



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

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



Rapport

R32:1983

**Sunstore experimenthus
i Sigtuna**

Mätning och utvärdering 1981—1982

**Ove Platell
Hans Wikström**

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

*K
Ark*

Byggforskningsrådet

R32:1983

SUNSTORE EXPERIMENTHUS I SIGTUNA
Mätning och utvärdering 1981-1982

Ove Platell
Hans Wikström

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
810759-2 från Statens råd för byggnadsforskning
till Sunstore KB, Nyköping.

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

R32:1983

ISBN 91-540-3889-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	<u>Sid</u>
SAMMANFATTNING	1
1 BAKGRUND	2
1.1 Inledning	2
1.2 Sunstore-metoden	2
1.3 Syftet med Sunstores experimentanläggning	2
1.4 Finansieringsform - BFR-kontrakt	2
1.5 Målsättning med de i rapporten beskrivna mätningarna och utvärderingarna	3
1.6 Byggnaden	3
1.7 Energianläggningen	3
1.8 Färdigställning	4
1.9 Omsättningstider	4
1.10 Reglersystem	4
1.11 Mätsystem	5
2 ENERGIINFÅNGNING FRÅN SOLFÅNGARNA	7
3 MARKLAGRETS ENERGITILLFÖRSEL OCH TEMPERATUR	8
4 UTVÄRDERING AV FUNKTION OCH DRIFT	9
4.1 Dränerande rörsystem för HTSF	9
4.2 Flödesfördelning inom sex HTSF-paneler	9
4.3 Flödesfördelning inom en LTSF-panel	10
4.4 Läckage m m i HTSF	11
4.5 Vattenläckage i marklagret	11
4.6 Effektsväljningsförmågan	12
4.7 Temperatur i marklagret - överensstämmelse med beräkningar	13
4.8 Momentan prestanda hos solfångare och nollastytor	14
4.9 Reglerproblematik	15

	<u>Sid</u>	
5	RESULTAT OCH SLUTSATSER	17
6	FORTSATT VERKSAMHET	18
6.1	Modificeringar och drift av anläggningen	18
6.2	Mätningar - utvärderingar	18
	REFERENSER	19
	Figurer	20

SAMMANFATTNING

Sunstore KB har erhållit forskningsanslag från BFR och STU för FoU-arbete och experimentbyggnation. Resultaten från dessa anslag har för perioden 1977 - 1980 redovisats i BFR-rapport R100:1981.

Föreliggande rapport redovisar drift, mätningar och utvärdering av Sigtuna-anläggningen för tiden 1981-05-01 till 1982-05-30.

Marklagret har värmts med elenergi från aug -78 fram till mitten av juli -81. Solenergi har tillförts under tiden 1981-05-12 till 1981-10-18, samt under maj -82. Ingen energi har tagits ut från lagret under perioden.

Ett datoriserat mätsystem har installerats och kontinuerligt registrerat temperaturförloppen i marken samt solfångarprestanda och solenergiinfångning från de båda solfångargrupperna.

Mätvärdena har behandlats i dator med framtagna utvärderingsprogram. Isotermer i marklagret vid olika tidpunkter har uppritats samt infångad energi dag för dag tabellerats. Resultaten har jämförts med i Sunstores FoU-verksamhet utvecklade och använda beräkningsprogram. God överensstämmelse har erhållits och ytterligare förbättring av beräkningsprogrammen har gjorts. Därutöver har sväljförmågan av enskilda kanaler verifierats.

Omfattande erfarenheter har erhållits beträffande driften av anläggningen. De få driftsstörningar som förekommit har analyserats och åtgärdats.

Reglersystemet har utvecklats och förbättrats under perioden.

Den för Sunstore-systemet betydelsefulla verkningsgraden då spec övertemperaturen = 0 har för de oskyddade solfångarna uppmätts till 85 %. Den totala solenergiinfångningen under säsongen har varit begränsad p g a att marklagrets olika zoner ej har använts optimalt.

Ett lågtemperaturuppvärmningssystem har värmt byggnaden under fyra vintrar med bra resultat.

Sunstore KB avser att fortsätta driften i Sigtuna-anläggningen under ytterligare minst två solsäsonger. Därvid skall bl a ett datorunderstött reglersystem användas.

1. BAKGRUND

1.1 Inledning

Under åren 1977 - 1981 installerade Sunstore i en enfamiljsvilla en komplett solenergianläggning uppbyggd enligt Sunstore-metoden. Denna rapport redovisar drift, mätningar och teknisk utvärdering av anläggningen fram till och med maj 1982. Verksamheten redovisades vid ISPRA-mötet i Italien den 14 - 16 sept 1982, se (4). För redovisning av konstruktionen och uppförandet av energianläggningen hänvisas till (1).

1.2 Sunstore-metoden

Grundidén hos Sunstore-metoden innebär att exempelvis solenergi säsongslagras genom uppvärmning av befintlig, orörd mark. Marken görs termiskt åtkomlig genom anläggandet av ett antal hål i vilka vatten - värmebäraren - cirkulerar. Lagringstemperaturen i ett sådant hålmärklager kan anpassas efter olika tillämpningsområden. Beroende på markens termiska egenskaper finns en minsta tillåten lagervolym, under vilken säsongslagring ej är fysikaliskt möjlig. Sunstore-metodens lågtemperaturfilosofi innebär att hålmärklagret arbetar i området 5 - 15°C över normal rumstemperatur. Solfångarna i ett sådant lågtemperatursystem kan härigenom göras mycket enkla och ändå bli effektiva energiinsamlare. Värmen i marken kan nyttiggöras utan temperaturhöjning med hjälp av stora värmeavgivande ytor - "varma tak" - i byggnaden. Alternativt kan temperaturen höjas genom användning av en värmepump. Då kan konventionella värmeavgivningskomponenter användas.

Ett flertal systemlösningar har utarbetats där Sunstores märklagringsprincip ingår. Sålunda kan exempelvis spillvärme nyttiggöras genom utnyttjande av märklagringsmetoden. Likaså kan en sommar driven värmepump ladda ett hålmärklager till hög temperatur.

1.3 Syftet med Sunstores experimentanläggning

Huvudsyftet med anläggningen är att klarlägga de speciella fysikaliska mekanismer och de anläggningstekniska problem som tillämpning av Sunstore-metoden innebär. Även de systemtekniska problemen skall klarläggas genom att experimenthuset utförs som en komplett flexibel energianläggning med solfångare, märklager och värmeavgivningsanordningar. Vid dimensionering av anläggningen har ambitionen varit att inom givna ekonomiska ramar åstadkomma högsta möjliga solförsörjningsgrad.

1.4 Finansieringsform - BFR-kontrakt

Sunstore-projektet har bedrivits med hälftenfinansiering av BFR/STU. Mätning och viss utvärdering av experimentanläggningen under tiden 810501 - 820530 finansieras genom BFR enligt kontrakt av 810703 (projektnummer 810759-2). Drift, underhåll samt fördjupad utvärdering (jämförelse med beräkningsmodeller m m) under samma tid finansieras av Sunstore.

1.5 Målsättning med de i rapporten beskrivna mätningarna och utvärderingarna

I enlighet med Sunstore KBs förslag av 810313 och som accepterades av BFR är huvudsyftet med mätprogrammet att verifiera de beräkningsprogram för marklager som tagits fram inom Sunstore-programmet 1977 - 1981 vid tillämpning av de i Sigtuna aktuella materialkonstanterna.

Ytterligare ett syfte är att demonstrera funktionen av hela systemet - solfångare, lager, värmeavgivare - och få dokumenterade erfarenheter genom mätningar från driften av dylika system med två typer av solfångare (lågtemperatur respektive högttemperatur).

1.6 Byggnaden

Huset som inrymmer Sunstoreanläggningen utgörs av huvudbyggnaden på fastigheten Rodvi 7 i Sigtuna kommun. 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 30 m ö h. Byggnadsytan är 320 m², uppvärmd yta 470 m². Huset är välisolerat med

$$K_{\text{tak}} = 0.22, K_{\text{vägg}} = 0.30 \text{ och } K_{\text{golv}} = 0.30.$$

Fönstren är av 3-glas isolertyp. Uppvärmningseffekt vid LUT (lägsta utetemperatur, -20°C) är beräknad till 16.5 kW. Det innefattar då värmeåtgång pga transmission, maximal ventilation med värmeåtervinning samt varmvattenproduktion. Husets totala årliga energibehov har beräknats till 35 000 kWh. Hänsyn har då tagits till transmission, ventilation, varmvattenbehov, ofrivillig värmeförlust från solinstrålning, hushållsel och personvärme. Byggnaden har en horisontell takyta på ca 300 m² samt en vertikal, södervänd vägg på 36 m².

1.7 Energianläggningen

Byggnaden är försedd med 126 m² oskyddade, plana, horisontella (lutning 17°) solfångare på taket (Figur 1.1) och 36 m² vertikala, enkelglasade plana solfångare på den södervända väggen. Det termiska säsongslagret utgörs av ett hålmärklager i berg på ca 10 000 m³, med 42 st 23 m djupa hål (se Figur 1.2). Värmen avges i byggnaden med slingor i golv (källarplan) och tak (bostadsplan). Värme distribueras i ett slutet cirkulationssystem med vatten som värmebärare. Värme avges även till varmvattenberedare och värmebatteri för ventilationsluft.

Ett systemchema för energianläggningen visas i Figur 1.3. Anläggningen är försedd med två olika solfångargrupper. HTSF anger de vertikala, södervända glasade solfångarna och LTSF anger de horisontella oskyddade solfångarna på byggnadens tak. Märklagret LTML är uppdelat i tre koncentriskt 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 även värmas med elpatronen EP 1; var och en för sig eller tillsammans.

Tappvarmvattnet värms i ett första steg i varmvattenberedare VVB 1 med energi från lagret; i ett andra steg i varmvattenberedare VVB 2 med energi direkt från solfångare HTSF. Ventilationsluften värms med värmebatteri VB. Byggnaden kan även värmas med elpatron EP 2.

Rörsystemets uppbyggnad framgår av Figur 1.4. Vattnet i HTSF är hydrauliskt åtskiljt från det övriga rörsystemet med en värmeväxlare. Det möjliggör tillsats av frysskyddsmedel i HTSF-kretsen, som då kan var fylld året runt. LTSF-kretsen är nedtappad under vintern.

1.8 Färdigställning

Energianläggningen började projekteras 1977. Anläggning av marklagret pågick under första halvåret 1978. Sommaren -78 var installationsarbetet så långt gånget att cirkulation i A-zonen var möjlig. Inkoppling av B- och C-zonen blev klar våren -80.

Installation och inkoppling av solfångarna skedde våren 1981, varvid de kunde tagas i drift maj samma år. HTSF blev dock ej helt färdigställda förrän hösten 1981.

Värmeavgivningspanelerna uppfördes 1974, och kunde anslutas till en elpatron för funktionsprov 1978. Delar av ventilationssystemet färdigställdes vintern 1982. Undercentralen färdigställdes under 1980, men isolering av samtliga rör i anläggningen slutfördes först hösten -81. Våren -82 fälldes ett antal träd, som tidigare hade skuggat solfångarna under eftermiddagen. Anläggningen blev således helt färdigställd först våren -82, varför dess prestanda till dess har varit reducerad.

1.9 Omsättningstider

För att kunna studera och förstå temperatur- och reglerförlopp i anläggningen är kännedom om omsättnings- och uppehållstiden för cirkulationsvattnet väsentlig. Dessa har beräknats och framgår av Tabell 1.

Av tabellen framgår också den s k L/A-faktorn som anger förhållandet mellan hålllängd i marklagret och solfångararea.

1.10 Reglersystem

Anläggningen var under 1981 försedd med ett provisoriskt reglersystem som har krävt övervakning och en viss manuell skötsel (version 1).

Figur 1.5a visar den principiella uppbyggnaden av reglersystemet för taksolfångarna LTSF. När solinstrålningen är tillräckligt kraftig startar pilotpumpen P3B och cirkulerar vattnet genom solfångarna och backventilen BV 1. Solstrålningens intensitet avgörs genom mätning av temperaturen TL07 på en svart yta vid solfångarna.

När vattentemperaturen i "pilotkretsen" blivit tillräckligt hög, vilket mäts med givare TL06, startas huvudpumpen P3A som då pumpar vattnet genom marklagret. Vilken zon

som skall värmas avgörs genom manuell inställning av ventiler.

När vattentemperaturen i kretsen understiger ett bestämt värde, stoppas pumpen P3A. Reglerlogiken förutsätter således att börvärdena för till- och frånslagstemperaturerna är kända och konstanta samt beskriver marklagrets "genomsnittstemperatur".

Regleringen av HTSF-kretsen har under 1981 skett på motsvarande sätt. Här ingår dessutom en värmväxlare mellan en primärkrets och en sekundärkrets, se Figur 1.5b. Detta för att primärkretsen är frysskyddad med glykolinblandning i cirkulationsvattnet.

Reglersystemet modifierades inför solsäsongen -82 (version 2). Stoppvillkoret för huvudpumparna ändrades. Pumparna stänger när temperaturskillnaden $T_{\text{ut}} - T_{\text{in}}$ sjunker till noll, dvs då ingen energi förs från solfångarna till marklagret, se Figur 1.6. Reglersystemet är dessutom försett med en tidsfördröjning, som tillåter avstängning av pumparna tidigast 10 min efter tillslag.

Reglering av framvattentemperaturen till byggnadens värmavgivningsanordningar sker med konventionell shunterregulator med avkänning av utetemperatur och framvattentemperatur. Börvärdet ligger dock inom det snäva temperaturområdet 10 - 28°C, vilket kräver en specialanpassad regulator.

Vid konstruktion av reglersystem version 2 förbereddes även för införande av ett datoriserat reglersystem, version 3. Styrdatoren utgörs av en HP85, som även används för mätinsamling. I ett datoriserat reglersystem kan styrparametrarna ändras utifrån bl a temperaturförhållandena i marklagret. Programvara för version 3 är under framtagning.

1.11 Mätssystem

Regelbunden och delvis automatisk mätning av temperaturer, flöden, driftsmoder m m har skett för uppföljning av temperaturförlopp och energiomsättning i marklager och solfångare. Dessutom har korttidsmätningar skett för funktionskontroll av olika komponenter. Mätning av temperaturen i marklagret har skett i ett antal mäthål, Figur 1.7. Vid mätningen sänks temperaturgivarna manuellt ner i hålen till önskat djup. I ett hål finns dessutom fast monterade givare, se Figur 1.8. Temperaturgivarna utgörs av kapslade Pt-100-element. Registrering av temperaturerna och uppritning av temperaturprofiler samt isotermer har skett manuellt. Från och med solsäsongen -82 sker även automatisk registrering av temperaturerna från de fasta givarna i hål 47 och 49.

Vid ett av cirkulationshålen i zon A har borrats en slits och ingjutits ett granitblock med fast monterade temperaturgivare enligt Figur 1.8. Mätningar i detta slitshål har gjorts för att utvärdera värmeutbredningsmekanismen omedelbart intill ett marklagerhål.

Energiinfångning från solfångarna har kontinuerligt registrerats genom mätning av in- och utloppstemperaturerna på vattnet samt genom flödesmätning av cirkulationsvattnet. Manuell mätning av flödet har skett med Annubar differenstryckgivare samt automatiskt från och med solsäsongen -82 med Fischer. & Porter magnetisk flödesmätare. Från och med solsäsongen -82 mäts även solinstrålningen automatiskt (totalstrålning) med kiselcell (Lambda Instruments, typ H 200 S Pyranometer Sensor).

För avläsning och registrering av temperaturen har använts instrument av fabrikat Systemteknik, med en upplösning av 0.01°C och noggrannhet av 0.05°C . Mätvärden kan automatiskt lagras på kassetband med hjälp av en programmerbar scanner. Uppbyggnad av instrumentet framgår av Figur 1.9. Utvärdering av kassetbanden sker i dator HP9845 med hjälp av framtagna program.

Från och med solsäsongen -82 sker automatiskt mätvärdesinsamling från marklager och solfångare samt driftinformation med instrument och dator från Studsvik, se Figur 1.10. En dator HP85 är ansluten via HP-IB-interface till processinterface bestående av 3497A Data Acquisition/Control Unit med anpassningskort för olika typer av mätsignaler. I systemet ingår också en voltmeter 3456A med mycket hög noggrannhet, vilket krävs för temperaturmätningarna.

Insamlade rådata sammanställs till timmedelvärden och lagras på kassett i datorn. Specialmätningar kan göras med lagring av ögonblicksvärden. Kassetterna utvärderas på dator HP9845.

Datainsamlingssystemet är flexibelt uppbyggt med en mycket universell mjukvara (program). Modifiering av mätförlopp, mätdatabearbetning och datalagring kan lätt göras utan modifiering av programvaran. Systemet är nu väl utformat och fungerar helt efter uppgjorda specifikationer. Identiska mätsystem används i det s k Södertörn-projektet samt på Studsviks "solgård".

Mättdatorsystemet är förberett för att kunna fungera som styr/regler-utrustning för energianläggningen.

2. ENERGIINFÅNGNING FRÅN SOLFÅNGARNA

Under 1981 har HTSF laddat B-zonen från 810512 till 810710, därefter har HTSF laddat A-zonen fram till säsong avslutningen 811018.

LTSF har laddat C-zonen från 810512 till 810710, därefter B + C-zonen fram till 810916.

Börvärdena för frånslag av huvudpumparna P2A och P3A (se Figur 1.5) har ändrats under sommaren allt eftersom marklagrets temperatur har stigit (reglersystem version 1).

Av Tabell 2 och 3 framgår insamlad energimängd varje dag. Vissa dagar saknas värden pga driftavbrott eller fel i mätinsamlingen. Insamlad energi för LTSF åskådliggörs också i stapeldiagram Figur 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 och 2.5.

Totalt har insamlats med LTSF 12 791 kWh, vilket motsvarar 101 kWh/m² solfångare. Med HTSF har insamlats 1 620 kWh motsvarande 45 kWh/m².

Insamling av solenergi solsäsongen -82 påbörjades 820512. Energin från båda solfångargrupperna fördes då ned till samtliga zoner samtidigt, varvid betydligt bättre effektsväljningsförmåga erhöles. Energiinsamlingen för hela säsongen förväntas därför bli betydligt högre än föregående säsong, vilket också indikerats med mätningar gjorda i maj - juni -82.

3. MARKLAGRETS ENERGITILLFÖRSEL OCH TEMPERATUR

Marklagrets A-zon har värmts med elenergi fram till och med 810711. Värmingen har pågått sedan augusti 1978 med vissa avbrott enligt Figur 3.1. Totalt har elpatronen avgivit 309 MWh till cirkulationsvattnet (15 kW under 860 dygn). Pga att samlingsrören ovanpå marklagret under största delen av tiden har varit oisolerade och exponerade mot himlen har energiförlust pga kylning och energitillskott pga solinstrålning förekommit. Detta bedöms innebära en felmarginal på $\pm 10\%$ av registrerade värden på energitillförseln till marklagret.

