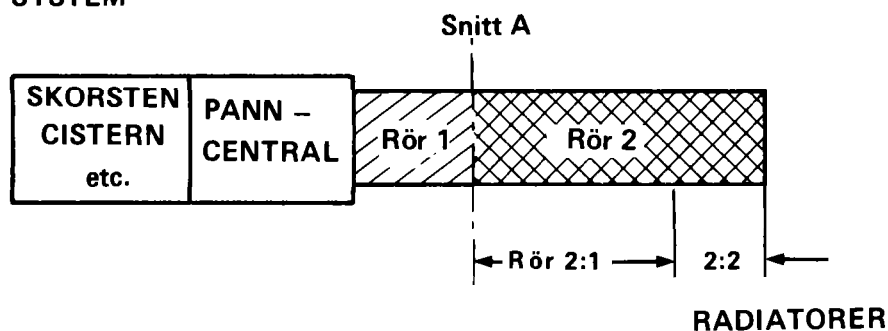
#### 6.7 Investeringsskostnad för de konventionella delarna i olika system

För att i Kapitel 7 och 8 kunna göra en enhetlig ekonomisk analys är det väsentligt att definiera avgränsningen av delkomponenterna för olika system enligt Figur 6.4. I denna figur avses med snitt A den punkt där stamledningarna (inom fastigheten) utgår ifrån.

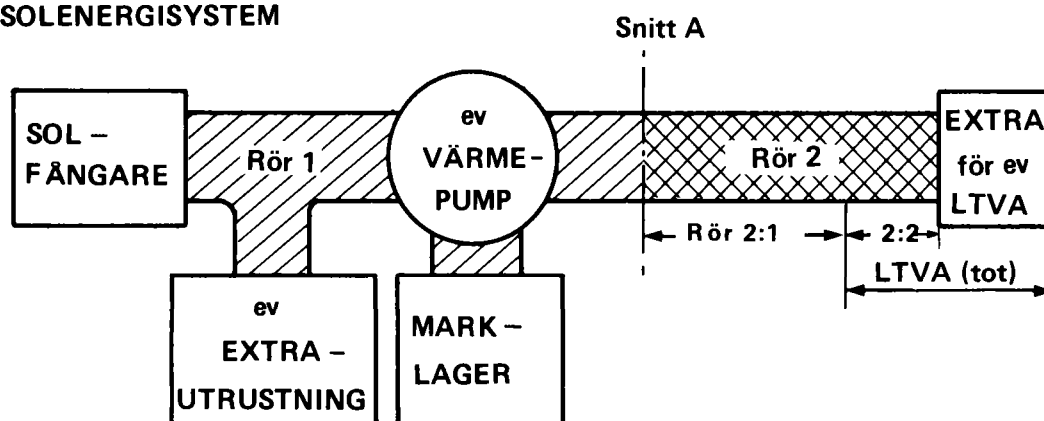
Med rörsystem 1 förstås det rör- (eventuellt kulvert-) system som i oljeeldningsfallet förbinder en panncentral med snitt A och i övriga fall det som förbinder de enskilda hålen i marklagret, de enskilda solfångarna och eventuell värmepump eller annan utrustning med varandra och snitt A.

Med rörsystem 2 förstås rörsystem från snitt A till radiatorerna samt inkluderar konventionella radiatorer.

#### OLJEELDAT SYSTEM



#### SOLENERGISYSTEM



Figur 6.4 Definition av avgränsning för delkomponenterna i olika energisystem

Den specifika investeringskostnaden för en delkomponent, som bestäms av delkomponenters investeringskostnad dividerat med systemets årliga energileverans ( $Q_{US}$ ), framgår av Tabell 6.3. Vid den kommande ekonomiska analysen i Kapitel 7 och 8 används konsekvent denna tabells värde.

Det bör observeras att kostnaden för konventionella radiatorer är satt till 10 öre/kWh/år både 1983 och 1988, medan extra tillägget (förutom 10 öre) för LTVA är bedömt till 20 öre/kWh/år (motsvarar 40 kr/m<sup>2</sup>) 1983 och till noll 1988. Det senare motiveras med vad som framhölls i Kapitel 3.3 beträffande införandepotentialen. De närmaste åren blir det en extra kostnad för LTVA men efter en produktutvecklingsfas bör det vara möjligt att få på marknaden tak-, golv- och väggbeklädnadsmaterial med LTVA-funktion som har en särkostnad för LTVA-funktionen som inte är större än kostnaden för de idag konventionella radiatorerna.

