

ENERGIMINISTERIETS SOLVARMEPROGRAM

---

SOLVARMEANLÆG TIL RUMOPVARMNING  
OG VARMT BRUGSVAND  
- DEMONSTRATIONSANLÆGGET I EJBY

AF

NICK BJØRN ANDERSEN

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING  
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE  
MEDDELELSE NR. 189

ENERGIMINISTERIETS SOLVARMEPROGRAM  
RAPPORT NR. 41  
FEBRUAR 1988



## FORORD

Energiministeriets solvarmeprogram, oprindelig Handelsministeriets udviklings- og demonstrationsprogram for solvarme har til formål at medvirke til:

at anlæggene udføres, således at der opnås størst muligt termisk udbytte, stor driftssikkerhed og lang levetid,

at styrke den produktudvikling, der er nødvendig for at gøre solvarmeanlæg konkurrencedygtige med andre opvarmningsformer,

at vurdere i hvilket omfang solvarme med fordel kan anvendes i Danmark.

Det i denne rapport beskrevne projekt indeholder elementer af alle disse tre hensigtserklæringer.

Siden solvarmeprogrammets start i 1976-77 er der sket store landvindinger, og danske solvarmeanlæg er nu blandt de bedste såvel på europæisk som på internationalt plan. Dette burde give store eksportmuligheder; eksporten er imidlertid relativt lille. En styrkelse af den forholdsvis træge produktudvikling, som foregår rundt omkring, vil kunne gøre danske solvarmeanlæg langt mere attraktive såvel på hjemmemarkedet som på eksportmarkedet.

Det i denne rapport beskrevne projekt "Kombinerede anlæg til rumopvarmning og opvarmning af brugsvand i enkeltboliger (demonstration)" er en del af EFP83-projektet vedrørende rumopvarmningsanlæg, EM-journal nr. 2255-302.

## RESUMÉ

I denne rapport gøres der rede for demonstrationssolvarmeanlægget i Ejby. Solvarmeanlægget er beregnet for delvis dækning af behovene for rumvarme og varmt brugsvand. Der er foretaget målinger på anlægget, hvorved energistrømmene er bestemt, og målingerne er sammenlignet med beregninger. Ud fra de målte ydelser er de økonomiske aspekter belyst.

Anlægget som var på 17,3 m<sup>2</sup> var et tømmesystemanlæg. Anlægget blev installeret i 1984 i et rækkehus i Ejby. Anlægsydelsen blev målt igennem det første driftsår.

Som helhed fungerede anlægget rimeligt. Dog er ydelsen noget mindre end forventet. Den målte ydelse var 2627 kWh/år svarende til 152 kWh/m<sup>2</sup> år. Dækningsgraden var 25%. I referenceåret vil anlægget yde omtrent 2840 kWh/år svarende til 164 kWh/m<sup>2</sup> år.

Årsagen til den relativt lave ydelse er først og fremmest det lave energiforbrug. Det opførte anlæg er derfor overdimensioneret. Med normale varmeforbrug vil ydelsen være højere end den målte ydelse. Der eksisterer ikke beregningsmodeller, som muliggør en beregning af anlæggets ydelse med normale varmeforbrug.

Anlæggets pris var omtrent 45.000 kr. incl. moms og 30% tilskud. Såfremt rentabilitet for anlægget med det lave energiforbrug skal opnås, må anlægget ikke koste mere end 30.000 kr. Der er derfor behov for en prisreduktion på omtrent 33%.

## SUMMARY

This report concerns the results from the Ejby solar space heating demonstration project.

The system is a combined system for space heating and domestic hot water supply:

- 17,3 m<sup>2</sup> of solar collectors
- submerged hot water tank
- total water volume; 735 l
- drain back collector circuit
- separate convector for solar heat

During the period from September 1984 to August 1985 the solar heating system has been monitored using a simple monitoring system. The main result is total annual savings including idle loss: approx. 3000 kWh.

## INDHOLD

FORORD . . . . .	i
RESUMÉ . . . . .	ii
SUMMARY . . . . .	iii
1. INTRODUKTION . . . . .	1
2. BESKRIVELSE AF ANLÆGGET . . . . .	3
2.1 Systemopbygning . . . . .	5
2.2 Systemdata . . . . .	6
2.3 Styring . . . . .	9
3. MÅLINGER . . . . .	13
3.1 Målepunkter . . . . .	13
3.2 Måledata . . . . .	15
3.3 Vurdering af ydelse . . . . .	16
3.4 Dækningsgrader . . . . .	21
4. ERFARINGER . . . . .	23
4.1 Forbedret anlægsudformning . . . . .	24
5. ØKONOMI . . . . .	27
KONKLUSION . . . . .	29
REFERENCER . . . . .	30
Appendix 1: tegninger over hus. . . . .	31
Forskningsudvalget for energianvendelse i bygninger, april 1987 . . . . .	35
Liste over udsendte rapporter . . . . .	36
Solvarmeprogrammet . . . . .	36
Varmelagerprogrammet (LfV) . . . . .	38

## 1. INTRODUKTION

I forbindelse med anvendelse af solenergi under danske forhold har man ofte haft den opfattelse, at aktive solvarmeanlæg ikke var anvendelige til rumopvarmningsformål i parcelhuse, i hvert fald ikke ud fra en økonomisk indgangsvinkel.

Dette resultat vil man da også hurtigt nå frem til, hvis man skal dømme efter de ydelser der blev opnået tidligt i solvarmeprogrammet. Anlægget i Greve dækede således 25% af opvarmningsbehovet, mens anlægget i Gentofte dækked 13%.

Disse anlæg er beskrevet i Rapport 15 (1), og årsagerne til de lave ydelser var bl.a. solvarmeanlæggets traditionelle indkobling på varmesystemet samt uhensigtsmæssige og komplicerede styringer. Med den traditionelle indkobling på varmesystemet er det kun muligt for solfangerne at levere varme, når temperaturen i solfangerne er højere end returtemperaturen i det eksisterende varmeanlæg.

Som resultat af de overvejelser, der blev gjort i forbindelse med de første anlæg, blev det foreslået (1), at forsyningen med solvarme skulle ske med et separat varmeafgiversystem, således at man ikke længere var bundet af de relativt høje returtemperaturer i det eksisterende varmeanlæg. Samtidig skulle lagerkonstruktionen, lagerstørrelsen samt solfangerarealet tilpasses dette system med separat varmeafgiver.

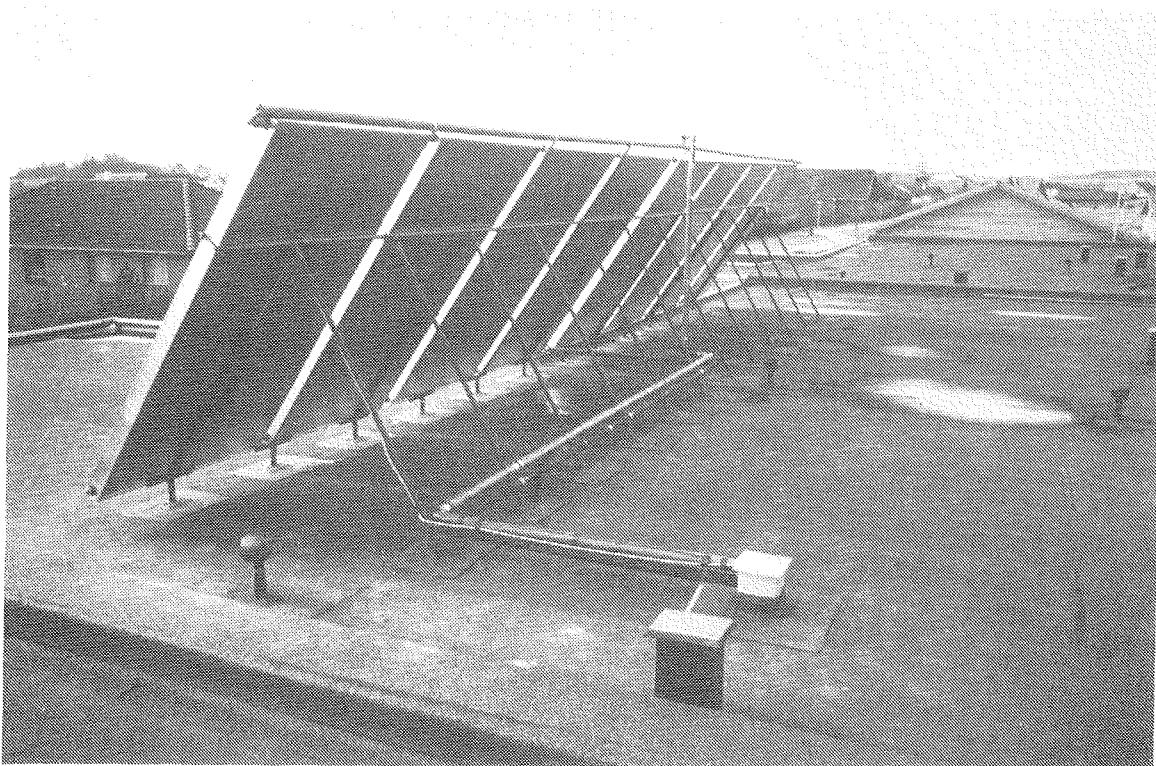
Nogle indledende undersøgelser på dette felt blev foretaget i laboratoriet (2), hvor et sådant anlæg blev opbygget. Målinger og tilhørende simuleringer viste, at et sådant anlæg afhængigt af aktuelt varmebehov og behov for varmt brugsvand ville dække 25-30% af det samlede behov. Formålet med nærværende demonstrationsprojekt er at undersøge dette i praksis.

Konkret er projektet gennemført på et rækkehus i Ejby ved Køge. Tegninger af huset vil være at finde i appendix 1.

## 2. BESKRIVELSE AF ANLÆGGET

Solvarmeanlægget er et kombineret anlæg til rum- og brugs-vandsopvarmning beregnet til installation såvel i eksisterende parcelhuse som i nyopførte.

Solvarmeanlægget er installeret i et 107 m<sup>2</sup> rækkehus i Ejby ved Køge. Rækkehuset er tilsluttet en lille oliefyret fjernvarmecentral.