Fördelning av energin (el + sol) till marklagrets olika zoner framgår av Tabell 4.

Temperaturprofilen i lagret på + 12 respektive + 8 m-nivån (motsvarar djup 18 respektive 22 m) illustreras i Figur 3.2 för dels den 820710 och dels den 820303. Den höga temperaturen ut till en radie av ca 5 m är förorsakad av elvärmningen fram till sommaren 1981.

Profilerna för den 820303 visar den snabba nergången av temperaturen för en kropp som bara har en radie av ca 5 m.

Isotermer i marklagret vid tre tillfällen, den 810519, 810710 och 820303 visas i Figur 4.14, 4.15 och 4.16 (se kapitel 4). Även av dessa figurer framgår den höga temperaturen för den inre zonen efter elvärmningen.

4. UTVÄRDERING AV FUNKTION OCH DRIFT

Detta kapitel redovisar åtgärder vid funktionsprov och långtidsdrift samt resultat av detta. Verksamhet som bedrivits fram till 1980 behandlas summariskt. Detaljerad redogörelse återfinns i (1).

4.1 Dränerande rörsystem för HTSF

I anläggningens kravspecifikation ingår att HTSF skall kunna fungera året runt. För att eliminera problemet med frysning av cirkulationsvattnet i solfångarpanelerna försågs HTSF-kretsen ursprungligen med ett automatiskt dräneringssystem enligt fabrikantens anvisningar, se Figur 4.1. Av figuren framgår att solfångarna är sammankopplade i grupper om sex paneler, ursprungligen med de tillhörande samlingsrören. Grupperna är sedan sammankopplade två och två till tre dräneringskärl. För att få jämn flödesfördelning mellan grupperna har stor omsorg nedlagts på att åstadkomma samma strömningsmotstånd i grupperna.

En tryckuppsättningspump P2B fyller solfångarna med vatten när solinstrålningen är tillräckligt intensiv. Pumpen P2A startas när vattnet är tillräckligt varmt.

Upprepade prov med igångkörning av anläggningen genomfördes sommaren 1979. Det visade sig att fyllningen av solfångarna med vatten vid start ej fungerade tillfredsställande. Ett av de tre parallella rörsystemen blev ej urluftat, varvid en tredjedel av solfångarna saknade cirkulation.

I augusti 1979 sattes därför dräneringssystemet 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. Dräneringskärlen togs bort och en plattvärmeväxlare monterades in. Eftersom dräneringskärlen även hade tjänstgjort som expansionskärl, blev det nödvändigt att montera in ett sådant i anläggningen.

4.2 Flödesfördelning inom sex HTSF-paneler

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 databe-

räkning av flödesfördelningen, Figur 4.2, dels en mätning av utloppstemperaturerna från varje enskild panel i en grupp om sex stycken, Figur 4.3.

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

Problemet med den ojämna flödesfördelningen kan elimineras genom ökning av arean hos samlingsrören i kombination med införandet av strypbrickor i tilloppet (eller från-loppet) på varje solfångarpanel. En omkonstruktion av söderväggens solfångare efter dessa riktlinjer har företagits. Ombyggnadsarbetet genomfördes våren 1980.

4.3 Flödesfördelning inom en LTSF-panel

En undersökning har företagits för att utvärdera flödesfördelningen inom en solfångarpanel. Panelernas dimension och kanalutformning framgår av Figur 4.4 (HTSF). Med ett enkelt portabelt instrument mättes panelens yttemperatur på ett antal punkter enligt Figur 4.5. Mätvärdena indikerade en ojämn flödesfördelning. Mätningar gjordes vid ett flertal tillfällen vid stabilt väder (solsken, svag vind) och efter flera timmars solenergiinfångning (dvs vid stationära temperaturförhållanden). Mätningarna visade en 3 ggr större temperaturuppgång längs mittstråken än hos ytterstråken. Om man i en första approximation antar att infångad effekt är samma i varje stråk (dvs solfångarens verkningsgrad är oberoende av insamlingstemperaturen) indikerar mätningarna således 3 ggr högre vattenflöde i ytterstråk än i mittstråk.

Flödet i solfångarna är dimensionerat så att man får en temperaturuppgång hos vattnet (blandningstemperatur) på 4 K vid maximal effekt. Med ovan indikerade flödesfördelning innebär detta att temperaturuppgången i mittstråken är 8 K och i ytterstråken 2.7 K. Absoluttemperaturen i mittstråkens utlopp är således 5.3 K högre än i ytterstråken. Skillnaden i stråkens medeltemperatur blir då 2.7 K.

Ovanstående resonemang förutsatte en solfångarverkningsgrad som är oberoende av insamlingstemperaturen. I verkligheten minskar verkningsgraden med ökad insamlingstemperatur. Mätningarna indikerar då en ännu sämre flödesfördelning än vad som ovan antagits.

Ett datorprogram har tagits fram som beräknar flödesfördelningen utifrån given kanalgeometri m m. Programmet bygger på att tryckfallet mellan in- och utlopp skall vara lika stort oberoende av vilket stråk som passerar samt att summan av alla delflöden är konstant och givet. Beräkningarna visar ett 3.9 ggr högre flödet i ytterstråken än i mittstråken, se Figur 4.6.

Känsligheten för energiinfångningen på flödesfördelningen har studerats. Därvid förutsätts att totalflödet genom en

solfångarpanel är konstant vid olika fall av flödesfördelningar. Vid jämn flödesfördelning i ett antal stråk med en medeltemperatur av T_m representerades energiinfångningen av värdet q_1 i Figur 4.7.

Om flödet minskar i något stråk minskar energiinfångningen pga att T_m tenderar att öka. Vid flödet = 0 är energiinfångningen $q_m = 0$. Om flödet samtidigt ökar i andra stråk kan dock energiinfångningen aldrig bli större än q_{max} i dessa stråk, hur stort flödet än blir. Detta resonemang antyder att en ojämn flödesfördelning alltid medför en försämrad total energiinfångning. En analys av förhållandena verifierar detta påstående.

4.4 Läckage m m i HTSF

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.

Vid vissa vädertyper uppstod kondens på insidan av glasningen. Därvid fastnade damm m m på den fuktiga ytan och glaset blev så småningom kraftigt nedsmutsat. Rengöringen försvårades kraftigt av att glaset ej gick att montera bort.

Vid påfyllning av glykolblandat vatten i kretsen utgjorde urluftningen ett mycket stort problem. Slutligen försågs varje högpunkt i rörsystemet med specialtillverkade luftfällor, där vattenhastigheten minskade kraftigt och möjliggjorde avskiljning av luftbubblor.

Vid kall väderlek kyldes vattnet i solfångarpanelerna kraftigt och själv-cirkulation uppstod i kretsen. Detta förorsakade kraftig kondens- och isbildning på oisolerade rördelar i undercentralen, framför allt på värmeväxlaren. Sekundärkretsen i denna hotade att frysa sönder. Problemet undanröjdes genom installation av en magnetventil i kretsen. Ventilen öppnar då cirkulationspumpen startar.

4.5 Vattenläckage i marklagret

Efter att samlingsrören till marklagret färdigställdes sommaren 1978 provtrycktes marklagerkretsen utan anmärkning. Därefter påbörjades värmning av A-zonen med elvärt vatten.

A-zonen arbetade ursprungligen med ett öppet expansionskäril i maskinrummet. Genom ett nivåör vid expansionskärilet 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 vattensystemet 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.

Samtliga ledningsbanor provtrycktes individuellt. Läckaget noterades vid olika tryck, och därmed kunde indikeras vid vilket djup läckage förelåg. Med undantag av två ledningsbanor var läckaget vid markytan, dvs vid anslutningsflänsen. 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.

Någon gång under juni 1981 ökade vattenförbrukningen språngartat till 800 liter/dygn. Läckaget förorsakades av en spricka i en limfog vid infästning av anslutningsflänsen för ett enstaka hål i C-zonen. Hålet stängdes av. Skadan reparerades vintern 81 - 82.

Den automatiska vattenpåfyllningen förorsakar ett kallvatteninbrott i LTSF-kretsen vid varje påfyllningstillfälle. Detta medför en tillfällig sänkning av inloppstemperaturen på vattnet till solfångaren, se Figur 4.8 och 4.9. Störningen har ingen praktisk påverkan på insamlad energi.

4.6 Effektsväljningsförmågan

Renodlade värmningsförsök för bestämning av effektsväljningsförmågan har gjorts vid några tillfällen. Därvid har använts elenergi för värmningen.

Cirkulationsvattnets temperatur samt temperaturen omedelbart utanför ett hål har mätts vid kontrollerad energitillförsel. 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 4.10. 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 starttillfället visar ojämnheter och antyder att temperaturen ej är helt utjämnad trots de ovan nämnda förberedelserna. Försöket visar även att temperaturen i marken ej stiger så snabbt som i den simulering som gjordes.

Figur 4.11 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

värmingen påbörjades. I figuren har även inlagts simulerade resultat med preliminära parametervärden. Mätningarna visar att effektsväljningsförmågan

$$K_{Cl} \text{ är } 11.3 \text{ (W/m}\cdot\text{K)}$$

$$(K_{Cl} = q_H / \theta_H, \text{ där } q_H = \text{påtryckt effekt per meter,}$$

$$\theta_H = \text{temperaturuppgången efter 6 timmar}).$$

Simuleringen gav även vid detta tillfälle en sämre effektsväljningsförmåga än den uppmätta. Simuleringen vid ovan beskrivna två försök gjordes emellertid utan att ta hänsyn till värmekapaciteten i fördelningsrören och deras värmeläckage ut mot omgivningen. Senare simuleringar, där hänsyn har tagits till dessa fakta, har givit en fullständig överensstämmelse mellan simulering och mätta värden.

Figur 4.12 visar temperaturförloppet hos cirkulationsvattnet en klar dag. Från start kl 7.45 MET (mellaneuropeisk tid) till kl 13.45 MET (6 tim) har effekttillförseln varit i genomsnitt 41.4 kW, dvs 328 W/m² solfångare. Det innebär 172 W/m ledningsbana (zon C). Temperaturen hos cirkulationsvattnet har under 6 timmar stigit 14°C, vilket mycket kraftigt har reducerat solfångarnas effektivitet. Instrålningen denna klara dag är kl 8.00 MET 510 W/m² och kl 12.00 MET 850 W/m² på denna solfångare.

Registreringen visar att effekttillförseln är relativt konstant hela förmiddagen och att man därför kan betrakta hela förloppet som överensstämmande med definitionen för effektsväljningsförmågan vid konstant effekt, dvs K_{Cl} enl (1). Man erhåller att

$$K_{Cl} = \frac{172}{14} = 12.3 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

som stämmer väl med K_{Cl} erhållna på andra sätt.

4.7 Temperatur i marklagret - överensstämmelse med beräkningar

Figur 4.13 visar temperaturförloppet i centrum av marklagret på djupet 12.5 m. Den heldragna kurvan visar verklig temperatur.

Den streckade kurvan visar beräknat temperaturförlopp. Beräkningarna har gjorts med en datormodell. Modellen tar ej hänsyn till förloppet omedelbart intill ledningsbanorna, utan har sådan cellindelning att zonindelning och ledningsbanornas lägen kan simuleras. De första simuleringarna, som representeras av kurvan från driftstart fram till augusti 1980, förutsätter termisk kortslutning längs ledningsbanorna. Detta antogs representera verkligheten, enär anläggningens höga vattenflöde i hålen antogs medföra sådan kortslutning. Denna antagna kortslutning, samt att ledningsbanorna är "hopknippade" i marklagrets överdel, medför i modellen att värme från marklagrets centrum snabbt distribueras ut till marklagrets rand. Därvid stiger temperaturen i marklagrets centrum långsammare än vad som sker i verkligheten. Vid beräkningar gjorda efter

augusti 1980 används en modell där ingen termisk kortslutning råder längs ledningsbanorna. Då fås en mycket god överensstämmelse med verkligheten.

Figur 4.14 visar isotermer i marklagret i maj 1981, innan solvärmningen har startat. Lagret har värmts i zon A med ca 300 MWh under ca 2 3/4 år och har i centrum uppnått en temperatur av 40°C. Simuleringen visar en mycket god överensstämmelse med verkligheten. På den grova cellstrukturen i beräkningsmodellen blir avvikelser nära centrum synbar. Överensstämmelsen vid isotermer 15°C är mycket god. Avvikelsen längre ut måste bero på att den i modellen antagna värmeledningsförmågan är något högre än i verkligheten.

Figur 4.15 visar isotermer i marklagret i juli 1981, vid den tidpunkt då elvärmningen i zon A stängs av. B- och C-zonerna har värmts i 2 månader från HTSF resp LTSF. Överensstämmelsen med beräkningarna är god.

Figur 4.16 visar isotermer i marklagret i mars 1982 efter att lagret stått utan tillförsel eller bortförsel av energi sedan oktober 1981. Högsta temperaturen i centrum är 20°C. Överensstämmelsen med beräkningen är god. Avvikelsen i centrum beror på beräkningsmodellens grova cellstruktur. Även av denna figur framgår att i beräkningsmodellen antagen värmeledningsförmåga (3.5 W/m·°C) är något högre än i verkligheten.

Av de i kapitel 4.6 beskrivna försöken för att utvärdera effektsväljningsförmågan kan man dra slutsatsen att värmeledningsförmågan i verkligheten är 3.5 W/m·°C. Simuleringarna beskrivna ovan antyder dock att värmeledningsförmågan är något högre.

4.8 Momentanprestanda hos solfångare och nollastytter

Tidigt under våren 1982 då det nya mätsystemet uttestades gjordes slumpmässiga bestämningar av verkningsgrad som funktion av specifik övertemperatur δ (δ är cirkulationsvattnets övertemperatur över utelufttemperaturen dividerat med solinstrålningen).

De slumpvisa mätvärdena är givna i Figur 4.17 för såväl LTSF (de oglasade solfångarna) som HTSF (de glasade solfångarna). En regressionslinje är även inlagd för varje solfångartyp. Momentanprestandan i figuren är att anse som preliminär men visar emellertid det som är typiskt för var och en av de båda solfångarna.

$$\begin{aligned} \text{För LTSF är } \eta_o &= 80 - 90 \% \quad (\text{dvs } \eta \text{ för } \delta = 0) \\ \delta_o &= 33 - 45/1\,000 \quad (\text{dvs } \delta \text{ för } \eta = 0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{För HTSF är } \eta_o &= 60 - 70 \% \\ \delta_o &= 65 - 80/1\,000 \end{aligned}$$

Den oglasade (LTSF) har med andra ord betydligt högre verkningsgrad än den glasade vid låga δ , vilket är typiskt

för kommande Sunstore-tillämpningar (§ i området 0 - 12/1 000).

Nollastvärdet δ_0 är som väntat betydligt högre för den glasade än den oglasade solfångaren.

Den senares δ_0 kan studeras på speciella nollastytor, som består av en svartlackerad plåt monterad på ett frigo-litblock. Med denna metod kan den oglasade solfångarens prestandaberoende av vind, luftfuktighet, molnighet etc mycket enkelt men ändå vetenskapligt exakt studeras. Utvärderingen av sommaren 1982 kommer att ge en mycket fyllig information av solfångarprestanda, speciellt för de oglasade solfångarna.

4.9 Reglerproblematik

Reglersystem enligt version 1 användes sommarsäsongen 1981. Driften har för LTSF-kretsen inneburit följande:

Huvudpumpen P3A startar när temperaturen i pilotkretsen har uppnått inställt värde T1. Allteftersom energiinfångning pågår under dagen stiger cirkulationsvattnets temperatur p g a effektsväljningsförmågans begränsning. En klar somardag kan temperaturen stiga ända upp till 14°C över starttemperaturen. Om solinstrålningen under kort tid upphör mitt på dagen p g a moln, sjunker cirkulationsvattnets temperatur långsamt p g a den termiska trögheten i marklagret. För att cirkulationen säkert skall stängas av vid sådana tillfällen måste således börvärdet för tillslag (och därmed sammanhängande frånslag) ställas tillräckligt högt.

Detta medför att tillslaget på morgonen blir fördröjt. Solfångarens nollasttemperatur (= tillslagstemperatur) kommer då att vara betydligt högre än temperaturen hos vattnet i marklagret. Det innebär ett visst energibortfall. Den nödvändiga höga tillslagstemperaturen medför ytterligare en nackdel. Vid tillslag matas varmt vatten från solfångarna ned till marklagret samtidigt som betydligt svalare vatten tillförs solfångarna från marklagret. Temperaturhöjningen på detta vatten p g a solinfångning är måttlig och marklagret matas efter en kort tid (~ omsättningstiden) med ett vatten som är svalare än tillslagstemperaturen. Därvid stoppas cirkulationen, och pilotkretsen träder i funktion. Fenomenet åskådliggörs i Figur 4.18, där ett stopp följt av omstart kan noteras. Temperatursvängningar i systemet kan observeras flera timmar efter start. Frekvensen på temperatursvängningarna överensstämmer med omsättningstiden.

Driften av HTSF-kretsen har varit behäftad med samma nackdelar som LTSF-kretsen. HTSF har dock matat delar av marklagret (zon B och zon A) som har relativt hög temperatur. Börvärdet för start har därmed måst vara högre än i LTSF-kretsen, varvid svängningar ej har varit så kraftiga.

För att förhindra ovan beskrivna nackdelar gjordes en omkonstruktion av reglersystemet till version 2. Tillslags- och frånslagsvillkor är här helt åtskiljda. Startvillkor är en absoluttemperatur medan frånslag sker vid

$T_{in} - T_{ut} = 0$, dvs när ingen nettoenergi förs till lagret.
 Hög noggrannhet krävs på $T_{in} - T_{ut}$.

Reglering enligt version 2 har använts våren 1982. Följande erfarenheter har erhållits:

Börvärdet för start ställs lågt, strax över förväntad vattentemperatur i lagret. Eventuella temperatursvängningar hos cirkulationsvattnet vid start, och som under kort tid medför att $T_{in} - T_{ut} < 0$ (energiförlust), medför ej frånslag under en viss tid efter tillslag (fördröjning av frånslagsvillkoret). Fördröjningstiden kan anpassas efter omsättningstiden i aktuell flödesuppkoppling.

Uppträder moln under dagen stoppar cirkulationen omedelbart. Temperaturen hos cirkulationsvattnet är emellertid hög - efter några timmars drift högre än börvärdet för tillslag p g a effektsväljningsförmågans begränsning - varför återstart omedelbart sker. Efter fördröjningstiden stoppas pumparna åter om energiinfångningen uteblivit. Är cirkulationsvattnet fortfarande varmt återstartar cirkulationen osv. Vid ihållande molninghet sjunker cirkulationsvattnets temperatur och cirkulationen stannar för gott.

Reglersystemet är således ej tillfyllest. För felfri drift måste börvärdet för tillslag vara kopplat till förväntad temperatur hos marklagrets cirkulationsvatten vid varje tidpunkt. Denna temperatur kan mätas genom pilotutpumpning eller beräknas om marklagrets bulktemperatur samt driftsförhållandena de föregående dygnet är kända.