Vidare är att märka i Tabell 6.3 att för den kemiska värmepumpen (KVP) är upptaget 200 öre/kWh/år för hela det extra system som utgör den egentliga kemiska värmepumpen inkluderande värmelagringssubstansen, vakuumsystem etc.

Den specifika investeringskostnaden för solfångare och marklager ( $k_{ISC}$  respektive  $k_{IST}$ ) kommer att närmare behandlas i Kapitel 7 och 8.

Tabell 6.3

Specifik investeringskostnad  $k_I$  [öre/kWh/år] för olika delkomponenter

	$Q_{US} = 30 \text{ MWh/år}$			$Q_{US} = 2\,000 \text{ MWh/år}$		
	Olja	KVP+sol	VP+sol +LTVA	Olja	KVP+sol	VP+sol + LTVA
1983						
Solfångare	-	$k_{ISC}$	$k_{ISC}$	-	$k_{ISC}$	$k_{ISC}$
Marklager	-	$k_{IST}$	$k_{IST}$	-	$k_{IST}$	$k_{IST}$
Rör 1	-	50	50	-	50	50
Rör 2:1	40 50	40	40	40 50	40	40
2:2	10	10	10	10	10	10
Extra för LTVA	-	-	20	-	-	20
Värmepump	-	$f_{SC} \cdot 93$	$f_{SC} \cdot 93$	-	$f_{SC} \cdot 37$	$f_{SC} \cdot 37$
Extra utrustning	-	200	-	-	200	-
Panna med tillbehör	50	-	-	15	-	-
Skorsten cistern etc	33	-	-	10	-	-
1988						
Solfångare	-	$k_{ISC}$	$k_{ISC}$	-	$k_{ISC}$	$k_{ISC}$
Marklager	-	$k_{IST}$	$k_{IST}$	-	$k_{IST}$	$k_{IST}$
Rör 1	-	40	40	-	40	40
2:1	40 50	40	40	40 50	40	40
2:2	10	10	10	10	10	10
Extra för LTVA	-	-	-	-	-	-
Värmepump	-	$f_{SC} \cdot 74$	$f_{SC} \cdot 74$	-	$f_{SC} \cdot 33$	$f_{SC} \cdot 33$
Extra utrustning	-	200	-	-	200	-
Panna med tillbehör	50	-	-	15	-	-
Skorsten cistern etc	33	-	-	10	-	-

## 7. SYSTEM BASERADE PÅ SUNSTORETEKNIKEN

### 7.1 Teknisk uppbyggnad

Det för Sunstoretekniken typiska är ju att alla delar i systemet arbetar med relativt låg temperatur. Detta innebär att de tre huvudkomponenterna får följande egenskaper:

- Solfångaren (LTSF) kan göras extremt enkel och behöver inte vara skyddad med glasning. Solfångarfunktion går att integrera i gängse tak- och fasadmaterial och därmed göra billig. Vid låg temperatur blir insamlad energi mycket hög. En mycket billig variant av extrem-lågtemperatur-solfångare utgör en konstgjord vattenyta (spegeldamm). Som energiinsamlare inom ramen för Sunstore-tekniken kan även ett luftbatteri användas såväl vid värme- som köldinsamling.
- Marklagret (LTML) har små värmeförluster jämfört med om temperaturen varit hög. Värme-lagringsfunktion kan byggas så billigt att det är ekonomiskt möjligt att utnyttja små temperatursving, vilket är gynnsamt ur ett flertal synpunkter.
- Värmeavgivarna (LTVA) som kan avge värme till uppvärmningsobjektet vid en mycket liten övertemperatur möjliggör hela lågtemperaturtekniken. LTVA kan emellertid också absorbera värme dvs kyla vid en mycket liten under-temperatur.

Dessa egenskaper går att utnyttja på flera sätt och kombinera med aktiva kompressoraggregat i form av kylanläggningar och värmepumpar. I Tabell 7.1 åskådliggörs den principiella uppbyggnaden på 9 olika grundtyper av Sunstorebaserade system. Två av systemen har en A och B variant med olika lagersving.

Gemensamt för alla system är att de är skyddade av ett eller flera Sunstorepatent. System 1 och 2 är kylsystem, medan de övriga är för uppvärmning. Struktureringen i Tabell 7.1 är sådan att de börjar med system för mycket låga temperaturer och avslutas med system som ligger på temperaturgränsen för Sunstoretekniken. Ytterligheterna fordrar aktiva kompressoraggregat men systemen i mitten, grupperade omkring det ursprungliga Sunstoresystemet (nr 4) är helt passiva.