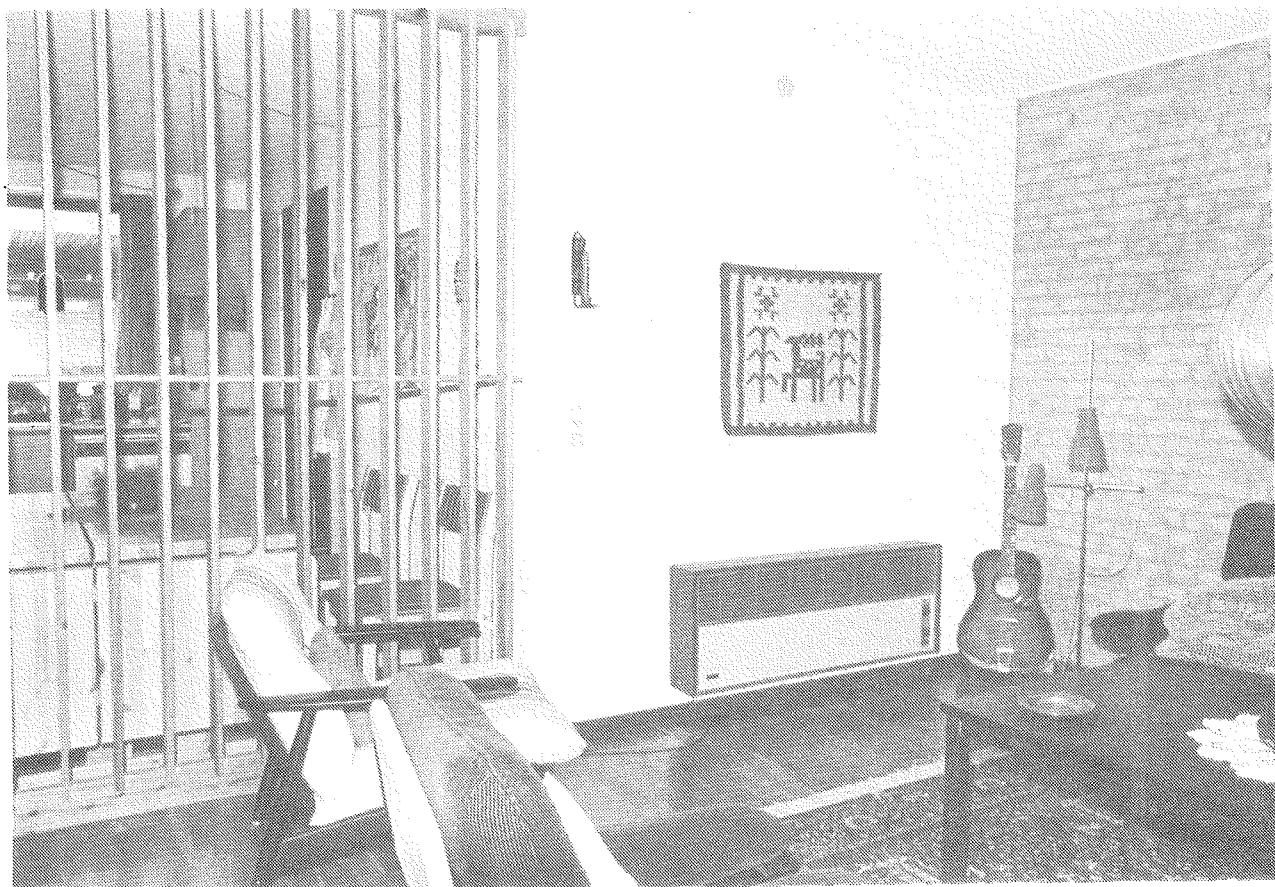
Figur 2.a. Solfanger set fra øst.

Det 17,3 m<sup>2</sup> store solfangerareal er placeret sydvendt på det flade built-up tag som vist på figur 2.a, 2.b. I husets bryggers er lagertank (735 l) og øvrige nødvendige komponenter installeret, figur 2.2.a. i afsnit 2.2.

En solvarmeradiator er monteret i opholdsstuen direkte på den væg, der vender mod bryggerset, figur 2.c.



Figur 2.b Solfanger set fra syd.



Figur 2.c. Stuen med separat varmeafgiver.

## 2.1 Systemopbygning

Anlægget adskiller sig fra konventionelle solvarmeanlæg på følgende punkter:

- A) Separat varmeafgiver for solvarme, B) Solfangerkreds med tømmesystem, C) Relativt lille lagertank.

### A) Separat varmeafgiver for solvarme

Idet der i anlægget er inkluderet en separat varmeafgiver for solvarme, er installationen af anlægget principielt uafhængig af opvarmningssystemet i huset. Den separate varmeafgiver for solvarme sikrer, at returtemperaturen i det eksisterende varmesystem ikke er afgørende for, hvornår solvarmen kan bidrage til opvarmningen. Den separate varmeafgiver, der installeres, skal dog være stor - ca.  $3-400 \text{ W}/\text{°C}$  eller  $1,8-2,4 \text{ kW}$  ( $90^\circ\text{C}/70^\circ\text{C}$ ) for at kunne afgive tilstrækkelig effekt ved de lavere fremløbstemperaturer fra solvarmelagertanken.

Anlægget har især interesse, hvor det er muligt at placere den separate varmeafgiver for solvarme i nærheden af lagertanken. Den separate varmeafgiver skal placeres således, at den har adgang til at dække 25-50% af husets totale varmetab.

### B) Solfangerkreds med tømmesystem

Solfangerkredsen er udført som tømmesystem (drain back). Når pumpen i solfangerkredsen er i drift, cirkulerer lagervand gennem solfangerne. Ved stop af pumpe løber vandet retour til lageret gennem både frem- og retrurrør i solfangerkredsen. Der anvendes således ikke frostvæske.

### C) Relativt lille lagertank

I forbindelse med solvarmeanlæg til rumopvarmning er der oftest anvendt en lagertank på 1000-2000 l. Det totale volumen incl. neddykket brugsvandsbeholder er i dette anlæg ca. 735 l.

#### 2.2 Systemdata

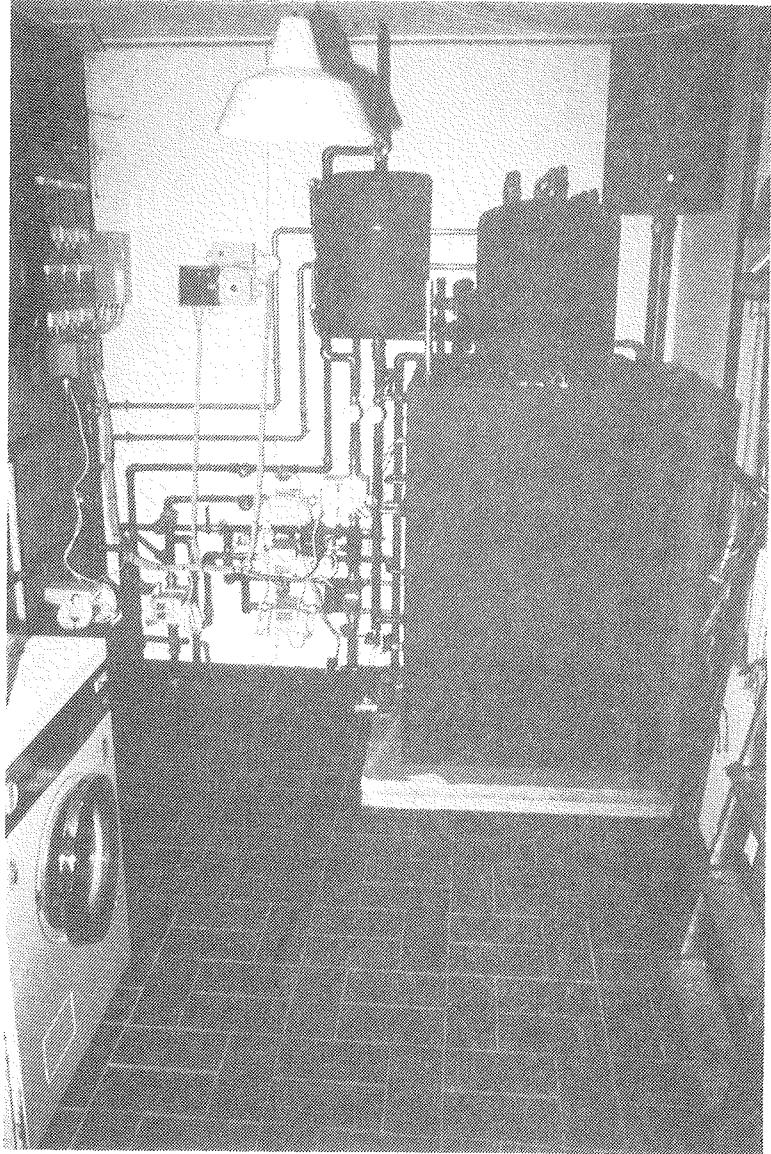
I forbindelse med projekteringen er der foretaget de nødvendige beregninger af følgende komponenter m.m.:

- varmeveksler i brugsvandstank
- varmeveksler i ydre akkumuleringstank
- rørsystem og pumpe i solfangerkreds
- rørsystem og pumpe i varmekreds
- volumen af plaskebeholder og ekspansionsbeholder
- varmeafgivelse for separat varmeafgiver

Der skal lægges særlig vægt på beregningen af rørsystem og pumpe i solfangerkreds, idet det er afgørende for væskefyldning af solfangerne ved opstart, at de nødvendige tryk er til stede. Disse forhold bør undersøges før tømmesystem-anlæg opføres.

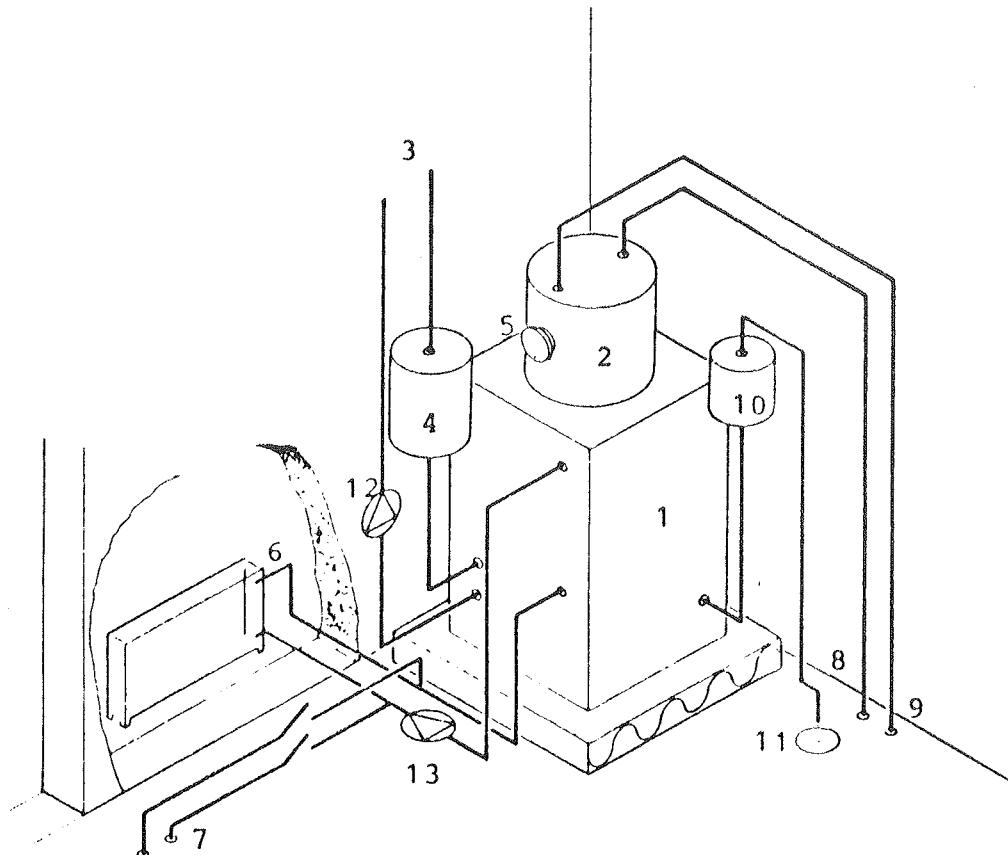
Som det fremgår af figur 2.2.a bærer anlægget i nogen grad præg af, at det er koblet på en lille fjernvarmecentral.

I tilfælde af sammenkobling med oliefyr ville varmeveksleren i brugsvandsbeholderen være erstattet med en elpatron, og såfremt varmekredsen var med åben ekspansion samt at lagertanken kunne placeres således at det statiske tryk i denne ikke overstiger ca. 5 mVs, kunne varmeveksleren i akkumuleringsstanken undværes.



