



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**

**R61:1986**

# **Solvarmeanlæg til enfamiliehuse**

## **Brugsvand og rumopvarmning**

**Klaus Ellehauge  
Poul E Kristensen  
Göran Hultmark**

K/O  
/A

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

**Byggeforskningsrådet**

R61:1986

SOLVARMEANLAEG TIL ENFAMILIEHUSE

Brugsvand og rumopvarmning

Klaus Ellehauge  
Poul E Kristensen  
Göran Hultmark

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 831401-8  
från Statens råd för byggnadsforskning till AB Andersson  
& Hultmark, Göteborg.

## REFERAT

Syftet med uppgiften har varit att på Laboratoriet vid Danmarks Tekniska Högskola testa ett solvärmsystem för villor som både värmer villan och tappvarmvattnet. Ett komplett system har utförts och en villas förbrukningar har simulerats. Det system som har testats har som basidé att man haft en s k tekniktank där meningen var att den skulle produceras på fabrik. Till detta tekniktank, som kan ha en måttlig volym, kan man sedan platsbygga en större volym helt utan avancerad utrustning.

Anläggningen har körts utomhus under 7 veckor. Veckovisa värmebalanser för provperioden presenteras i rapporten. Flera komponent- och systemparametrar har uppmätts: solfångarens verkningsgrad, lagrets förluster, samspel mellan tekniktank och lager, värmeväxlarens effektivitet, värmeöverföring mellan vattnet i lagret och bruksvattnet. Rapporten avslutas med en genomgång av möjliga utvecklingslinjer.

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

R61:1986

ISBN 91-540-4587-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1986

## I n d h o l d s f o r t e g n e l s e

	Side
<b>0. Forord</b>	1
<b>1. Indledning</b>	2
1.1 Hovedidé	2
1.2 Anvendelsesmuligheder	3
<b>2. Resumé og konklusion</b>	5
<b>3. Beskrivelse af solvarmeanlægget</b>	7
3.1 Anlæggets opbygning	7
3.2 Anlæggets funktion	9
3.3 Anlæggets komponenter	11
3.3.1 Solfangeren	11
3.3.2 Solfangerkreds	13
3.3.3 Lagertank	13
3.3.4 Rumvarmekreds	16
3.3.5 Brugsvandskreds	19
<b>4. Beskrivelse af de udførte målinger</b>	20
4.1 Målesystemet	20
4.2 Måleparametre	23
4.3 Måleperioder	25
4.4 Vurdering af målinger	25
4.4.1 Varmebalancer	26
4.4.2 Solfangerens effektivitet	38
4.4.3 Solvarmelagerets varmetab og varmekapacitet	38
4.4.4 Varmevexlere	40
4.4.5 Overførsel af varme mellem de to lagertanke.	41
4.5 Vurdering af årsudbytter	47
<b>5. Videreudvikling af anlægstypen</b>	50
5.1 Udvikling af anlægsidéen	50
5.2 Dimensionering og materialevalg	54
<b>Referenceliste</b>	56



## 0. Forord

Indenfor området aktive solvarmeanlæg kan der afgrænses en anlægstype, som primært finder anvendelse i enfamiliehuse, og hvor solvarmeanlægget leverer såvel varmt brugsvand som rumopvarmning. Der er tale om anlæg med korttidslager og anlægget skal derfor suppleres af et back-up system baseret på olie, el eller træ.

Denne rapport beskriver resultaterne af et projekt til videreudvikling af denne anlægstype: solvarme til brugsvand og rumopvarmning med korttidslager.

Det aktuelle solvarmeanlæg er udviklet og produceret af A.B. Andersson & Hultmark, Göteborg, med civilingeniør Göran Hultmark som projektleder. Desuden har civilingeniør Anders Bernstål og civilingeniør Jonas Gråsslund, Andersson & Hultmark, deltaget i projektet.

Anlæggets drift og ydelse er blevet testet på Laboratoriet for Varmeisoleringens prøvestand for solvarmesystemer, beliggende på Danmarks Tekniske Højskole, Lyngby København. På Laboratoriet for Varmeisolering (LfV) har civilingeniør Nick Bjørn Andersen været ansvarlig for målingerne.

Måleprogrammet er blevet planlagt og udført i et samarbejde imellem Andersson & Hultmark, Laboratoriet for Varmeisolering samt Esbensen & Korsgaard, rådgivende civilingeniører, København. Esbensen & Korsgaard har derudover ydet konsulentarbejde til Andersson & Hultmark vedrørende visse detaljer i solvarmeanlæggets opbygning.

Vurdering af måleresultaterne er udført af Esbensen & Korsgaard ved akademiingeniør Poul E. Kristensen og civilingeniør Klaus Ellehauge.

Projektet er finansieret af Byggeforskningsrådet, Stockholm.



## 1. Indledning

Solvarmeanlæg med korttidslager til enfamiliehuse vil under Svenske forhold kunne fortrænge 10-45% af energiforbruget til varmt brugsvand og rumopvarmning i et enfamiliehus i Sverige, jfr. reference (1). Variationen i ydelse fremkommer som følge af variation i placering i Sverige, hustype samt anlægsstørrelse (12-30 m<sup>2</sup> solfanger).

Solvarmeanlægget kan deles op i følgende hovedkomponenter: solfangeren, varmelageret samt øvrige komponenter såsom automatik, pumper, ventiler, varmevekslere m.v.

Praktisk montering af denne anlægstype, solvarmeanlæg med korttidslager, har hidtil bestået i at samtlige delkomponenter ankom til boligen, hvor anlægget så er blevet samlet.

En væsentlig del af den totale medgåede arbejdstid til anlægget kan henføres til montage af komponenter på stedet. Endvidere kan driftsforstyrrelser eller dårlig ydelse ofte henføres til at visse komponenter er monteret uhensigtsmæssigt eller forkert.

### 1.1 Hovedidé

Hovedidéen i dette projekt er at rationalisere arbejdet med montage af komponenter i solvarmeanlægget, idet de allerfleste komponenter monteres i en komponentunit på fabrik. Denne komponentunit indeholder: varmtvandsbeholder, automatik, varmevekslere, pumper, ventiler samt supplerende elforsyning.

Komponentuniten tilkobles ude på stedet et varmelager, som ikke indeholder nogen komponenter. Varmelageret er et traditionelt vandlager.



Arbejdet vedrørende montage af solvarmeanlægget på stedet er nu reduceret til: montering af solfangere, sammenkobling af komponentunit og varmelager, montering af rør imellem solfanger og komponentunit samt tilkobling af komponentunit til boligens brugsvands- og rumvarmesystem.

Rationaliseringen og industrialiseringen af komponentmontagen forventes såvel at medvirke til en reduktion i den totale anlægspris som en forbedret kvalitet af det færdige anlæg, med heraf følgende færre driftsproblemer og med heraf følgende højere ydelse.

## 1.2 Anvendelsesmuligheder

Det beskrevne anlæg tænkes primært anvendt i eksisterende villaer, hvor anlægget helt vil kunne erstatte det eksisterende fyringsanlæg.

I anlægget er indbygget supplerende varmforsyning i form af el, såvel til brugsvand som rumopvarmning. Den installerede eleffekt er så høj, at det totale varmebehov vil kunne dækkes af anlægget, også når der ikke er tilstrækkelig solenergi til rådighed.

Den samme udformning af komponent-uniten vil kunne tilpasses en vis variation i solfangerarealet, og tilsvarende vil en vis variation i volumen af det tilkoblede varmelager være mulig. To udgaver af installationsuniten vil derfor kunne dække hele det relevante spektrum af anlægsstørrelser til enfamiliehuse, fra 10 m<sup>2</sup> solfangerareal til ca. 30 m<sup>2</sup>.

Anlægsideen med sammenkobling af en installationsunit og et egentligt varmelager sigter mest på eksisterende huse, hvor såvel solfangeren som varmelageret skal have en vis størrelse. Anlægget vil dog også kunne finde anvendelse i forbindelse med nybyggeri.

## 2. Resumé og konklusion

I de følgende kapitler beskrives solvarmeanlæggets opbygning og komponenter samt de udførte målinger og vurderingerne heraf.

Anlægget er opført på solvarmeprøvestanden ved Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole.

Det består af 15 m<sup>2</sup> solfanger samt 2300 liter lagertank fordelt på en lille "tekniktank" på 314 liter som indeholder neddykket varmtvandsbeholder for varmt brugsvand og varmevekslere fra solfangerkreds og rumvarmekreds og på en stor lagertank på 1985 liter.

De to lagertanke er forbundet med 3 rør i 3 højder, således at vandet kan selvcirkulere mellem de to tanke.

De to tanke har været anbragt under fælles isolering sammen med anlæggets øvrige komponenter (pumper, ventiler, ekspansion m.m.)

Målingerne på anlægget har fundet sted i perioden 23. april til 30. juni 1984. Anlægget har været monteret på Laboratoriet for Varmeisoleringens Solar Pilot Test Facility (solvarmesystemprøvestand). På denne prøvestand kan der udføres detaljerede målinger som udskrives som timeværdier samtidig med at belastningen af anlægget styres udfra målte vejrparametre. I perioden har der både været tappet varmt vand til brugsvand samt varme til rumopvarmning.

Udfra målingerne er der optegnet varmebalancer samt foretaget vurderinger af en række anlægsparametre såsom solfangereffektivitet, varmetab og varmekapacitet for lagertank samt varmevekslereffektiviteter.

Vurderingerne giver anlægsparametre som forventet. Endvidere er overførslen af varme mellem de to tanke vurderet.

Konklusionen heraf er at temperaturstratificeringen, som opbygges i den lille "tekniktank", overføres til den store tank ved selvcirkulation af lagervandet. Forskellen mellem temperaturerne i samme højde i de to tanke er for størstedelen af tiden mindre end  $4^{\circ}\text{C}$ .

Det må derfor vurderes, at anlæggets ydelse ikke vil være nævneværdigt formindsket i forhold til anlæg opbygget med én lagerbeholder. Sådanne anlægs ydelse er beskrevet i ref. 1, og vil f.eks. for et  $15\text{ m}^2$  anlæg, anbragt i et eksisterende  $120\text{ m}^2$  hus være mellem 200 og  $250\text{ kWh/m}^2$  solfanger alt efter hvor anlægget er placeret i Sverige samt variationer iøvrigt i forbruget.

Endelig er der sidst i rapporten anført forslag til videreudvikling af det afprøvede solvarmeanlæg.

En sådan videreudvikling kunne foregå udfra to linier: anlægsidé/principiel udformning og materialevalg/dimensionering.

Udfra anlægsidéen diskuteres hvorledes anlægget kan videreudvikles til at indgå i forskellige driftssituationer, f.eks. med akkumulation af billig nat-elvarme i lagertankene samt hvorledes anlægget kan udformes for at sikre størst mulig præfabrikation af anlægget.

Med hensyn til materialevalg diskuteres anvendelserne af plast og rustfrit stål som mulige materialer til en forbedret anlægsøkonomi.

Det skal sluttelig bemærkes, at fremstilling af solvarmeanlæg til brugsvand og rumopvarmning efter de opstillede retningslinier anses for at være meget attraktiv, og at idéen med en færdigfremstillet "tekniktank" anses for at være fremtiden indenfor denne anlægstype. Der skal dog eksistere et marked, der er større end det er tilfældet i dag, for at en lønsom produktion af tekniktanke kan startes.

### 3. Beskrivelse af solvarmeanlægget

#### 3.1 Anlæggets opbygning

Opbygningen af solvarmeanlægget fremgår af principdiagrammet på figur. 1.

Solvarmeanlægget er beregnet til opvarmning af varmt brugsvand og til rumopvarmning.

Solvarmeanlægget består af følgende hovedkomponenter.

Solfanger: 15 m<sup>2</sup> (6 elementer á 2,5 m<sup>2</sup>) 1 lag glas  
+ teflonfolie, selektiv absorber.

Lagertank: består af en mindre "teknik tank" hvor varmtvandsbeholder, varmevekslere m.m. er samlet, samt en større tilkoblet lagertank.

Lille tank: 314 liter

Stor tank: 1985 liter

Varmt brugsvandstank: neddykket i lille lagertank: 164 liter volumen.

Solfanger-primærkreds: Vand-glucolblanding.

Varmeveksler nederst i "teknik tank".

Cirkulationspumpe, som styres af differens-termostat.

Kreds for rumopvarmning: Varmeveksler midt i tekniktank.

El-varmelegeme som supplementsvarme tilkoblet på fremløbsledningen.

Fremløbstemperatur styres af 4-vejsventil.



El-varmeplade øverst på "tekniktank" til supplementopvarmning af varmt brugsvand.

Kabinet: "Tekniktank" samt stor lagertank + ventiler, pumpe m.v. er anbragt under fælles isolerende kabinet.

Af speciel interesse i solvarmeanlægget er opbygningen af lagertanken i to enheder. Ved at samle "teknikken" i forbindelse med den ene lille tank opnås en enklere og mere fleksibel installation, og tekniktanken vil kunne fremstilles på fabrik.

De to tanke er forbundet med 3 rør i forskellig højde, og varmen overføres mellem tankene ved naturlig cirkulation.

Det har især interesse i nærværende projekt at undersøge, hvorledes de to tanke arbejder sammen.

### 3.2 Anlæggets funktion

Solfangerkredsens pumpe styres på sædvanlig vis med en differenstermostat med følerne anbragt henholdsvis i solfangeren og i bunden af lagertanken.

Når temperaturen i solfangeren er varmere end temperaturen i bunden af lagertanken startes cirkulationspumpen og der afsættes varme i lagertanken via spiralvarmeveksler.

Solfangerens varmeveksler er anbragt nederst i lagertanken af hensyn til at udnytte lagertankens temperaturlagdeling, idet solfangeren derved kører med lavest mulig driftstemperatur. Herved sikres størst mulig ydelse.



Varme til rumopvarmning udtages via en spiralvarmeveksler, som er anbragt over solfangerens varmeveksler (se figur nr. 1). Varmeveksleren er således anbragt i den midterste trediedel af lagerbeholderen. Fremløbstemperaturen til rumvarmesystemet reguleres ved en 4-vejs shuntventil, som kan blande vand fra varmelageret med returvand eller vand fra elpatronen, således at den ønskede fremløbstemperatur opnås.