Reglering med hjälp av dator och lämpligt datorprogram, där ovanstående synpunkter tas i beaktande är under förberedelse.

5. RESULTAT OCH SLUTSATSER

Marklaget har sedan 1978 värmts med elenergi och solenergi. Temperaturen hos lagret har mätts regelbundet och dokumenterats i tabeller och diagram. Jämsides med mätningarna har datorprogram byggts upp och använts för simulering av de viktigaste fysikaliska mekanismerna i marklaget såsom temperaturutbredningen kring ett enskilt hål och den globala (makroskopiska) värmeutbredningen i marken. Mätta temperaturförlopp har jämförts med beräknade, var-efter beräkningsmodellerna har kunnat förfinas beträffande tillåtna approximationer och materialkonstanter. En god bild har därmed skapats för flera av de termiska mekanismerna som är kännetecknande för hålmarglager.

Marklaget i Sigtuna är av den minsta storlek som är fysikaliskt möjlig vid säsongslagring av energi i berg. Det innebär att det relativa läckaget är stort, större än vad som kan kompenseras med de befintliga solfångarna i denna anläggning.

För de oskyddade solfångarna (LTSF) har uppmätts $\eta_0 \sim 85\%$ och $\delta_0 \sim 0.040$. Vindberoendet synes vara litet. Solfångarna har o-laddat marklaget vid en för Sunstore-metoden orepresentativt hög temperatur, beroende på hög starttemperatur i lagret samt att ett begränsat antal hål har använts för att föra ner cirkulationsvattnet. Också beroende på bristfällig reglering har infångningen under sommarsäsongen 1981 blivit endast 101 kWh/m^2 .

För de skyddade solfångarna (HTSF) har uppmätts $\eta_0 \sim 65\%$ och $\delta_0 \sim 0.075$. På grund av betydande driftsproblem och av samma skäl som för LTSF blev energiinfångningen endast 45 kWh/m^2 .

Under sommaren 1982, då den genomsnittliga drifttemperaturen i solfångaren har kunnat sänkas, har väsentligt högre värden för infångad energi kunnat konstateras.

Omfattande VVS-tekniska erfarenheter har erhållits kring problem som är specifika för Sunstore-metoden. Bland dessa problem kan nämnas urluftning i LTVA-komponenter, flödesfördelning mellan och i solfångarpaneler, termisk expansion samt problem i samband med användning av plastkomponenter. Många problem har eliminerats men ett flertal återstår att lösa.

Två olika principer för reglering av solfångarna har provats. Princip nr 2 innebär införandet av en helt tillfredsställande frånslagsfunktion, medan däremot tillslagsfunktionen ännu fungerar otillfredsställande, bl a på grund av att ingen prediktering av cirkulationsvattnets temperatur omedelbar efter start kan ske. Därvid kan ej relevant avgöras när tillslag av cirkulationen skall göras.

Till nästa solsäsong (-83) skall ett datorstyrt regler-system tagas i bruk. Då kan cirkulationsvattnets temperatur i varje ögonblick förutsägas och startvillkoret därmed predikteras.

6. FORTSATT VERKSAMHET

6.1 Modificeringar och drift av anläggningen

Solfångarprestandans beroende av vind och luftfuktighet är ej tillräckligt utredd för att en säker dimensionering av kommande anläggningar skall kunna ske. Detta bör därför undersökas. Vidare bör energiinsamlingen vid olika kombinationer av marklagrets zoner undersökas ytterligare, dvs solinfångningens beroende av effektsväljningsförmågan.

Fördelningen av energi i djupled i marklagret är av vitalt intresse för läckagebilden. Av den anledningen har modifiering av rörsystemet gjorts för att åstadkomma omvänd flödesriktning i delar av lagret. Prov med detta bör utföras solsäsongen 1983.

Kvantitativa funktionsprov med LTVA-anläggningen har hittills ej genomförts. Under vintern 1982/83 bör således prov och långtidsdrift utföras för att erhålla samband mellan utetemperatur och temperatur hos cirkulationsvattnet vid olika komfortkrav.

Reglersystemet är förberett för inkoppling till dator. Då regleringen hittills har fungerat otillfredsställande bör resterande arbeten inklusive framtagning av datorprogram genomföras före solsäsongen 1983 för att möjliggöra prov med modifierade reglermetoder.

Mätsystemet bör kompletteras med givare för individuell mätning av flödet till marklagrets zoner. Dessutom bör fler mätthål i marklagret bestyckas med fasta temperaturgivare. Vidare bör mätning av luftfuktighet och vind (styrka + riktning) vid några olika platser möjliggöras till nästa solsäsong.

6.2 Mätningar - utvärderingar

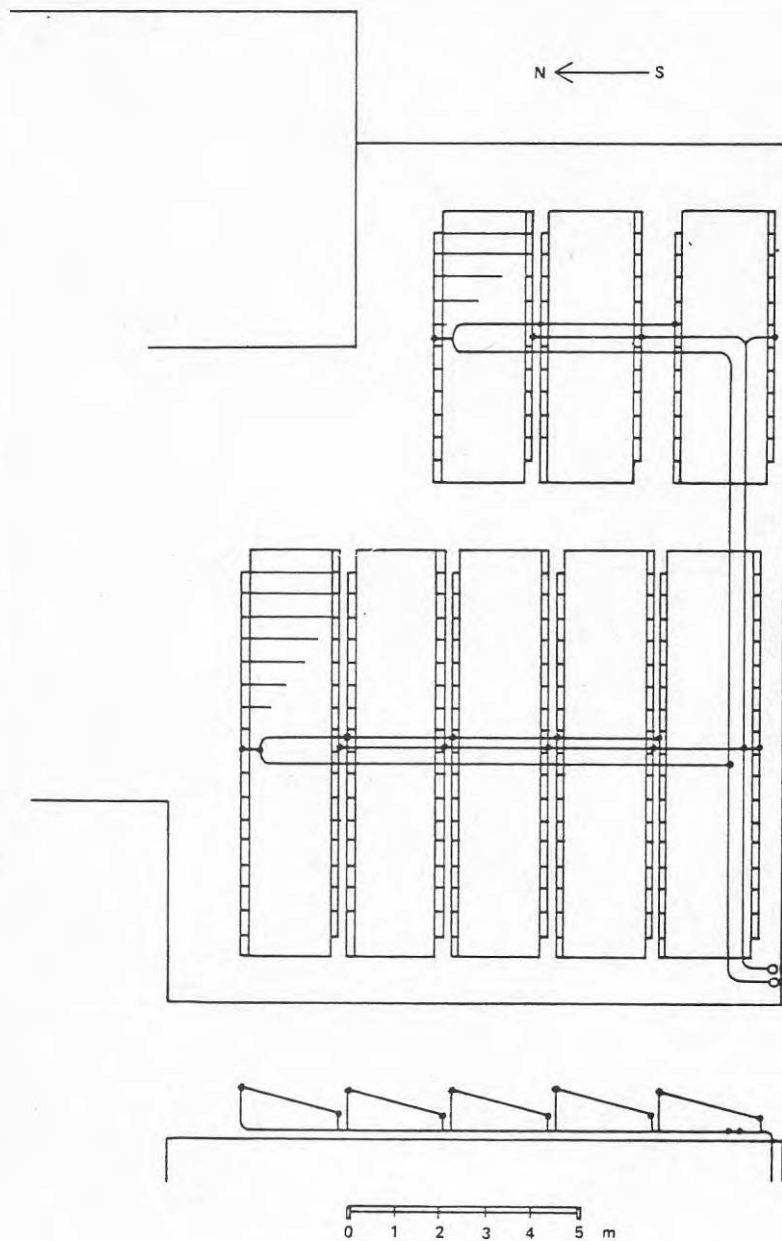
Mätverksamheten bör fortgå i likhet med mätningarna solsäsongen 1982, med möjlighet till registrering av minutvärden intressanta dagar. Mätningarna bör kompletteras enligt vad som anges i kapitel 6.1.

Utvärderingen bör omfatta sammanställning av säsongens väder samt instrålad energi, verkningsgrad m m såsom dygnsvärden. Vidare bör temperaturförloppet i marken presenteras dag för dag i diagram.

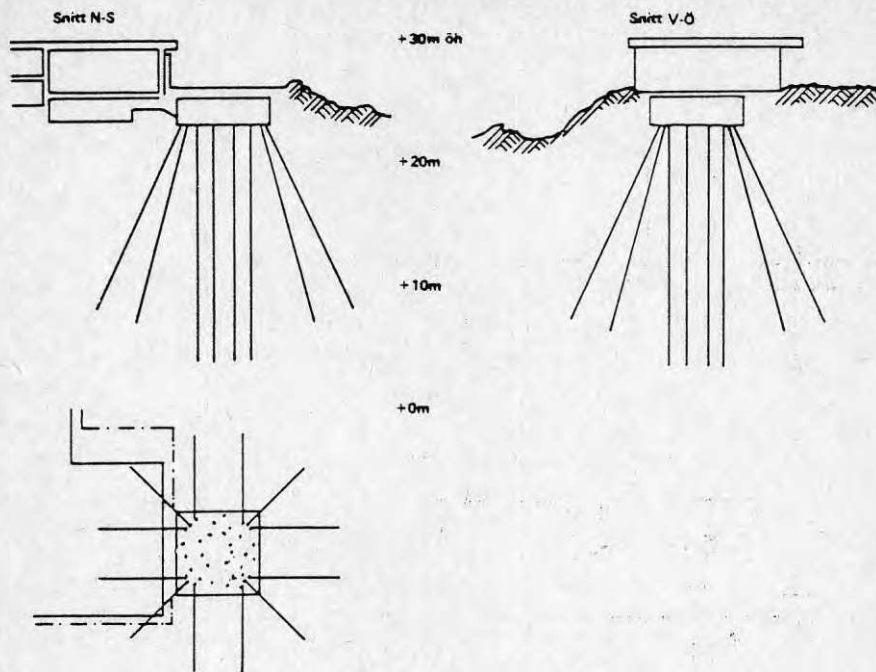
Utvärdering av specialmätningar skall ske i enlighet med framtaget FoU-program. Bland dessa mätningar märks prestandabestämning av solfångarna vid olika väderbetingelser och marklagertillstånd. Vidare skall reglersystemet analyseras vid olika driftsbetingelser.

REFERENSER

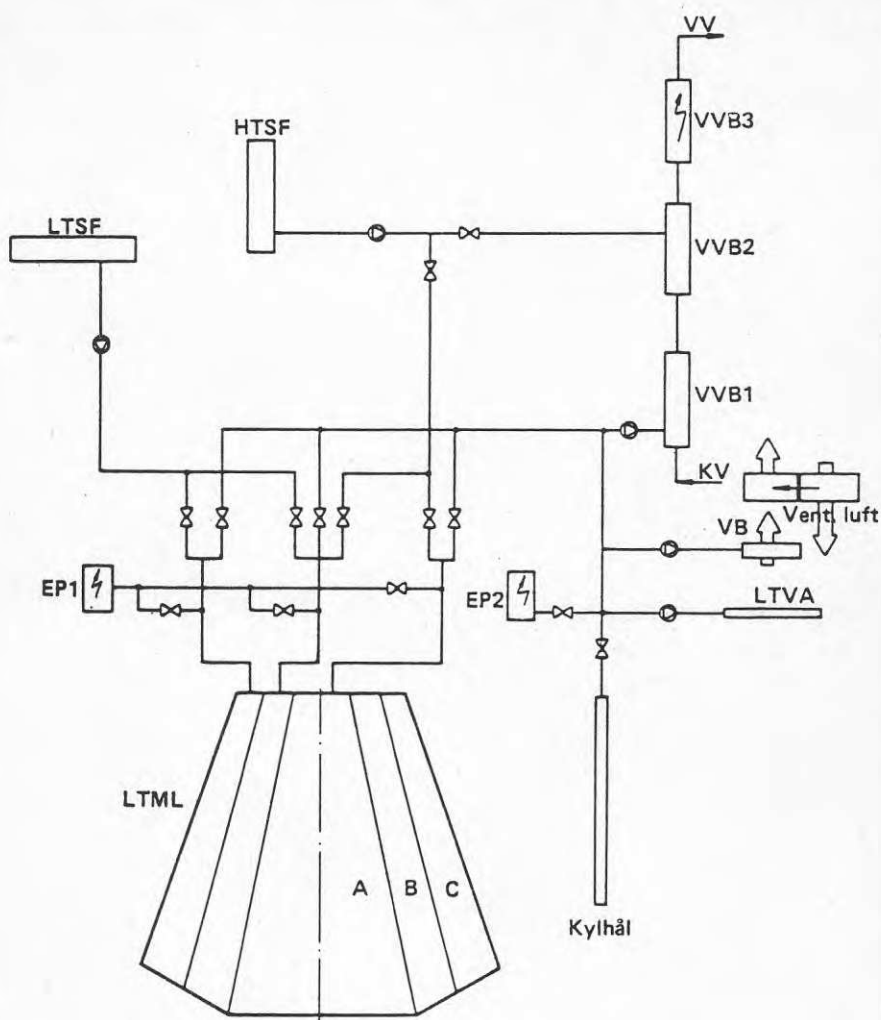
1. PLATELL, OVE och WIKSTRÖM, HANS
Sunstore-projektet 1977 - 1980. Solvärmesystem
med låg temperatur och säsongslagring för upp-
värmning av lokaler.
BFR-rapport nr R100:1981, Stockholm maj 1981.
2. PLATELL, OVE och WIKSTRÖM, HANS
Mätprotokoll, Sunstore experimentobjekt 1.
Sunstore, Sigtuna, 1982.
3. LINDSTRÖM, REIDAR
Direkt solinstrålning en helt klar dag på en
lutande yta.
Rapport nr 144.
Industrimekanik AB, Stockholm, 1981.
4. MARGEN, PETER och PLATELL, OVE
The Sigtuna project and applications studies.
ISPRA Workshops 14th - 16th September, 1982,
Italy.



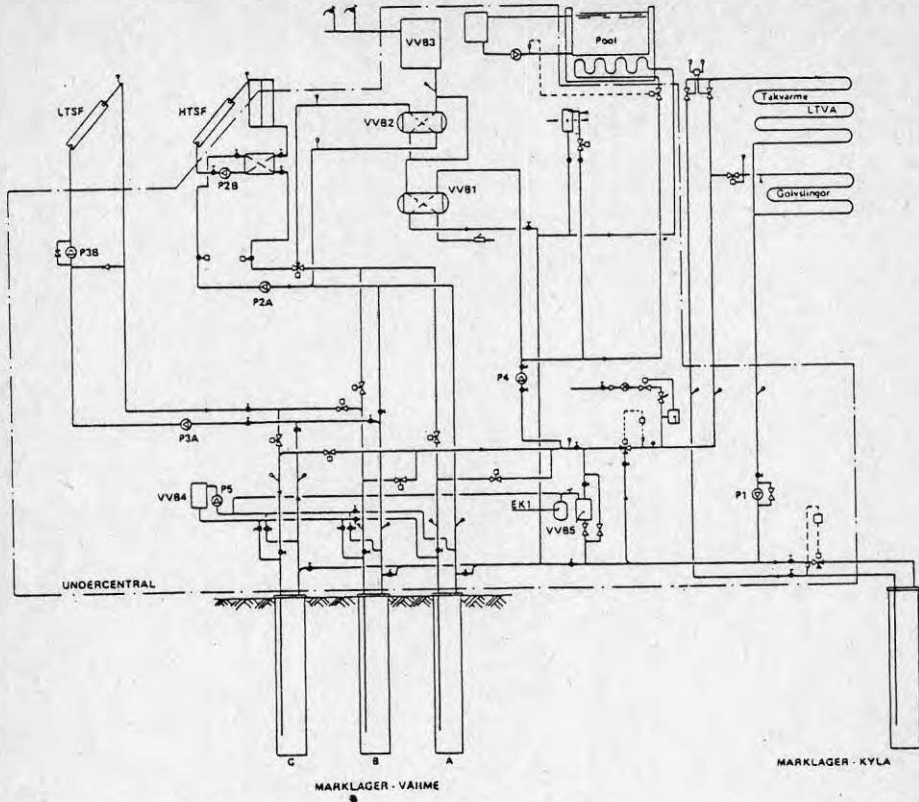
Figur 1.1 Taksolfångare LTSF, lutning 17° mot söder, yta 126 m^2 .



Figur 1.2 Marklagret.



Figur 1.3 Systemschema.

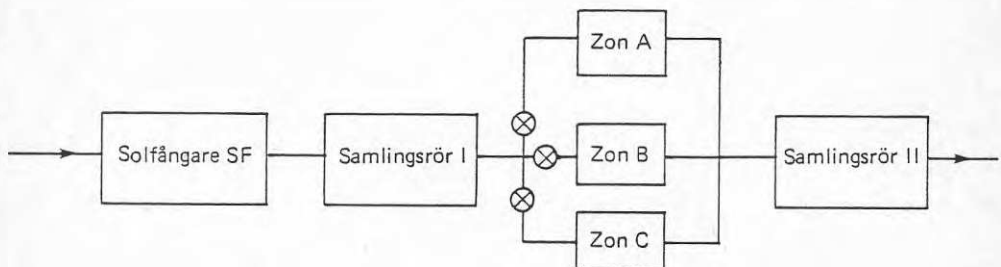


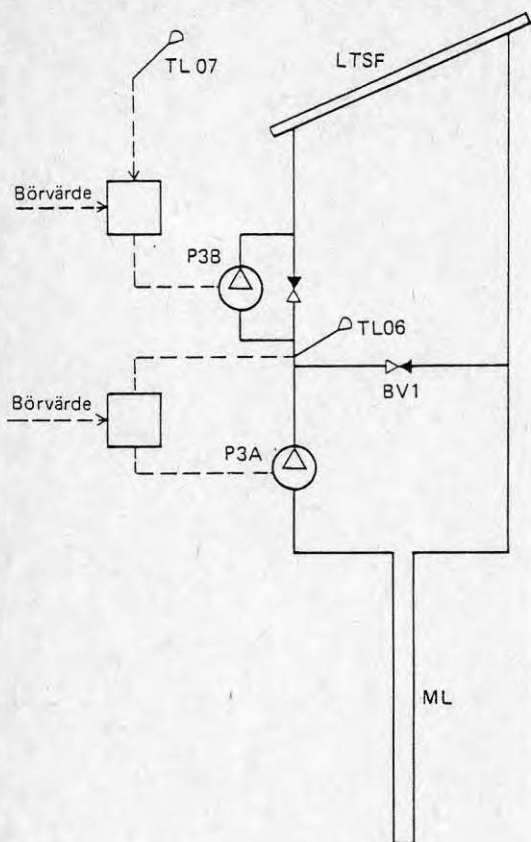
Figur 1.4 Flödesschema.