De passiva systemen är givetvis att föredra med sin höga tillförlitlighet och låga sårbarhet. De uppfyller kraven på ett slutgiltigt uppvärmningssystem enligt Kapitel 2.2.1. Åtminstone är detta fallet för system 2, 3 och 4. System 5 som förutsätter spillvärme är däremot inte energiautonomt. Som vi skall se i Kapitel 7.3 är de passiva systemen också de mest ekonomiska med lägsta kWh-priset.



Tabell 7.1

System baserade på Sunstoreteknik, principiell uppbyggnad och temperaturnivåer för enskilda komponenter [°C]

1	-20 ↔ +5	-5 ↔ +15	-25 ↔ -22	-20	
Köldfångare	ML +5	Kylaggregat $\epsilon_{kyl} \sim 2.9$ Sommarel	-LTVA	Fryshus Ishallar	
2	-20 ↔ -4	-7 ↔ -3	-5 ↔ -3	-2	
Köldfångare	ML -5		-LTVA	Kylhus (Ishallar)	
3	+7 ↔ +20	+3 ↔ +15	+3 ↔ +3	+1	
Vattenyta eller LTSF	ML +9		Markslinga	Snöfria ytor	
4	+24 ↔ +35	+22 ↔ +32	+22 ↔ +27	+20	
LTSF	ML +27		LTVA med SH	Bostäder lokaler för handel & service	
5	+24 ↔ +75	+22 ↔ +62	+22 ↔ +27	+20	
Spillvärme	ML +42		LTVA med SH	Bostäder, lokaler för handel & service	
6A	+7 ↔ +10		+22 ↔ +42	+22 ↔ +27	+20
6B	+7 ↔ +10		+22 ↔ +32	+22 ↔ +27	
Vattenyta eller LTSF	VP $\epsilon \sim 3.2$ Sommarel	ML +32 +27	LTVA med SH	Bostäder, lokaler för handel & service	
7	+7 ↔ +20	+3 ↔ +15	+22 ↔ +27	+20	
Vattenyta eller LTSF	ML +9	VP $\epsilon \sim 4$ Vinterel	LTVA med SH	Bostäder, lokaler för handel & service	
8A	+7 ↔ +10		+42 ↔ +62	+40 ↔ +50	+20
8B	+7 ↔ +10		+42 ↔ +52	+40 ↔ +50	
Vattenyta eller LTSF	VP $\epsilon \sim 2.3$ Sommarel	ML +52 +47	HTVA	Bostäder, lokaler för handel & service	
9	+7 ↔ +20	+3 ↔ +15	+40 ↔ +50	+20	
Vattenyta eller LTSF	ML +9	VP $\epsilon \sim 2.8$ Vinterel	HTVA	Bostäder, lokaler för handel & service	

Även om de passiva Sunstoresystemen - speciellt det ursprungliga, system nr 4 - är att föredra finns det tillämpningar som i vissa fall kan motivera de aktiva Sunstoresystemen. Det bör emellertid med skärpa framhållas att de inte uppfyller kraven på bestående lokaluppvärmningssystem.

De aktiva värmesystemen kan ha värmepumpen inkopplad antingen före lagret (som system 6 och 8) eller efter (som system 7 och 9). Värmepumpen före lagret medför de två fördelarna att solfångaren arbetar med något lägre temperatur och därmed är något effektivare, samt att värmepumpen har sin driftsperiod förlagd till sommaren som kan ge en väsentlig favör när det gäller att dels få elleverans överhuvudtaget, dels få elenergi till lågt pris. Nackdelen med detta arrangemang är att lagret ligger upplagt på en högre temperatur (och därmed har större värmeläckage) än med det motsatta arrangemanget för vilket för- och nackdelar byter plats. Är värmepumpen placerad efter lagret blir således värmeläckaget från lagret praktiskt taget eliminerat medan värmepumpen har sin driftstid på vintern vilket kan bli problematiskt (se Kapitel 2.2).

System med elenergibehov på sommaren (d v s den kylanläggning som system nr 1 utgör) och värmeanläggningarna med värmepumpen placerad före marklagret (system 6 och 8), kan i vissa avsnitt av samhället nästan accepteras som bestående system. Detta förutsätter emellertid att eldistributionssystemet i detta samhällsavschnitt har överkapacitet på sommaren. Med stor kärnkraftsandel för elleveranser är exempelvis detta villkor uppfyllt.

