

SOLVARMESYSTEMPRØVESTAND
RESULTATER FRA DET FØRSTE PROJEKT
PÅ PRØVESTANDEN

AF

OLE BALSLEV OLESEN

CARSTEN NIELSEN

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE



MEDDELELSE NR. 110

Summary.

A solar collector storage tank, which will be of interest for future projects within solar heating systems for space heating incorporating domestic hot water, has been tested in this project.

The test has given a thorough knowledge of how to develop a storage tank with the greatest effect.

The sensitivity of the system has also been tested by parameter variations. It has been carried out by the computer program verified in the project.

These parameter analysis decide the "improvements" in a solar heating system which will will give the greatest surplus effect.

The model can also be used for economical considerations regarding improvement of the profitability of solar heating systems.

In this project a solar collector with a black painted absorber has been used. Other projects have shown that the increased expenses by using selective surfaces are more than compensated by the surplus effect of the solar collector. The same facts manifest themselves in this combined system.

Selective solar collectors have been placed on the test bed, and a storage tank giving a simple system solution has been used.

That may be this new project is a prototype of a 2nd generation demonstration system. The 2nd generation system will be built in The Energy Ministry's Solar Heating Program ultimo 1982.

1. Forord.

Denne meddelelse omhandler nogle af de resultater, der er fremkommet ved drift af systemstanden, samt en beskrivelse af prøvestanden og dens funktioner.

Den viden om solvarmesystemer, der er opnået, er dels benyttet til at udvikle og kontrollere de ved Laboratoriet for Varmeisolering eksisterende EDB-programmer og dels til projektering af 2. generationsanlæg inden for solvarmeprogrammet.

Prøvestanden har vist sig at være et nyttigt værktøj ved udvikling af solvarmesystemer. Det er her muligt at ændre på anlæggene, så ofte det ønskes. Samtidigt udføres et detaljeret måleprogram, således at enhver ændrings indflydelse på anlæggets ydeevne kan dokumenteres.

Målet er at udvikle solvarmeanlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand, der ydelsesmæssigt ligger på linie med de gode resultater, der er opnået ved brugsvandsanlæg.

2. Indledning.

I 1977 fremkom EF med tanken om opførelse af en solfangersystem-prøvestand i hvert medlemsland bortset fra Luxembourg. På disse prøvestande skulle der kunne afprøves fuldskala solvarmesystemer og samtidig foretages omfattende målinger.

De vigtigste fordele ved en sådan prøvestand er:

1. Der kan ændres på systemerne
2. Nyudviklede systemer kan testes under overvågning
3. Der kan indsamles pålidelige måledata.

Projektets formål er dels at bidrage til udviklingen af solvarmeanlæg og dels at få et bedre kendskab til, hvorledes udbyttet varierer, når de fysiske parametre ændres. Herved opnås et bedre grundlag for beregning af solvarmeanlæg samt større kendskab til, hvorledes et givet anlæg fungerer.

Dette sker bl.a. ved samarbejde mellem de 8 prøvestande, gennem udveksling af erfaringer og gennem koordinering af arbejdet.

På prøvestanden blev der i første fase opført 2 solvarmesystemer, hvor det ene SS 1 er en del af et EF-projekt, og det andet er en del af den hjemlige energiforskning. Der er udkommet en rapport på engelsk angående SS1. I denne rapport beskrives prøvestanden, og resultaterne fra SS2 vurderes.

3. Prøvestandens opbygning.

Ved projekteringen af prøvestanden er det forsøgt at gøre systemet så flexibelt som muligt. Derfor er stativet til oplægning af solfangerne adskilt fra den bygning, hvori måleudstyr, lagertanke, rør, pumper etc. er placeret, (se fig. 3.1).

Stativet består af tre stålrammer, der individuelt kan stilles med en vilkårlig vinkel i forhold til jorden. På hver stålramme er der aluminiumsplader på bagsiden og taglægter på forsiden. Pladerne forhindrer, at solfangerne bliver direkte vindbestrøgne på bagsiden. Taglægterne er til fastgørelse af solfangerne.

Hver ramme har målene $6 \times 7,5$ m; arealet er 45 m^2 . Samlet areal 135 m^2 .

Hallen er på 190 m^2 , hvoraf målerummet udgør 25 m^2 . Der er isoleret med 10 cm isolering i vægge og loft. Opvarmningen foregår med el og er dimensioneret til at kunne holde rummet frostfrit. I målerummet holdes temperaturen konstant på 24°C af hensyn til måleudstyret.

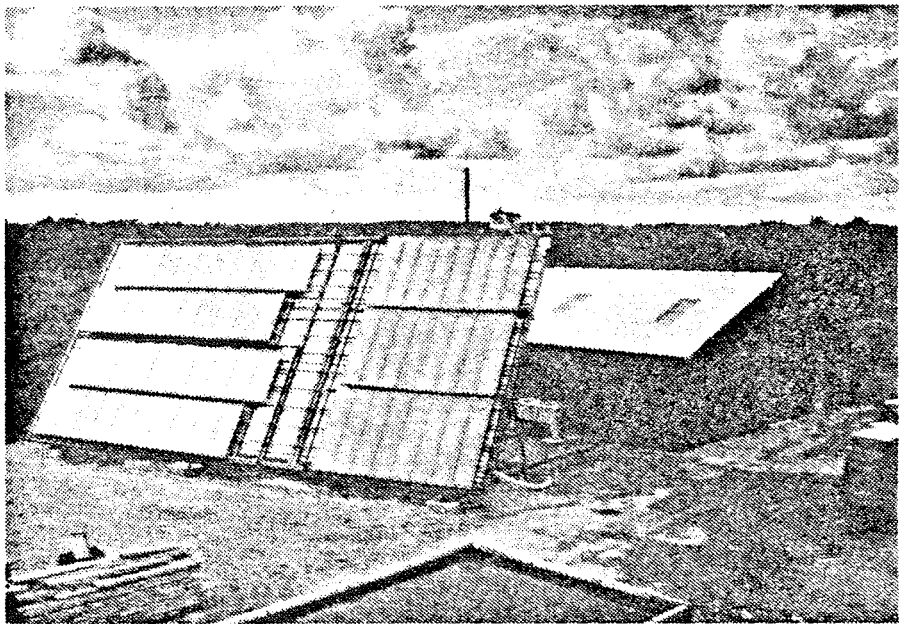
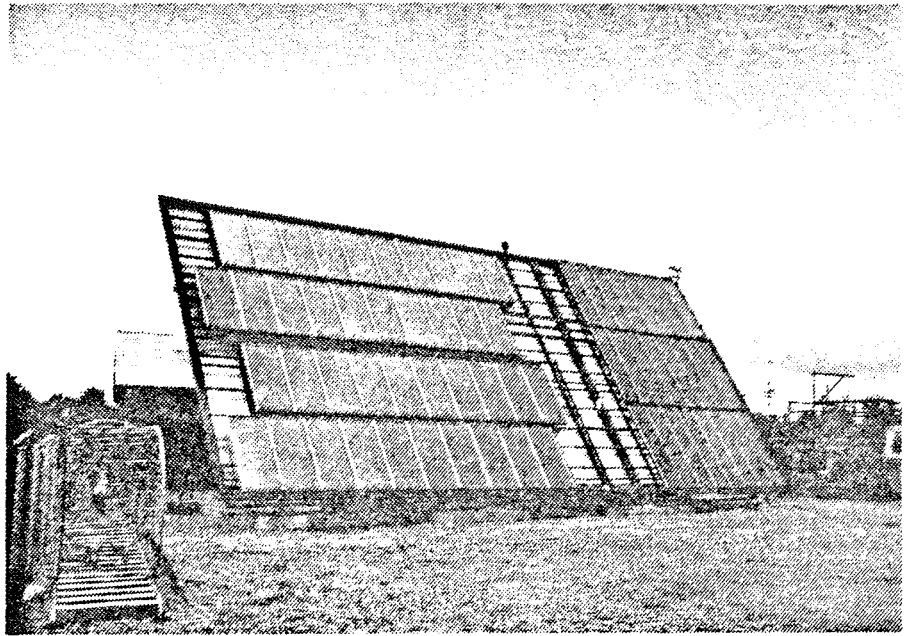


Fig. 3.1.

Solfangersystem-prøvestanden med de første to solfangersystemer.

4. Måleudstyr.

På prøvestanden benyttes der et dataopsamlingsudstyr, der både kan styre anlæggene og opsamle de forskellige data.

Hewlett-Packards 3052A system er benyttet som basissystem ved opbygningen. De enkelte komponenter er følgende:

1. Scanner HP3495A
2. Voltmeter HP3455A
3. Bordkalkulator HP9825A
4. Multiprogrammer HP6940B
5. Magnetbåndstation Penny and Giles 2100,
se fig. 4.1 og fig. 4.2.

Anlægget har en kapacitet på 80 kanaler og med mulighed for udbygning.

Dette system kan opsummere pulser, måle spændinger, strømstyrker og modstande. Disse størrelser behandles derefter i kalkulatoren og omsættes til "forståelige" størrelser. Disse benyttes til at kontrollere anlægget og udskrives som middelværdier gennem en given tidsperiode på magnetbåndstationen. I øjeblikket scannes der hvert 20. sekund, og der udlæses time-middelværdier.

Systemet styres via multiprogrammeren, der kan sætte strømstyrker, spændinger og relæer på værdier, som beregnes ved hjælp af de indgåede vejrdato.

Programmeringskapaciteten er 24K bytes.

Alle temperaturer måles med kobber-konstantan termoelementtråde i den bedste kalibreringsklasse. Referenceelementet er placeret i en specielt udviklet kasse med en maximal temperaturvariation på $\pm 0,1^{\circ} \text{C}$.

Temperaturdifferencer måles med termosøjler med 10 elementer i hver søjle.

Solindfaldet måles med pyranometre fra Kipp og Zonen.

Til flowmåling(er) benyttes ringstempelmålere fra Aqua-Metro med en nøjagtighed på $\pm 1\%$ af visningen.

Varmetransport udregnes på grundlag af størrelserne flow, temperaturdifferens, varmfylde og massefylde på de enkelte kredse.

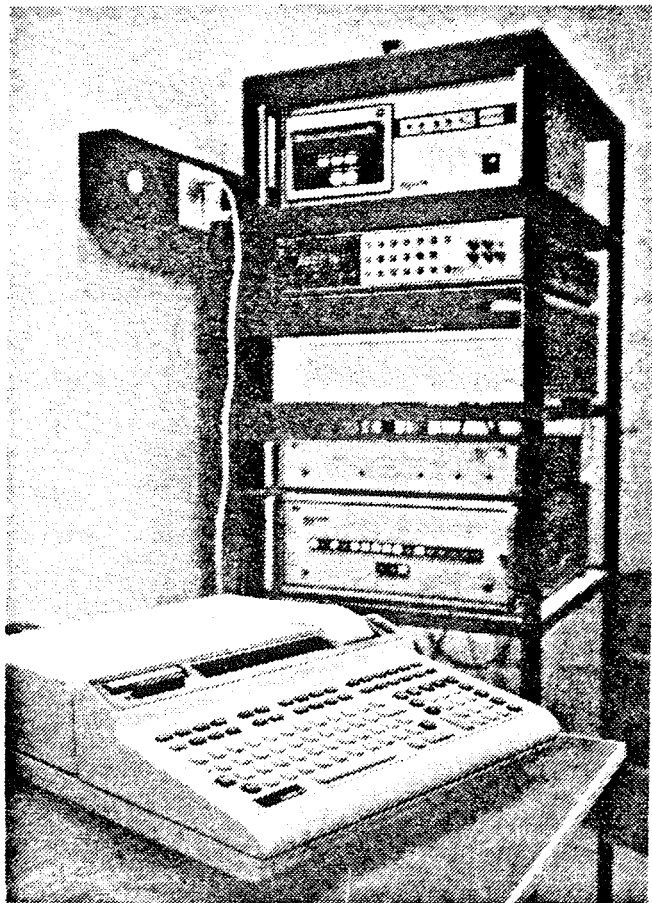


fig. 4.1
Måleudstyret

fig. 4.2
Måleudstyrets
placering i
rummet.



5. Prøvestandens drift.

Ideen med prøvestanden er, at solvarmesystemernes drift skal svare til driften af et solvarmesystem installeret på f.eks. et normalt parcelhus.

Den varme, der forbruges i et hus, simuleres på prøvestanden. Der er opstillet 2 simuleringssystemer, der på grundlag af vejrpåparametre tager varme ud af akkumuleringsstankene svarende til et normalt husforbrug.

Ved hjælp af disse systemer er det muligt at variere varmeudtaget svarende til forskellige opvarmningssystemer og til forskellige huse.

Varmtvandsforbruget simuleres ved direkte tapning.

Den viden, der fås, giver et klart udtryk for solvarmesystemers følsomhed over for parametervariationer, og det medvirker til, at dimensioneringsmodellen for solvarmeanlæg kan benyttes til f.eks. optimering af solvarmeanlæg. Det er ligeledes væsentligt ved økonomiske betragtninger.

Der er bygget 2 systemer på prøvestanden i første fase. Systemerne benævnes SS1 og SS2.

SS1 er et anlæg med 50 m^2 solfanger og 3 m^3 akkumuleringsstank. Dette anlæg er opført på alle 8 prøvestande, hvor det er forsøgt at bygge dem så ens som muligt. Der er benyttet ens solfangere; varmevekslere, isolering og varmekapaciteten er ligeledes forsøgt holdt ens.

Ved at variere parametre på de 8 prøvestande fremkommer mange væsentlige måledata, der vil blive benyttet til analyser.

6. Beskrivelse af solvarmesystem 2 (SS2).

Solvarmesystemet er bygget til at give tilskud til både rumopvarmning og til varmt brugsvand. Systemet skulle kunne give tilskud af størrelsesordenen 50% af varmebehovet for et parcelhus isoleret efter kravene i Bygningsreglement 1977.

Akkumuleringstanken er på 1200 l og med en indbygget 200 l forvarmningsbeholder til varmt brugsvand. Akkumuleringsbeholderen har målene $0,85 \times 0,85 \times 1,65 \text{ m}^3$ og er udført i 4 mm stålplade.

Varmevekslingen fra solfangerkredsen til akkumuleringstanken sker her med en varmeveksler uden for tanken.

Solfangeren består af 24 elementer fremstillet af Dæmpa. Disse har ét dækglas og en sortmalet absorber.

Se fig. 6.1.

6.1. Beskrivelse af et solfangerelement.

Navn:	Dæmpa, 1 lag, type A
Fabrikant:	Dæmpa A/S, 5690 Tommerup

Dæklag:	
Antal:	1
Materiale	glas
Tykkelse:	4 mm
Areal:	$1,25 \text{ m}^2$

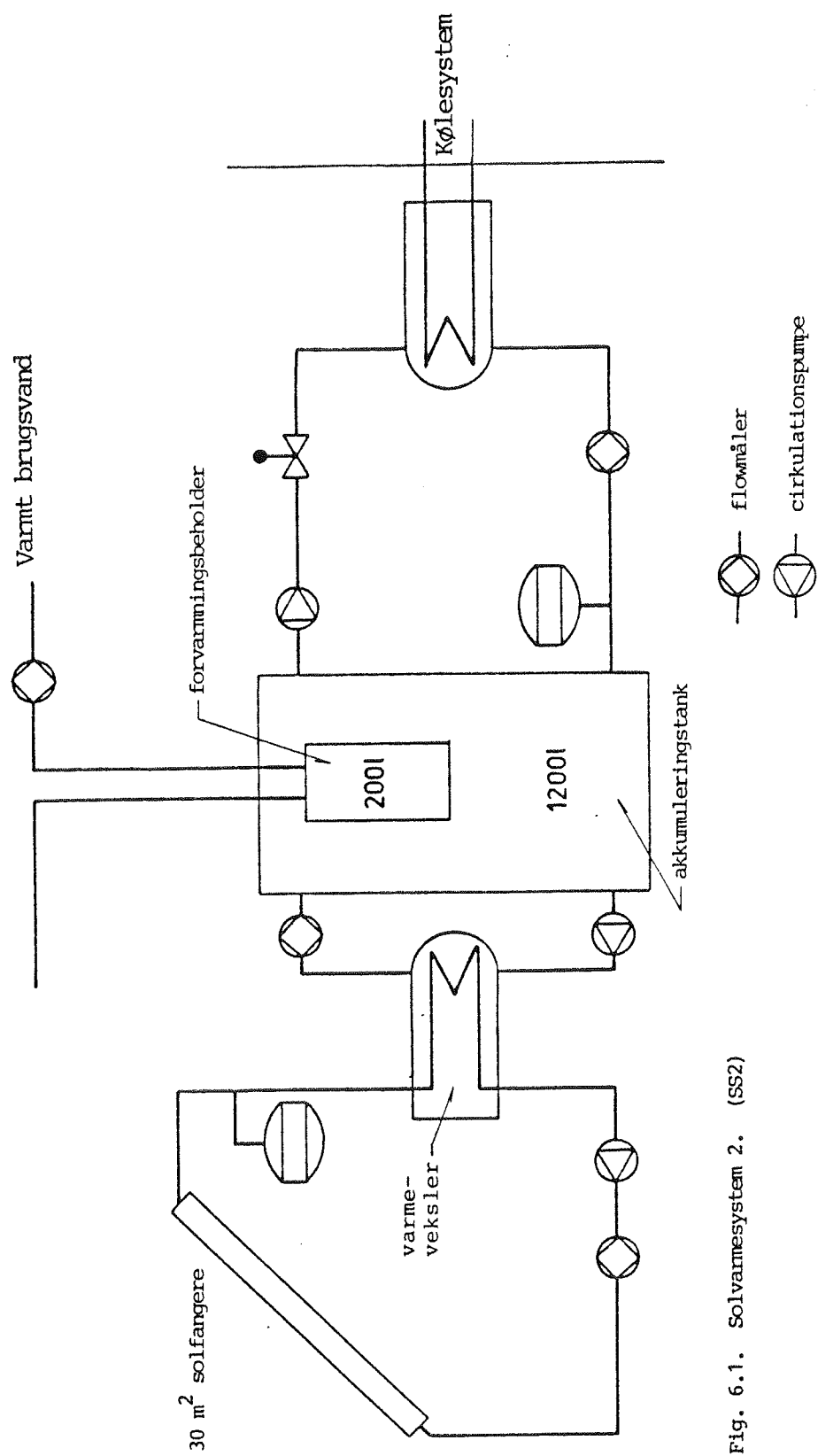


Fig. 6.1. Solvarmesystem 2. (SS2)

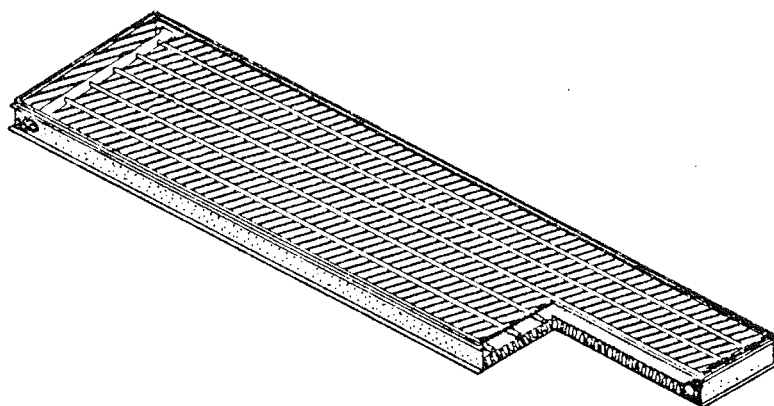


Fig. 6.2. Tegning af Dæmpa solfangeren.

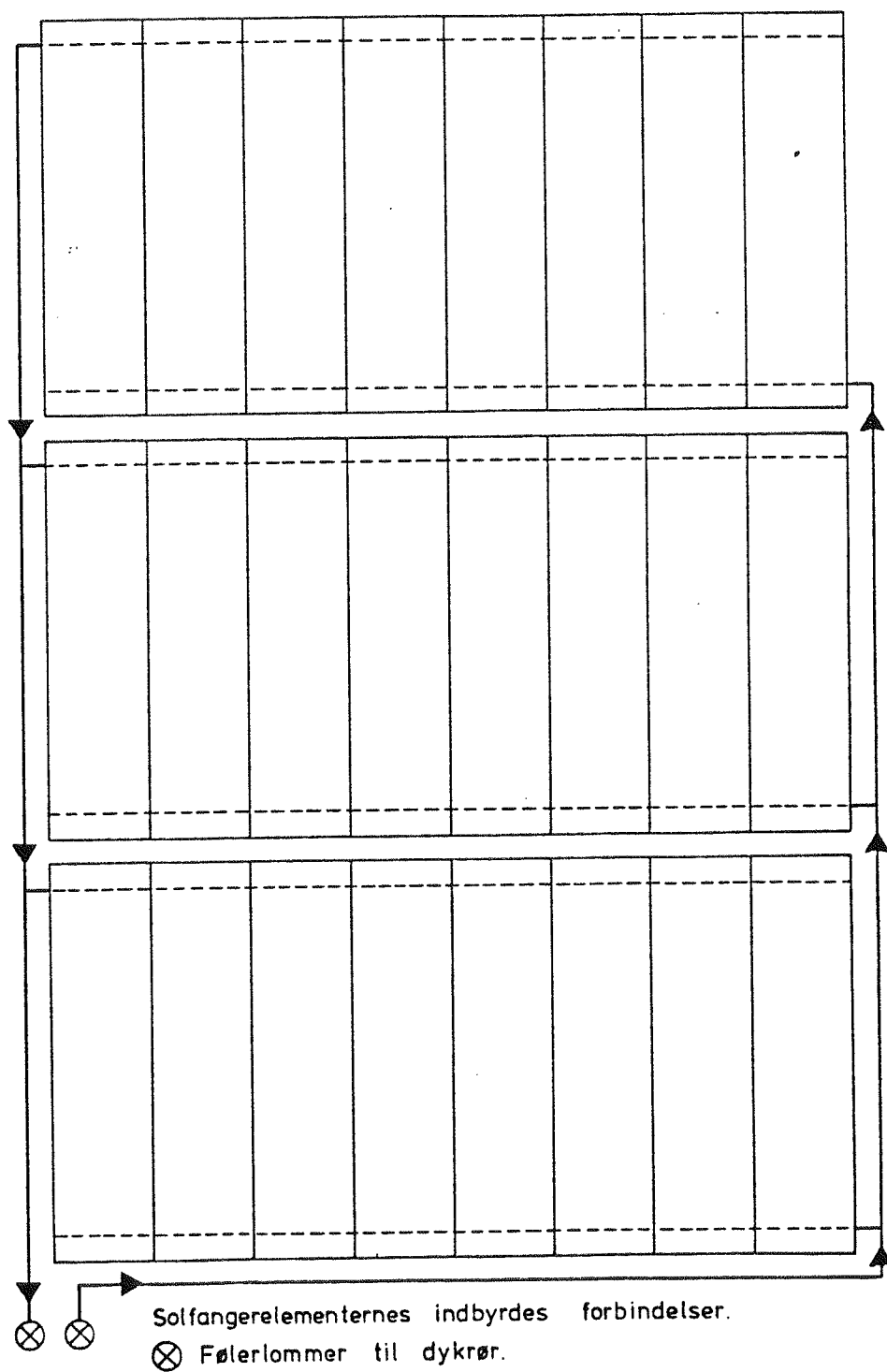


Fig. 6.3.

Absorber:
 Materiale: aluminium
 Overflade: sort maling
 Konstruktion: rør-plade med klemning om rør
 Væskeindhold: 1,4 l

Isoleringsmateriale: Rockwool
 Tykkelse: 40 mm
 Randisolering: 15 mm rocklitplader
 Totalvægt: 36,4 kg
 Kassemateriale: 0,5 mm jernplade med plastic
 overfladebehandling
 Dimension: 0,6 x 2,4 m

Se fig. 6.2.

6.2. Solfangerens specifikationer.

Bruttoareal: 34,56 m²
 Glasareal: 30,00 m²
 Vandindhold: 33,6 l

Elementerne er forbundet som vist på fig. 6.3. Alle rør er 1½" galvaniserede stålrør bortset fra koblingen mellem solfangerne, der er 1" aluminiumsrør.

7. Varmeudtag fra akkumuleringstank til rumopvarmning.

Da solvarmeanlægget ikke er installeret i et parcelhus, er det nødvendigt at simulere et varmebehov. Det har været ønskeligt at opnå et varmebehov svarende til det, der kan forventes i et normalt enfamiliehus på 120 m² og bygget i overensstemmelse med bygningsreglementet fra 1977, BR77.

Ved hjælp af det på Laboratoriet for Varmeisolering udviklede simuleringsprogram til beregning af varmebehov, BA4, og med referenceåret som vejrdato, er sammenhørende timeværdier for varmebehovet og vejrdato fundet. Ud fra disse data er et tilnærmet udtryk fundet for det øjeblikkelige varmebehov.

$$Q = A \cdot (t_i - t_u) - B \cdot I_L - G \quad [\text{W}]$$

t_i : indetemperatur, 21°C

t_u : udetemperatur. [°C]

I_L : solindfald på lodret sydvendt flade.
[W/m²]

A: 177.7 W/°C (fundet ved regressionsanalyse)

B: 2.8 m² (fundet ved regressionsanalyse)

G: gratisvarme fra personer og el
~ 11 kWh/døgn.

Med referenceåret som vejrdato giver dette et totalt årligt energiforbrug på 14000 kWh.

Udtrykket giver en maximal afvigelse på ca. 5% i forhold til BA4, mens afvigelsen på døgnsummerne er under 2%.

Det tænkte opvarmningssystem, som ønskes simuleret på forsøgsanlægget, er vist på fig. 7.1. Der er anvendt gulvvarme, da dette er gunstigt for et solvarmeanlæg på grund af den lave fremløbstemperatur. En udekompensator bestemmer fremløbstemperaturen. Følgende typiske opvarmningssituationer kan forekomme.

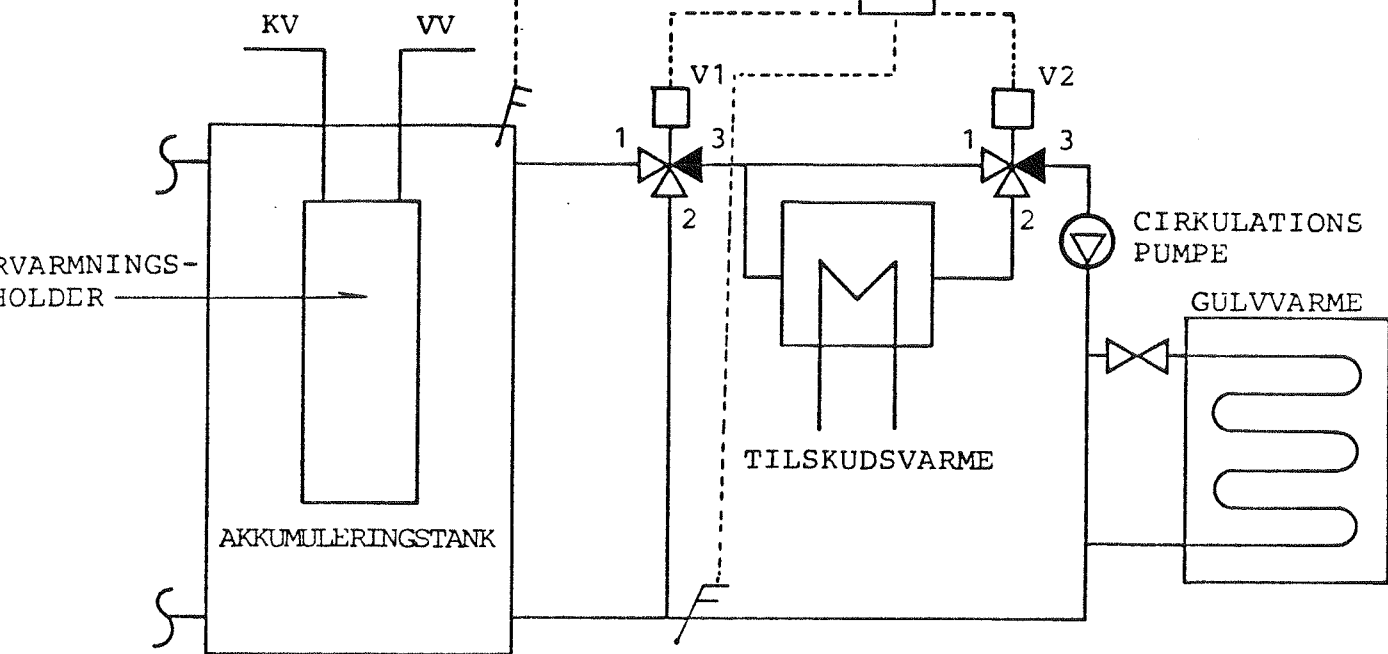


Fig. 7.1 Principskitse af opvarmningssystemet i et virkeligt system.

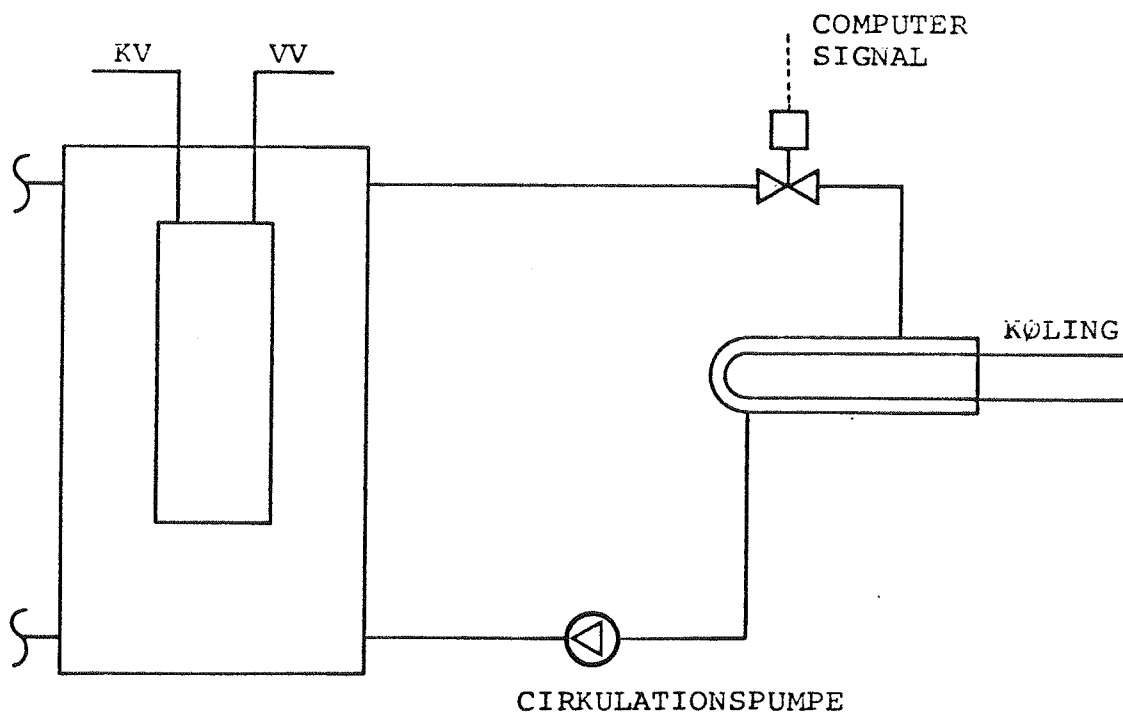


Fig. 7.2 Principskitse af simmuleringsanlægget på prøvestanden.

1. Driftssituation. Temperaturen i akkumuleringsstanken er større end den ønskede fremløbstemperatur.

Varmebehovet dækkes 100% af solvarme.

V1: delvis åben (alle porte åbne)

V2: fuldt åben (port 1 og 3 åbne)

2. Driftssituation. Temperaturen i akkumuleringsstanken er mindre end den ønskede fremløbstemperatur; men større end returtemperaturen fra gulvvarmeanlægget. Varmebehovet dækkes delvis af solvarme.

V1: fuldt åben (port 1 og 3 åbne)

V2: delvis åben (alle porte åbne)

3. Driftssituation. Temperaturen i akkumuleringsstanken er mindre end returtemperaturen. Varmebehovet dækkes 100% af tilskudsvarmen.

V1: lukket (port 1 og 3 åbne)

V2: delvis åben (alle porte åbne)

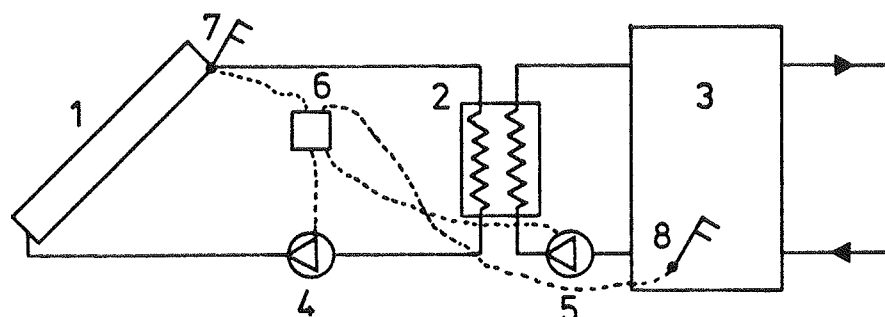
På fig.7.2 er vist, hvordan varmeudtaget fra lageret sker på forsøgsanlægget. Vandet køles i en varmeveksler, og mængden reguleres af en motorventil, som styres af anlæggets computer. Vandmængden reguleres således, at den er i overensstemmelse med mængden i ovenstående skitserede opvarmningssystem. Det kan dog ske, at energimængden tappes for hurtigt på grund af for kraftig køling i varmeveksleren. Der vil så blive lukket for kredsen, således at den målte integrerede energimængde svarer til den beregnede (nulstilling ved midnat).

7.1. Tapning af varmt brugsvand.

Det daglige forbrug til varmt brugsvand er valgt ud fra den erfaring om en families varmtvandsforbrug, som haves fra demonstrationsprojekterne under Energiministeriets solvarmeprogram. Det skal bemærkes, at der kan forekomme store forskelle i familiers varmtvandsforbrug, hvilket har stor indflydelse på et anlægs ydelse. Ovenstående forbrug er et middelforbrug, men i øvrigt kan anlæggets ydelse som funktion af forbruget findes ved hjælp af den beregningsmodel, der simulerer anlægget.

Der foretages 3 tapninger pr. dag på tidspunkterne kl. 8, kl. 12 og kl. 18. Ved hver tapning tappes en vandmængde på 50 liter vand. Hvis temperaturen i varmtvandsbeholderen er større end 45°C blandes med koldt vand, således at mængden fra varmtvandsbeholderen bliver mindre end de 50 liter.

7.2. Styring af solfangerkredsen.



1. Solfanger
2. Varmeveksler
3. Akkumuleringstank
4. Pumpe i solfangerens primære kreds
5. Pumpe i solfangerens sekundære kreds
6. Differenstermostat
7. Solfangerføler, hæftet på bagsiden af absorberen
8. Føler i bunden af akkumuleringstanken.

Fig. 7.2.1. Solvarmesystem SS2.

Anlægget styres af en differenstermostat. Differenstermostaten starter begge pumper, når temperaturen på solfangerens absorberplade er højere end temperaturen ved bunden af akkumuleringstanken, og den stopper pumperne, når temperaturen i akkumuleringstanken er højest. Dette giver anledning til nogen pendling ved opstarten.

Typisk starter pumperne 2 gange med 5 min. interval, hvilket dog ikke har nogen betydning for effektiviteten.

8. Lagdeling i lagertank.

Et forhold, som er karakteristisk for anlæggets drift, er den temperaturlagdeling eller stratificering, som dannes i akkumuleringsstanken.

Den opstår ved, at det varme vand fra toppen af tanken køles i gulvvarmeanlægget (varmeveksleren) og returneres til tankens bund. Denne afkøling kan i nogle tilfælde blive ret stor. Hvis temperaturen i toppen af tanken antages at være 60°C og den nødvendige fremløbstemperatur 30°C , fås en returtemperatur på ca. 25°C , altså en afkøling på ca. 35°C .

Tanktemperaturen på forsøgsanlægget er målt umiddelbart før udløbet til opvarmningssystemet. Ved hjælp af en EDB-model, som senere skal blive omtalt, er temperaturfordelingen i tanken simuleret, og resultatet er vist på fig. 8.1. Temperaturen i det øverste lag er sammenlignet med den målte i tanken, og det fremgår af fig. 8.2., at der er en ganske god overensstemmelse, således at der er god grund til at mene, at modellens forudsætninger er valgt rigtigt.

Det ses, at en udpræget lagdeling kan opbygges, men at den nedbrydes, når tanken opvarmes. Det skyldes, at pumpen i solfangerens sekundære kreds skaber en kraftig cirkulation i beholderen.

På fig. 8.3 er angivet 3 systemudformninger. Et som viser princippet for forsøgsanlægget og to andre, som skulle sikre en bedre stratificering. Hvilke af dem, man bør vælge, må afgøres ved en mere grundig undersøgelse. Det er ligeledes afgørende, hvilket opvarmningssystem der er benyttet.

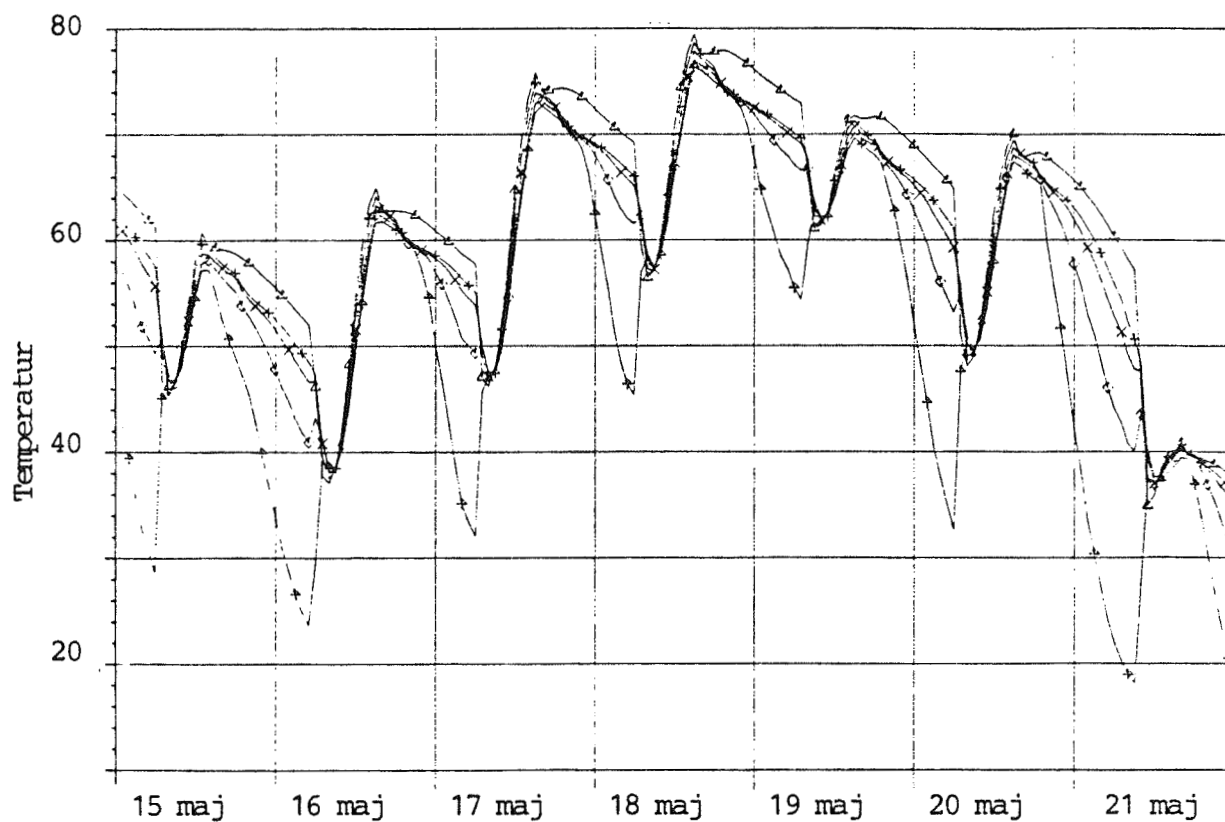


Fig. 8.1. Temperaturfordelingen i akkumuleringsstanken beregnet i fem forskellige lag.

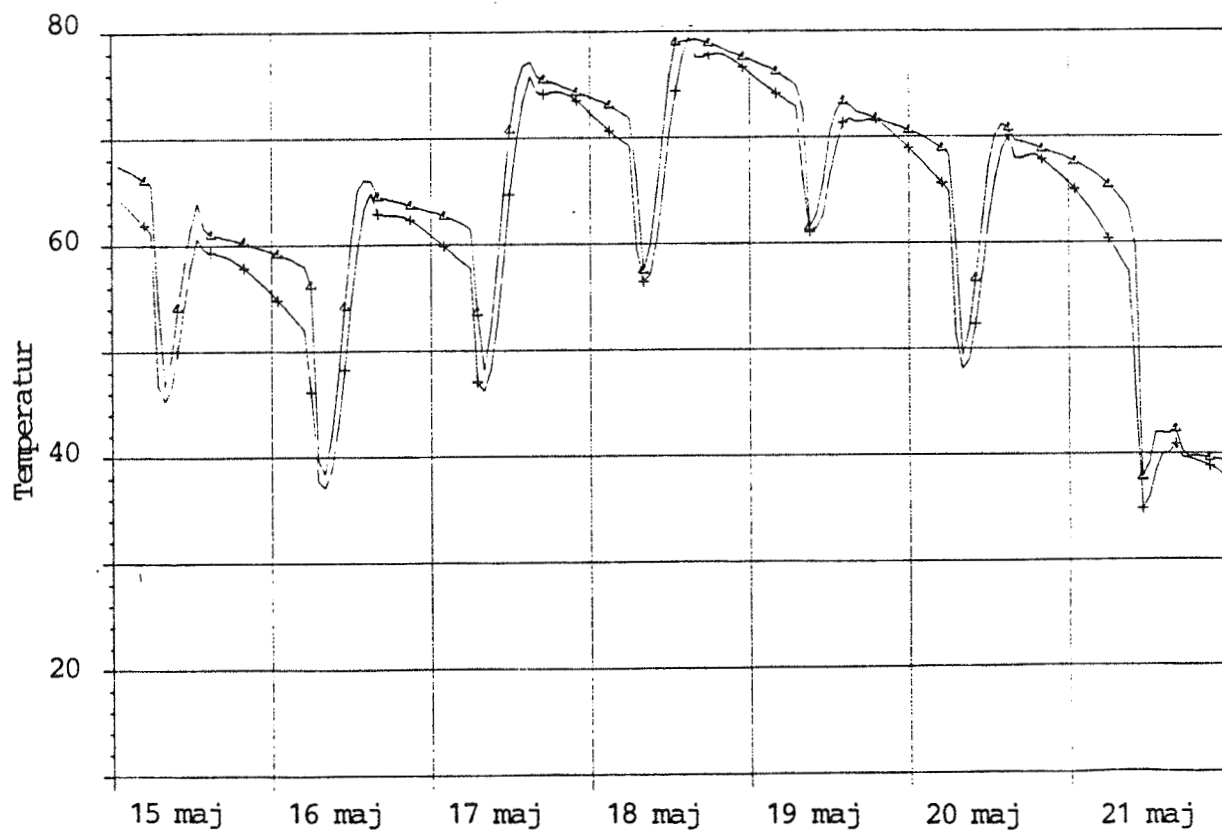
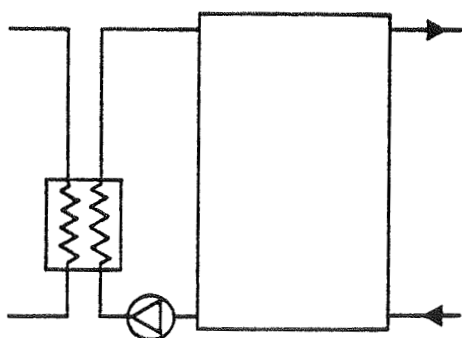


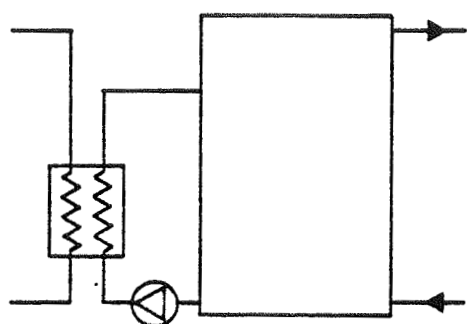
Fig. 8.2. Temperaturen af vandet i toppen af akkumuleringsstanken både beregnet og målt.

Δ : målt

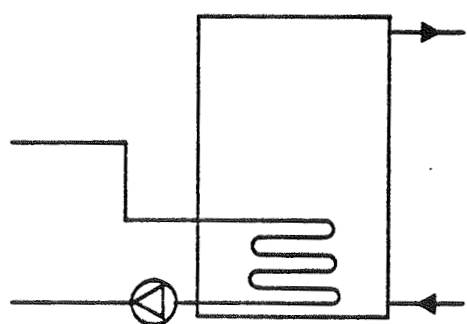
+ : beregnet



1. Som forsøgsanlægget er udformet.



2. Med returløbet fra solfangerens sekundære kreds placeret et stykke nede i beholderen. Dette skulle sikre, at et varmt lag i toppen bevarer, når cirkulationspumpen startes.



3. Varmeveksleren er placeret i bunden af lageret således, at kun konvektionsstrømme kan ødelægge en eventuel stratificering.

Fig. 8.3. Variationer i systemudformningen.

9. Solfangerens effektivitet.

På grundlag af målingerne i april, maj og juni måned 1980 er effektivitetskurven for anlæggets solfangere fundet, og resultatet er vist på fig. 9.1 og 9.2. Effektivitetskurven er angivet som funktion af den reducerede temperatur T , der er defineret som

$$T = \frac{U_o (T_m - T_u)}{I}$$

hvor U_o = den normaliserede varmetabskoefficient
 $= 10 \text{ W/m}^2\text{K}$

T_m : middeltemperaturen af væsken i solfangeren [$^{\circ}\text{C}$]

T_u : omgivelsernes temperatur

I : solindfaldet på solfangeren [W/m^2]

Måling af solfangerens effektivitet på prøvestand sker normalt under stationære forhold. For at opfylde dette krav er der taget højde for varmekapaciteten i solfangeren, således at effektiviteten er fundet af følgende udtryk:

$$\eta = \frac{Q_1 + C \cdot \frac{dT_m}{d\tau}}{A \cdot I}$$

Q_1 : målt energistrøm over solfangeren

C : kapaciteten af absorberpladen, rørforbindelser og væskeindholdet, som for anlægget er $328 \text{ kJ}/^{\circ}\text{C}$

T_m : middeltemperaturen af væsken i solfangeren

τ : tidsstep, som for målingerne er 3600 s

A : totale solfangerareal [m^2]

I : solindfaldet på solfangeren [W/m^2]

Desuden er følgende betingelser opfyldt:

$$I > 700 \text{ W/m}^2$$

$$\text{indfaldsvinkel} < 30^{\circ}$$

Dette giver ialt 58 målepunkter.

Yderligere forhold, som gør sig gældende for de sorterede måledata, er angivet i nedenstående tabel.

		middel	max.	min.
udetemperatur	°C	16.2	26.5	8.4
væskemængde	m ³ /h	2.43	2.49	2.34
vindhastighed	m/s	1.4	2.8	0.4

Ved en regressionsanalyse findes effektiviteten at kunne udtrykkes ved ligningen

$$EFF = 0.74 - 0.40 \cdot T - 0.34 \cdot T^2$$

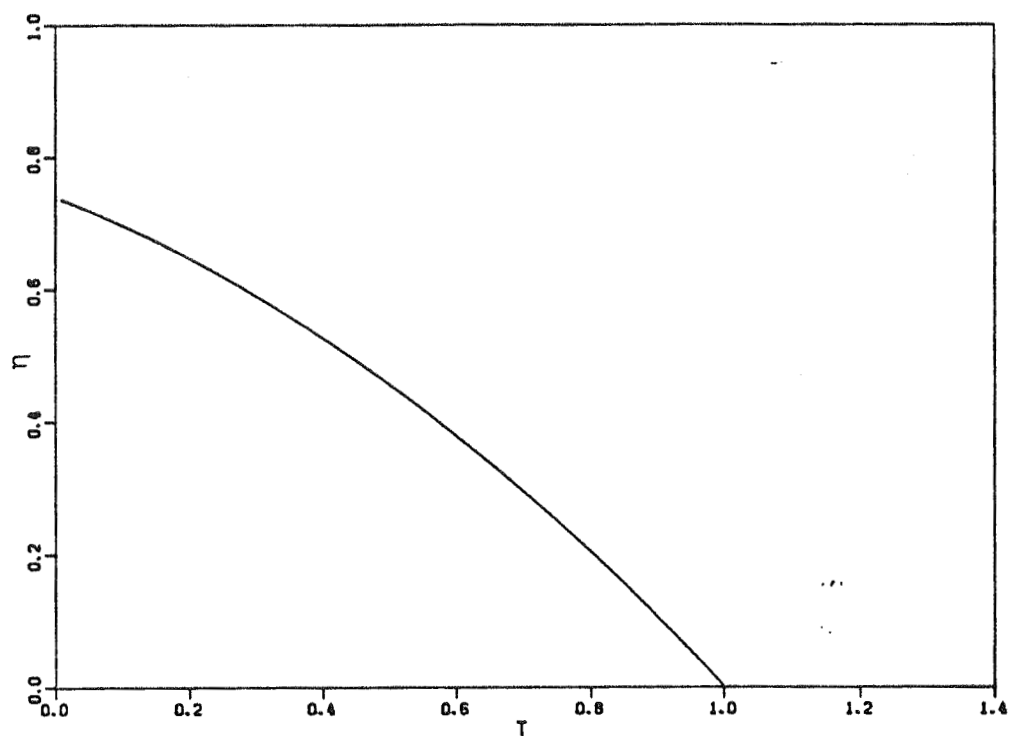


Fig. 9.1 Effektivitetskurven for solfanger optegnet på basis af målinger.

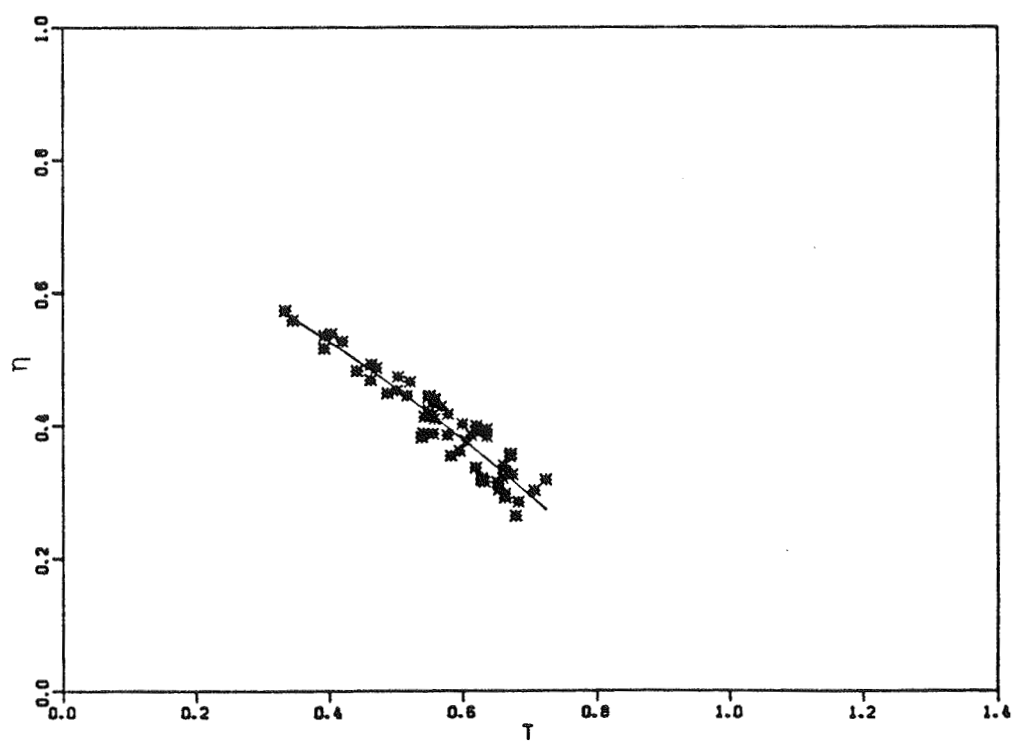


Fig. 9.2 Effektivitetspunkter for solfangere.

10. Måleresultater.

Fra starten af projektet har det ikke været hensigten at opsamle måledata for et helt år, således at anlæggets årlige ydelse kunne findes ud fra disse. Derimod er det tilstræbt at opsamle måledata for kortere perioder repræsenterende typiske driftssituationer. Anlæggets årlige ydelse kan så findes ved at benytte en EDB-model for anlægget, hvor modellen og de målte data først er blevet sammenlignet. På den måde opnås en mere effektiv udnyttelse af prøvestanden. Det er ikke nødvendigt at vente på et helt års måledata for at kunne bestemme et anlægs ydeevne.

I tabel 10.1 er angivet resultaterne for 6 måleperioder i foråret 1980. I måleperiode nr. 5 og 6 er solfangerarealet henholdsvis 20 m^2 og 10 m^2 .

nr.	periode	antal dage	varmebehov til rumopvarmning		solvarme til rumopvarmning		solvarme til varmt brugsvand	
			total kWh	middel pr.dag kWh	total kWh	dækning %	ydelse kWh	dækning %
1	23/4 - 4/5	11	380	35	273	72	35	63
2	8/5 - 22/5	15	358	24	354	99	72	95
3	24/5 - 8/6	16	221	14	194	88	63	77
4	10/6 - 22/6	13	134	10	124	93	38	58
5	24/6 - 6/7	13	146	11	146	100	35	53
6	8/7 - 15/7	8	71	9	63	89	17	42

Tabel 10: Målte ydelser for anlægget.

Varmebehov til rumopvarmning er simuleret af anlæggets computer.

Solvarme til rumopvarmning er målt på anlægget.

Solvarme til varmt brugsvand er målt på anlægget.

NB. I perioderne 5 og 6 har solfangerarealerne været henholdsvis 20 og 10 m².

10.1. EDB-model.

Ud fra det ved Laboratoriet for Varmeisolering eksisterende SVS-program er der udarbejdet en EDB-model, som ud fra målte vejrdata (timeværdier) simulerer anlægget. I tabel 10.1.1. og tabel 10.1.2. er angivet anlæggets ydelse for måleperioderne. Der er en ganske god overensstemmelse mellem målte og beregnede værdier for ydelsen til rumopvarmningen. Afvigelsen er 1 - 3%. Derimod ses en stor afvigelse for varmt brugsvand. Forklaringen på dette er først og fremmest, at indløbstemperaturen af det kolde vand til varmtvandsbeholderen ikke er målt. I modellen er benyttet en indløbstemperatur på 13°C og en maximal tappetemperatur på 45°C , d.v.s. når temperaturen i varmtvandsbeholderen er større end 45°C blandes der med koldt vand.

På fig. 10.1.1. er angivet betegnelserne for de forskellige energistrømme i systemet.

På figurerne 10.1.2., 10.1.3., 10.1.4. og 10.1.5. er angivet de daglige energistrømme i solvarmesystemet, målt og beregnet.

I tabel 10.1.3. er angivet de samlede energistrømme i måleperioderne.

Tabel 10.1.1. Målte og beregnede værdier,; rumopvarmning.

Periode	Målte værdier		Beregnete værdier		Afvigelse %
	Ydelse [kWh]	Dæknings- grad %	Ydelse [kWh]	Dæknings- grad %	
1	273	72	268	71	-2
2	354	99	346	97	-2
3	194	88	188	85	-3
4	124	93	122	91	-2
5	147	100	146	100	-1
6	63	89	61	86	-3

Tabel 10.1.2. Målte og beregnede værdier; varmt brugsvand.

Periode	Målte værdier		Beregnete værdier		Afvigelse %
	Ydelse [kWh]	Dæknings- grad %	Ydelse [kWh]	Dæknings- grad %	
1	35	63	28	50	-20
2	72	95	69	91	- 4
3	63	77	57	70	- 9
4	38	58	41	62	8
5	35	53	41	62	17
6	17	42	23	58	35

nr.	totale solindfald på solf.		Q1 kWh	Q2 kWh	Q3 kWh	Q4 kWh	Q3+Q4 kWh	effekti- vitet %
	kWh	kWh/m ²						
1	1327	44.2	367	355	273	35	308	27.6
2	2609	87.0	625	557	354	72	426	24.0
3	2069	69.0	500	454	194	63	257	24.2
4	1189	39.6	224	209	124	38	162	18.8
5	1070	53.5	305	289	179	35	214	28.5
6	260	26.0	78	75	63	17	80	30.0

Tabel 10.1.3. Totale energistrømme for måleperioderne.

NB. I perioderne 5 og 6 har solfangerarealerne været henholdsvis 20 og 10 m².

Q1: energistrøm ud af solfangeren

Q2: energistrøm ind i akkumuleringsstank

Q3: energistrøm til rumopvarmning

Q4: energistrøm til varmt brugsvand

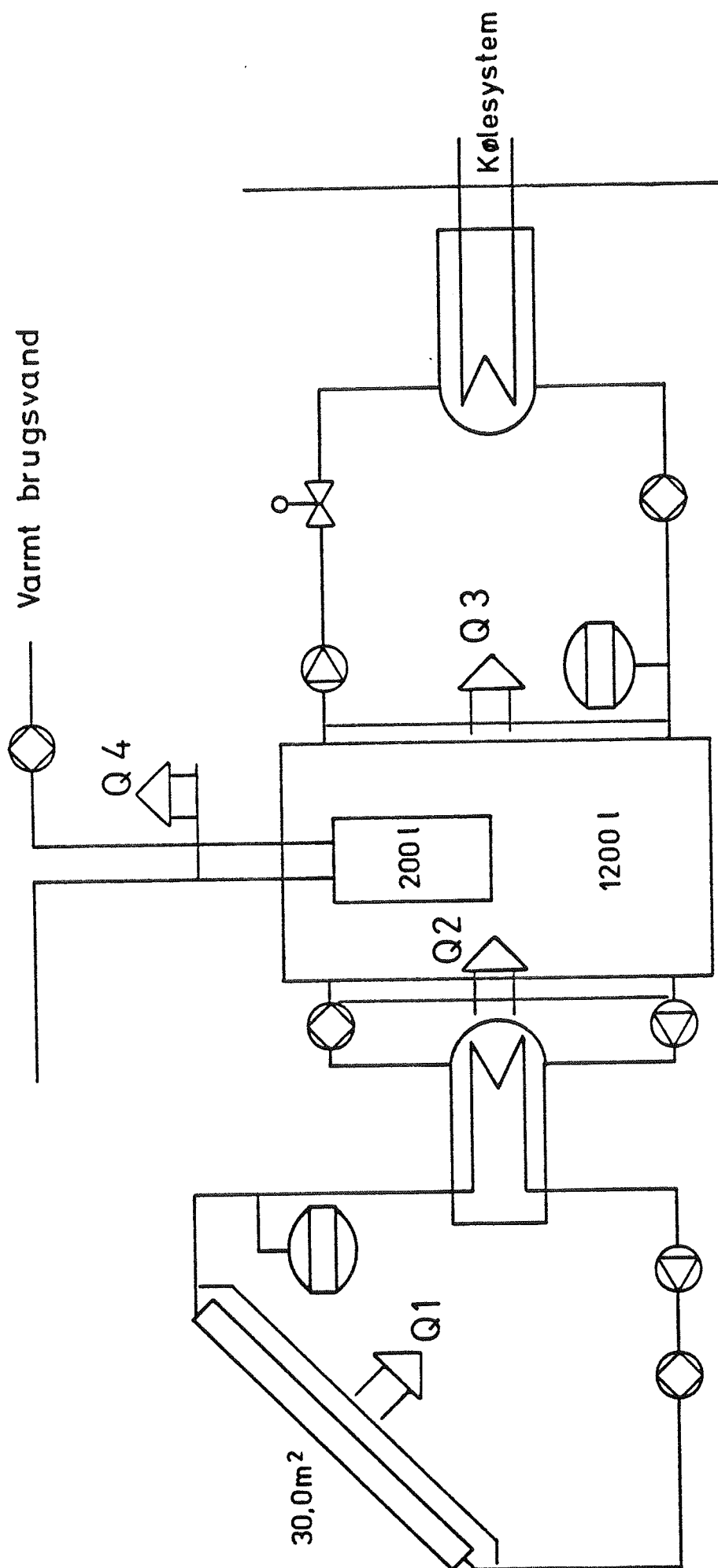


Fig. 10.1.1.1. Energistrømme i solvarmesystem 2.

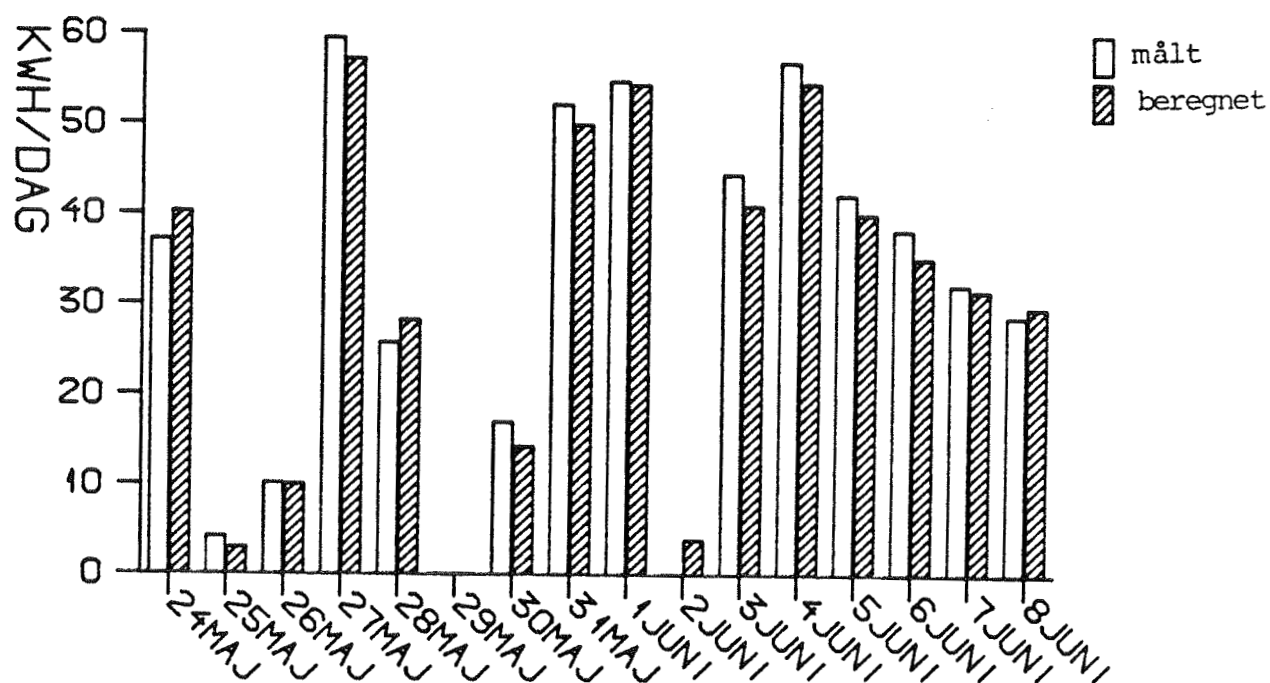


Fig. 10.1.2. Størrelsen af den daglige energistrøm ud af solfangeren beregnet og målt.

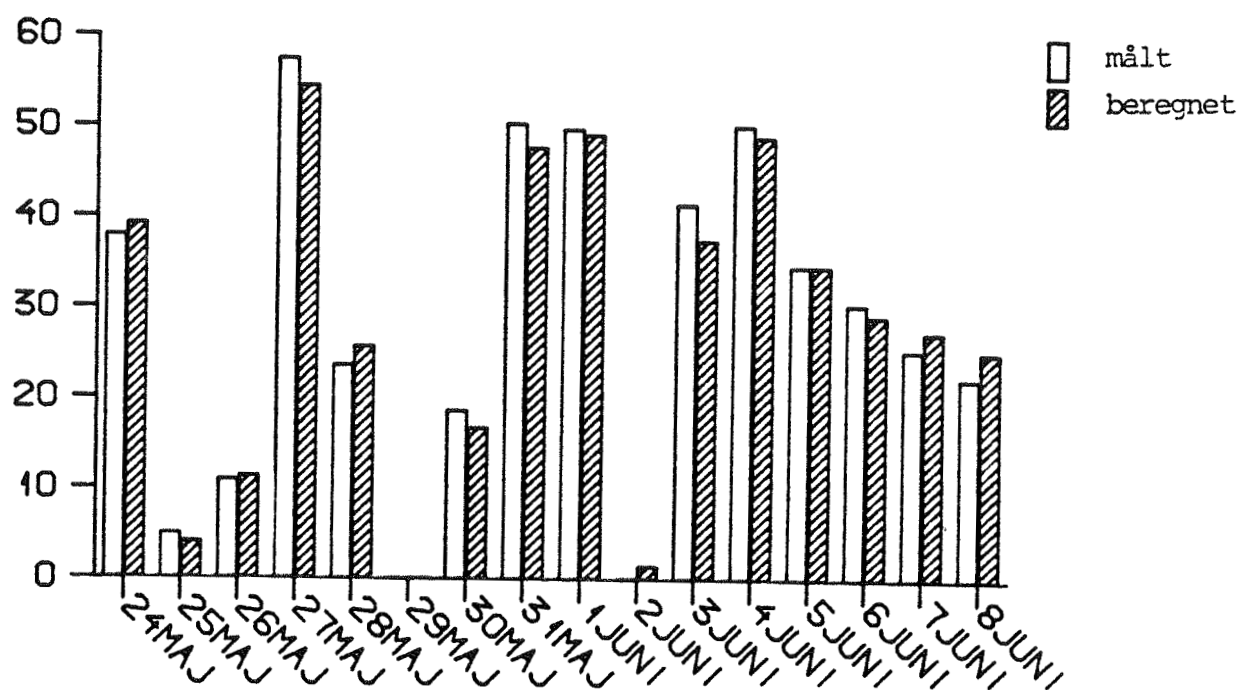


Fig. 10.1.3. Størrelsen af den daglige energistrøm ind i akkumuleringsstanken beregnet og målt.

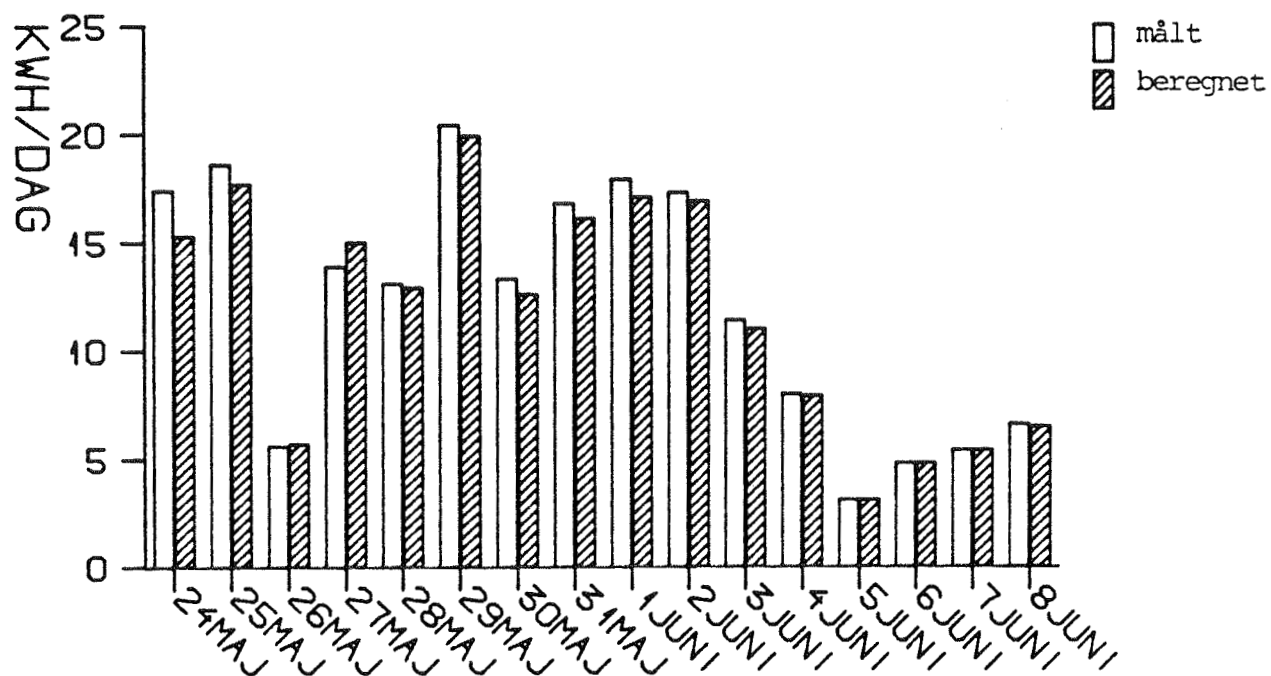


Fig. 10.1.4. Størrelsen af den daglige energistrøm fra akkumuleringsstanken til rumopvarmningen beregnet og målt.

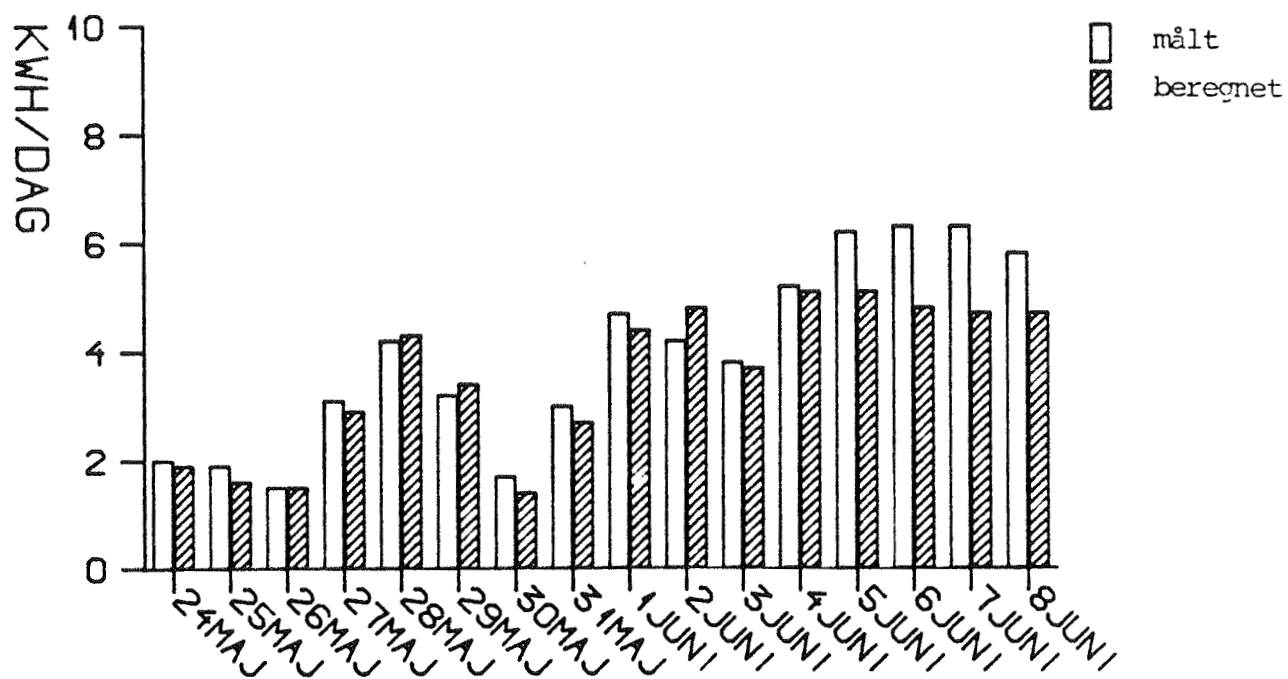


Fig. 10.1.5. Størrelsen af den daglige energistrøm fra forvarmningsbeholderen til varmt brugsvand beregnet og målt.

10.2. Beregninger med EDB-modellen.

Anlæggets årlige ydelse er udregnet med EDB-modellen og angivet i tabel 10.2.1. med forskellige vejrdatasæt.

1. Gennemregning. Simulering af anlægget, som det er udformet på prøvestanden. Referenceåret, "Danish Test Referenceyear", er benyttet som vejrdata til modellen.
2. Gennemregning. Anlægget på prøvestanden er karakteristisk ved, at en stor del af rørene mellem solfangeren og lageret er placeret i det fri. Ved en normal installation vil hovedparten af disse rør blive placeret inde i huset. I denne beregning - og i alle de efterfølgende - er der korrigeret for dette. Referenceåret er benyttet som vejrdata til modellen.
3. Gennemregning. I denne beregning er vejrdata fra 1960 benyttet som input til modellen.
4. Gennemregning. Vejrdata fra 1961 er benyttet som input til modellen.

Vejrdata fra 1960 og 1961 er valgt, da simuleringer med disse data giver henholdsvis et dårligt og et godt udbytte for et kombineret solvarmeanlæg.

Tabel 10.2.1.: Arsværdier for solvarmeanlægget.

	solind- fald kWh/m ² år	rumopvarmning			varmt brugsynd, 200 l/dag, 8 ^o -45 ^o C			totale værdier			Årlig ydelse kWh/m ² år
		varme- behov kWh	sol- varme kWh	dækn. %	varme- behov kWh	sol- varme kWh	dækn. %	varme- behov kWh	sol- varme kWh	dækn. %	
1. prøvestand referenceår	1125	14076	3504	24.9	3151	1886	59.9	17227	5390	31.3	180
2. korrigeret referenceår	1125	14076	3559	25.3	3151	1899	60.3	17227	5457	31.7	182
3. korrigeret 1960-data	1211	14339	3852	26.9	3151	1931	61.3	17490	5783	33.1	193
4. korrigeret 1961-data	1225	13055	4456	34.1	3151	2023	64.2	16206	6479	40.0	216

Det fremgår af tabel 10.2.1., at ved at benytte referenceåret fås en relativ lav ydelse af anlægget. Referenceåret er i de følgende beregninger benyttet som vejrdato til modellen, og resultaterne er derfor i underkanten af, hvad der kan forventes.

Det fremgår af fig. 10.2.1., at varmebehovet bliver dækket næsten 100% i sommermånederne, hvorimod kun en ringe del bliver dækket af solen om vinteren.

På fig. 10.2.2. er angivet fordelingen af den absorberede solenergi til rumopvarmning, varmt brugsvand og varmetab.

På fig. 10.2.3. er angivet fordelingen af tabet på rørtao og tanktao.

På figurerne ses, at dersom en højere ydelse skal opnås, skal den indstrålede energimængde gøres større (større solfangerareal), eller en større del skal opsamles (bedre solfanger eller større lager). Derimod vil ekstra isolering kun betyde ringe merydelse.

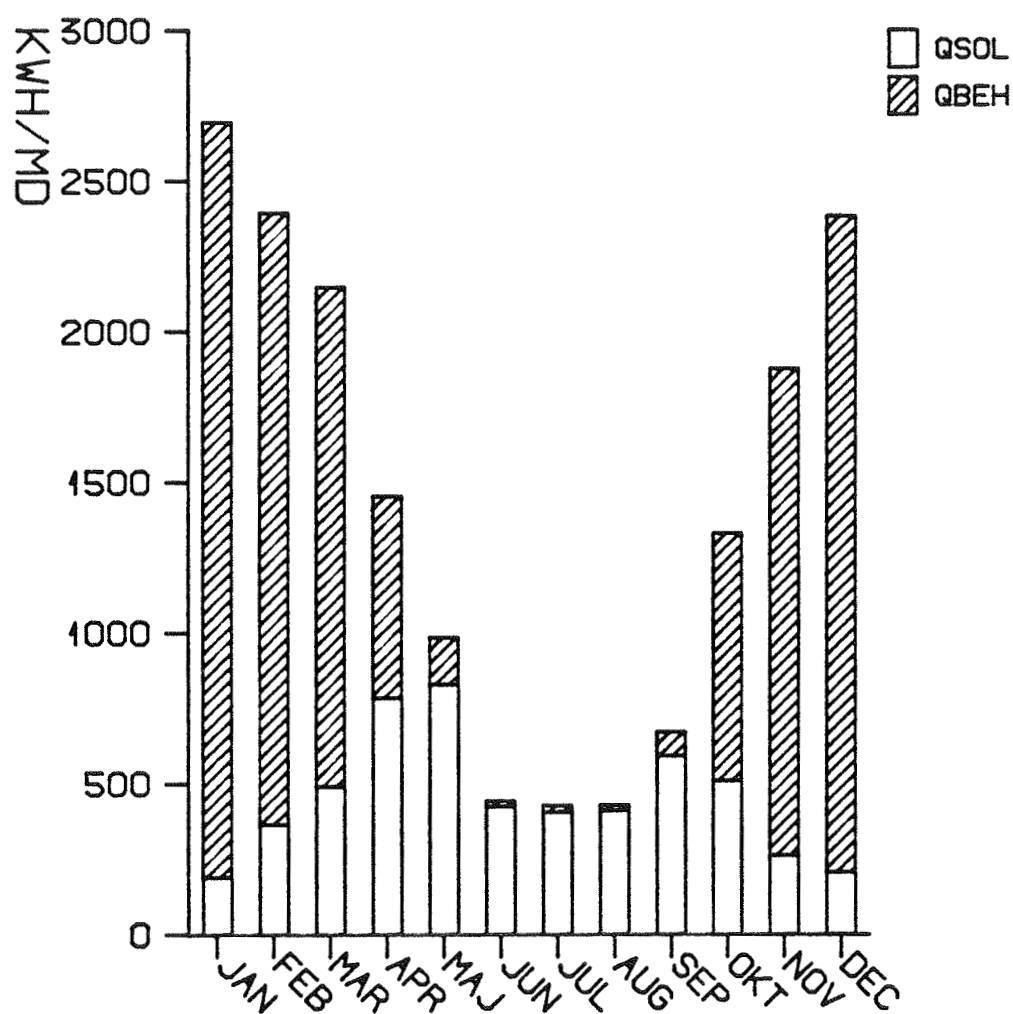


Fig. 10.2.1. Andelen af det totale varmebehov - både rumopvarmning og varmt brugsvand - som bliver dækket af solvarme.

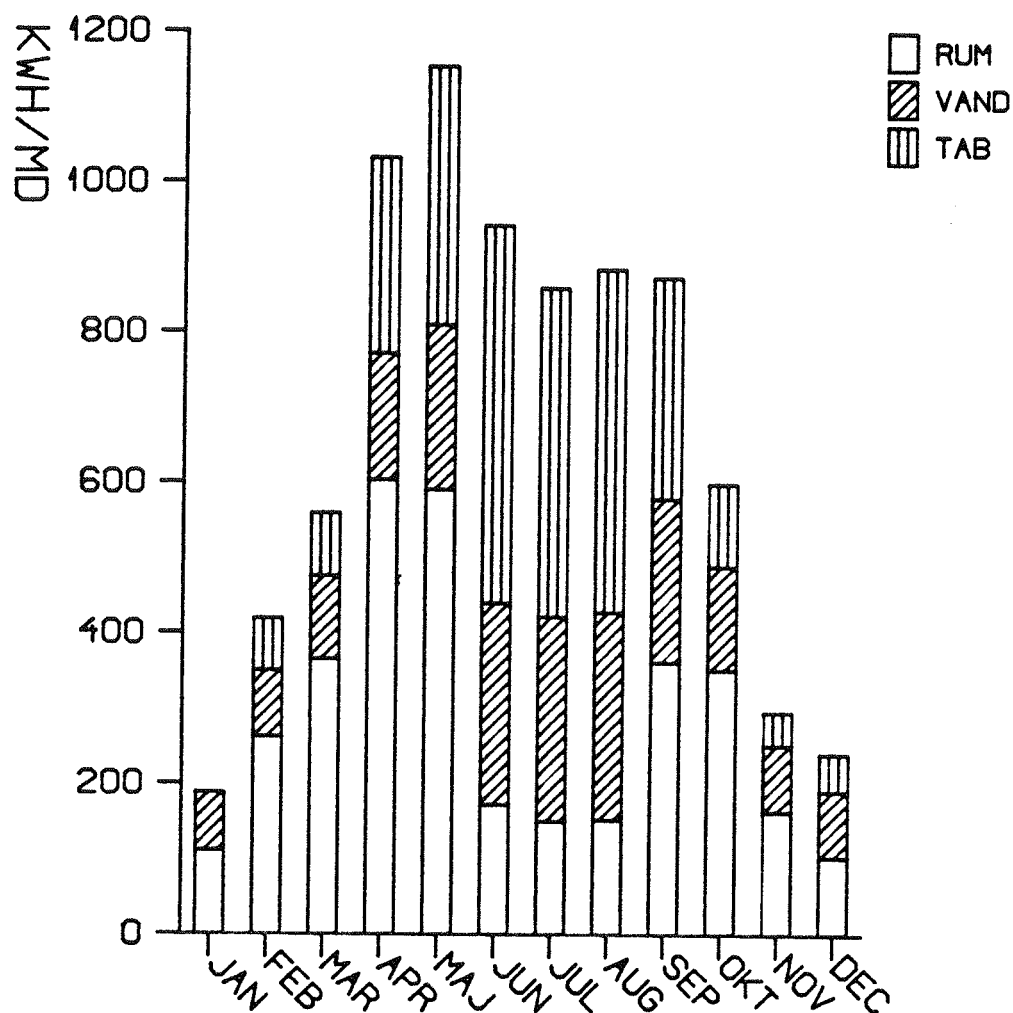


Fig. 10.2.2. Fordelingen af det absorberende solindfald
 RUM: rumvarme
 VAND: varmt brugsvand
 TAB: varmetab fra rør og akkumuleringstank

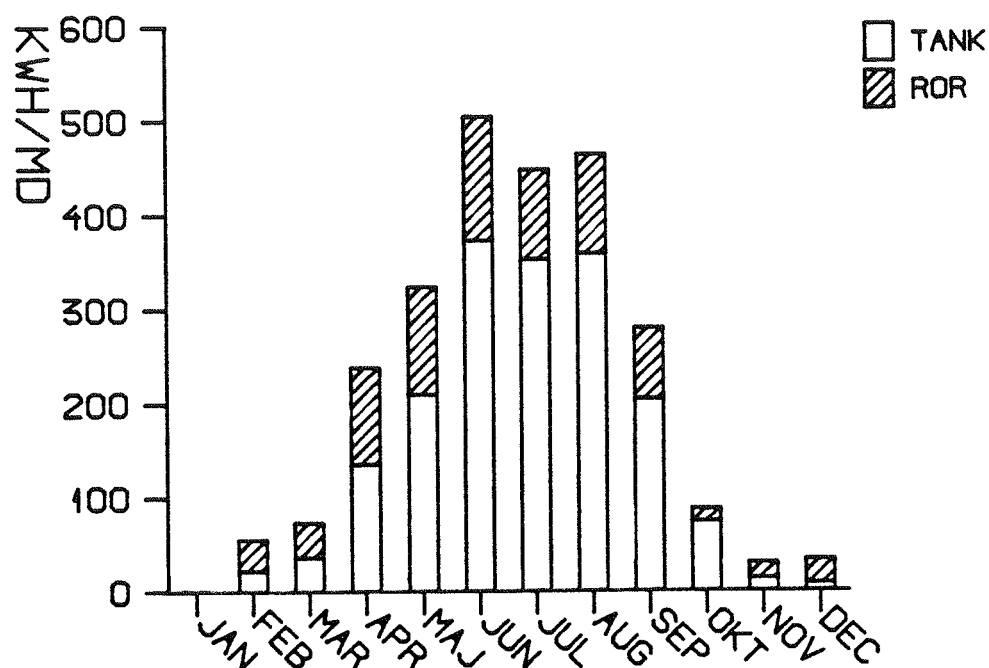


Fig. 10.2.3. På figuren er angivet fordelingen af det samlede tab på rørtab og tanktab.

11. Parametervariationer.

Ved hjælp af EDB-modellen er betydningen af ændringer i en del af anlæggets parametre undersøgt.

På baggrund af den overensstemmelse, som tidligere er dokumenteret mellem målte resultater og resultaterne beregnet med EDB-modellen, konkluderes, at modellen er i god overensstemmelse med virkeligheden. Det gælder kun for anlægget på prøvestanden, og dersom anlæggets parametre ændres væsentligt, vil antagelsen ikke gælde. Det er derfor følsomheden overfor ændringer på anlæggets parametre, som her skal undersøges.

Referenceårets vejrdata er blevet benyttet som vejrdata til modellen. Af forrige afsnit fremgik det, at de årlige ydelser varierer meget, afhængigt om et "dårligt" eller et "godt" år anvendes som vejrdata. Derfor er det mere anlæggets følsomhed, end det er det aktuelle resultat, som har interesse ved de efterfølgende beregninger. Dog giver EDB-beregningerne for et kombineret anlæg, med anvendelse af referenceåret, et relativt lavt udbytte sammenlignet med 15 års vejrdata, 1959-74.

11.1. Solfangerareal - tankvolumen.

På fig. 11.1.1., 11.1.2. og 11.1.3. er angivet anlæggets følsomhed overfor ændringer i solfangerarealet, og volumet af akkumuleringsstanken.

En optimering er vanskelig at udføre, da det kræver en række antagelser af økonomisk karakter.

Den endelige dimensionering af solfangerareal og akkumuleringsvolumen vil derimod ofte afhænge af, hvad der er praktisk muligt at installere i et enfamiliehus.

RUMOPVARMNING

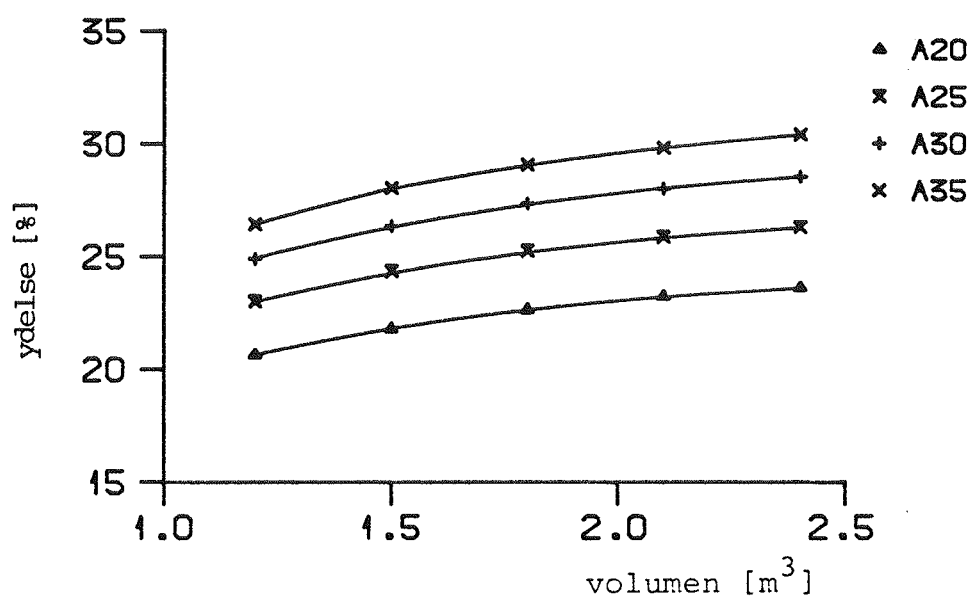


Fig. 1.1.1. Anlæggets ydelse til rumopvarmning i procent, som funktion af akkumuleringsstankens volumen, angivet for fire forskellige solfangerarealer: 20, 25, 30 og 35 m².

VARMT BRUGSVAND

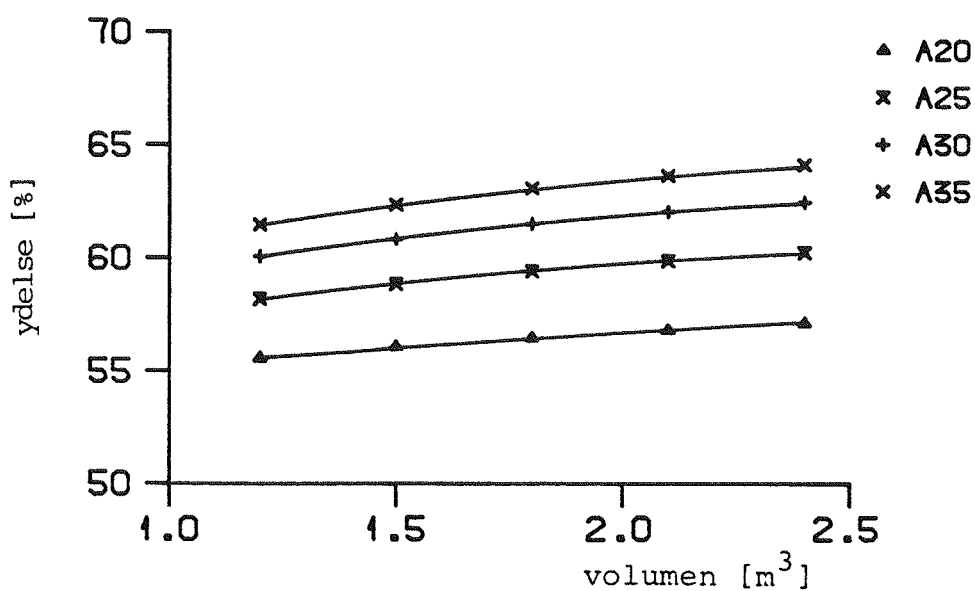


Fig. 11.1.2. Anlæggets ydelse til varmt brugsvand i procent, som funktion af akkumuleringsstankens volumen, angivet for fire forskellige solfangerarealer: 20, 25, 30 og 35 m².

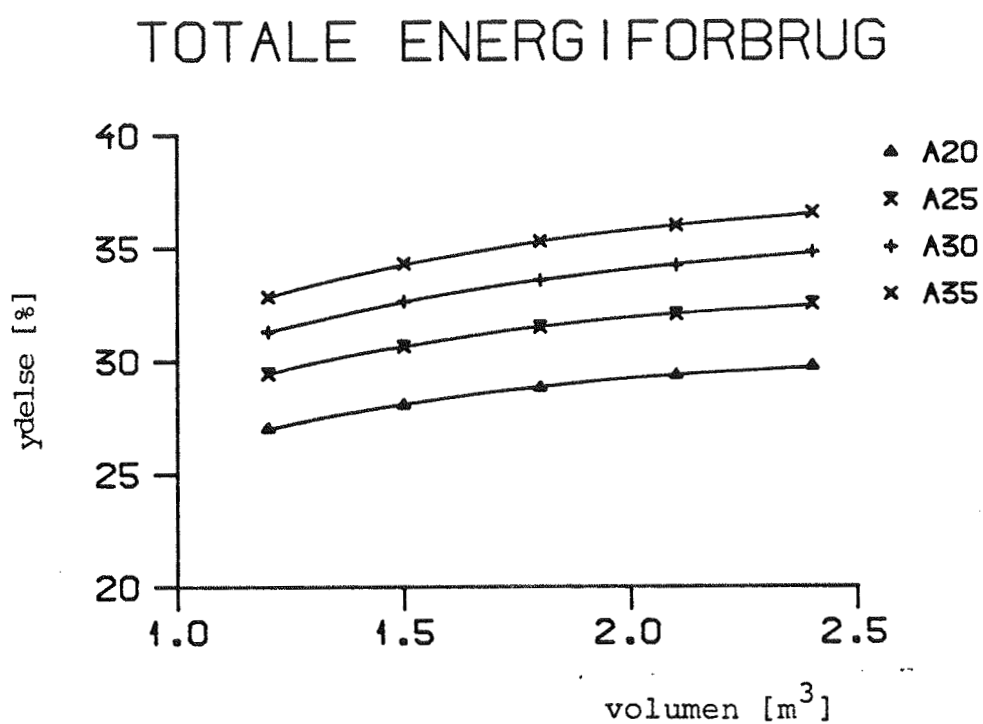


Fig. 11.1.3. Anlæggets totale ydelse i procent af det samlede behov, som funktion af akkumuleringsstankens volumen, angivet for fire forskellige solfangerarealer: 20, 25, 30 og 35 m^2 .

11.2. Varmetab.

I tabel 11.2.1. er angivet anlæggets følsomhed overfor ændring i varmetabet fra akkumuleringstanken. Det fremgår, at varmetabet kun i ringe grad har indflydelse på anlæggets ydelse. Det skyldes først og fremmest, at tanken er lille, og dermed foregår der ingen lagring af varmen over længere tid. Varmtvandsbeholderens placering i akkumuleringstanken nedsætter varmetabet.

Selv om varmetabet fra tanken ikke har den store betydning for den årlige ydelse, er det en fordel at isolere tanken godt. Et stort varmetab giver u hensigtsmæssige gener i form af overopvarmede rum på solrige sommerdage.

Varmetab W/°C	sol ab- sorberet [kWh/år]	Anlægs- ydelse [kWh/år]	Dæknings- grad %	Tank tab [kWh/år]
5	7188	5671	32.9	750
8	7484	5597	32.5	1130
11	7746	5525	32.1	1471
14	7988	5457	31.7	1782
17	8209	5391	31.3	2070

Tabel 11.2.1. Anlægsydelse ved varierende varmetab fra tanken. Omgivelsernes temperatur er sat til 20°C.

11.3. Solfangertype.

På fig. 11.3.1. er vist anlæggets ydelse som funktion af solfangerareal for to forskellige solfangere. Den ene er for solfangeren på prøvestanden, som er sortmalet, og den anden, som er blevet opsat på prøvestanden, og iøvrigt er af en anden konstruktion, har selektiv belægning. Det fremgår klart, at den selektive belægning har en gunstig virkning på anlæggets ydelse. F.eks. giver 18 m^2 solfangere med selektiv belægning samme udbytte som 30 m^2 med almindelig sort overflade. På fig. 11.3.2. er optegnet effektivitetskurverne for de to solfangere, som kan udtrykkes ved følgende ligninger:

$$\text{sort overflade} \quad \eta = 0,74 - (4,0 + 0,043 \cdot \Delta T) \cdot \frac{\Delta T}{I}$$

$$\text{selektiv belægning} \quad \eta = 0,85 - (4,5 + 0,015 \cdot \Delta T) \cdot \frac{\Delta T}{I}$$

hvor

ΔT : Forskellen mellem middeltemperaturen af væsken i solfangeren og omgivelsernes temperatur

I : Global-strålingen på solfangeren.

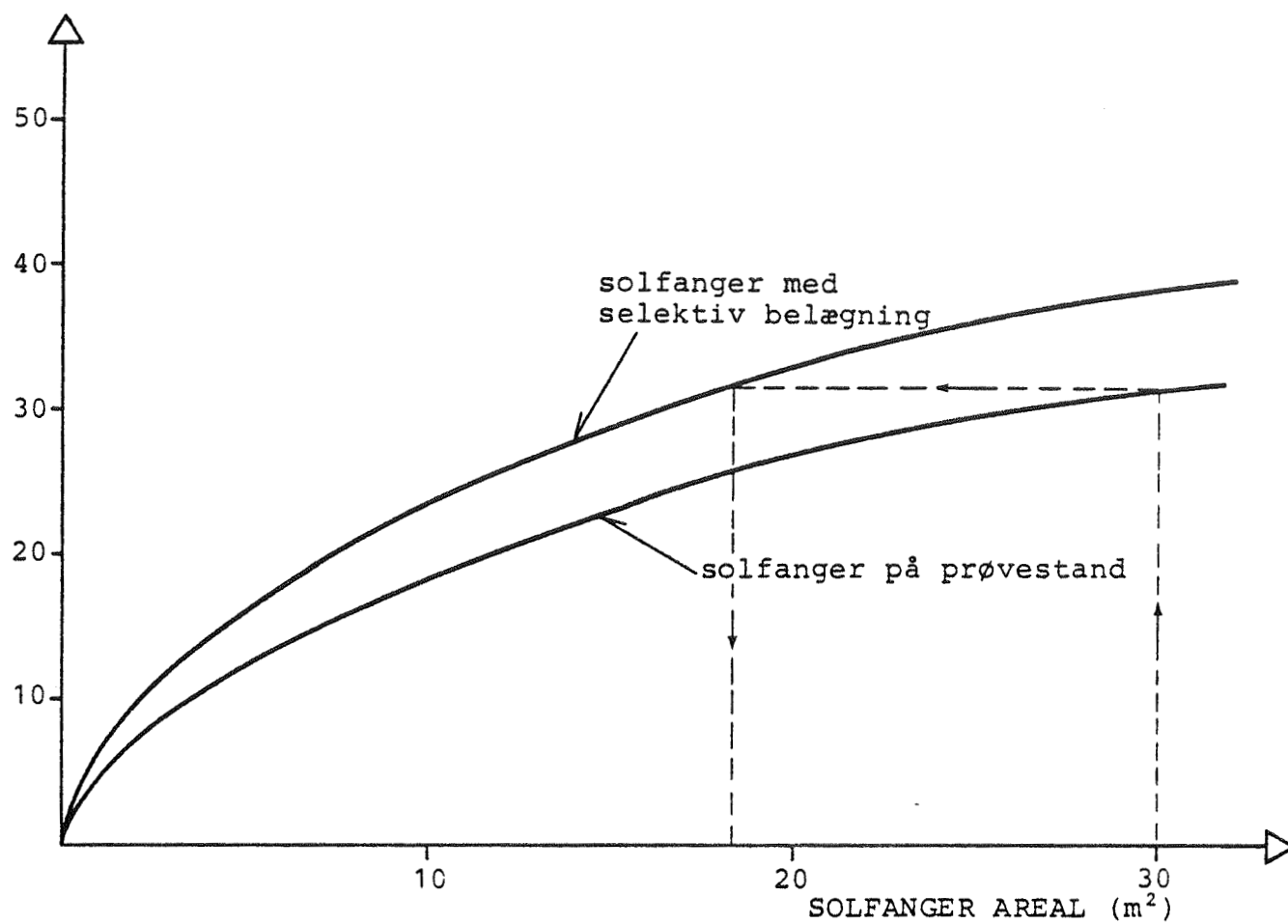


FIG. 11.31 Solvarmeanlæggets ydelse for to forskellige typer solfangere.

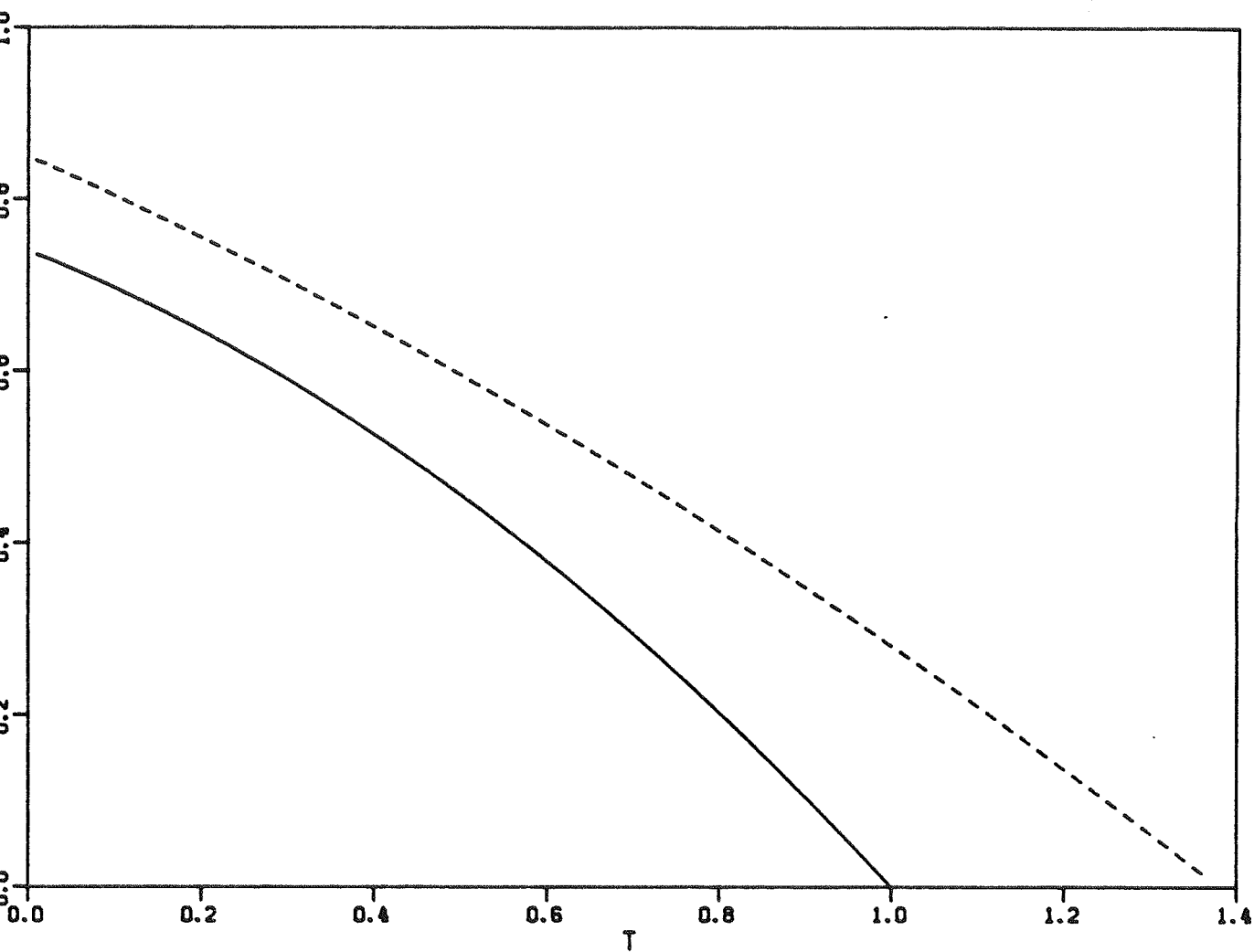


Fig. 11.3.2. Effektivitetskurve for en solfanger med og uden selektiv belægning.
(Den stiplede kurve er for solfanger med selektiv belægning).

11.4. "Optimalt anlæg".

Ud fra resultatet fra de foregående følsomhedsanalyser er der foretaget en beregning, som viser, hvad anlægget kan yde, dersom følgende parametre ændres:

varmetab fra akkumuleringstank er
ændret fra $14 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$ til $10 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$

volumen af akkumuleringstanken er
ændret fra 1.2 m^3 til 1.8 m^3

solfangeren har selektiv belægning

Resultatet er vist på fig. 11.4.1. Det ses, at en væsentlig forbedring af anlægget sker ved de pågældende ændringer.

Sådan ville anlægget se ud, hvis det blev bygget i dag. Endvidere ville varmeveksleren blive indbygget i tanken.

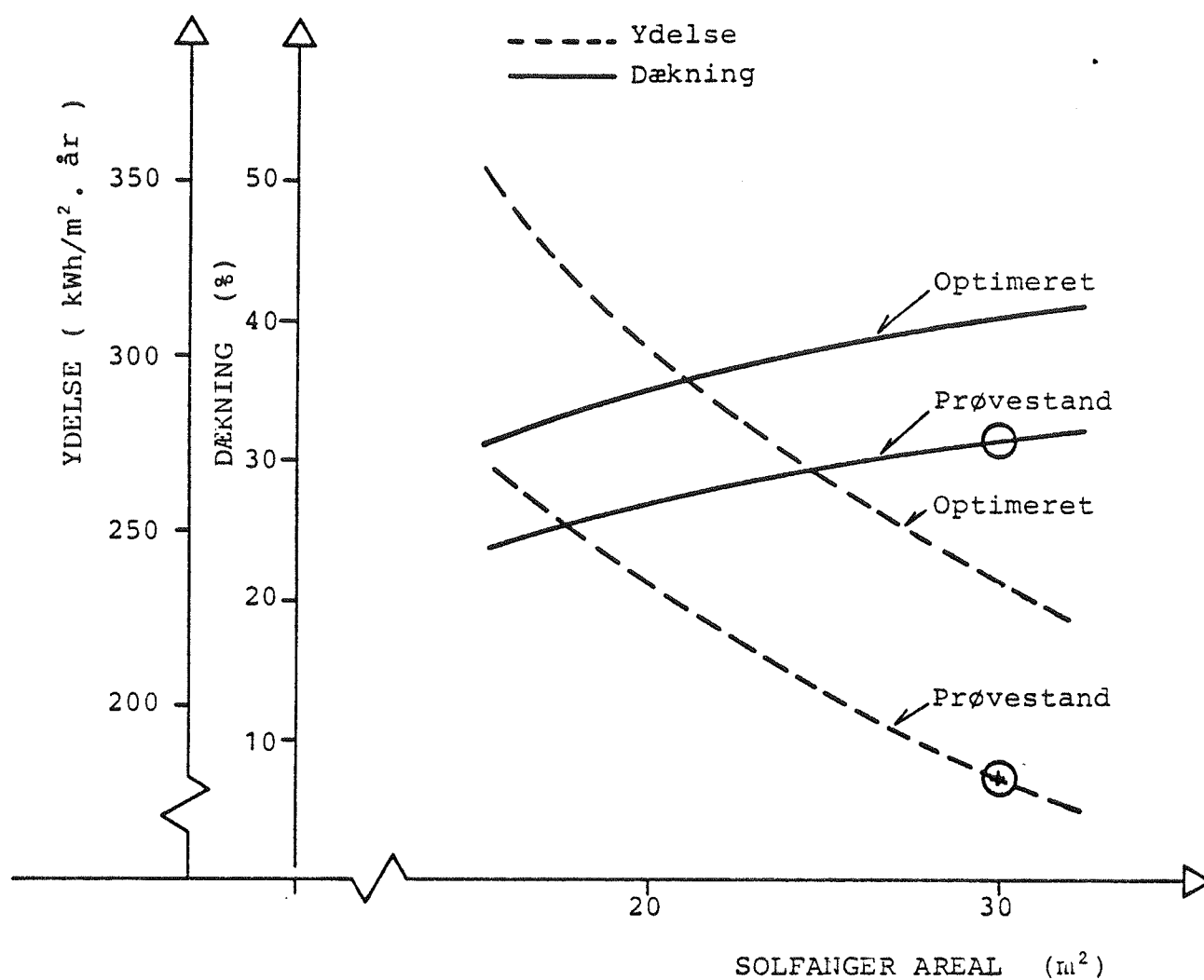


Fig. 11.4.1. Ydelsen af anlægget på prøvestanden og anlægget optimeret:
 større akkumuleringskøle
 bedre solfanger
 bedre isolering af tank.

Sammenfatning.

Der er i projektet afprøvet en type solfangerakkumulerings-tank, der er af interesse i fremtidige projekter inden for solvarmeanlæg med både rumopvarmning og varmt brugsvandsforsyning.

Med forsøget er der opnået en god viden om, hvordan en sådan akkumulerings-tank skal udformes for at give det største udbytte.

Samtidig er der ved parametervariationer undersøgt et sådant anlægs følsomhed overfor anlægsændringer. Dette er sket med det i projektet verificerede EDB-program.

Ved disse parameteranalyser kan det afgøres, hvilke "forbedringer" af et solvarmesystem der giver det største merudbytte.

Modellen kan også benyttes til økonomiske betragtninger vedrørende forbedring af rentabiliteten af solvarmesystemer.

Ved projektet er der benyttet en solfanger med sortmalet absorber. Det er i andre projekter vist ved brugsvandsanlæg, at meromkostningerne ved brug af selektive overflader helt opvejes af den merydelse, som solfangeren vil give. Dette viser sig ved, at solfangerarealet kan gøres mindre. Det samme forhold viser sig ved dette kombinerede anlæg.

I det næste projekt er der oplagt selektive solfangere på prøvestanden, og der benyttes en akkumulerings-tank, der giver en enkel systemløsning.

Dette ny projekt kan siges at være en prototype på et 2. generationsdemonstrationsanlæg. Dette 2. generationsanlæg vil blive bygget i energiministeriets solvarmeprogram ultimo 1982.

Energiministeriets solvarmeprogramProjektorganisationStyregruppe:

Energiministeriet har udpeget følgende styregruppe for solvarme-programmet:

H. Ipsen, civilingeniør, Boligministeriet (formand).
P. Ahrenst, kontorchef, Boligselskabernes Landsforening.
P. Alling, direktør, Dansk Solvarme K/S
E. Christoffersen, afdelingsleder, Statens Byggeforskningsinstitut.
P. Dirks, afdelingsingeniør, Dansk Kedelforening.
M. Dyre, civilingeniør, forskningschef, Danfoss.
E. Eckert, afdelingsingeniør, Teknologisk Institut (sekretær).
K.H. Frier, direktør, civilingeniør, Foreningen af rådgivende ing.
V. Korsgaard, professor, Laboratoriet for Varmeisolering, DTH.
C. Kortzau, cand.jur., Foreningen af typehusproducenter i Danmark.
J. Lemming, civilingeniør, Energiministeriet.
V.S. Pejtersen, civilingeniør, Risø.
P. Snare, ekspeditionssekretær, Energistyrelsen.
H. Schiøler, direktør, H. Schiøler & Co. K/S.
P. Steensen, civilingeniør, Teknologisk Institut.
H. Tindal, arkitekt m.a.a., Praktiserende Arkitekters Råd.

Projektmedarbejdere:

Projektleder: P. Steensen, civilingeniør, Teknologisk Institut.

Laboratoriet for Varmeisolering:

K. Ellehauge, civilingeniør.
N. Mejlhede Jensen, civilingeniør.
L. Sønderskov Jørgensen, civilingeniør.

Sv. E. Mikkelsen, civilingeniør.
P.E. Kristensen, akademiingeniør.
C. Nielsen, civilingeniør.
L. Olsen, civilingeniør, stud.lic.techn.
S.Aa. Svendsen, civilingeniør.

Teknologisk Institut:

P. Engkjær, ingeniør.
Mikael Grimming, arkitekt m.a.a.
L. Hallgreen, ingeniør, lic.techn.
T. Vest Hansen, ingeniør.
M. Lange, ingeniør.
O. Paulsen, civilingeniør, lic.techn.

I forbindelse med demonstrationsanlæggene har endvidere medvirket de pågældende byggeriers arkitekt og rådgivende ingeniør.

Adresser:

Laboratoriet for Varmeisolering, Bygn. 118, Danmarks tekniske Højskole,
2800 Lyngby - Telf. 02-883511.

Teknologisk Institut, Varmeteknik, Gregersensvej,
2630 Tåstrup - Telf. 02-996611.

Oversigt over udkomne rapporter

1. Kombineret solvarme-varmepumpeanlæg.
Beregning af et anlæg til en mindre bebyggelse.
2. Solvarme-fjernvarmeanlæg.
Beregning af et centralt anlæg med og uden varmelager.
3. Solvarmeanlæg i Gentofte.
Målinger på anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand.
Årsrapport.
4. Beregningsprogram til solvarmeanlæg.
For TI59 programmerbar lommeregnermaskine.
5. Solvarmeanlæg i Herfølge.
Brugsvand, 1/2 års målinger.
6. Solvarmeanlæg i Greve.
Målinger på anlæg til rumopvarmning og varmt brugsvand.
Årsrapport.
7. Solfangeres langtidsholdbarhed.
Erfaringer med solfanger udsat for det naturlige vejrlig
under kontrollerede, realistiske, ens driftsforhold i 3 år
på prøvestand.
9. Solvarmeanlæg på Juelsminde campingplads.
Brugsvand, 3 års målinger.
10. Energiministeriets solvarmeprogram.
Statusrapport, august 1980.
11. Energiministeriets solvarmeprogram.
Projektforslag - langtidsplanlægning, oktober 1980.

Oversigt over delprojekter, der indgår i programmet men endnu ikke er rapporteret

Målinger på demonstrationsanlæg ved:

- Tilst
- Blovstrød
- Brøndby
- Næstved

Arkitektkonkurrence

Solvarme i eksisterende boliger

Driftserfaringer

Tagrumssolfanger

Luftsolfanger

Prøvning af driftssikkerhed og holdbarhed af solfangere

Prøvning af overfladebehandlinger til solfangerabsorbere

Gummi og plast anvendt til solvarmeanlæg

Udvikling af selektive overflader

Optimering af anlæg

Projektering af demonstrationsanlæg

Solvarmeanlæg med stort udbytte

Passiv solvarme, vejledning i projektering

Fokuserende solfangere

Vejrdata til beregning af solvarmeanlægs årlige ydelser

Udlån af måleudstyr

Informationsformidling/videnbank.

• Referencer.

- [1] Lund, H.: Program BA4 til beregning af rumtemperaturer og varme- og kølebehov. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks tekniske Højskole. Meddelelse nr. 46. 1976.
- [2] Referenceåret, Vejrdata for VVS-beregninger. SBI rapport nr. 89. 1974.
- [3] Lawaetz, H.: Ikke dokumenteret EDB-program. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks tekniske Højskole.