Figur 2.2.a. Installationerne i bryggers.

Den principielle opbygning af installationerne i bryggers og opholdsstue er vist på figur 2.2.b.



1. Varmeakkumuleringstank
2. Neddykket varmtvandsbeholder
3. Rørforbindelser til solfangerne
4. Plaskebeholder
5. Eftervarmning af brugsvand (fjernvarme/alternativt el)
6. Separat varmeafgiver med blæser
7. Afbrydelig forbindelse til de eksisterende radiatorer
8. Koldtvandstilgang
9. Varmt vand
10. Åben ekspansionsbeholder
11. Gulvafløb
12. Pumpe i solfangerkreds
13. Pumpe i varmekreds

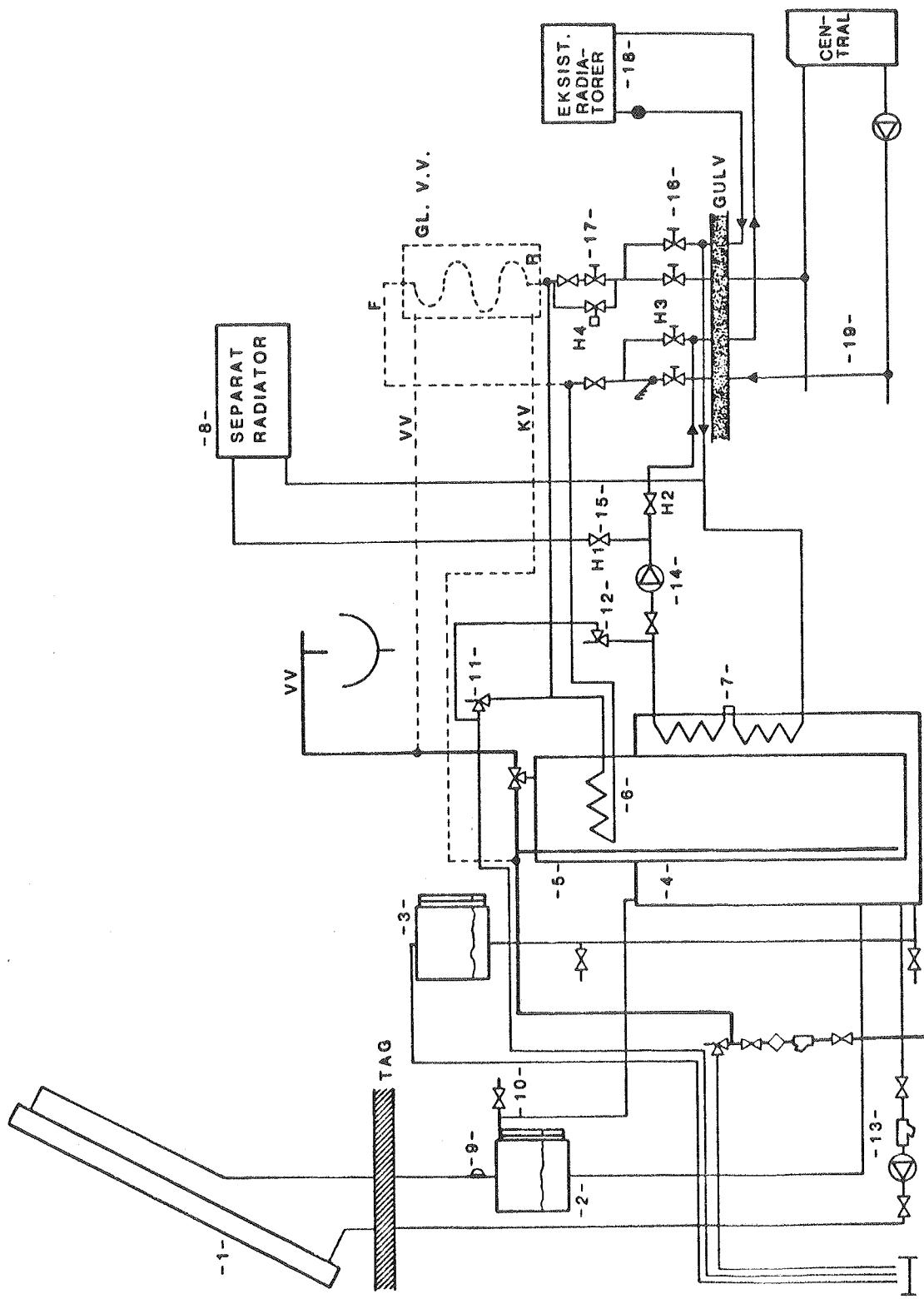
Figur 2.2.b. Demonstrationsanlæggets systemopbygning i bryggers.

På figur 2.2.c ses et diagram af systemopbygningen. Følgende komponenter er nummereret på figuren:

- (1): 17,3 m<sup>2</sup> solfanger, fabrikat Batec
- (2): Plaskebeholder, 40 l
- (3): Ekspansionsbeholder, 40 l
- (4): Trykløs tank 0,7 x 0,8 x 1,15 m, 535 l netto
- (5): Neddykket varmtvandsbeholder, 200 l behandlet
- (6): Varmevekslerspiral (ribberør), 200 W/<sup>o</sup>C
- (7): Varmeveksler 13/15 cu-rør ca. 8,5 m
- (8): Separat varmeafgiver med blæser, Juvenco Classic III, ca. 100 W/<sup>o</sup>C.
- (9): Skueglas for kontrol af fyldning i rør.
- (10): Hane for justering af væskenviveau i plaskebeholder
- (11): Sikkerhedsventil, afblæsningstryk højere end afblæsningstryk på central
- (13): Pumpe i solfangerkreds, Grundfos
- (14): Pumpe i varmekreds
- (15): Ventiler til omstilling sommer/vinter (H1, H2, H3)
- (16): Ventiler til afspærring af fjernvarme
- (17): Returtermostat, shuntet af magnetventil (H4)
- (18): Eksisterende radiatorer
- (19): Forbindelse til varmecentral

### 2.3 Styring

Ved hjælp af en omskifterkontakt samt tre manuelt betjente afspærringshaner H1, H2 og H3, se figur 2.2.c, kan systemet bringes i følgende driftssituationer angivet i prioriteret rækkefølge.



Figur 2.2.c. Demonstrationsanläggets systemdiagram.

## 1) Sommerdrift:

Fuld dækning af varmebehov (sol) samt næsten fuld dækning af varmt brugsvandsbehov (sol).

H3 afspærret } ingen fjernvarme til rumopvarmning  
H2 åben } separat varmeafgiver  
H1 afspærret } ikke i funktion

Supplerende fjernvarmeopvarmning af brugsvandet gennem varmeveksler øverst i brugsvandstank (returtermostat). Omskifteren i sommerstilling sikrer, at pumpen (14) er i drift. Såfremt der ikke er varmebehov, afbrydes pumpen.

I tilfælde af for høje temperaturer i brugsvandstanken, køles denne automatisk ved hjælp af magnetventilen H4, idet den overstyrer returtermostaten.

## 2) Vinterdrift:

Delvis dækning af varmebehov (sol) samt delvis dækning af varmt brugsvandsbehov (sol).

H3 åben } fjernvarme på eksisterende radiatorer  
H2 afspærret } rumopvarmning med sol  
H1 åben } gennem separat varmeafgiver

Supplerende fjernvarmeopvarmning af brugsvandet gennem varmeveksler øverst i brugsvandstank (returtermostat).

Omskifteren i vinterstilling sikrer, at pumpen (14) er i drift, når følgende er opfyldt:

- 1) Termostaten i den separate varmeafgiver kalder på varmen.
- 2) Temperaturen øverst i varmeakkumuleringstanken er over et vist justerbart setpunkt (ca. 35°C).

I både sommerdriftssituationen og vinterdriftssituationen er pumpen i solfangerkredsen styret af en separat styring.

### 3. MÅLINGER

Der er foretaget manuel aflæsning af 6 energimængder med tilhørende vandmængder og 6 timetællere (i alt 18 måleværdier). Aflæsningerne er foretaget af husets beboere og indført i skemaer, der så blev sendt med ca. en måneds mellemrum. Husets beboere udviste stor interesse for anlæggets funktion og tilstand, hvorfor uregelmæssigheder rimelig hurtigt kunne rettes.

#### 3.1 Målepunkter

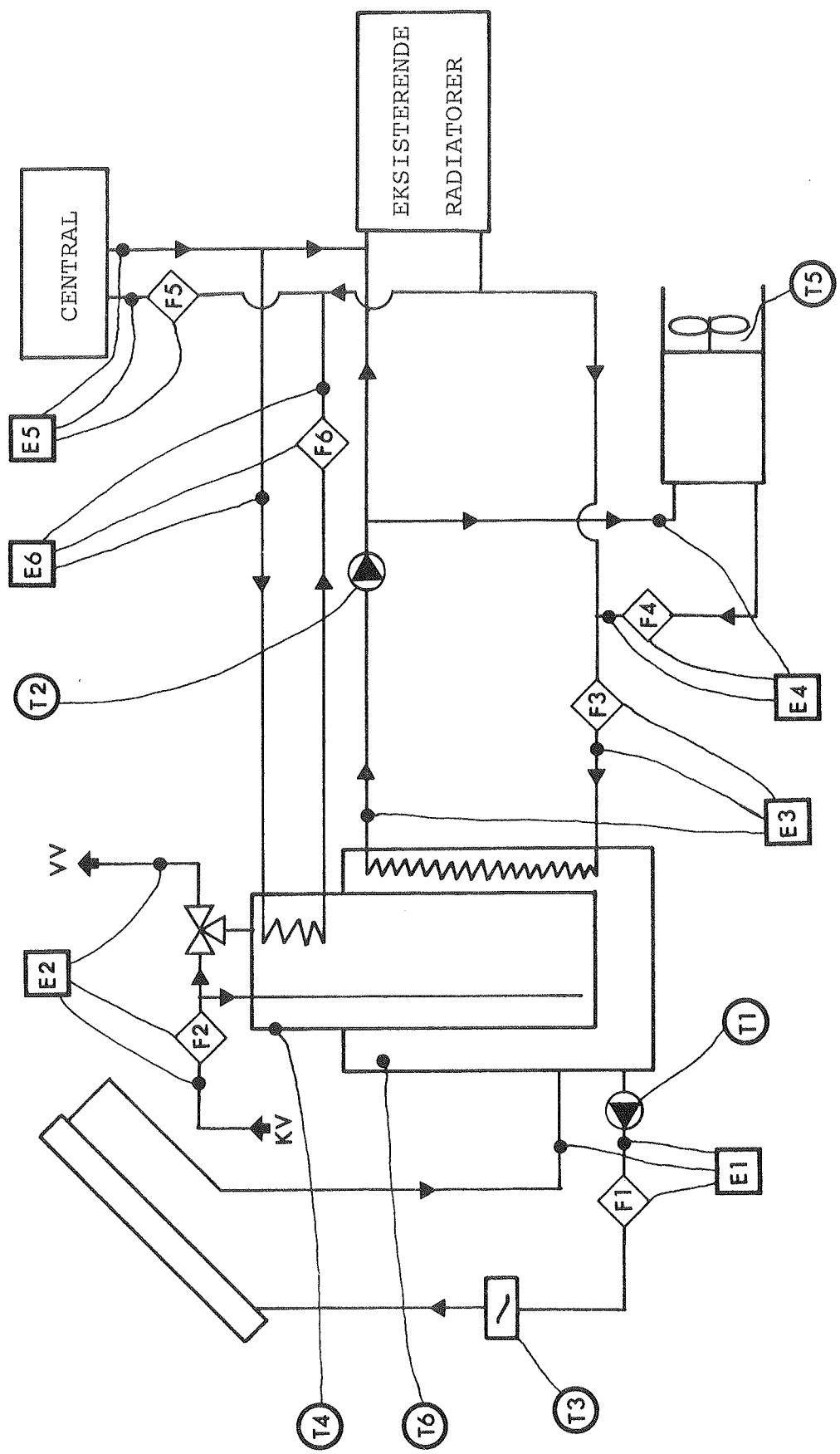
I det simplificerede systemdiagram, figur 3.1, er målepunkterne angivet ved hjælp af følgende symboler:

##### Energier og vandmængder

- E1,F1 : lagret solenergi, vandmængde
- E2,F2 : brugsvandsenergi, vandmængde
- E3,F3 : solvarme til radiatorer, vandmængde
- E4,F4 : solvarme i separat varmeafgiver, vandmængde
- E5,F5 : fjernvarmeenergi total, vandmængde
- E6,F6 : fjernvarmeenergi til brugsvand, vandmængde

##### Timetællere:

- T1 driftstid solfangerpumpe
- T2 driftstid pumpe i varmekreds
- T3 driftstid for flow switch
- T4 timer med temperaturer over 95°C
- T5 driftstid for blæser i separat varmeafgiver
- T6 timer med temperaturer over 35°C



Figur 3.1. Målepunkter, rumopvarmningsanlægget i Ejby.