Av de i Tabell 7.1 illustrerade 9 systemen är nr 4 - 9 system avsedda för lokaluppvärmning, d v s syftande till att hålla rumstemperatur i lokaler. Av dessa är nr 4 - 7 försedda med LTVA och kan i och med det kombineras med svalhållningsfunktion, (SH).

Denna funktion erhålls i de flesta fall genom att ett hål borrar på något avstånd från värmelagret. Detta hål fungerar sedan som en temperaturkälla för svalt vatten som genom reglerad blandning tillför LTVA ett cirkulationsvatten som har en mycket liten undertemperatur i förhållande till rummet.

Möjligheten att erhålla svalhållningsfunktion på detta radikalt enkla sätt, är möjlig inte bara här i Norden, utan praktiskt taget var som helst på hela jorden utom i tropiska områden. För tropiska områden måste svalhållning baseras på ett omvänt Sunstore marklager, d v s ett kyllager.

De områden av jorden där den omvända Sunstoretekniken med lagring av kyla behövs, kan bedömas från Figur 3.14. Det är möjligt att tänka sig system 4 i en sådan tillämpning. Kylan för laddning av lagret kan i det fallet erhållas

genom luftbatteri som körs på nätterna (som ofta är kalla, åtminstone där klimatet är torrt). Lagringen är i en sådan tillämpning inte nödvändigtvis säsongsmässig utan det kan vara frågan t o m om dygnslagring. Under sådana förhållanden blir håldelningen i lagret betydligt mindre och över huvud taget blir lagret givetvis mycket mindre och det är lättare att både tekniskt och ekonomiskt nå attraktiva lösningar. Sunstores patent täcker alla dessa varianter av lösningar. För klimatzoner med utpräglat inlandsklimat (exempelvis de inre delarna av USA, Kanada och Sovjet) kan det bli aktuellt med en kombination av system nr 4 i kyl- och värmeutförande.

De temperaturuppgifter och övrig data som anges i Tabell 7.1 och 7.2 förutsätter samtliga att  $T_{GR} = 8^{\circ}\text{C}$  och energiinsamlingsegenskaper som för Stockholm, d v s det gäller tillämpningar i mellan-Sverige.

## 7.2 Framräkning av kostnadsjämförelsetal

För beräkningarna i Tabell 7.2 gäller generellt:

- De tekniskt-fysikaliska samband som framtagits för Sunstoresystem (22, Kapitel 3.2) har använts. Dessa data gäller för andra driftsåret.
- Komponenternas kostnader är bedömda som de som kommer att vara troliga omkring 1988 - efter ett målmedvetet produktutvecklingsarbete - och i dagens penningvärde.
- Alla system är dimensionerade för en årlig levererad energi av 2 000 MWh, motsvarande 100 lägenheter.
- Klimatiska förhållanden för mellan-Sverige har använts.
- Systemen har beräknats för marklager i berg respektive lera.
- Systemen har beräknats för  $r_{\Delta} = 0$  respektive 10 %.
- Realkalkylränta = 4 % har använts.

Pos 1 - 3 samt 5 - 13 ger valda temperaturer som är typiska för respektive system

Pos 4 bedömd ytbelastning för värmeavgivare,  $E_{HD}$   
[kWh/m<sup>2</sup>/år]

Pos 14 Den infångade energimängden per år och m<sup>2</sup> solfångare,  $E_{SC}$  är beroende av den signifikanta temperaturen  $T_{CSIGN}$  (pos 13). För alla system med  $T_{CSIGN} = 15^{\circ}\text{C}$  är  $E_{SC}^{\text{satt}} = 700 \text{ kWh/m}^2$ , vilket med all sannolikhet är i

lägsta laget med beaktande av att stora bidrag kan fås från kondensationsvärme ur luftens fuktighet. För system med  $T_{CSIGN} < 15^{\circ}\text{C}$  är  $E_{SC}$  satt till 900 kWh/år. För system 4 med  $T_{CSIGN} = 32^{\circ}\text{C}$  är  $q_{SC}$  konservativt bedömt till 250 kWh/m<sup>2</sup>/år.

Pos 15 Särkostnaden för solfångarfunktionen i en med gängse tak- och vägghmaterial integrerad solfångare ( $C_{SC}$ ). Denna kostnad är för system 4 satt till 100 kr/m<sup>2</sup> medan för övriga system som kan använda sig av en enkel vattenyta som solfångare priset  $C_{SC}$  är satt till 80 kr/m<sup>2</sup>.