Det varme brugsvand opvarmes i brugsvandsbeholderen, som er cylindrisk og neddykket i den lille "teknik lagertank".

Brugsvandstanken strækker sig i hele lagertankens længde, og den har indtag af koldt brugsvand i bunden og udtag af varmt brugsvand i toppen. Når der tappes varmt brugsvand opbygges der således en temperaturlagdeling i tekniktanken, og denne lagdeling overføres til resten af lagerbeholderen.

Som skoldningssikring er indsat en shuntventil som iblander koldt vand, hvis brugsvandet i toppen af varmtvandsbeholderen overstiger de ønskede 50-60°C.

Såfremt der ikke er nok solvarme til at opvarme det varme brugsvand til en tilstrækkelig temperatur, sker der en eftervarmning via to elvarmeplader monteret på det øverste af "tekniktankens" sider. Elvarmepladerne er termostatstyrede, således at øverste trediedel af tekniktanken altid opretholdes på den ønskede brugsvandstemperatur.

Det er afgørende for solvarmeanlæggets funktion, at der kan overføres varme mellem de to lagertanke. Overførslen af varme forsøges sikret med 3 stk. 50 mm rør anbragt i 3 niveauer. (se figur 1).

Det øverste rør går fra toppen af den store lagertank til et niveau ca. 40 cm lavere i den lille tank. Herved holdes de øverste 40 cm af den lille beholder fri for udvekslingen mellem de to tanke, og dette vandvolumen holdes på en konstant temperatur (ca. 50°C) ved hjælp af el-varmeplader til eftervarmning af brugsvandet.

De øvrige to rør forløber vandret imellem de to tanke.

Om varmen i det øverste volumen i den store lagertank kan nyttiggøres vil afhænge af temperaturforholdene i de to tanke. (se herom senere).

### 3.3 Anlæggets komponenter

#### 3.3.1 Solfangeren

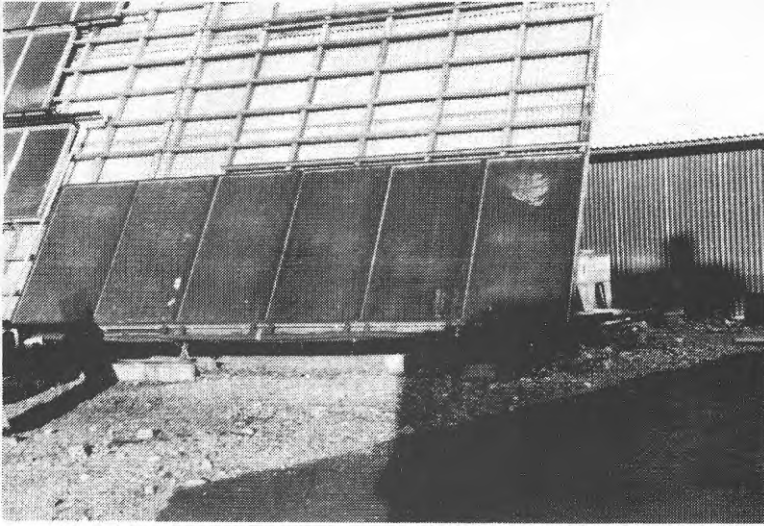
Solfangeren er af mærket Scandinavian ST (som nu hedder Teknoterm ST).

Der er benyttet 6 elementer, som hver er på 2,5 m<sup>2</sup> transparent areal. D.v.s solfangerarealet er ialt på 15 m<sup>2</sup>.

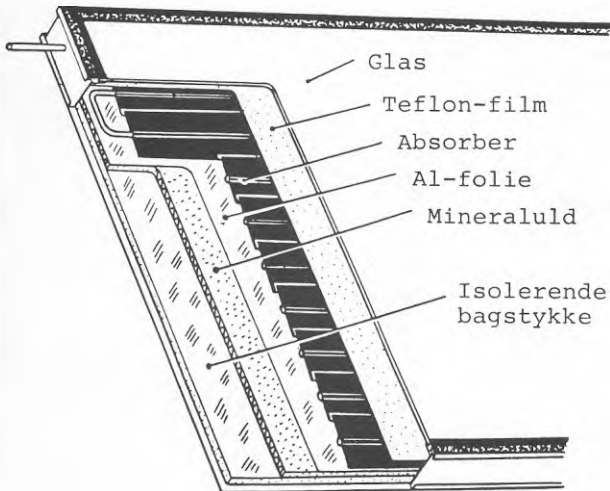
Elementerne er opbygget med en aluminiumsramme med et dæklag af glas og et dæklag af teflonfolie.

Solfangerabsorbereren er opbygget af seriekoblede kobberstrips med selektiv overflade.

Opbygningen af solfangeren er vist på figur 2. Solfangeren har en god effektivitet, som er vist på figur 12, hvor såvel måleresultater fra Statens Prøvningsanstalt som måleresultater fra dette projekt er vist.



Figur 2a Solfangeren monteret på prøvestation på Danmarks Tekniske Højskole.



Figur 2b Tegning af solfanger.

### 3.3.2 Solfangerkreds

Varmen overføres fra solfangeren til lagertanken via et rør-system og en spiralvarmeveksler i lagertanken. Som varmemedium benyttes vand/glucol-blanding. På grund af solfangernes montage udenfor prøvestandshuset er der forholdsvis lange forbindelsesrør mellem solfangeren og lagertanken. (ca. 30 m).

Rørene er isoleret med 50 mm Armaflex.

Væsken cirkuleres med en Grundfos cirkulationspumpe som styres af en differenstermostat med følerne anbragt i solfangeren og i bunden af lagertanken.

Solfangerkredsen er lukket og er monteret med en trykekspansionsbeholder.

### 3.3.3 Lagertank

Lagringen af solvarmen sker i to tanke, som er koblet sammen via 3 rør, således at varmen kan overføres imellem de to beholdere ved selvcirkulation.

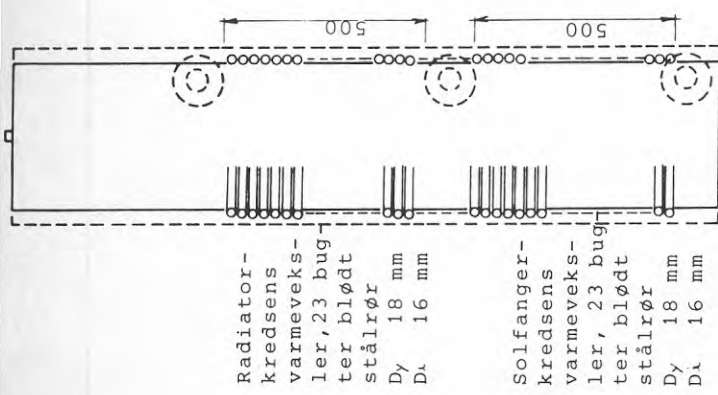
Tankene har dimensionerne 430x430x1700 mm og 1050x1050x1800 mm hvilket giver volumenerne henholdsvis 314 liter og 1985 liter eller ialt 2300 liter.

I den lille tank, som her kaldes "tekniktanken", er samlet varmevekslere for solfangerkredsen og rumvarmekredsen samt er neddykket cylindrisk varmtvandsbeholder med en diameter på 350 mm.

Tankenens opbygning fremgår af figur 3.

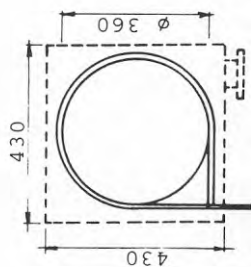
Lagerbeholderne er fyldt med vand. Der er ikke tryk i beholderne, og der er fri væskeoverflade i den store beholder.

Luften over væskeoverfladen står i forbindelse med en gummi-ballon, som er anbragt oven på tanken.

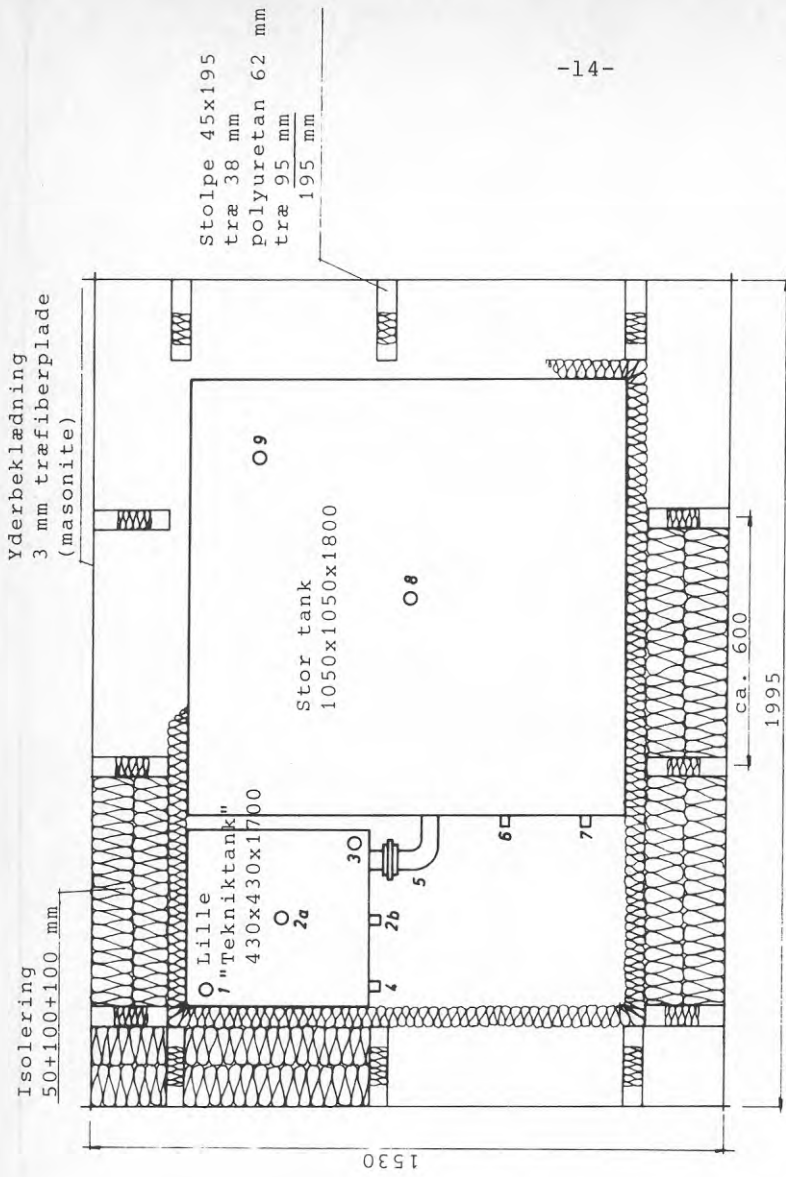


Radiator-  
kredsens  
varmeveks-  
ler, 23 bug-  
ter blødt  
stålrør  
Dy 18 mm  
D<sub>1</sub> 16 mm

Solfanger-  
kredsens  
varmeveks-  
ler, 23 bug-  
ter blødt  
stålrør  
Dy 18 mm  
D<sub>1</sub> 16 mm



Lille "Tekniktank"  
(430x430x1700)



Yderbeklædning  
3 mm træfiberplade  
(masonite)

Isolering  
50+100+100 mm

Stolpe 45x195  
træ 38 mm  
polyuret 62 mm  
træ 95 mm  
195 mm

O 9

Stor tank  
1050x1050x1800

O Lille  
"Tekniktank"  
430x430x1700

O 2a

30

2b

4

5

6

7

1530

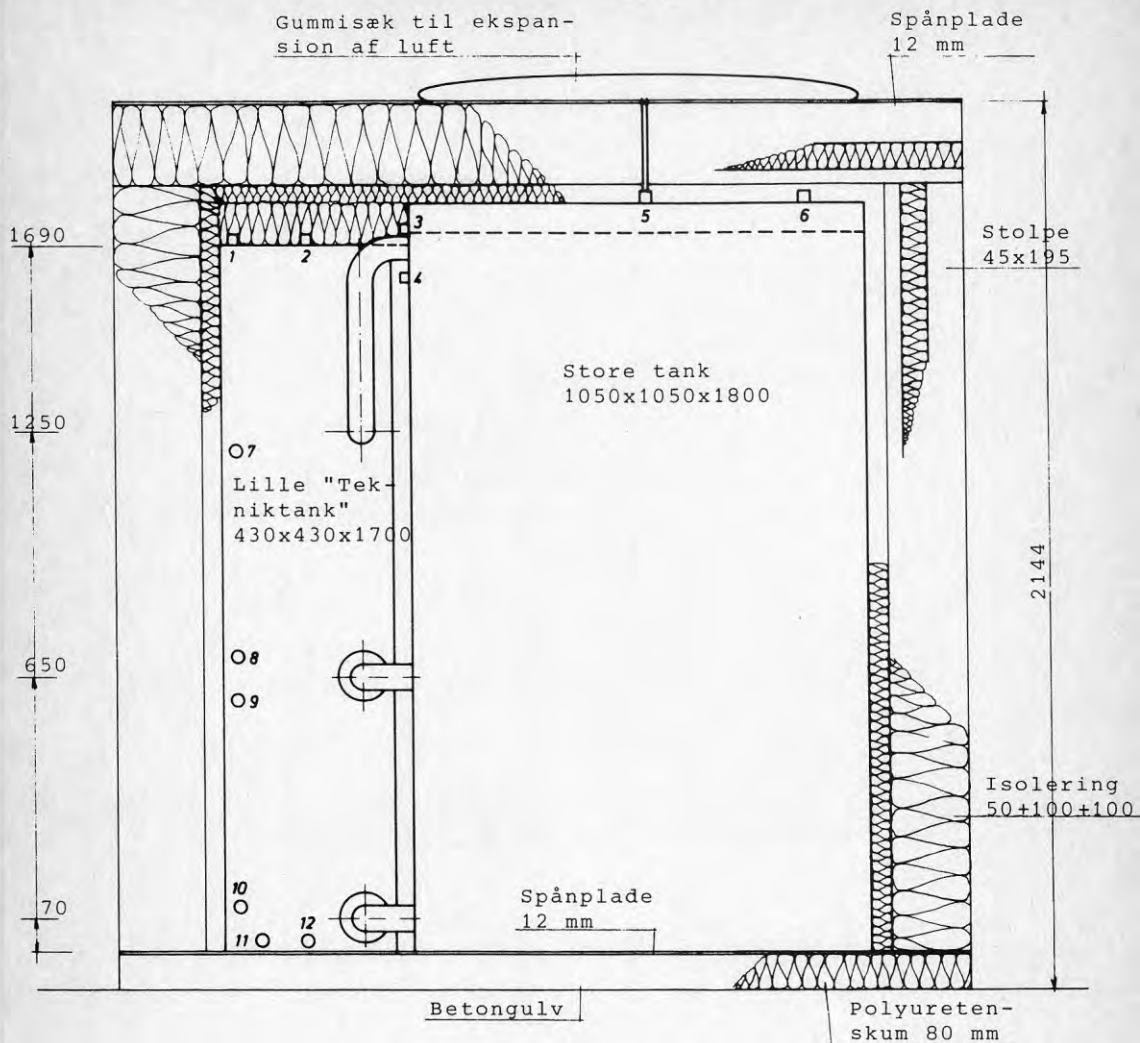
ca. 600

1995

PLAN

1. Termometer
- 2a. Varmtvandsudløb
- 2b. Koldt tvandsudløb
3. Udluftning
4. Ind- og udløb for samtlige varmeveksler forbindelser
5. Rør til selvcirkulation DN 50
6. Udløb, øverste vandstand
7. Termometer
8. Expansion
9. Termometer

Figur 3a Lagertankene.