### 3.2 Måledata

De anvendte Clorius energimålere blev inden målingerne afprøvet i Laboratoriet. Afprøvningsresultaterne viste, at usikkerheder på energimængden var 5%.

Ved hjælp af edb-programmet SAS, Statistical Analysis System, blev måleresultaterne behandlet. Månedssummer af følgende energimængder blev beregnet:

- 1 : Solvarme til radiatorer
- 2 : Solvarme til radiatorer i fyringssæsonen
- 3 : Rumopvarmning behov
- 4 : Varmebehov i fyringssæsonen
- 5 : Solvarme til brugsvand
- 6 : Varmtvandsbehov

Desuden blev følgende størrelser beregnet:

- 7 : Dækningsgrad - rumvarme
- 8 : Dækningsgrad - brugsvand
- 9 : Dækningsgrad i alt

Resultatet er vist på figur 3.2.

Solvarme til radiatører	Samme i fyrrings- sæsonen	Varme- behov	Varmebeboev i fyrrings- sæsonen	Solvarme til brugsvand	Varmt brugsvands- behov	Dæknings- grad varme	Dæknings- grad brugsvand	Total dæknings- grad	
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh				
sep84	170	170	337	337	101	116	0,50	0,87	0,60
okt84	100	100	444	444	88	130	0,23	0,68	0,33
nov84	59	59	833	833	16	114	0,07	0,14	0,08
dec84	36	36	1063	1063	8	131	0,03	0,06	0,04
jan84	62	62	1719	1719	16	149	0,04	0,11	0,04
feb85	211	211	1428	1428	35	120	0,15	0,29	0,16
mar85	86	86	1277	1277	30	137	0,07	0,22	0,08
apr85	178	178	805	805	69	129	0,22	0,53	0,26
maj85	208	175	428	172	134	150	0,49	0,89	0,59
jun85	249		244		107	117	1,02	0,91	0,99
Jul85	241		238		97	100	1,01	0,97	1,00
aug85	211		210		115	119	1,00	0,97	0,99
84/85	1811		9026		816	1512	0,20	0,54	0,25
84/85-FYR	1077		8078		816	1512	0,13	0,54	0,18

Figur 3.2. Målte værdier - Ejby.

### 3.3 Vurdering af ydelse

Data fra perioden sept. 84 - aug. 85 fremviste følgende forbrug:

- |                          |          |
|--------------------------|----------|
| - Varmtvandsforbrug      | 1512 kWh |
| eller                    | 79 l/dag |
|                          |          |
| - Forbrug til opvarmning |          |
| hele året                | 9026 kWh |
| fyringssæson             | 8078 kWh |

Varmtvandsforbruget er lavere end gennemsnittet for familier med børn - her to voksne og et barn. Energiforbruget til opvarmning er ligeledes lavt. Med det formål at kunne sammenligne det aktuelle vejr i perioden med det danske referenceår TRY præsenteres her oversigten, figur 3.3.a,

samt en grafisk fremstilling af samme tal (figur 3.3.b og figur 3.3.c).

	Solindfald på 45 grader kWh/m <sup>2</sup>	Reference på 45 grader kWh/m <sup>2</sup>	Skygge- graddage	Reference skygge- graddage
sep84	85,7	109,5	89	8
okt84	61,2	73,1	137	208
nov84	28,9	42,1	311	360
dec84	18,8	30,7	432	476
jan85	34,0	30,1	671	546
feb85	62,8	54,2	599	507
mar85	50,4	107,6	489	446
apr85	96,4	133,7	336	312
maj85	165,4	150,0	72	45
jun85	115,2	163,6		
jul85	140,8	152,9		
aug85	136,7	149,4		
sum	996,3	1196,9	3116	2908

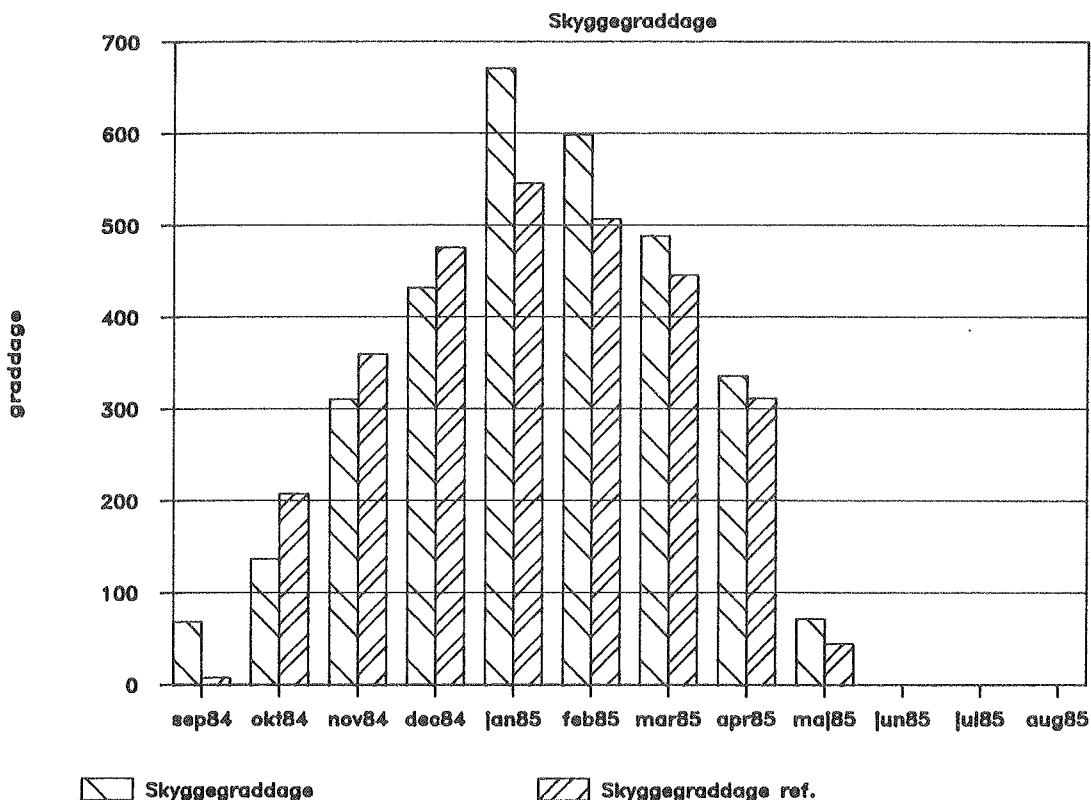
Fyringssæsonens varighed: 22.09.84

i alt 217

Figur 3.3.a. Vejrdatalog.

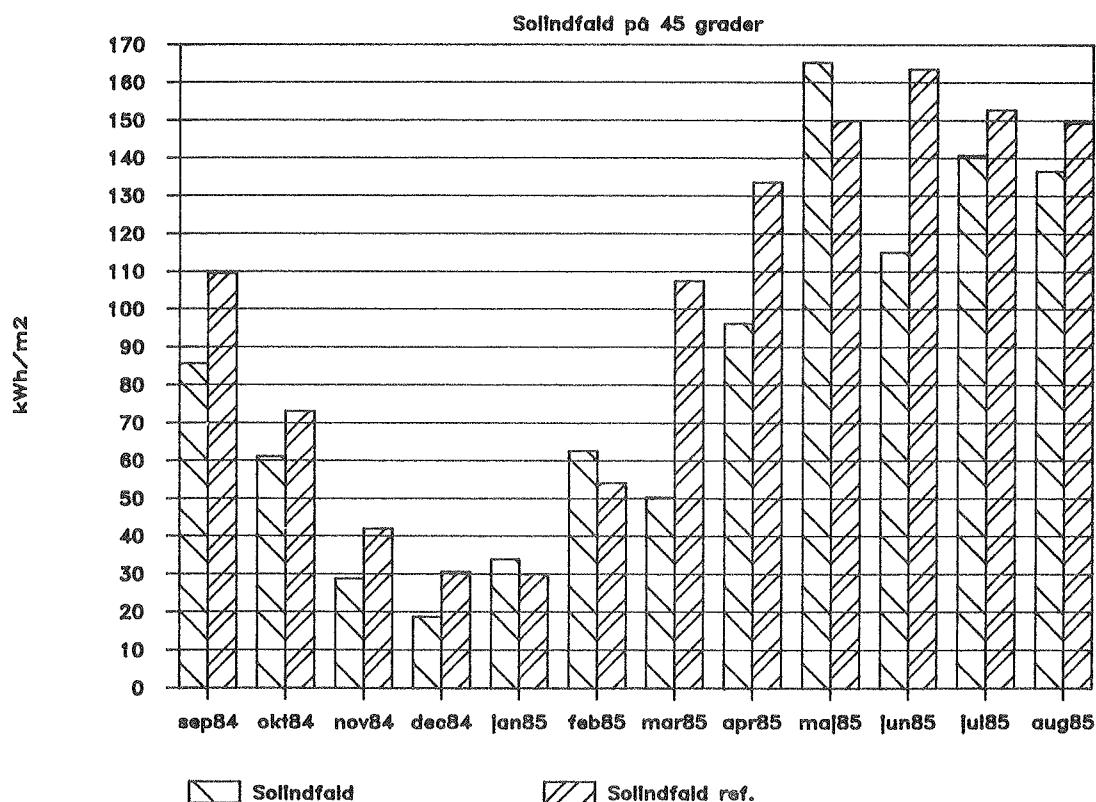
De anførte data samt data fra figur 3.2 giver en varmetabskoefficient for huset på ca.  $R = 108 \text{ W}/^{\circ}\text{C}$ .