Pos 16 Totalkostnaden  $C_H$  per meter håll består av kostnad för borrning och infodring. Idag kan borrning i berg ske för storleksordningen 75 kr/m vid användande av konventionell brunnsbörningsteknik och infodringen för ca 65 kr/m (se Kapitel 5.10.2). Med produktutvecklingsarbete inriktat på rationell multipelbörning kombinerad med automatisk infodring torde det vara rimligt att 1988 nå  $C_H$  omkring 70 kr/m i dagens penningvärde.

Totalkostnaden  $C_H$  för lera är idag ca 35 kr/m och beräknas 1988 vara 30 kr/m. Detta pris består huvudsakligen av materialkostnad (plaströr) då kostnaden för nedföringen i lera är ganska låg.

Pos 17 Extra kostnader  $C_{HD}$  [kr/m<sup>2</sup>] för LTVA i stället för konventionella radiatorer är bedömd till 40 kr/m<sup>2</sup> 1983 och till noll 1988 (se Kapitel 6.7).

Pos 18 Marklagrets värmekapacitet per volym  $c \cdot \rho$  [kWh/m<sup>3</sup>K] är för berg satt till 0.64 och för lera 0.54.

Pos 19 Antal m<sup>3</sup> ( $A_H$ ) av marklagret som varje hålmeter motsvarar är en funktion av håldelningen och utgör en viktig parameter då det gäller effektsväljningsförmågan hos marklagret. Det optimala värdet för  $A_H$  ges av att håldelningen är ca 0.7 x 2 x S (där S är inträngningsdjupet, se förkortningar, definitioner och beteckningar). Detta innebär att  $A_H$  kan sättas till 15 m<sup>3</sup>/m för berg och 3.5 m<sup>3</sup>/m för lera. Med referens till det som framkommer i kapitel 4.3.1 kan emellertid värdet på  $A_H$  förmodligen väljas något större i en framtid.

Pos 20 och 21 Kvoterna  $f_{SC}$  och  $f_{ST}$  erhålles ur Figur 3.10 och 3.11 samt (22).

Pos 22 Värme/kylfaktorn  $\varepsilon$  måste bedömas med utgångspunkt från temperaturnivå och temperaturskillnad mellan före och efter värmepump (respektive kylaggregat). För system 6 och 8 är temperaturerna "före och efter",  $T_{CSIGN}$  (pos 13) resp  $T_M$  (pos 8) ökat med rimliga temperaturdifferenser för överföring av värmeeffekten. Värmeeffekten är beroende av lagrets temperatursving  $\theta_{ST}$ . För system 1,

7 och 9 är temperaturerna "före och efter",  $T_M$  (pos 8) minskat med ovan nämnda rimliga effektberoende temperaturdifferens respektive signifikant temperatur för värme/kylavgivare. Den sistnämnda temperaturen kan bedömas med utgångspunkt från pos 1 och 2

Pos 23 - 25 Specifik investeringskostnad för solfångare  $k_{ISC}$  [öre/kWh/år] erhålles ur

$$k_{ISC} = \frac{C_{SC} \cdot f_{SC} \cdot 100}{E_{SC}} \quad (7.1)$$

$P_{ISC}$  erhålles ur Ekvation 6.2 b med  $k_{ISC}$  och  $n_{LSC}$  insatta.

Pos 26 - 28 Specifik investeringskostnad för marklager [öre/kWh/år] erhålles ur:

$$k_{IST} = \frac{C_H \cdot f_{ST} \cdot 100}{A_H \cdot c \cdot \rho \cdot \theta_{ST}} \quad (7.2)$$

$P_{ISC}$  erhålles ur Ekvation 6.2 b med  $k_{IST}$  och  $n_{LST}$  insatta.

Pos 29 - 31 Specifik investeringskostnad för rör-system 1.  $k_{I1}$  [öre/kWh/år] erhålles ur Tabell 6.3.  $p_{I1}$  erhålles ur Ekvation 6.2 b med  $k_{I1}$  och  $n_{L1}$  insatta.

Pos 32 - 34 Specifik investeringskostnad för rör-system 2.  $k_{I2}$  [öre/kWh/år] erhålles ur Tabell 6.3.  $p_{I2}$  erhålles ur Ekvation 6.2 b med  $k_{I2}$  och  $n_{L2}$  insatta.