- |                             |                           |
|-----------------------------|---------------------------|
| 1. Termometer               | 7. Udløb radiator kreds   |
| 2. Varmtvandsudløb          | 8. Indløb radiator kreds  |
| 3. Udløb, øverste vandstand | 9. Indløb solfanger kreds |
| 4. Termometer               | 10. Udløb solfanger kreds |
| 5. Expansion                | 11. Aftapning             |
| 6. Termometer               | 12. Koldt vands indløb    |

Figur 3b Lagertankene.



Volumenændringer, som følge af temperatursvingninger, optages således i gummiballonen, og ilttilførslen til varmelageret reduceres til et minimum.

På det givne anlæg er gummiballonen anbragt ovenpå isoleringen, hvilket vil give anledning til et vist varmetab. Hvis varme-transporten kun sker via luft i forbindelsesrøret, vil denne varmetransport være lille, men ved fordampning og kondensation af vanddampe kan transporten blive større.

Den øverste del af tekniktanken opvarmes af elvarmeplader, som er fastgjort uden på tanken med varmeledende pasta.

Som det fremgår af fig. 3 er tankene placeret i et isolerede "hus" opbygget af "Termolægter" og beklædt med træfiberplader. Husets vægge er isoleret med 250 mm mineraluldsisolering medens "gulvet" består af 80 mm polyurethanskum.

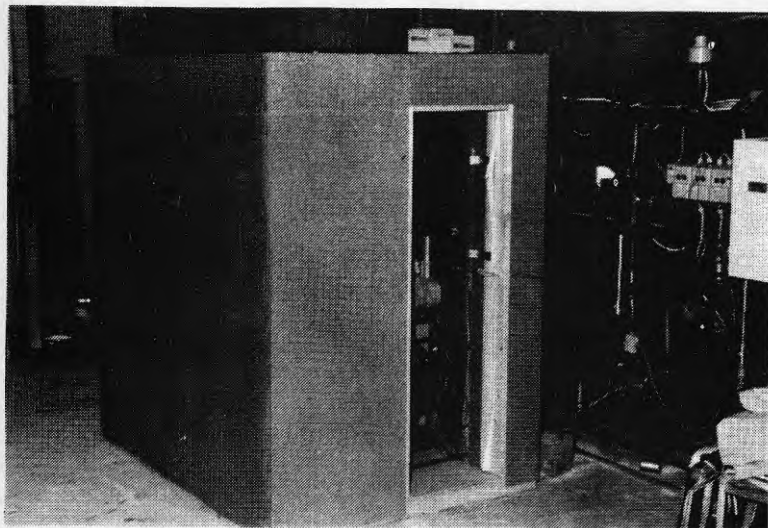
I det isolerede teknikrum er pumper, ventiler, ekspansionsbeholder m.v. anbragt.

Adgang til teknikrummet opnås via en dør i isoleringen, se figur 4 og 5.

#### 3.3.4 Rumvarmekreds

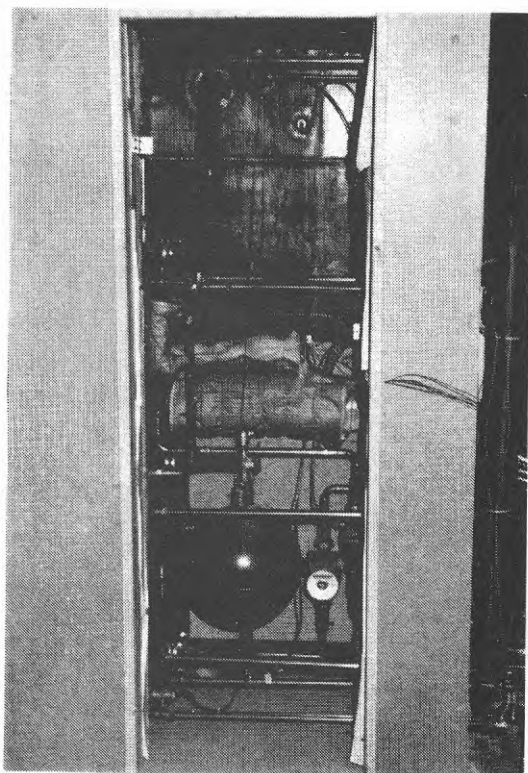
Varmen til rumvarmen aftappes fra den lille tank, "tekniktanken", via en varmeveksler bestående af ca. 27 meter blødt stålrør,  $D_y = 18$  mm og  $D_i = 16$  mm, som er bukket i en spiral omkring den cylindriske varmtvandsbeholder. I rumvarmekredsen er der indsat en cirkulationspumpe samt en 4 vejs shuntventil via hvilken fremløbstemperaturen styres.





Figur 4 Lagertanken opstillet i prøvestanden  
på Danmarks Tekniske Højskole.

Dør til teknikrummet er ikke monteret.



Figur 5    Teknikken er samlet i et rum ved siden af den lille "teknik tank".

På billedet ses ekspansionstank, cirkulationspumper m.m.

Shuntventilen fungerer på den måde, at den primært udkobler vand fra solvarmetanken, men såfremt dette ikke er varmt nok indkobles el-opvarmet vand fra en parallelstreng i anlægget (se figur nr. 1).

Såfremt vandet fra varmelageret er for varmt indkobles returvand fra radiatorssystemet.

Shuntventilen er af fabrikat ESBE type BIV.

Fremløbs- og returledningen er på det målte anlæg tilsluttet målestandens interface, som regulerer aftapningen udfra simulering af et radiatorssystem.

### 3.3.5 Brugsvandskreds

Det varme brugsvand opvarmes i den cylindriske brugsvandsbeholder, som er neddykket i "tekniktanken". Beholderen har en diameter på 350 mm og strækker sig i hele "tekniktanken"'s længde (se figur nr. 3).

Den har således et volumen på ca. 160 liter, som indgår i det samlede lagervolumen. Det kolde brugsvand ledes ind i bunden af tanken, og det varme brugsvand aftappes fra toppen af beholderen. Herved vil der kunne opbygges en temperaturstratificering i brugsvandsbeholderen.

Denne stratificering vil interferere med temperaturstratificeringen i "tekniktanken", dannet via tapningen af rumvarme.

Generelt vil de to temperaturstratificeringer indebære, at der opnås lavest mulige temperaturer i beholderens nederste del omkring solfangerkredsens varmeveksler, således at driftstemperaturen for solfangeren holdes så lavt som muligt.

Som tidligere nævnt er brugsvandskredsen endvidere forsynet med en skoldningssikring i form af en shuntventil type ESBE serie 20.

#### 4. Beskrivelse af de udførte målinger

##### 4.1 Målesystemet

Målingerne er udført på den danske "SPTF" (Solar Pilot Test Facility) placeret ved Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole, København. (Se figur nr. 6).

SPTF'en kan anvendes til test af fuldskala solvarmeanlæg, såvel brugsvandsanlæg som kombinerede anlæg til rumopvarmning og til opvarmning af varmt brugsvand.

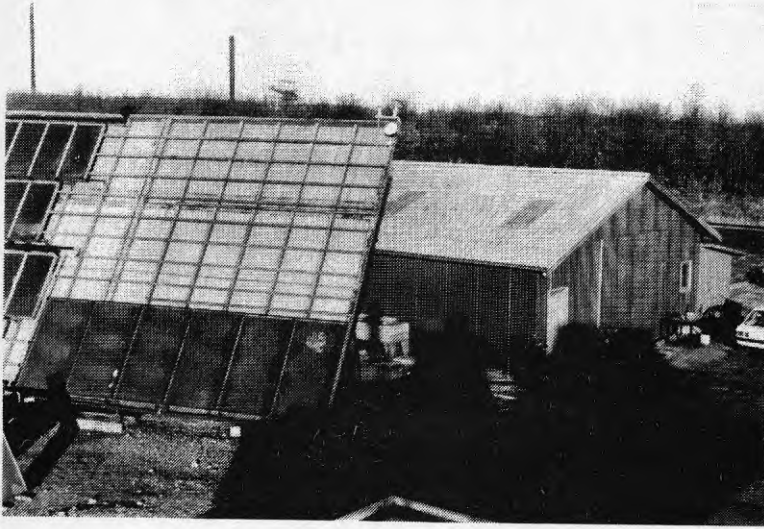
SPTF'en er opført i 1979 som led i et fælleseuropæisk samarbejde omkring solvarme indenfor EEC.

Der er opført tilsvarende SPTF'er i syv andre europæiske lande og formålet var at levere måledata til brug for EDB-model simuleringsarbejde. Der er således lagt vægt på et fleksibelt og nøjagtigt målesystem.

SPTF'en består af et stativ til montering af solfangerne samt en bygning, hvor solvarmeanlæggets øvrige dele installeres. Der er plads til samtidig måling på to anlæg.

Det ene af disse anlæg har været fast siden 1979 og har været bestemt af EEC samarbejdet. Det andet anlæg har været udskiftet adskillige gange i perioden med henblik på eksperimentering med især solvarmeanlæg til rumopvarmning. SPTF arbejdet er beskrevet i reference 2.

Varmen fra solvarmeanlæggene tappes ved hjælp af SPTF'ens interface til en kølet vandbeholder eller vandet tappes direkte til afløb (det varme brugsvand).



Figur 6 Solvarmesystemprøvestanden (Solar Pilot Test Facility) ved laboratoriet for varmeisolerings, Danmarks Tekniske Højskole.

De 6 solfangerpaneler er monteret på stativet foran huset. Lagerbeholderen er opstillet i huset bagved.

Aftapningen af det varme brugsvand styres ved hjælp af et ur, medens den komplicerede aftapning af varme til rumopvarmning styres af SPTF'ens computer som indstiller flow og returtemperatur i interfacekredsen.

Flowet og returtemperaturen kan indenfor visse grænser indstilles således at et hvilket som helst varmebehov og varmeafgivelsessystem kan simuleres. Typisk simuleres f.eks. varmeafgivelsen i et radiatorsystem til f.eks. et énfamilies parcelhus.

Parcelhusets varmebehov simuleres i en model i SPTF's computer ud fra øjeblikkeligt målte parametre som f.eks. solindfald, udetemperatur m.m. SPTF'ens computer fungerer således både som dataopsamlingsenhed (måledata) og som styrings- og simuleringsenhed (styring af interface), simulering af varmebehov i f.eks. parcelhus).

SPTF'ens måle- og styringssystem er opbygget af en HP 9825 A computer anvendt som styre- og kontrolenhed. Ved hjælp af scanner (HP 3495 A) og voltmeter (HP 3455 A) opsamles data på op til 80 kanaler hvert 20. sekund. Hver halve time bliver middelværdier for temperaturer, flow og energimængder lagret på magnetbånd på en båndstation (Penny & Giles 2100 D). Herfra indlæses data på NEUCC (Danmarks Tekniske Højskole's centrale EDB-anlæg) til videre analyse og behandling.

Temperaturerne måles med kobberkonstantan termoelementer af bedste kvalitet (type TT). Temperaturdifferenserne måles med termoelementsøjler med 10 elementer i hver søjle. Dette giver en nøjagtighed på temperaturmålingerne på  $0,10^{\circ}\text{C}$  for temperaturdifferenserne og på  $0,35^{\circ}\text{C}$  for de absolutte temperaturer.

Væskeflow måles med ringstempelålere af fabrikat Aqua-Metro med en nøjagtighed på 1%.



Solstrålingen måle med Kipp & Zonen pyranometer med en nøjagtighed på 5%.

Energitransport beregnes i computeren på grundlag af flow, temperaturdifferenser, varmfylde og massefylde i de enkelte kredse.

Energiflow beregnes hvert 20. sekund og en middelværdi findes hver ½ time ved hjælp af følgende formel:

$$E = \frac{1}{N} \cdot \sum_{1}^N (\Delta T \cdot \rho \cdot c_p \cdot F) \quad (\text{kWh/h})$$

hvor

N = antal 20 sekunders intervaller, hvor flowet ikke er nul.

$\Delta T$  = Temperaturdifferensen i det N'te interval. ( $^{\circ}\text{C}$ )

F = Flow i det N'te interval ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$\rho$  = massefylden for den aktuelle væsketemperatur. ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$c_p$  = varmfylde for den aktuelle væsketemperatur.  
( $\text{kWh}/^{\circ}\text{C} \cdot \text{kg}$ )

#### 4.2 Måleparametre

De målte parametre på det afprøvede system fremgår af figur 7.