Tabell 1

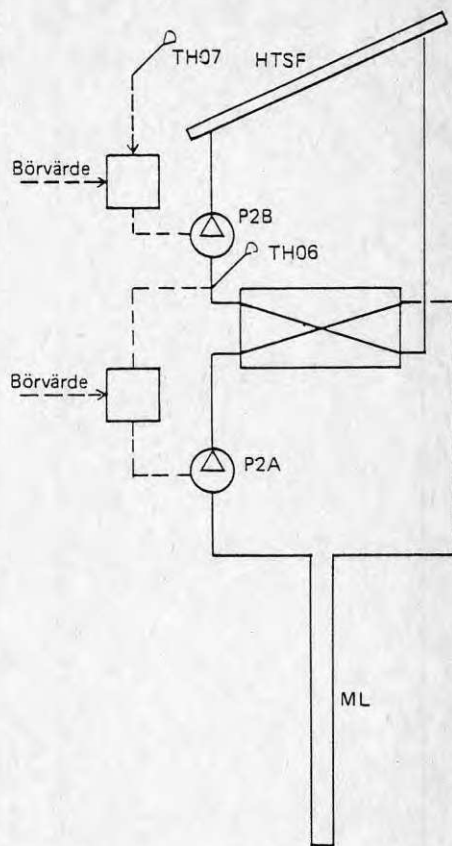
Volym, omsättningstid samt L/A-faktor för olika kombinationer av solfångare och marklagerzon.

Solfångare	HTSF	HTSF	HTSF	LTSF	LTSF	LTSF	LTSF
ML-zon	A	B	A + B	B	C	B + C	A+B+C
Vattenflöde (m ³ /s)	0,00097	0,00097	0,00097	0,00283	0,00283	0,00283	0,00283
Volym SF (m ³)	0,1080	0,1080	0,1080	0,3780	0,3780	0,3780	0,3780
Volym saml.-rör I (m ³)	0,1699	0,1699	0,2503	0,4870	0,4870	0,5674	0,6478
Volym ML (m ³)	1,9278	1,1175	3,0453	1,1175	1,1175	2,3350	4,1628
Volym saml.-rör II (m ³)	0,1483	0,1483	0,2287	0,4870	0,4870	0,5674	0,6478
Volym totalt (m ³)	2,3540	1,5437	3,6323	2,9565	2,9565	3,8478	5,8364
Omsättningstid SF (min)	1,86	1,86	1,86	2,22	2,22	2,22	2,22
Oms.tid saml.-rör I (min)	2,91	2,91	4,30	2,87	2,87	3,34	3,82
Oms.tid ML (min)	33,12	19,20	52,33	6,58	5,58	13,75	24,52
Oms.tid saml.-rör II (min)	2,55	2,55	3,93	2,87	2,87	3,34	3,82
Omsättningstid totalt (min)	40,5	26,52	62,42	14,54	14,54	22,65	34,37
L/A-faktor	11,50	6,67	18,70	1,90	1,90	3,81	7,10

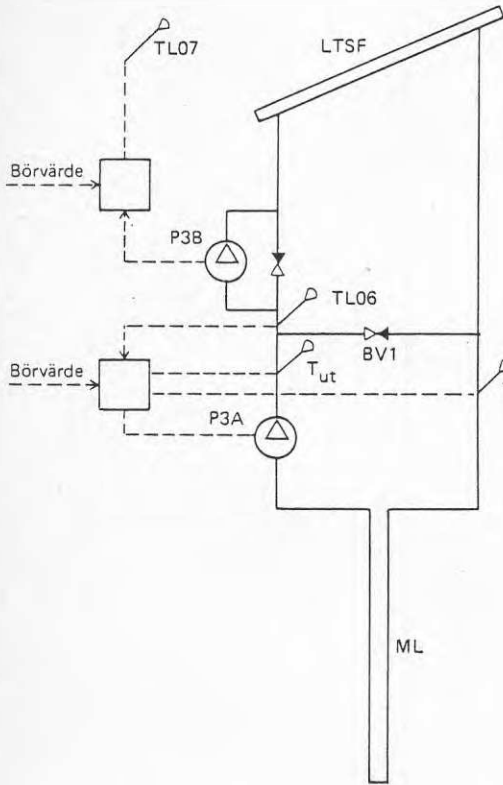




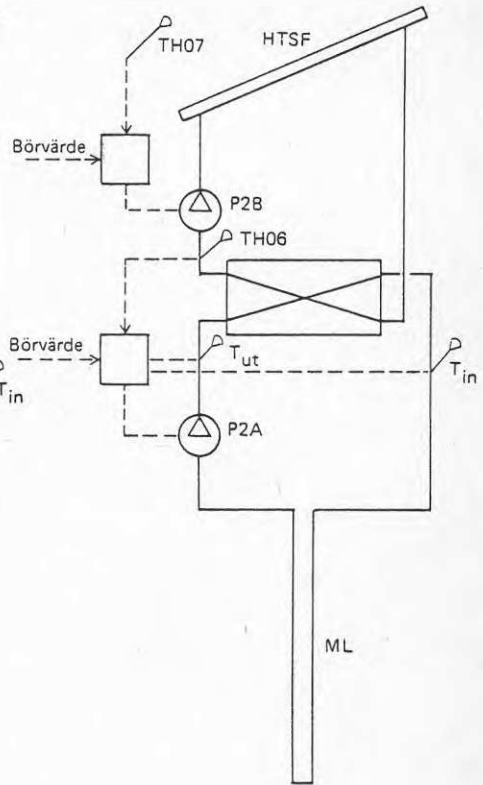
Figur 1.5a
Reglersystem LTSF, version 1.



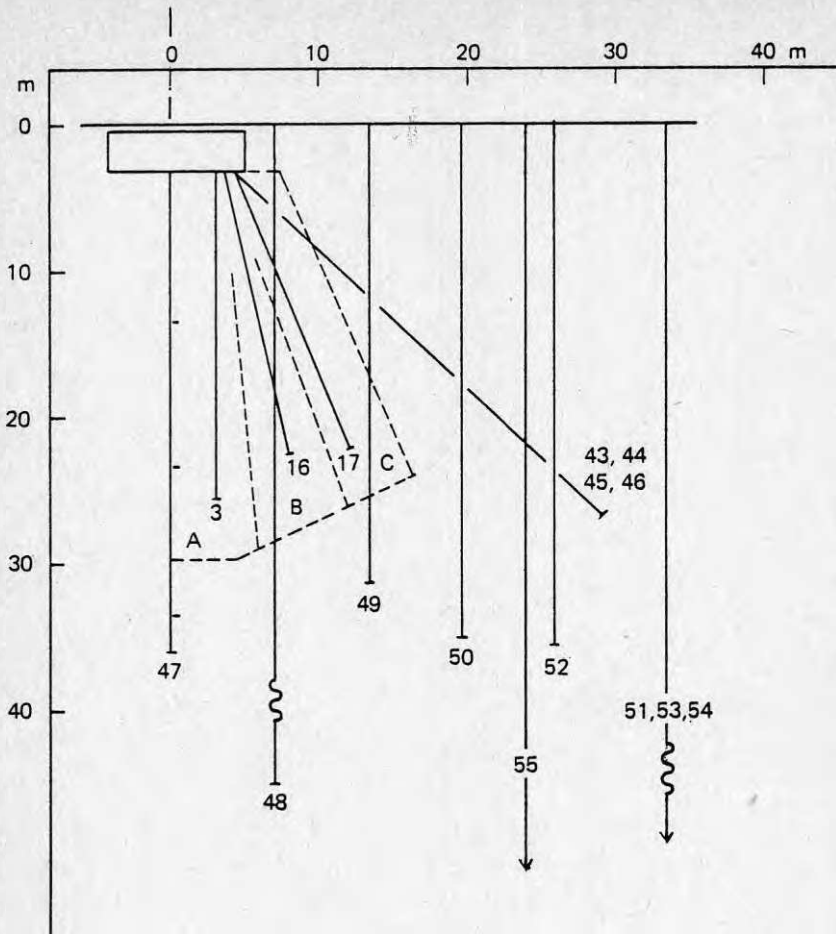
Figur 1.5b
Reglersystem HTSF, version 1.



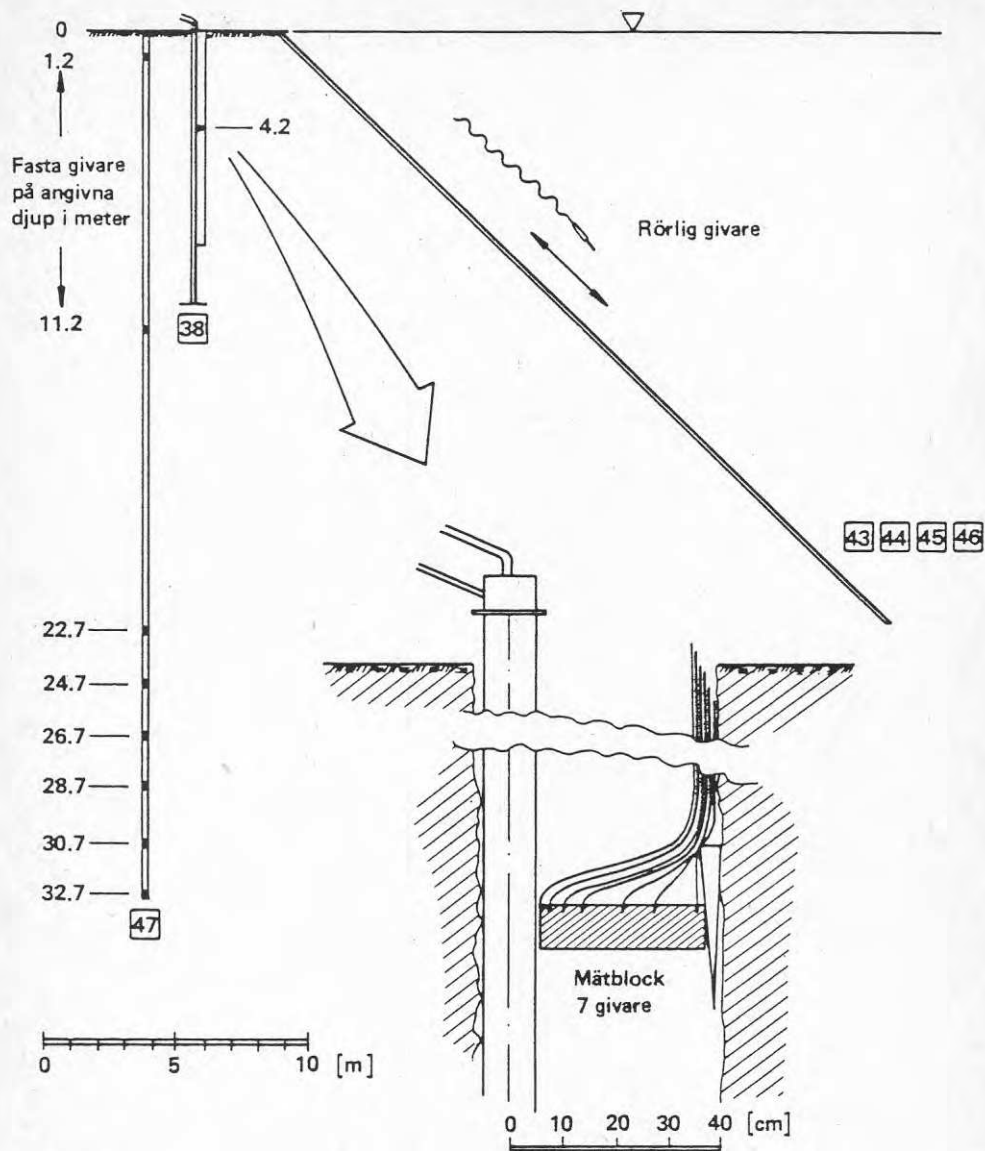
Figur 1.6a
Reglersystem LTSF, version 2.



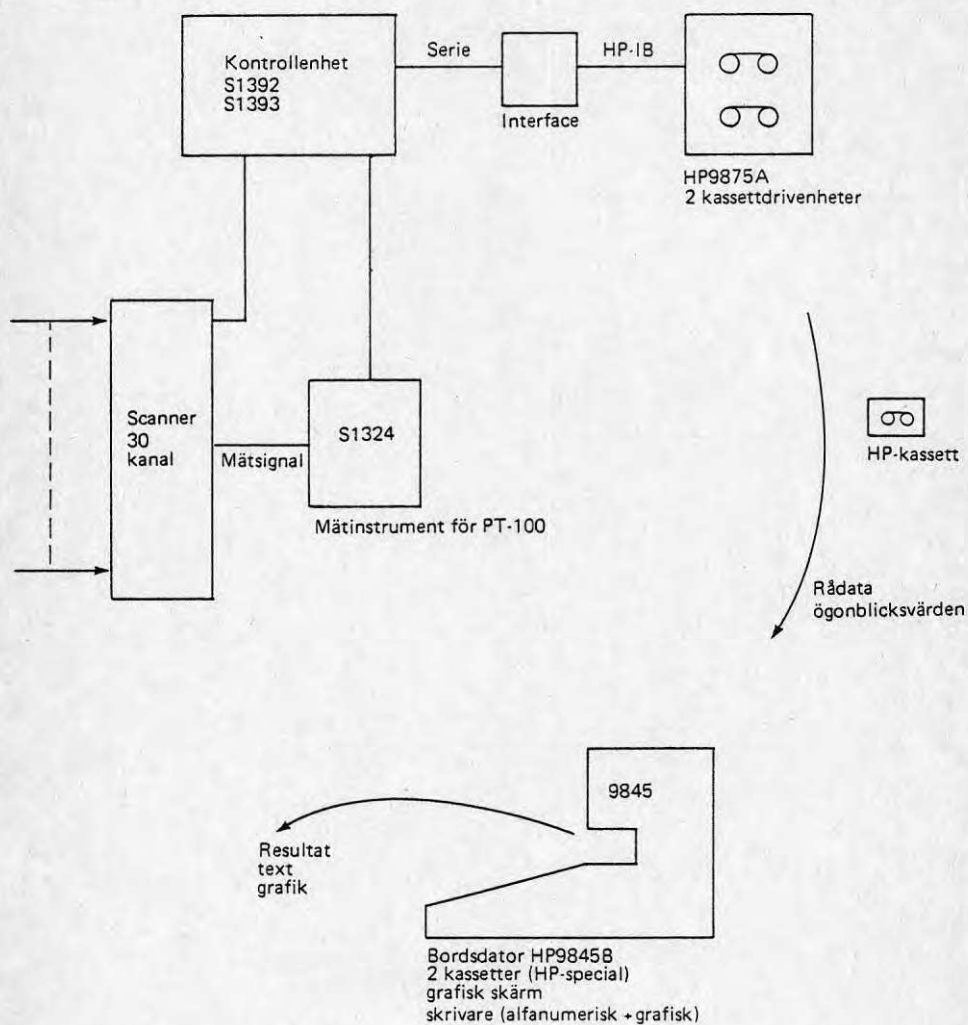
Figur 1.6b
Reglersystem HTSF, version 2.



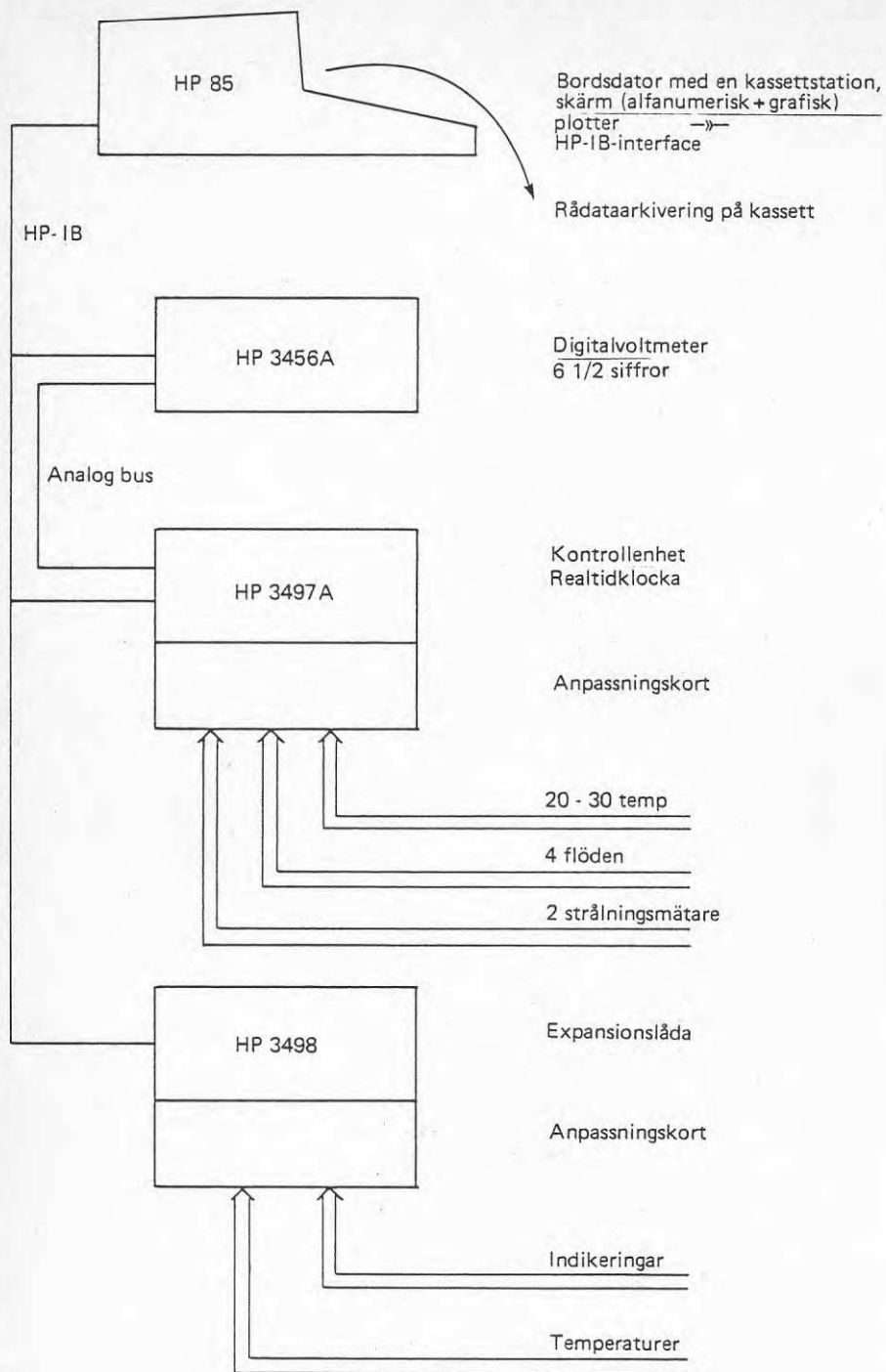
Figur 1.7 Hål för mätning av temperaturer i marklagret.



Figur 1.8 Montering av fasta temperaturgivare.



Figur 1.9 Fältmätsystem S1380.



Figur 1.10 Mätvärdesinsamling med dator HP85.