Pos 35 - 37 Specifik investeringskostnad för LTVAs särkostnad,  $k_{IHD}$  utöver kostnaden för konventionella radiatorer.  $k_{IHD}$  [öre/kWh/år] erhålles ur:

$$k_{IHD} = \frac{C_{HD} \cdot 100}{E_{HD}} \quad (7.3)$$

$P_{IDH}$  erhålles ur Ekvation 6.2 b med  $k_{IHD}$  och  $n_{LHD}$  insatta.

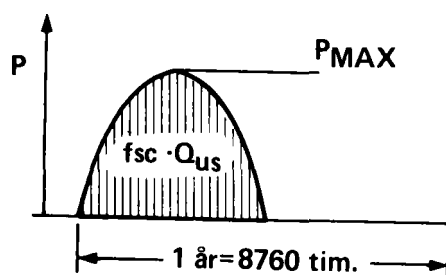
Pos 38 - 40 Specifik investeringskostnad för eventuell värmepump,  $k_{IHP}$  [öre/kWh/år] erhålles ur:

$$k_{IHP} = \frac{C_{HP} \cdot f_{SC} \cdot 100}{2700} \quad (7.4)$$

där:

$C_{HP}$  = bedömd investeringskostnad i kr för värmepumpen per levererad max effekt i kW. För en 2 000 MWh/år-anläggning som tas i drift 1988 bedöms  $C_{HP} = 900$  kr/kW.

2 700 = de ekvivalenta antal timmar ( $= \frac{365 \cdot 24}{\pi}$ ) som värmepumpen skulle behöva gå med max effekt för att under ett år leverera energimängden  $f_{SC} \cdot Q_{US}$  enligt Figur 7.1. Värmepumpens effekt förutsätts där variera sinusformigt under ett halvår.



Figur 7.1

$P_{IHP}$  erhålls ur Ekvation 6.2 b med  $k_{IHP}$  och  $n_{LHP}$  insatta.

Pos 41 - 43 Specifik investeringskostnad för eventuell extra utrustning  $k_{IX}$  [öre/kWh/år] erhålles ur Tabell 6.3. Sådan utrustning är aktuell endast för den kemiska värmepumpen och den behandlas inte förrän i Kapitel 8.

$p_{IX}$  erhålles ur Ekvation 6.2 b med  $k_{IX}$  och  $n_{LX}$  insatta.

Pos 44 - 45 Den årliga specifika underhållskostnaden  $k_U$  [öre/kWh/år] är bedömd till 1.0 för system utan värmepump och till 2.0 för system med värmepump.

Pos 46 - 47 "Priset" på köpt energi  $p_E$  erhålles ur Ekvation 6.2 b med adekvat energipris  $k_E$  [öre/kWh] i dagens penningvärde insatt. Ett adekvat energipris för el har satts till 20 öre/kWh om energiuttaget väsentligen görs under vintern och 10 öre/kWh om under sommaren. Risker är dock ytterst överhängande att siffran 20 öre/kWh under vintern kommer att drastiskt höjas pga vad som nämnts i Kapitel 2.2.2.

OBS. Pos 46 gäller för  $r_{\Delta} = 0$  %

Pos 47 för  $r_{\Delta} = 10$  %.

Vidare är att märka  $r_{\Delta}$  att med dagens energipris  $k_E$  menas det totala elpriset inklusive grundavgift, energiskatt o d.

Pos 48 och 49 "Totalpriset",  $p_N$  [öre/kWh] (nuvärdesbetraktat) erhålles som summan av pos 25, 28, 31, 34, 37, 30, 43 och 45 plus 46 resp 47 för  $r_{\Delta} = 0$  respektive 10 %.

Pos 50 och 51 Kostnadsjämförelsetalet  $J$  [%] erhålles ur:

$$J = \frac{p_N \cdot 100}{p_{NO}} \quad (7.5)$$

där  $p_{NO}$  fås ur Tabell 6.2.

OBS. Pos 50 gäller för  $r_{\Delta} = 0$  % och pos 51 för  $r_{\Delta} = 10$  %.