### DEMONSTRATIONSANLÆG I EJBY



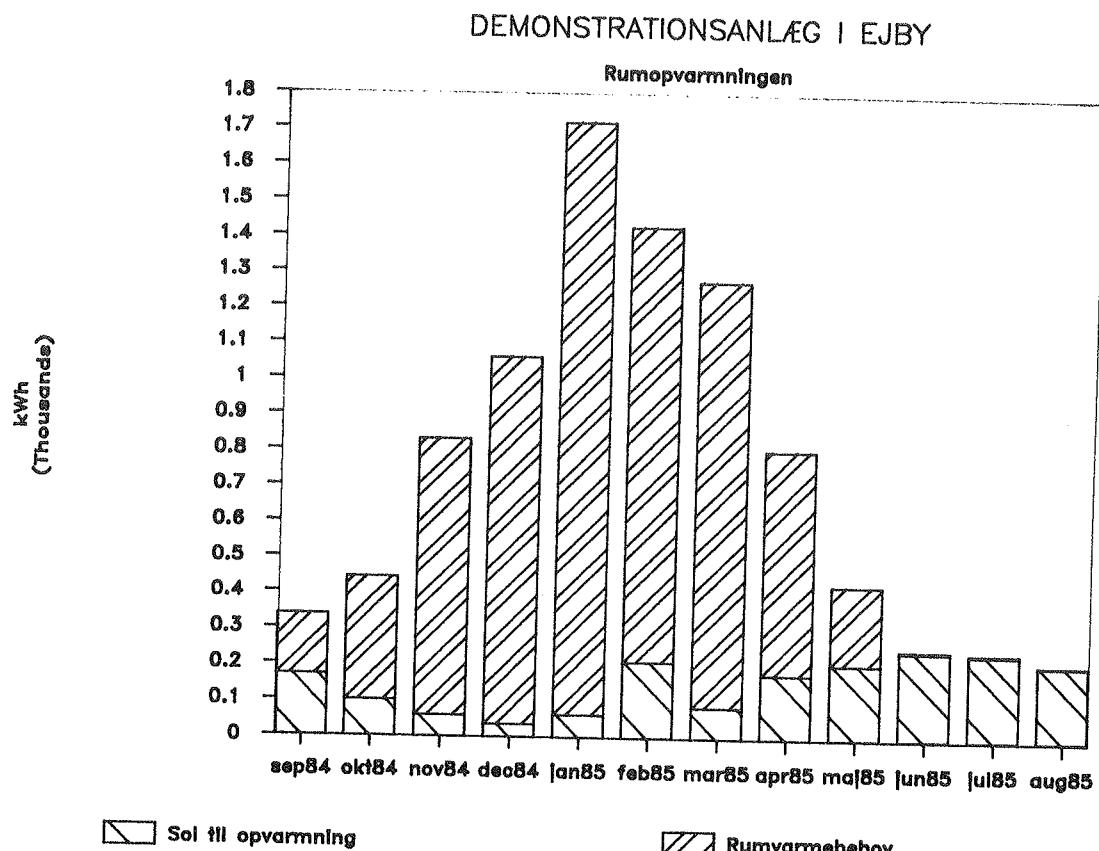
Figur 3.3.b. Skyggegraddage i måleår og referenceår.

### DEMONSTRATIONSANLÆG I EJBY



Figur 3.3.c. Solindfald på 45 grader i måleår og referenceår.

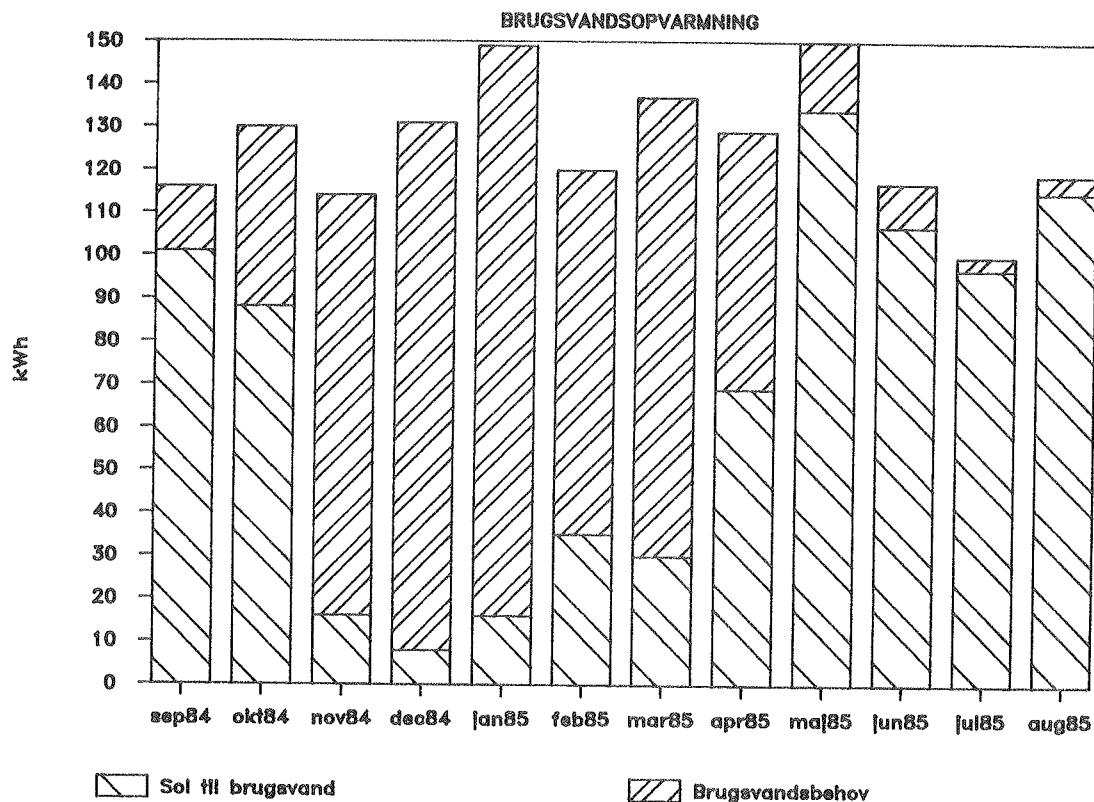
Dækningen af rumopvarmning med solenergi er vist på figur 3.3.d.



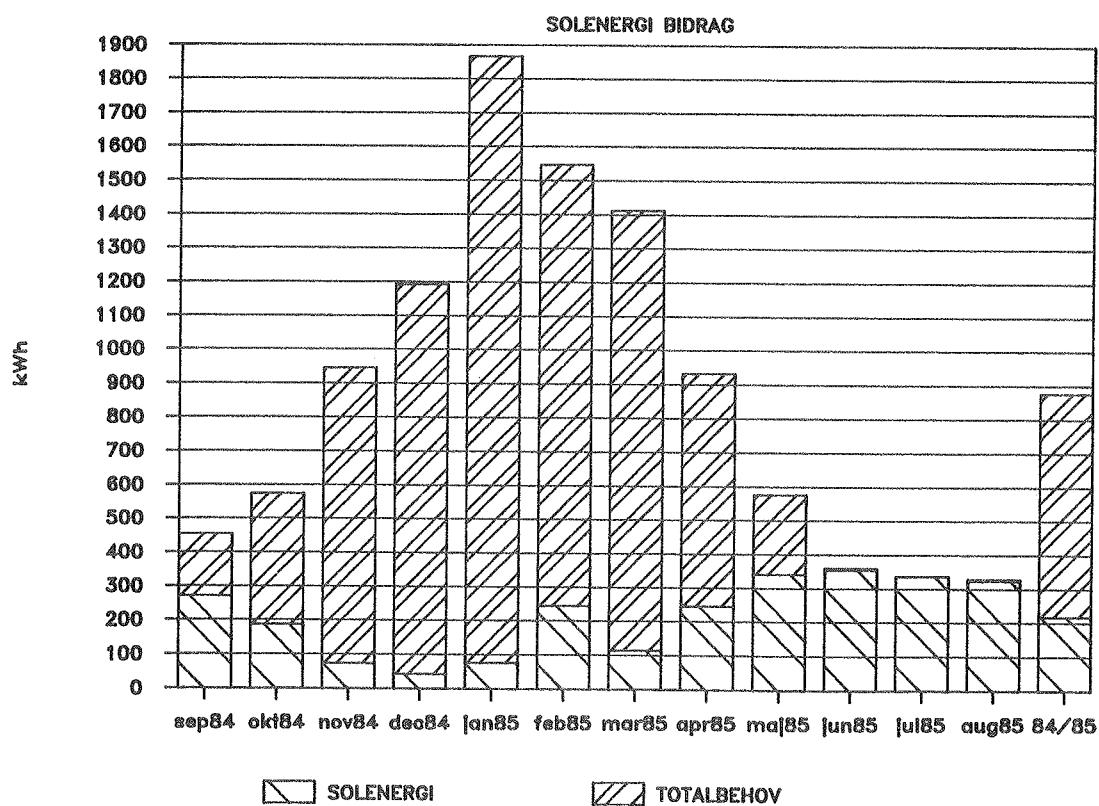
Figur 3.3.d. Rumopvarmningsbehovet og ydelsen fra solvarmeanlægget til rumopvarmning.

Det målte forbrug af varme uden for fyrringssæsonen (maj-september) udgør ca. 1000 kWh, der hovedsagelig er anvendt til opvarmning i to badeværelser (gulvvarme).

Dækningen af energi til brugsvandsopvarmning ses på figur 3.3.e.



Figur 3.3.e. Solenergidækning af brugsvandsopvarmningen.



Figur 3.3.f. Total solenergidækning i de enkelte måneder samt månedsmiddeldækningen for året som helhed.

På figur 3.3.f er den månedlige totaldækning med solenergi anskueliggjort. Udoer de direkte ydelser vil rumopvarmningsanlægget, afhængigt af hvor det installeres, give anledning til sparet tomgangstab fra kedel og varmtvandsbeholder. Placeret i et hus med oliefyr vil det sparede tomgangstab andrage ca. 1000-1500 kWh.

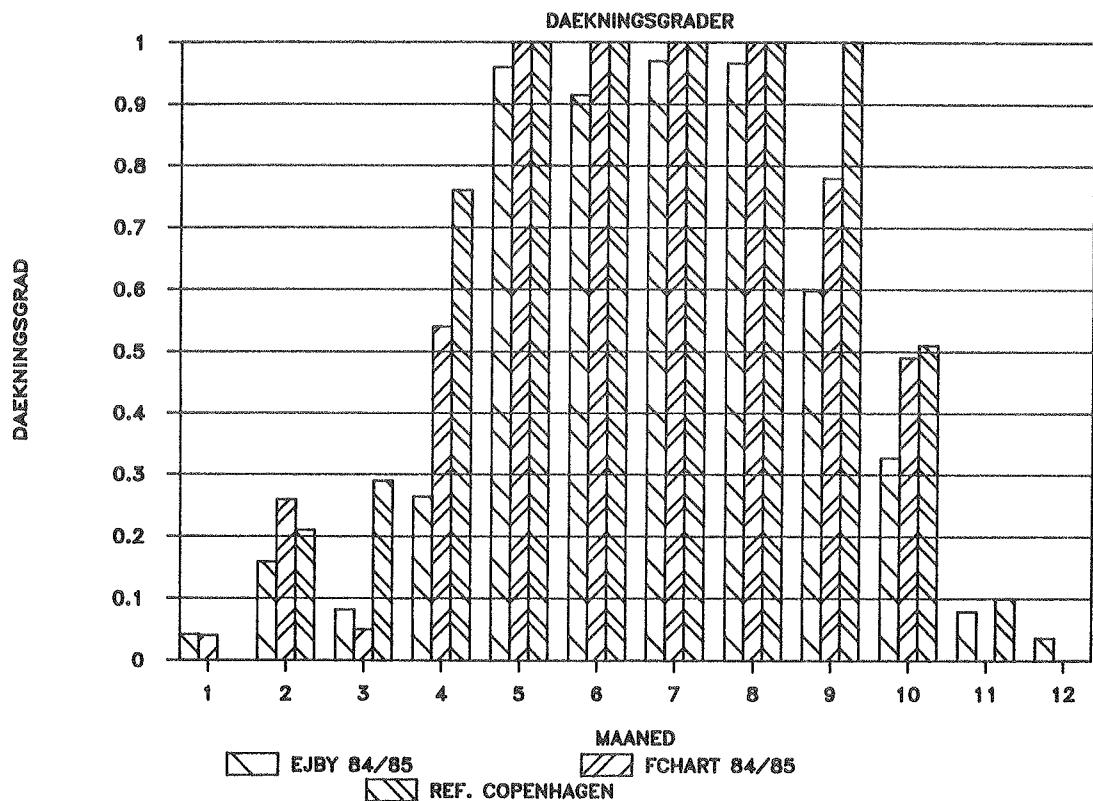
#### 3.4 Dækningsgrader

Dækningsgraderne for måleperioden er beregnet ud fra målte energimængder. Med samme vejrdata og forbrugsprofil er ydelse og totaldækningsgrader beregnet med F-CHART. Derudover er ydelsen beregnet for et referenceår.

	BRUGSVAND	VARME	TOTAL
84/85 målt	54%	20%	25%
Følgende fratrukkes varmeforbrug om sommeren			
84/85 målt	54%	13%	18%
84/85 F-CHART			25%
Referenceår F-CHART			27%

De totale dækningsgrader på månedsbasis fremgår af figur 3.4.

### DEMONSTRATIONSANLAEG I EJBY



Figur 3.4. Målte og beregnede dækningsgrader.

Det ses at dækningsgraderne i overgangsperioderne for Ejby-anlægget generelt er lavere end beregnet med F-CHART, ligesom det ses at dækningsgraderne vil være større i et referenceår end i det aktuelle vejrår.

#### 4. ERFARINGER

Det karakteristiske ved dette anlæg er at det bygger på drain-back princippet. Når pumpen stopper, løber vandet i solfangeren ned i plaskebeholder og tank, idet luften i plaskebeholderen samtidig finder vej op i solfangeren. Der er tale om en indesluttet luftmængde, og såfremt pumpen stopper mens der stadig er indstråling på solfangeren, vil dråber i rørene i solfangeren fordampe med en meget stor volumenforøgelse til følge. Volumenforøgelsen presser vand ud af ekspansionsbeholderen.

I det konkrete tilfælde var solfangerpumpen på installationstidspunktet styret således, at den ikke ville køre når lagertemperaturen oversteg  $90^{\circ}\text{C}$  for at sikre, at sikkerhedsventilen på brugsvandskredsen ikke konstant skulle åbne. Når pumpen således stoppede, betød det i flere tilfælde, at op til 20-30 l vand blev presset ud gennem sikkerhedsledningen, hvorefter de afbalancede væskenviveauer måtte indreguleres på ny.

For at løse dette problem blev der indskudt en magnetventil (H4 i figur 2.2.c), som skulle åbne for cirkulation af fjernvarmevand gennem brugsvandsvarmeveksleren, idet fjernvarmevandet på grund af dets lavere temperatur ville køle lagertanken.

Samtidig ændredes styringen af solfangerpumpen således, at solfangerpumpen ikke længere blev afbrudt ved høje lagertemperaturer.

Dette virkede da også efter hensigten, bortset fra situationer hvor solfangerpumpen manuelt blev afbrudt.

Styringen af solfangerpumpen var ikke velegnet til det aktuelle system, idet startdifferensen ikke kunne stilles højt nok. Årsagen til dette er at temperaturen i absorberen stiger relativt hurtigt selv ved lave indstrålinger på grund

af den ringe varmekapacitet i en solfanger uden væskeindhold i stilstand. Såfremt startdifferensen ikke kan stilles højt nok betyder det gentagne start/stop.

I nogle af disse situationer foretrak beboerne så manuelt at afbryde pumpen med de deraf følgende problemer med vand, der presses ud gennem ekspansionsledningen.

Sammenfattende viser disse problemer, at der bør foreslås en ændret og bedre konstruktion i forbindelse med drain back systemer, se afsnit 4.1.

Yderligere har beboerne nævnt følgende:

- 1) Blæsermotor på separat varmeafgiver støjer meget.
- 2) Plaskebeholderen støjer meget.
- 3) Lagertanken giver brag ved temperatursvingninger omkring 60°C.
- 4) Det er svært at styre gulvvarmen i badeværelset (ingen radiatortermostat) om sommeren ved skiftende lagertemperaturer.
- 5) Anlægget fylder mere end en traditionel varmeinstallation.

#### 4.1 Forbedret anlægsudformning

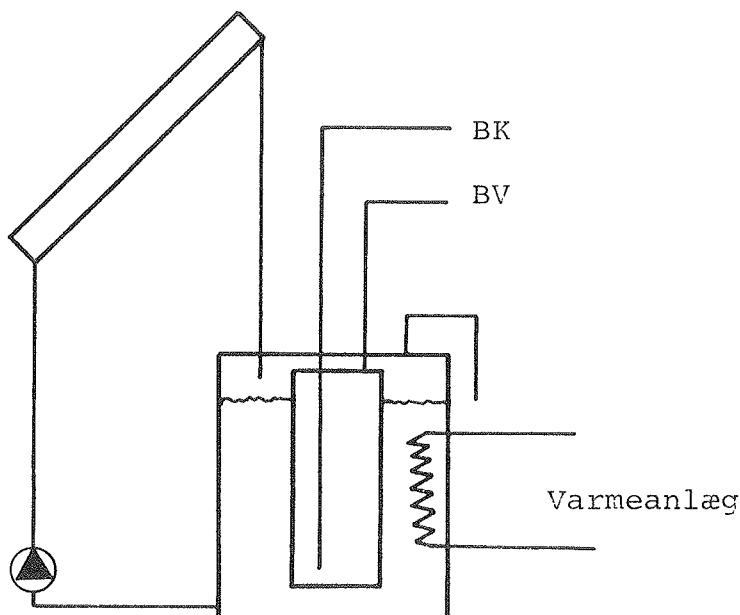
Udgangspunktet for valget af den aktuelle konstruktion har været hensynet til følgende forhold:

- huset er forsynet med fjernvarme, og fjernvarmenvand og vandet i solfangerkreds må ikke blandes.
- i solfangerkredsen skal det frie væskeneveau generelt så højt op som muligt (lille statisk trykdifference).
- en eventuel korrosion på grund af lufttilgang må ikke ske i lagertanken. Idet de indre overflader i den

ydre tank ikke umiddelbart kunne korrosionsikres, blev resultatet en helt separat solfangerkreds med almindelig åben ekspansion og en plaskebeholder, der kunne indeholde den således indesluttede luftmængde.

Korrosionsproblemet skal dog løses på anden vis, eventuelt med en tank af plast og med behandling af varmtvandsbeholderen udvendigt mod korrosion.

Systemet kan i så fald forenkles samtidig med at de tidlige omtalte problemer undgås.



Figur 4.1. Forenklet udformning for solvarmeanlæg efter tømmesystemprincippet.

På figur 4.1 er vist et principdiagram for et forenklet system. Her vil eventuelt produceret damp i solfangeren blæse ud gennem den frie adgang til atmosfæren.

Følgende emner er centrale ved design af drain-back systemer:

- afblæsning af damp fra solfanger
- solfangerne skal kunne drænes effektivt
- fyldning af alle solfangerelementer skal sikres (ingen luftlommer)

- pumpetrykket ved start skal være stort nok til at sikre fuldstændig fyldning af solfangere, men også af returrør, således at der ikke er luft heri
- det nødvendige pumpetryk under drift er muligvis meget lavere end det nødvendige starttryk på grund af udligning af det statiske tryk, der skal overvindes ved opstart
- solfangerstyringen skal have en større startdifferens end sædvanligt
- korrosionsforhold ved adgang til atmosfæreluft
- støjforhold
- efterfyldning af tank
- forhold ved overdimensioneret solfangerareal.

## 5. ØKONOMI

Solvarmeanlæggets pris incl. moms	64.700 kr
Solvarmeanlæggets pris incl. 30% tilskud	45.300 kr
Målt årlig ydelse: Brugsvand	816 kWh
Rumopvarmning	<u>1811 kWh</u>
Total	2627 kWh

I referenceåret er den årlige totale ydelse  
omtrent, se afsnit 3.4 2840 kWh

Ydelsen vil naturligvis være større end angivet her hvis varmeforbruget, både til brugsvandsopvarmning og til rumopvarmning, havde haft den forventede størrelse. Eksempelvis var varmtvandsforbruget på 79 l/dag kun halvt så stort som varmtvandsforbruget for en "normal" familie.

Beregning af solvarmeanlæggets ydelse med "normale" varmeforbrug kræver detaljerede beregningsmodeller. Det ligger uden for dette projekts rammer at udvikle sådanne beregningsmodeller. Derfor regnes der pessimistisk videre med den årlige ydelse på 2840 kWh. De økonomiske forhold for solvarmeanlægget vil derfor under normale forhold være bedre end angivet i det følgende.

Ved olierstatning bliver den årlige besparelse:

Årlig ydelse: 2840 kWh à 0,50 kr:	1420 kr
Sparet tomgangstab: 1100 kWh à 0,50 kr:	<u>550 kr</u>
Årlig besparelse:	1970 kr
Simpel tilbagebetalingstid	23 år

Ved el-erstatning bliver den målte årlige besparelse:

Årlig ydelse: 2840 kWh à 0,75:	2130 kr
Simpel tilbagebetalingstid	21 år

## Kreditforeningsbelåning og olieerstatning

Ydelse 1. år på kreditforeningslån efter skat  
ca. = 6,5% af hovedstol.

Nettoydelse på lån 1. år	2944 kr
Årlig besparelse i referenceår	<u>1970 kr</u>
Underskud 1. år	974 kr

Det opførte anlæg er således ikke rentabelt.

Anlægsprisen for det opførte prototypeanlæg er naturligvis relativ høj. Vurderes rentabilitet som overskud det 1. år ved kreditforeningsbelåning, vil rentabilitet være til stede, når anlægget kan installeres for 30.000 kr. incl. moms og tilskud.

Det er en reduktion på 33% i prisen der skal til, men resultaterne fra to sideløbende projekter under EFP85 har vist, at en prisreduktion af denne størrelsesorden var mulig for solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning, som i 1985 var væsentligt længere i udviklingsprocessen end rumopvarmnings-anlæg er i dag. En prisreduktion på 33% for rumopvarmnings-anlæg er derfor ikke urealistisk, hvis der iværksættes et seriøst udviklingsarbejde.

## KONKLUSION

Solvarmeanlægget har som helhed fungeret rimeligt, omend ydelser og dækningsgrader har været mindre end forventet både for brugsvand og for rumopvarmning. Den målte ydelse var 2627 kWh/år ( $152 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$ ), og dækningsgraden var 25%. I referenceåret vil anlægget yde omrent 2840 kWh/år eller  $164 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$ .

Årsagen til den relativt lave ydelse er først og fremmest det lave energiforbrug. Det opførte anlæg er derfor overdimensioneret. Med normale varmeforbrug vil ydelsen være højere end den målte ydelse. Der eksisterer ikke beregningsmodeller, som muliggør en beregning af anlæggets ydelse med normale varmeforbrug.

Anlæggets pris var omrent 45.000 kr. incl. moms og 30% tilskud. Såfremt rentabilitet for anlægget med det lave energiforbrug skal opnås, må anlægget ikke koste mere end 30.000 kr. Der er derfor behov for en prisreduktion på omrent 33%.

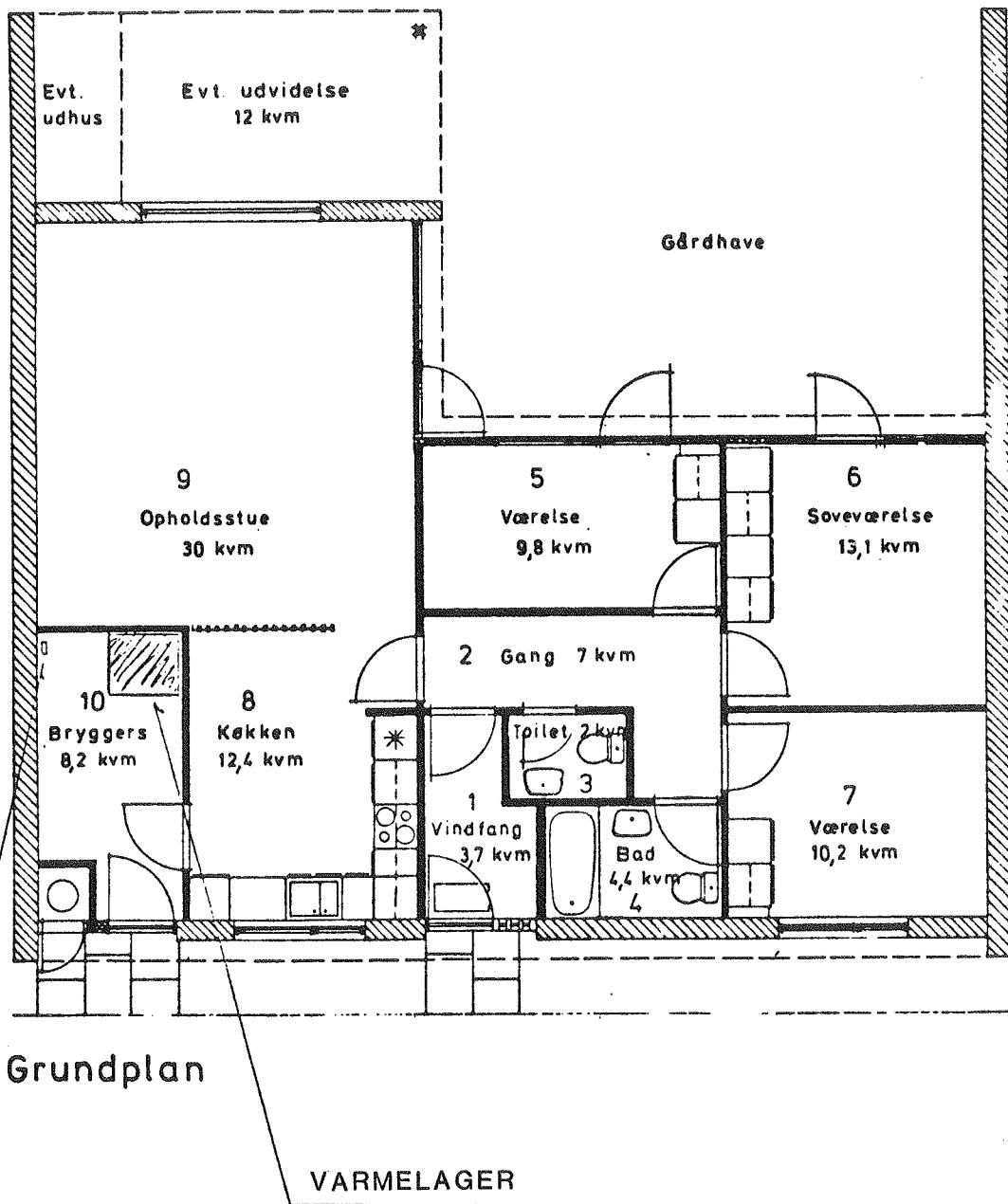
To gennemførte EFP85 projekter har resulteret i en prisreduktion siden 1985 for brugsvandsanlæg på omrent 30%.

Med tanke på at ovennævnte økonomiske betragtninger er pessimistiske pga. det lave varmeforbrug i demonstrationsanlægget, at der hidtil kun er gennemført meget lidt arbejde vedrørende udvikling af rumopvarmningsanlæg, og at brugsvandsanlæg i 1985 var væsentligt længere fremme i udviklingsprocessen end rumopvarmningsanlæg er i dag, vurderes det at det ikke er urealistisk, at rumopvarmningsanlæg kan blive økonomisk attraktive, hvis der iværksættes et målrettet udviklingsarbejde.

## REFERENCER

1. Svend Erik Mikkelsen, Leif Sønderskov Jørgensen. Solvarmeanlæg til rumopvarmning. En udredning baseret på 2 års målinger på anlæg i Greve og Gentofte. Energiministeriets Solvarmeprogram, rapport nr. 15, Laboratoret for Varmeisolering, meddelelse nr. 112, august 1981.
2. Ole Balslev-Olesen, Nick Bjørn Andersen. Et solvarmeanlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand, målinger på systemprøvestand. Energiministeriets Solvarmeprogram, rapport nr. 28, Laboratoret for Varmeisolering, meddelelse nr. 163, september 1984.

APPENDIX 1: TEGNINGER OVER HUS.



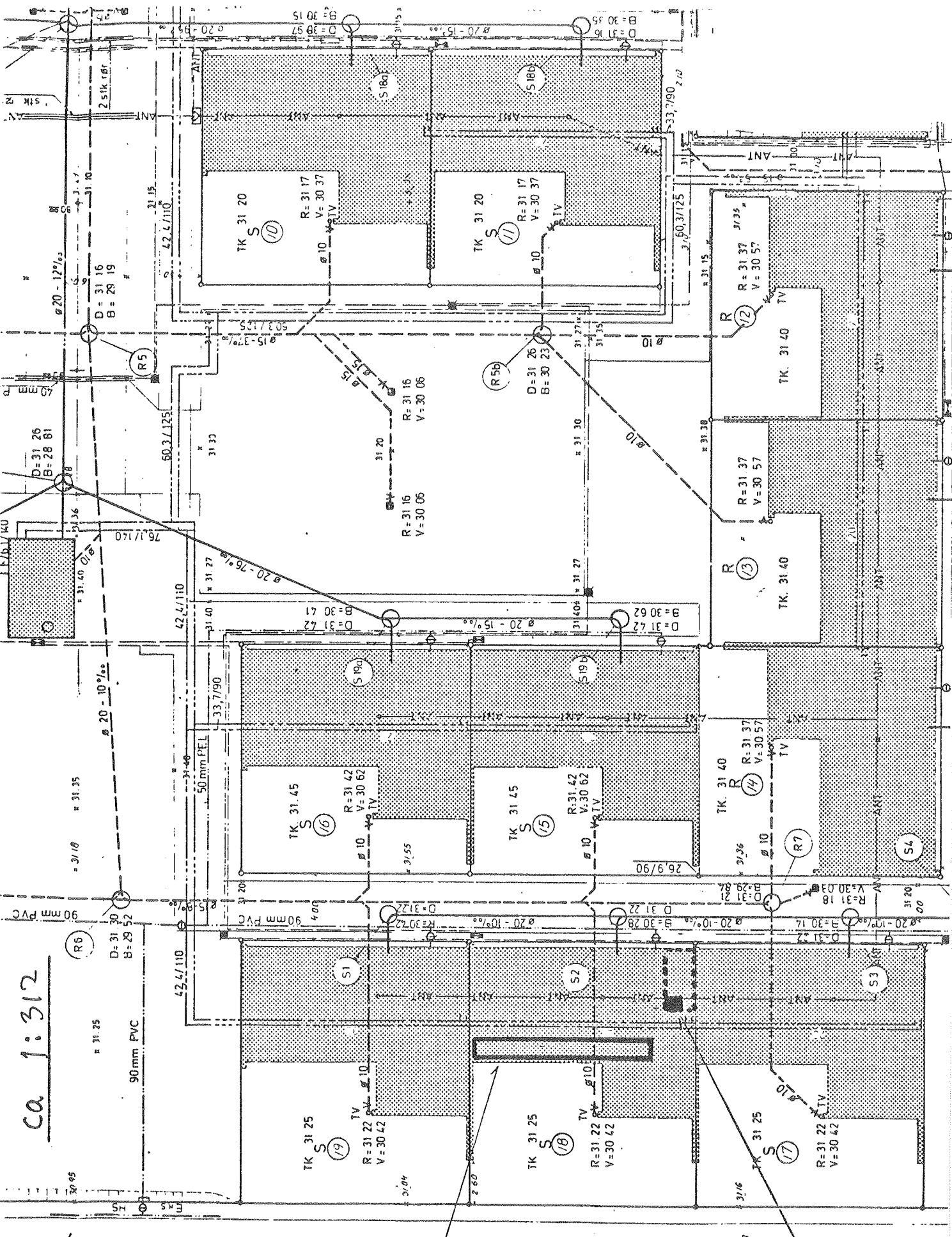
UDLUFTNINGSVENTIL – RØRGENNEMFØRING

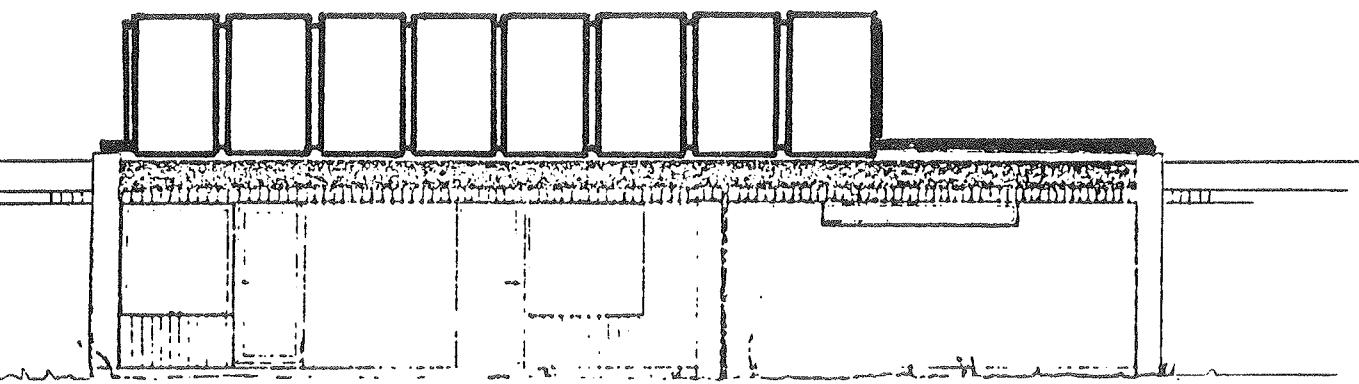
ca 1:312

500 m/s per sec  
" 30.97 "

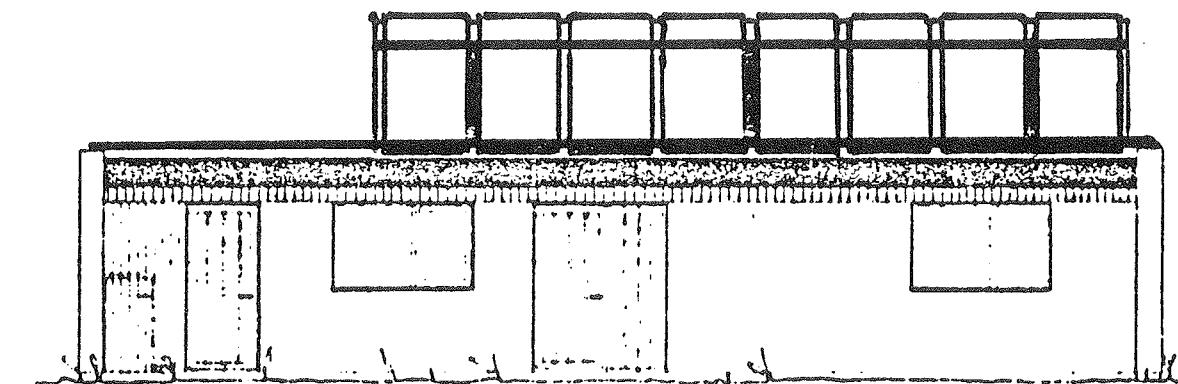
32

VARMELAGEF

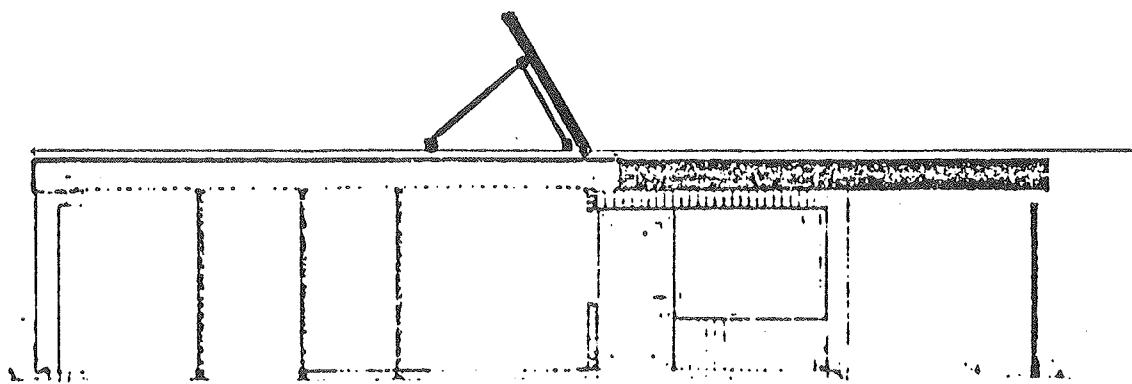




HAVEFACADE



INDGANGSFACADE



HAVEFACADE OG PRINCIPSNIT



FORSKNINGSUDVALGET FOR ENERGIANVENDELSE I BYGNINGER, APRIL  
1987

J. Kelnæs, afd.chef, Teknologisk Institut (formand)

Ole Jensen, civilingeniør, Statens Byggeforskningsinstitut  
(sekretær)

M.R. Byberg, lektor, civilingeniør, Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole

Erik Christoffersen, afd.leder, Statens Byggeforskningsinstitut

Vagn Korsgaard, professor, Laboratoriet for Varmeisolering,  
Danmarks Tekniske Højskole

M. Malte Johansen, afd.chef, Jysk Teknologisk

P.J. Snare, eksped.sekr., Energistyrelsen

Bent Petersen, kontorchef, Byggestyrelsen

Peter Steensen, civilingeniør, Teknologisk Institut

Olaf Smith-Hansen, civilingeniør, Rockwool A/S

Knud Hallgreen, ingeniør, Danfoss A/S

Jørgen S.R. Nielsen, civilingeniør, Birch & Krogboe K/S

Peter Dorph-Petersen, fuldmægtig, Energiministeriet

## LISTE OVER UDSENDTE RAPPORTER

### Solvarmeprogrammet

1. Kombineret solvarme-varmepumpeanlæg. Beregning af et anlæg til en mindre bebyggelse. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, april 1979.
2. Solvarme-fjernvarmeanlæg. Beregning af et centralt anlæg med og uden varmelager. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, september 1979.
3. Solvarmeanlæg i Gentofte. Målinger på anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand. Årsrapport. Laboratoriet for Varmeisolering, februar 1980.
4. Beregningsprogram til solvarmeanlæg. For TI59 programmerbar lommeregnemaskine. Teknologisk Institut, 1980.
5. Solvarmeanlæg i Herfølge. Solvarmeanlæg til opvarmning af brugsvand, 1/2 års målinger. Teknologisk Institut, juli 1980.
6. Solvarmeanlæg i Greve. Målinger på anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand. Årsrapport. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, juli 1980.
7. Solfangeres langtidsholdbarhed. Erfaringer med solfangere udsat for det naturlige vejrlig under kontrollerede, realistiske, ens driftsforhold i 3 år på prøvestand. Teknologisk Institut, juli 1980.
8. Solvarmesystemprøvestand. Resultater fra det første projekt på prøvestanden. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, 1981.
9. Solvarmeanlæg på Juelsminde campingplads. Brugsvand, 3 års målinger. Teknologisk Institut, august 1980.
10. Energiministeriets solvarmeprogram. Statusrapport, august 1980.
11. Energiministeriets solvarmeprogram. Projektforslag - langtidsplanlægning, oktober 1980.
12. To solvarmeanlæg til varmt brugsvand. En beskrivelse og vurdering efter 4 måneders drift af anlæggene. Laboratoriet for Varmeisolering, december 1980.
14. Solvarmeanlæg i Blovstrød. 2 1/2 års måliner på 10 m<sup>2</sup> brugsvandsanlæg. Teknologisk Institut, maj 1981.

15. Solvarmeanlæg til rumopvarmning. En udredning baseret på 2 års målinger på anlæg i Greve og Gentofte. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, august 1981.
16. Solvarmeanlæg til varmt brugsvand. En udredning baseret på 1 års målinger på 2 anlæg. Laboratoriet for Varmeisolering, september 1981.
17. Solvarmeanlæg i Herfølge. Varmtvandsanlæg i tæt-lav byggeri. Teknologisk Institut, maj 1982.
18. Korrosion i solfangerabsorbere. En undersøgelse af korrosionsforholdene i solfangernes væskekanaler. Teknologisk Institut/Korrosionscentralen, juli 1982.
19. Fokuserende solfanger med klimaskærm. Forundersøgelse. Risø, september 1982.
20. Solfangeres driftssikkerhed og holdbarhed. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, juli 1983.
21. Solvarme - fjernvarmeanlæg. Teknisk-økonomisk analyse af systemkombinationer. Teknologisk Institut/Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, maj 1983.
22. Solfangerabsorberes overfladebestandighed. Teknologisk Institut, februar 1984.
23. Solvarmeanlæg i Rødovre. Teknologisk Institut, februar 1984.
24. Solvarmeanlæg til varmt brugsvand i Gl.Holte. En vurdering efter et års målinger. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, oktober 1983.
25. Sol i boligen - et idé-katalog. Teknologisk Institut, marts 1984.
26. Solvarmeanlæg med stort udbytte - systemanalyse. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, april 1984.
27. Kombineret solvarme-varmepumpeanlæg i Næstved. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, juni 1984.
28. Et solvarmeanlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand. Målinger på systemprøvestand. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, september 1984.
29. Billig solfanger/lager unit til brugsvand. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, december 1984.
30. Projekteringsvejledning for passiv solvarme. Teknologisk Institut og Laboratoriet for Varmeisolering, december 1985.
31. Plast og gummi i solvarmeanlæg. Teknologisk Institut, maj 1985.

32. Hydrofil solfanger - Prøvning af prototype. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH. September 1985.
33. Solvarmeanlæg med stort udbytte - demonstration. Teknologisk Institut, oktober 1985.
34. Solvarmeanlæg i Brøndby. Solvarmeanlæg til opvarmning af brugsvand i en etageejendom, 2 års målinger. Teknologisk Institut, januar 1986.
35. Selvcirkulerende solvarmeanlæg i Lyngby - resultater og erfaringer fra et års målinger. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH. Januar 1986.
36. Konstruktion af solfangere - En håndbog/iðebog. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH. Marts 1986.
37. Driftserfaringer med solvarmeanlæg: Erfaringer fra besigtigelse af 51 anlæg. Teknologisk Institut, januar 1987.
38. Solvarme i offentlige bygninger - demonstration. 1 års målinger på et 18 m<sup>2</sup> solvarmeanlæg på en communal matelgård. Teknologisk Institut, februar 1987.
39. Solvarme i nybyggeri. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, marts 1987.
40. Selektive overflader i solfangere. Teknologisk Institut, oktober 1987.

#### Varmelagerprogrammet (LfV)

1. Litteraturundersøgelser og vurdering af kemiske varmelagre. Peter L. Christensen, august 1979.
2. Sæsonlagring af varme i store vandbassiner. Udført af Dipco Engineering ApS, november 1979.
3. Beregning af energiforbrug i bygninger (EFB-1). En metode til brug for bordregnemaskiner. Anker Nielsen, februar 1980.
4. Beregning af energiforbrug i bygninger (EFB-1). Bruger vejledning for TI-59. Anker Nielsen, februar 1980.
5. Prøvning af varmelagerunits til solvarmeanlæg. Simon Furbo, april 1980.
6. Beregning af ruminddelte bygningers energiforbrug. Anker Nielsen, oktober 1980.
7. Vinduets betydning for enfamiliehuses energiforbrug. Anker Nielsen, november 1980.

8. Heat Storage with an incongruently melting salt hydrate as storage medium based on the extra water principle. Simon Furbo, december 1980.
9. Enfamiliehuse med glasbeklædte uderum. Anker Nielsen, marts 1981.
10. Kemiske varmelagre. Teori og praksis. Peter L. Christensen, december 1981.
11. Varmtvandsforbrug i boliger. Niels Mejlhede Jensen, februar 1982.
12. Prøvemetoder for mindre varmelagre og erfaringer fra prøvningerne. Simon Furbo og Jan-Erik Larsen, november 1982.
13. Solopvarmning gennem vinduer. Niels Mejlhede Jensen, november 1982.
14. Økonomisk solbidrag til opvarmning af brugsvand. Sven Pedersen, Simon Furbo, Preben Nordgaard Hansen og Vagn Ussing, december 1982.
15. Birkerød solhus. Beregninger og målinger. Niels Mejlhede Jensen, december 1983.
16. Lagertyper og lagerstørrelser i solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning. Søren Østergaard Jensen og Simon Furbo, marts 1984.
17. Prøvning af kemisk varmepumpelager. Otto Dyrnum, april 1984.
18. Varmeovergang i små solvarmelagre. Søren Østergaard Jensen, november 1984.
19. Varmelagring ved hjælp af en kemisk varmepumpe med vandig saltopløsning som absorptionsmiddel. Otto Dyrnum, november 1984.
20. BLAST - EDB-program til beregning af passiv solvarme. Jørgen Erik Christensen, november 1984.
21. Solvarmeanlæg med bygningsintegrerede varmelagre. Lars Olsen, december 1984.
22. Prøvning af et kemisk varmepumpelager med saltopløsning som absorptionsmiddel. Otto Dyrnum, marts 1985.
23. Smeltevarmelagre baseret på salthydrater placeret i plastslanger. Simon Furbo, august 1987.