Tabell 2

Insamlad energi från LTSF (kWh)

dag	maj	juni	juli	aug	sept
1		202,8	-	-	-
2		205,8	105,9	-	92,8
3		177,7	111,7	-	74,6
4		-	0	189,6	160,6
5		2,7	240,8	287,3	12,8
6		79,4	248,9	188,6	33,6
7		-	93,3	133,0	124,6
8		-	310,5	23,9	107,0
9		-	302,1	191,5	112,1
10		-	279,7	215,5	53,8
11		19,1	340,8	47,9	0
12	104,7	0	244,9	210,0	75,5
13	190,7	33,7	218,0	232,1	0
14	227,3	0	92,3	110,5	67,8
15	206,6	0	39,4	113,2	56,1
16	240,1	0	173,2	6,7	
17	235,1	8,4	42,6	-	
18	233,8	0	0	72,4	
19	262,9	8,9	5,0	61,0	
20	28,0	182,8	319,0	65,2	
21	279,3	7,3	88,6	-	
22	274,2	162,8	-	-	
23	273,6	294,3	236,8	-	
24	254,0	28,7	135,9	74,3	
25	-	0	0	133,0	
26	131,7	0	44,1	-	
27	120,2	207,9	189,0	11,1	
28	8,3	0	234,6	-	
29	147,3	97,6	-	-	
30	164,4	0	-	-	
31	253,5	-	-	-	

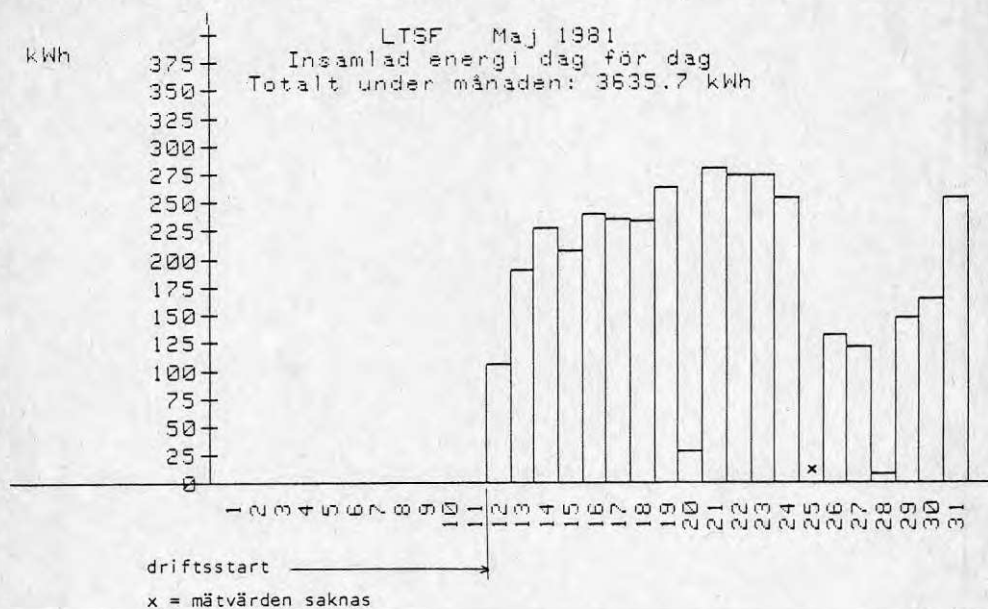
Tecknet - innebär drift- eller mätavbrott

Tabell 3

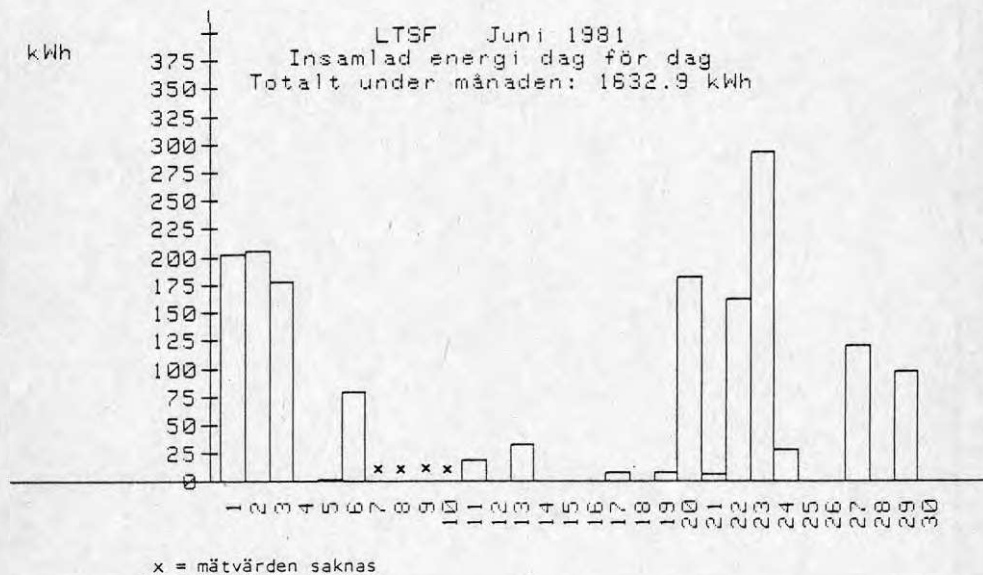
Insamlad energi från HTSF (kWh)

dag	maj	juni	juli	aug	sept	okt
1		-	-	-	-	0
2		-	11,5	-	-	0
3		-	13,9	-	-	0
4		-	-	30,1	-	0
5		0,2	41,2	42,3	-	0
6		-	42,9	27,8	-	23,8
7		-	5,9	19,3	49,5	0
8		-	58,9	70,3	31,8	0
9		-	60,1		26,7	16,4
10		-	57,7		13,7	0
11		-	77,8		0	2,0
12	9,3	-	11,7	179,7	35,4	0
13	2,1	-	15,3		0	0
14	0,8	-	0		22,2	0
15	2,6	-	0	14,2	19,7	2,2
16	-	-	3,6	0	0	4,0
17	-	0	0	0	0	0
18	47,5	0	0	2,3	0	6,4
19	53,2	0	0	2,5	0	
20	0,9	28,7	33,5	1,2	0	
21	51,2	0	1,2	0	0	
22	55,2	17,1	0	0	0	
23	54,7	49,9	19,8	0	2,4	
24	89,7	0	8,1	13,4	0	
25	-	0	0	21,3	12,0	
26	-	0	0	0	0	
27	-	32,7	7,6	2,1	0	
28	-	0	13,9	-	0	
29	-	8,8	-	-	0	
30	-	0	-	-	5,0	
31	-	-	-	-		

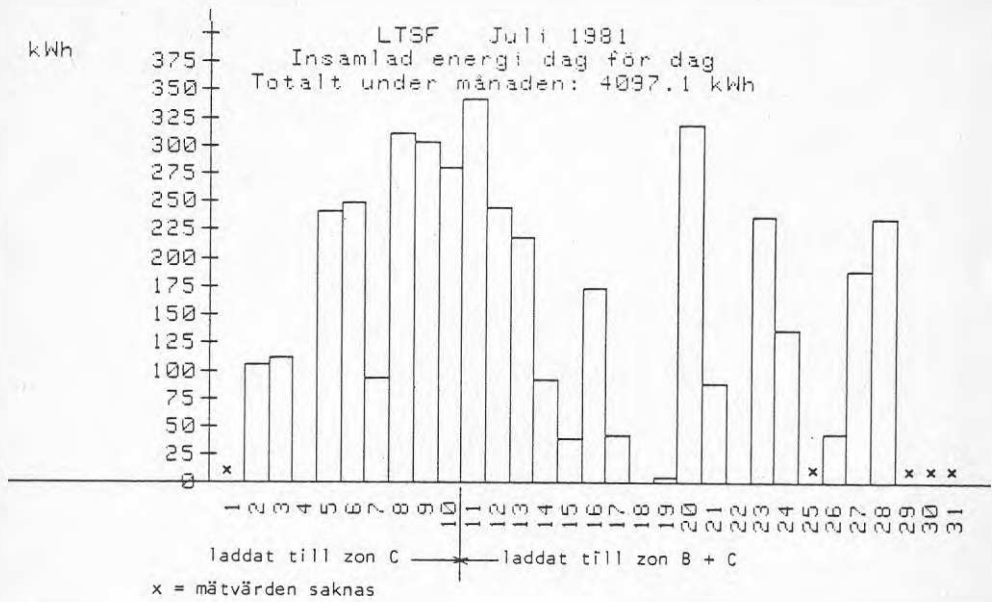
Tecknet - innebär drift- eller mätavbrott



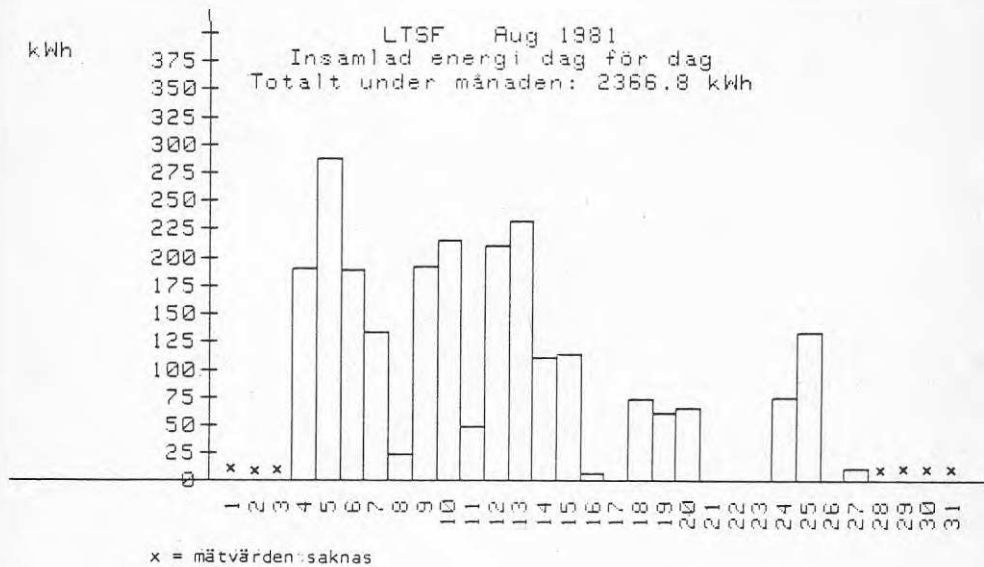
Figur 2.1



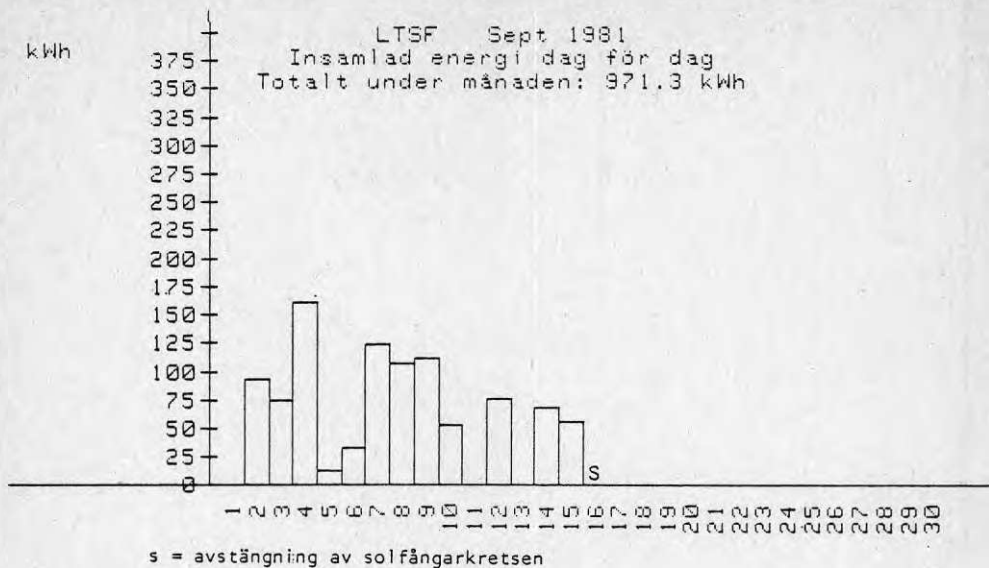
Figur 2.2



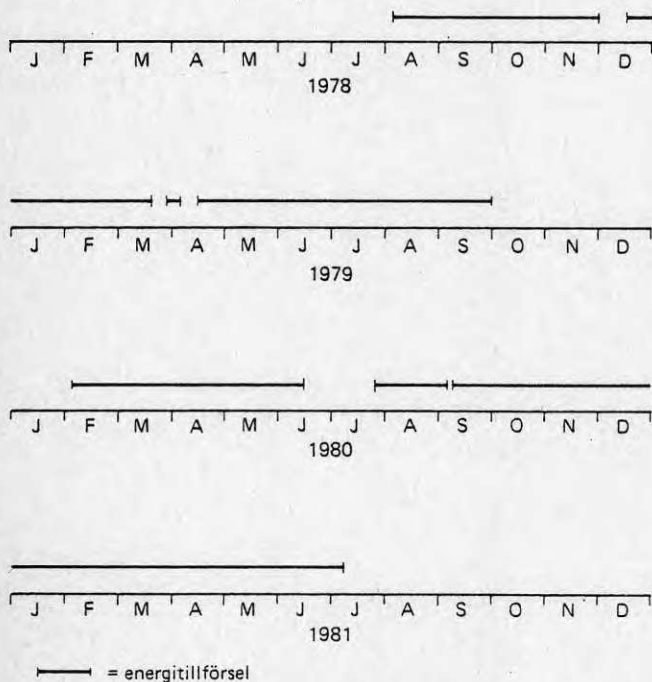
Figur 2.3



Figur 2.4



Figur 2.5



Figur 3.1 Elvärmning av A-zonen med 15 kW.

Tabell 4

Inmatning av energi till LTML (kWh/månad)

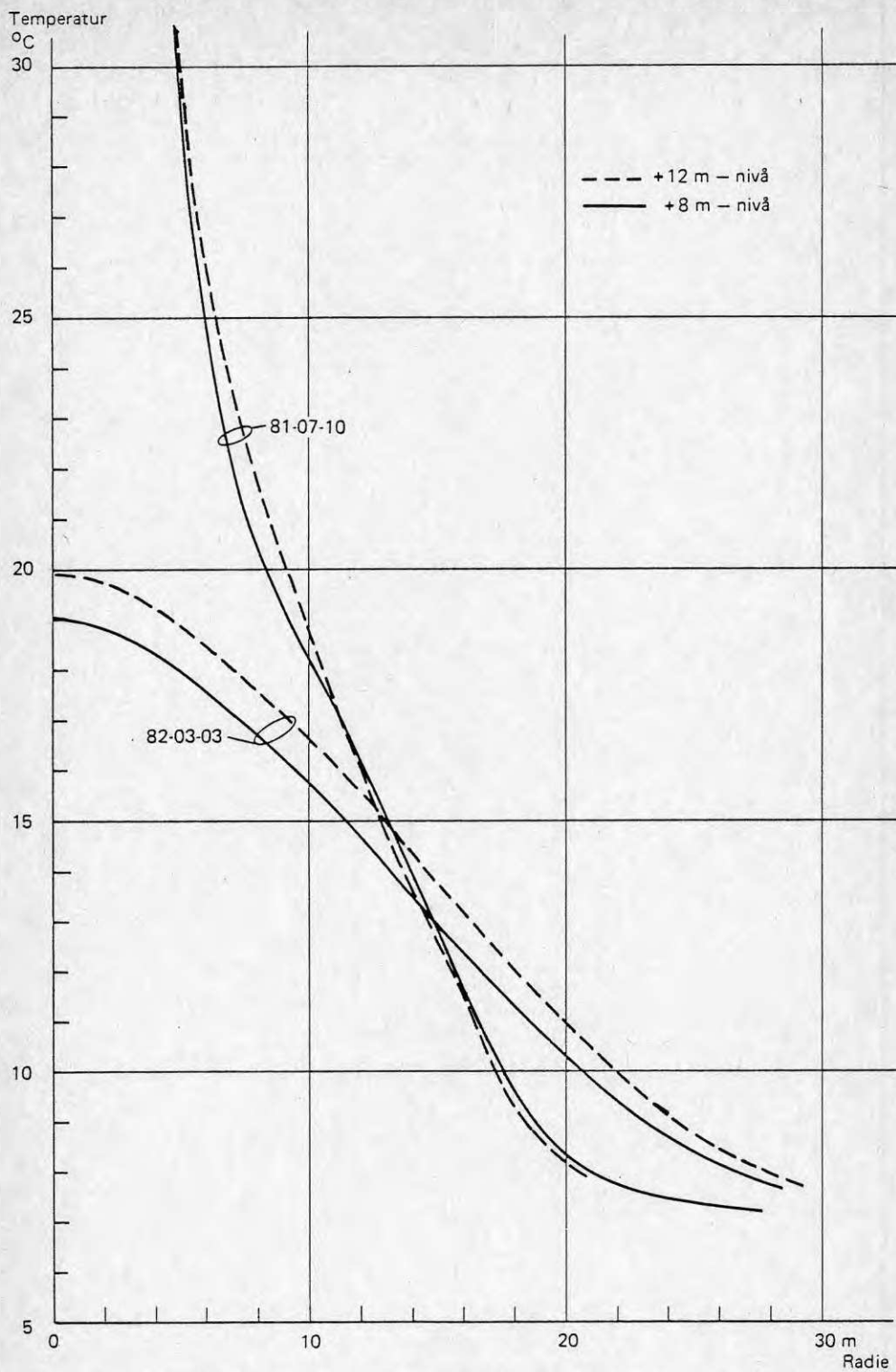
Månad	Energi till zon			Energi från	
	A	B	C	HTSF	LTSF
jan	11160				
feb	10080				
mars	11160				
april	10800				
maj	11160	~770	3636	~770	3636
juni	10800	~250	1720	~250	1720
juli	3792	1427	2894	418	4097
aug	~350	1183	1183	350	2367
sept	~250	485	485	250	971
okt	54				

Start av HTSF och LTSF 81-05-12

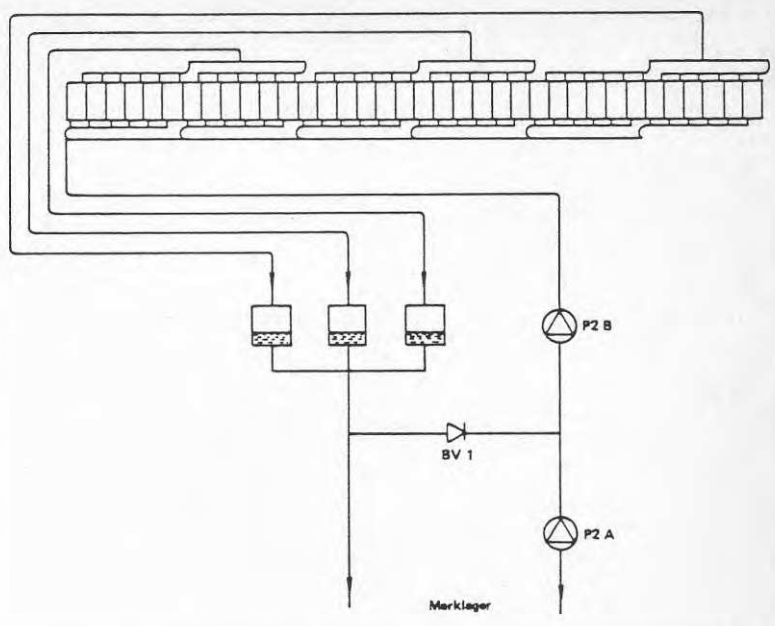
Avstängning av LTSF den 31-09-15

Avstängning av HTSF den 81-10-18

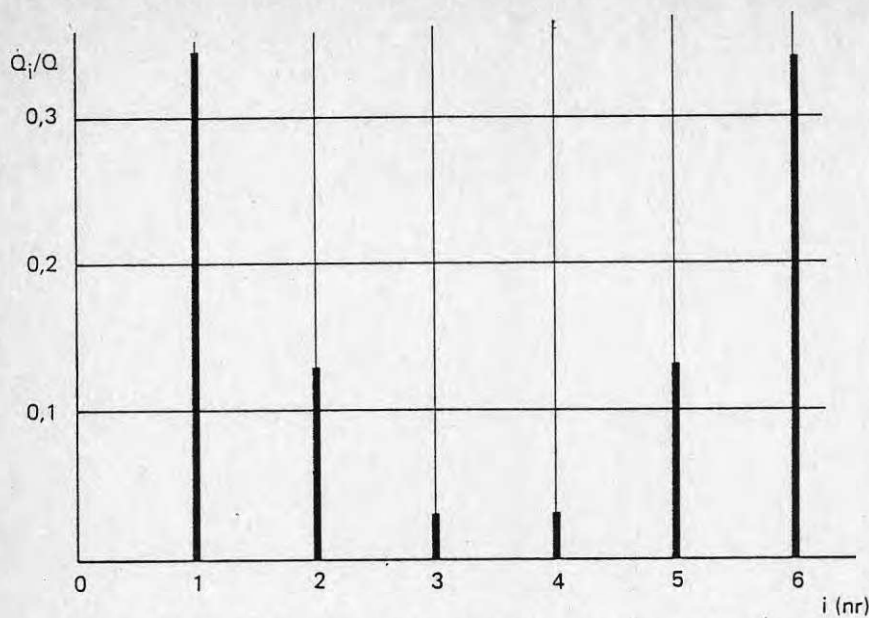
Elenergi till zon A fram till den 81-07-10



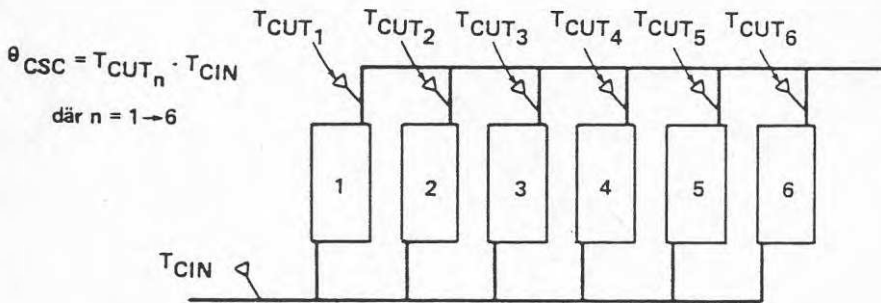
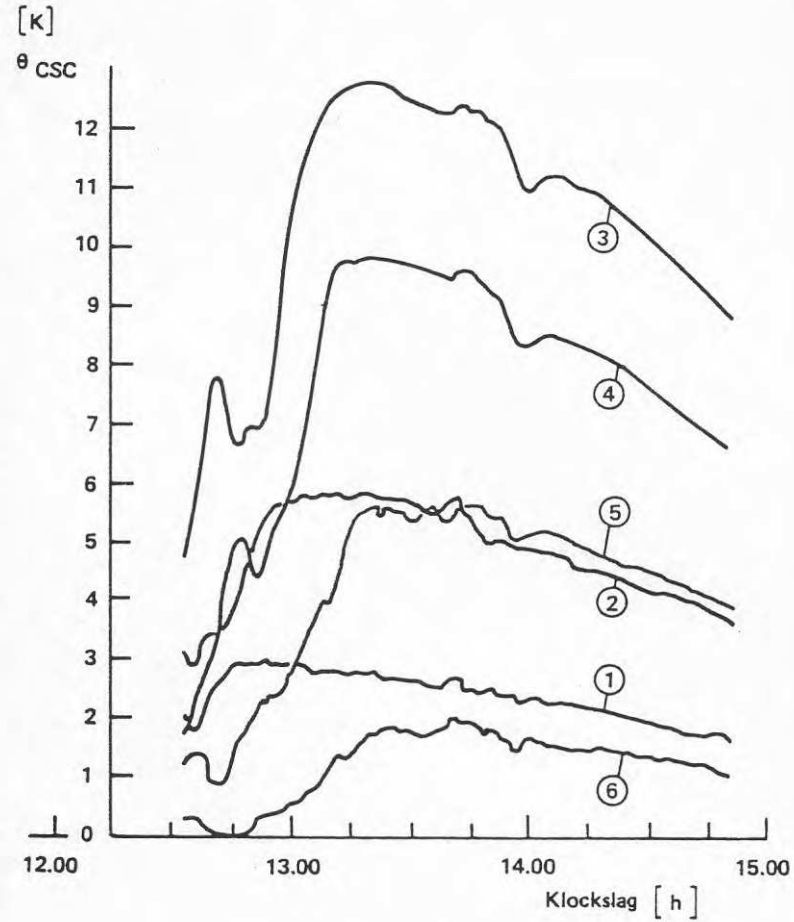
Figur 3.2 Temperaturprofilen i marklagret på två nivåer vid två tillfällena.



Figur 4.1 HTSF - Tekno Term typ Sun Unit. Rörssystem.



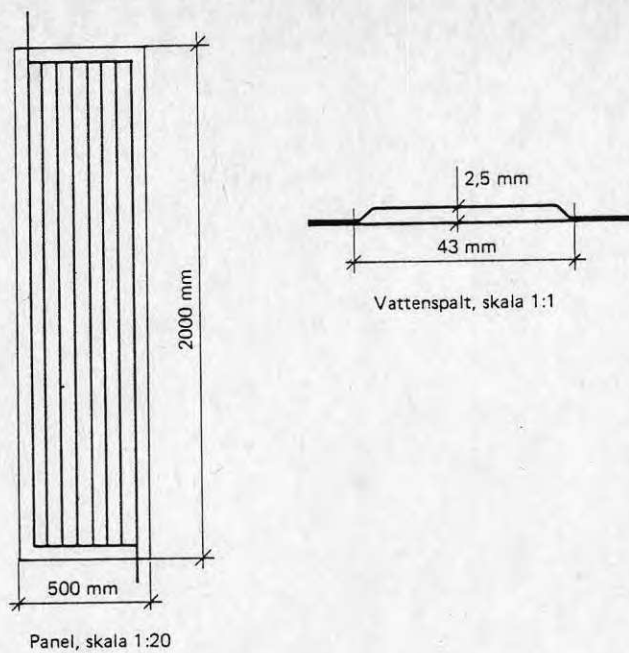
Figur 4.2 Flödesfördelning mellan 6 solfångarpaneler. Datorberäkning.
Del av totalflöde i resp panel. $Q = 0.00014 \text{ m}^3/\text{s}$.



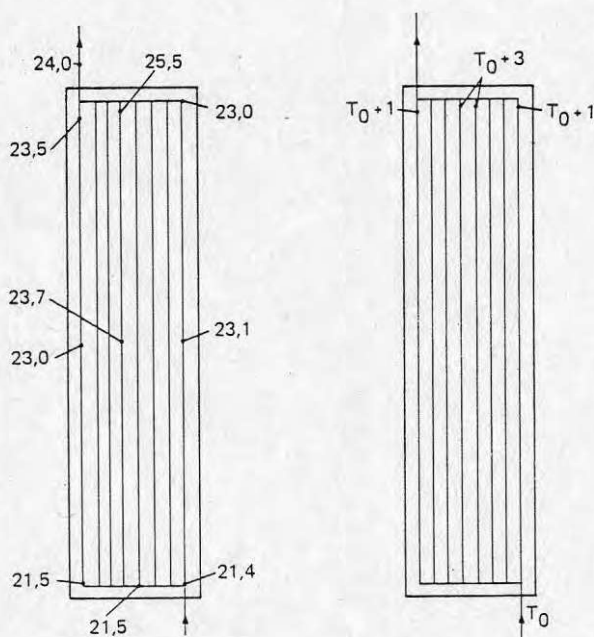
$$\theta_{CSC} = T_{CUT_n} - T_{CIN}$$

där $n = 1 \rightarrow 6$

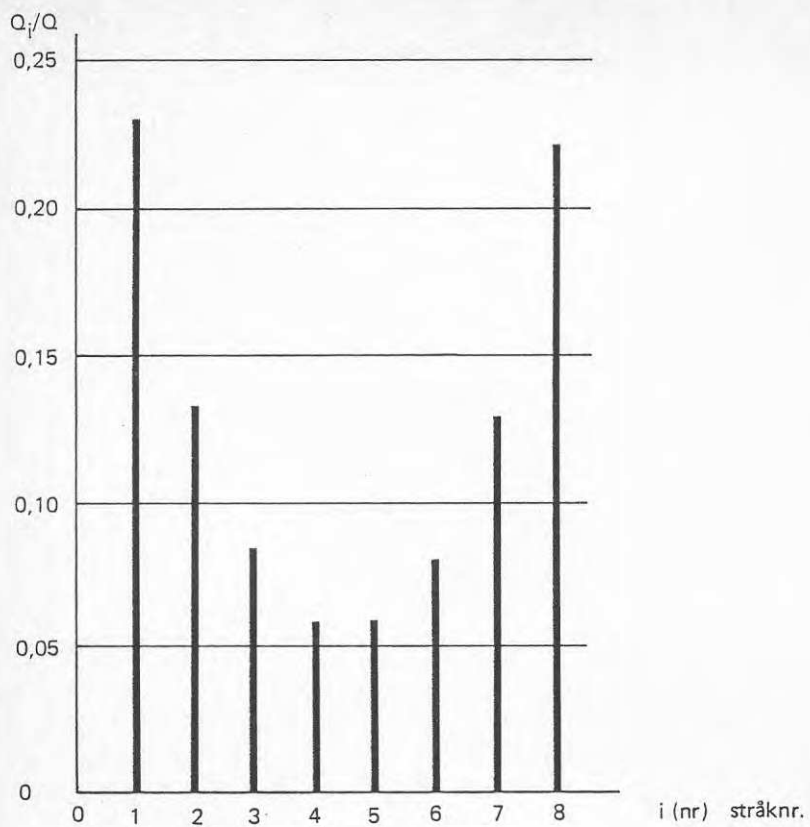
Figur 4.3. Temperaturskillnad mellan in- och utgående vatten för 6 parallellkopplade solfångare (Teknoterm Sun Unit).



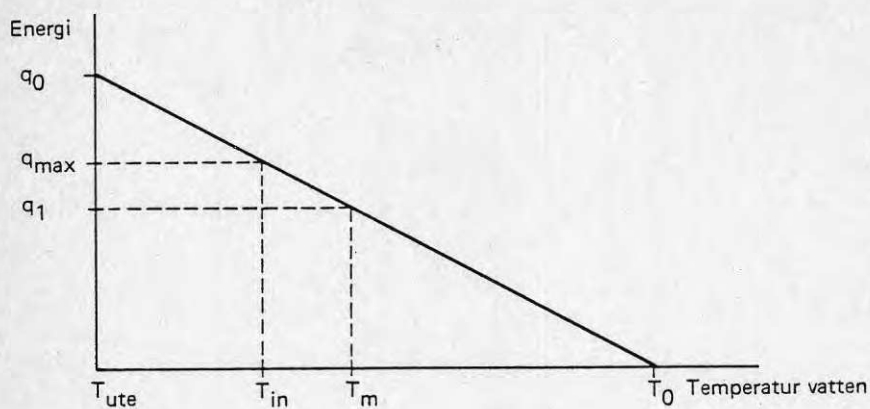
Figur 4.4 Solfångarpanel



Figur 4.5 Temperaturer i solfångarpanel.



Figur 4.6 Flödesfördelning mellan parallella stråk i solfångarpanel.
Totalflöde $Q = 0.0000225 \text{ m}^3/\text{s}$.

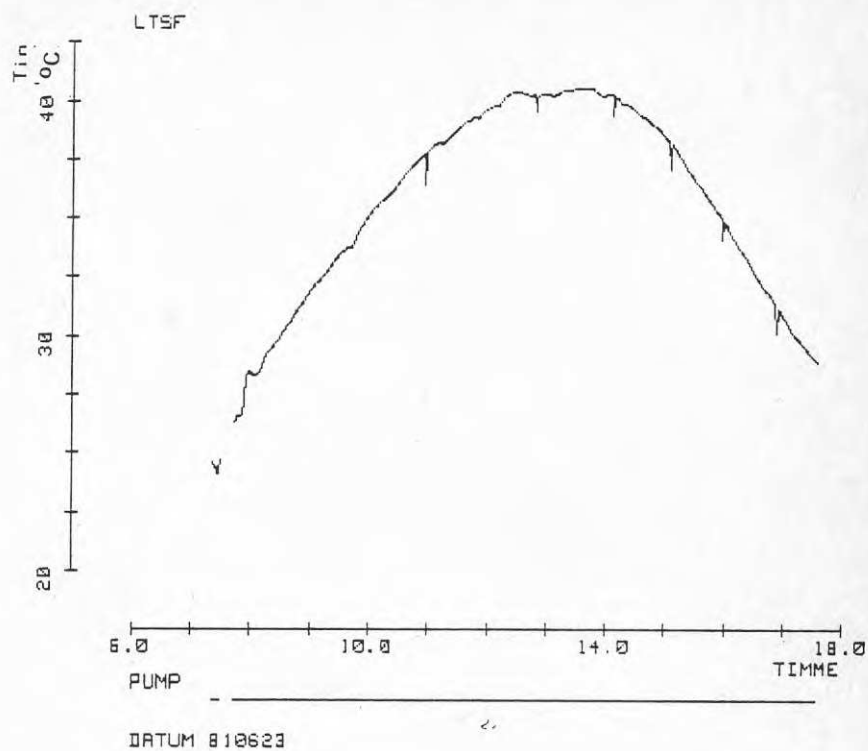


T_{in} = Cirkulationsvattnets inloppstemperatur

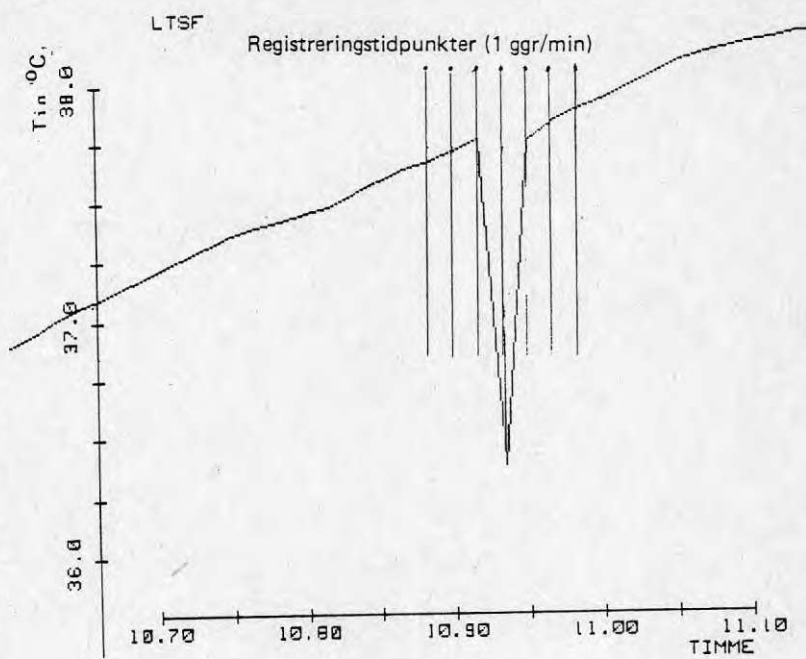
T_m = Signifikant infångningstemperatur

T_0 = Nollasttemperatur

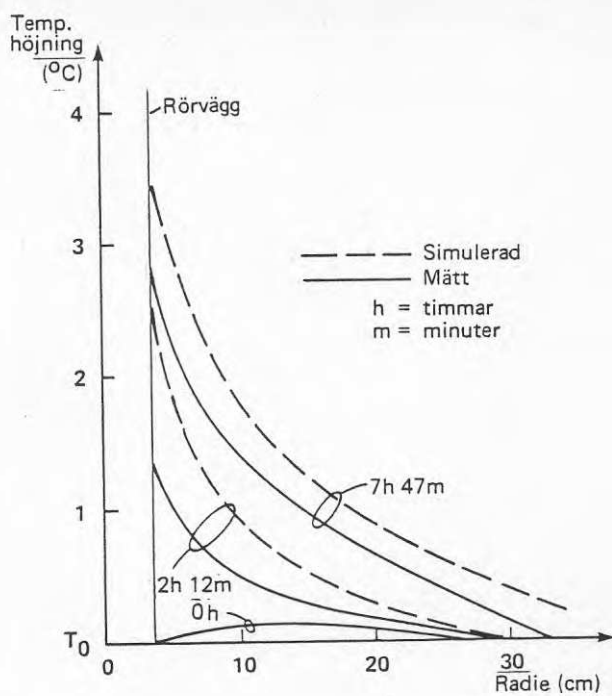
Figur 4.7 Infångad energi i ett solfångarstråk.



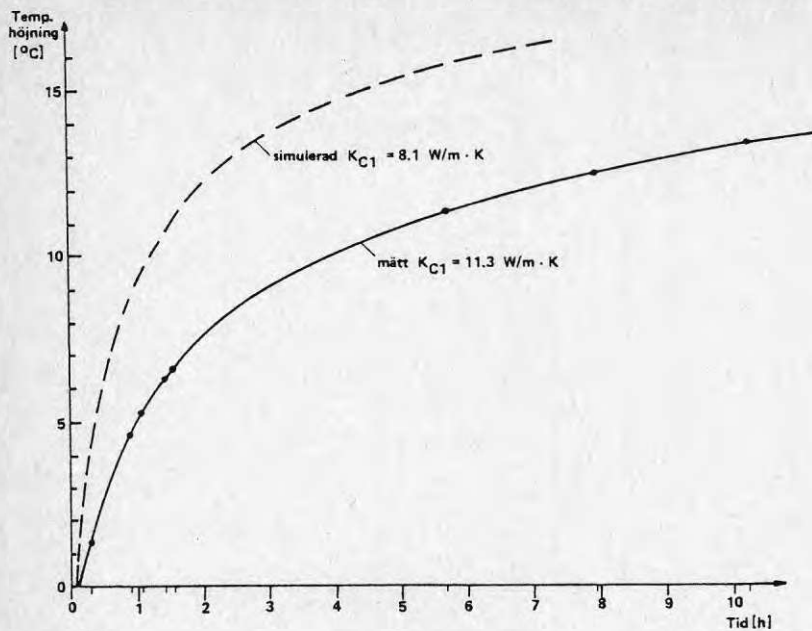
Figur 4.8 Temperaturförlopp under en dag för inlopps-
vatten till LTSF.



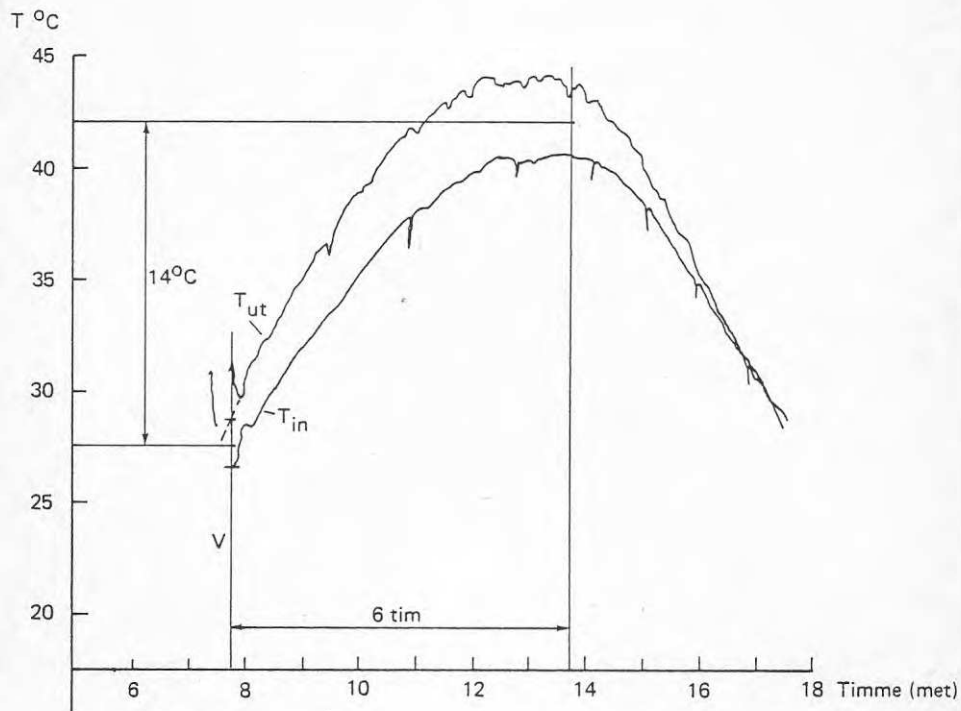
Figur 4.9 Detalj av Figur 4.8.



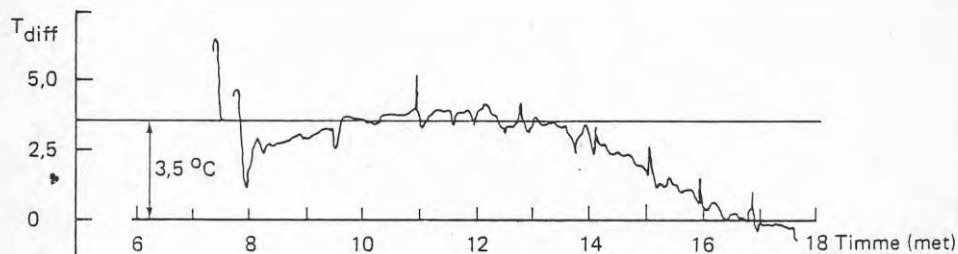
Figur 4.10 Temperaturförlopp i mätblock i hål 38 vid värmning.



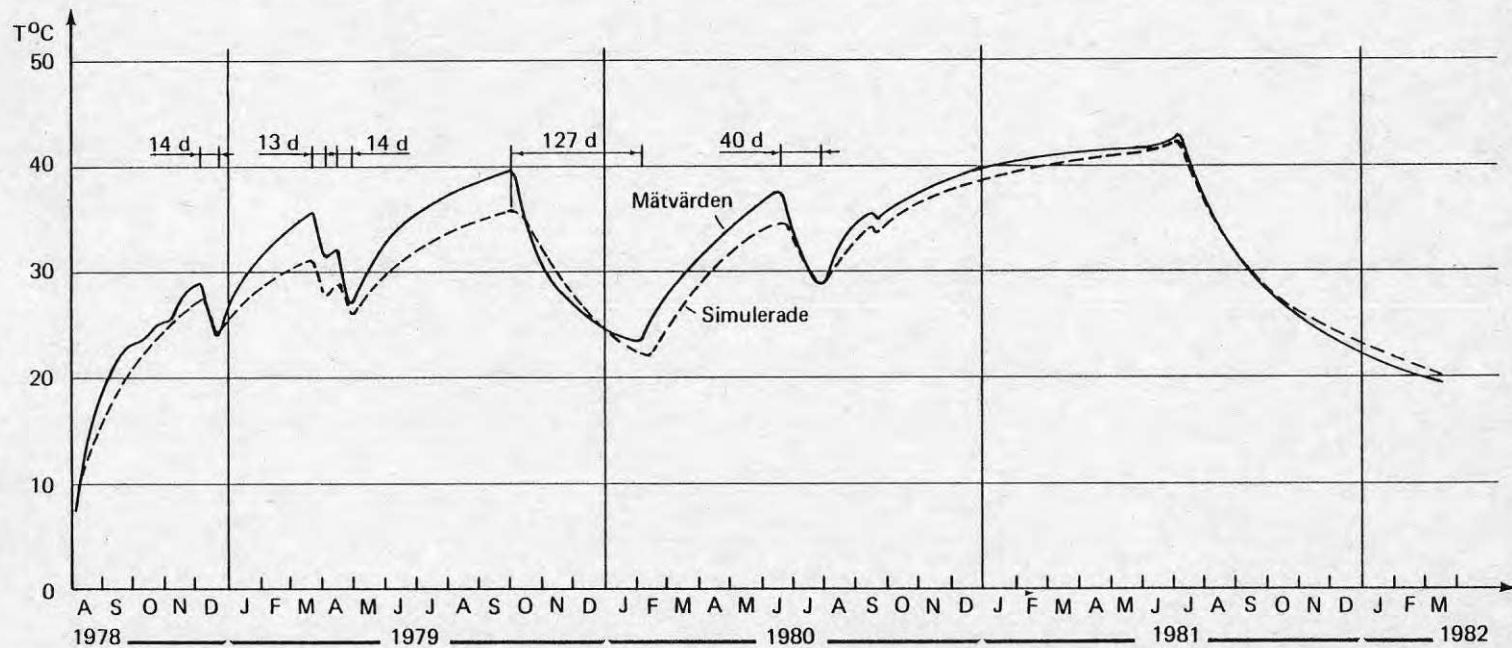
Figur 4.11 Temperaturförlopp hos cirkulationsvattnet vid värmning.



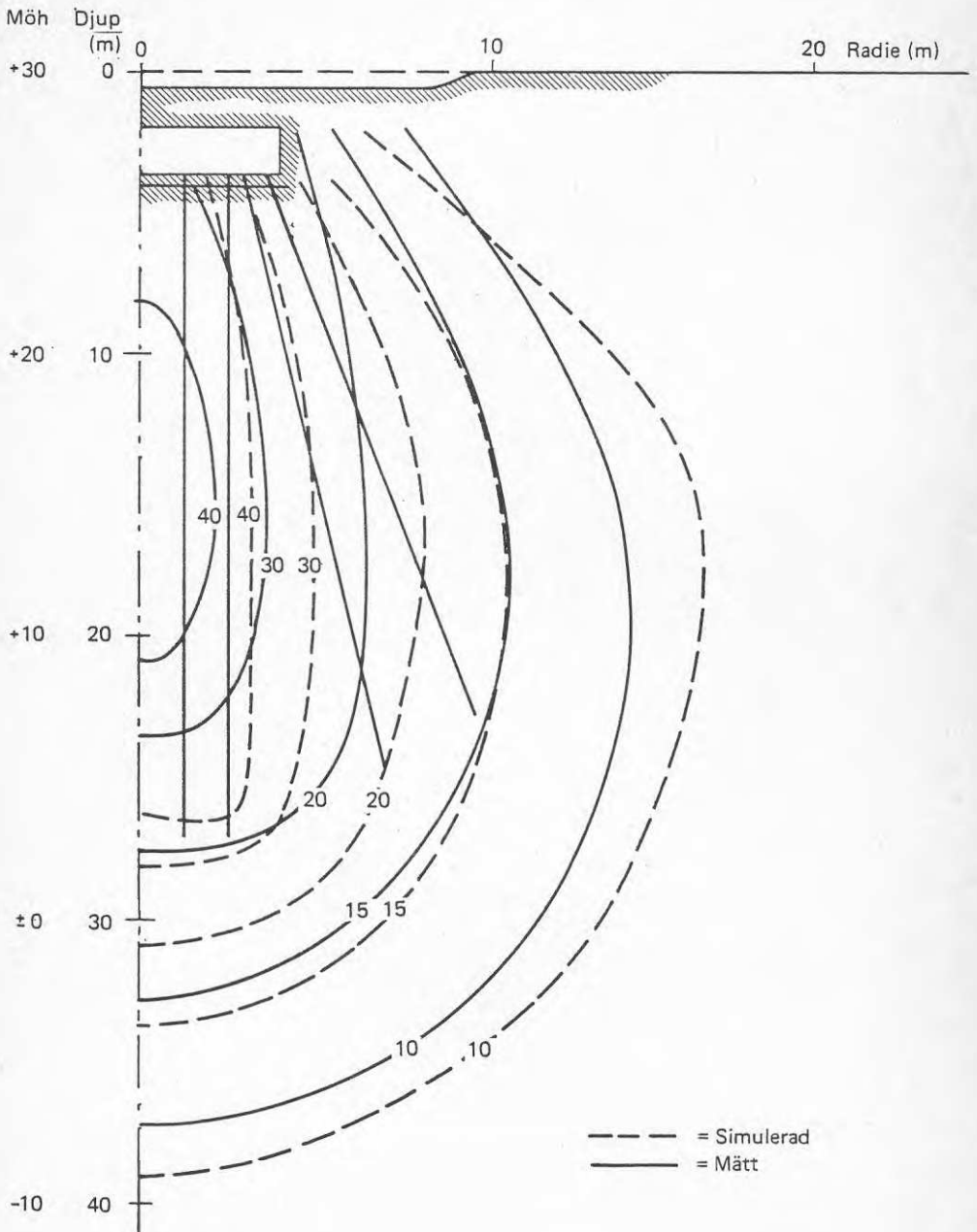
Drift pump P2 - _____



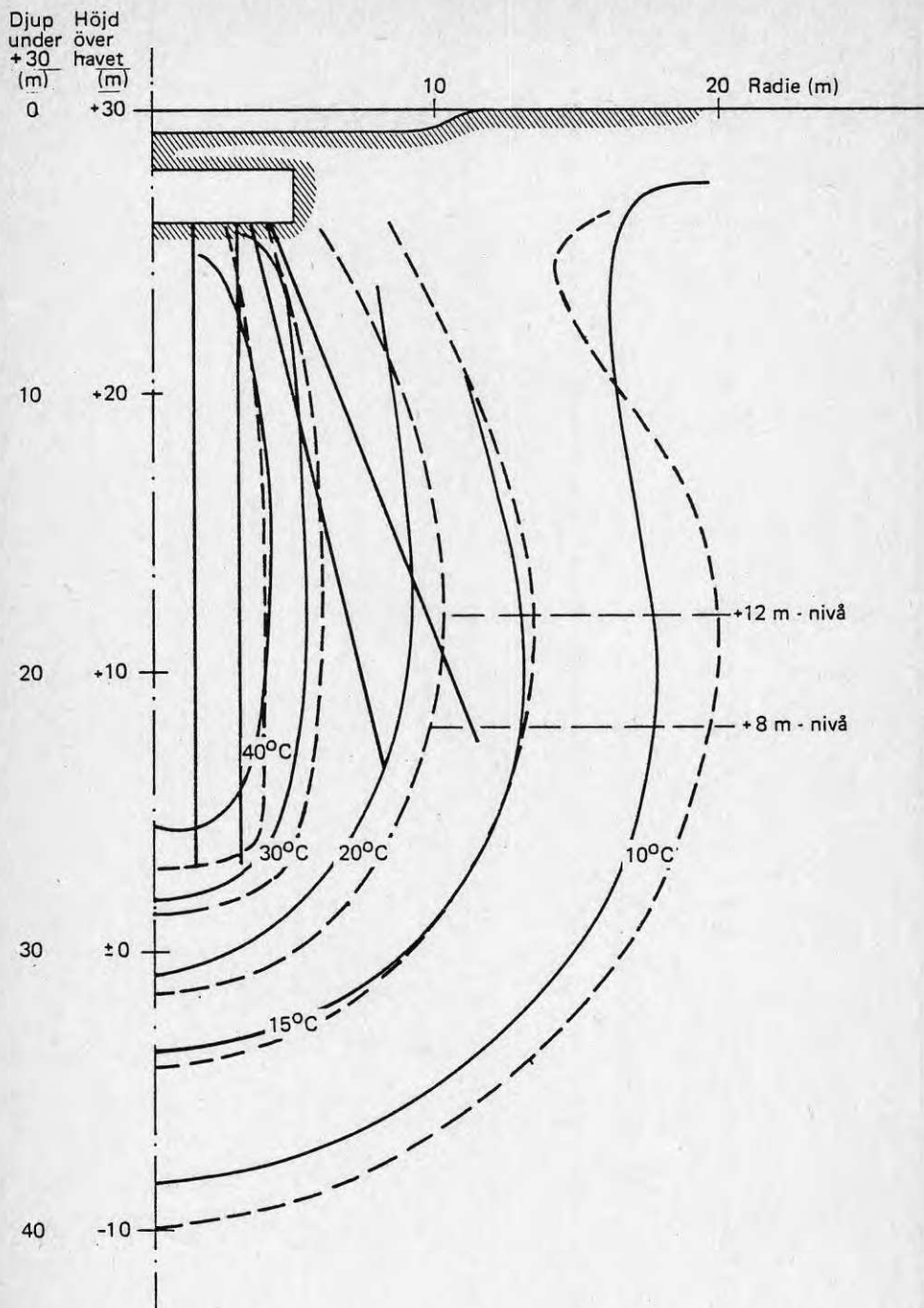
Figur 4.12 Lågtemperatursolfångaren kopplad till C-zonen.
Datum 81-06-23.



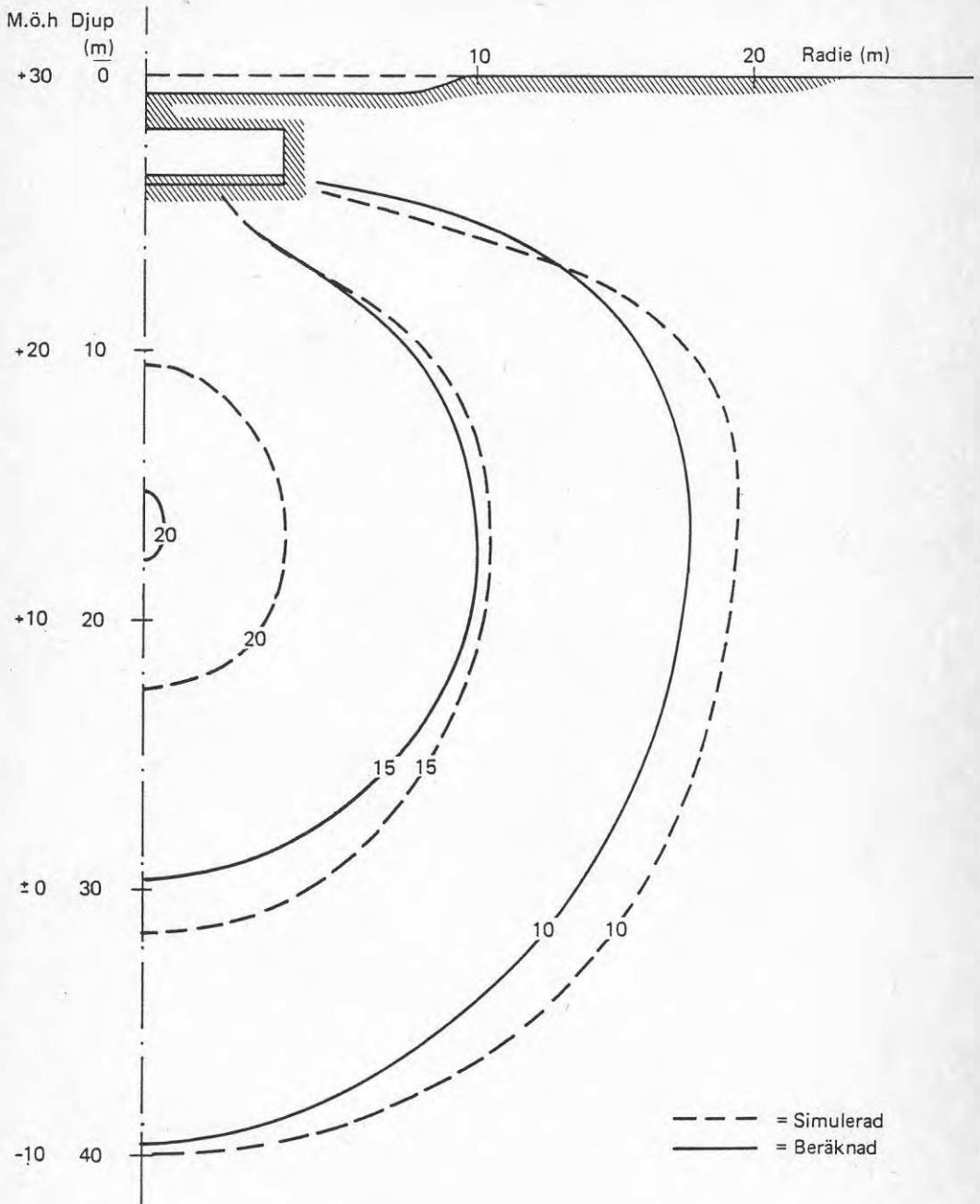
Figur 4.13 Temperatur i centrum av marklagret på 12.5 m djup.



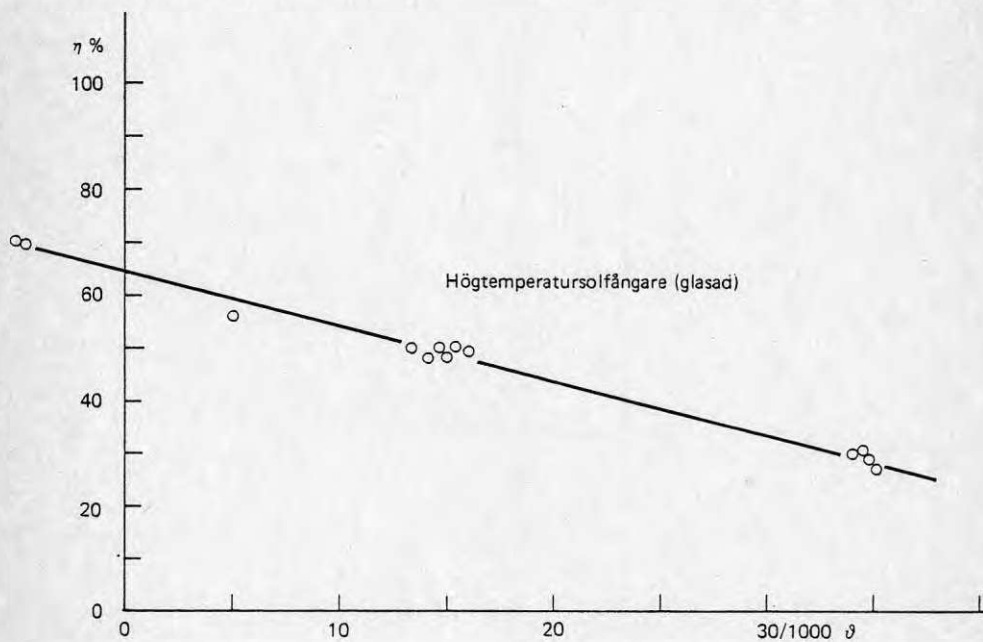
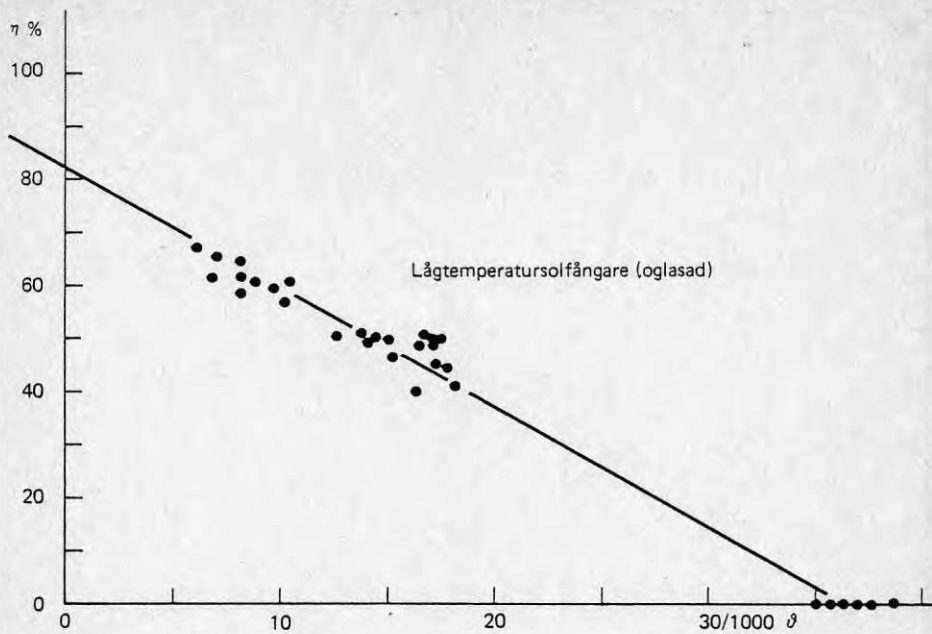
Figur 4.14 Isothermer i LTML 81-05-19.



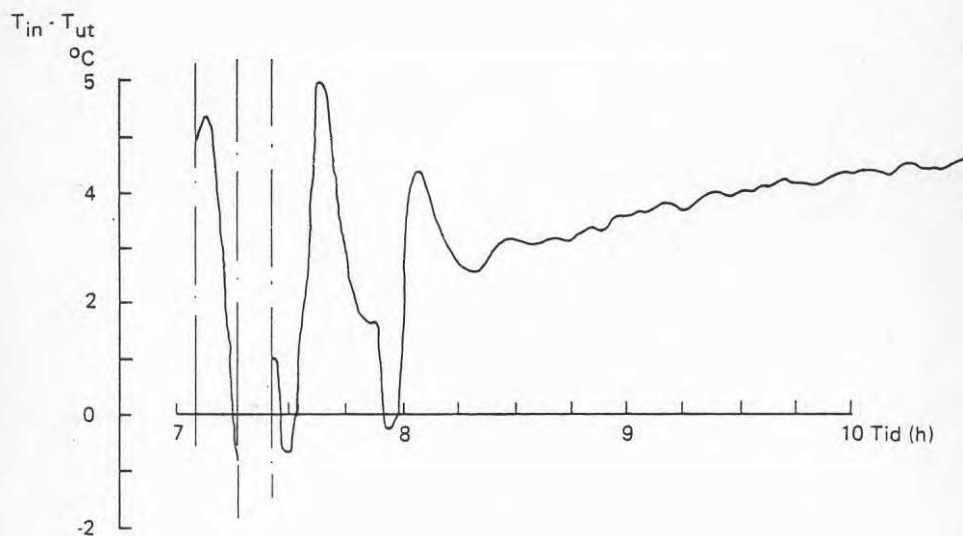
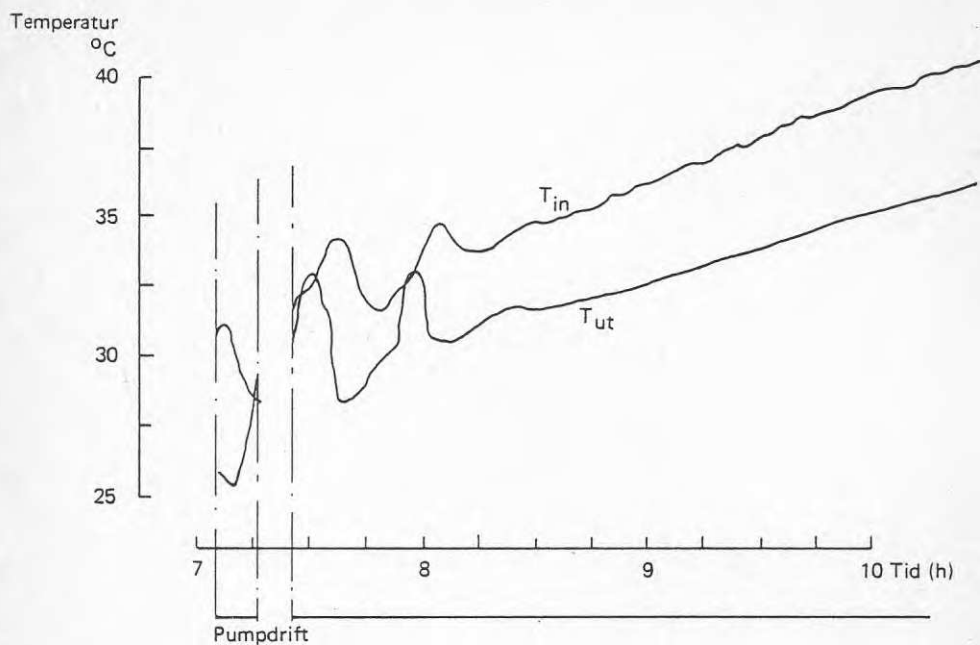
Figur 4.15 Isothermer i LTML 81-07-10.



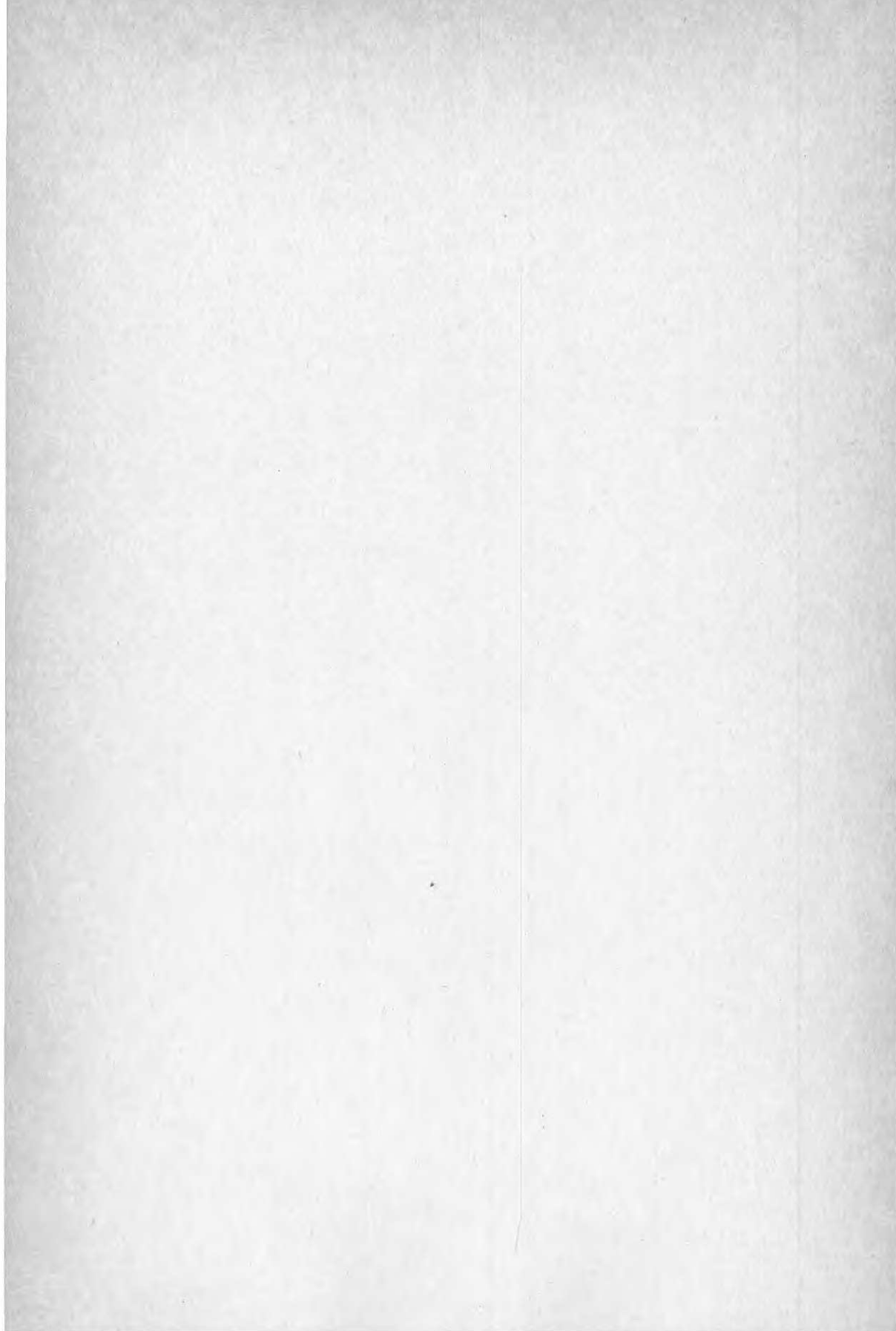
Figur 4.16 Isothermer i LTML 82-03-03.

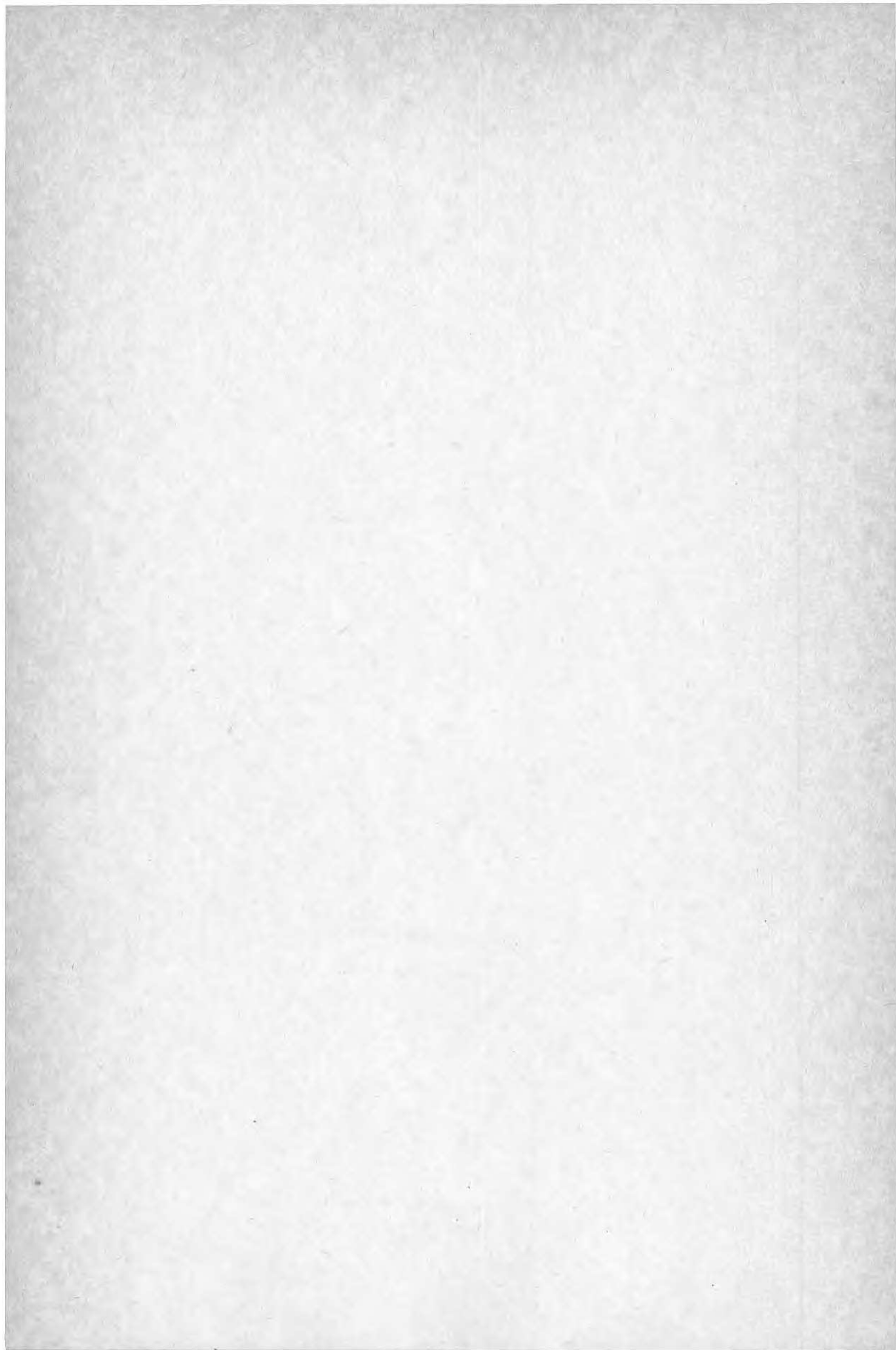


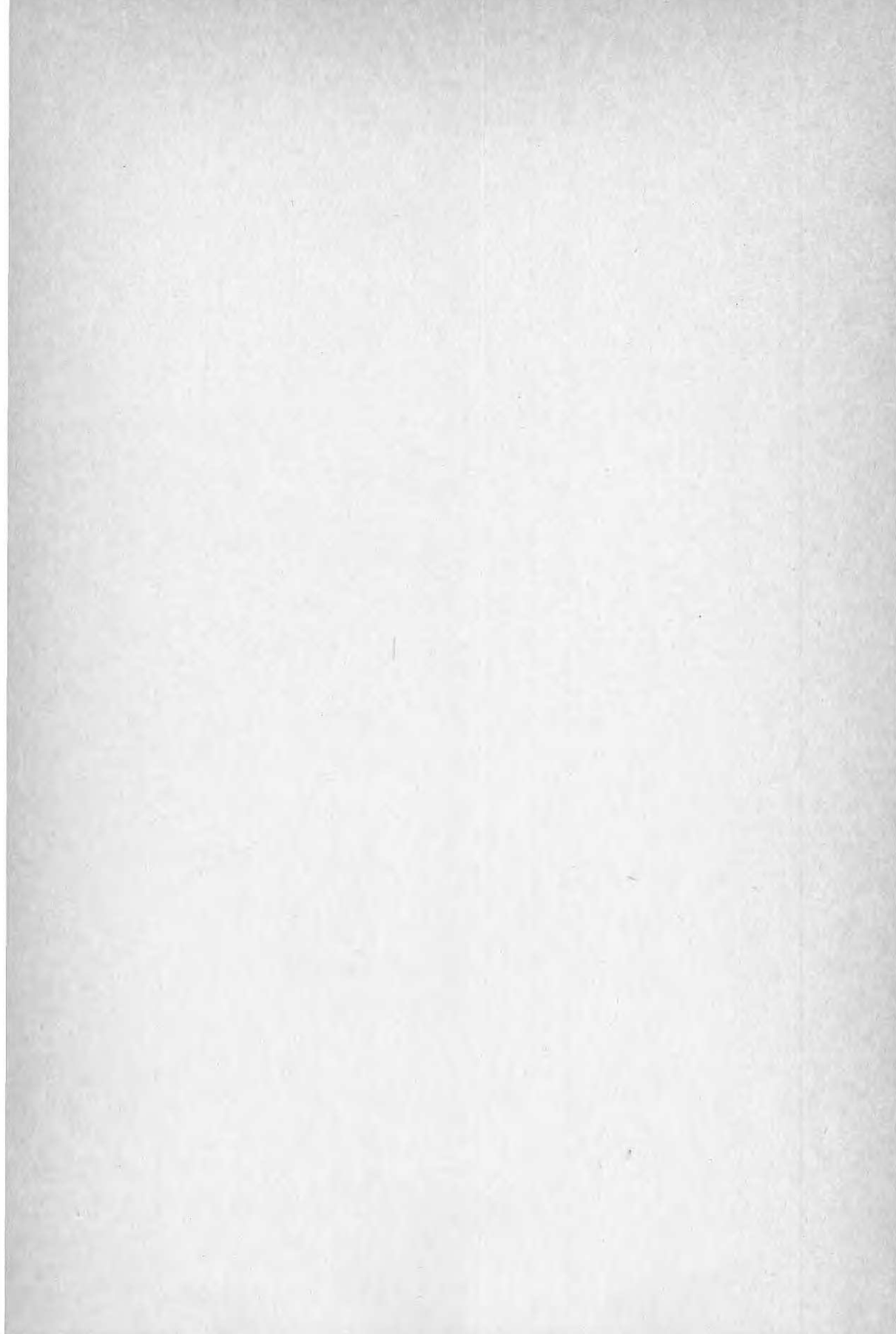
Figur 4.17 Prestanda hos LTSF resp HTSF.



Figur 4.18 Temperaturförhållanden vid start av LTSF, 1981-07-11.
LTSF inkopplad till zon B + zon C. Omsättningstid: ca 23 min.







Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
810759-2 från Statens råd för byggnadsforskning
till Sunstore KB, Nyköping.

R32:1983

ISBN 91-540-3889-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700732

Abonnementsgrupp:
W. Installationer

Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm

Cirkapris: 25 kr exkl moms