### 7.3           Kommentarer till de olika systemen

Ur Tabell 7.2 kan kostnadsjämförelsetalet J för energi levererad från de olika Sunstoresystemen erhållas ur pos 50 och 51 ( $r_{\Delta} = 0$  respektive 10 %) med marklagret förlagt till berg respektive lera. Vid denna storlek på system (2 000 MWh/år) har marklagrets förläggning som synes ganska liten betydelse, möjligen är berg något billigare än lera. Visserligen går det att åstadkomma hål i lera mycket billigare än i berg, men det behövs betydligt fler av dem. Den optimala dimensioneringen för håldelning etc för bästa ekonomi är ännu ej helt utrett men det inbördes förhållandet mellan system i lera och berg som framgår av Tabell 7.2 torde bli rådande även när utvecklingsarbetet är klart.

#### 7.3.1       Kylsystem

Ekonomin för de två kylsystemen (system 1 och 2) är idag svårbedömd då kostnaden för "köldfångare" (pos 23) inte är medtagna. Det stora värdet med Sunstores kylsystem är att de antingen inte behöver någon elenergi alls eller (som system 1) som visserligen har ett elbehov till kylaggregatet men detta är litet p g a den extremt höga kylfaktorn, jämfört med konventionella kylsystem som arbetar med luftkyllt batteri.

#### 7.3.2       Värmesystem

Av de på Sunstoreteknik baserade system som syftar till värmning har system nr 3 och 5 den bästa ekonomin som framgår av Figur 7.2. Härvid är emellertid att märka att system 3 endast är avsett för att hålla utomhusytor (flygfält etc) snöfria och system 5 endast utgör ett lagringssystem för spillvärme. D v s till system 5's kostnad skall läggas kostnaden för spillvärme. Speciellt markant i Figur 7.2 är att system med värmepump har sämre ekonomi än de utan värmepump. Detta förhållande är rådande både med nettooljeprisökningen = 0 % som 10 %. Med det ovissa spillvärmesystemet 5 undantaget så är att konstatera ur Figur 7.2 beträffande lokaluppvärmningssystem att ekonomin blir sämre då:

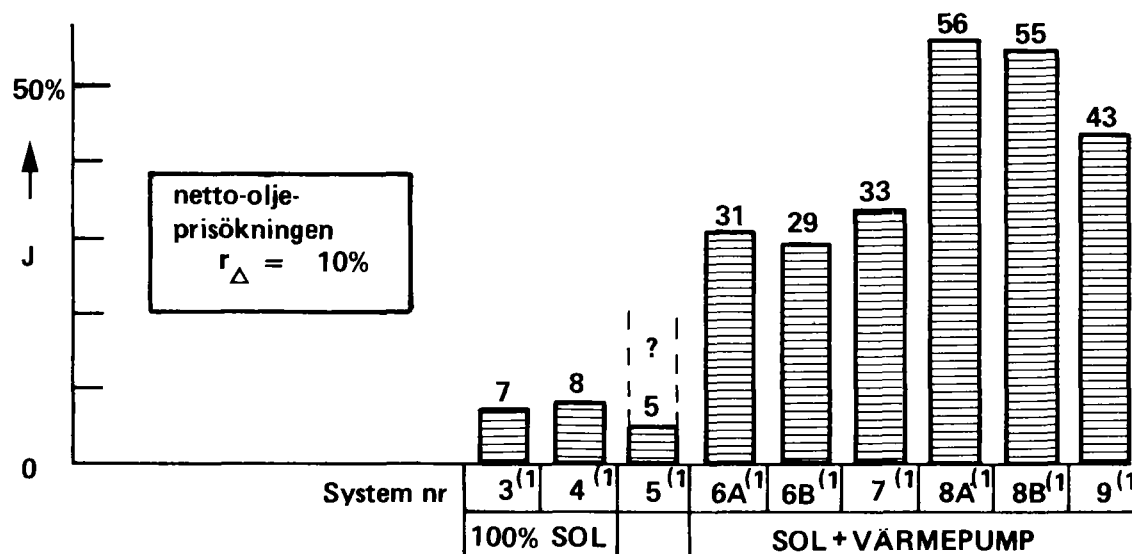
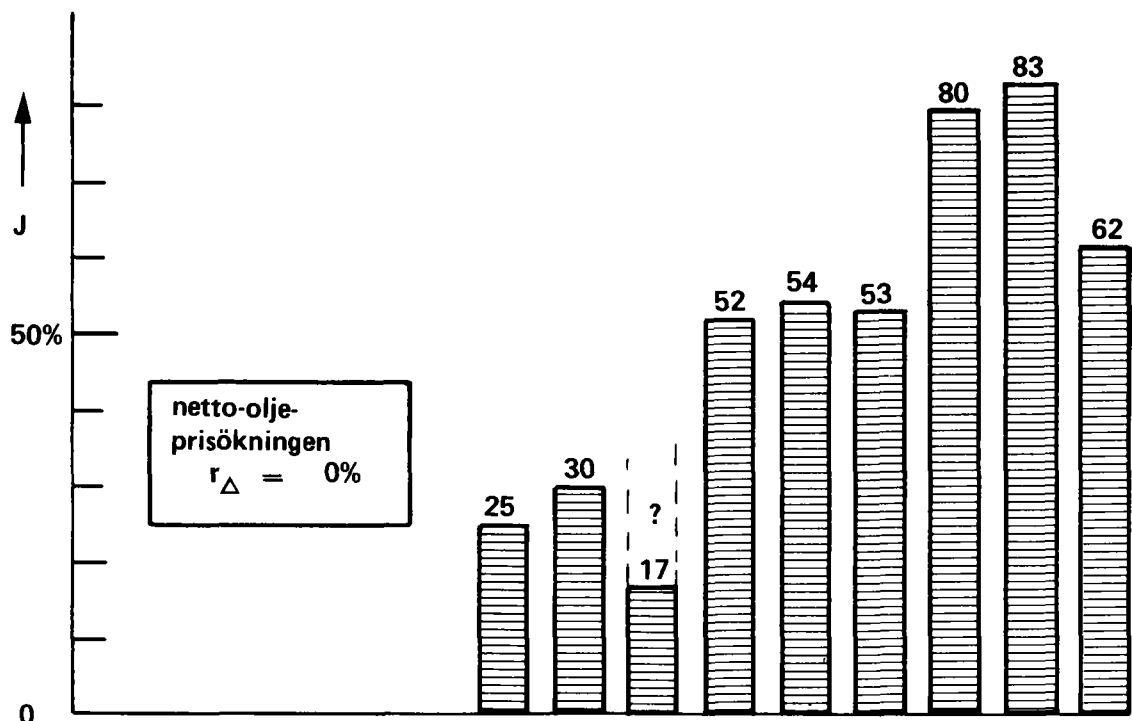
- värmepump används
- högtemperaturmarklager används
- högtemperaturvärmeavgivare (konv radiatorer) används.