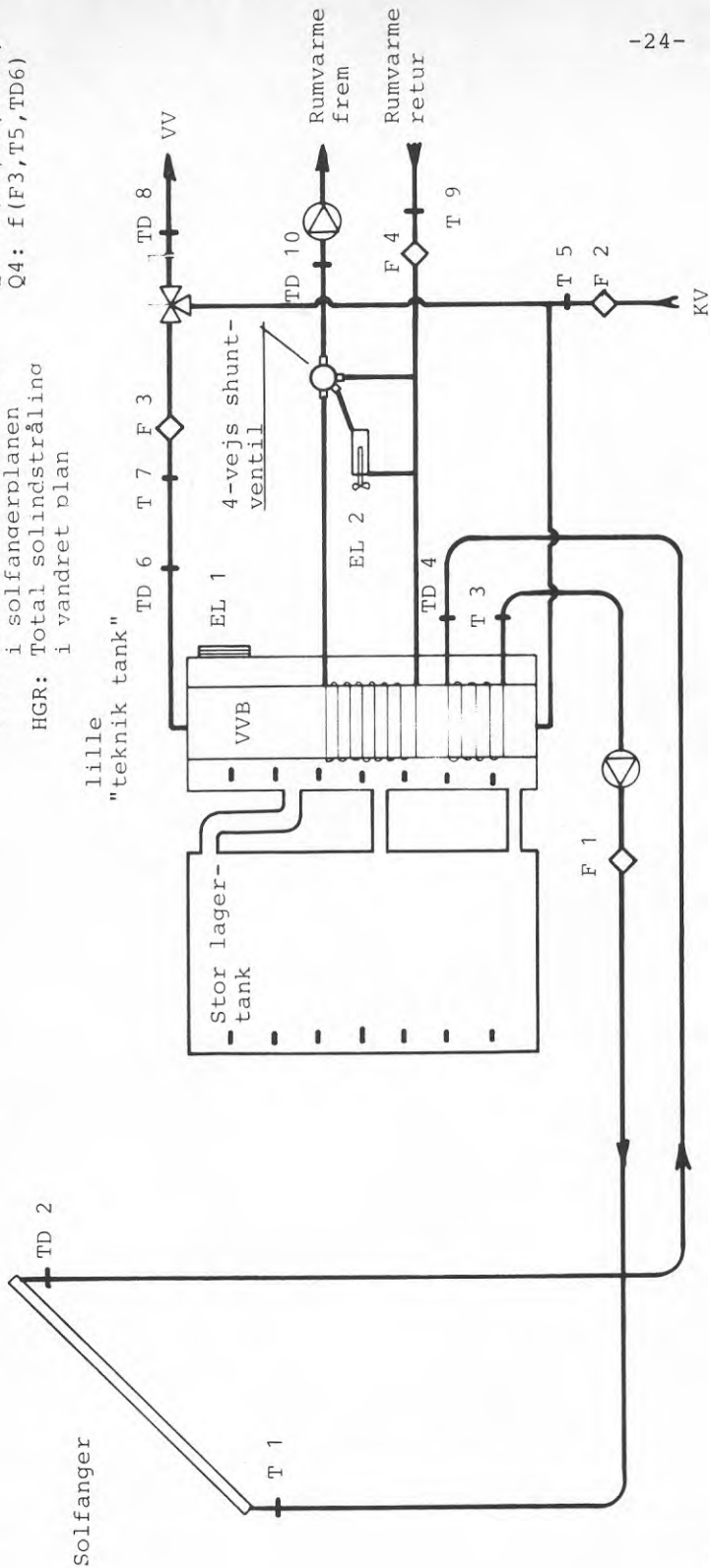
— Temperaturmålinger  
i begge tanke i 7  
niveauer

Vejrparametre:

AT: Udelufttemperatur  
KV: Vindhastighed  
CGR: Total solindstråling  
i solfangerplanen  
HGR: Total solindstråling  
i vandret plan

Varmestrømme:

Q1: f (F1, T1, TD2)  
Q2: f (F1, T3, TD4)  
Q3: f (F4, T9, TD10)  
Q4: f (F3, T5, TD6)



◇ Flowmåling  
+ Temperaturmåling  
EL Måling af el-forbrug

Figur 7 Solvarmeanlæg til rumopvarmning og brugsvand.  
Måleparametre.

#### 4.3 Måleperioder

Der har været målt i perioden 23. april 1984 til 30. juni 1984.

Perioderne	24. april kl. 16 til 23. maj kl. 23
samt	24. maj kl. 14 til 18. juni kl. 07

udgør sammenhængende måleperioder.

I resten af perioden har der i mindre perioder været udfald af enkelte målinger.

I slutningen af april og i begyndelsen af maj har der været perioder med klart vejr. I resten af måleperioden har der været enkelte dage med klart vejr.

#### 4.4 Vurdering af målinger

De udførte målinger danner grundlag for en række vurderinger af solvarmeanlægget.

Af størst interesse er vurderinger af, hvorledes lagerets specielle opbygning med to lagertanke har fungeret. Disse vurderinger er anført i afsnit 4.4.5.

Udover disse vurderinger, er der foretaget bestemmelser af en række anlægsparametre (solfangereffektivitet, varmetabskoefficienter m.m.) til belysning af anlæggets funktion iøvrigt.

Der er ikke foretaget EDB-simuleringer af anlægget til beregning af årsydelse.

Såfremt de væsentlige dele af anlægget viser sig at have tilfredsstillende funktion og ydelse vil der kunne forventes årsydelser som angivet i reference 1 for varierende anlægsstørrelser og -placeringer i Sverige.

De kritiske anlægsparametre til vurdering af, om ovenstående ydelser kan opnås er:

- Virkningsgrad for solfanger.
- Varmetab for varmelager.
- Samspil imellem tekniktank og varmelager.
- Effektivitet af varmevekslere.
- Varmeoverføring imellem vand i varmelageret og brugsvandet.

#### 4.4.1 Varmebalancer

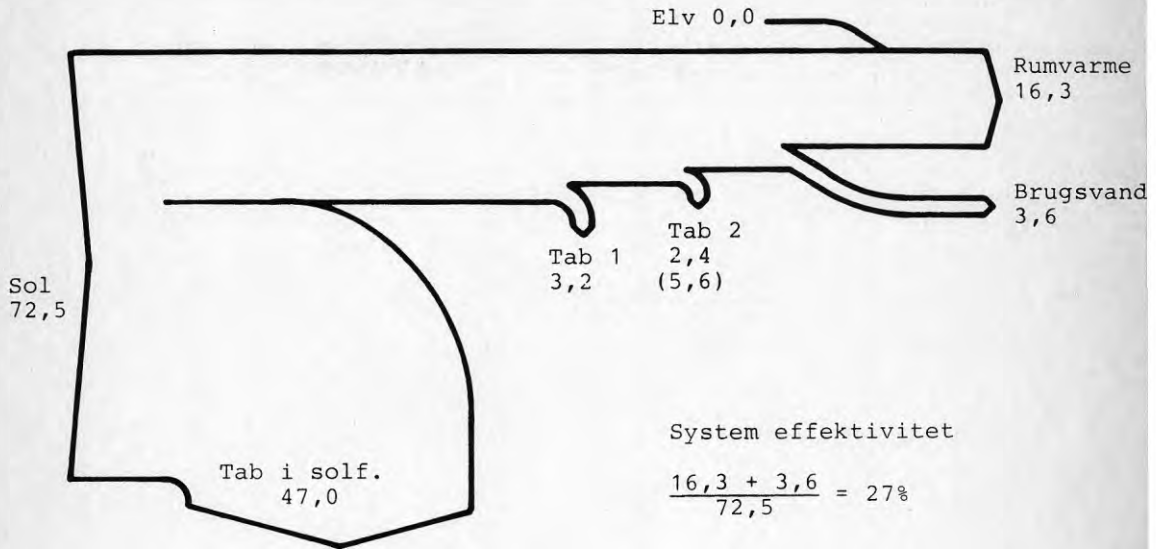
Som første belysning af måleresultaterne er anført varmebalancer og systemeffektiviteter for de uger, hvor der foreligger komplette målinger.

Varmebalancen er angivet på figur 8a til 8g.

Det fremgår, at anlægget har kørt med systemeffektiviteter mellem 21 og 28% som gennemsnit over ugen.

I figur 9 er angivet de ugentlige dækningsgrader for rumopvarmningen samt aftapningen af det varme brugsvand. Det ses, at der har været tappet varme til rumopvarmning i hele perioden. Dette er ikke realistisk, men har været nødvendigt af hensyn til at vurdere anlæggets funktion i måleperioden.

Endvidere er afgivet aftapningen af varmt brugsvand. I den første halvdel af måleperioden har der været aftappet omkring 70 liter pr. døgn fordelt ligeligt over 3 aftapninger kl. 07, kl. 13 og kl. 19.



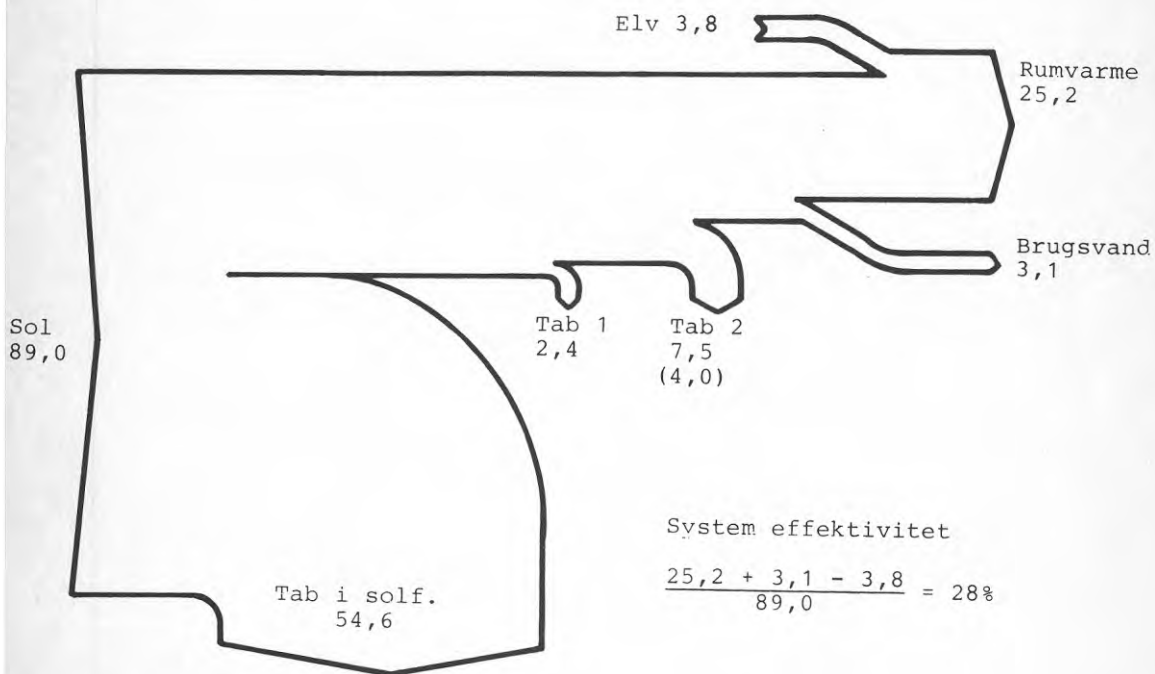
Tab 1: Tab i solfangerkreds

Tab 2: Øvrige tab (lagertank m.m.)

( ) : Beregnet varmetab fra lagertank

Værdier i kWh/døgn (middel over ugen)

Figur 8a Varmebalance uge 18, 30 april - 6 maj.



System effektivitet

$$\frac{25,2 + 3,1 - 3,8}{89,0} = 28\%$$

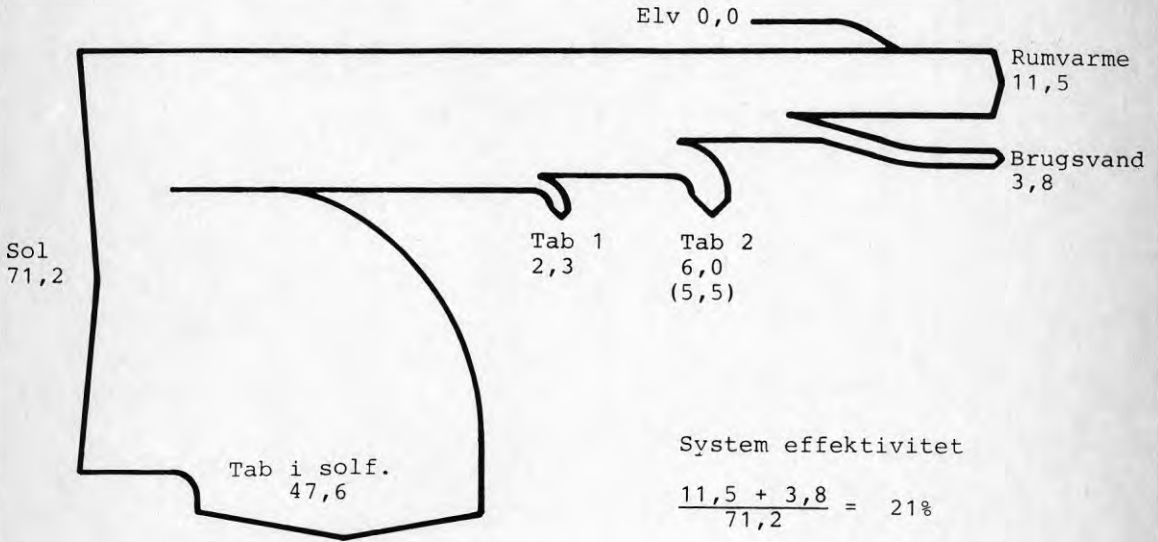
Tab 1: Tab i solfangerkreds

Tab 2: Øvrige tab (lagertank m.m)

( ) : Beregnet varmetab fra lagertank

værdier i kWh/døgn (middel over ugen)

Figur 8b Varmebalance uge 19, 7 maj - 13 maj.



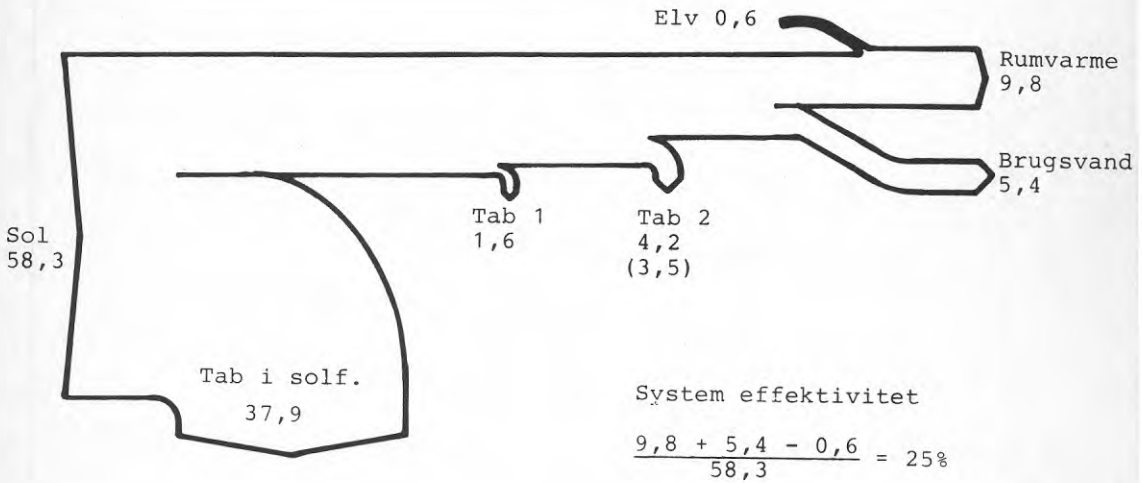
Tab 1: Tab i solfangerkreds

Tab 2: Øvrige tab (lagertank m.m.)

( ) : Beregnet varmetab fra lagertank

værdier i kWh/døgn (middel over ugen)

Figur 8c Varmebalance uge 20, 14 maj - 20 maj.



Tab 1: Tab i solfangerkreds

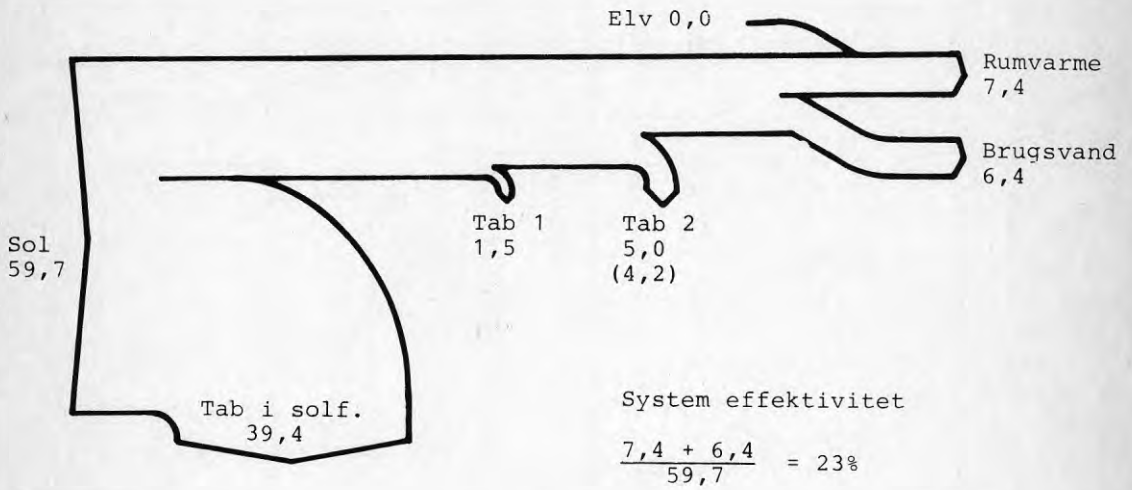
Tab 2: Øvrige tab (lagertank m.m.)

( ) : Beregnet varmetab fra lagertank

værdier i kWh/døgn (middel over ugen)

Figur 8d Varmebalance uge 22, 28 maj - 3. juni.





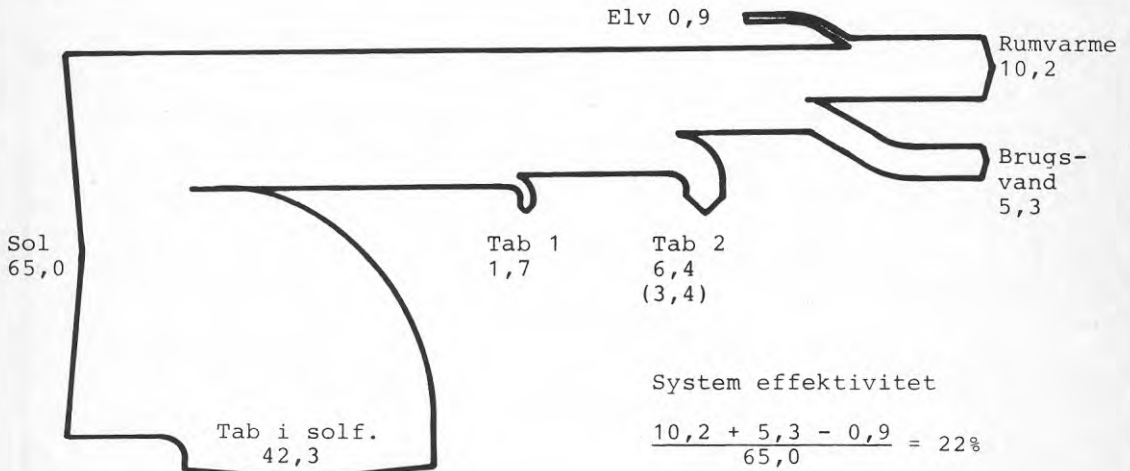
Tab 1: Tab i solfangerkreds

Tab 2: Øvrige tab (lagertank m.m.)

( ) : Beregnet varmetab fra lagertank

Værdier i kWh/døgn (middel over ugen)

Figur 8e Varmebalance uge 23, 4 juni - 10 juni.



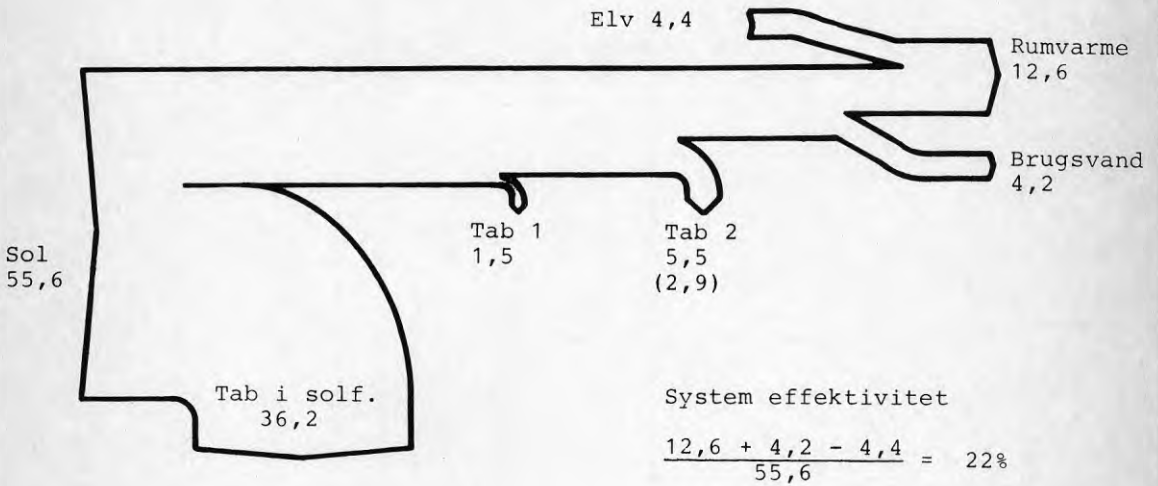
Tab 1: Tab i solfangerkreds

Tab 2: Øvrige tab (lagertank m.m.)

( ) : Beregnet varmetab fra lagertank

Værdier i kWh/døgn (middel over ugen)

Figur 8f Varmebalance uge 24, 11 juni - 17 juni.



Tab 1: Tab i solfangerkreds

Tab 2: Øvrige tab (lagertank m.m.)

( ) : Beregnet varmetab på lagertank

Værdier i kWh/døgn (middel over ugen)

Figur 8g Varmebalance uge 26, 25 juni - 1. juli.

Uge	RUMOPVARMNING						BRUGSVAND		
	Solvarme til rumopvarmning	El-tilskud	Rumvarme leveret	Rumvarme behov	Dækningsgrad: Solvarme til rumv./Rumvarmebehov	Brugsvand leveret	Vandmængde	Middel temperatur	
18	16,3	0	16,3	17,8	92%	3,6	66,2	59	
19	21,4	3,8	25,2	27,2	79%	3,1	68,3	52	
20	11,5	0	11,5	12,2	94%	3,8	71,3	59	
22	9,2	0,6	9,8	9,3	99%	5,4	132,9	49	
23	7,4	0	7,4	7,2	>100%	6,4	136,3	55	
24	9,3	0,9	10,2	9,6	97%	5,3	135,9	49	
26	8,2	4,4	12,6	11,6	71%	4,2	127,8	44	
	Middelværdi over ugen : kWh/døgn								
								Liter/døgn	°C

Figur 9 Solvarme til rumopvarmning og brugsvand.

I den sidste halvdel af måleperioden har aftapningen været sat op til ca. 130 liter pr. døgn ligeledes fordelt på 3 aftapninger.

Aftapningen har været uafhængig af tappetemperaturen som har ligget mellem  $36^{\circ}$  og  $68^{\circ}$ . I det meste af perioden har tappetemperaturen været omkring  $50-55^{\circ}\text{C}$ .

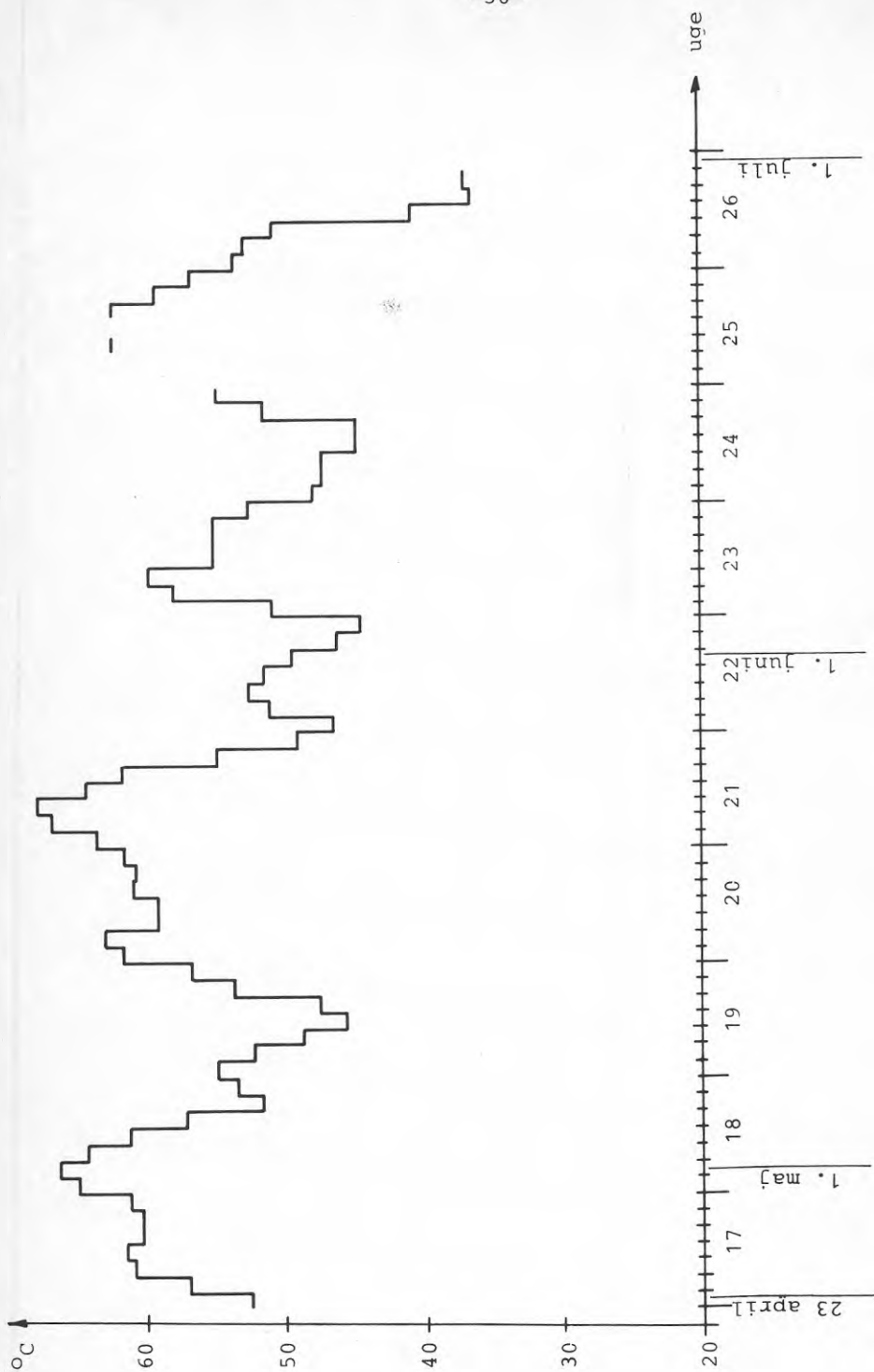
Aftapningen af varmt brugsvand har således ikke været helt realistisk, dels har den aftappede vandmængde i begyndelsen af perioden været lille (70 liter/døgn), dels har den aftappede varmemængde varieret som følge af den varierende tappetemperatur. Det skal dog noteres, at elvarmelegemet til supplerende af brugsvandet ikke har været tilkoblet.

Det skal her bemærkes, at målingerne hos SP udføres på ét modul, imedens de aktuelle målinger på DTH er udført for 6 stk. sammenkoblede solfangere. I målingerne på DTH er der således inkluderet varmetab fra de to manifolde, der sammenkobler elementerne.

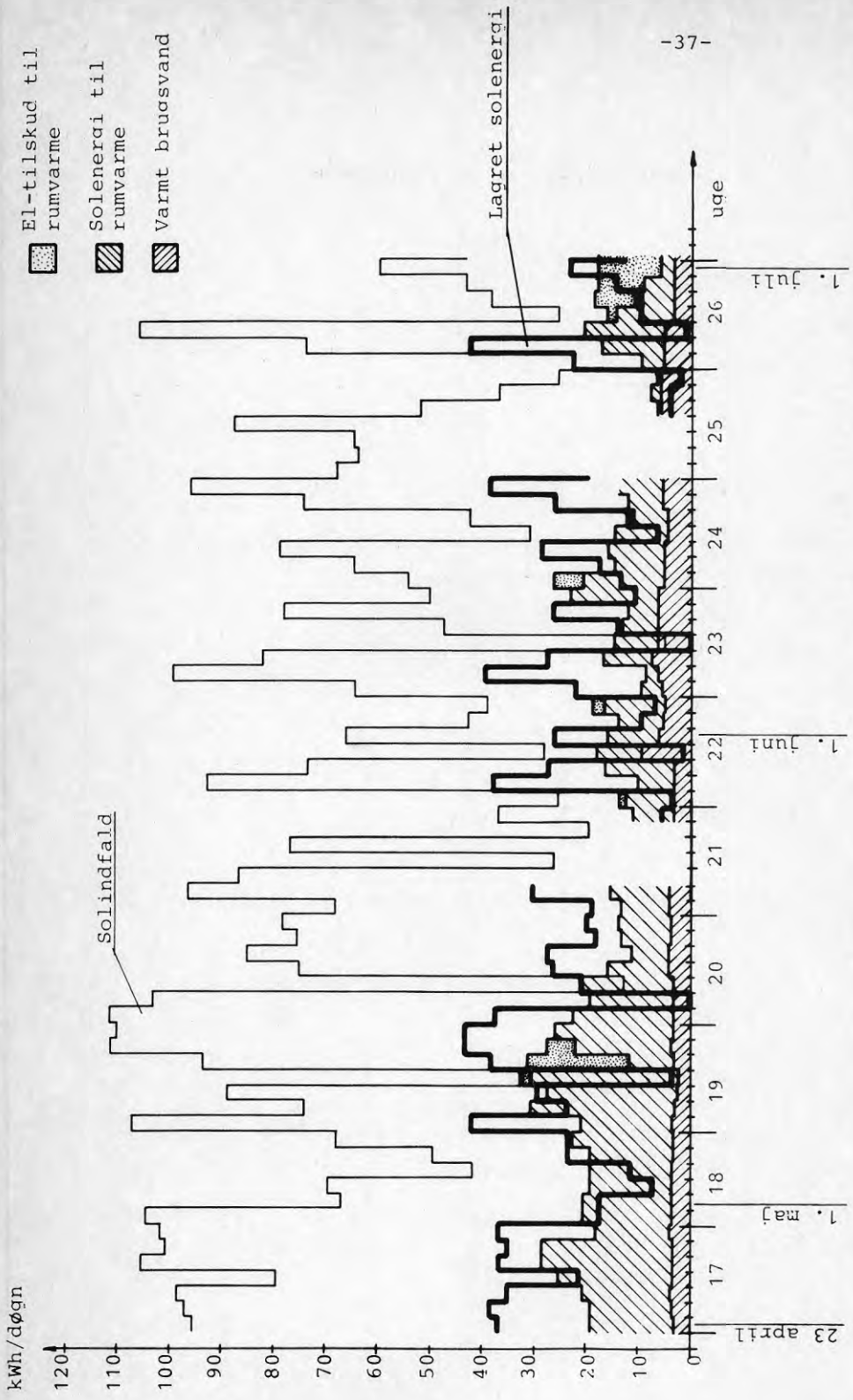
På figur 10 er vist en kurve over den daglige gennemsnitlige tappetemperatur. Kurven er også et udtryk for lagerets temperatur i toppen af den lille lagerdel, idet denne dog generelt har ligget et par grader over den målte tappetemperatur.

Aftapningen af rumvarmen er sket ved hjælp af den tidligere beskrevne ventil, som har reguleret fremløbstemperaturen.

På figur 11 er angivet de daglige middelværdier for solindfald samt lagret energi og energi leveret til rumopvarmning og til brugsvand. Endvidere er elvarme-tilskuddet vist. Der har kun været elvarmetilskud til rumopvarmningen, idet elvarmelegemet til brugsvandet ikke har været tilkoblet.



Figur 10 Tappetemperatur varmt brugsvand.



Figur 11 Solindfald - lagret energi - forbrug.



#### 4.4.2 Solfangerens effektivitet

Solfangerens effektivitetskurve er bestemt af Statens Prøvningsanstalt i Borås. Denne kurve er vist på figur 12, hvor den er optegnet med trekant-signatur.

På figur 12 er endvidere indtegnet måleværdier opnået ved dette projekt. Disse er vist med stjerner. Med fuld optrukket linie er vist en regressionskurve for de målte værdier. Det ses, at der er god overensstemmelse mellem effektivitetskurven og de i dette projekt opnåede effektiviteter.

#### 4.4.3 Solvarmelagerets varmetab og varmekapacitet

Solvarmelagerets varmekapacitet og varmetabskoefficient er blevet bestemt udfra målingerne til:

Varmekapacitet	9500 kJ/°C
Varmetabskoefficient	6,16 W/°C

Den målte varmekapacitet på 9500 kJ/°C svarer nogenlunde til den forventede varmekapacitet af vandindholdet på 2200 liter i lageret. (Den store tank er ikke helt fyldt med vand).

$$C = 2200 \text{ liter} \cdot 0,988 \text{ kg/l} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} = 9100 \text{ kJ/}^\circ\text{C}.$$

I den samlede varmekapacitet indgår endvidere en del af stål-tankene samt rør m.m.

Udfra den målte varmetabskoefficient kan der udregnes en effektiv isoleringstykkelse, hvorved forstås den isoleringstykkelse, som den målte varmetabskoefficient svarer til hvis der overhovedet ikke er kuldebroer.

Den således udregnede isoleringstykkelse bliver 104 mm mineraluld med varmeledningstallet 0,038 kcal/mh°K.

Dette skal sammenholdes med, at der i sider og top af lageret er benyttet 250 mm mineraluld, og i bunden er benyttet 80 mm polyurethanskum.



Ifølge hidtidige undersøgelser (ref. 3) er en effektiv isole-ringstykkelser på 104 mm tilstrækkelig til at lagertankens isoleringsgrad ikke influerer væsentligt på solvarmeanlæggets udbytte.

Alligevel må det konstateres, at en væsentlig del af solvarme-lagerets varmetab skyldes kuldebroer. I betragtning af, at isoleringen på det afprøvede anlæg i høj grad er udført uden kuldebroer, er det nærliggende at antage, at der har fundet et forholdsvis stort varmetab sted gennem ekspansionsgummi-sækken anbragt på toppen af beholderen.

Såfremt varmeoverførslen kun sker gennem luften vil varmeta-bet være teoretisk lille, men såfremt varmetransporten kan finde sted ved fordampning og kondensering af vanddamp vil varmetabet være større. Dette må antages at have fundet sted her. Ekspansionsgummisækken burde således være anbragt under isoleringen.

#### 4.4.4 Varmevekslerer

Det er afgørende for solvarmeanlæggets funktion at varmeover-førslen via varmevekslerne fra solfangeren til lagertanken og fra lagertank til brugsvand og rumvarme sker tilfredsstillende.

For solfangeren er overførslen ud fra målingerne fundet at ligge mellem 40 og 60  $W/^{o}C \cdot m^2$  solfanger. Dette må anses for værende tilstrækkeligt. Ifølge ref. 3 vil varmeoverførsler på over 25  $W/^{o}C m^2$  være tilfredsstillende medens varmeover-førsler mindre end 25  $W/^{o}C \cdot m^2$  vil influere afgørende på solvarmeanlæggets ydelse.

Varmevexleren til rumvarme kan ikke vurderes udfra målingerne idet temperaturerne til rumvarmen først er målt efter shuntven-tilen. Da varmeveksleren imidlertid er af samme størrelse som varmeveksleren til solfangerkredsen, kan der næppe være nogen tvivl om at varmevekslerkapaciteten har være tilstrække-lig.

Udfra målingerne må det ligeledes vurderes, at overførslen af varme til det varme brugsvand gennem den neddykkede varmtvandsbeholders væg har været tilstrækkelig.

Den aftappede temperatur af brugsvandet har typisk ligget 3-5°C under temperaturen i toppen af beholderen. Denne forskel må dog vurderes hovedsageligt at skulle tilskrives måletekniske årsager.

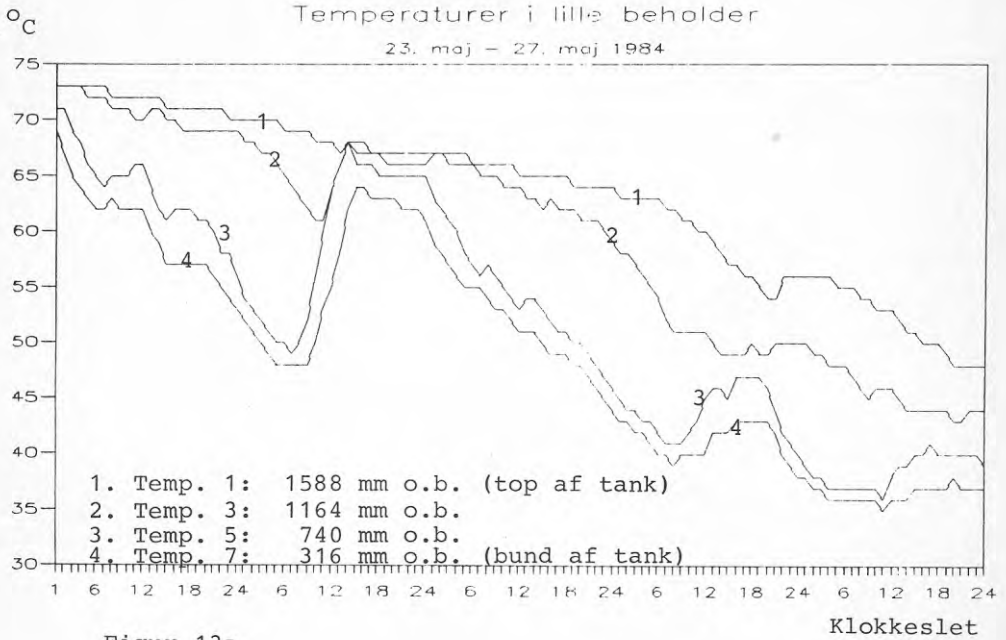
#### 4.4.5 Overførsel af varme mellem de to lagertanke

På figur 13 er vist kurver over temperaturerne i de to tanke. Kurverne er optegnet for hele måleperioden, men er kun gengivet her for typiske perioder.

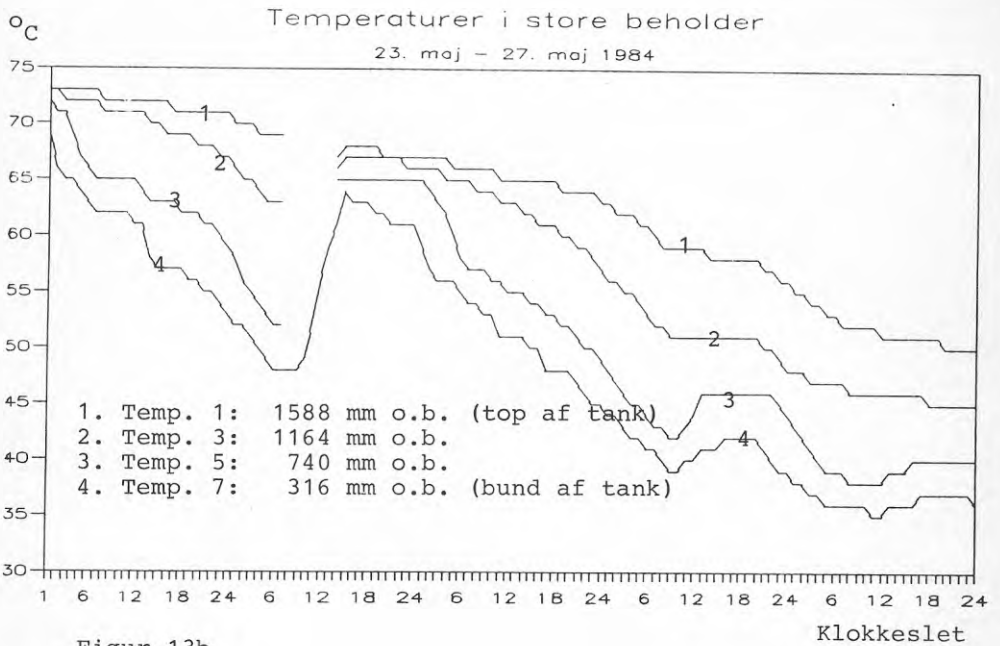
Generelt kan siges, at temperaturerne i bunden af de to beholdere stort set har været ens i hele perioden. De øvrige temperaturer i de to beholdere har også været temmelig ens i samme højde. Det kan derfor vurderes at varmeoverførslen mellem de to tanke har fungeret godt, idet stratificeringen opnået i den lille "tekniktank" er blevet overført til den store beholder.

Ved en nøjere betragtning af temperaturkurverne kan følgende tendenser i øvrigt uddrages.

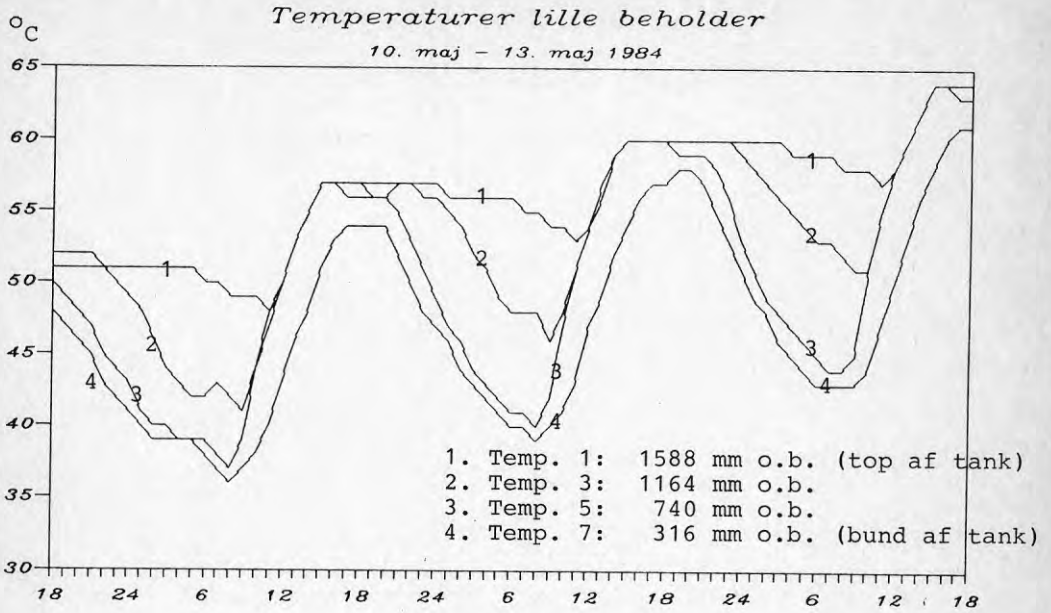
For temperaturerne i midten af tankene gælder, at temperaturerne generelt er lavere i den lille "tekniktank" ved afladning af varme (til brugsvand eller rumopvarmning) medens de generelt er højere ved opladning (når der tilføres solvarme). Forskellen er typisk mellem 1 og 4°C og er et udtryk for den temperaturdifferens, der skal være for at sætte selvcirkulationen mellem de to tanke i gang.



Figur 13a

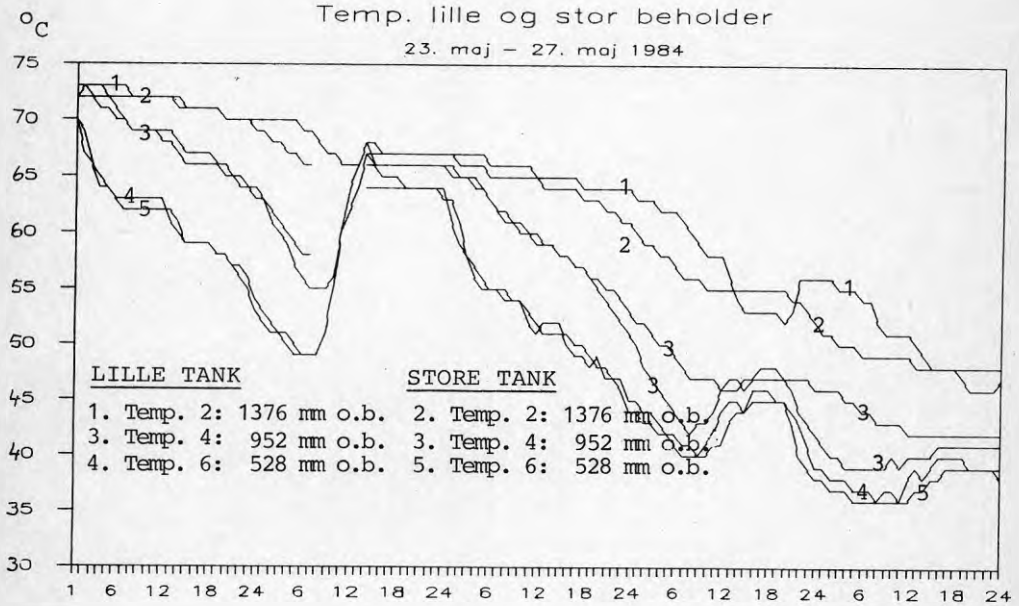


Figur 13b



Figur 13c

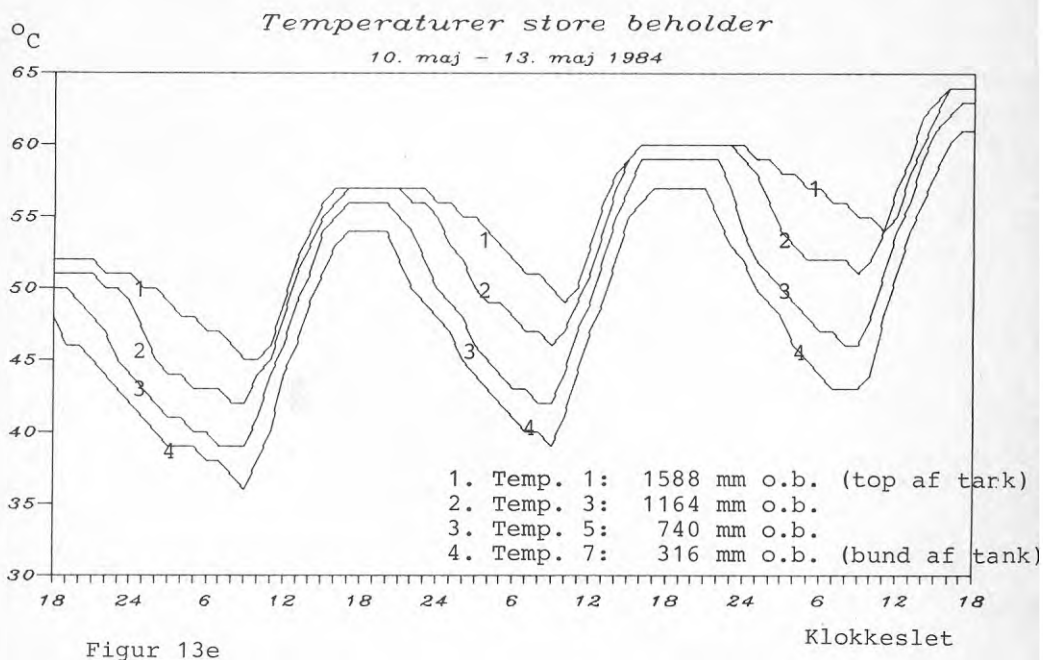
Klokkeslet



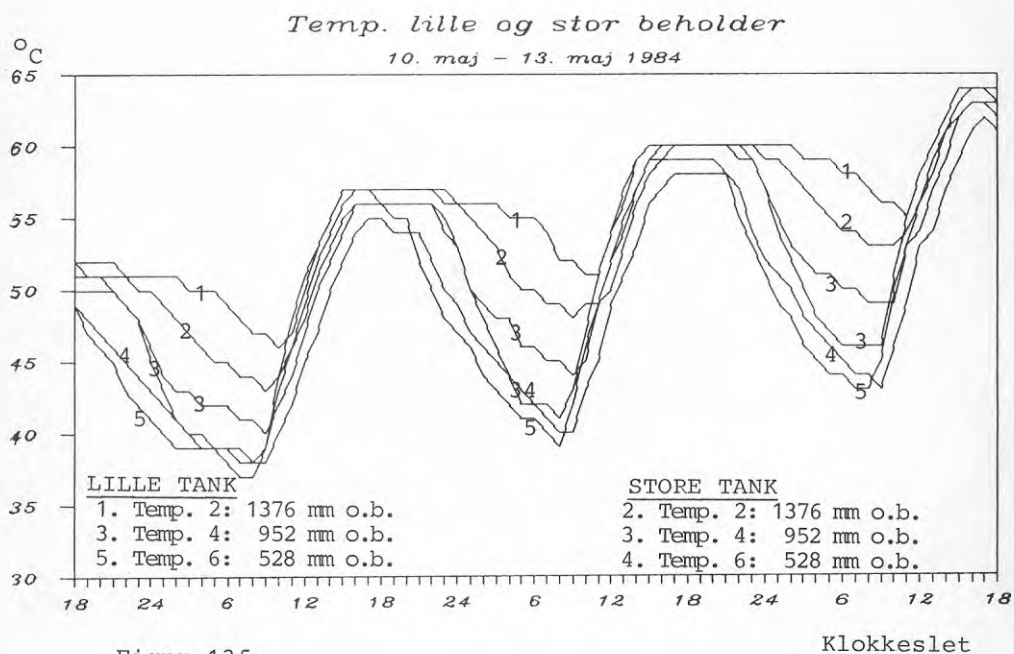
Figur 13d

Klokkeslet





Figur 13e



Figur 13f

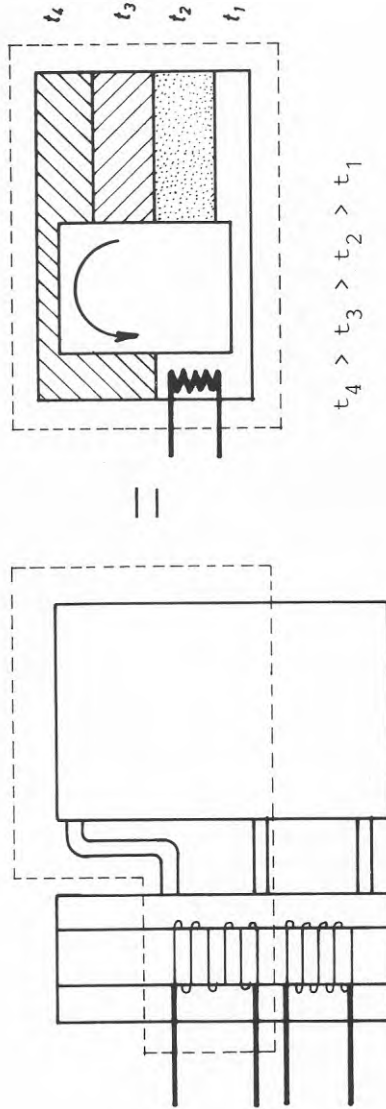


Temperaturerne i de øverste lag af de to tanke må forventes at være uafhængige af hinanden på grund af, at det øverste forbindelsesrør mellem de to tanke er bøjet ned som beskrevet tidligere. Begge temperaturer vil stige, når der tilføres solvarme, medens temperaturen øverst i den lille tank kun vil falde, når der aftappes brugsvand (samt dog til en vis grad ved varmeledning og ved varmetab gennem væggene nedad).- Temperaturen øverst i den store tank vil kun falde, når der aftappes rumvarme (samt ligeledes ved varmeledning nedad og ved varmetab). Et sådant forløb kan iagttages på temperaturkurverne over 25. - 27. maj. Temperaturen i den øverste del af den lille tank har sit største fald indtil kl. 20 - 21 om aftenen, hvor brugsvandsaftapningen er ophørt, medens temperaturen i den øverste del af den store tank har sit største fald om natten indtil 8 - 9 tiden om morgenen, hvor behovet for rumvarme mindskes. Temperaturen i den øverste del af den lille "tekniktank" var tiltænkt at blive holdt konstant ved hjælp af el-opvarmning af den øverste del af beholderen. Denne el-opvarmning har som tidligere nævnt ikke fungeret.

For den øverste del af den store lagertank kunne man frygte, at det vil være svært at udnytte varmen der er lagret her, idet denne skal "trækkes" ned til varmeveksleren i et lavere niveau i den lille "tekniktank".

Et sådant udtag kan man forestille sig vil finde sted som en slags cirkulation af væske ved fortsat afkøling omkring varmeveksleren jfr. figur 14 som kan opfattes som analogi til den faktiske udformning.

Af de optegnede temperaturkurver f.eks. den 25.-27. maj ses, at der rent faktisk trækkes varme ud af toppen af den store lagertank, jvf. figur 13a-13c. Figur 13d-13f viser temperaturforløb hvor lagertemperaturen gradvis opbygges.



Figur 14 Selvcirkulation i lagertank.

#### 4.5 Vurdering af årsudbytter

I det foregående er funktionen af anlæggets enkelte dele vurderet (solfanger, varmevekslere, lagertanke m.m.). Konklusionen af vurderingen er, at disse dele har fungeret tilfredsstillende. Især har det været interessant at undersøge hvordan varmen overføres mellem de to lagertanke. Dette forhold har også vist sig at fungere tilfredsstillende.

Da anlægget iøvrigt er traditionelt opbygget kan det derfor antages, at anlægget under realistiske forhold vil have ydelser som andre tilsvarende anlæg med traditionel lagring.

Ydelserne for sådanne anlæg er veldokumenterede og f.eks. beskrevet i ref. 1.

For anlæg af den beskrevne type gælder, at ydelserne i overvejende grad er bestemt af solindfald/solfangerareal/solfangerens effektivitet og af forbrugets størrelse. Øvrige parametre såsom lageret størrelse, detaljer i anlægsudformningen m.m. er som regel af mindre betydning, såfremt der blot overholdes forskellige max./min. krav til f.eks. varmetab fra lagerbeholder, lagervolumen, effektivitet af varmevekslere m.m. Disse max./min. krav er vurderet at være opfyldt for det i denne rapport omhandlede anlæg.

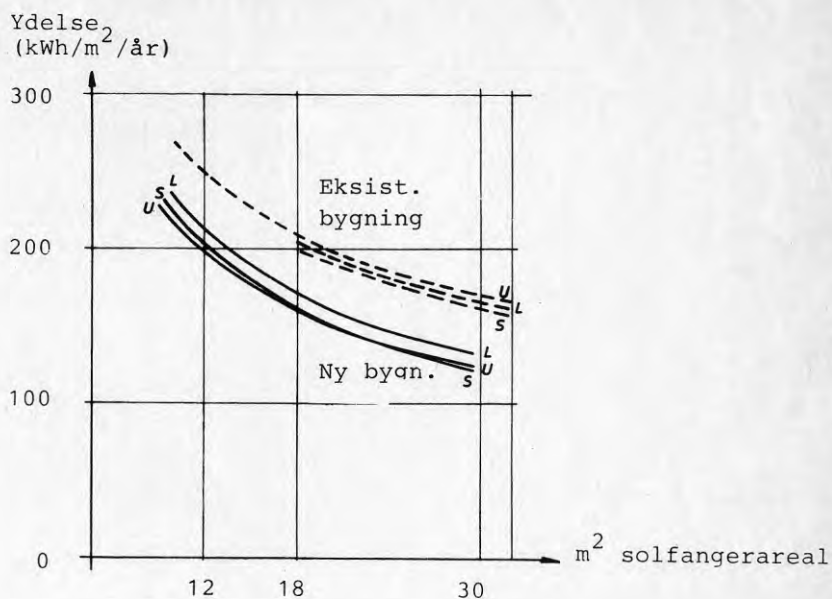
I ref. 1 er ydelserne beregnet for forskellige solfangerarealer svarende til 3 forskellige lokaliteter (Lund, Stockholm og Umeå) samt svarende til forbrug i 2 forskellige huse, dels et eksisterende hus (repræsenterende et hus fra 1970'erne eller et ældre efterisoleret hus) dels et nyt hus isoleret til ELAK-bestemmelserne.

Begge huse er på  $120 \text{ m}^2$ .

Ydelserne er beregnet udfra klimadata målt i 1983, som har været under middel udfra et solvarmesynspunkt. Ydelserne er derfor konservative.

De i ref. 1 beregnede ydelser er her gengivet i figur 15.

For et anlæg på  $15 \text{ m}^2$  placeret i Lund i en eksisterende bygning vil ydelserne således forventes at være større end ca.  $220 \text{ kWh/m}^2$  år. Hertil kommer eventuelt sparet tomgangstab fra husets øvrige opvarmningssystem i den tid dette kan slukkes i sommerperioden.



Systemydelsen for Lund (L) Stockholm (S) og Umeå (U). Nyt og eksisterende hus. Lagervolumen 900 l for 12 og 28 m<sup>2</sup> solfanger og 3500 l for 30 m<sup>2</sup> solfanger. Klimadata 1983.

Benyttede varmebehov (1983).

Hustype	Lund kWh/år	Stockholm kWh/år	Umeå kWh/år
Ny	5.660	ca. 7.000	ca. 10.000
Eksist.	15.750	ca. 19.000	ca. 25.000

Varmtvandsforbrug 3800 kWh/år (netto)

Figur 15 Ydelsen for solvarmeanlæg til brugsvand og rumopvarmning (fra ref. 1).

## 5 Videreudvikling af anlægstypen

Det omhandlede solvarmeanlæg til brugsvand og rumopvarmning kan karakteriseres dels ved anlægsidéen og den principielle opbygning, dels ved materialevalg og dimensionering.

I dette projekt er der dels opnået erfaringer med det aktuelle anlæg, bl.a. via den praktiske opbygning af solvarmeanlægget, og via resultaterne af anlægstesten. På basis heraf skal der formuleres forslag til videreudvikling af anlægstypen på de to områder: anlægsidé henholdsvis dimensionering og materialevalg.

### 5.1 Udvikling af anlægsidéen

Den aktuelle anlægsudformning indebærer at brugsvandsbeholder, varmeveksler samt visse komponenter er sammenbygget i en fabriksfremstillet teknikunit, som ude på stedet kobles sammen med det egentlige varmelager.

I det aktuelle projekt er varmelager og komponentunit isoleret på stedet, men en videreudvikling af anlægsidéen vil naturligt føre til at komponentunitén leveres færdigisoleret fra fabrik. Varmelageret kunne tilsvarende leveres færdigisoleret. Af hensyn til passage af døre må det færdige mål for varmelageret ikke overstige ca. 70 cm for den mindste af kanterne.

En anden mulighed består i at færdigt tilpassede isoleringselementer monteres på stedet. Denne løsning vil dog ikke være til gunst for en lav anlægspris.

Supplerende elopvarmning leveres i det aktuelle anlæg i fremløbsledningen til varmeanlægget. Der er desuden monteret separat elsupplement til brugsvand i tekniktanken.

Såfremt elsupplement tilføres i lagerenheden, vil der være mulighed for om vinteren at udnytte varmelageret som lager for natel. Hermed vil solvarmeanlægget åbne mulighed for en yderligere besparelse, da køb af den nødvendige supplerende energimængde kan foregå til en lavere takst.

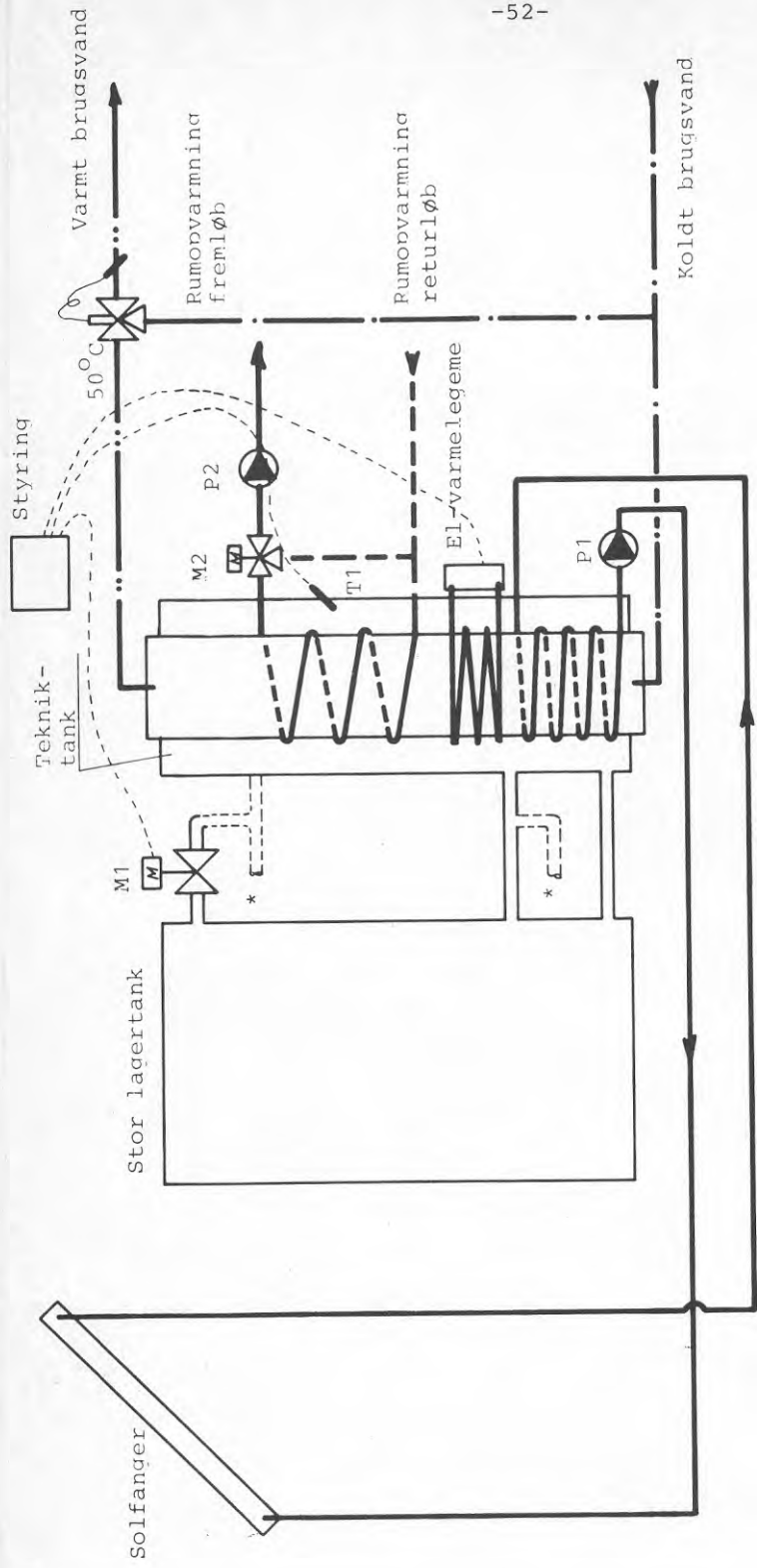
Elsupplement i et varmelager vil også være tilpasset andre takstsystemer, som måtte komme i fremtiden, f.eks. systemer med tovejs kommunikation imellem elforsyning og forbruger. Herved åbnes mulighed for at eltilførslen kan afbrydes i nogle få timer pr. døgn (i spidslastperioderne) efter elforsyningens valg, og i resten af døgnet sælges el til en reduceret takst, evt. yderligere gradueret over døgnet.

Det vil endelig være nærliggende at indrette en produktionsmodel, således at der også vil være mulighed for tilkobling af et fastbrændselsfyur som supplerende energikilde. I dette tilfælde bør anlægget udformes, således at varmelageret kan udnyttes som buffer for kedlen om vinteren. Herved vil kedlen kunne få en bedre virkningsgrad, og fyring med brændsel vil kunne indskrænkes til at skulle foregå kun en enkelt gang i døgnet.

I figur 16 er vist en revideret anlægsudformning, som afspejler følgende ændringer i forhold til tidligere (jfr. figur 1):

1. Elsupplement er indbygget i tekniktank.
2. En fastbrændselskedel kan umiddelbart tilsluttes (selvcirkulation), og varmelageret kan udnyttes til lagring af varme fra kedlen, og til sikring imod overkogning ved strømsvigt. Sikring imod tilbagecirkulation ved kold kedel vil dog normalt kræve, at kedlen er monteret lavere end varmelageret.





\* Evt. tilkobling af kedel for fast brændsel (selvcirkulation)

Figur 16 Principdiagram for revideret anlægsopbygning.

3. Ved opladning med natel eller evt. via en fastbrændselskedel vil den store lagertank blive topfyldt med vand af en ønsket temperatur, idet styring foregår via ventil M 1.

Driftsstrategien er følgende (forudsat der kan købes billig el i natperioden):

Solvarme tilføres i den nederste kolde del af tekniktanken. Hvis temperaturen ved T1 er lavere end ønsket temperatur (ca. 50°C), tilføres elvarme, fortrinsvis i natperioden, hvor der er billig strøm til rådighed. Ventilen M1 er normalt åben, men den lukkes såfremt der tilføres elvarme. Den åbnes dog når temperaturen ved T1 overstiger en fastsat værdi, f.eks. 85°C. Herved sikres, at opladning med elvarme foregår fra toppen, og der opnås stor temperaturlagdeling i varmelageret.

Såfremt supplerende varme tilføres via en fastbrændselskedel, vil opladning af varmelageret foregå på samme vis som før. En separat føler på kedlen lukker ventil M1, når kedlen er varm, dog åbnes ventilen som før, når temperaturen ved T1 overstiger f.eks. 85°C. Ventil M1 skal være strømløs åben, således at der ikke sker overkogning af fastbrændselskedlen, hvis strømmen svigter.

Det skal endelig bemærkes, at tekniktanken i sig selv vil kunne fungere som varmelager for et solvarmeanlæg til varmt brugsvand. Via den øverste varmeveksler vil der kunne tilføres supplerende varme til brugsvandsopvarmning fra en kedel. Om sommeren vil der kunne overføres solvarme til f.eks. en gulvarmeslange i badeværelset via den samme varmeveksler. Såfremt boligen ønskes opvarmet med el, vil varmelageret kunne fungere som en elkedel.

## 5.2 Dimensionering og materialevalg

Siden anlægget blev opbygget, er der blevet gennemført en systematisk undersøgelse af ydelsen for solvarmeanlæg under svenske forhold, jfr. reference (1). Der er tale om EDB-simulering af ydelsen for solvarmeanlæg til brugsvand og rumopvarmning for tre lokaliteter i Sverige: Lund, Stockholm og Umeå. Ydelsen er beregnet for variationer i solfangerareal, varmelagerstørrelse, samt orientering og hældning af solfangeren.

### Volumen af varmelager

Et af hovedresultaterne fra undersøgelsen består i, at varmelageret til et kombineret solvarmeanlæg ikke behøver at være større end ca. 50 liter pr.  $m^2$  solfanger. Et større varmelager medfører kun en beskedent merydelse af anlægget. Heraf følger, at nødvendigt volumen af lagerenheden bør være fra ca. 750 liter til ca. 1500 liter for solfangerarealer på 15-30  $m^2$ . Fraregnet volumen af tekniktanken (300-400 liter) vil det nødvendige volumen af den egentlige lagertank andrage 400-1000 liter for solfangerarealer op til 30  $m^2$ . En tekniktank på 400 liter vil i sig selv kunne "bære" et solfangerareal på op til ca. 10  $m^2$ .

Såfremt varmelageret også benyttes som buffer for en fastbrændselskedel eller som lager for natel, kan det meget vel blive hensynet hertil der vil være dimensionsgivende for varmelagerets størrelse. I reference (1) angives nødvendige lagervolumener ved natellagring til 0.8-1.2  $m^3$  for nye huse og 1.9-2.9  $m^3$  for eksisterende huse, såfremt der ønskes 100% dækning med natel.

### Materialevalg

I det eksisterende anlæg er de to lagerenheder opbygget af normalt stål.

Såfremt beholderne blev opbygget af plast eller tynd plade rustfrit stål, evt. i kombination, ville der kunne opnås følgende fordele:

- Beholderne ville blive betydeligt lettere, hvilket indebærer store fordele når der ønskes fremstillet præfabrikerede og færdigisolerede enheder.
- Beholderne vil i sig selv være korrosionsfaste, hvilket indebærer, at beholderen kan være åben uden speciel ekspansionsanordning.
- Varmeledning fra top til bund af varmelageret vil blive reduceret, da varmeledningsevnen af plast og rustfrit stål er adskillige gange mindre end for normalt stål. Dette er specielt aktuelt såfremt en større eller mindre del af den øverste del af varmelageret ønskes anvendt til lagring af tilskudsvarme om vinteren.

Det er svært på forhånd at vurdere, om anvendelse af plast og/eller rustfrit stål vil få væsentlig indflydelse på prisen, her vil en nøjere analyse være nødvendig.

Referenceliste.

- (1) Solvärmesystem för uppvärmning och varmvattenberedning med korttidslager.  
  
Per Isakson, Knut-Oluf Lagerkvist, Peter Kjaerboe,  
Poul Erik Kristensen  
  
BFR rapport R 146 1984.
  
- (2) Solar Pilot Test Facility  
Final Report - Danmark  
Klaus Ellehauge, Ole Balslev Olesen, Nick Bjørn Andersen  
Thermal Insulation Laboratory  
Technical University of Denmark  
October 1983
  
- (3) Prøvning af varmelagerunits til solvarmeanlæg.  
Simon Furbo  
Laboratoriet for Varmeisolering  
Danmarks Tekniske Højskole 1980