Vidare fås ur Figur 7.2 att:



- Ringa skillnad för marklager med stort och litet temperatursving,  $\theta_{ST}$ , då värmepump används. För Sunstoresystem utan värmepump är både tekniken och ekonomin starkt beroende av  $\theta_{ST}$ . Studie av detta är en väsentlig del i kommande FoU-arbete.
- Ringa skillnad mellan system som använder sommar driven respektive vinter driven värmepump (använder sig av sommar respektive vinterel). Åtminstone är detta fallet med antaget elpris som är 20 öre/kWh för vinterdrivna och 10 öre/kWh för den sommar drivna värmepumpen.

Kraven i Kapitel 2.2 för ett bestående lokaluppvärmnings-system uppfylls endast för system 4, vilket också uppvisar den bästa ekonomin. Detta innebär att lokaluppvärmnings-system baserade på Sunstoreteknik och som använder värmepump måste ha tillgång till extraordinärt billigt el eller måste andra speciella omständigheter råda för att motivera dessa system före det ursprungliga Sunstore-systemet (nr 4).



Uppfyller kraven i KAP. 2.2

Använder sig av:	Snöfria ytor	Lokal uppvärmning							
VP med sommar EL	—	—	—	—	—	—	—	—	—
VP med vinter EL	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sunstore - Solfångare	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sunstore - Marklager	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sunstore - Värmeavgiv.	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Högtemp - Marklager (Sunstore-typ)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Högtemp - Värmeavgiv.	—	—	—	—	—	—	—	—	—

1) definition av systemen se tabell 7.1

Fig 7.2

Kostnadsjämförelsetal J (kostnad jämf. med motsv. oljeeldning) för VÄRMESYSTEM BASERADE PÅ SUNSTORETEKNIK med idriftstagning 1988, värmelager i berg och årlig levererad energi  $Q_{US} = 2000 \text{ MWh/år}$ , vid nettoolja-  
prisökningen  $r_{\Delta} = 0$  resp 10% (för förklaring se kapitel 0)

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 780067-5 från Statens råd för byggnadsforskning till Sunstore KB samt anslag 78-50 64 från Styrelsen för teknisk utveckling.

Art.nr: 6700400

Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer

Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm

Cirka pris: 50 kr exkl moms

R100: 1981

ISBN 91-540-3545-7

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm